

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE VEGETALES

N°..... /SNV/2020

THÈSE

Présenté par

**BOUNAB Souhila**

Pour l'obtention du diplôme de :

**DOCTORAT 3<sup>ÈME</sup> CYCLE**

Filière : SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Valorisation et Protection de la Biodiversité Végétale

THÈME

**Biodiversité végétale de la région du Hodna (M'sila) : étude phytochimique  
et activité biologique de quelques espèces médicinales.**

Soutenu publiquement le 26 / 10 / 2020

DEVANT LE JURY

Président	<b>Ramdani Messaoud</b>	Professeur	UFA Sétif 1
Directeur de thèse	<b>Lograda Takia</b>	Professeur	UFA Sétif 1
Examineur	<b>Yahia Abdelouahab</b>	Professeur	Université de Mila
Examineur	<b>Sarri Madani</b>	Professeur	Université de M'sila
Examineur	<b>Sahraoui Rachid</b>	MCA	UFA Sétif 1

*Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles*

## المخلص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التنوع البيولوجي في منطقة الحضنة، والتحليل الكيميائي لكل من *Thymelaea microphylla* Coss et Dur و *Thymelaea hirsuta* (L) Endl ودراسة أنشطة مضادات البكتيريا والمضادات الفطرية وكذا مضادات الأكسدة في زيوتهم الأساسية.

اظهرت نتائج التحليل المكاني للغطاء النباتي ثروة نباتية مهمة مع 343 نوع نباتي و222 جنس ينتمون إلى 55 عائلة نباتية. النباتات الحولية مهيمنة على نباتات منطقة الدراسة. أجري تحليل التركيب الكيميائي للزيوت الأساسية، التي تم الحصول عليها عن طريق التقطير المائي، بواسطة GC-MS متوسط المردود من الزيوت الأساسية لـ *Thymelaea hirsuta* و *Thymelaea microphylla* منخفض.

كما تم تحديد 45 مكونًا كيميائيًا في الزيت الأساسي لـ *Thymelaea hirsuta* و 30 مركب كيميائي تم ايجاده عند تحليل الزيوت الأساسية لنباتة *Thymelaea microphylla*.

لقد سمح لنا تحليل التركيب الكيميائي لزيوت نبتة *Thymelaea hirsuta* بتحديد أربعة أنواع كيميائية. كما أظهرت دراسة الأنشطة البيولوجية للزيوت الأساسية التي تم اختبارها نشاطًا مهمًا ضد ثمانية أنواع بكتيرية وسلالتين فطريتين. هذه الزيوت لديها قدرة عالية للنشاطية ضد التأكسدية المقاسة باختبار DPPH .

**الكلمات المفتاحية:** التنوع البيولوجي - الحضنة - *Thymelaea hirsuta* - *Thymelaea microphylla* - الزيوت الأساسية - الأنشطة البيولوجية.

## **RESUME**

L'objectif de ce travail est d'évaluer la biodiversité de la région du Hodna, et de caractériser chimiquement *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur ainsi que l'étude des activités biologiques de leurs huiles essentielles. Les résultats de l'analyse spatiale de la végétation montrent une richesse floristique importante avec 343 espèces et 222 genres appartenant à 55 familles botaniques. La végétation de la région d'étude est dominée par les thérophytes. L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles, obtenues par hydrodistillation, a été réalisée par GC-MS, les rendements moyens en huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* sont faibles. 45 composants chimiques ont été identifiés dans l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta* et 30 composés dans l'huile essentielle de *Thymelaea microphylla*.

L'analyse de la composition chimique des huiles *Thymelaea hirsuta*, nous a permis d'identifier quatre chémotypes. Les huiles essentielles testées ont montré une activité importante contre huit espèces bactériennes et deux souches fongiques. Ces huiles possèdent une capacité antioxydante élevée ; mesurée par le test de DPPH.

**Mots-clés :** Biodiversité, Hodna, *Thymelaea hirsuta*, *Thymelaea microphylla*, huiles essentielles, activités biologiques.

## **ABSTRACT**

In this work, we aimed to assess the biodiversity of the Hodna area, and to characterize chemically *Thymelaea hirsuta* (L) Endl and *Thymelaea microphylla* Coss and Dur and its essential oils as well as the study of the biological activities of their essential oils.

The results of the spatial vegetation analysis show an important floristic richness with 343 species and 222 genera belonging to 55 botanical families. The vegetation in the study area is dominated by the therophytes. Analysis of the chemical composition of essential oils, obtained by hydrodistillation, was carried by GC-MS. The average yields of essential oils from *Thymelaea hirsuta* and *T. microphylla* are low. 45 chemical compounds have been identified in the essential oil of *Thymelaea hirsuta* and 30 compounds in the essential oil of *Thymelaea microphylla*.

Analysis of the chemical composition of *Thymelaea hirsuta* oils reveals the identification of four chemotypes. The essential oils tested showed an activity against eight bacterial species and two fungal strains. These oils have a high antioxidant capacity; measured by the DPPH.

**Keywords:** Biodiversity, Hodna, *Thymelaea hirsuta*, *Thymelaea microphylla*, essential oils, biological activities.

---

## **DEDICACES**

---

*Je dédie cette Thèse...*

**A LA MEMOIRE DE MON TRES CHER PERE « Mohammed »**

*A celui qui m'a aidé à découvrir le « savoir », ce trésor  
inépuisable. De tous les pères, tu as été le meilleur, tu as su  
m'entourer d'attention, m'inculquer les valeurs nobles de la vie,  
m'apprendre le sens du travail, de l'honnêteté et de la responsabilité.  
Merci d'avoir été toujours là Pour moi. Tu as été et tu seras toujours  
un exemple à suivre pour tes qualités humaines, ta persévérance et ton  
perfectionnisme. Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur  
de mon respect, ma considération, ma reconnaissance et mon amour  
éternel. Tu resteras à tout jamais dans mon cœur.*

---

## **REMERCIEMENTS**

---

***Nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour achever ce travail.***

*J'adresse en premier lieu mes remerciements les plus sincères à Madame **Lograda Takia**, Professeur à l'Université Ferhat Abbas Sétif 1, pour avoir dirigé cette thèse. J'ai apprécié la liberté qu'il m'a laissée dans la conduite de mes recherches. Elle m'a témoignée une confiance presque illimitée. Sa confiance, son soutien, sa disponibilité sans limite et ses conseils avisés m'ont permis de réaliser mon travail dans les meilleures conditions. J'ai eu énormément de plaisir à travailler sous sa tutelle.*

*J'exprime ma vive et profonde gratitude à monsieur le Professeur **Ramdani Messaoud** de l'Université Ferhat Abbas Sétif 1 pour avoir accepté de présider jury de ce thèse.*

*J'exprime mes respectueux remerciements à monsieur **Yahia Abdelouahab**, Professeur à l'Université de Mila d'avoir accepté de faire partie de notre jury de thèse.*

*À monsieur **Sarri Madani**, Professeur à l'Université de M'sila, j'adresse mes sincères remerciements pour avoir bien voulu admettre d'examiner ce travail.*

*Mes remerciements aussi vont également à monsieur **Sahraoui Rachid**, Maître de Conférences à l'Université de l'Université Ferhat Abbas Sétif 1 d'avoir accepté de juger ce travail.*

*J'aimerais également exprimer mes gratitude à Professeur **Chalard Pierre** de l'Université Clermont d'Auvergne (France) et à Monsieur **Gilles Figueredo** Directeur de LEXVA Analytique pour leurs aides dans la réalisation des analyses phytochimiques.*

*Je suis très reconnaissante à toutes les personnes qui ont contribué dans la réalisation de ce travail et ont permis par leurs aides, leurs soutiens et leurs conseils, de le mener à bien :*

*Ma famille.*

*M<sup>elle</sup> **Mahmoudi Souhila**, maître de conférences au Département des Sciences Agronomiques (Université de M'sila), pour m'avoir aidée dans la réalisation les tests biologiques. J'ai beaucoup apprécié sa disponibilité et ses conseils avisés.*

*Mes remerciements vont aussi à monsieur **Benchettouh Ahmed**, maître de conférences au Département des Sciences Agronomiques (Université de Laghouat) et M<sup>elle</sup> **Dali Zahia** (Conservateur subdivisionnaire des forêts, Djelfa) pour leurs aides dans l'élaboration des cartes.*

*M<sup>elle</sup> Ariech Mounira, maître de conférences au Département de Biochimie et Microbiologie (Université de M'sila) et M<sup>elle</sup> Ameer Djamila, maitre assistante au Département des Sciences Agronomiques (Université de Laghouat) pour leurs aides précieuses.*

*Je tiens à remercier les institutions suivantes qui ont contribué à la réalisation de ce travail : la conservation des forêts de M'sila en particulier monsieur Attar Belkassem et Toumi Ali qui m'ont aidé dans le travail de terrain et la réalisation des relevés, l'institut de Pasteur (Annexe de M'sila).*

*Également, j'adresse mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé dans mon travail au laboratoire en particulier M<sup>elle</sup>. Cherragui Sabrina, M<sup>elle</sup> Dehmech Merzaka, M<sup>elle</sup> Doumi Amina, M<sup>elle</sup> Benachour Halima et M. Benharkat Ridha. Ainsi les personnes qui m'ont motivé, encouragé et poussé pour terminer ce travail quand c'était nécessaire : **ma famille**, M<sup>elle</sup> Adjiri Fatima, M<sup>elle</sup> Chouia Radia, M<sup>elle</sup>. Brahimi Hibat-allah et M<sup>me</sup>. Souffi Ibtissem trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.*

*Je demande enfin à toutes les personnes sollicitées dans le cadre de ce travail de trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et de mes remerciements les plus chaleureuses.*

---

## LISTE DES PUBLICATIONS

---

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Chalard Pierre, Figueredo Gilles. 2017. Phytochemical investigations and antibacterial and antioxidant properties of *Thymelaea microphylla* essential oil. Indian Research Journal of Pharmacy and Science, 15: 1205-1215.

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud, Chalard Pierre, Figueredo Gilles. 2019. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Thymelaea hirsuta* from Algeria. Journal of BIODIVERSITAS, 20 (9) : 2868-2876.

---

## LISTE DES COMMUNICATIONS

---

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2016. Valorisation de la Biodiversité végétale dans une zone steppique d'El Haourane (M'sila, Algérie). 1<sup>st</sup> Séminaire Internationale sur la Biodiversité et la gestion des ressources naturelles, 19 - 20 Avril 2016. Université Mohamed-Chérif Messaâdia Souk Ahras.

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2016. Valorisation de la biodiversité végétale d'intérêt médicinale, penser pour le développement durable dans la région de Boussaâda et M'sila. Journée mondiale de la Biodiversité. Université Med Boudiaf (M'sila), Mai (2016).

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2017. Contribution à l'étude ethnobotanique des plantes médicinales d'une zone aride à M'sila : Cas du Chott El Hodna et la Réserve de Mergueb (Algérie). 5<sup>ème</sup> Exposition d'Ethnobotanique et 6<sup>ème</sup> Atelier d'Initiation à la Phytothérapie.4 et 5 Novembre 2017, El oued (Algérie).

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2017. Etude Ethnobotanique de quelques espèces endémiques chez quelques régions steppiques de l'Algérie. 28<sup>ème</sup> Forum Internationale des Sciences Biologiques et de Biotechnologie de l'ATSB, 24 au 27 Mars 2017 (Hammamet, Tunisie).

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2017. Valorisation et Conservation de la Biodiversité Végétale dans quelques régions arides et semi-arides d'Algérie .V<sup>ème</sup> Congrès Internationale de Biotechnologie et Valorisation des Bio-Ressources : AT-BVBR, 22 au 25 Mars 2017 (Tabarka, Tunisie).

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud.2018. Contribution à l'étude de la Flore endémique de la Réserve du Mergueb et Chott El Hodna (M'sila, Algérie). Séminaire National de Biologie, Environnement et Santé : 8 - 9 Octobre 2018. Université 20 Aout 1955 Skikda.

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2018. Valorisation de la Biodiversité végétale dans quelques parcours steppiques de l'Algérie : Djelfa et Boussaâda. Colloque internationale AGROSEM : 9 et 10 Décembre 2018.Université Mohamed Khider. Biskra (Algérie).

**Bounab Souhila**, Lograda Takia, Ramdani Messaoud. 2019. Valorisation des plantes d'intérêt médicinales du Djebel Messaad (Boussaâda, M'sila).Séminaire nationale de Biodiversité, Biologie médicale et Ecotoxicologie environnementale : 30 - 31 Octobre 2019 .Université 20 Aout 1955 Skikda.

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**Abs** = Absorbance.

**A.C.P** = Analyse en Composantes principales.

**A.F.C** = Analyse Factorielle de Correspondance.

**AFNOR** = Association Française de Normalisation.

**ANOVA** = Analyse de la Variance.

**APG III** = The Angiosperm Phylogeny Group.

**A.P.H.E** = Automne, Printemps, Hiver, Eté.

**A.T.C.C** = American Type Culture Collection.

**BHT** = Butylate Hydroxy toluène.

**CG/FID** = Chromatographe équipé d'un détecteur à ionisation de flamme.

**CG/SM**= Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrophotométrie de masse.

**C.H.U** = Centre Hospitalier Universitaire.

**CITES** = Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.

**CMS** = Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage.

**CPG** = Chromatographie en phase gazeuse.

**DMSO** = Diméthyle-sulfoxyde.

**DPPH** = 2, 2 diphényl-1-picrylhydrazyl.

**F.A.O** = Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**HE** = Huile essentielle.

**IC<sub>50</sub>** = Concentration inhibitrice médiane.

**IP** = Indice de perturbation.

**IP** = Inhibition Percentage.

**ISO** = International Organization for Standardization.

**KI** = Indice de Kovats.

**Log** = Logarithme décimal.

**LSD** = Least Significant Difference.

**INRAA** = Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

**ITAFV** = Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne.

**ITCMI** = Institut Technique des Cultures Maraîchères Industrielles.

**ITGC** = Institut Technique des Grandes Cultures.

**MAB** = Man And Biosphère.

**MATE** = Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

**PDA** = Potato dextrose agar.

**Ppm** = *Partie par million.*

**R** = Rendement.

**SO** = Sud-ouest.

***T. hirsuta*** = *Thymelaea hirsuta.*

***T. microphylla*** = *Thymelaea microphylla.*

**UICN** = Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

**UNESCO** = United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

**UPGMA** = Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means.

### **TYPES BIOLOGIQUES**

**Cha** = Chamaéphyte

**Géo** = Géophyte

**Hé** = Hémicryptophyte

**Pha** = Phanérophyte

**Thé** = Thérophyte

### **TYPES CHOROLOGIQUES**

**Alg -Tun** = Algéro-tunisienne

**Atl** = Atlantique

**Can** = Archipel des Îles Canaries (Espagne)

**Circumbor** = Circumboréale

**Circum-méd** = Circumméditerranéenne  
**Cosm** = Cosmopolite  
**End** = Endémique  
**End. A. N** = Endémique nord-africaine  
**End. Alg-Mar** = Endémique algéro-marocaine  
**End. Alg – Tun** = Endémique algéro-tunisienne  
**E- Méd** = Est méditerranéenne  
**Euras** = Eurasiatique  
**Eur -As** = Euro- asiatique  
**Euras -Méd** = Eurasiatique méditerranéenne  
**Euras N-A** = Eurasiatique nord-africain  
**Eur** = Européenne  
**Eur –Méd** = Euro-méditerranéenne  
**Euro –Sib** = Eurosibérienne  
**Ibéro -Maur** = Ibéromaurétanienne  
**Macar – Euras** = Macaronésienne eurasiatique  
**Macar -Méd** = Macaronésienne méditerranéenne  
**Mad** = Archipel de Madère (Portugal), inclus Ilhéus Salvages  
**Méd-As** = Méditerranéenne asiatique  
**Méd - Atl** = Méditerranéen-Atlantique  
**Méd** = Méditerranéenne  
**Méd- Irano-Tour.** = Méditerranéo irano touranienne.  
**Méd-Sah -Sind** = Méditerranéo saharo sindienne  
**N-A** = Afrique du nord  
**Oro -Méd** = Oroméditerranéenne  
**Oro - W. Méd** = Oro-west méditerranéenne  
**Paléo –bor** = Paléoboréale  
**Paléo-temp** = Paléo-tempéré  
**Sah** = Saharien.

**Sah -Sind** = Saharo sindique

**Sub - Cosm** = Sub - Cosmopolite

**Sub – Méd** = Subméditerranéenne

**Trop** =Tropicale

**W . Eur** = West européenne

**W. Méd** = West méditerranéenne

### **NOMS DES AUTEURS**

**Bal** = Balansa

**B ou Batt** = Battandier

**Boiss** = Boissier

**B et R ou Boiss et Reut.** = Boissier et Reuter

**B et B ou Bon et Bar** = Bonnet et Barrate

**Chab** = Chabert

**Coss** = Cosson

**Deb** = Debeaux

**Desf** = Desfontaines

**Dur** = Durieu

**E ou Emb** = Emberger

**F** = Faure

**F.Q** = Font Quer

**G ou Gatt** = Gattefossé

**Hoch** = Hochreutiner

**J ou Jah** = Jahandiez

**Letourn** = Letourneux

**Lit** = Litardiére

**L** = Linnée

**Murb** = Murbeck

**M** = Maire

**Stein** = Steinheil

**Trab** = Trabut

**We** = Weiller

**Wi** = Wilezeck

---

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b> : Montage hydrodistillation, type Clevenger .....	16
<b>Figure 2</b> : Position systématique des Thymelaeaceae d'après APG(1998).....	25
<b>Figure 3</b> : Répartition géographique de Thymelaea (Galicia-herbada, 2006) .....	29
<b>Figure 4</b> : Localisation des forêts de Dréat et Ouanougha .....	33
<b>Figure 5</b> : Sites échantillonnés dans les forêts de Dréat et Ouanougha .....	41
<b>Figure 6</b> : <i>Thymelaea hirsuta</i> (L).Endl.....	46
<b>Figure 7</b> : Distribution de <i>Thymelaea hirsuta</i> dans le monde .....	47
<b>Figure 8</b> : <i>Thymelaea microphylla</i> Coss et Dur .....	48
<b>Figure 9</b> : Distribution de <i>Thymelaea microphylla</i> dans l'Afrique du nord.....	49
<b>Figure 10</b> : Localisation des populations échantillonnées (Systèmes coordonnées GCS WGS 1984).....	51
<b>Figure 11</b> : Technique de diffusion sur gélose par la technique des disques .....	56
<b>Figure 12</b> : La forme réduite DPPH et la forme radical DPPH*.....	58
<b>Figure 13</b> : Représentation graphique des familles botaniques dans les forêts de Dréat et d'Ouanougha .....	63
<b>Figure 14</b> : Spectre biologique des forêts de Dréat et Ouanougha .....	64
<b>Figure 15</b> : Spectre biogéographique des forêts de Dréat et Ouanougha .....	68
<b>Figure 16</b> : Variations des indices ( $H'$ , $H'_{max}$ , E) dans chaque site d'étude.....	72
<b>Figure 17</b> : Représentation des espèces végétales sur le plan factoriel 1 x 2.....	75
<b>Figure 18</b> : AFC de la répartition des espèces végétales des stations étudiées sur le plan 1x2.....	78
<b>Figure 19</b> : AFC de la répartition des relevés floristiques des stations étudiées.....	80
<b>Figure 20</b> : Chromatogramme de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	84
<b>Figure 21</b> : Les classes chimiques de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	87
<b>Figure 22</b> : Variation de la concentration des composés chimiques des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> .....	88
<b>Figure 23</b> : Cercle des corrélations, projection des variables sur le plan 1x 2.....	89
<b>Figure 24</b> : Cercle des corrélations, projection des variables sur le plan 1x 3.....	90
<b>Figure 25</b> : Projection des populations de l'espèce <i>T. hirsuta</i> sur le plan 1x 2.....	91
<b>Figure 26</b> : Projection des populations de l'espèce <i>T. hirsuta</i> sur le plan 1x 3.....	92

<b>Figure 27 :</b> Projection spatiale des populations de <i>T. hirsuta</i> .....	<b>93</b>
<b>Figure 28 :</b> U.P.G.M.A des populations de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> (M'sila) .....	<b>94</b>
<b>Figure 29 :</b> U.P.G.M.A des populations de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	<b>96</b>
<b>Figure 30 :</b> Chromatogramme de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> .....	<b>97</b>
<b>Figure 31 :</b> Pourcentages des composés chimiques des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> .....	<b>99</b>
<b>Figure 32 :</b> Les classes chimiques de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> .....	<b>100</b>
<b>Figure 33 :</b> Variations des diamètres d'inhibition de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> par rapport aux sites d'échantillonnage.....	<b>106</b>
<b>Figure 34 :</b> Variations des diamètres d'inhibition de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> par rapport aux sites d'échantillonnage.....	<b>109</b>
<b>Figure 35 :</b> Optimisation des conditions de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> par la fonction de désirabilité .....	<b>111</b>
<b>Figure 36 :</b> Optimisation des conditions de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> par la fonction de désirabilité .....	<b>113</b>
<b>Figure 37 :</b> Variations des zones d'inhibition de l'activité antifongique des populations de <i>T. hirsuta</i> .....	<b>118</b>
<b>Figure 38 :</b> Variations des zones d'inhibition de l'activité antifongique des populations de <i>T. microphylla</i> .....	<b>121</b>
<b>Figure 39 :</b> Optimisation des conditions de l'activité antifongique de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> par le test de désirabilité .....	<b>122</b>
<b>Figure 40 :</b> Optimisation des conditions de l'activité antifongique de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> par le test de désirabilité .....	<b>124</b>
<b>Figure 41 :</b> Variations du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> et de BHT .....	<b>128</b>
<b>Figure 42 :</b> Variations du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> et de BHT .....	<b>129</b>

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1</b> : Les données pluviométriques de la zone d'étude (1988-2016) .....	<b>35</b>
<b>Tableau 2</b> : Le régime saisonnier de la zone d'étude (1988-2016).....	<b>36</b>
<b>Tableau 3</b> : Les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (°C) de la zone d'étude.....	<b>37</b>
<b>Tableau 4</b> : Le quotient pluviothermique d'Emberger (Q2) de la zone d'étude.....	<b>39</b>
<b>Tableau 5</b> : Caractérisation des sites échantillonnés des forêts de Dréat et Ouanougha ....	<b>40</b>
<b>Tableau 6</b> : Coordonnées géographiques des populations échantillonnées .....	<b>60</b>
<b>Tableau 7</b> : Composition floristique en familles, genres et espèces des forêts de Dréat et d'Ouanougha .....	<b>62</b>
<b>Tableau 8</b> : Types biologiques des forêts de Dréat et Ouanougha.....	<b>64</b>
<b>Tableau 9</b> : Indice de perturbation des stations étudiées dans les forêts de Dréat et d'Ouanougha .....	<b>65</b>
<b>Tableau 10</b> : Types biogéographiques de la flore de Dréat et Ouanougha .....	<b>66</b>
<b>Tableau 11</b> : Résultats quantitatifs de la diversité floristique de chaque station .....	<b>71</b>
<b>Tableau 12</b> : Valeurs propres de dimensions quantitatives de la végétation .....	<b>74</b>
<b>Tableau 13</b> : Taux d'inertie des 10 premiers axes .....	<b>77</b>
<b>Tableau 14</b> : Rendements en huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> et <i>T. microphylla</i> .....	<b>83</b>
<b>Tableau 15</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	<b>85</b>
<b>Tableau 16</b> : Chémotypes des populations de <i>T. hirsuta</i> dans la région de M'sila.....	<b>94</b>
<b>Tableau 17</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> .....	<b>98</b>
<b>Tableau 18</b> : Diamètres d'inhibition (mm) de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> et <i>T. microphylla</i> .....	<b>103</b>
<b>Tableau 19</b> : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> dans l'activité antibactérienne .....	<b>104</b>
<b>Tableau 20</b> : Effet des dilutions de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> sur la zone d'inhibition des bactéries testées.....	<b>105</b>
<b>Tableau 21</b> : Efficacité des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> provenant de plusieurs sites d'échantillonnage contre huit espèces de bactéries .....	<b>106</b>
<b>Tableau 22</b> : Groupes de sensibilité des bactéries testées aux huiles essentielles de	

<i>T. hirsuta</i> .....	107
<b>Tableau 23</b> : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> .	108
<b>Tableau 24</b> : Effet des dilutions des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> sur la zone d'inhibition des bactéries testés.....	108
<b>Tableau 25</b> : Efficacité des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> provenant de quatre sites d'échantillonnage contre huit espèces de bactéries .....	109
<b>Tableau 26</b> : Groupes de sensibilité des bactéries testées aux huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> .....	110
<b>Tableau 27</b> : Diamètres d'inhibition (mm) de l'activité antifongique des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> et <i>T. microphylla</i> .....	115
<b>Tableau 28</b> : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> dans l'activité antifongique .....	116
<b>Tableau 29</b> : Effet des dilutions d'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> sur la zone d'inhibition des souches fongiques testées .....	117
<b>Tableau 30</b> : Efficacité des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> provenant de plusieurs sites d'échantillonnage contre deux souches fongiques .....	117
<b>Tableau 31</b> : Groupes de sensibilité des souches fongiques testées aux huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> .....	118
<b>Tableau 32</b> : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> dans l'activité antifongique .....	119
<b>Tableau 33</b> : Effet des dilutions d'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> sur la zone d'inhibition des souches fongiques testées .....	119
<b>Tableau 34</b> : Efficacité des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> provenant de quatre sites d'échantillonnage contre deux souches fongiques.....	120
<b>Tableau 35</b> : Groupes de sensibilité des souches fongiques testées aux huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> .....	121
<b>Tableau 36</b> : Résultats de l'activité antioxydante des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> , de <i>T. microphylla</i> et celle de BHT .....	127
<b>Tableau 37</b> : Valeurs des CI50 des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> , de <i>T. microphylla</i> et celle de BHT .....	129

---

## ANNEXES

---

### ANNEXE « 1 »

#### LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : La liste floristique de la zone d'étude .....	<b>2</b>
<b>Tableau 2</b> : Les indices de la Biodiversité dans chaque site d'étude .....	<b>16</b>

### ANNEXE « 2 »

#### LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Activité anti-radicalaire des huiles essentielles de <i>T. hirsuta</i> et celle de la BHT..	<b>19</b>
<b>Figure 2</b> : Activité anti-radicalaire des huiles essentielles de <i>T. microphylla</i> et celle de la BHT .....	<b>20</b>

---

## TABLE DE MATIERE

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
---------------------------	----------

---

### CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

---

<b>PARTIE I – LA BIODIVERSITE</b> .....	<b>4</b>
1. Généralités sur la Biodiversité .....	<b>4</b>
2. La biodiversité végétale en Algérie .....	<b>5</b>
3. Les menaces de la biodiversité en Algérie.....	<b>5</b>
4. Les stratégies de gestion et la conservation de la diversité biologique en Algérie...6	
4.1. Conservation <i>in situ</i> .....	<b>6</b>
4.2. La conservation <i>ex-situ</i> .....	<b>7</b>
5. La biodiversité dans la région de Hodna .....	<b>8</b>
<b>PARTIE II – LA PHYTOCHIMIE</b> .....	<b>10</b>
1. Les Huiles essentielles .....	<b>10</b>
1.1. Définition .....	<b>10</b>
1.2. Localisation des huiles essentielles dans la plante.....	<b>10</b>
1.3. Domaines d'utilisation des huiles essentielles.....	<b>11</b>
1.3.1. Phytothérapie .....	<b>11</b>
1.3.2. Industrie cosmétique .....	<b>11</b>
1.3.3. Industrie agro-alimentaire.....	<b>11</b>
1.4. Composition chimique des huiles essentielles.....	<b>12</b>
1.4.1. Les terpénoïdes .....	<b>12</b>
1.4.2. Les monoterpènes .....	<b>13</b>
1.4.3. Les sesquiterpènes .....	<b>13</b>
1.4.4. Les Diterpènes .....	<b>13</b>
1.4.5. Triterpènes (C <sub>30</sub> ) .....	<b>13</b>
1.4.6. Tétraterpènes ou polyterpènes (C <sub>40</sub> ) .....	<b>14</b>
1.5. Les composés aromatiques .....	<b>14</b>

1.6. Composés d'origines divers .....	14
2. La notion de Chémotype .....	14
3. Les méthodes d'extraction des huiles essentielles .....	15
3.1. L'hydrodistillation .....	16
3.2. Distillation par entraînement à la vapeur d'eau .....	17
3.3. La percolation ou l'hydrodiffusion.....	17
4. Les principales techniques d'analyses des huiles essentielles .....	17
4.1. La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) .....	17
4.2. Chromatographie en phase gazeuse / Spectrométrie de masse (GC / SM) .....	18
5. Facteurs de variabilité des huiles essentielles .....	19
5.1. Les facteurs d'origine géographique.....	19
5.2. Les conditions environnementales .....	19
5.3. Le mode d'extraction .....	20
5.4. L'origine botanique.....	20
5.5. L'organe producteur .....	20
6. Les activités biologiques des huiles essentielles.....	20
6.1. Activités antibactériennes .....	20
6.2. Activités antifongiques .....	21
6.3. Activités antioxydantes.....	22
<b>PARTIE III - LA FAMILLE DES THYMELAEACEAE .....</b>	<b>24</b>
1. Présentation botanique de la famille des <i>Thymelaeaceae</i> .....	24
2. Position systématique des Thymelaeaceae .....	24
3. Ethnobotanie des Thymelaeaceae .....	26
4. Composition chimique des Thymelaeaceae.....	27
5. Toxicité des Thymelaeaceae .....	28
6. Le genre <i>Thymelaea</i> .....	28
6.1. Généralités .....	28
6.2. Ethnobotanies du genre <i>Thymelaea</i> .....	29
6.3. Ethnobotanies de <i>Thymelaea hirsuta</i> et <i>Thymelaea microphylla</i> .....	30
6.4. Etude biologique de <i>Thymelaea hirsuta</i> et <i>Thymelaea microphylla</i> .....	30
6.5. Composition chimique du genre <i>Thymelaea</i> .....	31
6.6. Composition chimique de <i>Thymelaea hirsuta</i> et <i>Thymelaea microphylla</i> ...	31

---

## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

---

<b>PARTIE I - ETUDE DE LA BIODIVERSITE VEGETALE DANS LA REGION DU HODNA</b> .....	<b>33</b>
1. Description du milieu d'étude.....	<b>33</b>
1.1. Cadre climatique .....	<b>34</b>
1.1.1. Les précipitations .....	<b>34</b>
1.1.2. Régime saisonnier des précipitations.....	<b>35</b>
1.1.3. Les températures .....	<b>36</b>
1.2. Cadre bioclimatique .....	<b>38</b>
2. Stations et Echantillonnage .....	<b>39</b>
3. Identification des espèces .....	<b>42</b>
4. Analyse des données floristiques .....	<b>42</b>
4.1. Composition floristique .....	<b>42</b>
4.2. Indices de diversité biologique de la flore .....	<b>42</b>
4.2.1. La richesse spécifique (S) .....	<b>43</b>
4.2.2. Fréquence centésimale (F) .....	<b>43</b>
4.2.3. Indice de diversité de Shannon (H') .....	<b>43</b>
4.2.4. Diversité maximale (H' <sub>max</sub> ).....	<b>43</b>
4.2.5. Indice de Simpson (C) .....	<b>44</b>
4.2.6. Indice de perturbation .....	<b>44</b>
<b>PARTIE II - ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES</b> .....	<b>45</b>
I-Matériel végétal.....	<b>45</b>
1. <i>Thymelaea hirsuta</i> (L). Endl .....	<b>45</b>
1.1. Description botanique .....	<b>45</b>
1.2. L'aire de répartition et habitat .....	<b>46</b>
1.3. Position systématique .....	<b>47</b>
2. <i>Thymelaea microphylla</i> Coss et Dur.....	<b>47</b>
2.1. Description botanique .....	<b>48</b>
2.2. L'aire de répartition et habitat .....	<b>48</b>
2.3. Position systématique .....	<b>49</b>

II – Echantillonnage.....	49
III – Méthodes.....	52
1. Extraction des huiles essentielles.....	52
2. Le rendement .....	52
3. Détermination de la composition chimique .....	52
4. Activités biologiques .....	54
4.1. Activité antibactérienne .....	54
4.1.1. Préparation des milieux de culture.....	54
4.1.2. Préparation des dilutions des HEs .....	55
4.1.3. Préparation de l'inoculum.....	55
4.1.4. L'ensemencement et dépôt des disques .....	55
4.1.5. Incubation et expression des résultats.....	55
4.2. Activité antifongique .....	57
4.3. Activité antioxydante .....	57
4.3.1. Le test du DPPH .....	57
4.3.2. Mode opératoire.....	58
5. Techniques numériques d'analyse des données .....	59
5.1. Technique statistique Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means (UPGMA) .....	59
5.2. Analyse en Composantes Principales (A.C.P).....	60
5.3. Analyse factorielle des correspondances (A.F.C).....	60
5.4. Analyse de la variance (ANOVA).....	60
5.5. Test de fonction de désirabilité.....	61

---

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

---

<b>PARTIE I - ETUDE DE LA BIODIVERSITE VEGETALE DANS LA FORET DE DREAT ET D'OUANOUGHA .....</b>	<b>62</b>
I- Résultats de l'étude floristique.....	62
II-Mesure de la Biodiversité .....	70
1. Evaluation quantitative de la diversité floristique .....	70
2. Analyse Multi-variées.....	73

2.1. Analyse en composante principale de la diversité biologique (A.C.P) .....	73
2.2. Analyse Factorielle de Correspondance (A.F.C) .....	76
<b>PARTIE II - ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES DE</b>	
<b><i>Thymelaea hirsuta</i> ET <i>Thymelaea microphylla</i> .....</b>	<b>82</b>
I. Rendement en huiles essentielles .....	82
II. Etude phytochimique des huiles essentielles .....	83
1. Etude de l'huile essentielle de <i>Thymelaea hirsuta</i> .....	83
2. Analyse en composantes principales des huiles essentielles des populations de	
<i>Thymelaea hirsuta</i> (A.C.P) .....	88
2.1. Matrice de corrélation .....	88
2.2. Cercle des corrélations.....	89
2.3. Etude des populations de l'espèce <i>T. hirsuta</i> .....	90
3. Analyse UPGMA.....	93
4. Chémotypes de <i>Thymelaea hirsuta</i> .....	95
5. Etude de l'huile essentielle de <i>Thymelaea microphylla</i> .....	96
III. Activités biologiques .....	102
1. Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de <i>Thymelaea hirsuta</i> et	
<i>Thymelaea microphylla</i> .....	102
1.1. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	104
1.2. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> .....	107
1.3. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de <i>Thymelaea hirsuta</i> .....	110
1.4. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de <i>Thymelaea microphylla</i> .....	112
2. Activité antifongique .....	114
2.1. Activité antifongique des huiles essentielles de <i>Thymelaea hirsuta</i> et	
<i>Thymelaea microphylla</i> .....	114
2.2. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>T. hirsuta</i> .....	116
2.3. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de <i>T. microphylla</i> .....	119
2.4. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de <i>Thymelaea hirsuta</i> .....	122
2.5. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de <i>Thymelaea microphylla</i> .....	123
3. Evaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de <i>Thymelaea hirsuta</i> et	
<i>Thymelaea microphylla</i> .....	126
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>132</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>136</b>
<b>ANNEXES</b>	

# **INTRODUCTION**

### **INTRODUCTION**

La biodiversité est le tissu vivant de notre planète, résultat de la longue histoire de la Terre et de l'évolution du monde vivant qui s'étale sur plusieurs milliards d'années. Ce terme a été vulgarisé dans le Sommet de la Terre sur l'environnement et le développement durable, organisé par les Nations Unies en 1992 à Rio de Janeiro où il désigne tout simplement la variété des espèces vivantes qui peuplent la biosphère. Aujourd'hui, il est devenu le cadre de réflexion et de discussion des questions posées par les relations que l'homme entretient avec les autres espèces et les milieux naturels.

La biodiversité végétale méditerranéenne est le produit d'une paléogéographie complexe et mouvementée, mais aussi d'une utilisation traditionnelle et harmonieuse du milieu par l'homme (Iboukassene, 2008).

Dans un contexte mondial de préservation de la biodiversité, l'étude de la flore du bassin méditerranéen présente un grand intérêt, vu sa grande richesse liée à l'hétérogénéité de facteur historique, paléogéographique, paléo-climatique, écologique et géologique qui la caractérisent, ainsi qu'à l'impact séculaire de la pression anthropique (Quezel et *al.*, 1980).

La forêt méditerranéenne vu son importante biodiversité fait d'elle l'une des régions du monde les plus renommées par l'existence des aires protégées et des parcs naturels, alors que son riche potentiel en matière de produits fournis pourrait conduire à l'épuisement des ressources et au déclenchement de conflits entre divers usagers (Houée, 1996).

Les substances naturelles d'origine végétale sont très recherchées en raison de leurs activités biologiques nombreuses qui donnent des effets positifs sur la santé. Ces activités comprennent entre autres des activités antivirales, antibactériennes, antifongiques, insecticides, antipaludiques, antioxydantes et anticancéreuses. La valorisation scientifique de la médecine traditionnelle doit conduire notamment à la mise au point de médicaments à base de plantes.

En se référant aux études de Quezel et Santa (1962-1963), la flore algérienne compte 3139 espèces végétales dont 1300 sont remarquables par leur faible fréquence, et plus de 600 espèces endémiques parmi lesquelles : 197 purement algériennes, 104 algéro-marocaines, 50 algéro-tunisiennes, 165 maghrébines et 64 sahariennes. Par ailleurs, il existe 130 espèces et sous espèces alimentaires, 504 espèces fourragères et plus de 626 espèces médicinales à lesquelles s'ajoutent une tradition séculaire d'utilisation traditionnelle de ces plantes.

Cette richesse et cette originalité font que l'étude de la flore algérienne présente un intérêt scientifique fondamental pour la connaissance et le savoir-faire dans le domaine de l'ethnobotanique, de la pharmacopée traditionnelle mais également un intérêt scientifique appliqué dans le domaine de la valorisation des ressources phytogénétiques.

Le genre *Thymelaea* (Thymelaeaceae) englobe en environ 31 espèces présentes en Algérie avec 8 espèces (Quezel et Santa, 1962-1963). De nombreuses espèces de ce genre qui a montré des activités biologiques et ont fait l'objet d'investigations phytochimiques. Ces études ont montrés une richesse en métabolites secondaires bioactifs. Parmi les espèces de ce genre *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur.

Les travaux consacrés à la connaissance de la biodiversité floristique de la région du Hodna et en particulier celle de M'sila où se trouve les forêts de Dréat et Ouanougha sont peu nombreux. Nonobstant les études réalisées sur la description de la flore hodnannéene de façon générale en particulier les travaux de Kaabeche (1990,1996 et 1998) signalent la présence d'une biodiversité assez riche et surtout originale pour la région. M'sila est l'une des régions du pays connue pour sa richesse en plantes médicinales et aromatiques favorisée par sa position géographique et son climat semi-aride, mais qui reste encore méconnue par les uns et les autres.

Pour ces raisons, notre étude est viser à :

- 1- Faire l'inventaire floristique dans les massifs forestiers Dréat et Ouanougha.
- 2- Connaitre la composition chimique et évaluer les activités antibactériennes, antifongiques et antioxydantes des huiles essentielles issus des parties aériennes de deux plantes *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur récoltée à M'sila.

Le manuscrit de la thèse s'articule comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique mettant l'accent sur les notions de la Biodiversité en Algérie et en particulier Hodna. En second lieu, des généralités sur les huiles essentielles et en fin une description générale sur la famille des Thymelaeaceae.

Dans le deuxième chapitre, nous développons le matériel et les méthodes qui sont répartis en deux parties :

- La première partie est consacrée à la présentation de l'aire d'étude de la végétation (Dréat et Ouanougha) et faire l'analyse de la biodiversité en se basant sur des calculs des indices de la biodiversité (Richesse spécifique, indice de Shannon-Wiener, indice d'équitabilité,...).

- La deuxième partie du matériel et méthodes est destinée à :
  - ✓ Description générale des plantes médicinales choisies à l'étude phytochimique.
  - ✓ L'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation et l'analyse phytochimique par CPG / SM.
  - ✓ L'évaluation des activités biologiques des huiles essentielles des deux plantes étudiées :
    - 1- L'étude des activités antibactériennes et antifongiques par la technique de diffusion.
    - 2- L'étude du pouvoir antioxydant des huiles essentielles par le test de DPPH.

Dans le troisième chapitre nous détaillons les résultats d'études de la flore et les mesures des différents indices de la biodiversité des deux massifs forestiers Dréat et Ouanougha, ainsi l'exposition des résultats des tests biologiques (Activité antibactérienne, antifongique et antioxydante) des deux plantes de Thymelaeaceae *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur.

À la lumière de ces résultats, nous abordons une discussion afin d'expliquer les avantages des tests biologiques réalisés et d'interpréter l'action antimicrobienne des composés actifs. Enfin, nous présenterons la conclusion de ce travail avec différentes perspectives de recherche qui seront évoquées.

# **CHAPITRE I**

## **SYNTHÈSE**

### **BIBLIOGRAPHIQUE**

## **PARTIE I – LA BIODIVERSITE**

### **1. Généralités sur la Biodiversité**

La biodiversité résulte d'une évolution biologique façonnée pendant des milliards d'années, au gré de processus naturels et en partie sous l'influence des êtres humains depuis leur apparition. Actuellement la biodiversité est un enjeu majeur en écologie, à la fois concernant son rôle dans les écosystèmes, son déterminisme et sa valorisation dans le domaine de la préservation de l'environnement.

Le terme biodiversité est un néologisme apparu au début des années 1970 au sein de l'union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN).

A partir des publications de Wilson (1988), la forme contractée de Biodiversité apparaît. Elle a été vulgarisée dans le Sommet de la Terre sur l'environnement et le développement durable, organisé par les Nations Unies en 1992 à Rio de Janeiro, où il désigne tout simplement la variété des espèces vivantes qui peuplent la biosphère (Blandin, 2010).

Plusieurs définitions ont été proposées pour donner un sens au terme de diversité biologique, selon l'article « 2 » de la convention sur la diversité biologique (1992) comme étant la « Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres systèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ».

La biodiversité est devenue au cours des dernières années l'une des préoccupations majeures en matière d'environnement, de multiples programmes de recherche nationaux et internationaux ont abordés la question, donnant naissance à une littérature considérable.

Le déclin de la diversité biologique est l'un des dangers les plus graves qui menacent la planète. La pression humaine est en train de dégrader la biosphère par une combinaison de destruction d'habitat, d'introduction d'espèces invasives, de pollution, d'expansion de la population humaine et la surexploitation. Cette pression, si elle n'est pas stoppé, est destiné, selon les chercheurs en biodiversité, à éliminer un quart des espèces survivantes toujours sur terre durant les cinq prochaines décennies (Wilson, 2007 ; Dajoz, 2008).

A la lumière de cette perte de biodiversité, l'union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a défini les catégories et les critères pour lister les espèces dans une liste rouge pour évaluer la menace sur la biodiversité (MATE, 2014).

## **2. La biodiversité végétale en Algérie**

L'Algérie occupe la septième position parmi les quatorze pays méditerranéen en biodiversité. Elle montre du Nord au Sud une série d'écosystèmes abritant une diversité d'habitats et une biodiversité spécifique très riche (Medjahdi, 2010).

Le bilan taxonomique actuel de la flore en Algérie demeure incomplet, il est réalisé sur la base des données bibliographiques, notamment les flores de Quezel et Santa (1962-1963), Ozenda (1977) ainsi que les travaux de Quezel (1964, 1976, 1978,1991), Quezel et Médail (1995), Le Houérou (1995) ; Dobignard et Châtelain (2010-2013). En Algérie, il n'existe pas de mise au point permettant d'avoir une idée précise de la richesse floristique. Les chiffres avancés par les auteurs sont très variables.

Dobignard et Châtelain (2010-2013) ont réalisées une synthèse bibliographique avec une nouvelle analyse synonymique critique. Ils ont recensés près de 4000 taxons indigènes pour l'Algérie et à peu près 500 taxons introduits à différents degrés cultivés, adventices et naturalisées.

Les taxons rares, tirés de l'analyse de la flore de Quezel et Santa (1962-1963) seraient au nombre de 1818 dont 1185 espèces, 455 sous-espèces et 178 variétés pour l'ensemble du territoire national.

Sept grands types d'écosystèmes ont été distingués en Algérie, les écosystèmes des zones humides, l'écosystème marin et littoral, les écosystèmes montagneux, les écosystèmes forestiers, les écosystèmes steppiques, les écosystèmes sahariens et les agroécosystèmes (MATE, 2014).

## **3. Les menaces de la biodiversité en Algérie**

La fragilité des écosystèmes se traduit par une vulnérabilité croissante des divers taxons constitutifs de la biodiversité en Algérie. La pression anthropique est telle, qu'un nombre important de taxons menacés est aujourd'hui répertorié sur les listes internationales (CITES, CMS, UICN).

Tous les écosystèmes naturels, ont subi des destructions à différents degrés. Les écosystèmes les plus endommagés sont les milieux dulçaquicoles et les milieux littoraux marins (Bakalem, 2012 ; Bouroumi, 2014), ainsi que les forêts et les zones humides continentales.

Ces milieux se caractérisent par une diminution de leurs superficies et de leurs biodiversités. Les écosystèmes terrestres les moins productifs, comme les zones steppiques sont parmi les plus surexploités et subissent également une diminution de leur biodiversité (MATE, 2014).

En Algérie, comme dans les pays en voie de développement, les ressources naturelles non renouvelables (Sol, eau et végétation), ou difficilement renouvelables et qui contribuent énormément à l'accroissement de l'économie de chaque pays, sont dans un état de dégradation avancé. C'est surtout dans les milieux fragiles, à cause de la pauvreté et sous le poids de la croissance démographique, que les altérations les plus accentuées se localisent. Les forêts qui connaissent une régression progressive, les sols qui perdent leurs fertilités qui entraînent une réduction de la production végétale et une diminution de leur potentiel agronomique (Terras, 2011 ; Kefifa, 2013).

L'accroissement des processus anthropiques représente à l'heure actuelle un facteur majeur de dégradation du sol et de la végétation en région méditerranéenne, accentué par une péjoration du climat « sécheresse périodique ».

La protection des espèces en Algérie est fixée selon le Décret exécutif n° 12 - 03 du 4 Janvier 2012 (Journal officiel). Le nombre d'espèces protégées atteint 546 dont 452 spermaphytes. Les espèces menacées appartiennent à 63 familles et 166 genres (Agence National de la protection de la Nature ,1993 ; UICN, 2008).

#### **4. Les stratégies de gestion et la conservation de la diversité biologique en Algérie**

La notion de protection de la biodiversité en Algérie est contenue pour la première fois dans l'esprit de la charte nationale de 1976.

Une nouvelle vision s'impose et une stratégie pour la conservation des patrimoines naturels, il s'agit de deux politiques de conservation de la biodiversité l'une est la conservation *in situ* et l'autre est la conservation *ex situ*.

##### **4.1. Conservation *in situ***

L'approche en termes de conservation *in situ* est privilégiée depuis plusieurs décennies. Elle apparaît comme la solution idéale puisqu'elle maintient les espèces dans leur écosystème en conservant leur potentiel évolutif, et dans la mesure où elle permet la conservation d'écosystèmes entiers (Organismes et interactions).

En Algérie, un vaste réseau d'aires protégées est aujourd'hui en place et couvre déjà plus de 36,5 % du territoire national, soit 86 593 065 Ha, en intégrant la plupart des écosystèmes du pays. Le taux atteint va bien au-delà de l'objectif retenu par la Convention (10 %). En outre, le MATE a identifié 33 sites remarquables représentant différents écosystèmes.

Parmi les 24 aires protégées mises en place, on compte :

- 11 parcs nationaux réparties en parcs côtiers (El Kala, Gouraya et Taza), en parcs des zones de montagnes (Théniet El Had, Djurdjura, Chréa, Belezma, Tlemcen), en parcs des zones Steppiques (Djebel Aissa) et les parcs Sahariens (Parc national du Tassili et l'Ahaggar).
- 5 réserves naturelles (Mergueb, Babors, Béni-Salah, Réserve naturelle marine des Îles Habibas, Réserve naturelle de la Macta) et 4 réserves de chasse (Zéralda, Mascara, Djelfa et Tlemcen).
- 6 réserves du réseau de la biosphère (l'UNESCO - MAB) regroupent les parcs Nationaux de Chréa, d'El Kala, de Djurdjura, du Tassili, de Gouraya et Taza.

A ces aires protégées, ils s'ajoutent les 42 sites humides d'importance internationale classées selon la convention de Ramsar (Lac Tonga, chott el Hodna, Zehrez Chergui et Gharbi,...etc).

Ces aires protégées représentent une infime partie des zones susceptibles d'être retenues dans le cadre de la préservation des aires protégées en Algérie.

#### **4.2. La conservation *ex-situ***

Pour la conservation des plantes *ex situ*, dans la situation actuelle, seules quelques stations de conservation des taxons de l'agriculture existent en Algérie, elles relèvent d'institutions de recherche (ITCMI, ITAFV, ITGC).

La conservation *ex situ* s'avère nécessaire dans le cas de destruction d'habitats d'espèces rares ou en voie de disparition, ou pour préserver les semences. La conservation se réalise dans les jardins botaniques (Djelfa, Illizi, Laghouat et Tlemcen), les jardins zoologiques, les banques de gènes (INRAA), les conservatoires de variétés sauvages ou agricoles (Cultures et élevage) (MATE, 2014).

D'après le journal officiel (2009 et 2012), l'Algérie s'est dotée d'une législation très riche concernant la protection de la biodiversité. La législation et la réglementation nationale se sont enrichies par la promulgation des lois et décrets exécutifs qui étaient en voie d'élaboration depuis décennies, notons :

- Décret exécutif n° 93-285 du 9 Joumada Ethania 1414 correspondant au 23 Novembre 1993, complété, fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées.
- La loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- La loi n° 11-02 du 17 février 2011 relative aux aires protégées, dans le cadre du développement durable offre un arsenal législatif, pour l'encadrement de la gestion durable des aires protégées.

## **5. La biodiversité dans la région de Hodna**

Le mot El-Hodna signifie la brassée (Cuvette) dans un cadre montagneux. Elle fait partie de la zone des hautes plaines steppiques algériennes ; ces plaines sont encadrées par les Atlas telliens au Nord, saharien au Sud, d'Est en Ouest, sont constituées par un chapelet de bassin endoréique représenté par les montagnes, les zones steppiques, les chotts et les sebkhas (Mimoune, 1995).

Cette diversité écosystémique a fait l'objet de très peu d'études hormis certains travaux dont le but de connaître le patrimoine naturel de la région. Le Houérou (1969) et la F.A.O (1974) ont recensés environ 300 espèces végétales rencontrées, dans le versant nord des monts du Hodna et la steppe, se rattachant en 43 familles botaniques dont les mieux représentées sont celles des *Chenopodiaceae*, des *Asteraceae* , des *Brassicaceae* , des *Poaceae* et des *Papilionaceae*,secondairement , celles des *Caryophyllaceae* , des *Cistaceae*, des *Lamiaceae* et des *Apiaceae*.

Kaabeche (1990) a dénombré 550 taxons de spermaphytes dans la plaine d'El-Hodna de Boussaâda jusqu'au rive du Chott El-Hodna. En (1996) et (1998), le même auteur a inventorié 211 taxons de spermaphytes dans la réserve de Mergueb.

Suite aux études ethnobotaniques menées dans la région d'El-Hodna (M'sila), Sarri et *al.* (2015) ont réalisés un inventaire floristique dans la partie sud-est de la wilaya de M'sila. Ils ont identifiés 41 espèces appartenant à 37 genres et 24 familles botaniques avec une importance relative de la famille des *Lamiaceae*. Les espèces recensées sont utilisées dans la médecine traditionnelle telsque le traitement des maladies digestives, du rhumatisme et des maladies de la peau. Les espèces les plus utilisées par la population locale sont *Allium cepa*, *Artemisia herba alba*, *Juniperus phoenicea*, *Lavandula stoechas*, *Marrubium vulgare* et *Peganum harmala*.

Zedam et *al.* (2015) ont effectués un inventaire de la végétation au niveau de la région de M'cif dans sa partie sud du Chott El-Hodna. Ils ont dressés une liste de 116 espèces appartenant à 85 genres et 29 familles botaniques.

## **PARTIE II - LA PHYTOCHIMIE**

### **1. Les Huiles essentielles**

#### **1.1. Définition**

Le terme « huile essentielle » a été inventé au 16<sup>ème</sup> siècle par le médecin suisse Parascelsus Von Hohenheim afin de désigner le composant actif d'un remède naturel (El-Kalamouni, 2010).

Plusieurs auteurs ont définies les huiles essentielles comme un mélange de composés lipophiles, volatils et souvent liquides, synthétisés et stockées dans des structures cellulaires spécialisées (Rahili, 2002 ; Tenscher et *al.*, 2005).

Mais la définition la très proche est celle de la norme ISO 9235, l'huile essentielle est tout : « Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entrainement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition » (AFNOR, 1986).

#### **1.2. Localisation des huiles essentielles dans la plante**

Les huiles essentielles se rencontrent dans tout le règne végétal avec des familles à haute teneur en matières odorantes. Les genres riches en huile essentielle appartiennent aux familles de *Myrtaceae*, *Lauraceae*, *Rutaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Cupressaceae*, *Zingiberaceae*, etc.

Les huiles essentielles sont souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante. Ils peuvent être stockées dans tous les organes végétaux (Bruneton, 1993 ; Rahili, 2002 ; Tenscher, 2005 ; Loupy, 2006 et El - Kalamouni, 2010) :

- Les fleurs (Oranger, rose, lavande, menthe) ;
- Les feuilles (Eucalyptus, menthe, thym, laurier, sauge, aiguilles de pin, le basilic) ;
- Les organes souterrains : racines, rhizomes (Gingembre) ;
- Les fruits (Fenouil, poivre, épicarpes des citrus) ;
- Les graines (Noix de muscade, coriandre) ;
- Le bois et les écorces (Cannelle, camphrier, bois de rose) ;

- Les poils sécréteurs épidermiques qui s'accumulent dans des cellules glandulaires spécialisées, situées en surface de la cellule et recouvertes d'une cuticule rencontrés souvent chez les *Lamiaceae*, les *Myrtaceae* et les *Apiaceae* (Fahn, 1988).

### **1.3. Domaines d'utilisation des huiles essentielles**

Les huiles essentielles sont utilisées en aromathérapie, en pharmacologie, en parfumerie, en cosmétique et dans la conservation des aliments. Leur utilisation est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues.

#### **1.3.1. Phytothérapie**

Les huiles essentielles sont largement utilisées, dans le domaine de la phytothérapie, pour leurs propriétés antiseptiques contre les maladies infectieuses d'origine bactérienne. Par exemple, la listerine une solution constituée d'huile essentielle de thymol et d'eucalyptol possède une grande activité bactéricide sur les micro-organismes de la salive et de la plaque dentaire (Kato et *al.*, 1990 ; Carnesecchi, 2001). Certaines huiles essentielles possèdent également des propriétés cytotoxiques, des activités anti-inflammatoires et antivirales (Sourai, 1989 ; Kato et *al.*, 1990).

#### **1.3.2. Industrie cosmétique**

Les industries de la parfumerie et la cosmétique utilisent abondamment les substances odorantes volatiles pour l'élaboration des gammes de produits de plus en plus diversifiés : parfums, savons, laits, shampooings, pâtes et poudres, dentifrices,... (Borris, 1996 ; Vargas et *al.*, 1999).

#### **1.3.3. Industrie agro-alimentaire**

Les huiles essentielles entrent dans la composition des aliments sous formes d'aromates ou d'épices et parfois comme condiments pour réhausé le goût également les huiles de l'*Ocimums* (Basilic), du *Zingiber officinalis* (Gingembre), du *Petroselinum crispum* (Persil), des piper (Poivre), des extraits des citrus (Obame Engonga, 2009).

#### **1.4. Composition chimique des huiles essentielles**

Dans les plantes, les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs. Elles sont produites dans le cytoplasme des cellules sécrétrices (Brunetton, 1987).

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques très diverses. Plus de 60 molécules différentes peuvent entrer dans la composition chimique d'une huile essentielle. Les composés majoritaires peuvent représenter, à eux seuls, plus de 85 % de l'huile alors que d'autres composés ne sont présents qu'à l'état de traces (Senatore, 1996).

Ces constituants appartiennent à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, beaucoup moins fréquents, d'autre part (Brunetton, 1999 ; Baser et Buchbauer, 2010).

On rencontre également aussi des aldéhydes, des alcools monoterpéniques, des cétones, des époxydes monoterpéniques.

Parallèlement à ces terpènes, les dérivés du phénylpropane peuvent également exister, ils peuvent être accompagnés de leurs produits de dégradation comme les dérivés hydroxylés ou méthylés du benzaldéhyde ou de l'alcool benzylique.

Une partie des composants alcooliques et phénoliques peut être estérifiée avec des acides carboxyliques. Bien que généralement ces esters ne soient présents qu'en faible quantité, ce sont souvent eux qui déterminent la finesse caractéristique de l'odeur d'une huile essentielle. Les dérivés aliphatiques non ramifiés sont souvent sensibles à l'oxygène de l'air et leurs dérivés oxygénés, particulièrement les aldéhydes ou les cétones mais aussi les alcools, les époxydes, les esters d'acides carboxyliques, peuvent également être présents dans les huiles essentielles.

Les composés volatils contenant du soufre et / ou de l'azote, comme ceux présents dans le poireau ou la moutarde, sont parfois assimilés à des huiles essentielles (Tenscher et *al.*, 2005).

##### **1.4.1. Les terpénoïdes**

Les composés de type terpénique sont largement rencontrés dans les huiles essentielles, ils sont formés d'un multiple pair ou impair d'unités de 2-méthylbuta-1,3-diène ou appelé encore isoprène (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>).

On distingue ainsi selon le nombre d'entités isoprènes le groupe des monoterpènes ( $C_{10}H_{16}$ ), les sesquiterpènes ( $C_{15}H_{24}$ ), les diterpènes ( $C_{20}H_{32}$ ), les tétraterpènes de huit isoprènes qui conduisent aux caroténoïdes et les polyterpènes ( $C_5H_8$ ) n où n peut-être de 9 à 30 (Hernandez-Ochoa, 2005).

#### **1.4.2. Les monoterpènes**

Les monoterpènes sont des composés à 10 carbones ( $C_{10}H_{16}$ ), souvent volatils, aromatiques. Ils sont présents dans les huiles essentielles extraites de nombreuses plantes y compris les fruits, les légumes, les épices et les herbes. Ces composés contribuent à la saveur et arôme de la plante à partir de laquelle ils sont extraits (Loza-Tavera, 1999). Elles peuvent être :

- Acycliques (Myrcène, myrte, ocimène, sécoïdane,...)
- Monocycliques ( $\alpha$ -terpinène, p-menthane, iridane,...)
- Bi et tricycliques (Carene, pinene, bornane, camphène,...)

#### **1.4.3. Les sesquiterpènes**

Ce sont des dérivés d'hydrocarbures en  $C_{15}H_{24}$  (Assemblage de trois unités isoprènes). Ils s'agissent de la classe la plus diversifiée des terpènes. Elles présentent plusieurs catégories structurales : acycliques (Le farnésol), monocycliques (L'acide S (+)-abscissique), bicycliques (L' $\alpha$ -cadinène,...), tricycliques et polycycliques.

Ils se trouvent sous forme d'hydrocarbures ou d'hydrocarbures oxygénés comme les alcools, les cétones, les aldéhydes, les acides et les lactones dans la nature.

#### **1.4.4. Les Diterpènes**

Ce sont des composés terpéniques à 20 carbones. Ils se retrouvent dans la queue phytol des chlorophylles a et b, le tocophérol (Vitamine E) et la phylloquinone (Vitamine K1).

#### **1.4.5. Triterpènes ( $C_{30}$ )**

Ce sont des dérivés d'hydrocarbures aromatiques, elles regroupent des composés dérivés d'une unité à 30 carbones (Exemple : Squalène).

**1.4.6. Tétraterpènes ou polyterpènes (C<sub>40</sub>)**

C'est une famille de terpènes à 40 carbones, compte en particulier les caroténoïdes dont un pigment photosynthétique majeur (Le bêta-carotène) qui possède des propriétés anti-oxydantes.

Le caoutchouc naturel dont les précurseurs sont des stéroïdes, très répandus, notamment dans les résines, à l'état libre, estérifié, ou sous forme hétérosidique.

**1.5. Les composés aromatiques**

Ce sont les dérivés du phénylpropane (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>), ils sont beaucoup moins présents dans la composition de l'huile essentielle. Mais ils sont considérés comme un ensemble important car ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des huiles essentielles.

Très souvent, il s'agit des phénols (Eugénol, chavicol) qui sont présents dans l'huile essentielle de girofle (Eugénol), des alcools (Alcool cinnamique) qui sont très répandues dans l'huile essentielle Baume du Pérou, des aldéhydes (Cinnamaldéhyde) qui se trouvent dans l'huile essentielle de cannelle, des dérivés méthoxy (Anéthol, estragol, élémicine) comme l'huile essentielle de fenouil (Anéthole) ou méthylène dioxy (Apiole, myristicine, safrole) qui composent l'huile essentielle de persil (Apiole) (Mayer, 2012).

**1.6. Composés d'origines divers**

Lors de la préparation des huiles essentielles, certains composés aliphatiques, de faible masse moléculaire, sont entraînés lors de l'hydrodistillation. Ces produits peuvent être azotés, soufrés, des carotènes, des acides gras (Acide hexanoïque, acide dodécanoïque, acide hexadécanoïque,...etc), des alcools (Menthol, linalol, géraniol, bergamote), des aldéhydes (Géranial, citronellal), des esters (Acétate de géranyle), des cétones (Camphre, pipéritone) (Ghestem et al., 2001).

**2. La notion de Chémotype**

Le chémotype d'une huile essentielle est une référence précise qui indique le composant biochimique majoritaire ou distinctif, présent dans l'huile essentielle. Il permet de distinguer l'huile essentielle extraite d'une même variété botanique mais, d'une composition biochimique différente (Benayache, 2013).

Cette classification dépend des facteurs liés directement aux conditions de vie spécifiques de la plante à savoir le pays, le climat, le sol et la période de récolte qui peuvent influencer la composition de l'huile essentielle (Zhiri et *al.*, 2005).

Parmi les nombreux constituants d'une huile essentielle, l'un domine généralement, on l'appelle composé majoritaire et ça sera lui qui définit le chémotype de cette huile.

Le basilic cultivé en pleine lumière à Madagascar a un taux de chavicol de 57 % alors que la même plante cultivée à l'abri de la lumière contient 74 % (Franchomme et *al.*, 1990). Cette variabilité peut être influencée également par la composition du sol et la position géographique ; le *Lippia mutiflora* récoltée au Togo a révélé les chémotypes à citral, à thymol (Acétate de thymyle), à para-cymène et à 1 - 8 cinéole.

L'huile essentielle du genre *Thymus* possède des chémotypes à thymol, à geraniol, à carvacrol, à linalol (Cosentino et *al.*, 1999).

Ramdani et *al.* (2013) ont indiqués la présence de trois chémotypes à terpinolène, à  $\Delta^3$ -carène et à  $\beta$ -phellandrène chez les huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* de l'Est Algérien.

Plusieurs chémotypes ont été trouvées dans, à partir des études phytochimiques, les huiles essentielles de quelques espèces de l'Algérie *Pituranthos scoparius*, *Rosmarinus officinalis* et *Teucrium polium*.

L'étude des huiles essentielles de *Pituranthos scoparius* a détecté la présence de trois chémotypes à limonène, à l'apiole et à sabinène. L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* comprend quatre types de chémotypes à eucalyptol, à camphre, à  $\alpha$ -pinène et à camphène. Alors que, l'huile essentielle de *Teucrium polium* contient les chémotypes à  $\alpha$ -pinène,  $\beta$ -pinène,  $\alpha$ -cadinol, germacrène-D et myrcène (Lograda et *al.*, 2012, 2013 et 2014).

### **3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles**

La méthode qui a été utilisée pour l'extraction des huiles essentielles dans cette étude est la distillation. C'est le procédé le plus ancien et le mieux adapté pour extraire les essences des végétaux aromatiques. Les premières traces de l'emploi de la technique de distillation se retrouvent chez les Perses et les Egyptiens il y a près de 3000 ans. Par la suite, cette méthode fut transmise par les Arabes et enfin perfectionnée, plus récemment, par les maîtres grasseois. Les rendements en huiles essentielles de la distillation dépendent de la plante concernée. La technique d'extraction des huiles essentielles utilisant l'entraînement des substances aromatiques grâce à la vapeur d'eau est la plus utilisée à l'heure actuelle.

Il existe trois différentes méthodes utilisant ce principe, que Mikaël Zayat a déjà eu l'occasion de pratiquer au fil de son expérience : l'hydro-distillation, l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydro-diffusion.

### 3.1. L'hydrodistillation

Le principe de l'hydrodistillation (La méthode de Moritz) est celui de la distillation des mélanges binaires non miscibles. Elle se produit dans un appareil de type Clevenger et consiste à immerger la biomasse végétale dans un alambic rempli d'eau, que l'on porte ensuite à l'ébullition. La vapeur détruit la structure des cellules végétales, libère les molécules contenues et entraîne les plus volatiles en les séparant du substrat cellulosique.

La vapeur, chargée de l'essence de la matière première distillée, se condense dans le serpentín de l'alambic avant d'être récupérée dans un essencier (Vase de décantation pour les huiles essentielles). Les parties insolubles dans l'eau de condensation sont décantées pour donner l'huile essentielle surnageant.

La partie contenant les composés hydrosolubles est appelée eau de distillation (Ou hydrolat). Au laboratoire, nous avons utilisé un appareil de type Clevenger (Figure 1).



Figure 1 : Montage hydrodistillation, type Clevenger.

### **3.2. Distillation par entraînement à la vapeur d'eau**

La méthode la plus récente de distillation par entraînement à la vapeur d'eau, se base sur le même principe que l'hydrodistillation si ce n'est que la vapeur d'eau est injectée depuis une chaudière distincte de l'alambic de distillation. Cela permet d'éviter les altérations hydrolytiques (Particulièrement des esters) liées à l'ancien procédé de distillation ; ce qui constitue une nette amélioration quant à la qualité des huiles essentielles obtenues. L'essence aromatique, devenue huile essentielle en raison des transformations liées aux paramètres de la distillation (Oxygène, eau, vapeur d'eau et température), et l'eau distillée, circulant dans le serpentin de l'alambic, s'écoulent et se séparent dans l'essencier, un récipient muni de deux orifices. Celui du haut permet de recueillir l'huile essentielle, en général plus légère que l'eau, et celui du bas laisse s'écouler l'hydrolat.

### **3.3. La percolation ou l'hydrodiffusion**

C'est une méthode qui a été développée par la firme Suisse Schmidt (1981) et consiste à pulser la vapeur d'eau à très faible pression (0,02 - 0,15 bar) à travers la masse végétale, du haut vers le bas au lieu de bas en haut. Cette méthode présente, pour certaines plantes (Les conifères par exemple la cannelle), l'avantage d'être plus rapide et, par conséquent, moins susceptible de transformer la qualité des huiles essentielles recueillies.

Les substances obtenues sont chargées de composants non volatils, on parle alors dans ce cas d'essences de percolation et non d'huiles essentielles.

## **4. Les principales techniques d'analyses des huiles essentielles**

Une fois l'extrait le plus représentatif obtenu, l'analyse permet d'identifier et de quantifier les produits qui le composent, la séparation des composés s'effectue en général par plusieurs techniques, nous citons parmi-elles :

### **4.1. La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)**

La CPG est une méthode d'analyse par séparation qui s'applique aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition (Arpino et *al.*, 1995). C'est la technique de séparation la plus utilisée dans le domaine des huiles essentielles, car elle permet d'effectuer l'individualisation des constituants à partir d'échantillons de l'ordre du milligramme voire du microgramme (Harkati, 2011).

L'identification d'une substance peut être facilitée par la connaissance de son temps de rétention qui est une valeur caractéristique pour une phase stationnaire donnée. En effet, les temps de rétention de chaque composé dépendent des conditions expérimentales (Nature et épaisseur de la phase stationnaire, programmation de la température, état de la colonne etc...) (Sutour, 2010).

Les indices de rétention (IR) sont mesurés sur les colonnes apolaires et polaires, qui sont plus fiables que les temps de rétention (TR), et calculés à partir d'une gamme d'étalon d'alcane ou plus rarement d'esters méthyliques linéaires.

Ce calcul peut se faire pour une expérimentation à température constante par interpolation logarithmique : indices de Kováts (IK).

Les temps de rétention, bien que spécifiques d'un composé, ont tendance à varier d'une analyse à l'autre, notamment du fait du vieillissement des colonnes.

Les indices de rétention sont ensuite comparés avec ceux des produits de référence (Bibliothèque du laboratoire ou décrits dans la littérature).

Bien que la CPG reste l'une des techniques d'analyse la plus utilisée, car les temps de rétention donnent une information sur la nature des molécules et les aires des pics fournissent une quantification relative, l'identification des constituants d'une huile essentielle est difficilement réalisable uniquement par CPG. En effet, le temps de rétention, propre à chaque composé qui dépend des conditions opératoires (Nature de la phase stationnaire, programmation de la température, vieillissement de la colonne, etc.), ne représente pas une base suffisante pour une identification (Sutour, 2010).

Dans ce cas, pour rendre l'identification plus fiable des constituants des huiles essentielles, divers techniques du couplage entre la CPG et une technique d'identification spectroscopique de masse CPG / SM ont été développés.

#### **4.2. Chromatographie en phase gazeuse / Spectrométrie de masse (GC / SM)**

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse est une méthode d'analyse qui combine la séparation et l'identification afin d'identifier et / ou de quantifier précisément de nombreuses substances. La méthode est basée sur la séparation des constituants à l'aide de la CPG et leur identification par la spectrométrie de masse (Lafferty et *al.*, 1994 ; Constantin et *al.*, 1996 ; Bruneton, 1999 ; Bouderdara, 2013).

Le principe de cette méthode consiste à transférer, par le gaz vecteur (Phase mobile), les composés séparés par chromatographie en phase gazeuse dans le spectromètre de masse au niveau duquel, ils vont être fragmentés en ions de masse variables dont la séparation sera en fonction de leur masse (Bruneton, 1999).

L'identification est ensuite réalisée par comparaison des indices de rétention (IR) et des données spectrales (Spectres de masse) des constituants individualisés avec les caractéristiques de produits de référence contenus dans des bibliothèques de spectres informatisées construites au laboratoire ou commerciales (NIST, 1999 ; Adams, 2001).

## **5. Facteurs de variabilité des huiles essentielles**

Des travaux de recherche ont prouvés que la composition chimique des huiles essentielles est très différente quantitativement et qualitativement. En effet, elle dépend des variations d'ordre naturel (Génétique, localisation, maturité, sol, climat, etc...) ou technologique (Mode de culture ou d'extraction d'huile essentielle de la plante), dont nous citons :

### **5.1. Les facteurs d'origine géographique**

Cela permet de connaître l'environnement dans lequel grandit la plante et de caractériser ainsi l'huile essentielle obtenue (Bowes, 2003 ; Zahalka, 2010). Il y a des différences de composition chimique selon le pays d'origine.

La composition chimique des huiles essentielles d'une même plante grandissant dans des lieux différents avec changement de situation géographique (Altitude et latitude), avec variation de la nature du sol peut être différente (Bowes, 2003).

Par exemple, le thym vulgaire à géranjol ne produit cette molécule de géranjol qu'en hiver alors que l'acétate de géranyl la remplacera en été (Viaed, 1993).

### **5.2. Les conditions environnementales**

Selon les conditions environnementales, le profil chimique peut également être modifié. La qualité et la quantité de lumière, la température, l'indice de pluviométrie, les facteurs édaphiques et le stress, par exemple la contamination par des microorganismes conduisant à la synthèse de phytoalexines, sont autant de facteurs influençant la composition chimique d'une plante donnée (Tenscher et *al.*, 2005).

### **5.3. Le mode d'extraction**

Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de plusieurs paramètres tels que la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, l'usage de l'extrait et l'arôme du départ au cours de l'extraction (Samate, 2001).

### **5.4. L'origine botanique**

La composition d'une huile essentielle varie en fonction de l'espèce. En effet, l'extraction de l'huile essentielle d'un même organe de deux plantes différentes ne donne pas la même composition chimique, par exemple la sauge officinale (*Salvia officinalis*) est riche en cétones neurotoxiques peut provoquer des crises d'épilepsie, alors que la sauge sclérée (*Salvia sclarea*) possède des esters aromatiques anti-épileptisants (Padrini, 1997 ; Franchomme, 2001 ; Martinetti, 2013).

### **5.5. L'organe producteur**

La composition et le rendement d'une huile essentielle varient selon la partie de la plante à partir de laquelle est extraite (Roulier, 2000 ; Tenscher et *al.*, 2005).

## **6. Les activités biologiques des huiles essentielles**

### **6.1. Activités antibactériennes**

Les qualités antibactériennes des plantes aromatiques et médicinales sont connues depuis l'antiquité. Ces propriétés sont dues à la fraction des huiles essentielles contenues dans les plantes (El - Kalamouni, 2010).

Les huiles essentielles les plus étudiées pour leurs propriétés antibactériennes appartiennent aux *Labiatae* : l'Origan, le thym, la sauge, le romarin, clou de girofle sont autant de plantes aromatiques fréquemment utilisés comme ingrédients alimentaires. Les huiles essentielles de ces plantes ont toutes une particularité commune : elles sont riches en composés phénoliques comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces trois composés possèdent une forte activité antibactérienne contre un large spectre de bactéries : *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogene*, *Salmonella enterica*, *Clostridium jejuni*, *Lactobacillus sake*, *Satphylococcus aureus* et *Helicobacter pylori* (Piochon, 2008).

Le mode d'action des huiles essentielles sur les cellules bactériennes n'est pas clairement élucidé (Kalemba et Kunicka, 2003).

Du fait de la variabilité des quantités et des profils des composants des huiles essentielles, il est probable que leur activité antibactérienne ne soit pas attribuable à un mécanisme unique, mais à plusieurs sites d'action au niveau cellulaire (Carson *et al.*, 2002). Etant donné la complexité de leur composition chimique, tout laisse à penser que ce mode d'action est assez complexe et difficile à cerner du point de vue moléculaire. Il est très probable que chacun des constituants des huiles essentielles ait son propre mécanisme d'action. Le mode d'action des huiles essentielles dépend en premier lieu du type et des caractéristiques des composants actifs, en particulier leur propriété hydrophobe qui leur permet de pénétrer dans la double couche phospholipidique de la membrane de la cellule bactérienne. Cela peut induire un changement de conformation de la membrane (Cox *et al.*, 2000; Carson *et al.*, 2002).

D'une manière générale, leur action se déroule en trois phases :

- ✓ Attaque de la paroi bactérienne par l'huile essentielle, provoquant une augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaires.
- ✓ Acidification de l'intérieur de la cellule, bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure.
- ✓ Destruction du matériel génétique, conduisant à la mort de la bactérie (Daferera *et al.*, 2003).

## **6.2. Activités antifongiques**

Un grand nombre de composés volatils ont été testés contre une large gamme de champignons : *Candida* (*C. albicans*), *Aspergillus* (*A. niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*), *Penicillium chrysogenum* (Kalemba et Kunicka, 2003).

Le pouvoir antifongique est attribué aussi à la présence de certains groupements fonctionnels chimiques dans la composition des huiles essentielles, les travaux de Benjilali *et al.* (1986) ont enregistré le pouvoir antifongique de 26 huiles essentielles testées huile essentielle de l'armoise blanche, de thym, d'eucalyptus et de romarin.

L'huile essentielle du thym s'est révélée la plus active sur les 37 souches de moisissures étudiées, suivie de l'armoise blanche, celle du romarin et de l'eucalyptus étant les moins efficaces.

Les travaux de Chebli et *al.* (2003) ont permis de mettre en évidence l'effet antifongique de 25 huiles essentielles distillées à partir de plantes médicinales marocaines contre *Penicillium digitatum*, *Phytophthora citrophthora*, *Geotrichum citriauranti* et *Botrytis cinerea*. L'huile essentielle de *Chrysanthemum viscidifolium* à une concentration de 150 ppm a fortement inhibé la croissance *in vitro* de quatre champignons. Les 24 autres huiles réduisent le développement des champignons à une concentration de 250 ppm.

Selon Mohammedi (2006), les huiles essentielles de *Lavandula stoechas* et *Citrus ladaniferus* sont actives sur les sept moisissures testées *Rhizopus stolonifer*, *Mucor sp*, *Trichoderma sp*, *Alternaria sp*, *Fusarium sp*, *Penicillium sp* et *Aspergillus flavus*.

### **6.3. Activités antioxydantes**

La recherche de nouveaux antioxydants à partir de matières végétales a pris une très grande attention dans ces dernières décennies. L'utilisation des antioxydants synthétiques dans les industries agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques est suspectée à long terme d'effets tératogènes, mutagènes et cancérigènes.

Plusieurs limites et restrictions ont été mises en place concernant leur utilisation, leur substitution par des antioxydants naturels s'avère primordial. Les plantes sont une source des antioxydants naturels. Ces derniers sont apparus comme alternatifs aux antioxydants synthétiques, et ils sont aujourd'hui généralement préférés par les consommateurs (El - Kalamouni, 2010).

Un antioxydant peut être défini comme toute substance qui est capable, à concentration relativement faible, d'entrer en compétition avec d'autres substrats oxydables et ainsi retarder ou empêcher l'oxydation de ces substrats (Comhair et Erzurum, 2002).

Les antioxydants sont des composés naturels ou synthétiques qui permettent de ralentir le phénomène d'oxydation et protéger le système cellulaire contre les effets des processus potentiellement nocifs qui causent l'oxydation excessive, en particulier, ils stabilisent les radicaux libres et les empêchent de poursuivre leurs œuvres de destruction.

Ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dériver ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires.

D'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras. Ces entités neutralisent directement ou indirectement les dérivés nocifs actifs de l'oxygène. Néanmoins, l'organisme humain n'est pas capable d'assurer la biosynthèse de la plupart des antioxydants, notamment ceux de nature phénolique. Il doit donc les trouver dans son alimentation, leur existence est alors indispensable au bon fonctionnement de nos cellules (Madhavi et *al.*, 1996 ; Rolland, 2004).

Les dernières décennies ont connus une véritable explosion d'articles scientifiques sur les antioxydants naturels. Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité antioxydante. Ces méthodes se différencient entre elles en termes de mécanismes de réaction, substrat et antioxydant, états des réactions et la forme dont ils sont exprimés les résultats. Une meilleure compréhension de ces méthodes contribue à l'interprétation correcte des résultats.

## **PARTIE III - LA FAMILLE DES THYMELAEACEAE**

### **1. Présentation botanique de la famille des Thymelaeaceae**

*Thymelaeaceae* est une famille de plantes à fleurs de distribution cosmopolite. L'aire de répartition de cette famille est surtout dans l'hémisphère sud et dans les climats tropicaux et tempérés voire dans les zones arides pour quelques espèces et sont absents seulement dans les régions aux climats les plus froids. Précisément, on la rencontre en Afrique du sud, en Australie et en Europe et elle est abondante en région méditerranéenne (Van der Bank et al., 2002 ; Eva-Hanus-Fajerska et al., 2012). Cette famille comprend 1200 espèces réparties en 67 genres, 500 espèces d'arbres et d'arbustes toxiques (Borris et al., 1988).

Les principaux genres de la famille des *Thymelaeaceae* sont : *Daphne* (de 50 à 90 espèces), *Daphnopsis* (73 espèces), *Gnidia* (de 120 à 150 espèces), *Gonystylus* (32 espèces), *Pimelea* (80 espèces), *Thymelaea* (30 espèces) et *Wikstroemia* (87 espèces) (Parixit et al, 2013 ; Conservatoire et Jardin botaniques du Genève and South African National Biodiversity Institute, 2018).

Les *Thymelaeaceae* sont des arbustes ou des plantes herbacées, rarement des lianes, à feuilles alternes ou opposées souvent coriaces et persistantes. Inflorescences très variables à fleurs hermaphrodites, dioïques ou polygames, 4 - 5 mètres et à calice tubuleux. Péricarpe à pièces soudées à la base ; souvent d'aspect corallin plus ou moins jaune ou verdâtre. Etamines 8 -10 insérées sur deux rangs. Ovaire uniloculaire en général uniovulé. Fruit sec ou drupacé monosperme (Quezel et Santa, 1962-1963 ; Eva Hanus-Fajerska et al., 2012).

### **2. Position systématique des Thymelaeaceae**

La position taxonomique des *Thymelaeaceae* a toujours été sujette à caution avant même l'avènement des classifications phylogénétiques moléculaires.

La Figure (2) représente la position systématique des *Thymelaeaceae* à la lumière des connaissances actuelles.

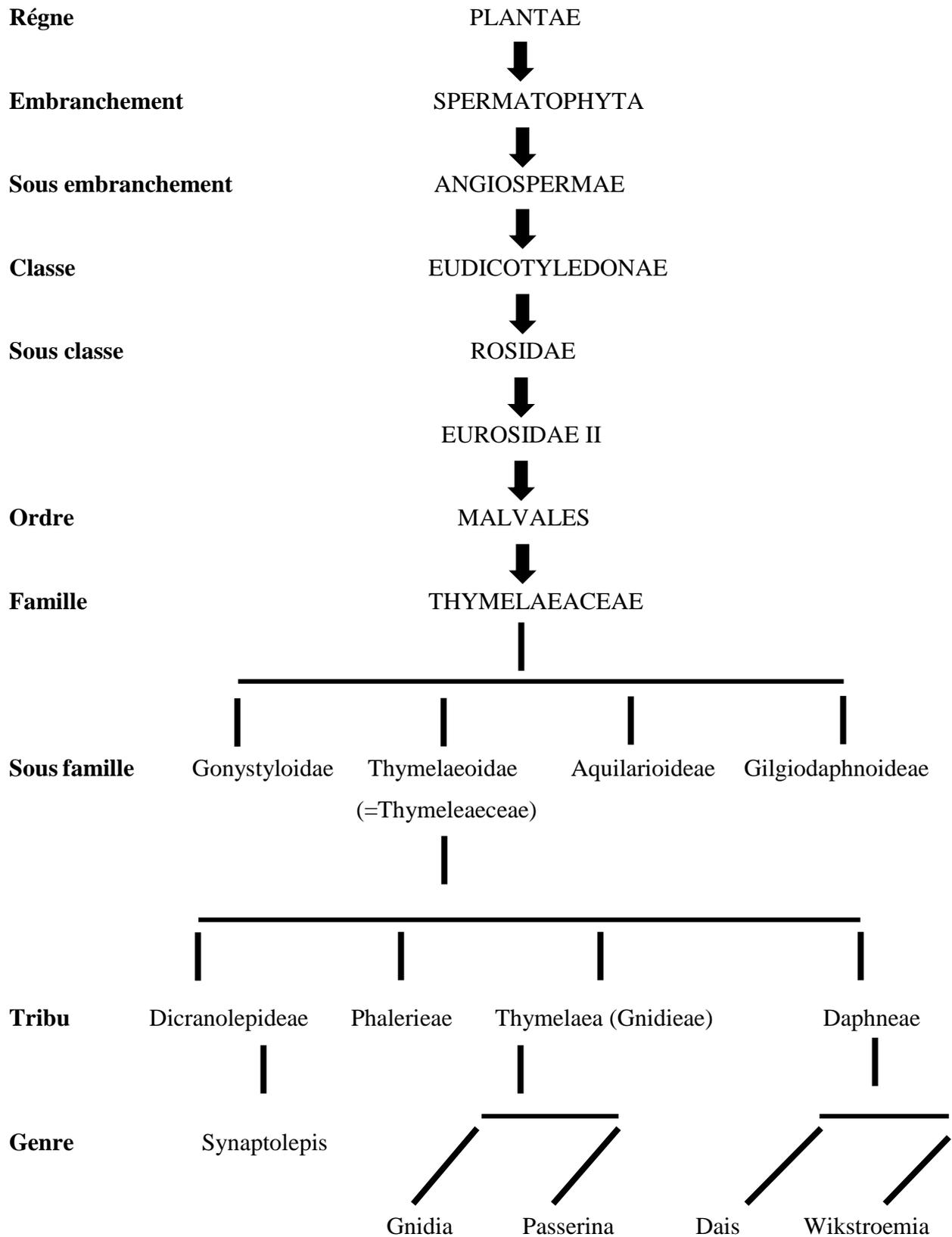


Figure 2 : Position systématique des Thymelaeaceae d’après APG (1998).

### **3. Ethnobotanique des Thymelaeaceae**

La connaissance des usages des plantes médicinales et leurs propriétés sont généralement acquise suite à une longue expérience, accumulée et transmise d'une génération à l'autre.

Les *Thymelaeaceae* ont des utilisations très variées dans l'industrie textile ; celle de la teinturerie et de la parfumerie, leur conférant une importance économique non négligeable dans les régions où elles poussent. En Inde, en Chine, en Indonésie, en Afrique et en Egypte, le bois et l'écorce de certains genres sont utilisés pour la production de matériaux de construction et d'objets ornementaux. Le bois de certaines espèces d'*Aquilaria* infecté par les champignons est vendu comme bois odorant et on en tire également de l'encens. Aux U.S.A, l'écorce de *Dirca pallustris* est utilisée par les Indiens pour la fabrication de sandales, de cordes à arc et de paniers. En Europe, les fruits de *Daphne mezereum* sont utilisés comme des substitutions au poivre rouge (Gelfand et al., 1985 ; Borris et al., 1988).

En médecine traditionnelle, les espèces de la famille des *Thymelaeaceae* possèdent plusieurs vertus tels que émétique, purgatif, vésicant. Certaines espèces sont préconisées pour le traitement des maladies de la peau, contre les morsures de serpents, piqûres de scorpions, malaria et affections ophtalmiques (Mekhelfi, 2016).

En Chine, des essais cliniques sur les extraits éthanöiques de *Daphne*, *Gnidia*, *Wikstroemia* et *Pimelea* ont montrés une activité anticancéreuse principalement dus à la présence d'esters de Daphnane (Liao et al., 2009 ; Parixit et al., 2013).

En France, les extraits de *Lasiosiphon kraussiana* ont été brevetés pour une utilisation dans le traitement de la lèpre (Tubery, 1969 in Noman, 2017).

Les espèces de *Gnidia* sont utilisées dans les traitements traditionnels de plusieurs maladies : l'asthme, le mal de dos, l'hydropisie, les furoncles, les plaies, les brûlures, la constipation, la toux, maux d'oreille, épilepsie, les maux de tête, la grippe et fièvres, le paludisme, la rougeole, la tuberculose, la variole, morsures de serpent, entorses et fractures, les maux d'estomac, les maux de dents, l'ulcère et la fièvre jaune et comme purgatifs en large sens (Parixit et al., 2013 ; Noman,2017).

En Amérique, le genre *Dirca* est préconisé pour plusieurs utilisations ; la décoction et l'infusion de l'écorce des espèces de ce genre sont laxative, cathartique, diurétique, analgésique, anticancéreuse. Les tiges, les branches et les brindilles de *Dirca palustris* sont utilisées aussi comme fortifiante et contre les infections urinaires (Alexis et Gelais, 2014).

En Afrique du nord, une recherche bibliographique menée sur l'intérêt biologique des espèces de la famille des *Thymelaeaceae*. Au Maroc, les espèces de *Daphne gnidium* et *Daphne laureola* sont utilisées dans les soins de la peau (Hseini et al., 2007 ; El hilah et al., 2016) et les affections oculaires (Rhattas et al., 2016) et même dans les préparations adoucissantes des cheveux, antichute et anti-galeux (Benlamdini et al., 2014 ; Daoudi et al., 2015 ; Alaoui et al., 2017).

En Algérie, *Daphne gnidium* est très utilisé pour ses propriétés antiseptiques, insecticides, dépuratives, cicatrisantes, sudorifiques et abortives (Mohammedi, 2013).

En conclusion, les plantes de cette famille ont été incluses dans plusieurs études de dépistage à grande échelle portant sur diverses activités biologiques telles que les hémorroïdes, les stimulants, les rhumatismes, l'asthme, le lumbago, l'extrait de laxatif (Gelfand et al., 1985 ; Borris et al., 1988).

#### **4. Composition chimique des Thymelaeaceae**

Les *Thymelaeaceae* ont fait l'objet de nombreuses études phytochimiques dans les 70 dernières années.

Des espèces du genre *Daphne* ont d'une importance primordiale en raison de sa richesse en différentes catégories de produits naturels notamment les coumarines, les lignanes, les flavonoïdes, type daphnane, esters diterpéniques, stéroïdes, guianolides et spiro-lactones (Beaumont et al., 2001 ; Franke et al., 2002).

*Daphne gnidium* contient des coumarines (Daphnéline, daphnine, acétylimbelliférone, daphnorétine), des flavonoïdes (Lutéolin-3', orientine, isoorientine, quercétine, genkwanine). Les différentes espèces de *Daphne* renferment aussi des diterpènes toxiques, la daphnétoxine dans l'écorce et la mézéréine dans les graines (Mohammedi, 2013).

L'étude des huiles essentielles du genre de *Daphne* a fait l'intérêt de certains scientifiques.

Ramdani et al. (2015) ont montrés que les huiles essentielles de *Daphne gnidium* sont riche en acide hexadécanoïque, en éicosène, en décanal et en tridécanal. Alorsque, les huiles essentielles de *Daphne laureola* sont riches en thymol, en acide hexadécanoïque, en dodécanal et en driménine.

Liu et *al.* (2019) ont isolés et identifiés huit flavones, six flavanes et six coumarines de l'écorce des tiges et des racines de *Daphne giraldii* Nitsche.

Plus de 90 composés ont été isolés de différentes espèces de *Gnidia*. Des études phytochimiques sur certaines gnidies ont indiqués que ce genre est riche en esters diterpéniques, coumarines, flavonoïdes, chromones, lignanes et néolignans (Parixit et *al.*, 2013).

L'investigation approfondie des extraits méthanoliques des racines et des parties aériennes de *Gnidia involucrata* a conduit à l'isolement et à l'identification des constituants comme 4-C-glucosyl 2-3, astragaline, yuankanine et le manniflavanone appartenant tous à la famille des polyphénols, des tanins et des flavonoïdes (Ferrari, 2002).

## **5. Toxicité des Thymelaeaceae**

La famille des *Thymelaeaceae* contient des plantes très toxiques. Certaines espèces de la famille renferment des esters de diterpènes de type Daphnane et Tigliane qui possèdent des propriétés irritantes (Borris et *al.*, 1988).

Le contact externe avec le matériel végétal provenant de certaines *Thymelaeaceae* provoque des dermatites inflammatoires avec des rougeurs, des vésicules guérissant lentement et des pustules qui tendent à s'ulcérer. De plus, ces symptômes sont accompagnés de démangeaisons intenses (Ferrari, 2002).

L'utilisation de l'espèce de *Daphne gnidium* au Maroc a provoqué des intoxications surtout chez les femmes qui l'utilisent pour avorter (Salhi et *al.*, 2010 ; Benkhniq et *al.*, 2011).

## **6. Le genre *Thymelaea***

### **6.1. Généralités**

*Thymelaea* est un genre qui contient environ 31 espèces d'arbustes, des sous-arbrisseaux et herbes xérophiiles à distribution circumméditerranéenne. Les espèces du genre sont originaires des îles Canaries, des régions méditerranéennes, du nord de l'Europe centrale et de l'est de l'Asie centrale. La Méditerranée occidentale (Ibérie et Afrique du Nord-Ouest) porte la plus forte concentration d'espèces (90 %) et endémiques (85 %) (Figure 3) (Quezel et Santa, 1962 - 1963 ; Galicia-herbada, 2006).

Les plantes de ce genre portant de petites fleurs allant du jaune au vert, unisexuées ou hermaphrodites, généralement sans corolle et fleurs peu odorantes. Périanthe à 4 - 5 divisions en général persistant. Etamines 8 - 10 sur 2 rangs. Ovaire uniloculaire à 1 style.

Le fruit est une baie sèche, inclus dans l'hypanthium persistant, les feuilles atteint plus de 1,8 cm peu longs (Quezel et Santa, 1962-1963 ; Jeanmonod et Gamisans, 2007).

En Algérie, le genre est représenté par huit (8) espèces dont une espèce est endémique *Thymelaea microphylla* (Quezel et Santa, 1962-1963).

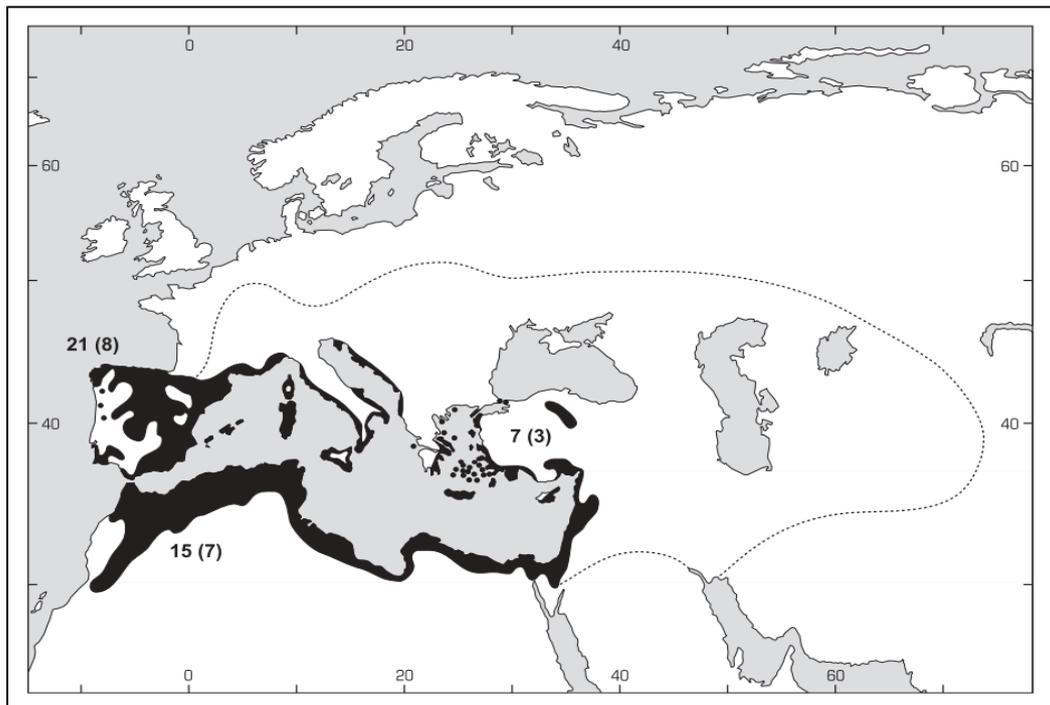


Figure 3 : Répartition géographique de *Thymelaea*. La ligne pointillée indique la limite approximative des espèces annuelles *T. passerina* (Nord et Est), *T. gussonei* et *T. mesopotamica* (Sud). Les nombres se réfèrent au nombre d'espèces et d'endémies (parenthèses) présentes en Ibérie-Baléares, en Afrique du Nord-Ouest et en Asie du Sud-Ouest (Galicia-herbada, 2006).

La position systématique du genre *Thymelaea* a fait l'objet des majeurs études taxonomiques et phylogénétiques réalisées par certains auteurs Tan (1980), Van der Bank et *al.* (2002) et Galicia-herbada (2006), de point de vue biologique, les espèces appartenant à ce genre montrent une grande complexité dans la répartition des sexes.

## 6.2. Ethnobotanies du genre *Thymelaea*

Les recherches bibliographiques menées sur l'intérêt biologique des espèces du genre *Thymelaea* montrent qu'elles possèdent des propriétés thérapeutiques et elles sont utilisées en médecine traditionnelle.

En Tunisie, *Thymelaea lythroides* est utilisée comme antiseptique, anti-inflammatoire et le traitement de l'hypertension (Le Floch, 1983). Des enquêtes ethnobotaniques au Maroc ont montrés que la même plante est utilisée dans la médecine traditionnelle pour combattre les maux de la vessie et des reins, douleurs gastriques et intestinales, rhumatismes, migraines, conjonctivites, otites, certaines mycoses dermiques, traumatismes et en cosmétologie pour les soins des cheveux (Dohou et al., 2003, 2004 a et b, 2006).

### **6.3. Ethnobotanie de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

Les usages de *T. hirsuta* sont diverses, elle est utilisé dans l'industrie du papier (Schmidt et al., 1983). En médecine traditionnelle, elle est très utilisée comme antiseptique, anti-inflammatoire et dans le traitement d'hypertension (Le Floch, 1983 ; Azza et al., 2012 ; Bnouham et al., 2012 ; Azza et Oudghiri, 2015).

En Algérie, Tunisie et au Maroc, les parties aériennes de cette plante sont aussi utilisées comme décoction dans le traitement de différentes pathologies hypoglycémiques, antidiabétiques (Ziyyat et al., 1997 ; El Amrani et al., 2009 ; Trigui et al., 2013; Yahyaoui et al., 2018 b).

*T. hirsuta* est aussi recommandée par les herboristes de la région de M'sila (Algérie) dans le traitement de maladies humaines : Leishmanicide, vermifuge, eczéma (Boudjelal et al., 2013).

En contre-partie, les propriétés thérapeutiques de *T. microphylla* ont été établies à la suite des études sur les extraits et les huiles essentielles. Cette plante est utilisée principalement pour le traitement du rhumatisme, la lutte contre les infections respiratoires, la chute des cheveux. Ainsi, *T. microphylla* est utilisée comme anti-inflammatoire et hypoglycémique (Benhammou et al., 2009 ; Dahamna et al., 2015 ; Dehimi et al., 2016).

### **6.4 .Etude biologique de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

En Algérie, Tunisie et au Maroc, les parties aériennes de *T. hirsuta* ont des propriétés antioxydantes (Ziyyat et al., 1997 ; Kadri et al. 2011 ; Akrouf et al., 2010 ; Trigui et al., 2013 ; Amari et al., 2014 ; Yahyaoui et al., 2017 et 2018 a), antibactériennes (Kadi et al., 2017 ; Deramchia et al., 2017), anticancéreuses (Akrouf et al., 2011; Trigui et al., 2013).

L'huile essentielle de *T. hirsuta* présente une forte activité antibactérienne et cytotoxique (Felhi et al., 2017).

Des études ont été réalisées sur les extraits et les huiles essentielles de *T. microphylla* pour connaître leurs propriétés biologiques. Les résultats de ces études ont montré que cette plante possède une bonne activité antioxydante et antibactérienne (Benhammou et al., 2009 ; Kerbab et al., 2014 ; Dahamna et al., 2015 ; Noman et al., 2015 ; Dehimi et al., 2016 ; Mekhelfi et al., 2016).

### **6.5. Composition chimique du genre *Thymelaea***

Du point de vue chimique, les espèces du genre *Thymelaea* constituent une source riche en métabolites secondaires.

Les analyses de *Thymelaea passerina* et *Thymelaea tartonraira* montrent la présence du pentacosane, triacontanol, sitostérol, stigmastérol,  $\beta$ -amyrine, ombelliférone, scopolétine et vitexine (Dohou et al., 2003, 2004<sup>a</sup> ; Kerbab, 2017).

Les extraits de *Thymelaea lythroides*, endémique du Maroc, sont constituées essentiellement de composés cyanogénétiques. Les quinones libres sont trouvées dans les fruits, les anthraquinones abondantes dans les feuilles, les fleurs et l'écorce, les alcaloïdes, les terpénoïdes et les saponosides se trouvent beaucoup plus dans les racines (Dohou et al., 2003). Cette plante contient des flavonols (Kaempférol) et la quercétine et deux acides phénols, l'acide caféique et l'acide genticique et deux anthocyanidines, la delphinidine et la cyanidine (Boudjelal et al., 2013 ; Kerbab, 2017).

### **6.6. Composition chimique de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

Peu d'études ont été effectuées sur la composition chimique des huiles essentielles de *T. hirsuta*. La plupart des études ont été basées sur la composition des extraits méthanoïques et éthanoïques de cette plante.

Les huiles essentielles de *T. hirsuta* sont très riches en composés sesquiterpéniques germacrene D,  $\gamma$ -eudesmol, formiate de citronellyle, transcaryophyllène, le  $\beta$ -cadinène et le borbonène, stylopsal et le 7-dodécadiénal et l'acide hexadécanoïque (Kadri et al., 2011 ; Benchobba et al., 2014 ; Yahyaoui et al., 2014).

Les extraits de *T. hirsuta* des populations d’Egypte sont constituées essentiellement par des esters, la gnidicine, la gniditrine, la genkwadaphnine, l’ester aliphatique de C-12 (Brooks et *al.*, 1990).

Miyamae et *al.* (2009) ont découverts deux nouveaux diterpénoïdes de daphnane les Hirseins A (1) et B (2) isolés des parties aériennes de *T. hirsuta*. Ces deux composés ont révélés être inhibiteur de la mélanogénèse dans les cellules de mélanome B16 murines.

Les extraits méthanoïques et éthanoïques de *T. hirsuta*, au pays de Maghreb, sont composés essentiellement par thyméol, daphnorétine, alcool aliphatique, lactone, 2-vicinine (C-flavone), lupéol, phytol,  $\beta$ -amyrine, bétuline, erythrodiol, cholestérol et lanostérol.

La plupart de ces composées sont des flavonoïdes, des tanins, des alcaloïdes, des stéroïdes, des saponines, des coumarines et des composés réducteurs et anthraquinones (Akrouit et *al.*, 2011 ; Trigui et *al.*, 2013 ; Bouzouina et *al.*, 2016 ; Amari et *al.*, 2014 ; Yahyaoui et *al.*, 2018 a et b).

Cependant, certaines études ont été réalisées sur les huiles essentielles de *T. microphylla*, dont d’entre eux ont été basés sur les extraits aqueux. Les parties aériennes de *T. microphylla* sont composées essentiellement par l’acide oléanolique, bêta-sitostérol et 3-O-bêta-dglucopyranosyl-bêta-sitostérol , de vanilline, (+) syringaresinol, (Z) - 8-hydroxylinalol, chrysoériol, lutéoline et un mélange de trans-tiliroside (Mekhelfi et *al.*, 2014 ; Mekhelfi, 2016), des glycosides monotéropiniques, des dérivées d’acides phénolique, des glycosides phenylpropanoïdes, des flavonoïdes, des lignanes et des bis-coumarines ( Kerbab et *al.*, 2014 ; Ghanem et *al.*, 2014).

Cependant, l’huile essentielle des parties aériennes de cette plante contient le D-menthone, 2-undecanone, pulegone et perillal (Noamane et *al.*, 2010 ; Noman et *al.*, 2015).

**CHAPITRE II**

**MATERIELS**

**ET METHODES**

## PARTIE I - ETUDE DE LA BIODIVERSITE VEGETALE DANS LA REGION DU HODNA

### 1. Description du milieu d'étude

Les forêts de Dréat et d'Ouanougha sont localisées dans la partie Nord-Ouest de la wilaya de M'sila entre deux communes, Hammam Dalaa et Ouanougha. Ils sont situés entre les coordonnées géographiques 35° 55' 41" Nord, 4° 22' 28 " Est et 35° 58' 51" Nord, 4° 11' 10 " Est respectivement (Figure 4). L'altitude varie de 800 et 1800 mètres et imprime un relief très accidenté dans toutes les expositions (FAO, 1971).

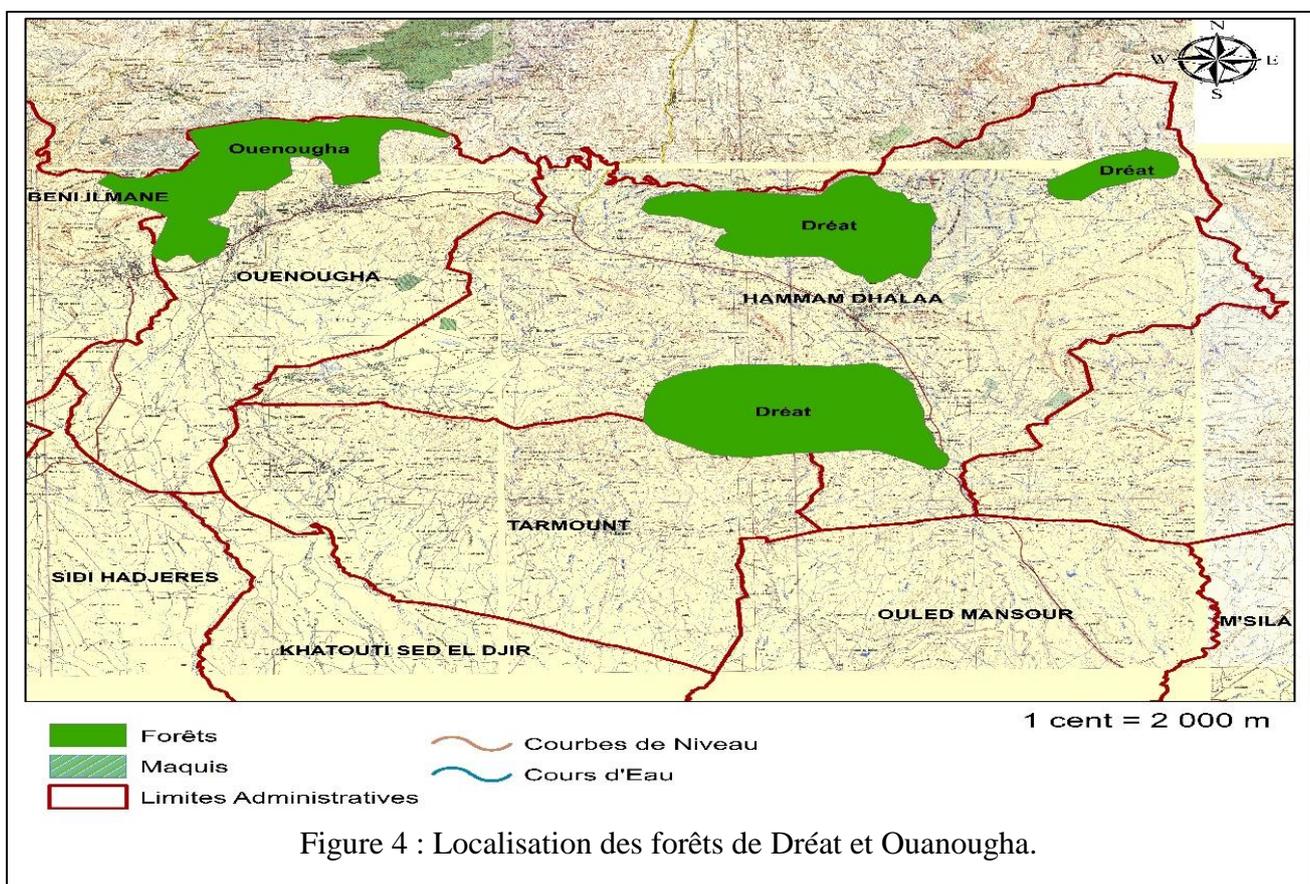


Figure 4 : Localisation des forêts de Dréat et Ouanougha.

### **1.1. Cadre climatique**

L'objectif de cette synthèse climatique est de caractériser les conditions climatiques et bioclimatiques dans lesquelles la végétation de la région d'étude évolue. La mesure et l'évaluation des principaux paramètres physiques du climat nécessitent un nombre satisfaisant de postes météorologiques, bien répartis dans la zone à étudier et des observations annuelles et continues sur des longues périodes. Malheureusement, il n'y a qu'une seule station opérationnelle d'une façon continue sur le territoire de la wilaya de M'sila, on était contraint de prendre la station principale de M'sila comme station de référence, ainsi que les données de précipitations moyennes et de températures moyennes d'une station secondaire, celle des forêts de Dréat et Ouanougha.

Les corrections climatiques ont été effectués selon le gradient pluviométrique de Djebaili (1984) pour les steppes sud algérois, il est de 40 mm / 100 m d'élévation concernant la moyenne annuelle des précipitations, ainsi la température maximale diminue de 0,7 °C pour une augmentation de 100 m d'altitude et la température minimale diminue de 0,4 °C pour une augmentation de 100 m d'altitude.

#### **1.1.1. Les précipitations**

Les données pluviométriques montrent que la distribution des précipitations dans les sites d'étude est très irrégulière dans le temps (Tableau 1), elles varient de 369,19 mm à 721,76 mm. La moyenne du mois le plus arrosé, varie selon les localités et les altitudes, dépasse 30 mm dans toutes les stations. Les valeurs mensuelles des précipitations sont comprises entre 50 mm et 97 mm pendant le mois d'Octobre pour les stations de Sidi Amar, Belouadeh, Boustalloug, El Haourane, Bousstélla, Kef El- Kbir, Sagaa, Djebel Chedoug, Kef El Assel et Ahl El-Oued. Elle est plus élevée dans la station de Kef Ktef zana (97,83 mm).

Les quantités des précipitations les plus faibles sont enregistrées dans le mois d'Aout où sévit la sécheresse estivale caractéristique essentielle du climat méditerranéen. Elles sont comprises entre 5,94 mm et 14,92 mm dans tous les sites étudiés.

Tableau 1 : Les données pluviométriques des forêts de Dréat et Ouanougha (1988 - 2016)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Total
<b>La forêt de Dréat</b>													
Altitude (m)													
<b>Sidi Amar</b>													
841	31,68	21,47	28,6	39,28	44,65	13,79	7,63	12,67	43,92	<u>50</u>	33,5	42	369,19
<b>Belouadeh</b>													
1050	38,88	26,35	35,1	48,21	54,79	16,93	9,37	15,55	53,91	<u>61,43</u>	41,12	51,55	453,19
1150	42,3	28,67	38,18	52,45	59,61	18,42	10,19	16,92	58,65	<u>66,83</u>	44,74	56,09	493,09
<b>Boustalloug</b>													
1000	37,08	25,13	33,47	45,97	52,26	16,15	8,94	14,83	51,41	<u>58,58</u>	39,22	49,17	432,21
1118	41,22	27,93	37,21	51,11	58,09	17,95	9,93	16,48	57,15	<u>65,12</u>	43,6	54,66	480,45
<b>El Haourane</b>													
935	34,92	23,66	31,52	43,30	49,21	15,20	8,41	13,96	48,42	<u>55,17</u>	36,93	46,30	407
1018	37,62	25,49	33,96	46,64	53,02	16,38	9,07	15,04	52,16	<u>59,43</u>	39,79	49,88	438,48
<b>Bousstélla</b>													
1050	38,88	26,35	35,1	48,21	54,79	16,93	9,37	15,55	53,91	<u>61,43</u>	41,12	51,55	453,19
<b>Kef El-Kbir</b>													
1035	38,34	25,98	34,61	47,54	54,03	16,69	9,24	15,33	53,16	<u>60,57</u>	40,55	50,84	446,88
<b>Djebel Chedoug</b>													
1240	45,36	30,74	40,95	56,24	63,93	19,75	10,93	18,14	62,89	<u>71,66</u>	47,98	60,15	528,72
<b>Sagaa</b>													
639	24,66	16,71	22,26	30,57	34,75	10,74	<b>5,94</b>	9,86	34,19	<u>38,96</u>	26,08	32,70	287,42
887	33,3	22,57	30,06	41,29	46,93	14,5	8,02	13,32	46,17	<u>52,61</u>	35,22	44,15	388,14
<b>Kef El –Assel</b>													
1000	37,08	25,13	33,47	45,97	52,26	16,15	8,94	14,83	51,41	<u>58,58</u>	39,22	49,17	432,21
1200	43,92	29,76	39,65	54,46	61,90	19,12	10,58	17,56	60,90	<u>69,39</u>	46,45	58,24	511,93
<b>La forêt d'Ouanougha</b>													
<b>Ahl El-Oued</b>													
1134	41,76	28,30	37,7	51,78	58,85	18,18	10,06	16,70	57,90	<u>65,98</u>	44,17	55,37	486,75
<b>Kef Ktef Zana</b>													
1453	52,56	35,62	47,45	65,17	74,08	22,89	12,67	21,02	72,88	<u>83,04</u>	55,59	69,70	612,67
1724	61,92	41,96	55,9	76,78	87,27	26,96	14,92	24,76	85,86	<u>97,83</u>	65,49	82,11	721,76

Source : Station Météorologique de M'sila, 2016

### 1.1.2. Régime saisonnier des précipitations

La répartition saisonnière des précipitations dans les sites de Dréat et Ouanougha est de type APHE (Tableau 2). La pluviométrie est très importante dans les stations de Sagaa (à 639 m) et Kef ktef zana (à 1724 m). En automne, on enregistre des valeurs comprises entre 99,23 mm (Sagaa) et 249, 18 mm (Kef ktef zana). Suivie par le printemps avec un cumul de 87,58 mm (Sagaa) et 219,95 mm (Kef ktef zana).

Pour l'hiver, le cumul de la saison est de 74,07 mm (Sagaa) et 185,99 mm pour le site de Kef ktef zana. Cette pluviométrie atteint son minimum en été qui présente un cumul varie entre 26,54 mm (Sagaa) et 66,64 mm (Kef ktef zana).

Tableau 2 : Le régime saisonnier des forêts de Dréat et Ouanougha (1988-2016)

Stations	Altitude (m)	Saisons				Type de régime saisonnier	
		Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	Automne (A)		
Dréat	Belouadeh	1050	116,78	138,1	41,85	156,46	APHE
		1150	127,06	150,24	45,53	170,22	APHE
	Boustalloug	1000	111,38	131,7	39,92	149,21	APHE
		1118	123,81	146,41	44,36	165,87	APHE
	El Haourane	935	104,88	124,03	37,57	140,52	APHE
		1018	112,99	133,62	40,49	151,38	APHE
	Bousstélla	1050	116,78	138,1	41,85	156,46	APHE
	Sidi Amar	841	95,15	112,53	34,09	127,42	APHE
	Kef El Kbir	1035	115,16	136,18	41,26	154,28	APHE
	Dj.Chedoug	1240	136,25	161,12	48,82	182,53	APHE
	Sagaa	639	<b>74,07</b>	<b>87,58</b>	<b>26,54</b>	<b>99,23</b>	APHE
		887	100,02	118,28	35,84	134	APHE
	Kef El Assel	1000	111,38	131,7	39,92	149,21	APHE
		1200	131,92	156,01	47,26	176,74	APHE
	Ouanougha	Ahl El-Oued	1134	125,43	148,33	44,94	168,05
Kef Ktef Zana		1453	157,88	186,7	56,58	211,51	APHE
		1724	<b>185,99</b>	<b>219,95</b>	<b>66,64</b>	<b>249,18</b>	APHE

**1.1.3. Les températures**

Dans les différents sites des forêts de Dréat et Ouanougha, les températures mensuelles moyennes oscillent moyennement entre 1,8 °C et 30,35 °C. Ce sont les mois de Juillet et Août qui enregistrent les températures les plus élevées avec 30,35 °C (Tableau 3).

Les températures mensuelles moyennes les plus élevées sont enregistrés dans le site de Sagaa, à une altitude de 639 m, avec des valeurs comprises entre 30,35 °C et 29,94 °C dans les mois de Juillet et Aout respectivement. Alors que, les valeurs des températures les plus basses sont bien marquées dans le mois de Janvier avec des valeurs comprises entre 1,8 °C (à Kef ktef zana) et 7,77 °C (Sagaa).

Les températures maximales moyennes mensuelles au niveau des forêts de Dréat et Ouanougha varient entre 28,98 °C (Kef ktef zana) et 37,2 °C (Sagaa). Elles sont de l'ordre de 30,88 °C et 36,58 °C pour le reste des sites.

La moyenne des minimas du mois le plus froid (m) de l'année revêt une importance prépondérante pour la végétation en climat méditerranéen. Dans les forêts de Dréat et Ouanougha, au cours de la période (1988 - 2016), la valeur de (m) enregistrée est de l'ordre de (-1,4) °C au site de Kef ktef zana durant le mois de Janvier.

Dans les autres sites de la zone d'étude, on enregistre des valeurs entre (- 0,31 °C) et (3,98 °C) durant les mois de Janvier et Décembre.

Tableau 3 : Les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales (°C) des forêts de Dréat et Ouanougha (1988 – 2016)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Moy.
<b>La forêt de Dréat</b>													
<b>Sidi Amar à 841m</b>													
<b>Tmin</b>	<b><u>2,13</u></b>	2,46	6,08	9,32	14,31	19,3	22,7	22,5	17,64	12,98	6,85	3,17	<b>11,62</b>
<b>Tmax</b>	11,18	13,43	17,34	20,24	25,22	32,02	35,78	<b><u>35,96</u></b>	29,53	23,55	16,11	11,49	<b>22,65</b>
<b>M+m/2</b>	6,65	7,94	11,71	14,78	19,76	25,66	29,24	29,23	23,58	18,26	11,48	7,33	<b>17,12</b>
<b>Belouadeh à 1050 m</b>													
<b>T min</b>	<b><u>1,3</u></b>	1,63	5,25	8,49	13,48	18,47	21,87	21,67	16,81	12,15	6,02	2,34	<b>10,79</b>
<b>T max</b>	9,52	11,97	15,88	18,87	23,76	30,56	<b><u>34,32</u></b>	33,7	28,07	22,09	14,65	10,03	<b>21,13</b>
<b>M+m/2</b>	5,41	6,8	10,56	13,68	18,62	24,51	28,09	27,68	22,44	17,12	10,33	6,18	<b>15,96</b>
<b>Belouadeh à 1150 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b><u>0,9</u></b>	1,23	4,85	8,09	13,08	18,07	21,47	21,27	16,41	11,75	5,62	1,94	<b>10,39</b>
<b>Tmax</b>	9,02	11,27	15,18	18,08	23,06	29,86	<b><u>33,62</u></b>	33	27,37	21,39	13,95	9,33	<b>20,42</b>
<b>M+m/2</b>	4,96	6,25	10,01	13,08	18,07	23,96	27,54	27,13	21,89	16,57	9,78	5,63	<b>15,40</b>
<b>Boustalloug à 1000 m</b>													
<b>T min</b>	<b><u>1,5</u></b>	1,83	5,45	8,69	13,68	18,67	22,07	21,87	17,01	12,35	6,22	2,54	<b>10,99</b>
<b>T max</b>	10,07	12,32	16,23	19,13	24,11	30,91	<b><u>34,67</u></b>	34,05	28,42	22,44	15	10,38	<b>21,47</b>
<b>M+m/2</b>	5,78	7,04	10,84	13,91	18,89	24,79	28,37	27,96	22,71	17,39	10,61	6,46	<b>16,23</b>
<b>Boustalloug à 1118 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b><u>1,03</u></b>	1,36	4,98	8,22	13,21	18,2	21,6	21,4	16,54	11,88	5,75	2,07	<b>10,52</b>
<b>Tmax</b>	9,25	11,5	15,41	18,91	23,29	30,09	<b><u>33,85</u></b>	33,23	27,6	21,62	14,18	9,56	<b>20,65</b>
<b>M+m/2</b>	5,14	6,43	10,19	13,56	18,25	24,14	27,72	27,31	22,07	16,75	9,96	5,81	<b>15,58</b>
<b>El Haourane à 935 m</b>													
<b>T min</b>	<b><u>1,76</u></b>	2,09	5,71	8,95	13,94	18,93	22,33	22,13	17,27	12,61	6,48	2,8	<b>11,25</b>
<b>T max</b>	10,53	12,78	16,69	19,59	24,57	31,37	<b><u>35,13</u></b>	34,51	28,88	22,9	15,46	10,84	<b>21,93</b>
<b>M+m/2</b>	6,14	7,43	11,2	14,27	19,25	25,15	28,73	28,32	23,07	17,75	10,97	6,82	<b>16,59</b>
<b>El Haourane à 1018 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b><u>1,43</u></b>	1,76	5,38	8,62	13,61	18,6	22	21,8	16,94	12,28	6,15	2,47	<b>10,92</b>
<b>Tmax</b>	9,95	12,2	16,11	19,01	23,99	30,79	<b><u>34,55</u></b>	33,93	28,3	22,32	14,88	10,26	<b>21,35</b>
<b>M+m/2</b>	5,69	6,98	10,74	13,81	18,8	24,69	28,27	27,86	22,62	17,3	10,51	6,36	<b>16,13</b>
<b>Boustélla à 1050 m</b>													
<b>T min</b>	<b><u>1,3</u></b>	1,63	5,25	8,49	13,48	18,47	21,87	21,67	16,81	12,15	6,02	2,34	<b>10,79</b>
<b>T max</b>	9,52	11,97	15,88	18,87	23,76	30,56	<b><u>34,32</u></b>	33,7	28,07	22,09	14,65	10,03	<b>21,13</b>
<b>M+m/2</b>	5,41	6,8	10,56	13,68	18,62	24,51	28,09	27,68	22,44	17,12	10,33	6,18	<b>15,96</b>
<b>Kef El Kbir à 1035 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b><u>1,36</u></b>	1,69	5,31	8,55	13,54	18,53	21,93	21,73	16,87	12,21	6,08	2,4	<b>10,85</b>
<b>Tmax</b>	9,83	12,08	15,99	18,89	23,87	30,67	<b><u>34,43</u></b>	33,81	28,18	22,2	14,76	10,14	<b>21,23</b>
<b>M+m/2</b>	5,59	6,88	10,65	13,72	18,70	24,6	28,18	27,77	22,52	17,20	10,42	6,27	<b>16,04</b>

<b>Chedoug à 1240 m</b>													
<b>T min</b>	<b>0,54</b>	0,87	4,49	7,73	12,72	17,71	21,11	20,91	16,05	11,39	5,26	1,58	<b>10,03</b>
<b>T max</b>	8,39	10,64	14,55	17,45	22,43	29,23	<b>32,99</b>	32,37	26,74	20,76	13,32	8,7	<b>19,79</b>
<b>M+m/2</b>	4,46	5,75	9,52	12,59	17,57	23,47	27,05	26,64	21,39	16,07	9,29	5,14	<b>14,91</b>
<b>Sagua à 639 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b>2,94</b>	3,27	6,89	10,13	15,12	20,11	23,51	23,31	18,45	13,79	7,66	3,98	<b>12,43</b>
<b>Tmax</b>	12,6	14,85	18,76	21,66	26,64	33,44	<b>37,2</b>	36,58	30,95	24,97	17,53	12,91	<b>24</b>
<b>M+m/2</b>	7,77	9,06	12,82	15,89	20,88	26,77	30,35	29,94	24,7	19,38	12,59	8,44	<b>18</b>
<b>Sagua à 887 m</b>													
<b>T min</b>	<b>1,95</b>	2,28	5,9	9,14	14,13	19,12	22,52	22,32	17,46	12,8	6,67	2,99	<b>11,44</b>
<b>T max</b>	10,86	13,11	17,02	19,92	24,9	31,7	<b>35,46</b>	34,84	29,21	23,23	15,79	11,17	<b>22,26</b>
<b>M+m/2</b>	6,40	7,69	11,46	14,53	19,51	25,41	28,99	28,58	23,33	18,01	11,23	7,08	<b>16,85</b>
<b>Keff El Assel à 1000 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b>1,5</b>	1,83	5,45	8,69	13,68	18,67	22,07	21,87	17,01	12,35	6,22	2,54	<b>10,99</b>
<b>Tmax</b>	10,07	12,32	16,23	19,13	24,11	30,91	<b>34,67</b>	34,05	28,42	22,44	15	10,38	<b>21,47</b>
<b>M+m/2</b>	5,78	7,07	10,84	13,91	18,89	24,79	28,37	27,96	22,71	17,39	10,61	6,46	<b>16,23</b>
<b>Keff El Assel à 1200 m</b>													
<b>T min</b>	<b>0,7</b>	1,03	4,65	7,89	12,88	17,87	21,27	21,07	16,21	11,55	5,42	1,74	<b>10,19</b>
<b>T max</b>	8,67	10,92	14,83	17,73	22,71	29,51	<b>33,27</b>	32,65	27,02	21,04	13,6	8,98	<b>20,07</b>
<b>M+m/2</b>	4,68	5,97	9,74	12,81	17,79	23,69	27,27	26,86	21,61	16,29	9,51	5,36	<b>15,13</b>
<b>La forêt d'Ouanougha</b>													
<b>Ahl El-Oued à 1134 m</b>													
<b>T min</b>	<b>0,96</b>	1,29	4,91	8,15	13,14	18,13	21,53	21,33	16,47	11,81	5,68	2	<b>10,45</b>
<b>T max</b>	9,13	11,38	15,29	18,19	23,17	29,97	<b>33,73</b>	33,11	27,48	21,5	14,06	9,44	<b>20,53</b>
<b>M+m/2</b>	5,04	6,33	10,1	13,17	18,15	24,05	27,63	27,22	21,97	16,65	9,87	5,72	<b>15,49</b>
<b>Kef Ktef Zana à 1453 m</b>													
<b>Tmin</b>	<b>-0,31</b>	0,02	3,64	6,88	11,87	16,86	20,26	20,06	15,2	10,54	4,41	0,73	<b>9,18</b>
<b>Tmax</b>	6,9	9,15	13,06	15,96	20,94	27,78	<b>31,5</b>	30,88	25,25	19,27	11,83	7,21	<b>18,31</b>
<b>M+m/2</b>	3,29	4,58	8,35	11,42	16,40	22,32	25,88	25,47	20,22	14,90	8,12	3,97	<b>13,74</b>
<b>Kef Ktef Zana à 1724 m</b>													
<b>T min</b>	<b>-1,4</b>	-1,07	2,55	5,79	10,78	15,77	19,17	18,97	14,11	9,45	3,32	-0,36	<b>8,09</b>
<b>T max</b>	5	7,25	11,16	14,06	19,04	25,84	<b>29,6</b>	28,98	23,35	17,37	9,93	5,31	<b>16,40</b>
<b>M+m/2</b>	1,8	3,09	6,85	9,92	14,91	20,80	24,38	23,97	18,73	13,41	6,62	2,47	<b>12,24</b>

Source : Station Météorologique de M'sila, 2016

## 1.2. Cadre bioclimatique

Le botaniste Emberger (1930) a proposé un quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) qui permet de situer la station dans l'étage bioclimatique convenable, où il fait intervenir le total des précipitations annuelles (P), la moyenne des maxima des mois les plus chauds (M) et la moyenne des minima des mois les plus froids (m).

En rapportant aux résultats de quotient pluviothermique d'Emberger ( $Q_2$ ) regroupées dans le tableau (4).

On remarque que les stations de Sidi Amar, Belouadeh (1050 m), El Haourane, Boustallough, Boustella, kef el Assel (1000 m), Kef el kbir et Sagaa sont présentes dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais avec des valeurs de ( $Q_2$ ) de l'ordre de 28,62 et 50,40 par rapport aux stations de Belouadeh (1150 m), Djebel Chedoug, Kef El-Assel (1200 m), Ahl El-Oued et Kef ktef zana qui présente un étage semi-humide à hiver froid.

Tableau 4 : Le quotient pluviothermique d'Emberger ( $Q_2$ ) des forêts de Dréat et Ouanougha (1988 – 2016)

Stations	Altitude (m)	Précipitations (mm)	M (°K)	m (°K)	$Q_2$	Etage bioclimatique	
Dréat	Sidi Amar	841	369,19	308,96	275,13	40,10	Semi-aride à hiver frais
	Belouadeh	1050	453,19	307,32	274,3	47,19	Semi-aride à hiver frais
		1150	493,09	306,62	273,9	51,91	Semi-aride supérieure à hiver frais
	Boustalloug	1000	432,21	307,67	274,5	44,76	Semi-aride à hiver frais
		1118	480,45	306,85	274,03	50,40	Semi-aride à hiver frais
	El Haourane	935	407	308,13	274,76	41,84	Semi-aride à hiver frais
		1018	438,48	307,55	274,43	45,49	Semi-aride à hiver frais
	Bousstélla	1050	453,19	307,32	274,3	47,19	Semi-aride à hiver frais
	Kef El Kbir	1035	446,88	307,43	274,36	46,45	Semi-aride à hiver frais
	Chedoug	1240	528,72	305,99	273,54	56,22	Semi-aride supérieure à hiver frais
	Sagaa	639	287,42	310,2	275,94	<b>28,62</b>	Semi-aride à hiver frais
		887	388,14	308,46	274,95	39,70	Semi-aride à hiver frais
	Kef El Assel	1000	432,21	307,67	274,5	44,76	Semi-aride à hiver frais
		1200	511,93	306,27	273,7	54,20	Semi-aride supérieure à hiver frais
Ouanougha	Ahl El-Oued	1134	486,75	306,73	273,96	51,15	Semi-aride supérieure à hiver frais
	Kef Ktef	1453	612,67	304,5	272,69	66,73	Semi-humide à hiver froid
	Zana	1724	721,76	302,6	272,64	<b>83,75</b>	Semi-humide à hiver froid

## 2. Stations et Echantillonnage

L'échantillonnage utilisé dans cette étude est subjectif car il est le plus simple et il consiste à choisir des zones homogènes et représentatives (Gounot, 1969).

L'aire minimale est déterminée quand les espèces relevées n'augmente plus (Gounot, 1969 ; Glande et al., 2003).

Onze stations ont été choisies pour faire l'inventaire floristique dans les forêts de Dréat et Ouanougha (Figure 5). Ce choix a été basé sur les variations altitudinales, d'exposition, types de substrat et de la pente.

Dans chaque station, le dénombrement de la végétation est réalisé sur trois aires minimales choisies aléatoirement ayant une superficie de 100 m<sup>2</sup>.

Les coordonnées géographiques des stations sont présentées dans le tableau (5).

Tableau 5 : Caractérisation des sites échantillonnés des forêts de Dréat et Ouanougha

Stations	Superficie	Coordonnées géographiques			
		Altitude (m)	Latitude (N)	Longitude (E)	
Forêt de Dréat	Sidi Amar	774 Ha	841	35° 56' 45"	4° 23' 51"
	Belouadeh	537 Ha	(1) : 1050	35° 55' 44"	4° 30' 22"
			(2) : 1150	35° 55' 14"	4° 30' 03"
	Boustalloug	840 Ha	(1) : 1000	35° 54' 30"	4° 28' 05"
			(2) : 1118	35° 56' 22"	4° 29' 02"
	El Haourane	1000 Ha	(1) : 935	35° 58' 11"	4° 20' 47"
			(2) : 1018	35° 59' 11"	4° 24' 41"
	Bousstélla	69 Ha	1050	35° 55' 45"	4° 26' 57"
	Kef El Kbir	949 Ha	1035	35° 55' 38"	4° 26' 38"
	Djebel Chedoug	1780 Ha	1240	35° 49' 15"	4° 17' 15"
Sagaa	1422 Ha	(1) : 639	35° 51' 00"	4° 22' 38"	
		(2) : 887	35° 51' 50"	4° 25' 00"	
Kef El Assel	783 Ha	(1) : 1000	35° 56' 00"	4° 26' 42"	
		(2) : 1200	35° 55' 60"	4° 26' 43"	
Forêt d'Ouanougha	Ahl El-Oued	787 Ha	1134	35° 58' 02"	4° 9' 37"
	Kef Ktef Zana	78 Ha	(1) : 1453	35° 57' 52"	4° 16' 55"
(2) : 1724			36° 01' 35"	4° 12' 73"	

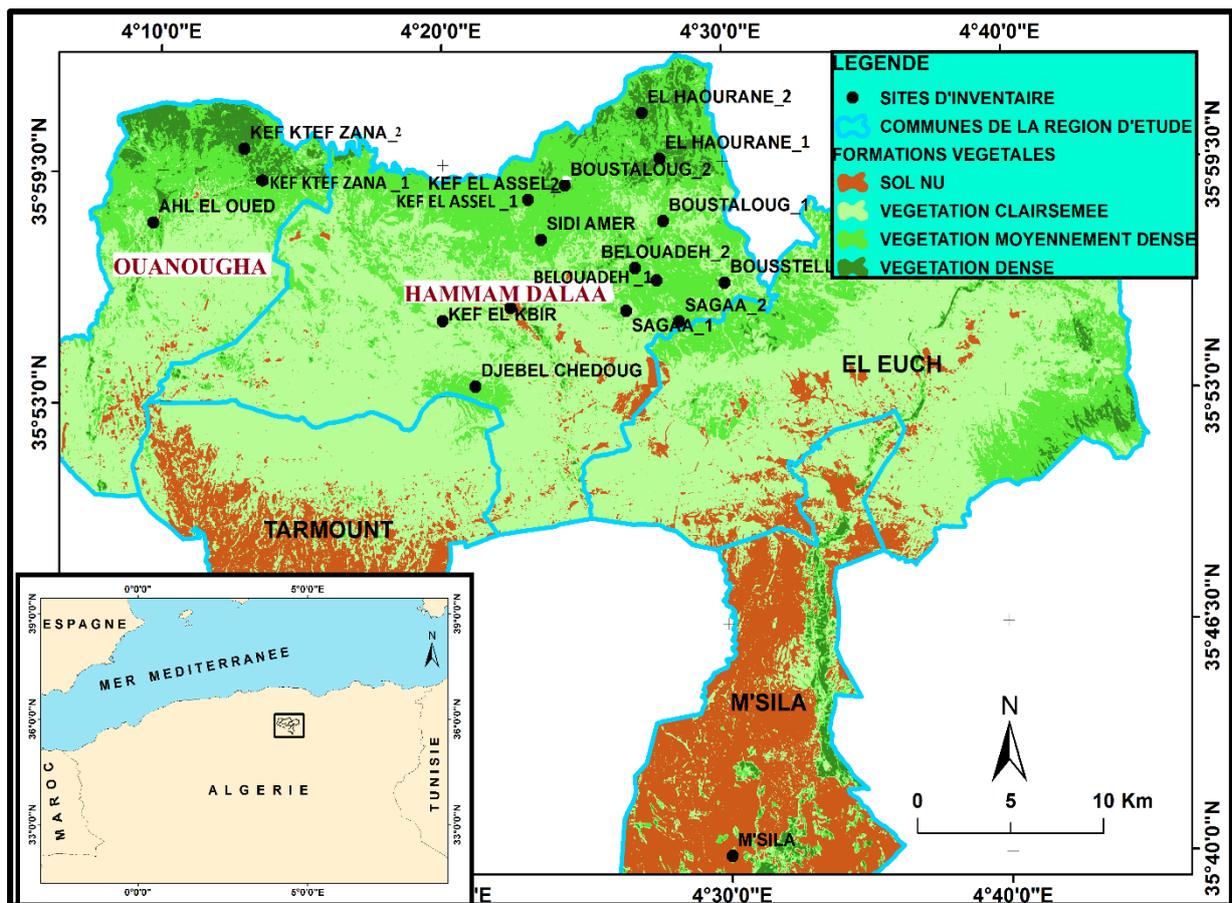


Figure 5 : Sites échantillonnés dans les forêts de Dréat et Ouanougha

73 relevés floristiques ont été effectués dans la zone d'étude durant la période de Mars à la mi-Juin 2016. Dans chaque relevé les espèces sont notées par leur présence - absence, ainsi que selon leur abondance - dominance et sociabilité sur l'échelle de Braun-Blanquet (1951) (Guinochet, 1973 ; Gehu et Rivas-Martinez, 1981).

### Échelle abondance-dominance

- ✓ +. + : espèce très peu dominante.
- ✓ 1 : espèce peu abondante.
- ✓ 2 : espèces très abondantes, recouvrement supérieur à 5 %.
- ✓ 3 : recouvrement de 25 % à 50 %, abondance quelconque.
- ✓ 4 : recouvrement de 50 % à 75 % abondance quelconque.
- ✓ 5 : recouvrement supérieur à 75 %, abondance quelconque.

***Échelle de sociabilité***

- ✓ 1 : lorsque les individus de l'espèce sont isolés
- ✓ 2 : lorsque les individus de l'espèce sont en groupe
- ✓ 3 : lorsque les individus de l'espèce sont en troupes
- ✓ 4 : lorsque les individus de l'espèce sont en petites colonies
- ✓ 5 : lorsque les individus de l'espèce sont en peuplements continus..

**3. Identification des espèces**

Les espèces sont récoltées et mises en herbiers, l'identification est réalisée au laboratoire, pour les espèces non identifiées sur terrain, en utilisant la nouvelle flore de l'Algérie de Quezel et Santa (1962, 1963).

Les espèces identifiées sont actualisées par les flores de Flora Corsica de Jeanmonod et Gamisans (2007), le Catalogue synonymique commenté de la Flore de Tunisie (Le Floc'h, Boulos et Vela, 2010), l'Index Synonymique de la Flore d'Afrique du Nord de Dobignard et Châtelain (2010-2013) et le site internet : [www.Tela\\_botanica.org](http://www.Tela_botanica.org).

**4. Analyse des données floristiques****4.1. Composition floristique**

Pour la composition floristique, une liste des espèces inventoriées dans 11 stations a été dressée et analysée. Le nombre de familles, de genres et d'espèces était évalué dans chaque station. Pour toutes les espèces, le nom vernaculaire, les types morphologiques, les types biologiques et les types de distribution phytogéographique ont été pris en compte dans l'analyse globale.

Les différents indices de diversité sont calculés afin de comparer la distribution de la flore entre les différentes stations.

**4. 2. Indices de diversité biologique de la flore**

Les indices de composition (La richesse totale, la fréquence) et des indices de structure (Indice de diversité de Shannon-Weaver, Diversité maximale, Équitabilité et l'indice de Simpson) permettent d'avoir aisément une meilleure idée sur l'état de la diversité biologique d'un écosystème.

**4.2.1. La richesse spécifique (S)**

La Richesse spécifique S est représentée par le nombre total ou moyen d'espèces recensées par unité de surface (Grall *et al.*, 2006).

$$S = \text{nombre d'espèces de la zone d'étude}$$

**4.2.2. Fréquence centésimale (F)**

L'abondance relative d'une espèce est le nombre d'individus de cette espèce par rapport au nombre totale des individus de toutes les espèces contenues dans le même prélèvement (Ramade, 2008), elle est calculée par la formule suivante :

$$F(\%) = (ni/N)*100$$

ni : Nombre d'individus de l'espèce considérée.

N : Nombre total des individus de toutes les espèces confondus.

**4.2.3. Indice de diversité de Shannon**

L'indice de Shannon (H'), couramment utilisé dans cette étude est calculé selon la formule suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^S pi \cdot \log_2 pi$$

Avec :  $pi = ni/N$  où  $ni$  est ici le recouvrement de l'espèce  $i$  dans le relevé tandis que  $N$  équivaut à la somme des recouvrements de l'ensemble des espèces, il varie entre 0 et 1 (Marcon, 2017).

**4.2.4. Diversité maximale (H' max)**

La diversité maximale ( $H_{max}$ ) ou équipartition correspond au cas où toutes les espèces sont représentées par le même nombre d'individus (Ramade, 2003), elle est calculée simplement à partir de l'expression suivante :

$$H_{max} = \log_2 S$$

$H_{max}$  : La Diversité maximale exprimée en bits.

Selon Dajoz (2006), l'équitabilité (E) correspond à la diversité relative et elle est définie par la formule suivante :

$$E = H' / H_{max} = H / \log_2 S$$

Cet indice permet de comparer la diversité entre deux peuplements à richesses spécifiques différentes, il varie de 0 à 1 (Marcon, 2006).

#### **4.2.5. Indice de Simpson (C)**

L'indice de Simpson (C) est utilisé pour évaluer l'importance de la dominance d'une ou de plusieurs espèces dans un peuplement (Marcon, 2013), il varie entre 0 et 1. Cet indice est calculé comme suit :

$$C = \sum (ni/N)^2$$

ni : Abondance (nombre d'individus) de chaque espèce.

N : Nombre total d'individus.

#### **4.2.6. Indice de perturbation**

L'indice de perturbation permet l'appréciation de l'état de dégradation des groupements individualisés (Habrard et *al.*, 1995) ; il est formulé par la relation de Loisel et Gamila (1993) :

$$IP = [(N \text{ Chaméphytes} + N \text{ Thérophytes}) / N \text{ total des espèces}] * 100$$

## **PARTIE II - ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES**

### **I-Matériel végétal**

Deux plantes ont été choisies pour l'étude phytochimiques et les essais des activités biologiques : *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla*.

#### **1. *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl**

*Synonymes* : *Passerina hirsuta* L et *Passerina metnan* Forssk

*Noms vernaculaires* : Passerine hérissée, Passerine hirsute, Thymélée hirsute.

*Noms arabes* : Mitnan, Matnan el akhdar

##### **1.1. Description botanique**

*Thymelaea hirsuta* (L.) Endl est une plante vivace arbustive susceptible d'atteindre 2-3 mètres de hauteur, à feuilles très petites densément imbriquées de 3 - 8 X 1,5 – 4 mm, coriaces ovoïdes aigues, glabres en dessous, pubescentes- laineuses en dessus ainsi que les tiges. Fleurs 2-5 au sommet des rameaux à calice rapidement caduque, jaunâtre, polygame, elle est soit unisexuée ou hermaphrodite. Les fruits sont des baies glabres consommées par les animaux assurent la dispersion des graines (Dispersion zoochore). Ces dernières présentent un tégument extérieur rugueux et assez dur. L'embryon est droit dans un albumen peu abondant (Quezel et Santa, 1962-1963 ; Beniston, 1984 ; Jeanmonod et Gamisans, 2007) (Figure 6).

La floraison débute à partir du mois d'Octobre et s'étale jusqu'au mois d'Avril.



Figure 6: *Thymelaea hirsuta* (L).Endl

### **1.2. L'aire de répartition et habitat**

*Thymelaea hirsuta* à une distribution essentiellement circumméditerranéenne (Sud de l'Europe, sud-ouest de l'Asie, Afrique du Nord). Elle s'étend cependant à l'ouest au littoral atlantique du sud de l'Espagne, du sud du Portugal et du Maroc nord-occidental (Figure 7). En Afrique du Nord, la limite sud de son aire coïncide à peu près exactement avec la bordure du Sahara (Jeanmonod et Gamisans, 2007).

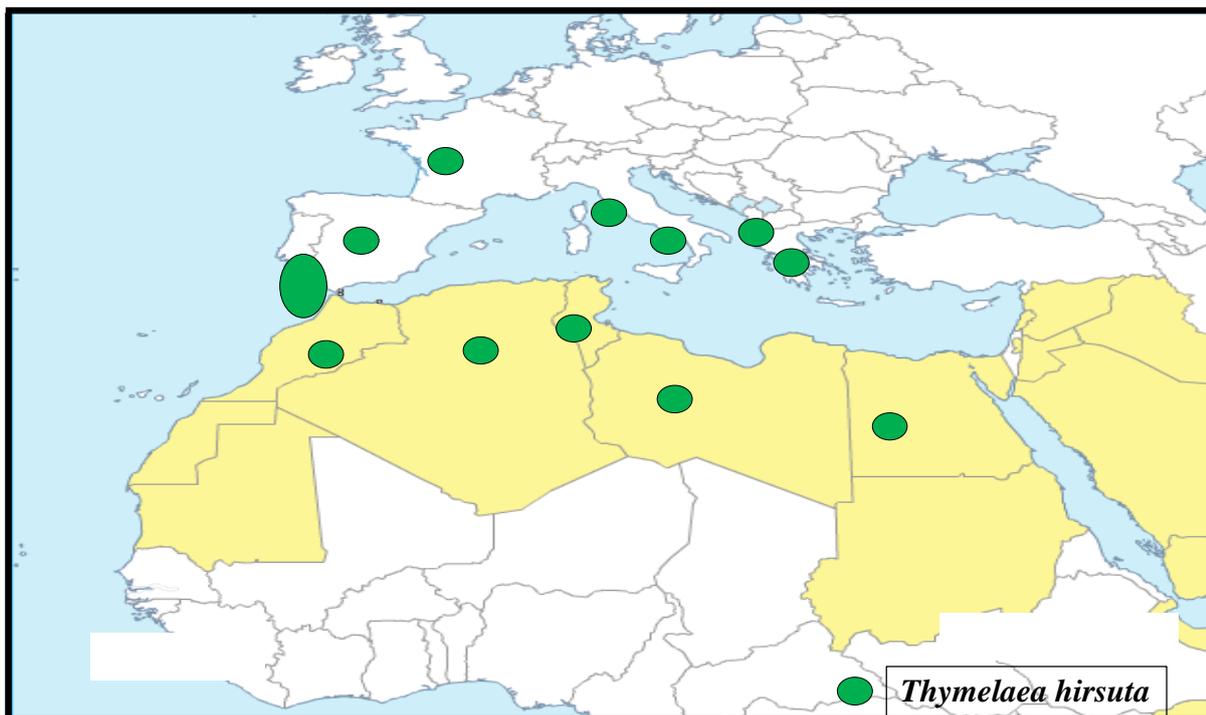


Figure 7 : Distribution de *Thymelaea hirsuta* dans le monde (Modifiée)

### 1.3. Position systématique

Quezel et Santa (1962 - 1963) ont classifiés l'espèce *T. hirsuta* comme suit :

Règne : Végétal

Embranchement : Phanérogames

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Eudicots

Sous classe : Rosidae

Ordre : Malvales

Famille : Thymelaeaceae

Genre : *Thymelaea*

Espèce : *Thymelaea hirsuta* (L) Endl.

### 2. *Thymelaea microphylla* Coss et Dur

*Synonymes* : *Passerina microphylla* Coss and Dur et *Stellera microphylla* (Coss and Dur)

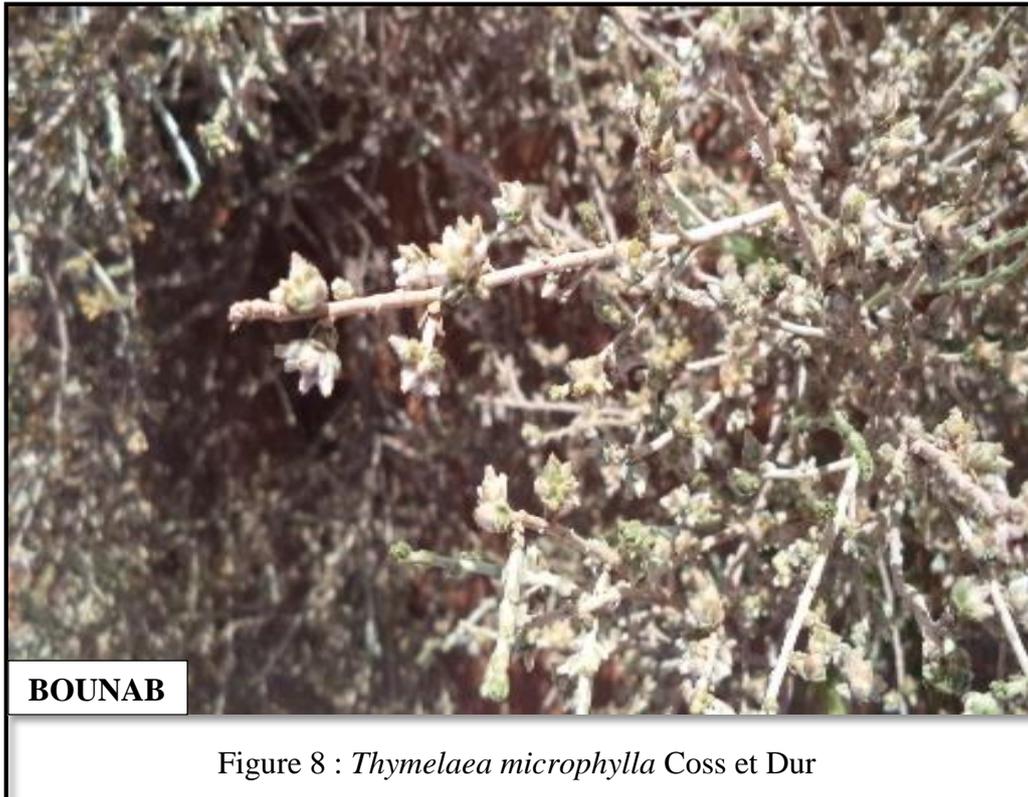
Kuntze

*Noms vernaculaires* : Thymelée ou passerine à petites feuilles.

*Noms arabes* : Methnane el Abiod.

**2.1. Description botanique**

C'est une plante vivace à feuilles très petites (1 - 4 mm), ovoïdes, éparses et distantes sur les rameaux. Arbrisseaux dioïques à rameaux effilés canescents. Fleurs glomérulées par 2 - 5 à l'aisselle des feuilles et bien plus longues qu'elles. Jaunâtres à lobes très courts (Quezel et Santa, 1962-1963) (Figure 8).

**2.2. L'aire de répartition et habitat**

Plante endémique du Nord de l'Afrique, elle est très commune dans les Hauts Plateaux, plus rare au Sahara septentrional où on la rencontre jusqu'au sud d'El Goléa (Figure 9).

*Thymelaea microphylla* colonise les sols sablonneux et les sols gypseux. Généralement cette plante occupe les glacis ensablés avec les espèces *Atractylis serratuloide*, *Lygeum spartum* où occupent les steppes avec l'espèce *Salsola vermiculata*.

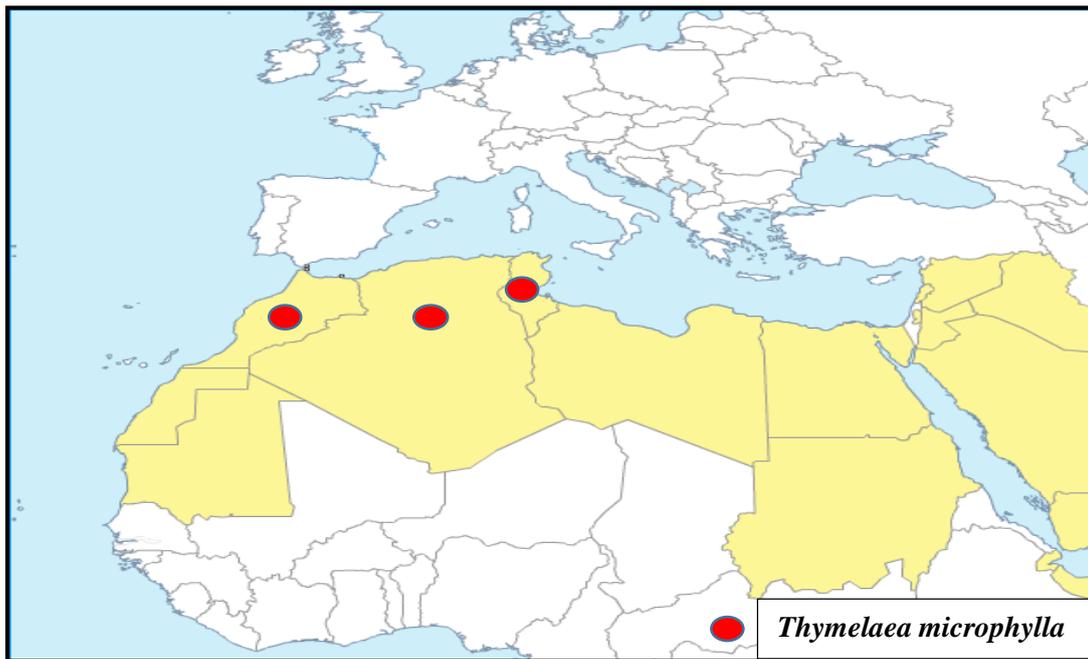


Figure 9 : Distribution de *Thymelaea microphylla* dans l'Afrique du nord (Modifiée)

### 2. 3. Position systématique

Selon Quezel et Santa (1962-1963), la position systématique de l'espèce *T.microphylla* est comme suit :

Règne : Végétal

Embranchement : Phanérogames

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Endicots

Sous classe : Rosidae

Ordre : Malvales

Famille : Thymelaeaceae

Genre : *Thymelaea*

Espèce : *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur.

## II. Echantillonnage

Les parties aériennes des deux plantes *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* ont été récoltées durant la période de floraison pendant deux campagnes 2016 et 2017 de plusieurs stations de la wilaya de M'sila (Figure 10).

Les coordonnées géographiques des populations échantillonnées sont regroupées dans le tableau (6). Les plantes, fraîchement récoltées, sont séchées à l'ombre dans un endroit sec et aéré pendant 10 à 15 jours.

Tableau 6 : Coordonnées géographiques des populations échantillonnées.

<b>Taxons</b>	<b>Localités</b>	<b>Coordonnées géographiques</b>
<b><i>T. hirsuta</i></b>	Ouled Mansour	35° 43' 46" N, 4° 23' 47" E
	Ouanougha	35° 58' 51" N, 4° 11' 10" E
	Réserve de Mergueb	35° 60' 14" N, 3° 93' 95" E
	Bouti sayeh	35° 63' 18" N, 3° 72' 55" E
	Sidi Hadjress	35° 66' 80" N, 3° 98' 24" E
	Benzoh	35° 51' 75" N, 4° 08' 65" E
	Ain Lehdjel	35° 66' 60" N, 3° 85' 98" E
<b><i>T. microphylla</i></b>	Chott el Hodna (Partie sud, M'cif)	35° 20' 32" N, 4° 12' 50" E
	Réserve de Mergueb	35° 60' 14" N, 3° 93' 95" E
	Ain Lehdjel	35° 66' 60" N, 3° 85' 98" E
	Hammam Dalaa (Sagaa)	35° 51' 00" N, 4° 22' 38" E

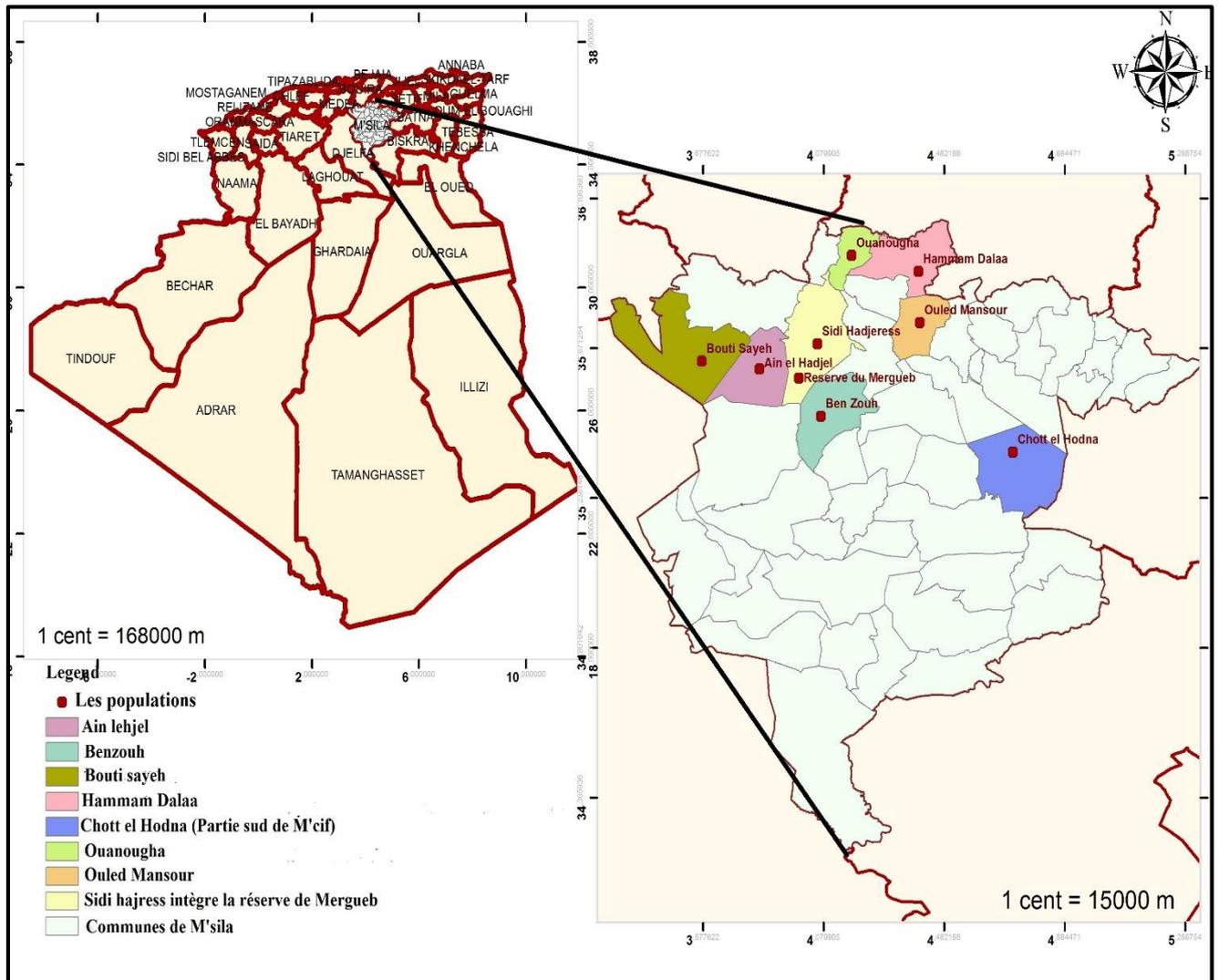


Figure 10 : Localisation des populations échantillonnées (Systemes coordonnées GCS WGS 1984)

### **III - Méthodes**

#### **1. Extraction des huiles essentielles**

Pour chaque station, nous avons prélevé une masse de 2200 g du matériel végétal, séché à l'ombre dans un endroit sec et aéré pendant 10 à 15 jours, puis soumis à l'hydrodistillation pendant 3 h.

L'huile essentielle obtenue a été recueillie et séchée par le sulfate de sodium anhydre et stocké dans des flacons en verre à bouchon vissé dans un réfrigérateur à 4 – 5 °C à l'abri de la lumière.

#### **2. Le rendement**

Le rendement des huiles essentielles s'exprime par le rapport de la quantité d'huile recueillie après distillation sur la quantité de la biomasse, exprimée en pourcentage. Il est calculé de la manière suivante :

$$R (\%) = (m \text{ HE}/m \text{ Mv}) * 100$$

m HE : masse de l'huile essentielle obtenue

m Mv : masse de la matière végétale utilisée (g)

#### **3. Détermination de la composition chimique**

L'analyse chimique des huiles essentielles est réalisée dans le laboratoire SIGMA Clermont (Université Clermont Auvergne, France) et le laboratoire LEXVA analytique de Beaumont (France).

La séparation et l'identification des constituants volatiles des huiles essentielles des espèces du genre *Thymelaea* ont été réalisées au moyen de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) couplée à la spectrométrie de masse (GC / SM). La détermination quantitative a été faite sur un appareil équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (CG / FID).

Chromatographe Hewlett-Packard HP 7890 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (CPG / FID). Les conditions opératoires utilisées sont comme suit :

**Conditions opératoires**

- Colonne : Apolaire : DB5 MS : 40 m x 0,18 mm 0,18 µm.
- Gaz vecteur : Hélium : 1 ml/min.
- Température de l'injecteur : 280 °C avec diviseur 1/100.
- Température du détecteur : 280 °C.
- Programmation du four : 50 °C pendant 5 min, 5 °C/min, °C jusqu'à 300 °C.
- Injecteur mode split 1: 60.

L'appareil utilisé est un chromatographe en phase gazeuse de type Hewlett-Packard HP 5890 couplé avec un spectromètre de masse Hewlett Packard HP 5975-C. Une banque de spectre de masse informatisée est couplée à ce système pour une caractérisation préliminaire des composants de l'huile essentielle. Les conditions opératoires utilisées sont comme suit :

**Conditions opératoires**

- Colonne : Apolaire : DB5 MS : 40 m x 0,18 mm 0,18 µm.
- Gaz vecteur : Hélium : 1 ml/min.
- Energie d'ionisation : 70e V.
- Température de l'injecteur : 280 °C avec diviseur 1/100.
- Température du détecteur : 280 °C.
- Programmation du four : 50 °C pendant 5 min, 5° C/min, °C jusqu'à 300 °C.
- Injecteur mode split 1: 100.

Dans les conditions de programmation de température constantes au CPG, le temps de rétention d'un composé reste également constant. Mais, en pratique, les conditions d'analyse varient beaucoup et, pour cette raison, le temps de rétention seul ne serait fiable. Avec l'introduction du système des indices de Kovats (IK), l'identification des différents composés des huiles essentielles est devenue plus pratique.

Le calcul des indices de Kovats (IK) se fait en utilisant les temps de rétention corrigés des deux alcanes qui encadrent le composé inconnu (Maarse et Belz, 1981 *in* Lograda, 2010). Ces indices expriment la rétention d'un produit comparé à son homologue hydrocarbure linéaire, examinées dans les mêmes conditions de température.

L'identification des composants a été basée sur la comparaison des temps de rétention de chaque composant, leurs spectres de masse et leurs KI (Indice de Kovats) avec ceux de substances pures enregistrées dans la littérature, notamment dans les bases de données NIST (National Institute of Standards and Technology) (Masada, 1976 ; NIST, 2002) et ceux décrits par Adams (2007).

#### **4. Activités biologiques**

Nous avons effectué trois essais pour évaluer les activités biologiques. Les souches bactériennes et fongiques proviennent de l'institut de Pasteur (Annexe de M'sila), le C.H.U de Sétif et de laboratoire de Microbiologie (Université de Laghouat).

##### **4.1. Activité antibactérienne**

L'étude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* a été réalisée au niveau du laboratoire de Microbiologie de l'institut de Pasteur (Annexe de M'sila) et laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles du département d'écologie (Université Ferhat Abbes – Sétif 1). Quatre bactéries Gram positive ont été testé *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Enterococcus faecalis* (ATCC 51299) et quatre bactéries Gram négative *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella enterica* (ATCC43972), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853).

Ces souches proviennent de l'institut de Pasteur (Annexe de M'sila), l'hôpital de M'sila, le C.H.U de Sétif et le laboratoire de Microbiologie de l'Université d'Amar Telidji de Laghouat.

L'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles est réalisée par la méthode de diffusion sur disques décrite par Rasooli et *al.* (2003) en raison de sa simplicité et son efficacité pour tester la sensibilité des bactéries (Figure 11).

##### **4.1.1. Préparation des milieux de culture**

La gélose de Mueller-Hinton stérile, prêt à l'usage, a été coulée dans des boîtes de Pétri stériles de 90 mm de diamètre jusqu'à une épaisseur de 4 mm répartie uniformément dans les boîtes.

**4.1.2. Préparation des dilutions des HEs**

Après l'extraction des HEs par hydrodistillation, on prépare les dilutions suivantes : 1/1, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16 (v/v) dans le DMSO (Diméthylsulfoxyde).

**4.1.3. Préparation de l'inoculum**

Chaque souche bactérienne a été ensemencée en stries sur des boîtes de Pétri contenant la gélose nutritive (GN) et incubée pendant 18 heures, afin d'obtenir une culture jeune des bactéries et des colonies bien isolées.

Après les 18 heures et à partir de ces boîtes, on a prélevé quelques colonies bien isolées et parfaitement identiques avec une pipette Pasteur et les transférer dans un tube contenant 9 ml d'une solution d'eau physiologique stérile à 0,9 % de sel (NaCl).

**4.1.4. L'ensemencement et dépôt des disques**

Dans les 15 minutes qui suivent l'ajustement de la densité de la suspension bactérienne ou l'inoculum, on a trempé un écouvillon dans la suspension et on a étalé toute la surface de la gélose (Mueller Hinton) à trois répétitions en tournant la boîte à chaque fois avec 60°, et enfin, on a écouvillonné partout autour du bord de la surface de la gélose. Le but de chaque application est d'avoir une distribution uniforme de l'inoculum.

Des disques sont déposés sur la gélose précédemment inoculée avec le microorganisme choisi, puis les imbibés par les différentes dilutions des HEs (1/1, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16 ; v/v). Chaque disque contient 10 µl d'une seule dilution d'une huile essentielle, d'autres disques imprégnés chacun de 10 µl de DMSO sont utilisés comme témoins négatifs.

La gentamicine (GM = 10µg) est utilisée comme témoin positif pour les souches bactériennes.

**4.1.5. Incubation et expression des résultats**

Les boîtes de Pétri sont incubées à l'étuve à 37 °C pendant 18 à 24 heures. Après incubation, le diamètre d'inhibition autour des disques est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse et exprimée en mm.

L'interprétation des résultats se fait selon l'échelle de Ponce *et al.* (2003) :

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre < 8mm.
- Sensible (+) : diamètre compris entre 9 à 14 mm.
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 15 à 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre > 20 mm.

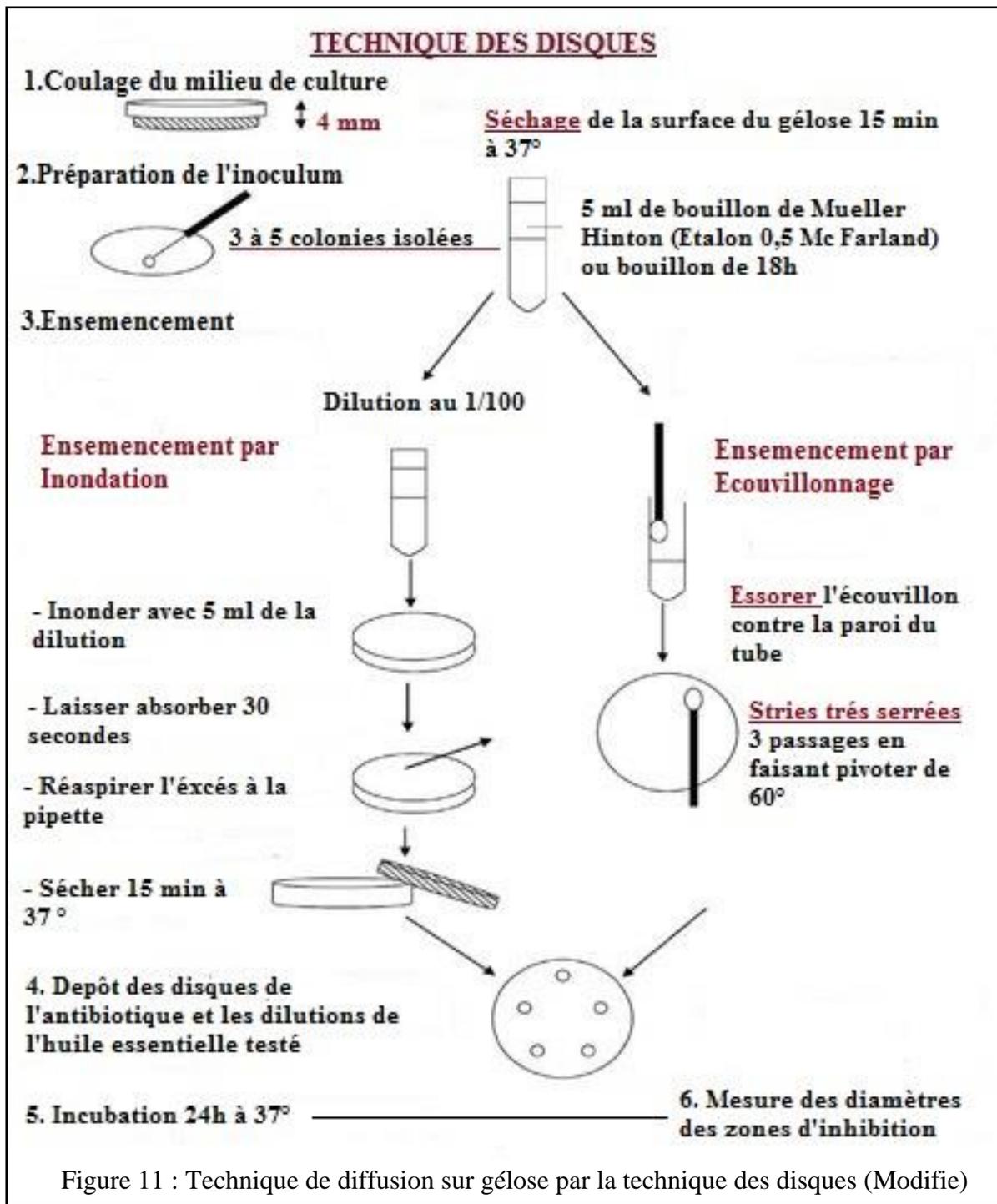


Figure 11 : Technique de diffusion sur gélose par la technique des disques (Modifiée)

## **4.2. Activité antifongique**

Pour évaluer l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla*, nous avons adopté à la technique de contact direct sur gélose décrite par Ouraïni et *al.* (2005). Nous avons travaillé sur deux souches fongiques ; une levure *Candida albicans* (ATCC 10231) et un champignon *Aspergillus niger* (ATCC16404).

En ce qui concerne les champignons, les mêmes étapes à celles de l'activité antibactérienne, des suspensions de cellules fongiques (*C. albicans*) et des spores (*A. niger*) sont préparées à partir des cultures pures et jeunes (Inoculum) à base des milieux de culture Sabouraud et PDA.

Des disques de papiers chromatographiques de 6 mm de diamètre, préalablement stérilisés sont déposés à la surface de géloseensemencée après avoir été chargé de 5 µl d'huile essentielle diluée dans le DMSO (Dimethylsulfoxyde) à 1/1, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16 (v/v). D'autres disques, chargés de 5 µl de DMSO sont utilisés comme témoins.

L'ensemencement a été réalisé en utilisant une pipette Pasteur au niveau de la surface du substrat. L'inoculum se présente sous forme d'une suspension dans l'eau physiologique de cellules fongiques.

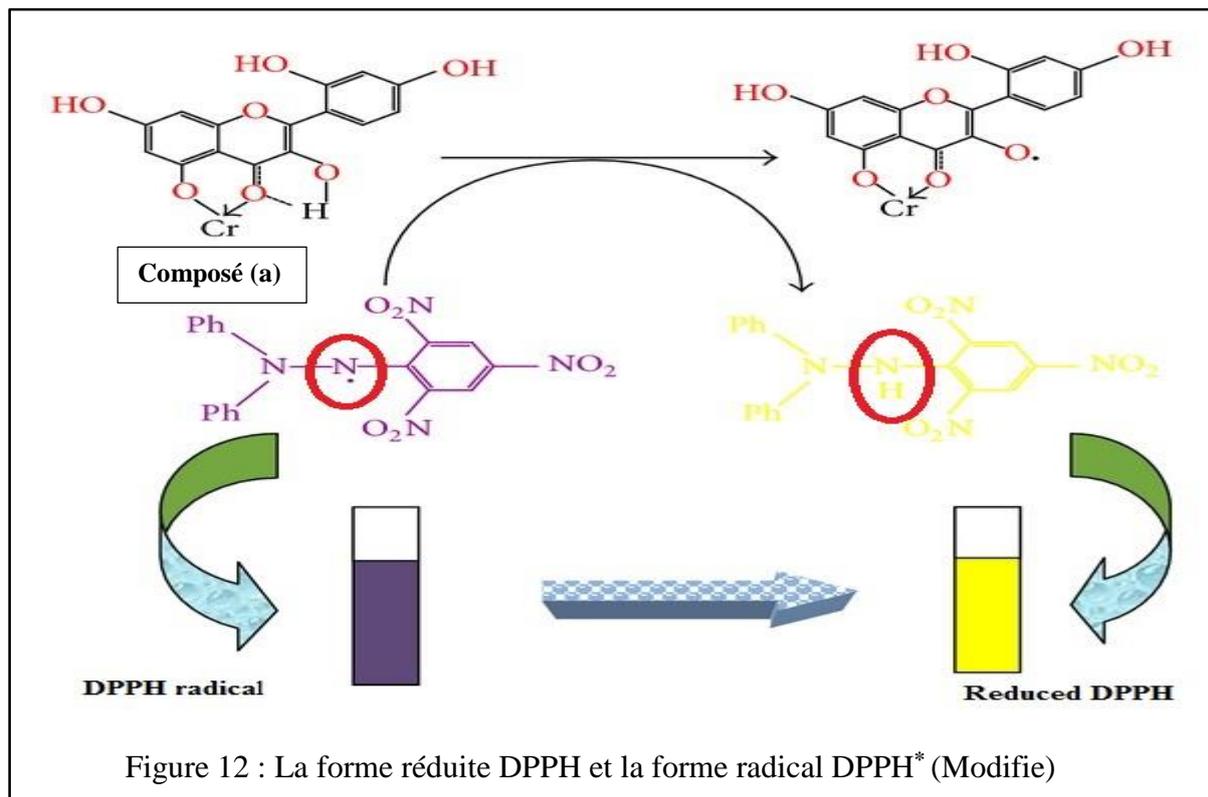
L'incubation a été réalisée à température ambiante pendant trois jours pour la levure (*Candida albicans*) et sept jours pour le champignon (*Aspergillus niger*). La température d'incubation est de 25 °C.

La croissance mycélienne a été évaluée en mesurant la zone d'inhibition (mm) vis-à-vis les microorganismes étudiés, y compris le diamètre du disque.

## **4.3. Activité antioxydante**

### **4.3.1. Le test du DPPH**

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques purs ou des extraits. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Le test de DPPH a été utilisé au cours de notre étude. C'est une méthode colorimétrique basée sur la capacité des substances dites antioxydantes à donner un électron au radical synthétique DPPH\* (2,2 diphenyl 1 picrylhydrazyl). Cette réduction se traduit par un changement de la couleur violette de la solution éthanolique de DPPH vers une coloration jaunâtre (Figure 12).



#### 4.3.2. Mode opératoire

L'activité antioxydante mesurée par la méthode DPPH est décrite selon le protocole d'Archana et *al.* (2005). 400  $\mu$ l d'huile essentielle sont mélangées avec 400  $\mu$ l de méthanol à différentes concentrations (1/1,1/2,1/4,1/8,1/16,1/32,1/64 et 1/128).

On prélève 100  $\mu$ l du mélange préparé (Huile essentielle + Méthanol) et on ajoute 2,9 ml de solution méthanolique de DPPH (4 mg /100 ml de méthanol équivalent à 0,004 %).

Après agitation par un vortex, le mélange a été laissé à l'obscurité pendant 30 min et la densité optique a été mesurée avec un spectrophotomètre UV-Visible à 517 nm.

Le contrôle négatif contient uniquement la solution de DPPH et le contrôle positif est le BHT (Butylate Hydroxy toluène) qui a été aussi préparé selon la même méthode avec des mêmes concentrations pour la comparaison. Tous les essais ont été effectués en triple .

L'activité antioxydante est estimée en pourcentage d'inhibition ou pourcentage d'activité antioxydante, selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'activité antioxydante} = [(Abs_{\text{control négatif}} - Abs_{\text{échantillon}}) / (Abs_{\text{control négatif}})] \times 100$$

Où :  $Abs_{\text{control négatif}}$  est l'absorbance du témoin (contenant tous les réactifs sans le produit à tester).

$Abs_{\text{échantillon}}$  est l'absorbance du test.

Le graphique de la variation du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration de l'huile essentielle permet de déterminer l'IC<sub>50</sub> correspondant à 50 % d'inhibition et qui constitue l'activité antioxydante de l'huile essentielle. Cette valeur est comparée à celle trouvée pour le composé de référence.

## **5. Techniques numériques d'analyse des données**

Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant des logiciels *STATISTICA 10* et *PAST 3.6*.

### **5.1. Technique statistique Unweighted Pair Group Method with Arithmetic means (UPGMA)**

L'UPGMA est le nom d'un algorithme destiné à la construction d'un arbre phylogénétique. Cette méthode permet la transformation d'une matrice de distances (Entre différents organismes, populations ou séquences de nucléotides) en un arbre enraciné. C'est la méthode la plus simple de construction d'arbre. A l'origine, elle a été développée pour construire les phénogrammes taxonomiques (Arbres qui reflètent les similitudes phénotypiques entre unités taxonomiques), mais elle est employée aussi pour construire les arbres phylogénétiques si les taux d'évolution sont approximativement constants parmi les différentes lignées.

**5.2. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)**

L'analyse en composantes principales (A.C.P) est une méthode statistique d'analyse des données (Initialement de statistique descriptive) qui consiste à rechercher les directions de l'espace qui représentent le mieux les corrélations entre les variables aléatoires.

Le but est de comprendre et de visualiser comment les effets de phénomènes a priori isolés se combinent entre eux.

Lorsqu'on veut compresser un ensemble de -N variables aléatoires, les N premiers axes de l'ACP est un meilleur choix, du point de vue de l'inertie expliquée. Si on décide de ne retenir que les deux premiers axes de l'ACP, on pourra alors projeter notre nuage sur un plan, et le visualiser. Même si l'ACP est majoritairement utilisée pour visualiser des données, il ne faut pas oublier que c'est aussi un moyen de décorrélérer les données, les axes qui ne sont pas utilisés c'est de l'information perdue c'est une classification des données en amas (Clusters) corrélés.

**5.3. Analyse factorielle des correspondances (A.F.C)**

L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C) est une technique d'analyse très appropriée pour la détermination des groupements végétaux, elle est utilisée pour discriminer de manière objective des entités de végétation.

Cette analyse offre la particularité de fournir un espace de représentation commun, sur une même carte factorielle, les relevés qui se ressemblent ainsi que les espèces associées à un même groupe de relevés se trouvent regroupées.

**5.4. Analyse de la variance (ANOVA)**

L'analyse de variance est une technique statistique permettant de comparer les moyennes de plus de deux populations. Son but est en fait de procéder à une sorte de généralisation de la comparaison des moyennes ou de la comparaison des pourcentages lorsqu'il y a plus de deux valeurs à comparer.

**5.5. Test de fonction de désirabilité**

Le test de fonction de désirabilité utilisé dans notre étude est celui décrit par John (2013). C'est une méthode statistique d'analyse des données qui consiste de transformer une variable de chaque réponse en une valeur de désirabilité. L'opportunité est définie de telle sorte que si une réponse dépasse les limites acceptables ; la valeur de désirabilité correspondante sera 0 et représente une réponse complètement indésirable. Si la réponse est sur la cible, la valeur de désirabilité sera égale à 1 et représente la réponse la plus souhaitable.

Le but de ce test est de comprendre et de visualiser comment les effets de phénomènes a priori isolés se combinent.

**CHAPITRE III**

**RESULTATS**

**ET DISCUSSION**

**PARTIE I - ETUDE DE LA BIODIVERSITE VEGETALE DANS  
LA FORET DE DREAT ET D'OUANOUGHA**

**I-Résultats de l'étude floristique**

La présente étude est menée dans les forêts naturelles de Dréat et Ouanougha de la chaîne montagneuse du Hodna et plus exactement dans la partie nord-ouest de M'sila (Algérie).

Sur la totalité des 73 relevés floristiques réalisées dans les forêts de Dréat et Ouanougha ; nous avons recensé 343 taxons réparties sur 222 genres appartenant à 55 familles (Tableau 1, annexe 1).

Les *Asteraceae* et les *Fabaceae* sont les familles les plus dominantes ; avec 39 genres (17,58 %) et 67 espèces (19,47 %), 19 genres (8,55 %) et 41 espèces (11,91 %) respectivement. Suivie par les familles des *Lamiaceae* avec 17 genres (7,65 %) et 22 espèces (6,39 %), les *Poaceae* 16 genres (7,2 %) et 21 espèces (6,1 %) et enfin les *Brassicaceae* avec 15 genres (6,75 %) et 15 espèces (4,36 %) (Tableau 7, figure 13).

Tableau 7 : Composition floristique en familles, genres et espèces des forêts de Dréat et Ouanougha

Famille	Genre	Fréquence des genres (%)	Espèce	Fréquence des espèces (%)	Famille	Genre	Fréquence des genres (%)	Espèce	Fréquence des espèces (%)
<i>Asteraceae</i>	39	17,58	67	19,47	<i>Cyperaceae</i>	2	0,9	2	0,58
<i>Fabaceae</i>	19	8,55	41	11,91	<i>Abietaceae</i>	2	0,9	2	0,58
<i>Lamiaceae</i>	17	7,65	22	6,39	<i>Convolvulaceae</i>	2	0,9	2	0,58
<i>Poaceae</i>	16	7,2	21	6,1	<i>Euphorbiaceae</i>	1	0,45	5	1,45
<i>Brassicaceae</i>	15	6,75	15	4,36	<i>Résédaceae</i>	1	0,45	2	0,58
<i>Liliaceae</i>	9	4,05	15	4,36	<i>Plantaginaceae</i>	1	0,45	2	0,58
<i>Apiaceae</i>	9	4,05	10	2,9	<i>Linaceae</i>	1	0,45	2	0,58
<i>Caryophyllaceae</i>	7	3,15	11	3,19	<i>Malvaceae</i>	1	0,45	2	0,58
<i>Rosaceae</i>	5	2,25	7	2,03	<i>Anacardiaceae</i>	1	0,45	2	0,58
<i>Rubiaceae</i>	5	2,25	6	1,74	<i>Aceraceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Boraginaceae</i>	5	2,25	5	1,45	<i>Polygonaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Renonculaceae</i>	4	1,8	8	2,32	<i>Apocynaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Scrofulariaceae</i>	4	1,8	7	2,03	<i>Tamaricaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Primulaceae</i>	4	1,8	6	1,74	<i>Fagaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Papaveraceae</i>	4	1,8	5	1,45	<i>Saxifragaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Cistaceae</i>	3	1,35	10	2,9	<i>Solanaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Iridaceae</i>	3	1,35	6	1,74	<i>Typhaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Valérianaceae</i>	3	1,35	4	1,16	<i>Juncaceae</i>	1	0,45	1	0,29

<i>Oleaceae</i>	3	1,35	4	1,16	<i>Juglandaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Geraniaceae</i>	2	0,9	8	2,32	<i>Lauraceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Crassulaceae</i>	2	0,9	5	1,45	<i>Moraceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Orchidaceae</i>	2	0,9	4	1,16	<i>Zygophyllaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Dipsaceae</i>	2	0,9	3	0,87	<i>Myrtaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Thymelaeaceae</i>	2	0,9	3	0,87	<i>Rutaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Cupressaceae</i>	2	0,9	3	0,87	<i>Araceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Rhamnaceae</i>	2	0,9	3	0,87	<i>Globulariaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Chenopodiaceae</i>	2	0,9	3	0,87	<i>Polypodiaceae</i>	1	0,45	1	0,29
<i>Cucurbitaceae</i>	2	0,9	2	0,58					

Les familles comme les *Rhamnaceae*, les *Chénopodiaceae*, les *Thymeleaceae* et les *Zygophyllaceae* sont très faiblement présentes et généralement monogénériques et monospécifiques, ils représentent un taux 0,9 % pour les genres et 0,45 % pour les espèces.

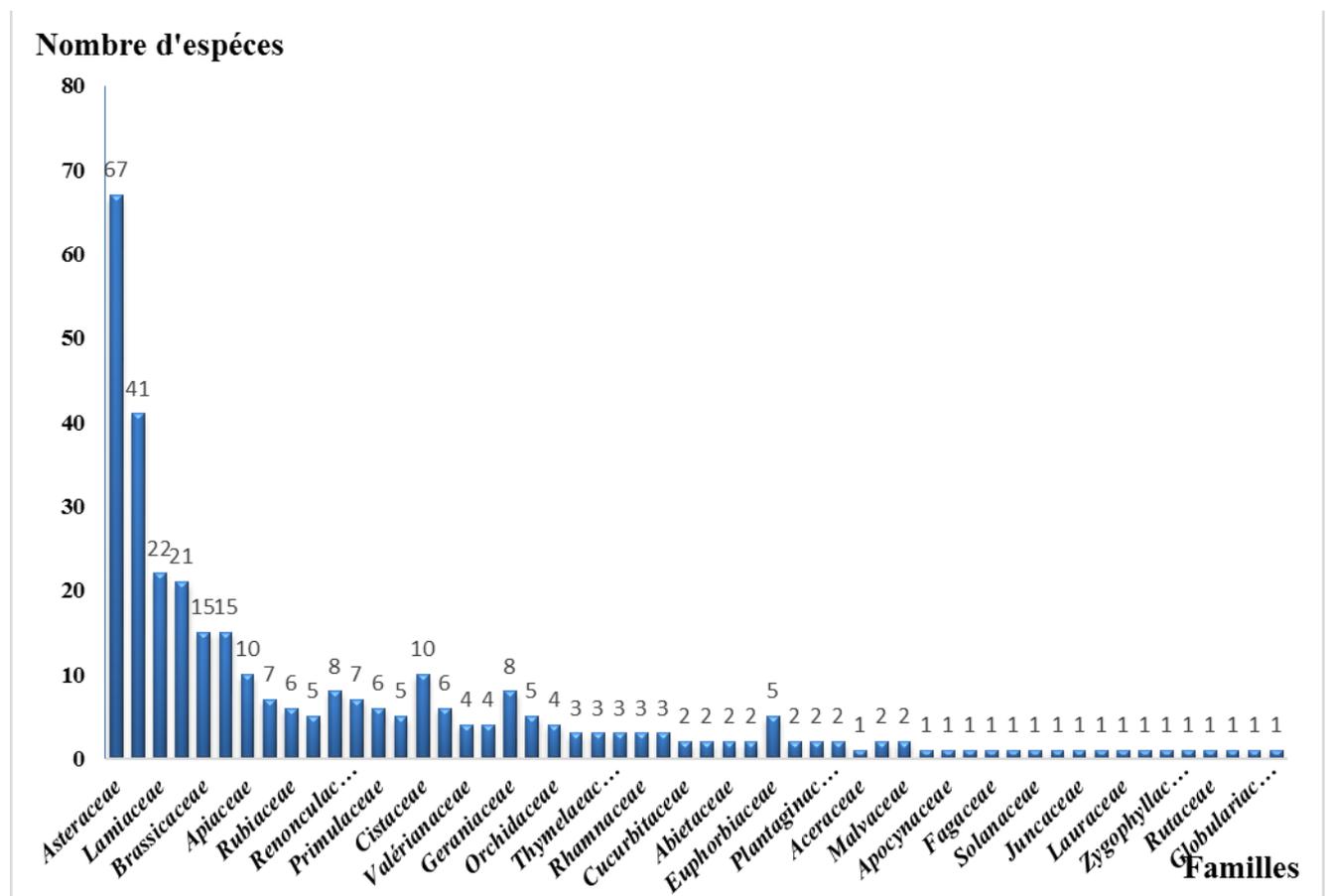


Figure 13 : Représentation graphique des familles botaniques dans les forêts de Dréat et Ouanougha.

A partir de la liste globale des espèces (Tableau 1, annexe 1), nous avons calculé le pourcentage des types biologiques (Tableau 8). Les résultats obtenus témoignent d'une variabilité quantitative et qualitative.

Tableau 8 : Types biologiques des forêts de Dréat et Ouanougha

Forme biologique	Nombre d'espèces	Pourcentage (%)
Phanérophyte	56	16,32
Chamaéphyte	37	10,78
Hémicryptophyte	58	16,90
Géophytes	31	9,03
Thérophyte	154	44,89
Non déterminée	7	2,04
<b>Total</b>	<b>343</b>	<b>99,96</b>

L'analyse du spectre biologique (Figure 14) montre une nette dominance des thérophytes qui occupent une grande part dans la composition du couvert végétal par rapport aux autres types biologiques avec un taux de 44,89 %, ensuite les hémicryptophytes (16,90 %), les phanérophytes (16,32 %) et les chamaéphytes (10,78 %), les géophytes qui représentent 9,03 %. Enfin, le reste des espèces à forme biologique non déterminée (2,04%).

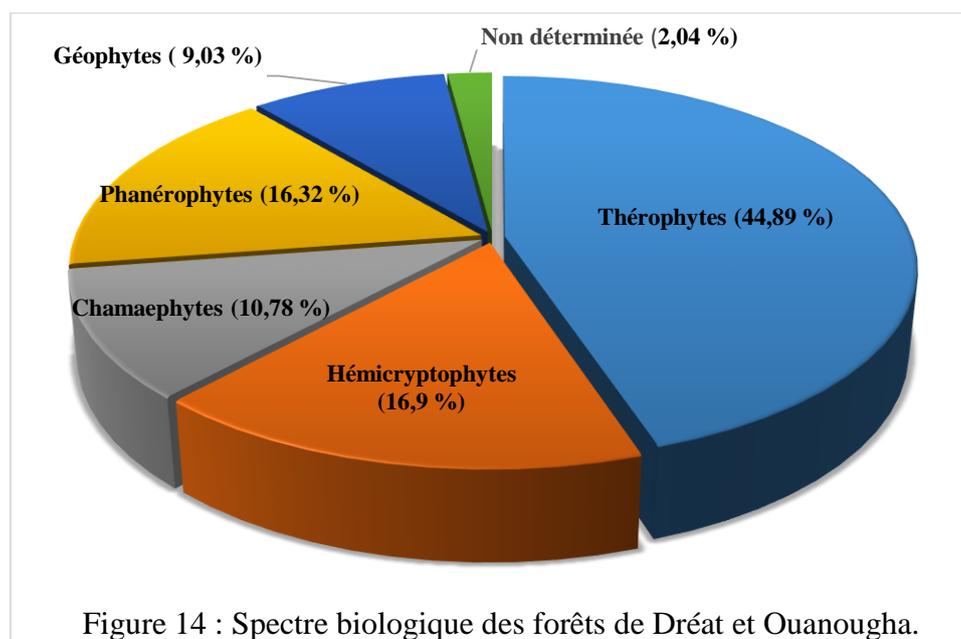


Figure 14 : Spectre biologique des forêts de Dréat et Ouanougha.

La végétation des forêts de Dréat et Ouanougha est constituée par des formations forestières à base des chênaies (*Quercus ilex*), des genévriers (*Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea*), des pinèdes (*Pinus halepensis*) et des pistachiers (*Pistacia atlantica* et *Pistacia lentiscus*), des matorrals en mosaïque constitués de : *Cistus monspeliensis*, *Globularia alypum*, *Rosmarinus officinalis* dépassant rarement 1 mètre de hauteur associés à différentes pelouses à base de *Poaceae*, *Brassicaceae* et des *Apiaceae*. Ainsi des steppes à *Artemisia herba-alba* et *Stipa tenacisema*.

L'analyse des formes d'adaptation des plantes permet une meilleure appréciation des conditions écologiques dans lesquelles elles vivent. La présence des thérophytes nous permis de calculer l'indice de perturbation d'un milieu. Les résultats sont mentionnés dans le tableau (9).

Les valeurs de l'indice de perturbation sont comprises entre 50,5 % et 67,27 % et avec une moyenne de  $57,75 \pm 1,48$  % pour l'ensemble des sites. Le site de Bousstalough a enregistré l'indice de perturbation le plus élevé avec 67,27 %. Alors qu'on note une valeur de 50,5 % dans le site de Belouadeh. Pour les autres sites l'indice est compris entre 55,04 % et 60 %.

Tableau 9 : Indice de perturbation des stations étudiées dans les forêts de Dréat et Ouanougha.

<b>Station</b>	<b>Indice de perturbation (%)</b>	<b>Station</b>	<b>Indice de perturbation (%)</b>
El haourane	57,14	Bousstalough	67,27
Kef el assel	57,03	Kef el kbir	57,22
Belouadeh	50,5	Sidi amar	57,14
Djebel chedoug	57,14	Ahl el oued	58,98
Bousstella	57,82	Kef ktef zana	55,04
Sagaa	60		

Sur le plan biogéographique, la végétation des forêts de Dréat et d'Ouanougha est constituée par un ensemble hétérogène d'éléments de diverses origines (Tableau 10, figure 15). Les espèces de type méditerranéen sont prédominantes (64,43 %), suivie par les éléments de transition (19,24 %), les éléments nordiques (3,49 %), les cosmopolites (3,20 %) et enfin les endémiques (2,91 %).

On remarque la présence des éléments de type Canaries, Eurasiatique, Afrique septentrionale, Europe orientale, Asie occidentale avec un taux de 4,08 %. Ces éléments contribuent dans la diversité et la richesse du potentiel phytogénétique de la forêt de Dréat et d'Ouanougha.

Les éléments méditerranéens sont représentés par 221 taxons où le sous-élément méditerranéen est le plus présent (37,2 %) dominé par les espèces *Pinus halepensis*, *Ammoides verticillata*, *Pistacia lentiscus*, *Paronychia capitata*, *Cistus monspeliensis* (Tableau 1, annexe 1). Les sous-éléments d'origine oroméditerranéenne avec 5,52 % sont présentés par les espèces *Cedrus atlantica*, *Catananche caerulea*, *Cytisus arboreus* et *Gagea foliosa*.

Les sous-éléments circumméditerranéennes et ibéro-mauritaniens prennent aussi une place importante dans le type biogéographique d'origine méditerranéen avec un taux de 4,06 %. Ils sont représentés par les espèces *Evax pygmaea*, *Galactites elegans*, *Bellis annua*, *Silene tridentata* et *Helianthemum virgatum*.

Tableau 10 : Types biogéographiques de la flore de Dréat et Ouanougha

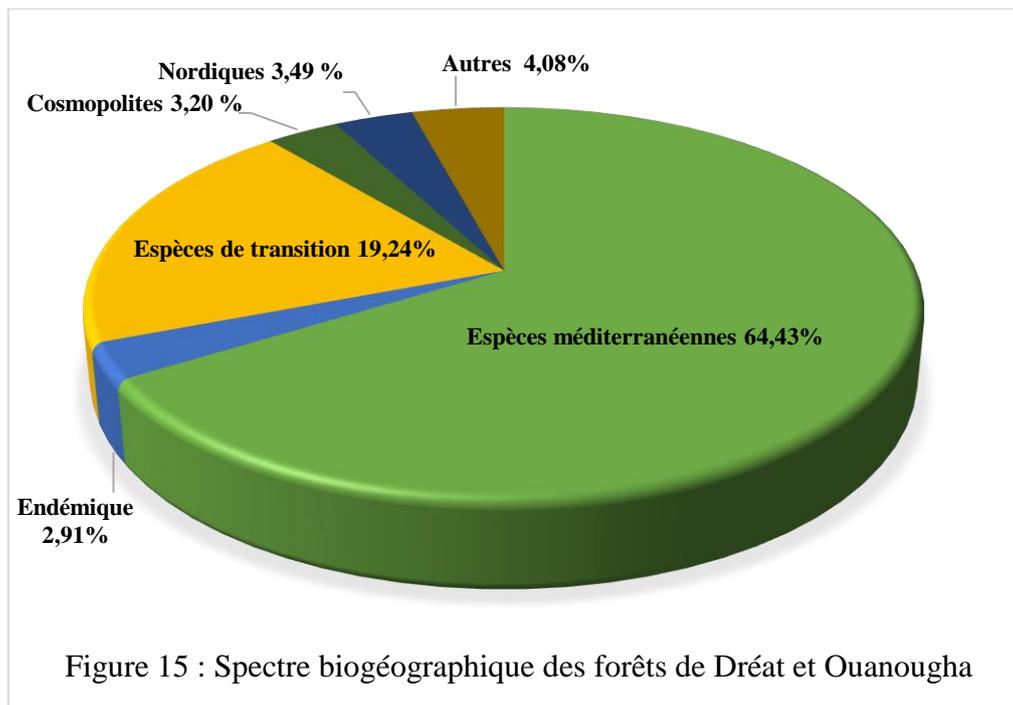
<b>Eléments biogéographiques</b>		<b>N<sup>bre</sup> d'espèces</b>	<b>Pourcentages(%)</b>	
<b>Espèces Méditerranéennes.</b>	Méditerranéen.	128	37,20	
	Est méditerranéen.	4	1,16	
	West méditerranéen.	8	2,32	
	Oro-méditerranéen.	19	5,52	
	Sud méditerranéen.	3	0,87	
	Subméditerranéen.	3	0,87	
	Circumméditerranéen.	14	4,06	
	Afrique du Nord.	5	1,45	
	Ibéro-mauritanien.	14	4,06	
	Méditerranée. Macaronésien, Méditerranéen.	5	1,45	
	Méditerranéen, Irano touranien.	7	2,03	
	Algérie, Tunisie.	2	0,58	
	Canaries, Sicile, Grèce, Afrique septentrionale.	4	1,16	
	Madère, Ouest méditerranéen.	1	0,29	
	Corse, Sardaigne, Sicile.	1	0,29	
	Espagne, Italie, Crête, Balkans.	1	0,29	
	Bassin méditerranéen, Canaries.	2	0,58	
	<b>Total</b>	<b>221</b>	<b>64,43 %</b>	
	<b>Endémique</b>	Endémiques.	10	<b>2,91 %</b>
	<b>Espèces de transition.</b>	Méditerranée, Atlantique.	10	2,90
Eurasiatique.		22	6,39	
Eurasiatique, Méditerranée.		1	0,29	
Eurasiatique, A- Nord,		2	0,58	
Tropicale.				

	Eurasiatique tempérée.	1	0,29
	Eurasiatique, Macaronésien, Marocain.	1	0,29
	Europe, Méditerranée.	20	5,81
	Europe méridionale, Afrique du Nord	1	0,29
	Eurasiatique, Afrique septentrionale.	2	0,58
	Irano touranien, Europe.	6	1,74
	<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>19,24 %</b>
<b>Cosmopolites</b>	Cosmopolite.	7	2,03
	Subcosmopolite.	4	1,16
	<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>3,20 %</b>
<b>Nordiques</b>	Paléo-tempérée.	6	1,74
	Circum-boréale.	4	1,16
	Paléo subtropicale.	1	0,29
	Europe.	1	0,29
	<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>3,49 %</b>
<b>Autres</b>	Méditerranéen Saharo-sindique, saharo-sindique	6	1,74
	Sahara.	3	0,87
	Afrique septentrionale. Arabie. Pétrée	1	0,29
	Canaries, Egypte, Asie occidentale.	1	0,29
	Canaries, Eurasiatique, Afrique septentrionale.	1	0,29
	Canaries .Syrie	1	0,29
	Europe orientale, Asie occidental.	1	0,29
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>4,08 %</b>
	<b>Total</b>		<b>97,35 %</b>

Les autres sous-éléments sont faiblement représentés dans la zone d'étude, on remarque la présence des espèces comme *Xeranthemum inapertum*, *Centaurea parviflora*, *Calendula arvensis*, *Scorzonera laciniata*, *Scilla obtusifolia* et *Tamarix africana*...etc.

Les éléments de transition sont représentés essentiellement par les sous-éléments eurasiatiques avec 22 espèces (*Sherardia arvensis*, *Sanguisorba minor*, *Rosa canina*, *Reseda alba*,...etc), d'Europe-Méditerranée avec 20 espèces (*Anthyllis vulneraria*, *Coronopus squamatus*, *Urospermum picroides*, et *Crepis vesicaria*,.... etc).

Les éléments de la Méditerranée-Atlantique avec 10 espèces (*Spergula pentandra*, *Euphorbia segetalis*, *Geranium lucidum*, et *Echinaria capitata*,... etc) et Irano touranien-Europe avec 6 espèces (*Peganum harmala*, *Clypeola jonthlaspi*, *Roemeria hybrida*,... etc).



L'élément nordique dans les forêts de Dréat et Ouanougha regroupe les sous-éléments suivants : paléo-tempéré avec 6 taxons (*Agrostis semiverticillata*, *Dactylis glomerata*, *Poa bulbosa* et *Scirpus holoschoenus*,...etc) et circum-boréal avec 4 taxons (*Hordeum murinum*, *Lolium perrene*, *Typha angustifolia* et *Trifolium repens*). Les deux autres sous-éléments Paléo-subtropicale et Européen ne sont représentés que par un seul taxon.

Les cosmopolites regroupent 11 espèces réparties en espèces cosmopolites et sub-cosmopolites : *Geranium robertianum*, *Juncus maritimus*, *Lamium amplexicaule* et *Koeleria phleoides*...etc

Les endémiques présentent un taux de 2,91 %. Ce taux est très faible sur l'ensemble de la flore recensée, parmi ces espèces nous avons : *Pistacia atlantica*, *Pituranthus scoparius*, *Genista microcephalla*, *Genista tricuspidata*, *Genista ulicina*, *Rosmarinus tournefortii*, *Thymus ciliatus* et *Thymelaea microphylla*.

Les espèces d'origine de Canaries, d'Egypte, d'Asie occidentale, sahariennes et saharo-sindiques,...sont faiblement présentes. Elles sont représentées par : *Linaria laxiflora*, *Centaurea pungens*, *Matricaria pubscens*, *Anabasis articulata*, *Astragalus cruciatus*, *Asteriscus pygmaeus*, *Medicago laciniata* et *Retama raetam*.

Dans les travaux menés à la région du Hodna, Kaabeche (1990) a signalé 550 taxons de spermatophytes. Dans la réserve de Mergueb (Hodna), le même auteur (1996 et 1998) a inventorié 211 taxons, ces espèces appartenant à 38 familles botaniques dont les plus représentatives sont : les *Poaceae* (33 espèces), les *Asteraceae* (30 espèces), les *Brassicaceae* (24 espèces), les *Fabaceae* (16 espèces) et les *Apiaceae* (10 espèces).

Les forêts de Dréat et d'Ouanougha représentent 24,23 % des genres et 8,52 % des espèces sur la totalité de 4034 espèces et 916 genres cités par Quezel (2002) dans ses travaux de synthèse sur la flore du Maghreb.

La composition floristique des deux forêts est dominée par les *Asteraceae* et les *Fabaceae*. Les *Asteraceae* s'adaptent bien aux zones arides et semi-arides et elles sont très répandues dans toute la steppe et l'Atlas saharien et elles représentent avec les *Fabaceae* 35 % à 40 % de la flore du secteur saharien (Ozenda, 1977). Ces deux familles sont parmi les plus riches en genres et en espèces dans la flore steppique ibéro-maghrébine et sont bien représentées en régions méditerranéennes (Le Houérou, 1995).

D'après Quezel (1965) et Ozenda (1991) : les *Asteraceae*, les *Fabaceae* et les *Poaceae* dominent le sous-secteur de l'Atlas saharien au sud-constantinois du domaine maghrébin steppique.

En ce qui concerne les types biologiques, les thérophytes sont prédominants car c'est la forme la plus résistante à la sécheresse et aux fortes températures en milieux arides. Floret et *al.* (1992), Grime (1997) signalent que plus un système est influencé par l'homme (Surpâturage, culture), plus les thérophytes y prennent de l'importance.

Selon Quezel (2000), la thérophytisation est un stade postérieur à la « Steppisation ». C'est l'envahissement généralisé par les espèces annuelles. Ces espèces à forte production de graines, sont favorisées par un cycle biologique court qui leur permet d'occuper le sol durant les brèves périodes favorables à leur développement.

La position qu'occupe les hémicryptophytes peut être s'expliquer par la haute altitude et la richesse du sol en matière organique (Barbero et *al.*, 1989).

Le taux des phanérophytes traduisent les changements d'état du milieu sous l'action des facteurs écologiques et surtout anthropozoïques. Malgré la faible présence de ces Phanérophytes, elles se dominent parfois par leur phytomasse. Leur faible présence nous permis de supposer la dégradation du tapis végétal.

La présence des chamaéphytes et les géophytes peuvent être expliquées par leurs adaptations aux basses températures et à l'aridité (Orshan *et al.*, 1985), leurs proportions augmentent dès qu'il y a dégradation des milieux forestiers (Dahmani, 1996 ; Bouazza *et al.*, 2001).

L'importance de l'indice de perturbation est proportionnelle à la dominance des thérophytes qui trouvent à Dréat et Ouanougha un milieu favorable pour leur développement. Cet indice montre la thérophytisation de la zone d'étude suite à une steppisation. Ce dernier est considéré comme le stade de dégradation des différents écosystèmes avec la dominance des espèces liées aux surpâturages (Barbero *et al.*, 1990).

Le taux élevé des espèces méditerranéennes s'explique par l'affinité naturelle de ce groupe au climat méditerranéen, donc la souche méditerranéenne qu'elle domine (Quezel, 2002 ; Gharzouli, 2007).

## **II- Mesure de la Biodiversité**

### **1. Evaluation quantitative de la diversité floristique**

Pour décrire et comparer la diversité spécifique des stations étudiées, nous avons utilisé le logiciel PAST 3.6 pour calculer les indices de la biodiversité à savoir la richesse spécifique (S), l'indice de Shannon-Weaver (H'), diversité maximale (H'<sub>max</sub>), l'indice de régularité de Piélou ou l'équitabilité (E) et l'indice de Simpson (Tableau 2, annexe 1).

Les résultats des moyennes de ces indices sont regroupés dans le tableau (11). La richesse spécifique (S) la plus importante a été trouvée dans les sites de Kef ktef zana et Djebel Chedoug avec 218 et 217 espèces respectivement, tandis que les valeurs faibles ont été enregistrées dans le site de Boustalough et Belouadeh avec 55 et de 99 espèces végétales respectivement. Pour le reste des sites, la richesse spécifique (S) varie entre 128 espèces et 196 espèces végétales.

Tableau 11 : Résultats quantitatifs de la diversité floristique de chaque station.

Stations	Indices de la Biodiversité				
	Richesse spécifique (S)	Indice de Shannon - Wiener (H') en bits	Diversité maximale (H' <sub>max</sub> ) en bits	Equitabilité	Indice de Simpson (C)
El haourane	196	<b>3,41</b>	7,61	0,96	0,95
Kef el assel	128	<b>3,41</b>	7	0,96	0,96
Belouadeh	99	2,94	6,63	0,95	0,93
Dj.Chedoug	<b>217</b>	<b>3,4</b>	7,76	0,96	0,96
Bousstella	147	3,25	7,19	0,94	0,95
Sagaa	135	<b>3,4</b>	7,07	0,97	0,96
Boustalough	<b>55</b>	<b>2,83</b>	5,78	0,94	0,93
Kef el kbir	166	2,82	7,37	0,92	0,92
Sidi amar	189	3,06	7,56	0,93	0,94
Ahl el oued	<b>178</b>	<b>2,06</b>	7,47	0,94	0,84
Kef ktef zana	<b>218</b>	2,8	7,76	0,93	0,91

Les résultats du calcul de l'indice Shannon Wiener (H') sont sensiblement variable dans les différentes stations et compris entre 3,41 et 2,06 bits. Il est élevé dans les stations El haourane et kef El assel (3,41) et faible à la station Ahl el oued avec 2,06 bits.

Il est à noter que les valeurs indiquées par le calcul de l'indice Shannon Wiener (H') dans la station de Boustalough (2,83 bits) et la station d'Ahl el oued (2,06 bits) montrent que la richesse spécifique déterminée à partir des échantillons dépend non seulement du nombre d'espèces, mais aussi du nombre d'individus représentant chaque espèce.

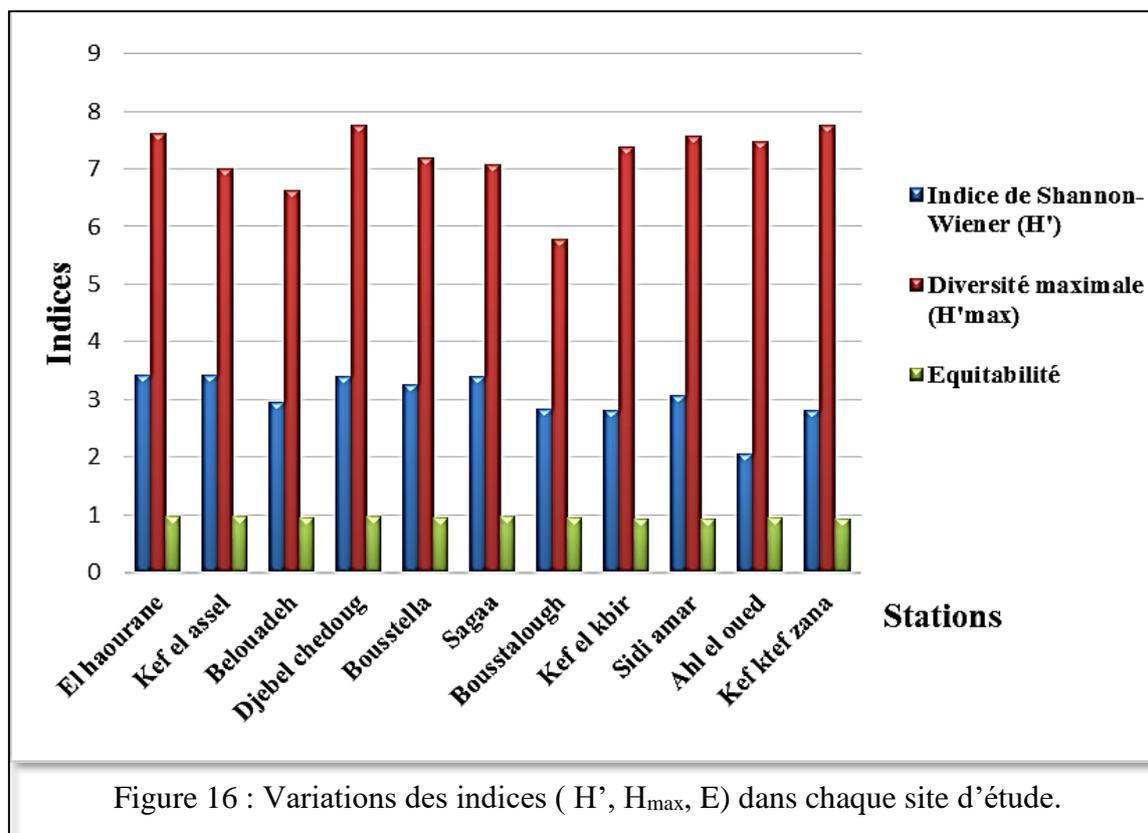
La richesse spécifique est faible dans la station de Boustalough (55 espèces) et elle peut être illustré qu'avec un seule ou deux espèces mais elle se présente avec plusieurs individus par contre dans le site d'Ahl oued, on signale une richesse importante de 178 espèces mais avec un nombre d'individus faibles (Tableau 2, annexe 1).

Les valeurs de l'indice de diversité maximale (H'<sub>max</sub>) dans nos sites d'étude sont peu différentes l'une de l'autre. Elle atteint son maximum à Djebel Chedoug et Kef ktef zana (7,76) et son minimum à Boustalough (5,78). Le calcul de l'indice de l'équitabilité montre que les résultats obtenus sont proches entre les stations, on note des valeurs compris de 0,97 (Sagaa) et 0,92 (Kef el kbir). Ces valeurs tendent vers le 1 ce qui signifie que toutes les espèces ont même abondance.

La figure (16) résume les variations des indices ( $H'$ ,  $H'_{max}$  et  $E$ ) par rapport aux sites d'études, on remarque que les sites kef ktef zana, Djebel Chedoug et El haourane sont les plus diversifiées avec une diversité maximale élevée.

Alors que, les valeurs de l'indice de Shannon ( $H'$ ) sont proches presque dans toutes les stations sauf dans la station d'Ahl el oued, on enregistre une valeur basse. Ainsi, les valeurs de l'indice de l'équitabilité ( $E$ ) déterminées sont similaires dans tous les sites d'études.

Ces indices marqués, sont dûs probablement au potentiel de reproduction des différents peuplements qui semble être le même.



En outre, les valeurs de l'indice de Simpson ( $C$ ) est pratiquement constant, il est oscillé vers le 1 pour la plupart des stations d'études à l'exception dans le site d'Ahl El oued on note une valeur de 0,84.

Les résultats obtenus par le calcul des indices de Shannon et de l'équitabilité permettent de souligner que ces deux derniers semblent varies avec la richesse spécifique.

Hounnankpon et *al.* (2012) révèlent que la diversité est faible lorsque l'indice de diversité est inférieur à 3 bits / individu, moyenne si cet indice est compris entre 3 et 4 bits / individu puis élevé quand cet indice est supérieur ou égal à 4 bits / individu.

Les faibles valeurs de l'équitabilité, comme pour la diversité spécifique, indiquent que les espèces qui composent ce groupement ont des abondances sensiblement différentes. Ainsi une forte proportion de l'effectif (abondance) globale de l'ensemble dépend d'un faible nombre d'espèce (Lacoste et Salanon, 1999). Ainsi, les pratiques agricoles (Plantation d'olivier), le pâturage et l'exploitation du bois qui contribue à la dégradation des formations naturelles sont très sélectives, ce qui justifie la faible diversité observée au niveau de quelques sites de Dréat et d'Ouanougha.

Pour l'indice de Simpson, la plupart des résultats obtenues tend vers le 1 ce qui confirme que les forêts de Dréat et Ouanougha sont diversifiées et que certaines espèces sont dominantes. Il s'agit notamment : *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*, *Pistacia lentiscus*, *Artemisia herba-alba*, *Stipa tenacissemma*, *Cistus monspeliensis*, *Globularia alypum* et *Rosmarinus officinalis*.

## **2. Analyse Multi-variée**

L'exploitation des données des indices de la biodiversité appliquée sur la base de 73 relevées floristiques dans les forêts de Dréat et d'Ouanougha (Tableau 2, annexe 1) nous oriente d'effectuer une analyse multi-variées pour mieux caractériser la flore des différentes stations d'étude.

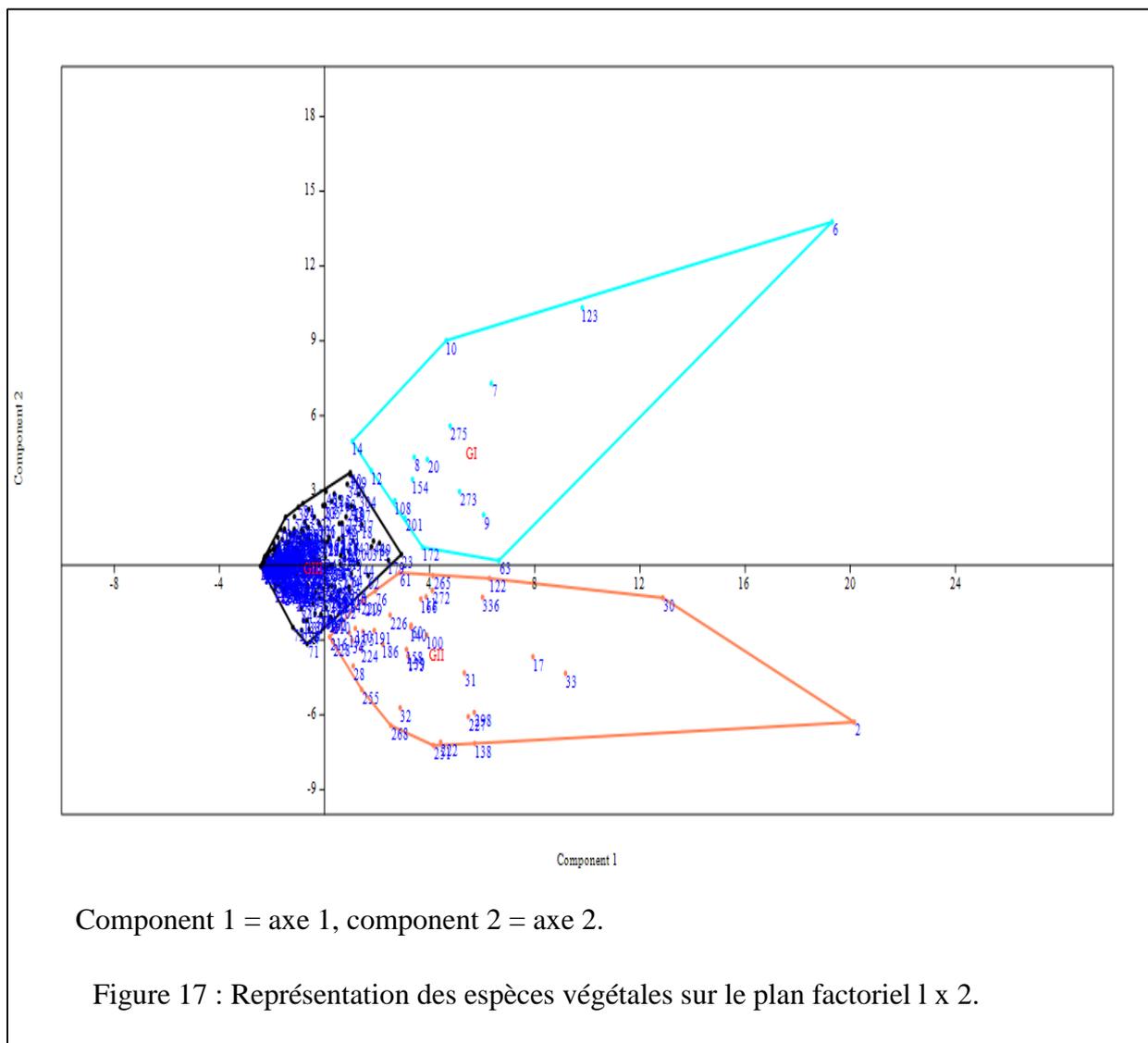
### **2.1. Analyse en composante principale de la diversité biologique (A.C.P)**

Le tableau (12) résume toutes les composantes liées à la diversité biologique en terme de valeurs propres indique le nombre de facteurs extraits relatifs à la contribution à l'inertie. Les deux dimensions 1 et 2 totalisent plus de 99,99 % de variance totale (Inertie).

Tableau 12 : Valeurs propres de dimensions quantitatives de la végétation

PC	Valeur propre	% Variance	PC	Valeur propre	% Variance
1	7,02306	9,7367	38	0,604644	0,83827
2	4,43742	6,152	39	0,580197	0,80438
3	3,98896	5,5303	40	0,573872	0,79561
4	3,25701	4,5155	41	0,564834	0,78308
5	2,74365	3,8038	42	0,504368	0,69925
6	2,27171	3,1495	43	0,485595	0,67323
7	2,23663	3,1008	44	0,454171	0,62966
8	2,0444	2,8343	45	0,449706	0,62347
9	1,88308	2,6107	46	0,438048	0,60731
10	1,84308	2,5552	47	0,42685	0,59178
11	1,78055	2,4685	48	0,413165	0,57281
12	1,69432	2,349	49	0,397152	0,55061
13	1,55623	2,1575	50	0,391239	0,54241
14	1,47598	2,0463	51	0,382012	0,52962
15	1,44487	2,0032	52	0,343088	0,47565
16	1,42007	1,9688	53	0,327844	0,45452
17	1,38716	1,9231	54	0,31755	0,44025
18	1,32561	1,8378	55	0,308485	0,42768
19	1,20185	1,6662	56	0,297442	0,41237
20	1,18748	1,6463	57	0,28579	0,39622
21	1,11576	1,5469	58	0,27503	0,3813
22	1,08454	1,5036	59	0,266435	0,36938
23	1,0303	1,4284	60	0,256611	0,35576
24	1,01916	1,413	61	0,24004	0,33279
25	0,961077	1,3324	62	0,232128	0,32182
26	0,944016	1,3088	63	0,215564	0,29886
27	0,932141	1,2923	64	0,210326	0,29159
28	0,865692	1,2002	65	0,201397	0,27922
29	0,850272	1,1788	66	0,196032	0,27178
30	0,828744	1,149	67	0,172532	0,2392
31	0,754528	1,0461	68	0,16133	0,22367
32	0,718155	0,99565	69	0,142345	0,19735
33	0,703618	0,97549	70	0,131569	0,18241
34	0,681559	0,94491	71	0,117025	0,16224
35	0,667147	0,92493	72	0,0829784	0,11504
36	0,640882	0,88851	73	0,0558959	0,077494
37	0,625588	0,86731			

La mise en évidence de la distribution spatiale des espèces recensées dans les différents sites des forêts de Dréat et d'Ouanougha en utilisant une ACP appliquée sur une matrice de 73 relevés floristiques (Colonnes) et 343 espèces (Lignes) . La figure (17) représente les espèces végétales sur le plan 1x2 a fait ressortir trois groupements.



Dans la partie positive de l'axe (1), se trouve le groupe (I) représenté par les espèces : *Pistacia lentiscus*, *Ammoides verticillata*, *Foeniculum vulgare*, *Kundmannia sicula*, *Scandix pecten-veneris*, *Thapsia garganica*, *Anacyclus valentinus*, *Paronychia capitata*, *Helianthemum ledifolium*, *Astragalus armatus*, *Lotus creticus*, *Globularia alypum*, *Avena sterilis*, *Bromus rubens*,...etc

Le groupement (II) est caractérisé par un recouvrement et une richesse floristique importante. Les espèces définissant ce groupement sont des espèces qui sont présentes dans la plupart des relevés comme : *Pinus halepensis*, *Bellis sylvestris*, *Calendula aegyptica*, *Calendula arvensis*, *Carduus tenuiflorus ssp.tenuiflorus*, *Lobularia maritima*, *Helianthemum hirtum*, *Cupressus sempervirens*, *Scrophularia canina*...etc

Au centre de ces axes se trouvent le groupement (III), ce dernier est caractérisé par un grand nombre d'espèces végétales réparties dans la plupart des relevés, ce groupement réunit les espèces : *Avena alba* , *Lycium europaeum* , *Tamarix africana*, *Daphne gnidium* , *Thymelaea hirsuta* , *Thymelaea microphylla* , *Typha angustifolia* , *Fedia cornucopiae* , *Lonicera implexa* , *Vallerianella coronata* , *Ranunculus macrophyllus* , *Poa bulbosa* , *Rumex bucephalophorus* , *Geum heterocarpum*, *Rhamnus lycioides*, *Reseda phyteuma*, *Sanguisorba minor*,...etc

## **2.2. Analyse Factorielle de Correspondance (A.F.C)**

A partir des nuages de points obtenus relatifs aux espèces et des axes factoriels significatifs, on peut mettre en évidence des gradients écologiques qui agissent sur la distribution des végétaux et des groupements qui le constituent notamment dans les matorrals de Dréat et Ouanougha. Nous avons retenu les relevés et les espèces qui apportent le plus d'informations à l'axe considéré et à sa répartition d'une part du côté négatif et d'autre part du côté positif de chacun des axes.

Les résultats de l'A.F.C montrent que les dix premiers axes expliquent plus de 28,83 % de la variance totale (Tableau 13). Les trois premiers totalisent à eux seuls plus de 10,87 % de l'information apportée par les dix axes. Nous notons aussi que les valeurs propres des deux premiers axes sont relativement élevées et distinguées par rapport aux autres valeurs propres. Nous arrêterons, alors notre interprétation aux deux premiers axe (1 et 2).

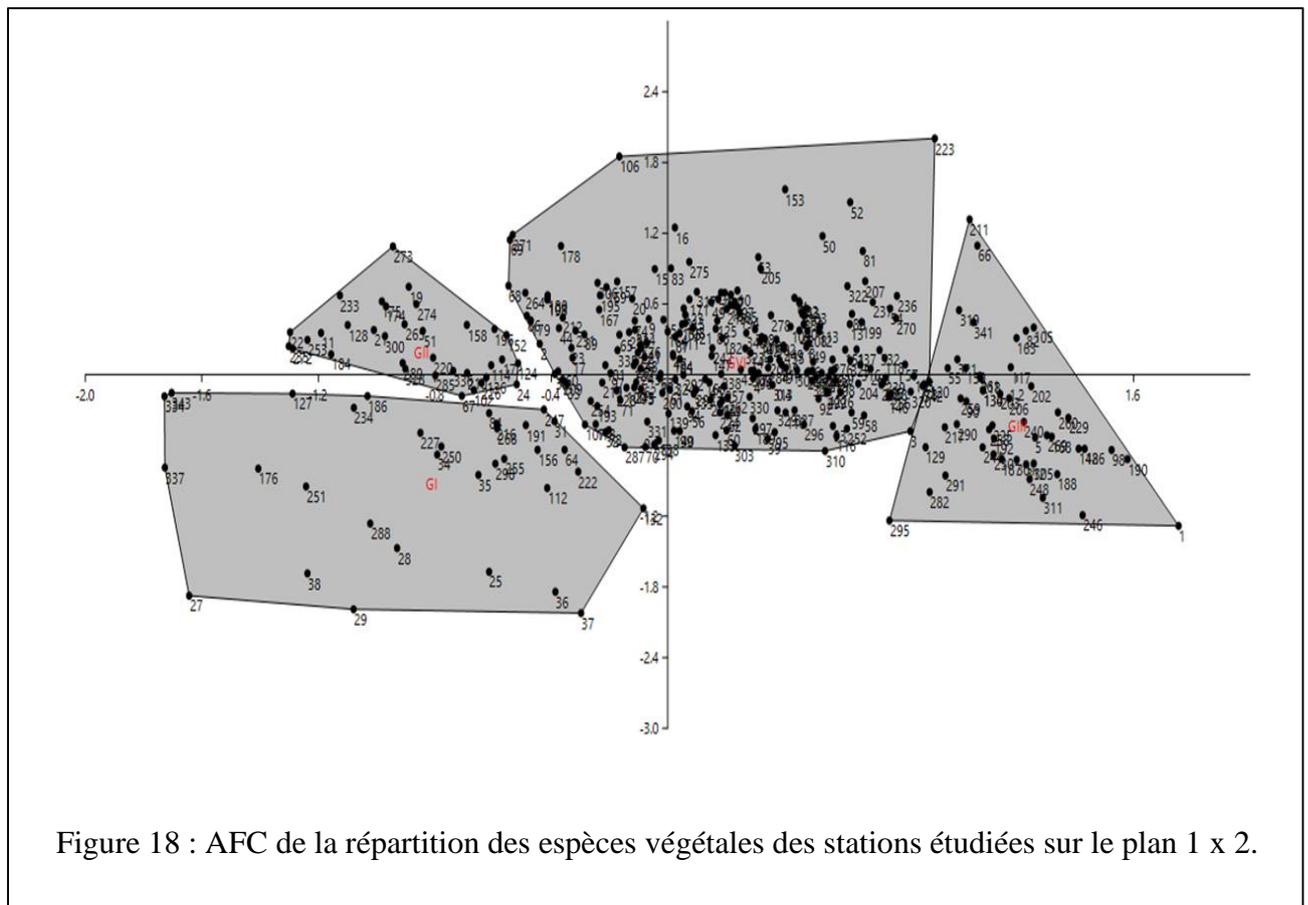
Tableau 13 : Taux d'inertie des 10 premiers axes

Axe	Valeur propre	Taux d'inertie (%)	Cumul (%)
1	0,373315	4,5225	4,5225
2	0,269875	3,2694	7,7919
3	0,255662	3,0972	10,889
4	0,236622	2,8666	13,756
5	0,227639	2,7577	16,513
6	0,221005	2,6774	19,191
7	0,211684	2,5645	21,755
8	0,200506	2,429	24,184
9	0,197201	2,389	26,573
10	0,191535	2,3204	28,894

Les résultats de l'AFC sont exprimés aussi sous forme d'une carte factorielle qui montre l'individualisation de quatre groupes végétaux (Figure 18).

- **Groupe I :** ce groupe se positionne dans la partie négative de l'axe 1, il présente une richesse floristique la plus faible parmi les autres groupements. Les espèces rencontrées comme : *Atractylis cancellata*, *Atractylis humilis*, *Atractylis gummifera*, *Carduus pteracanthus*, *Carduus pycnocephalus*, *Matricaria pubescens*, *Silene rubella*, *Medicago laciniata*, *Astragalus hamosus*, *Spartium junceum*, *Tulipa sylvestris*, *Plantago lagopus*, *Adonis annua*,...etc
- **Groupe II :** ce groupe positionne la partie négative aussi, réunit notamment des espèces plus fréquemment rencontrées dans les structures steppiques, il s'agit de : *Pinus halepensis*, *Pituranthus scoparius*, *Artemisia campestris*, *Anchusa azurea*, *Atriplex hortensis*, *Calicotome spinosa*, *Retama raetam*, *Prasium majus*, *Allium cepa*, *Avena sterilis*,...etc
- **Groupe III :** ce groupe colonise la partie positive de l'axe (1) et se compose des espèces comme : *Cedrus atlantica*, *Acer monspessulanum*, *Smyrniolum olusatrum*, *Galactites elegans*, *Ormenis praecox*, *Cerastium glomeratum*, *Enarthrocarpus lyratus*, *Borago officinalis*, *Cistus libanotis*, *Trifolium scabrum*, *Gladiolus byzantinus*,...etc

- **Groupe VI** : ce groupe occupe la partie centrale des axes, les espèces de ce groupe sont à forte contribution qui se cantonnent dans cette partie, nous citons : *Thapsia villosa*, *Torilis arvensis*, *Crepis vesicaria*, *Cynara cardunculus*, *Sonchus oleraceus*, *Anthyllis vulneraria*, *Matricaria chamomilla*, *Romulea bulbocodium*, *Asparagus albus*, *Coris monspeliensis*, *Ranunculus macrophyllus*,...etc



Le groupe (I) et (II) semblent indifférents vis-à-vis de leur diversité floristique par rapport aux groupes (III) et (VI).

La distribution spatiale des relevés floristiques des stations étudiées a permis l'individualisation de quatre groupes (Figure 19) qui présentent une flore homogène à celles qui présentent une flore plus ou moins hétérogène.

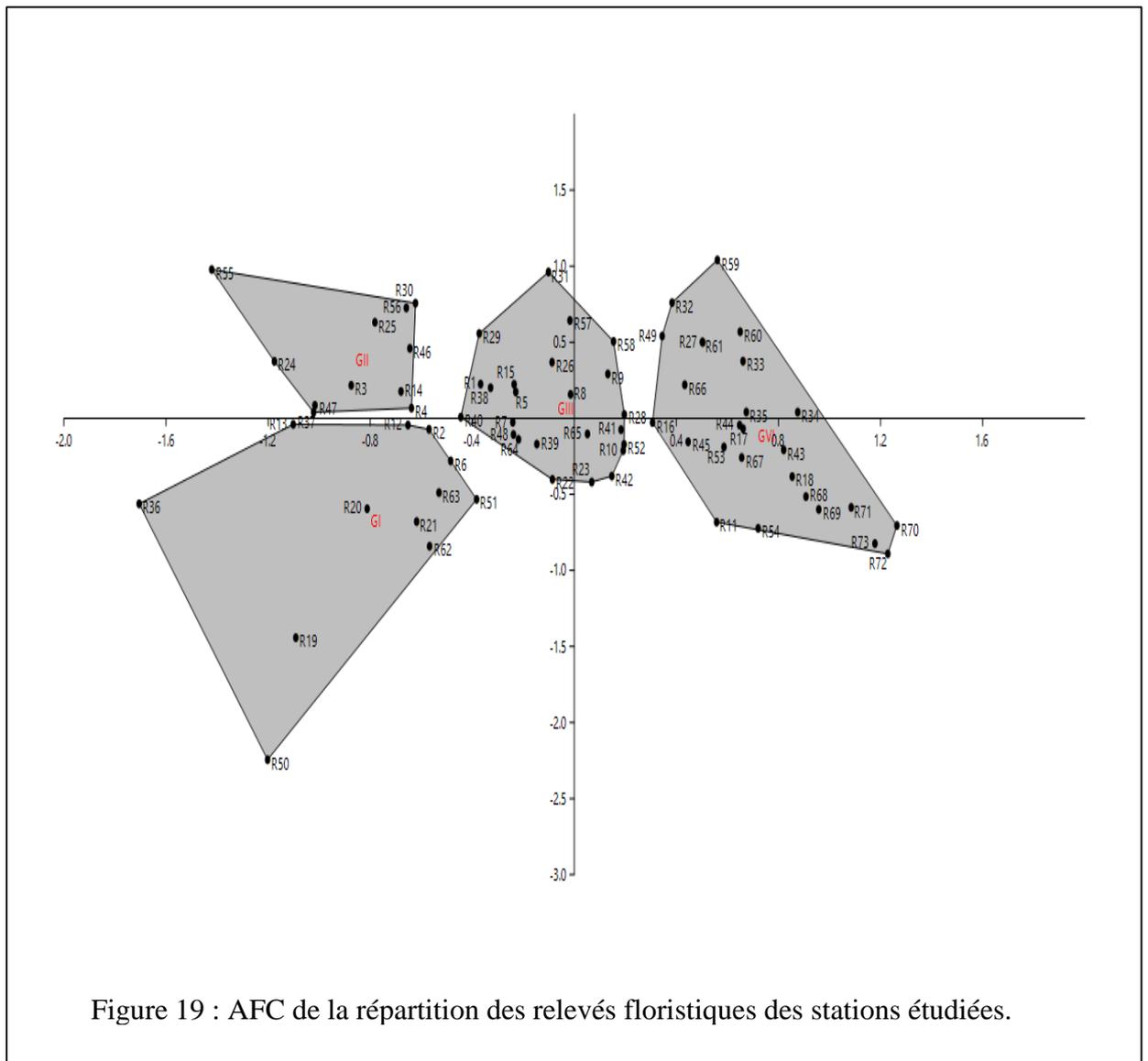
Les groupes issus de cette analyse se présentent comme suit :

- **Groupe I** : ce groupe occupe la partie négative des axes, il est formé par 12 relevés floristiques appartenant aux stations : Sidi Amar (R2-R6), El haourane (R12), Bousstélla (R19-R20-R21), Sagaa (R36-R37), Belouadeh (R50-R51) et Kef ktef zana (R62-R63).
- **Groupe II** : sur le même axe de groupe précédant, se localise le groupe (II) qui réunit les relevés floristiques des stations : Sidi Amar (R3-R4), El haourane (R14), Kef el kbir (R24-R25), Djebel chedoug (R30), Bousstalough (R46-R47) et Ahl el oued (R55-R56).

Les relevés qui caractérisent ces deux groupes sont caractérisés par une richesse floristique faible.

Dans la partie positive des axes, se trouvent les relevés définissant le groupe (III) et au centre de cet axe se trouvent les relevés du groupe (VI).

- **Groupe III** : ce groupe est composé par les relevées des stations : Sidi Amar (R1-R5-R7-R8-R10), El haourane (R15), Bousstélla (R22-R23), Kef el kbir (R26-R28), Djebel chedoug (R29-R31), Sagaa (R38), Kef el assel (R39-R40-R41-R42), Bousstalough (R48), Belouadeh (R52), Ahl el oued (R57) et Kef ktef zana (R64-R65). Dans la plupart des relevés, la richesse floristique est comparable pour ces stations, elle est de faible moyenne.
- **Groupe VI** : ce groupe est caractérisé par une richesse floristique importante, il assemble les relevés des stations suivantes : Sidi Amar (R11), El haourane (R16-R17-R18), Kef el kbir (R27), Djebel chedoug (R32-R33-R34-R35), Kef el assel (R43-R44-R45), Bousstalough (R49), Belouadeh (R53-R54), Ahl el oued (R59-R60-R61) et Kef ktef zana (R66-R67-R68-R69-R70-R71-R72-R73).



L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C) a été réalisée à partir des inventaires floristiques (En présence / absence) en considérant l'ensemble des sites étudiés.

A défaut de la prise en compte effective de variables écologiques dans le traitement, l'interprétation des axes principaux (Facteurs) peut s'effectuer indirectement en fonction des espèces présentant une forte contribution relative aux valeurs propres de chacun des axes, compte tenu de leur type biologique, de leurs modes principaux de disséminations et de leur stratégie adaptative. Pour ce faire, nous nous sommes reportés aux informations contenues dans les travaux de Quezel et Santa (1962-1963) et Kaabeche (1990) ; la signification des axes n'est pas toujours évidente, elle correspond parfois à un effet global résultant d'une combinaison de plusieurs facteurs.

Il est cependant possible d'analyser, à la lumière de ces données et selon les espèces, les deux premiers axes factoriels.

L'interprétation des axes factoriels qui repose sur les données numériques laisse paraître la nature du substrat, l'altitude, l'aridification du climat et l'anthropisation comme facteurs écologiques majeurs, responsables de la répartition des différents groupements végétaux (Gounot, 1969 ; Guinouchet, 1973 ; Pouget, 1982).

L'essai d'interprétation des facteurs écologiques en s'appuyant sur la forme du graphique a permis de ressortir un gradient bioclimatique et un gradient dynamique indiquant le passage des formations forestières aux formations thérophytiques des milieux ouverts.

La végétation de la forêt de Dréat et Ouanougha est déstructurée par des causes de plus en plus fréquentes, d'intervention humaine (Urbanisation, extraction de matériaux, incendies, mise en culture, pâturage...).

## **PARTIE II - ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES DE *Thymelaea hirsuta* ET *Thymelaea microphylla***

Dans le cadre d'une valorisation des ressources naturelles de la région du Hodna (M'sila), nous avons entrepris une étude sur deux plantes très connues dans la médecine traditionnelle par la population locale, à savoir *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla*.

La caractérisation du profil chimique des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* était effectuée par CPG / SM. L'identification des composants est basée sur la comparaison de leurs spectres de masse avec ceux de la bibliothèque spectrale de masse (Masada, 1976 ; NIST, 2002) et ceux décrit par Adams ainsi que sur la comparaison de leurs indices de rétention soit avec ceux de composés authentiques ou avec des valeurs de la littérature (Adams, 2001). Le travail est complété par des études des activités antibactériennes, antifongiques et antioxydantes des deux huiles essentielles.

### **I. Rendement en huiles essentielles**

Les huiles essentielles de la partie aérienne de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sont de couleur jaune pâle avec une odeur forte et piquante. L'extraction des huiles essentielles est réalisée par hydro-distillation dans un appareil de type Clevenger. Les rendements sont calculés par rapport au poids sec de la masse végétale utilisée. Les résultats des rendements en huile essentielle des deux espèces sont faibles (Tableau 14).

Le rendement moyen en huile essentielle de *T. hirsuta* est de  $0,3 \pm 0,12$  %. La valeur la plus élevée a été observée dans les stations de Benzoh, Bouti sayeh et Ain lehjel avec une valeur de 0,4 %. Le rendement le plus faible est enregistré dans la station de Mergueb (0,16 %). Le rendement moyen en huile essentielle de *T. microphylla* est très faible ( $0,08 \pm 0,04$  %). Les différences du rendement en huiles essentielles entre les différentes stations sont dues probablement aux conditions des milieux de leurs récoltes.

Tableau 14 : Rendements en huile essentielle de *T. hirsuta* et *T. microphylla*.

Populations	Rendement (%)	
	<i>T. hirsuta</i>	<i>T. microphylla</i>
Ouled Mansour	0,18	
Ouanougha	0,18	
Bouti sayeh	0,4	<b>Pas de population</b>
Benzoh	0,4	
Sidi hajress	0,38	
Mergueb	0,16	0,05
Ain lehjel	0,4	0,05
Hammam Dalaa	<b>Pas de</b>	0,14
Chott el Hodna	<b>population</b>	0,08
<b>Moyenne ± SD</b>	<b>0,3 ± 0,12</b>	<b>0,08 ± 0,04</b>

Le rendement en huiles essentielles de *T. hirsuta* est proche de celui trouvé par Kadri et al. (2011) dans les populations tunisiennes (0,26 %).

## II. Etude phytochimique des huiles essentielles

### 1. Etude de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta*

L'analyse des huiles essentielles des sept populations de *T. hirsuta* (Figure 20) nous a permis d'identifier 45 composants chimiques représentant une moyenne de  $98,2 \pm 1,85$  % de l'huile essentielle totale. Les composés identifiés dans ces huiles ainsi que leurs abondances relatives sont représentés par ordre de leurs apparitions (Tableau 15).

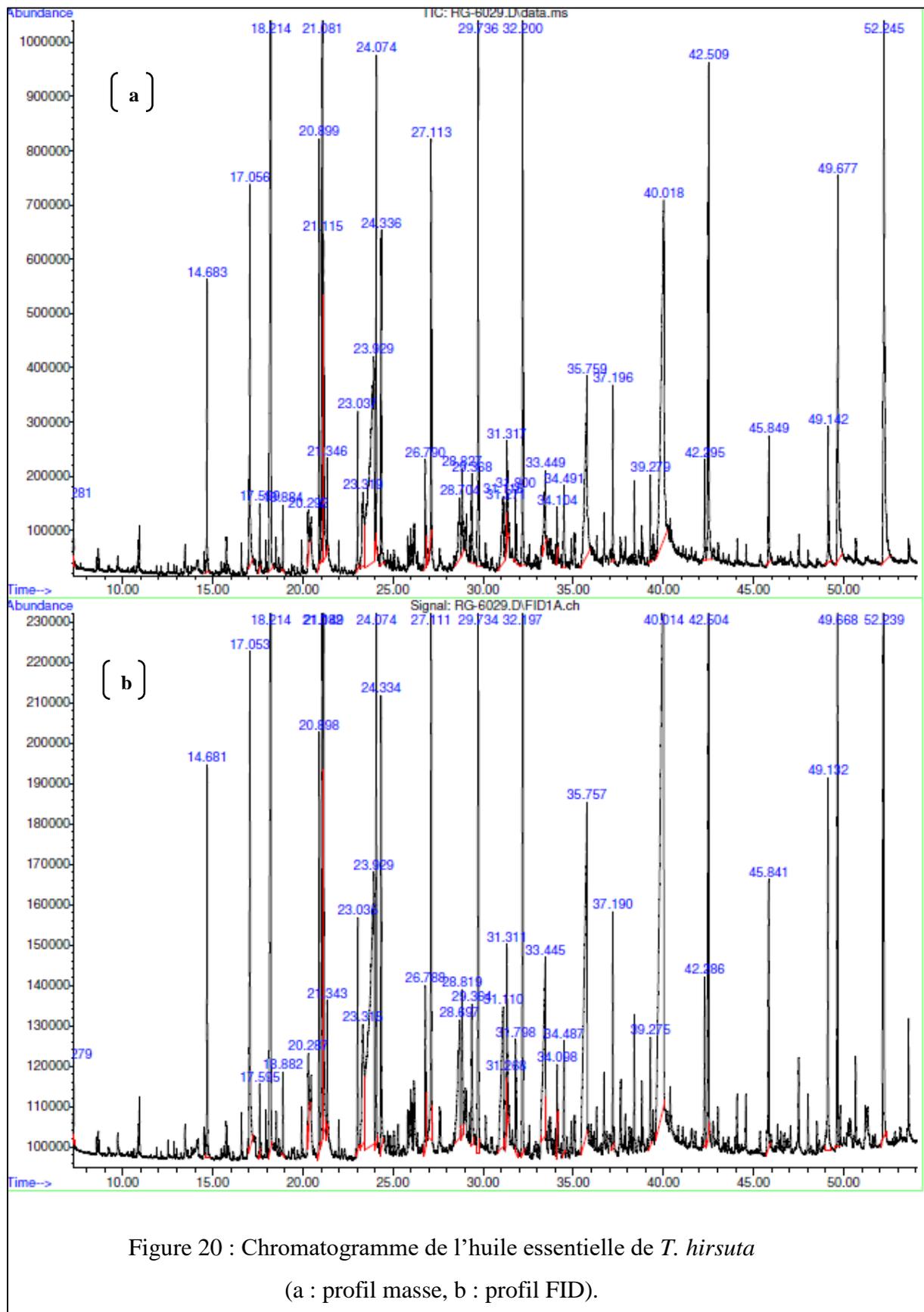


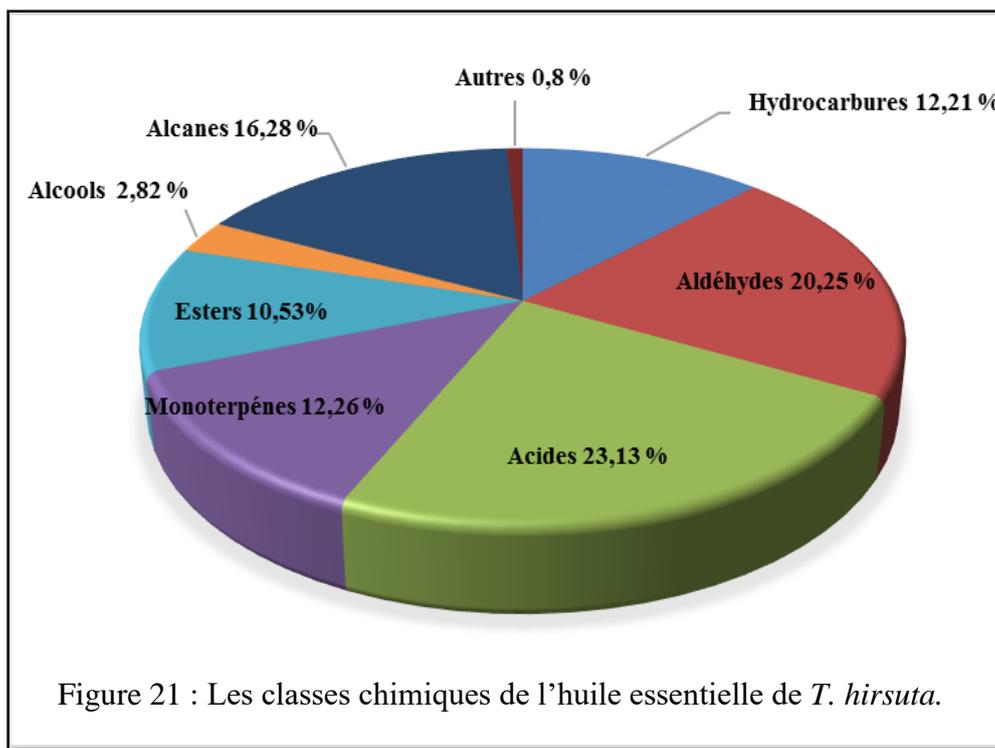
Tableau 15 : Composition chimique de l'huile essentielle de *T. hirsuta*.

Les populations échantillonnées		Ouled Mensour	Ounougha	Mergueb	Bouti Sayah	Ain Lehdjel	Sidi Hadjress	Ben zouh	Moyenne	Ecartype
<b>Rendement (%)</b>		0,18	0,18	0,16	0,4	0,4	0,38	0,4	0,3	0,12
<b>Nombre des composants</b>	<b>KIc</b>	30	33	37	28	33	28	27	31	4
<b>Totale (%)</b>		99,7	98	94,9	100	98,8	96,6	99,4	98,2	1,85
Octane-n	800	0,98	0,73	0,26	0,8	0,61	1,42	0	0,69	0,46
Octanal-n	1003	3,14	3,27	1,51	2,34	2,23	3,17	1,43	2,44	0,78
Octen-1-al (2E)	1057	0	0	0	0	0	0	0,52	0,07	0,2
Octanol-n	1072	3,87	3,95	2,66	3,2	3,89	3,63	2,54	3,39	0,6
Linalool oxide cis-	1086	0,61	0,45	0,26	0	0,41	0	0	0,25	0,25
Undecane-n	1096	0,58	0,56	0	0	0	0	0	0,16	0,28
Nonanal-n	1106	<b>11,6</b>	<b>16,7</b>	<b>8,03</b>	<b>6,82</b>	<b>8,99</b>	<b>10,4</b>	<b>10,2</b>	<b>10,4</b>	3,21
Octyl formate	1127	0,98	1,09	0,27	0,8	0,63	1,2	0	0,71	0,44
Nonanol-n	1173	0	1,4	0,4	0	0,58	0	0	0,34	0,52
Naphtalene	1193	4,56	2,35	1,66	1	0,99	2,01	5,6	2,6	1,79
Methyl salicylate	1199	1,85	1,9	3,11	1,06	1,85	0	1,22	1,57	0,96
Dodecane	1200	<b>3,46</b>	<b>2,18</b>	<b>3,55</b>	<b>2,51</b>	<b>2,01</b>	<b>5,76</b>	<b>2,12</b>	<b>3,09</b>	1,34
Butanoate-3Mpentyl-3M	1202	0	0	0	0	1,93	0	1,39	0,47	0,83
Decanal-n	1208	0,78	0,95	0,44	0	0	0,9	0,52	0,51	0,4
Geraniol	1230	0	0,81	0	0	0	0	0	0,12	0,31
Decenal (2E)	1266	0,84	1,2	0,87	1	0,94	0,84	1,81	1,07	0,35
Decanol-n	1275	0	0,5	1,81	0	0,2	0	0	0,36	0,67
Nonanoic acid	1296	<b>6,66</b>	<b>7,16</b>	<b>8,32</b>	<b>21,3</b>	<b>8,28</b>	0	<b>12,2</b>	<b>9,13</b>	6,49
Tridecane	1302	<b>8,51</b>	<b>6,49</b>	<b>3</b>	0	<b>3,7</b>	<b>3,95</b>	<b>8,41</b>	<b>4,87</b>	3,11
Decanoic acid	1306	2,25	0	2,05	0	0	0	0	0,61	1,05
Undecanol n	1311	2,39	3,02	0	0	0	2,07	0	1,07	1,36
Tetradecane	1400	0,87	0,5	0,64	0,63	0,52	0,7	0	0,55	0,27
Dodecanal	1413	2,8	2,85	2,51	1,66	2,18	2,09	1,91	2,29	0,45
Dodecanol-n	1480	1,13	0	0,98	4,03	4,14	2,63	2,85	2,25	1,59
Pentadecane	1500	0	0	0,8	0	0	0	0,59	0,2	0,34
Dodecanoic acid	1511	0	0,98	2,05	2,88	2,84	0	<b>16,7</b>	3,64	5,89
Tridecenol (2E)	1554	4,56	4,59	3,89	2,71	2,95	3,45	3,69	3,69	0,73
Hexenyl benzoate (2Z)	1556	0	0	1,13	0,69	0,99	2,97	0	0,82	1,06
Hexadecane	1571	0	0	0,76	0	0	0	0,97	0,25	0,43
Tetradecanal	1580	3,64	4,73	3,66	2,17	2,57	2,95	4,62	3,47	0,98
Tetradecanol-n	1650	2,63	0,56	2,49	4,11	2,92	0	3,69	2,34	1,53
Heptadecane	1700	0	0	0,23	0	0	0	0	0,03	0,09
Octadecane-1	1717	0	0	0,57	0	0	0	0	0,08	0,22
Isopropyl tetradecanoate	1745	<b>6,55</b>	<b>3,72</b>	<b>5,81</b>	<b>8,65</b>	<b>7,64</b>	<b>7,34</b>	<b>3,39</b>	<b>6,16</b>	1,99
Hexadecanol	1843	1,64	1,04	0,9	1,2	1,27	1,38	1,46	1,27	0,25
Cyclohexadecanolide	1877	0	1	0,51	0,66	1,02	0,88	1,5	0,79	0,47
Hexadecyle acetate	1946	0,92	1,43	0	1,06	0,63	1,5	0	0,79	0,62
Hexadecanoic acid	1976	<b>10,7</b>	<b>6,77</b>	<b>13,6</b>	<b>11,6</b>	<b>10,7</b>	<b>9,5</b>	<b>5,46</b>	<b>9,77</b>	2,81
Eicosene-1	2077	0	0	0	0	0	0,8	0,87	0,24	0,41
Eicosane	2104	3,35	4,53	0,78	4,65	3,92	6,88	3,03	3,88	1,86
Docosene-1	2115	0	0	3,74	0	0	0	0	0,53	1,41
Hexacosane	2305	1,04	1,76	1,29	1,2	2,21	2,19	0	1,38	0,77

Octacosane	2507	1,38	1,68	2,03	1,4	3,06	2,51	0	1,72	0,97
Nonacosane	2541	0	0	0	1,91	2,04	2,71	0	0,95	1,21
Triacotane	2711	<b>5,4</b>	<b>7,09</b>	<b>8,38</b>	<b>7,94</b>	<b>9,99</b>	<b>10,8</b>	<b>0,8</b>	<b>7,2</b>	3,34
<b>Classes chimiques</b>										
<b>Hydrocarbures</b>	10,94	10,17	14,8	11,65	13,63	16,94	7,37	12,21	3,18	
<b>Aldéhydes</b>	22,8	29,7	17,02	13,96	16,91	20,35	21,01	20,25	5,12	
<b>Acides</b>	19,61	14,91	25,9	35,78	21,82	9,5	34,36	23,13	9,67	
<b>Monoterpènes</b>	14,33	14,35	11,57	11,63	12,34	10,03	11,53	12,26	0,405	
<b>Esters</b>	10,3	8,14	10,32	12,26	13,67	13,01	6	10,53	2,75	
<b>Alcools</b>	2,5	1,975	1,82	3,615	4,015	3,13	2,695	2,82	1,095	
<b>Alcanes</b>	19,19	17,7	12,89	10,39	15,42	23,38	15,02	16,28	4,27	
<b>Autres</b>	0	1	0,51	0,66	1,02	0,88	1,5	0,8	0,47	

Les principaux composants de l'huile essentielle de *T. hirsuta* sont le nonanal-n ( $10,39 \pm 3,21$  %), l'acide hexadecanoïque ( $9,77 \pm 2,81$  %), l'acide nonanoïque ( $9,13 \pm 6,49$  %), le triacotane ( $7,2 \pm 3,34$  %), l'isopropyl tetradecanoate ( $6,16 \pm 1,99$  %) et le tridecane ( $4,87 \pm 3,1$  %).

Les classes chimiques de l'huile essentielle de *T. hirsuta* sont dominées par les acides gras et les aldéhydes représentent un taux de  $23,13 \pm 9,67$  % et  $20,25 \pm 5,12$  % respectivement du totale de l'huile (Tableau 15, figure 21). Ces deux familles sont représentées essentiellement par l'acide hexadecanoïque (9,77 %), l'acide nonanoïque (9,13 %), le nonanal<n-> (10,4 %) et le tetradecanal (3,47 %).



Les alcanes représentent la troisième classe la plus importante avec un pourcentage de  $16,28 \pm 4,27$  %. Le tridecane (4,87 %), eicosane (3,88 %) et le dodécane (3,09 %) sont les produits les plus abondants.

Les monoterpènes marquent leurs places dans la composition chimique de l'huile essentielle de *T. hirsuta*, elles occupent la quatrième position avec un pourcentage de  $12,26 \pm 0,4$  %.

Cette famille est représentée par le naphthalene (2,6 %), linalool oxide-cis (0,25 %), le geraniol (0,12 %).

Les hydrocarbures et les esters sont présents dans l'huile essentielle de *T. hirsuta* avec des taux de  $12,21 \pm 3,18$  % et  $10,53 \pm 2,75$  % respectivement. Ces deux familles sont représentées par deux principaux composants le triacontane avec un taux de 7,2 % et l'isopropyl tetradecanoate (6,16 %).

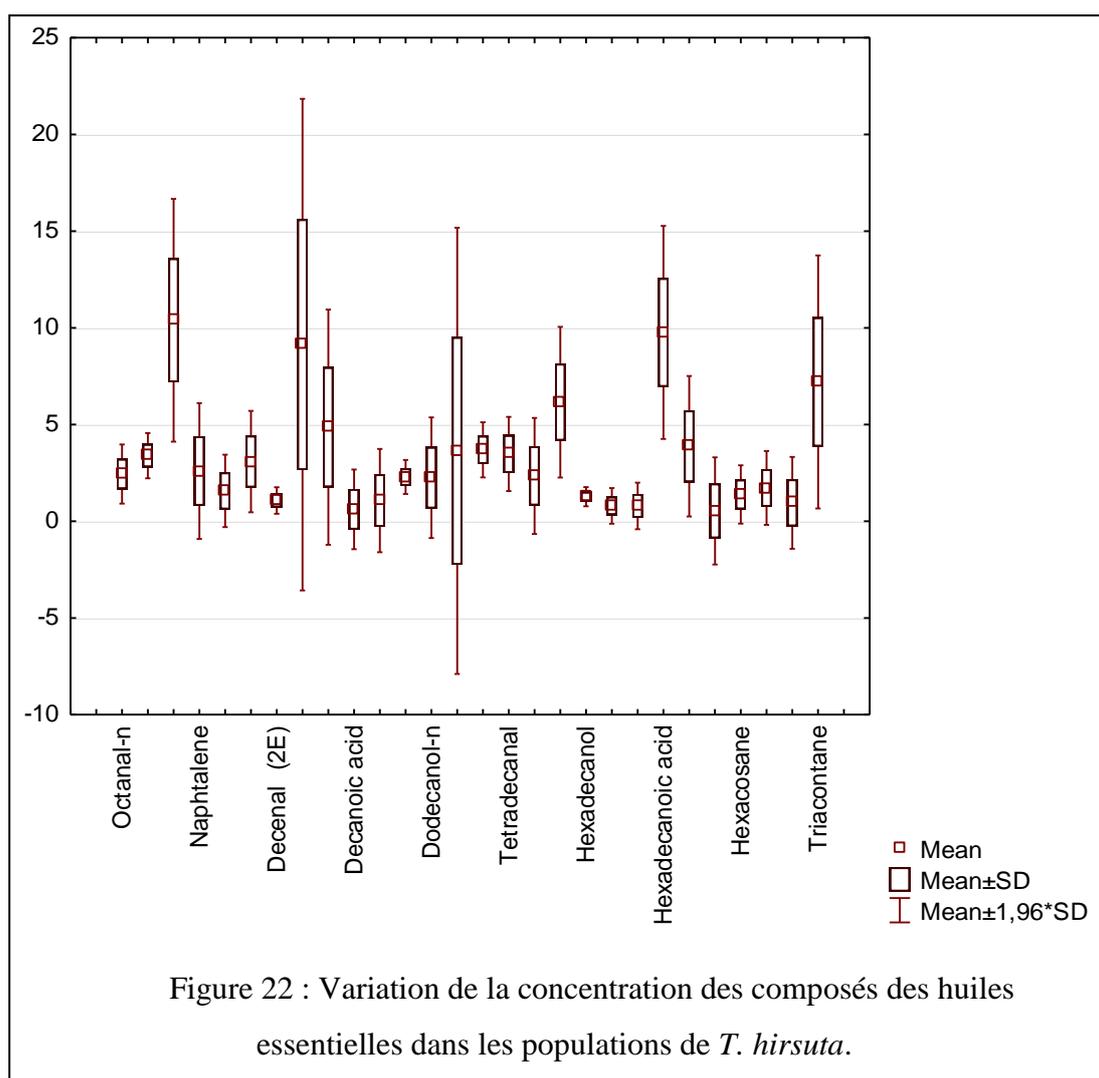
Les alcools sont aussi présents dans l'huile essentielle de *T. hirsuta* avec un taux de  $2,82 \pm 1,09$  % dont leurs principaux composants majoritaires sont le tridecénol (2E) avec un taux de  $3,69 \pm 0,73$  %, octanol-n ( $3,39 \pm 0,6$  %), tetradécanol-n ( $2,34 \pm 1,53$  %) et dodécanol-n ( $2,25 \pm 1,59$  %). Le reste des composés se représente par un taux de  $0,8 \pm 0,47$  %.

## 2. Analyse en composantes principales des huiles essentielles des populations de *Thymelaea hirsuta* (A.C.P)

### 2.1. Matrice de corrélation

L'examen de la matrice fait apparaître des corrélations significatives. Les valeurs propres représentant la variance des composants de l'huile sur les axes sont élevées : 33,62 % pour le premier axe, 27,66 % pour l'axe deux et 19,94 % pour l'axe trois donnant ainsi une bonne contribution à la variance totale. L'ensemble de l'information expliquée par les trois premiers axes issus de l'ACP est de 81,22 %.

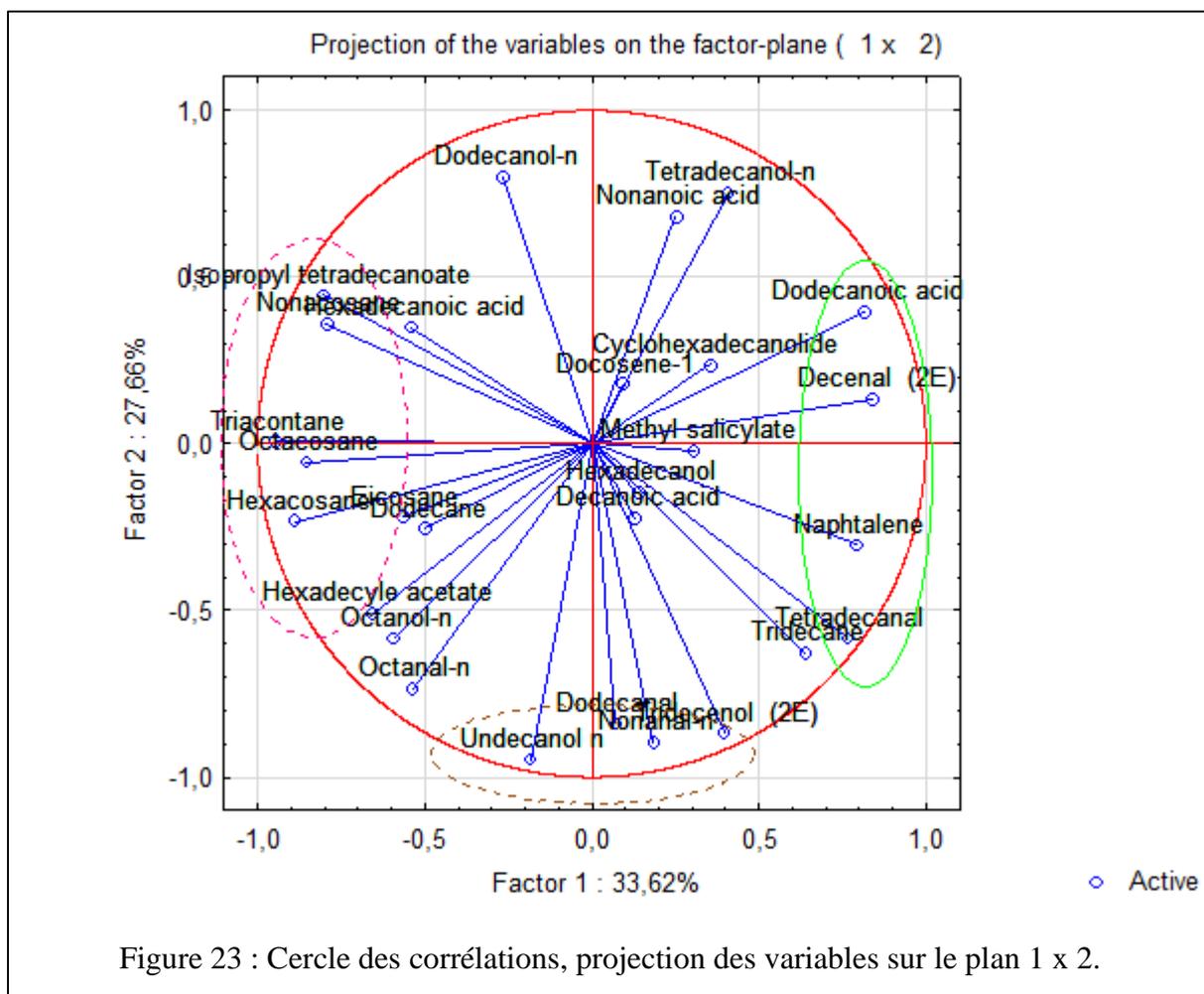
L'analyse statistique (Box whisker) montre que les composés majoritaires des huiles essentielles de *T. hirsuta* présentent une importante variabilité interspécifique (Figure 22). Le nonanal-n est le composé qui présente le plus de variation au sein de cette espèce, suivie par l'acide nonanoïque, l'acide hexadécanoïque et le triacontane. Les autres composants présentent peu de variabilité.



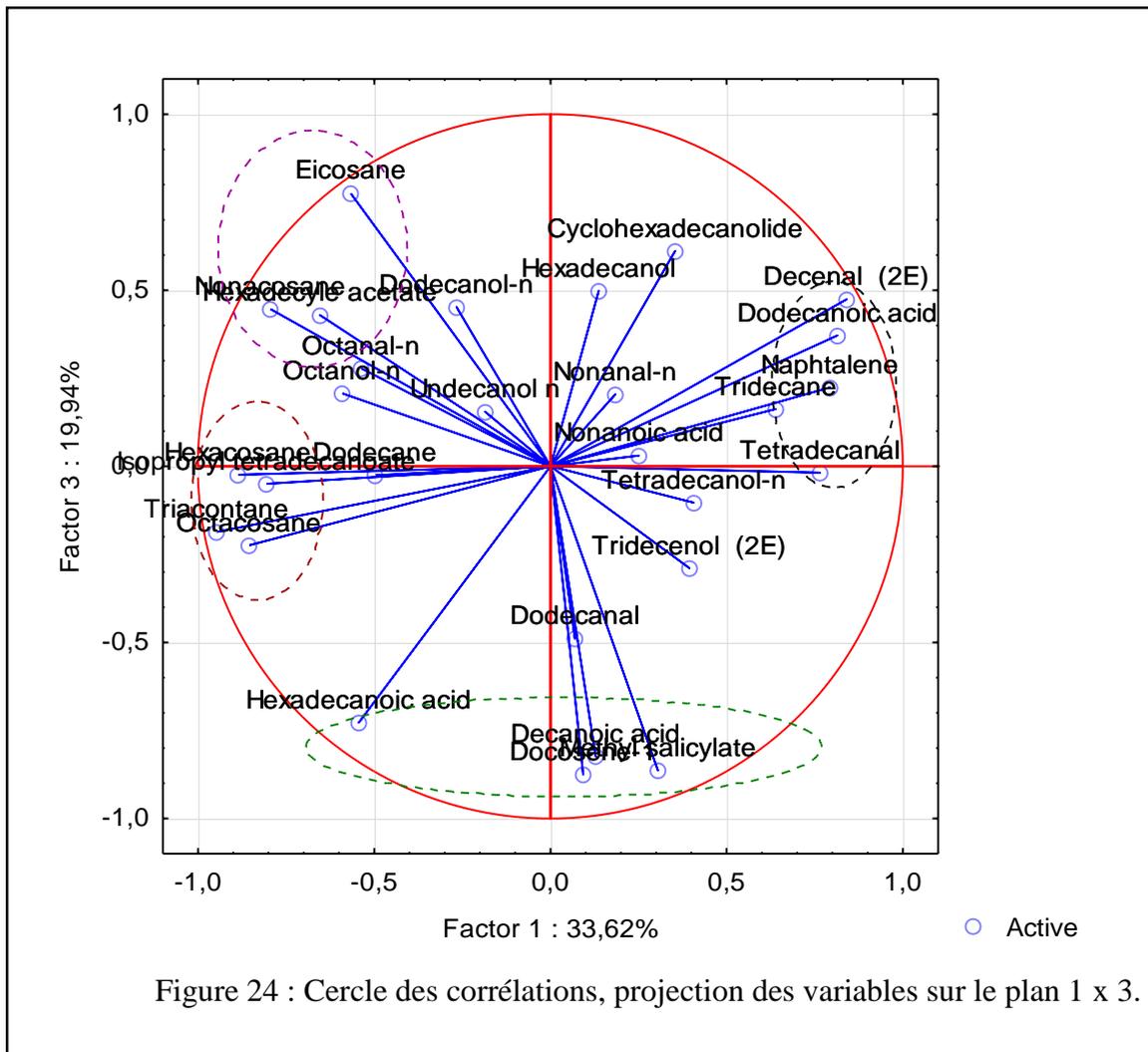
## 2.2. Cercle des corrélations

La représentation du plan formé par les deux premiers axes principaux plan 1 x 2 (Figure 23) montre que l'ensemble des composants d'huiles essentielles contribuent fortement à la formation des axes.

La partie positive de l'axe 1 est expliquée par le groupe des variables l'acide nonanoïque, le tétradécanal, l'acide dodécanoïque, le décénal (2E), le cyclohexadécanolide, le nonanal-n, le dodécane. Par contre, la partie négative de l'axe est expliquée par les composées dodécanol-n, Isopropyl tétradécanoate, triacontane, octanal-n, octanol-n, hexadécyle acétate, undécanol n, eicosane et dodécane.



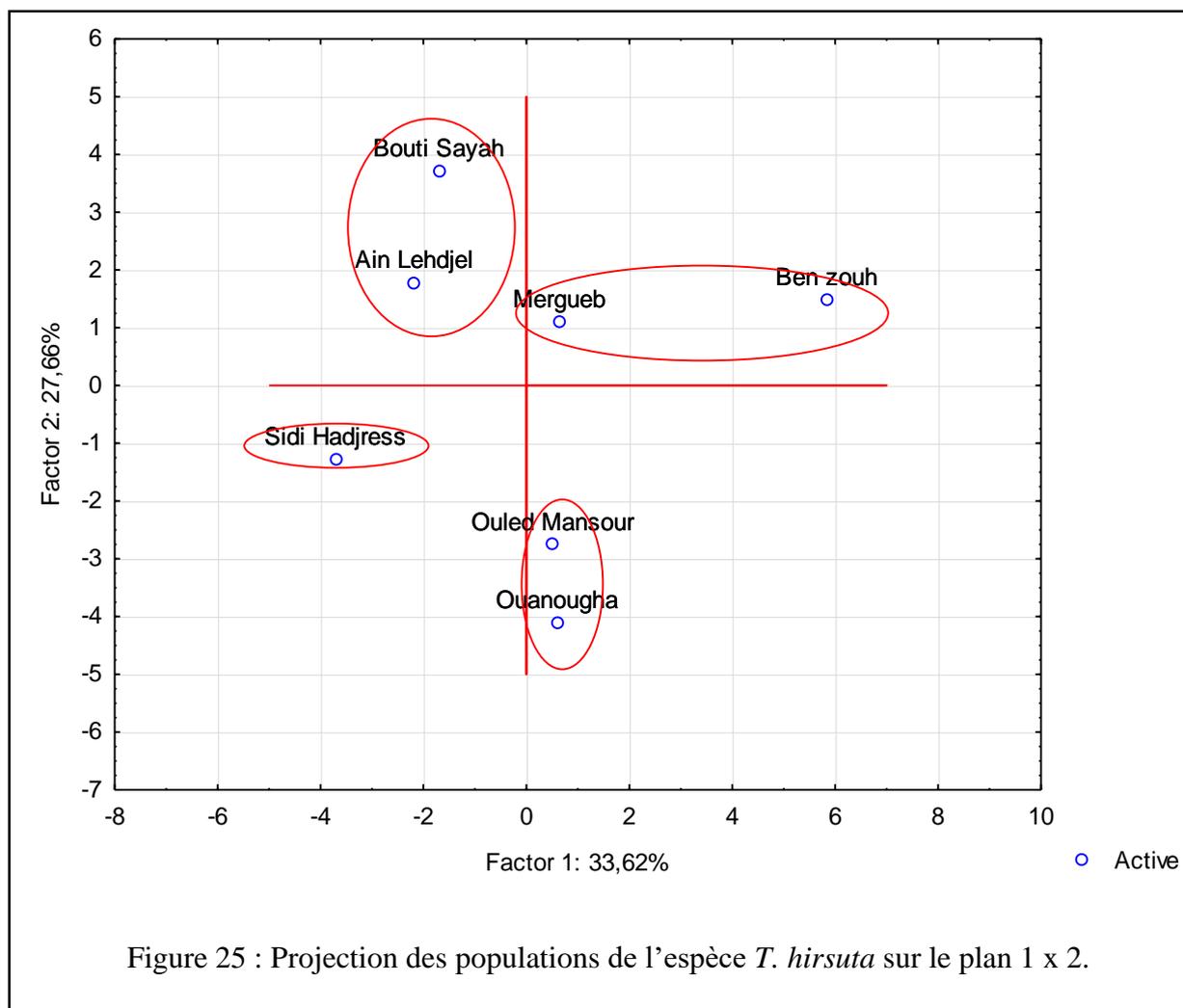
Les variables cyclohexadecanolide, hexadecanol, decenal (2E), nonanal-n, acide nonanoïque, acide dodecanoïque, tetradecanal, dodecanol-n, methyl salicylate, tetradecanol - n expliquent la partie positive de l'axe 3. Alors que sa partie négative est expliquée par le groupe des variables eicosane, octanal-n, octanol-n, acide hexadecanoïque, undecanol -n, nonacosane, octacosane (Figure 24).



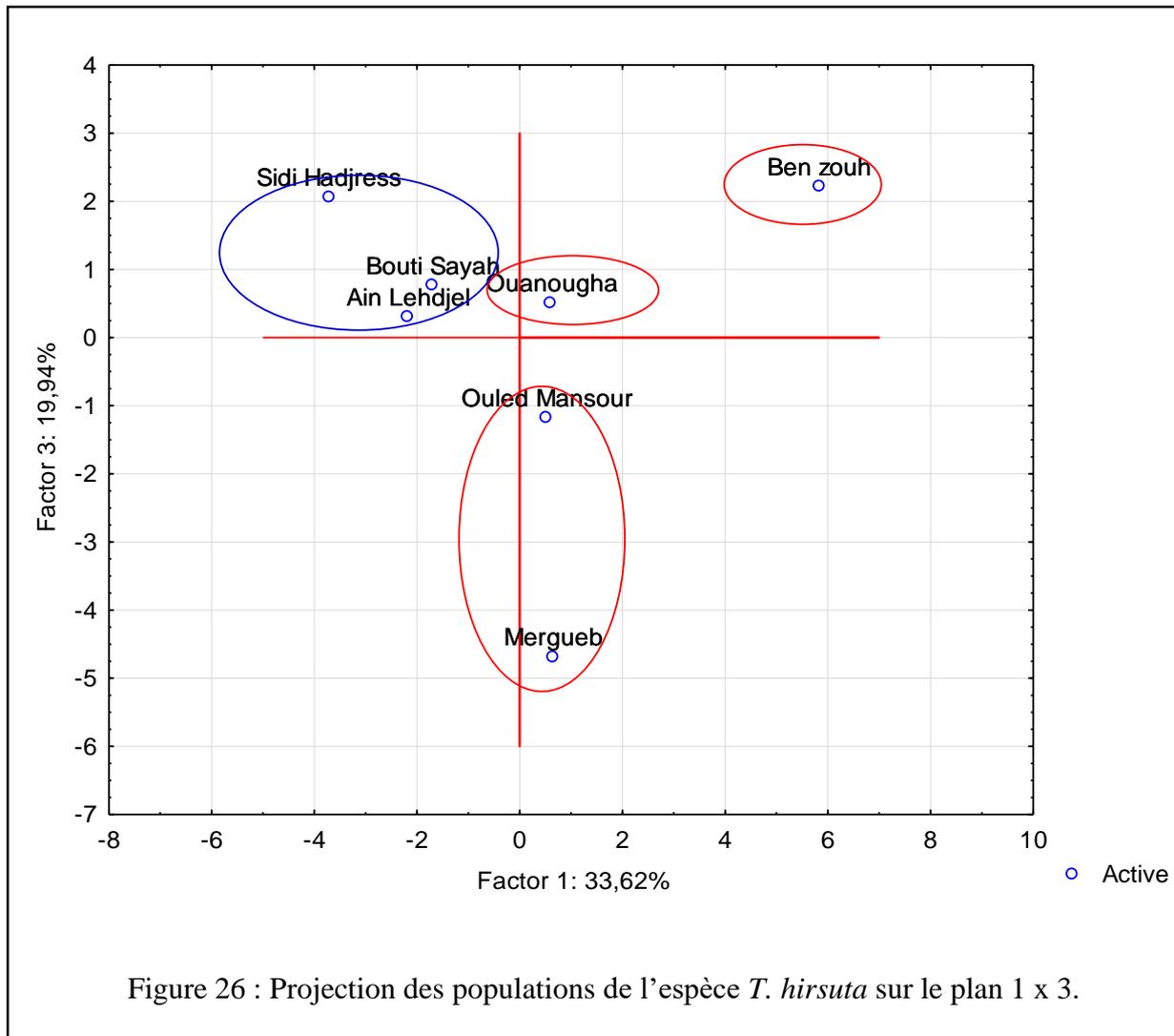
2.3. Etude des populations de l'espèce *T. hirsuta*

Comme illustrant la figure (25), la partie positive de l'axe (1) localise les stations de Mergueb, Benzoh, Ouled mansour et Ouanougha qui sont caractérisées par nonanal-n, acide nonanoïque, tridecane, acide dodecanoïque, acide hexadecanoïque et triacontane.

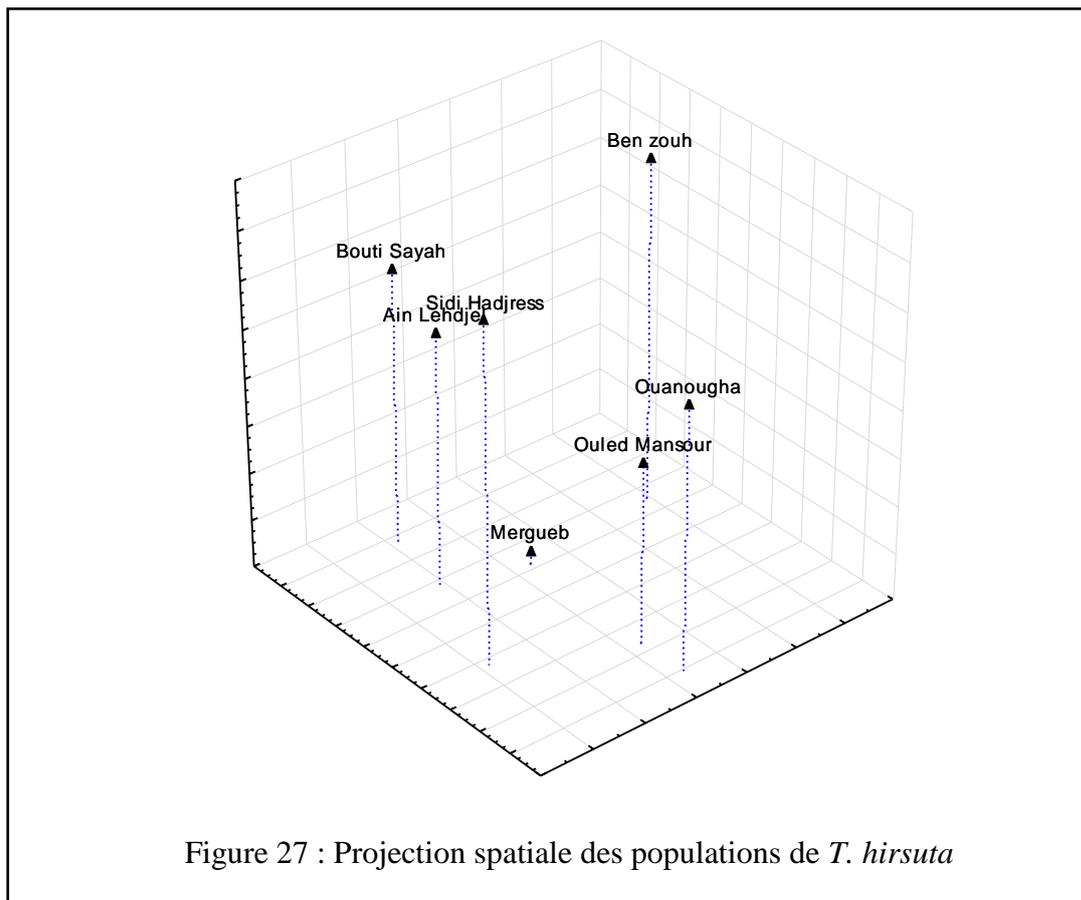
Par opposition, sur la partie négative on retrouve les stations Bouti sayeh, Ain lehjel et Sidi hajress qui sont caractérisées par nonanal-n, acide nonanoïque, Isopropyl tetradecanoate, acide hexadecanoïque et triacontane.



Les composés chimiques octanal-n, octanol-n, nonanal-n, naphtalène, dodécane, acide nonanoïque, tridécane, dodécanal, tridécenol (2E), tétradécanal, Isopropyl tétradécanoate, acide hexadécanoïque et triacontane caractérisent les stations Benzoh, Ouanougha, Ouled mansour et Mergueb sur la partie positive de l'axe 3. Par opposition, sur la partie négative de l'axe 3, les stations Sidi hajress, Bouti sayeh et Ain lehjel se caractérisent par octanal-n, octanol-n, nonanal-n, dodécane, dodécanal, dodécanol-n, tridécenol (2E), tétradécanal, Isopropyl tétradécanoate, acide hexadécanoïque, eicosane, hexacosane, octacosane, nonacosane et triacontane (Figure 26).



La projection spatiale tridimensionnelle des huiles essentielles des sept populations de *T. hirsuta* sur les trois axes principaux (Figure 27) montre que les populations d'Ouanougha, Mergueb, Bouti sayeh, Ain lehjel et Sidi hajress sont nettement séparées des populations de Benzoh et Ouled mansour.

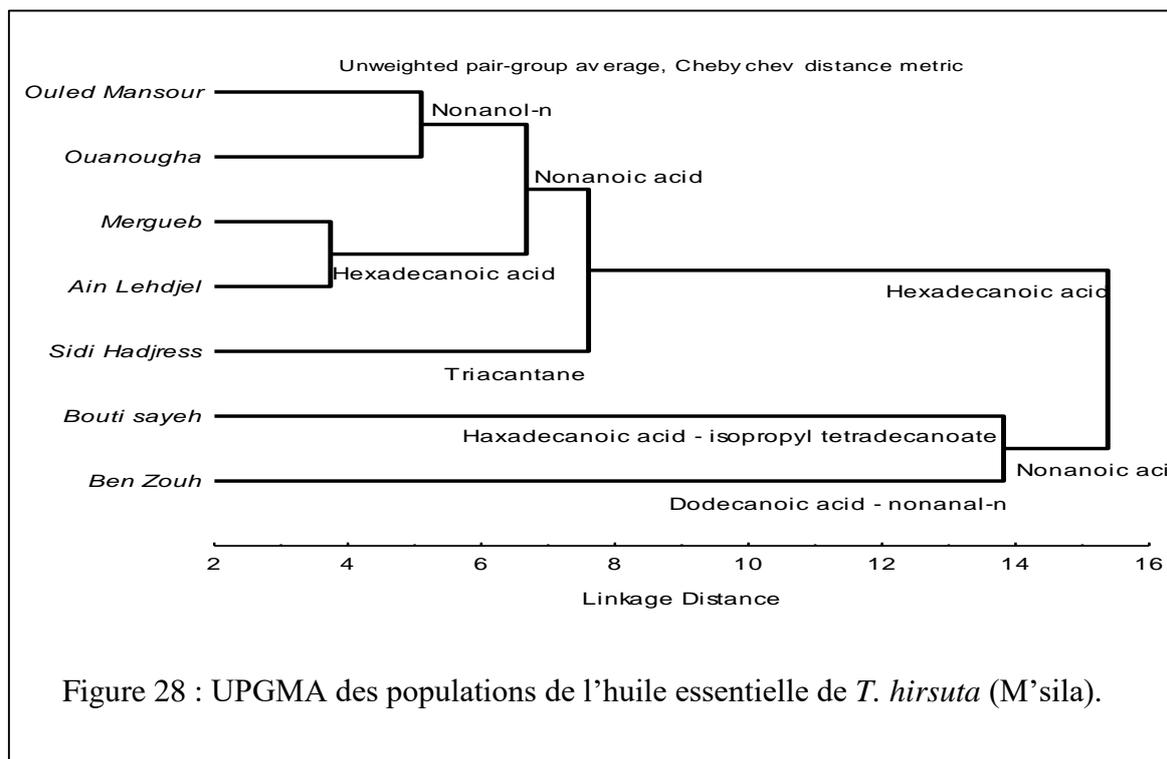


### 3. Analyse UPGMA

L'analyse des clusters UPGMA de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta* (Figure 28), basée sur la distance du linkage, confirme la séparation de nos populations en deux clades distincts.

Le premier clade regroupe deux populations (Bouti-sayeh et Benzoh). Ce clivage indique la présence de différence inter populations de la composition de l'huile essentielle. Les populations de Bouti-sayeh et Benzoh sont caractérisées par la présence de l'acide nonanoïque avec une moyenne de 9,13 %.

Le deuxième clade rassemble les cinq populations restantes. La population de Sidi hadjress est séparée des populations du clade 2, elle est caractérisée par un taux élevé de triacontane (7,2 %).



#### 4. Chémotypes de *Thymelaea hirsuta*

La séparation des populations de l'espèce *T. hirsuta* nous indique la présence de variabilité chimique importante. Cette variabilité chimique a favorisé la formation de plusieurs chémotypes (Tableau 16).

Tableau 16 : Chémotypes des populations de *Thymelaea hirsuta* dans la région de M'sila.

Chémotype			Populations
1	Acide nonanoïque	Acide decanoïque	n- Nonanal Benzoh
2	Acide nonanoïque	Acide hexadecanoïque	Isopropyl tetradecanoiate Bouti sayeh
3	Acide hexadecanoïque	Acide nonanoïque	n- Nonanol Triacantane O. Mansour, Ouanougha Mergueb, Ain lehdjel
4	Acide hexadecanoïque	Triacantane	/ Sidi hadjress

L'huile essentielle de *T. hirsuta* se caractérise par la présence du chémotype à l'acide nonanoïque, l'acide decanoïque et le n- nonanal pour les populations de Benzoh, alors que le chémotype à acide nonanoïque, acide hexadecanoïque et Isopropyl tetradecanoïate caractérise les populations de Bouti sayeh.

Les populations d'Ouled Mansour, Ouanougha, Mergueb et Ain lehjel se définissent par le chémotype acide hexadecanoïque, acide nonanoïque, le n- nonanol et le triacantane.

Cependant, le chémotype à l'acide hexadecanoïque et le triacantane caractérise la population de Sidi hajress.

Les résultats de la composition chimique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* sont différents à ceux obtenus par les travaux de certains auteurs. Kadri et *al.* (2011) ont révélés que l'huile essentielle qui provient des régions de Sidi Aïch (Gafsa au S-O de la Tunisie) est constituée des composés majoritaires heptane (28,34 %), germacrène D (12,98 %), eudesmol (11,81 %) et citronellyl formate (9,98 %).

L'analyse de l'HE de *T. hirsuta* (Tunisie) par Benchobba et *al.* (2014) ont accommodés la dominance de l'heptane (34,20 %), le germacène D (15,66 %), le  $\gamma$ -eudesmol (14,25 %), le formiate de citronellyl (12,04 %), en plus du trans-caryophyllène (3,92 %), le  $\delta$ -cadinène (3,08 %) et du  $\beta$ -bourbonène (2,93 %) de l'huile essentielle de cette plante.

Dans une étude menée sur les populations Tunisiennes par Yahyaoui et *al.* (2014) ont trouvés que l'huile essentielle de *T. hirsuta* est constituée majoritairement par le stylopsal HD (15,5 %), l'acide hexadécanoïque (14,4 %) et le (Z, Z) -5,7-dodécadiénal (12,2 %).

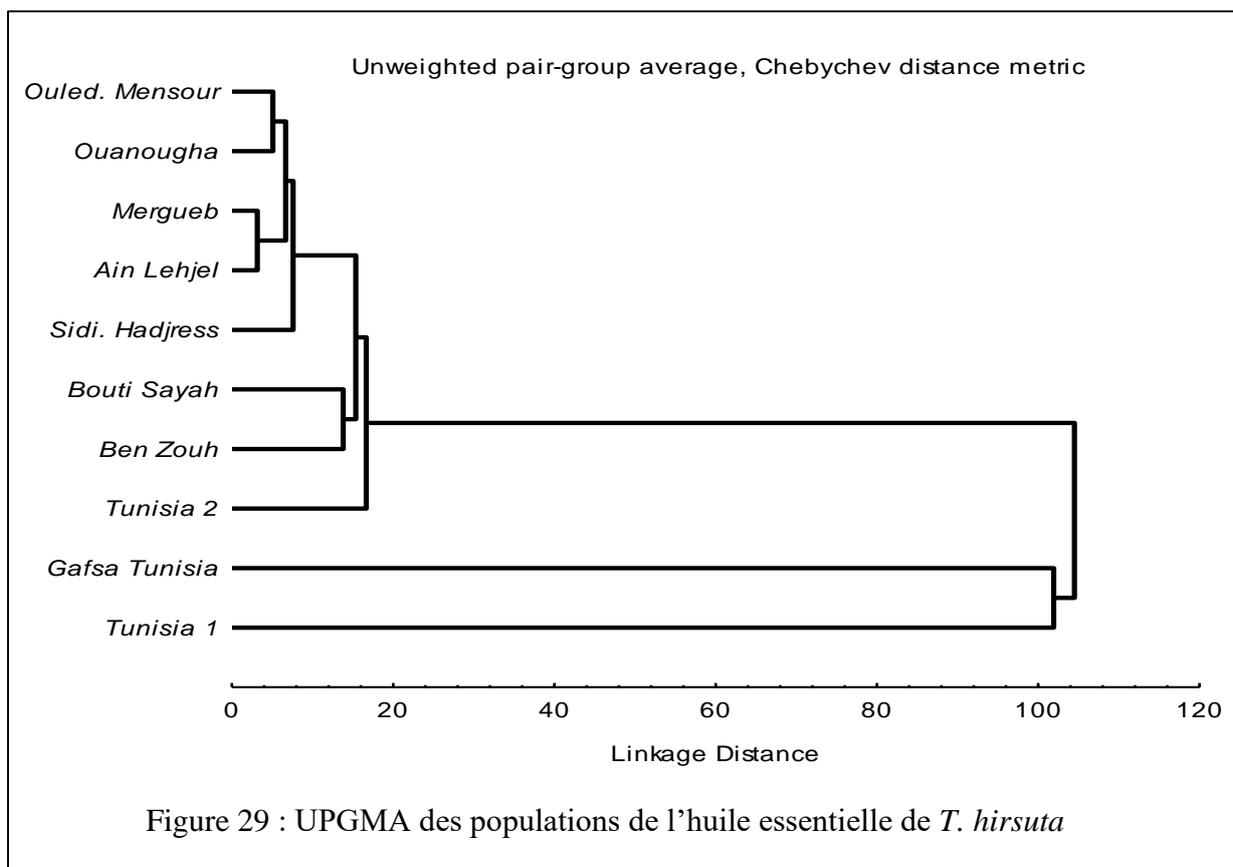
L'analyse statistique UPGMA effectuée sur les populations Algériennes et Tunisiennes de *T. hirsuta* montre une séparation des populations en deux clades bien distingués (Figure 29).

Le premier clade regroupe les populations Tunisie (1) étudiées par Benchobba et *al.* (2014) et celle de Sidi Aich (Gafsa) étudiée par Kadri et *al.* (2011). Ces deux populations sont caractérisées par la présence de l'heptane avec des proportions élevées. Ces deux populations peuvent représenter un chémotype tunisien à heptane et germacrene-D.

Le deuxième clade regroupe nos populations étudiées et la population Tunisie (2). La population tunisienne est caractérisée par la présence de l'acide hexadecanoïque, le stylopsal et 4,8-dimethylhecosane (Yahyaoui et *al.*, 2014). Cette composition est différente de celle de nos populations et peut représenter un deuxième chémotype tunisien.

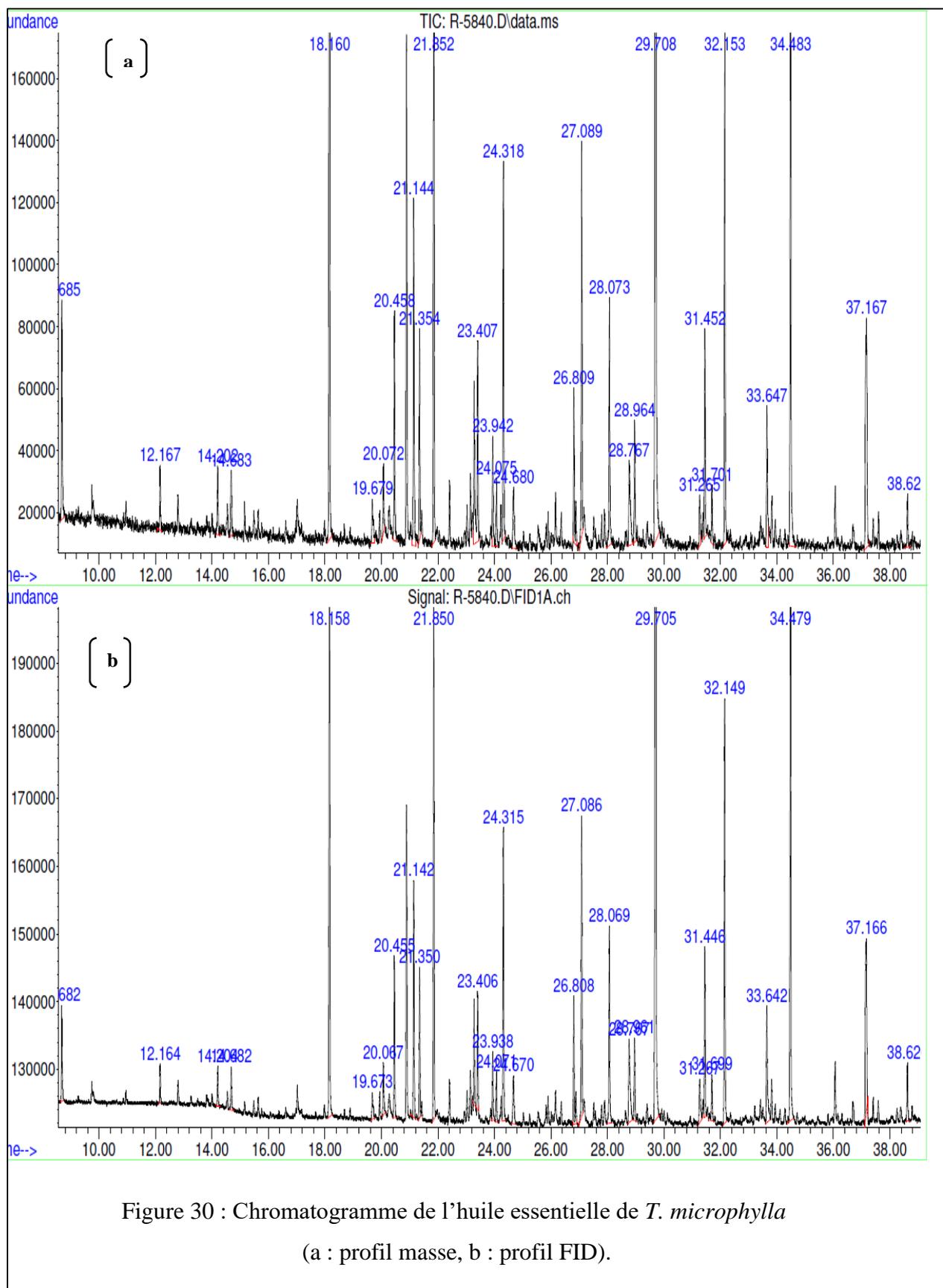
Il faut noter que les populations de Gafsa (Tunisie) et Tunisie 1 sont proches à la population de Tunisie (2), il s'agit là du plus fort taux de similitude qui laisse à penser que ces populations représentent le même air géographique et même composition chimique. Tandis-que les populations de Tunisie (2) sont voisines à nos populations de Benzoh et Bouti sayeh car elles partagent les mêmes caractères chimiques.

Donc, la séparation des populations de *T. hirsuta* prouve que cette plante possède des variations chimiques intra - spécifiques et interspécifiques importantes.



## 5. Etude de l'huile essentielle de *Thymelaea microphylla*

L'extraction des huiles essentielles a été effectuée sur les parties aériennes de *Thymelaea microphylla*, par la méthode d'hydro-distillation, l'huile essentielle est récupérée et analysée par GC / MS (Figure 30).



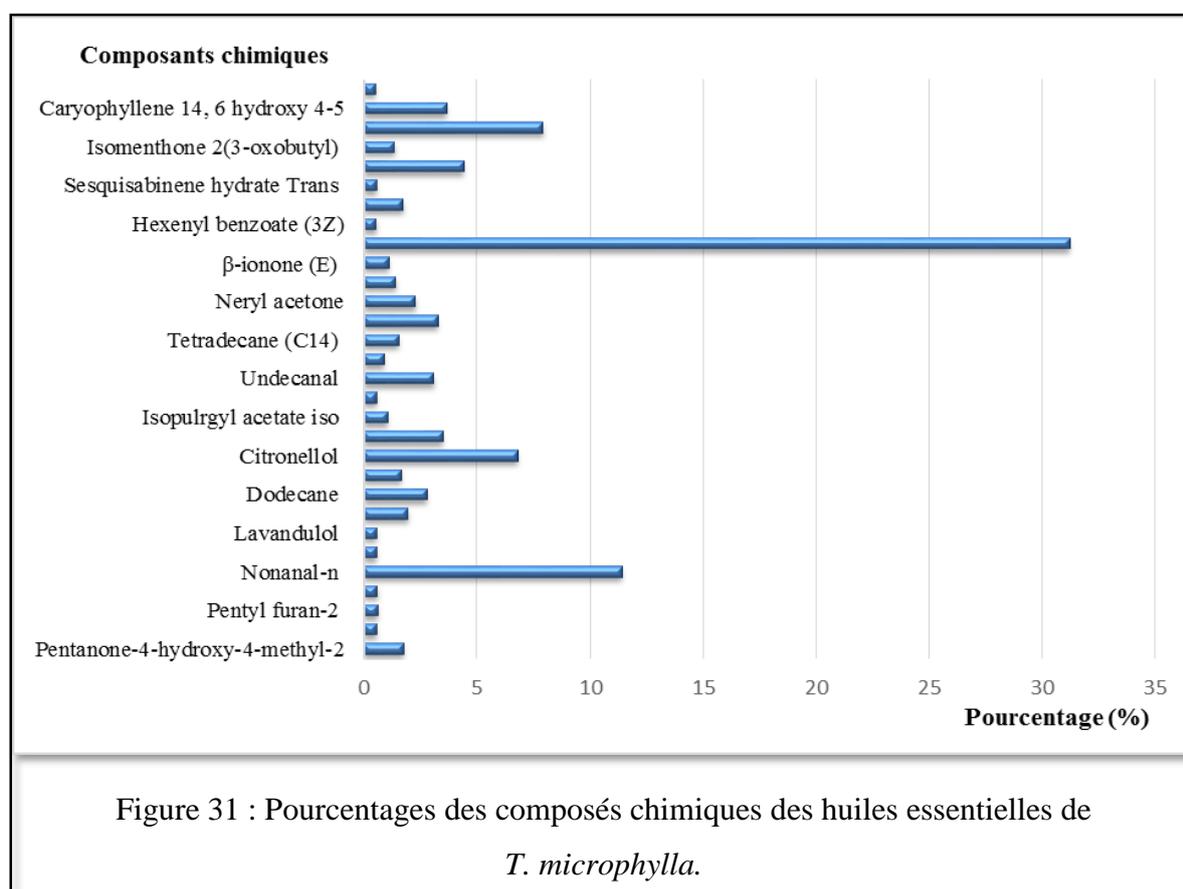
L'analyse chimique de l'huile essentielle de *T. microphylla* par chromatographie en phase gazeuse a permis d'identifier 30 composés cités dans le tableau (17).

Tableau 17 : Composition chimique de l'huile essentielle de *T. microphylla*.

<b>Composants chimiques</b>	<b>KIc</b>	<b>Rendement (%)</b>	<b>Nombre des composants</b>	<b>Totale (%)</b>
Pentanone-4-hydroxy-4-methyl-2	838			1,76
$\alpha$ -pinene	935			0,55
Pentyl furan-2	989			0,62
Octanal	1002			0,58
Nonanal-n	1102			<b>11,43</b>
Camphor	1151			0,56
Lavandulol	1164			0,57
Naphthalene	1191			1,94
Dodecane	1200			2,8
Decanal-n	1207			1,64
Citronellol	1224			<b>6,8</b>
Lavandulyl acetate tetrahydro	1273			<u>3,5</u>
Isopulrgyl acetate iso	1295			1,06
Tridecane	1300			0,55
Undecanal	1309			<u>3,09</u>
Citronellyl acetate	1322	<b>0,14</b>	<b>30</b>	0,89
Tetradecane (C14)	1399			1,55
Dodecanal	1410			<u>3,27</u>
Neryl acetone	1449			2,27
Dodecen 1-ol (2E)	1476			1,41
$\beta$ -ionone (E)	1483			1,11
Tridecanal	1513			<b>31,24</b>
Hexenyl benzoate (3Z)	1577			0,54
Tridecen 1-al (2E)	1585			1,74
Sesquisabinene hydrate Trans	1595			0,57
Tetradecanal	1614			<u>4,43</u>
Isomenthone 2(3-oxobutyl)	1679			1,35
Pentadecen 2one (6Z)	1716			<b>7,93</b>
Caryophyllene 14, 6 hydroxy 4-5	1841			<u>3,65</u>
Farnesyl acetone (5E, 9Z)	1912			0,51
<b>Classes chimiques</b>				
<b>Monoterpènes</b>				2,79 %
<b>Terpénoides</b>				8,10 %
<b>Alcools</b>				10,54 %
<b>Aldéhydes</b>				57,42 %
<b>Hydrocarbures</b>				1,94 %
<b>Alcanes</b>				4,90 %
<b>Esters</b>				5,10 %
<b>Autres</b>				9,12 %

L'analyse chimique de l'huile essentielle de *T. microphylla* nous a permis d'identifier 30 composants chimiques représentant 99,93 % du total de l'huile (Tableau 17, figure 31). Les principaux composés majoritaires de l'huile essentielle de *T. microphylla* sont le tridecanal avec un pourcentage de 31,24 %, suivie par le nonanal <n-> (11,43 %), le pentadecene 2-one (6Z) (7,93 %) et le citronellol (6,8 %).

Mais ça n'empêche pas de trouver d'autres constituants avec des concentrations moins importantes le tetradecanal (4,43 %), le caryophyllene 14,6-hydroxy 4-5 dihydro (3,65 %), le lavandulyl acetate tétrahydro (3,50 %), dodecanal (3,27 %) et l'undecanal avec un taux de 3,09 %. Le reste des composés se représentent en trace.



L'huile essentielle de *T. microphylla* est riche en aldéhydes avec une proportion élevée de 57,42 % (Tableau 17, figure 32). Cette classe chimique est dominée par le tridecanal (31,24 %) et le n-nonanal (11,43 %).

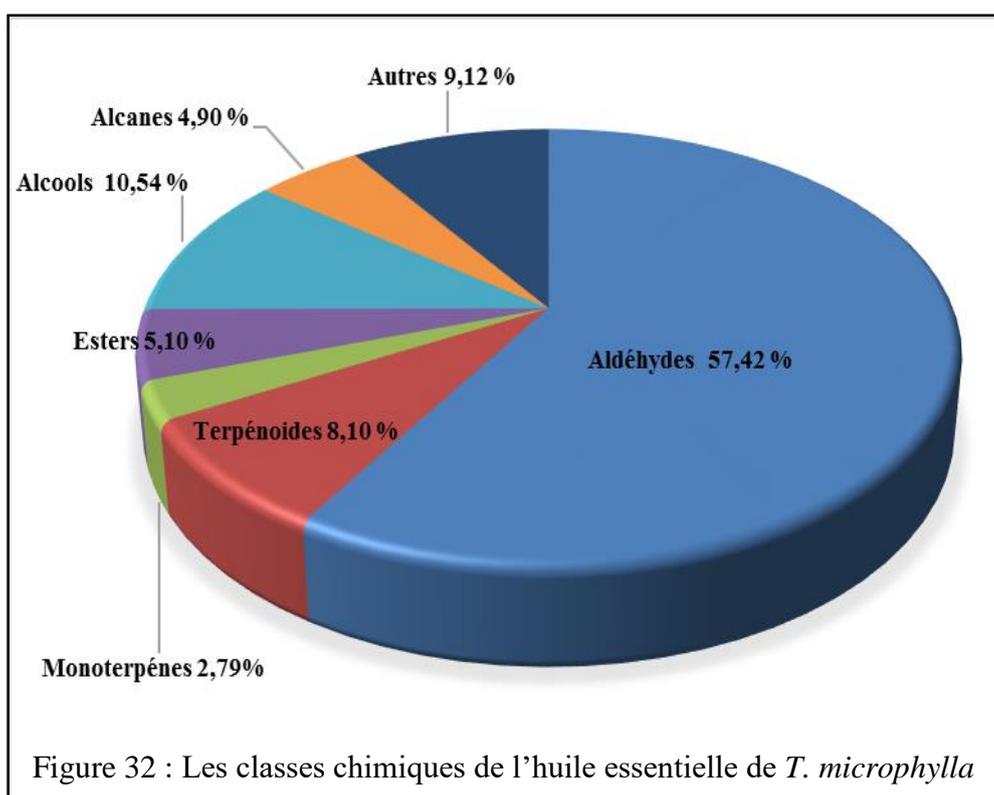
Viennent en deuxième position la classe chimique des alcools qui représente un taux de 10,54 % sur le total de l'huile essentielle dont le composant majoritaire est le citronellol (6,8 %).

Les terpénoides représentent 8,1 % avec l'abondance de caryophyllène 14,6 hydroxy 4-5 (3,65 %) et le neryl acétone (2,27 %).

Les esters occupent une place importante dans la composition chimique de l'huile essentielle avec un pourcentage de 5,1 %. Cette classe chimique est dominée essentiellement par le lavandulyl acetate tetrahydro avec un pourcentage de 3,5 %.

Les alcanes représentent 4,9 % du total de l'huile avec l'abondance de dodecane (2,8 %).

Les monoterpènes et les hydrocarbures sont très peu abondants avec un taux de 2,79 % et 1,94 % respectivement. Le reste des composants chimiques de l'huile essentielle, à divers dérivés, présente un taux de 9,12 %.



La caractérisation de l'huile essentielle des parties aériennes de *T. microphylla* a fait l'objet de très peu d'études rapportées par certains auteurs.

Les travaux de Noamane et *al.* (2010) sur l'huile essentielle de *T. microphylla* de la région d'Ouargla (Algérie) ont révélés la présence de certains composés qui ne sont pas identifiés dans notre échantillon, à savoir D-menthone (41,86 %), le 2-undécone (23,74 %), le pulegone (11,94 %) et le perillal (9,34 %). Le reste des composés n'était présent qu'en quantités mineures, c'est le cas d' isobutyranilide (0,58 %), artemesiatriene (1,66 %), limonène (1,92 %).

Mêmes résultats ont été obtenus par Noman et *al.* (2015) pour les populations de *T. microphylla* de la région d'El-Oued (Sud- est Algérien).

D'après ces résultats, on peut conclure qu'elle existe une grande différence qualitative et quantitative sur la composition chimique des huiles essentielles de *T. microphylla* dans les différentes régions de l'Algérie.

L'étude de la composition chimique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* montre une différence importante, elle se voit dans le pourcentage des composants chimiques majoritaires et dans la qualité des produits minoritaires qui composent chaque huile.

La composition chimique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sont sujettes à plusieurs facteurs de variabilité, facteurs externes et internes à la plante. Pour une espèce donnée la proportion des différents constituants d'une huile essentielle peut varier suivant les conditions de stockage, la température, l'humidité relative, la durée de séchage, la méthode d'extraction, la durée totale de l'insolation et le régime des vents exercent aussi une influence directe, surtout chez les espèces qui possèdent des structures histologique de stockage superficielle (Bruneton, 1999 ; Masotti et *al.*, 2003 ; Viljoen et *al.* 2006 ; Sefidkon et *al.* 2007 ; Kouamé, 2012).

La qualité des huiles essentielles est également influencée aussi par la météorologie au moment de la récolte et l'heure de la récolte. L'huile essentielle de *Mentha* ne présente pas la même composition qu'elle soit extraite à partir des plantes récoltées le matin, au milieu ou enfin de la journée. Ainsi le taux de thuyone de *Salvia officinalis* variété *dalmate* est de 26 % pour une récolte de printemps et de 51 % pour une récolte d'automne (Laouer, 2004).

De plus, la composition chimique des huiles essentielles de certaines plantes aromatiques varie qualitativement et quantitativement selon les chimiotypes, par exemple chez *Thymus vulgaris* de la Méditerranée occidentale on trouve sept chémotypes différents (A thymol, à carvacrol, à géraniol, à linalol, à terpinéol, à trans-4-thuyanol, à cis-8-myrcénol et à cinéol) (Bruneton, 1999).

### **III. Activités biologiques**

#### **1. Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

Les résultats de l'étude *in vitro* du pouvoir antibactérien des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* par la méthode de diffusion des disques sur un milieu gélosé solide (Muller Hinton) sont regroupés dans le tableau (18).

Les résultats des diamètres des zones d'inhibition révèlent que toutes les souches testées sont sensibles à l'huile essentielle de *T. hirsuta* (Tableau 18). La meilleure activité antibactérienne a été observée avec l'huile pure contre les souches *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Bacillus cereus* et *Bacillus subtilis*. Le diamètre d'inhibition le plus élevé a été enregistré avec *Escherichia coli* ( $31 \pm 3,6$  mm) et *Salmonella enterica* ( $27 \pm 3,5$  mm) chez la population de Sidi hajress, et marqué très faible aux dilutions 1/8 dans toutes les populations avec des diamètres d'inhibition variant entre 8 et 11 mm.

Aux dilutions 1/2, la sensibilité des souches bactériennes à l'huile essentielle de *T. hirsuta* est modérée. Le diamètre le plus élevé est de  $22 \pm 3,8$  mm contre les souches *Escherichia coli* et *Salmonella enterica* indiquées pour les populations de Sidi hajress et Ouanougha.

Par opposition, aux dilutions 1/4, l'huile essentielle de *T. hirsuta* est modérément active contre des souches *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis* avec des diamètres d'inhibitions de 12 à 17 mm pour toutes les populations étudiées

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *T. microphylla* (Tableau 18) a montré aussi que cette plante a une activité antibactérienne très importante. Le diamètre d'inhibition le plus élevé a été enregistré avec l'huile pure contre *Bacillus subtilis* avec un diamètre d'inhibition de  $29 \pm 5,65$  mm pour les populations de Hammam Dalaa.

Tableau 18 : Diamètres d'inhibition (mm) de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla*.

Souches bactériennes	Dilutions	Huile essentielle de <i>T. hirsuta</i>							Huile essentielle de <i>T. microphylla</i>				
		Bouti sayeh	Mergueb	Ain lehjel	Ouanougha	Ouled Mansour	Benzoh	Sidi hajress	Chott el Hodna	Mergueb	Hamam Dalaa	Ain lehjel	
<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27853	1/1	14 ± 1,15	15 ± 2	12 ± 2	15 ± 2	14 ± 2	12 ± 1	15 ± 2	0	0	0	0	
	1/2	12 ± 1	12 ± 1,52	9 ± 0,6	12 ± 1	11 ± 1,15	9 ± 1,52	12 ± 1	0	0	0	0	
	1/4	11 ± 1,15	10 ± 0,57	9 ± 5,3	9 ± 1,5	9 ± 0,57	9 ± 5,19	11 ± 1,5	0	0	0	0	
	1/8	9,33 ± 0,6	9 ± 0	0	8 ± 0,6	9 ± 0	0	9,33 ± 0,6	0	0	0	0	
	<b>Gentamicine = 28 ± 1</b>												
<i>K.pneumoniae</i> ATCC 700603	1/1	17 ± 1,52	18 ± 1,15	14 ± 2,9	16 ± 1,5	14 ± 3,6	19 ± 1,52	15 ± 1,2	13,66 ± 2,12	14,66 ± 2,12	14,66 ± 7,77	15 ± 2,12	
	1/2	14 ± 0,57	12 ± 1	10 ± 0,6	12 ± 0	10 ± 0	13 ± 1,15	11 ± 0,6	10,66 ± 0,7	11,33 ± 2,12	13,66 ± 6,36	11,66 ± 0,7	
	1/4	12 ± 0,54	9 ± 1,15	9 ± 0,6	10 ± 0	9 ± 0	12 ± 1	8 ± 0,6	9,33 ± 0,7	9,33 ± 1,41	9 ± 1,41	9,66 ± 0	
	1/8	10 ± 1,52	9 ± 1,73	0	9 ± 0	0	10 ± 0,57	0	8,66 ± 0,7	8 ± 0	8 ± 0	9,66 ± 0	
	<b>Gentamicine = 31,33 ± 1,52</b>												
<i>E. coli</i> ATCC 25922	1/1	20 ± 2,08	10 ± 1,15	13 ± 1,2	14 ± 1	17 ± 2	16 ± 2,64	31 ± 3,6	18,33 ± 1,41	19 ± 2,82	26,5 ± 5,65	14,66 ± 3,53	
	1/2	13 ± 1,73	9 ± 0,57	9 ± 0,6	11 ± 0	11 ± 1,15	10 ± 0,57	22 ± 3,8	14 ± 0,7	13 ± 2,82	26 ± 0,7	12,33 ± 2,82	
	1/4	10 ± 0,57	8 ± 0,57	9 ± 5,2	10 ± 1	10 ± 1	9 ± 0,57	17 ± 3,1	11,33 ± 0	11 ± 0,7	16,5 ± 3,18	10,33 ± 2,12	
	1/8	9 ± 1,15	0	0	0	0	0	13 ± 1,5	9,66 ± 0,7	8 ± 2,12	15,5 ± 0,7	9,66 ± 1,41	
	<b>Gentamicine = 30,66 ± 1,15</b>												
<i>B. cereus</i> ATCC 11778	1/1	21 ± 3,51	11 ± 1,52	22 ± 3,1	17 ± 1,5	21 ± 2,51	15 ± 1,52	24 ± 4,01	17,33 ± 7,07	11,33 ± 2,12	12,66 ± 2,12	16,33 ± 2,12	
	1/2	9 ± 0,57	8 ± 0,57	15 ± 1,5	13 ± 0,6	14 ± 3,60	11 ± 1	14 ± 4,7	9,33 ± 0,7	9,66 ± 0,7	10,66 ± 2,12	13,33 ± 0	
	1/4	0	8,33 ± 0,6	11 ± 0,6	11 ± 1	11 ± 2	9 ± 1	12 ± 3,2	8,66 ± 0	8,33 ± 0,7	9 ± 0	10,33 ± 0	
	1/8	0	0	9 ± 0,6	9 ± 0,6	9,33 ± 0,6	9,33 ± 0,6	10 ± 1,5	7,66 ± 1,41	8 ± 0	0	9,33 ± 0	
	<b>Gentamicine = 33 ± 1</b>												
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	1/1	20 ± 1,52	16 ± 1,52	14 ± 1,7	17 ± 1,2	12 ± 1,52	12 ± 1	21 ± 2,5	0	0	0	0	
	1/2	14 ± 1	13 ± 0,57	12 ± 1	13 ± 0,6	11 ± 1	10 ± 0,57	15 ± 1,5	0	0	0	0	
	1/4	11 ± 1,52	11 ± 1,52	10 ± 1	10 ± 0,6	9 ± 1,15	9 ± 0,57	12 ± 1,2	0	0	0	0	
	1/8	9 ± 1	9 ± 0	9 ± 0	9 ± 0,6	0	0	10 ± 1	0	0	0	0	
	<b>Gentamicine = 30,33 ± 0,57</b>												
<i>B.subtilis</i> ATCC 6633	1/1	16 ± 1,52	24 ± 2	25 ± 3,1	21 ± 2,1	13 ± 1,52	17 ± 2	14 ± 2,1	15 ± 2,82	18,33 ± 2,12	29 ± 5,65	13,33 ± 0,7	
	1/2	13 ± 1,73	19 ± 3,05	16 ± 1,5	17 ± 0,6	11 ± 1,15	13 ± 0,6	11 ± 2,5	12,33 ± 2,82	15,33 ± 0,7	18,16 ± 2,82	11,33 ± 0,7	
	1/4	11 ± 1,52	14 ± 1,52	14 ± 1,7	13 ± 0,6	9 ± 1,52	11 ± 0,6	10 ± 2,1	10 ± 1,41	12,33 ± 1,41	18,5 ± 1,06	9,66 ± 0	
	1/8	10 ± 1,73	11 ± 1,52	12 ± 1	10 ± 1,2	8,33 ± 0,6	9 ± 1	10 ± 1,7	9 ± 0,7	11,66 ± 0	14 ± 1,41	0	
	<b>Gentamicine = 26 ± 1</b>												
<i>Sal. enterica</i> ATCC 43972	1/1	24 ± 3,05	24 ± 3,78	21 ± 2,5	24 ± 4	11 ± 1,52	20 ± 1,15	27 ± 3,5	25,66 ± 12,72	20,66 ± 8,48	24 ± 2,12	22 ± 3,53	
	1/2	20 ± 2,08	11 ± 1,15	15 ± 3,2	22 ± 3	10 ± 0	15 ± 3	10 ± 0,6	16 ± 0	13,66 ± 4,24	17,33 ± 2,12	18,33 ± 2,12	
	1/4	14 ± 3,21	10 ± 0,57	12 ± 1,5	15 ± 5,7	9 ± 1,15	12 ± 2,08	10 ± 0	11 ± 0	10,33 ± 0,7	10,66 ± 0	13,33 ± 0	
	1/8	11 ± 1,52	8,33 ± 0,6	10 ± 1,2	11 ± 1,7	8 ± 0	10 ± 3,88	0	10 ± 0	9 ± 1,41	9,33 ± 1,41	10,66 ± 0,7	
	<b>Gentamicine = 35,33 ± 0,57</b>												
<i>Ent. faecalis</i> ATCC 51299	1/1	16 ± 1,15	17 ± 2	14 ± 0,6	18 ± 1,7	13 ± 1,15	16 ± 1,15	14 ± 1	14,66 ± 1,41	16 ± 3,53	18,5 ± 5,3	14,33 ± 1,41	
	1/2	13 ± 0,57	14 ± 1	12 ± 1,2	14 ± 1,2	11 ± 1	14 ± 1	11 ± 1,52	12,33 ± 0	13,66 ± 1,41	17,5 ± 0,7	11,66 ± 1,41	
	1/4	12 ± 1	11 ± 1,15	10 ± 0,6	11 ± 1,2	10 ± 1	11 ± 1,52	10 ± 0,6	10,66 ± 0	10,66 ± 0	15,5 ± 0,7	9,66 ± 0	
	1/8	9 ± 1	9,33 ± 0,6	9 ± 0	9 ± 0,6	8,33 ± 0,6	9 ± 1,15	9 ± 0	8,66 ± 0,7	9,33 ± 0,7	15 ± 0,7	9 ± 0	
	<b>Gentamicine = 12,9 ± 0,1</b>												

Une activité antibactérienne modérée de l’huile essentielle de *T. microphylla* a été signalé avec les dilutions ½ (Tableau 18). Les diamètres les plus élevés ont été marqués avec *Escherichia coli* (26 ± 0,7 mm) pour les populations de Hammam Dalaa, *Salmonella enterica* (18,33 ± 2,12 mm) avec les populations d’Ain lehjel, *Bacillus subtilis* (18,16 ± 2,82 mm) et *Enterococcus faecalis* avec un diamètre de 17,5 ± 0,7 mm avec les populations de Hammam Dalaa.

On note une activité antibactérienne modérément active contre les souches *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae* et *Bacillus cereus* avec des diamètres des zones d’inhibition qui varient de 12 mm à 17 mm.

Aux dilutions ¼ et 1/8, on mentionne une activité antibactérienne modéré à faible avec des diamètres des zones d’inhibition qui varient de 9 mm à 11 mm. Cependant, aucune activité antibactérienne n’a été enregistrée avec *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*.

Les résultats de l’antibiotique utilisé comme un témoin donnent des diamètres varient entre 12,9 ± 0,1 et 33 ± 1 mm.

Les diamètres des zones d’inhibitions produits par les huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sont considérés moyennement actifs en comparaison avec ceux produits par l’antibiotique.

**1.1. Analyse des variances (ANOVA) de l’huile essentielle de *T. hirsuta***

L’analyse statistique effectuée par ANOVA a montré que les populations, les doses et les souches bactériennes, ainsi que leurs interactions, étaient très significatifs (P < 0,001) (Tableau 19).

Tableau 19 : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de *T. hirsuta* dans l’activité antibactérienne.

Sources	df	F	P
<b>Principaux effets</b>			
Populations	6	35,21	0,0000 ***
Doses	4	4496,93	0,0000 ***
Souches bactériennes	7	148,79	0,0000 ***
<b>Interactions</b>			
Populations * Doses	24	5,66	0,0000 ***
Populations * souches bactériennes	42	30,88	0,0000 ***
Doses * souches bactériennes	28	84,45	0,0000 ***
Populations * Doses * souches bactériennes	168	7,06	0,0000 ***

Remarque : \*\*\* Très significatif (P < 0.001)

Le test de sensibilité aux antibiotiques a montré que l'activité de l'antibiotique standard (Gentamicine) variait selon les espèces de bactéries. L'antibiotique testé a montré une inhibition de la croissance supérieure (28,45 mm) à celle des huiles contre les bactéries utilisées (Tableau 20).

L'huile pure a montré l'effet le plus puissant avec un diamètre de 17,54 mm par rapport aux huiles diluées qui représentent des diamètres de 12,96 mm, de 10,75 mm et de 6,92 mm respectivement.

Tableau 20 : Effet des dilutions d'huile essentielle de *T. hirsuta* sur la zone d'inhibition des bactéries testées.

Rang	Doses	Significatif	n
1	Gentamicine	28,45	168
2	1/1	17,54	168
3	1/2	12,96	168
4	1/4	10,75	168
5	1/8	6,92	168

Remarque : LSD 0.05 = 0.3429650445

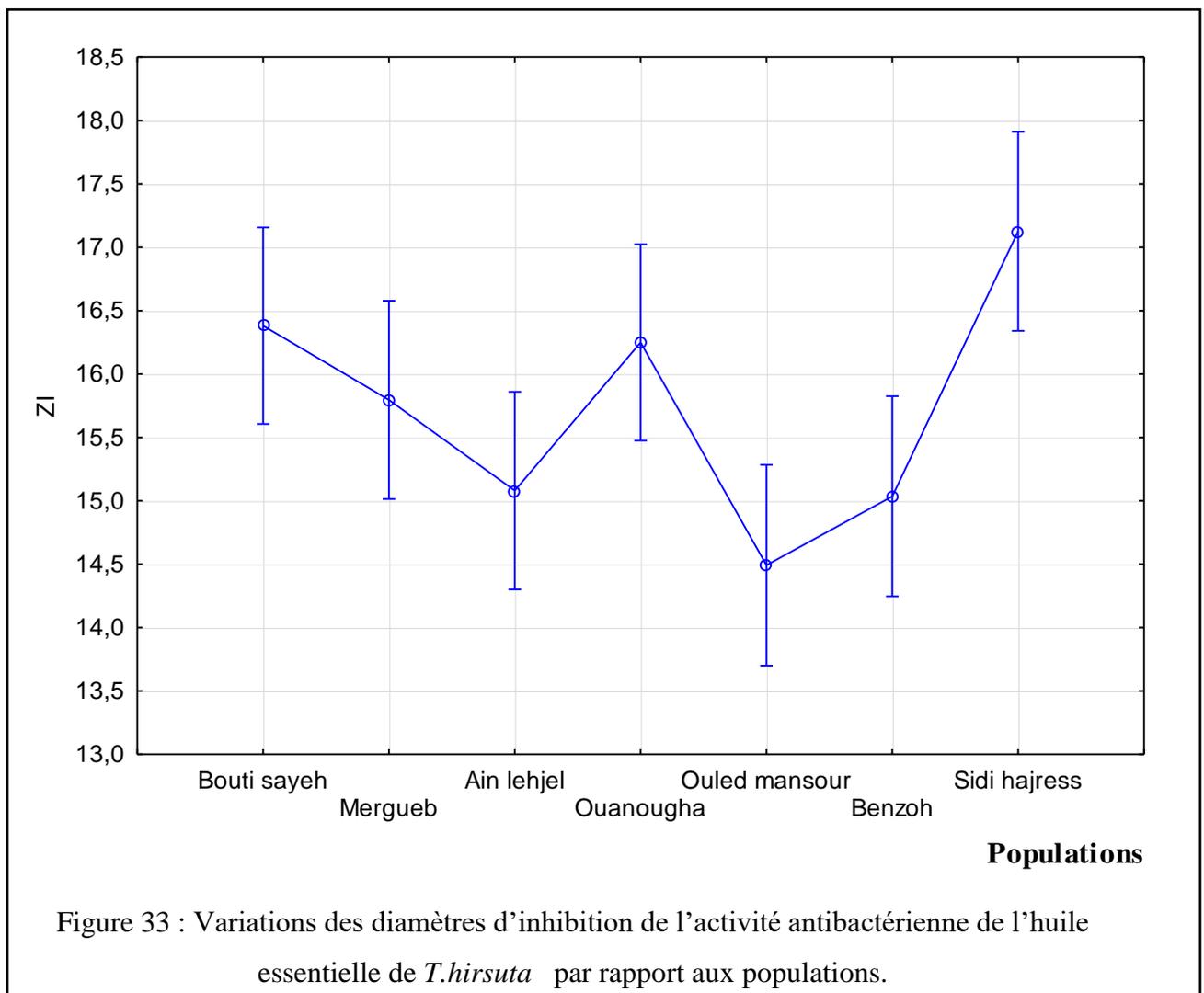
Les diamètres des zones d'inhibitions produits par l'huile essentielle de *T. hirsuta* sont considérés moyennement actifs en comparaison avec ceux produits par l'antibiotique (Gentamicine).

L'analyse statistique de l'efficacité des huiles essentielles de *T. hirsuta*, contre les huit souches bactériennes testées, par rapport aux populations, a montré que les huiles les plus efficaces de cette plante sont celles collectées auprès de Sidi hajress, d'Ouanougha et de Bouti sayeh avec des diamètres de 16,31 mm, de 16,13 mm et de 15,99 mm respectivement. Par contre, l'activité antibactérienne de l'huile la moins efficace est celle collectée au prés d'Ouled mansour avec un diamètre d'inhibition de 13,92 mm (Tableau 21, figure 33).

Tableau 21 : Efficacité des huiles essentielles de *T. hirsuta* provenant de plusieurs populations contre les huit espèces de bactéries.

Rang	Localités des populations	Significatif	n
1	Sidi hajress	16,31	120
2	Ouanougha	16,13	120
3	Bouti sayeh	15,99	120
4	Mergueb	15,12	120
5	Ain lehjel	15,07	120
6	Benzoh	14,71	120
7	Ouled Mansour	13,92	120

Remarque : LSD 0.05 = 0.40580171325



Les résultats de l'évaluation qualitative de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta* ont indiqués que les huiles de cette plante présentent une activité significative contre toutes les souches bactériennes testées avec des diamètres différents de manière dépendante à la concentration (Tableau 22).

La moyenne la plus élevée a été enregistrée contre *Salmonella enterica* avec un diamètre d'inhibition de 18,64 mm, tandis que la moyenne la plus basse a été enregistrée contre *Enterococcus faecalis* avec un diamètre d'inhibition de 12,07 mm.

Pour les souches *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus*, nous avons enregistré des diamètres de zone d'inhibition de 16,33 mm et 16,03 mm respectivement, alors que les souches bactériennes *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Klebseilla pneumoniae* ont présentées des diamètres de zone d'inhibition de 15,36 mm, de 15,20 mm et de 15,13 mm respectivement. Cependant, la souche bactérienne *Pseudomonas aeruginosa* a donné un diamètre d'inhibition de 13,83 mm.

Tableau 22 : Groupes de sensibilité des bactéries testées aux huiles essentielles de *T. hirsuta*.

Rang	Souches bactériennes	Significatif	n	S*
1	<i>Salmonella enterica</i>	18,64	105	++
2	<i>Bacillus subtilis</i>	16,33	105	++
3	<i>Bacillus cereus</i>	16,03	105	++
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	15,36	105	++
5	<i>Escherichia coli</i>	15,20	105	++
6	<i>Klebseilla pneumoniae</i>	15,13	105	++
7	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13,83	105	++
8	<i>Enterococcus faecalis</i>	12,07	105	+

Remarque: LSD 0,05 = 0,43382027941; \* S. = Sensibilité (++ Très significatif (P < 0,01); + Important (P < 0,05))

**1.2. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de de *T. microphylla***

L'analyse statistique effectuée par ANOVA a montré que les populations, les doses et les espèces bactériennes, ainsi que leurs interactions, étaient très significatifs (P < 0,001) (Tableau 23).

Tableau 23 : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de *T. microphylla*.

Sources	df	F	P
<b>Principaux effets</b>			
Populations	3	2,941	0,033 *
Doses	4	175,318	0,000 *
Souches bactériennes	9	35,626	0,000 *
<b>Interactions</b>			
Populations * Doses	0		
Populations * souches bactériennes	19	19,7723	0,000000***
Doses * souches bactériennes	20	38,8910	0,000000***
Populations * Doses * souches bactériennes	76	2,6765	0,000000***

Remarque : \*\*\* Très significatif (P < 0.001)

Le test de sensibilité à l'antibiotique standard (Gentamicine) a montré que ce dernier variait selon les espèces de bactéries. La gentamicine testée a montré une inhibition de croissance supérieure (26,83 mm) à celle des huiles essentielles de *T. microphylla* contre les bactéries utilisées (Tableau 24). L'huile pure de cette plante a montré un effet plus puissant avec un diamètre de 13,30 mm par rapport aux autres dilutions qui représentent des diamètres de 10,41 mm, de 8,28 mm et de 6,80 mm respectivement.

Tableau 24 : Effet des dilutions d'huile essentielle de *T. microphylla* sur la zone d'inhibition des bactéries testées.

Rang	Doses	Significatif	n
1	Gentamicine	26,83	96
2	1/1	13,30	96
3	1/2	10,41	96
4	1/4	8,28	96
5	1/8	6,80	96

Curent effect F (4,446) =173, 16, p=0,0000

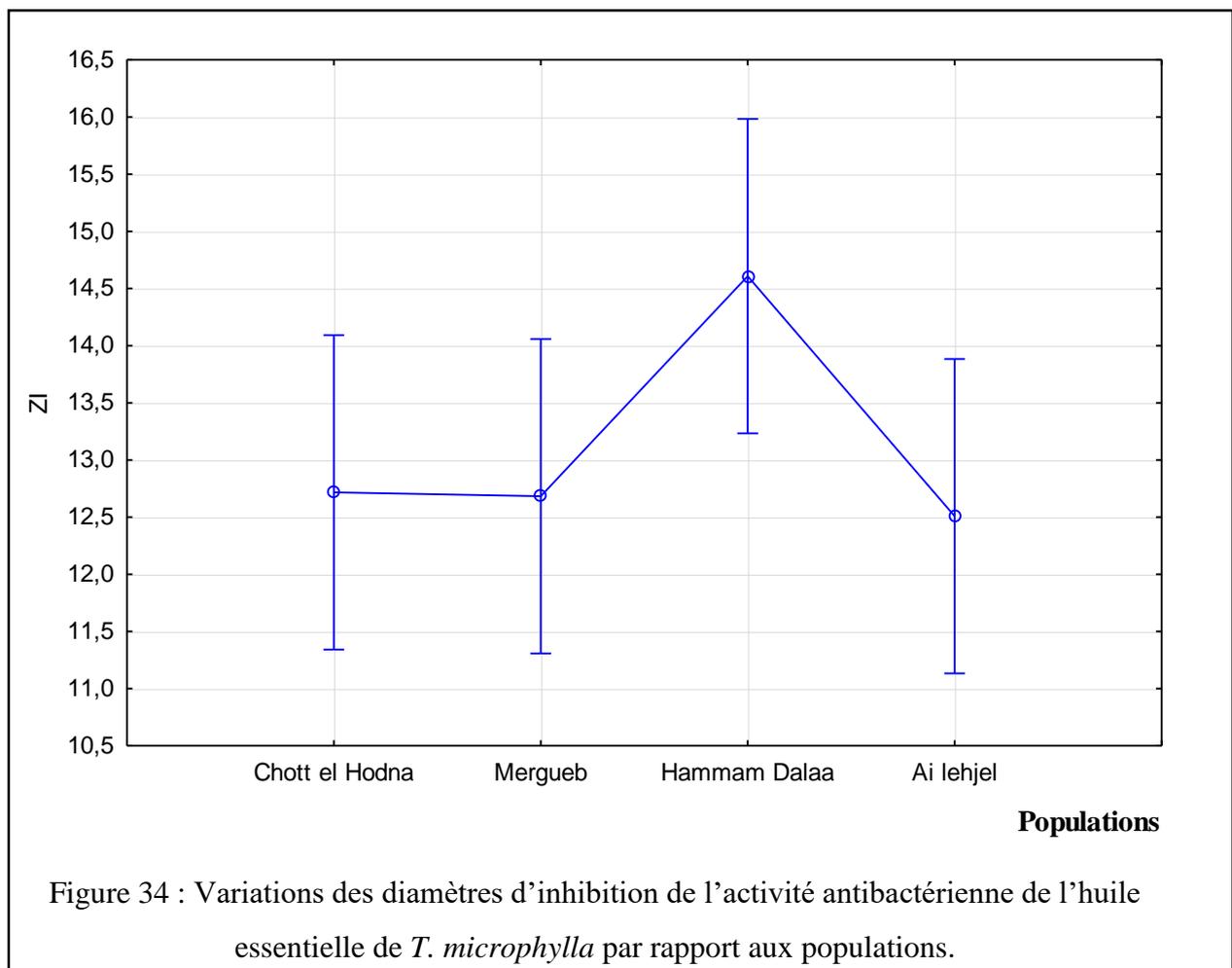
L'analyse statistique de l'efficacité des huiles essentielles de *T. microphylla*, contre les souches bactériennes testées, par rapport aux populations, a montré que les huiles les plus efficaces de cette plante sont celles collectées auprès de Hammam Dalaa avec des diamètres de 14,60 mm.

Par contre, l'activité antibactérienne de l'huile la moins efficace est celle collectée au près des populations de Chott el Hodna avec des diamètres d'inhibition de 12,71 mm, Mergueb avec des diamètres d'inhibition de 12,68 mm et Ain lehjel avec des diamètres d'inhibition de 12,50 mm (Tableau 25, figure 34).

Tableau 25 : Efficacité des huiles essentielles de *T. microphylla* provenant de quatre populations contre huit espèces de bactéries.

Rang	Localities des populations	Significatif	n
1	Hammam Dalaa	14,60	120
2	Chott el Hodna	12,71	120
3	Mergueb	12,68	120
4	Ain lehjel	12,50	120

Current effect F (3,463) =2, 9407, p=0, 03283



L'examen qualitatif de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *T. microphylla* a présenté une activité significative contre toutes les souches bactériennes testées avec des diamètres d'inhibition différentes de manière dépendante à la concentration (Tableau 26).

La valeur la plus élevée a été enregistrée contre *Salmonella enterica* avec un diamètre de zone d'inhibition de 19,16 mm, suivie par *Escherichia coli* avec un diamètre d'inhibition de 17,92 mm.

Par conséquent, les souches *Bacillus subtilis*, *Klebseilla pneumoniae* et *Bacillus cereus* ont donnés des diamètres de zone d'inhibition de 15,60 mm, de 15,11 mm et de 14,70 mm respectivement. Alors que, la souche bactérienne *Enterococcus faecalis* a marqué une valeur d'inhibition de 10,83 mm.

Pour les souches bactériennes *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* ont présentées des diamètres de zone d'inhibition de 6,06 mm et 5,60 mm respectivement.

Tableau 26 : Groupes de sensibilité des bactéries testées aux huiles essentielles de *T. microphylla*.

Rang	Souches bactériennes	Significatif	n	S*
1	<i>Salmonella enterica</i>	19,16	60	++
2	<i>Escherichia coli</i>	17,92	60	++
3	<i>Bacillus subtilis</i>	15,60	30	++
4	<i>Klebseilla pneumoniae</i>	15,11	60	++
5	<i>Bacillus cereus</i>	14,70	60	++
6	<i>Enterococcus faecalis</i>	10,83	45	++
7	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,06	60	+
8	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,60	60	+

Current effect F (7,420) =49.000, p=0, 0000. \* S. = Sensibilité (++ Très significatif (P < 0,01); + Important (P < 0,05))

### 1.3. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta*

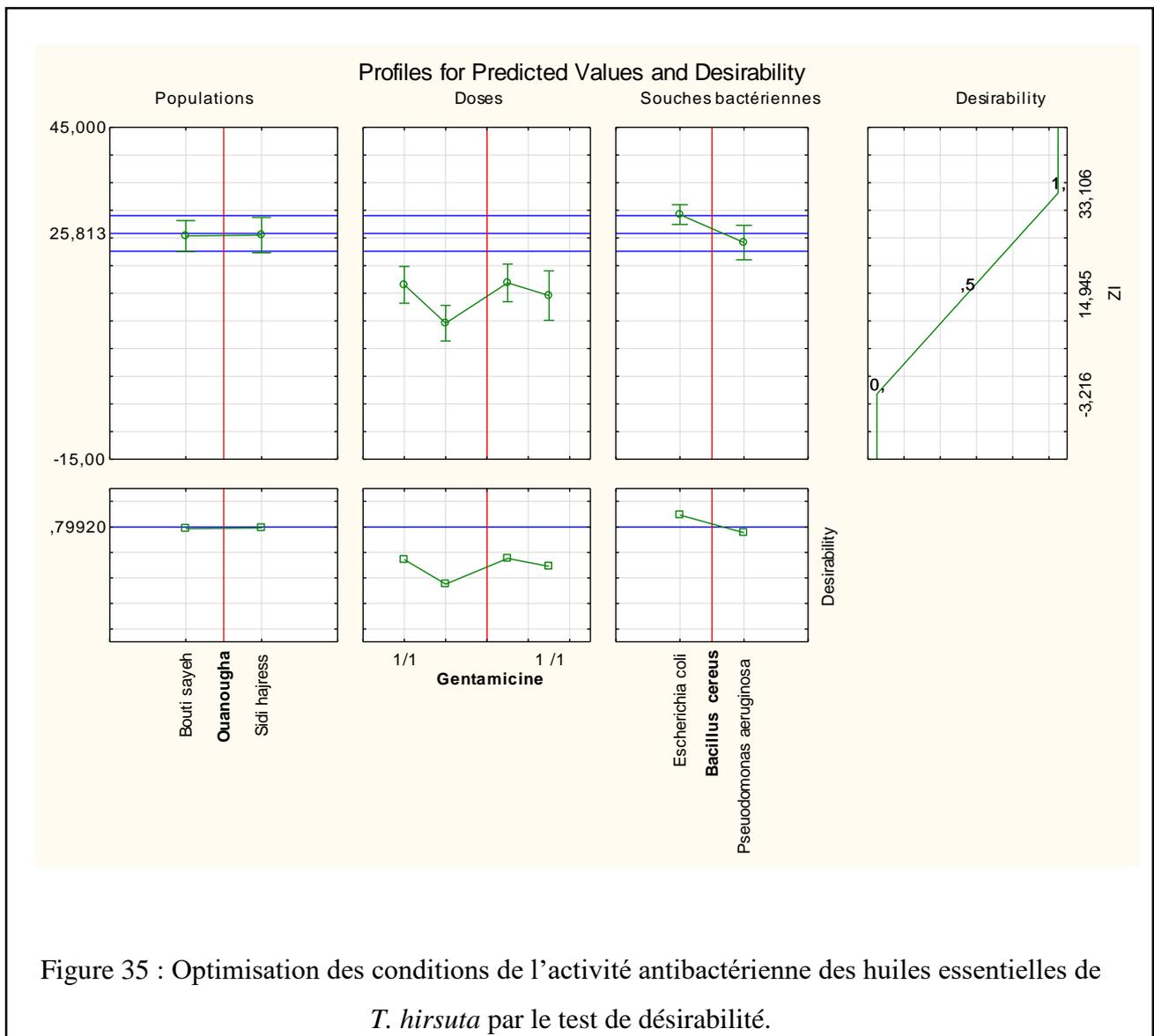
Le profil de désirabilité de l'huile essentielle *T. hirsuta* contre les bactéries testées avait une valeur de prédiction de 0,79920 (Figure 35). On remarque clairement que les populations de Sidi hajress, de Bouti sayeh et d'Ouanougha sont les plus représentatives et elles possèdent une activité très importante par rapport aux autres populations étudiées.

Les doses (1/1, 1/2 et 1/4) de l'huile essentielle de *T. hirsuta* et l'antibiotique standard (Gentamicine) sont inférieurs à la valeur de prédiction (0,79920).

Alors qu’avec les huit souches bactériennes étudiées, le profil de prédiction a montré que les bactéries *Escherichia coli* et *Bacillus cereus* ont des valeurs supérieures à 0,79920.

Les prédictions de réponses montrent bien la zone d’inhibition maximale avec l’antibiotique que celle l’huile essentielle de *T. hirsuta*. L’antibiotique standard (Gentamicine) atteint une valeur maximale des zones d’inhibition de l’ordre de 1 en assurant comme conditions opératoires une valeur de 33,10 mm.

On peut conclure que l’huile essentielle de *T. hirsuta* est plus désirable (Souhaitable).



**1.4. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de *Thymelaea microphylla***

L'objectif de notre étude est d'optimiser l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *T. microphylla* par rapport aux stations, aux doses, aux bactéries et à l'antibiotique afin qu'il atteigne la valeur maximale accessible de 0,56360 (Figure 36).

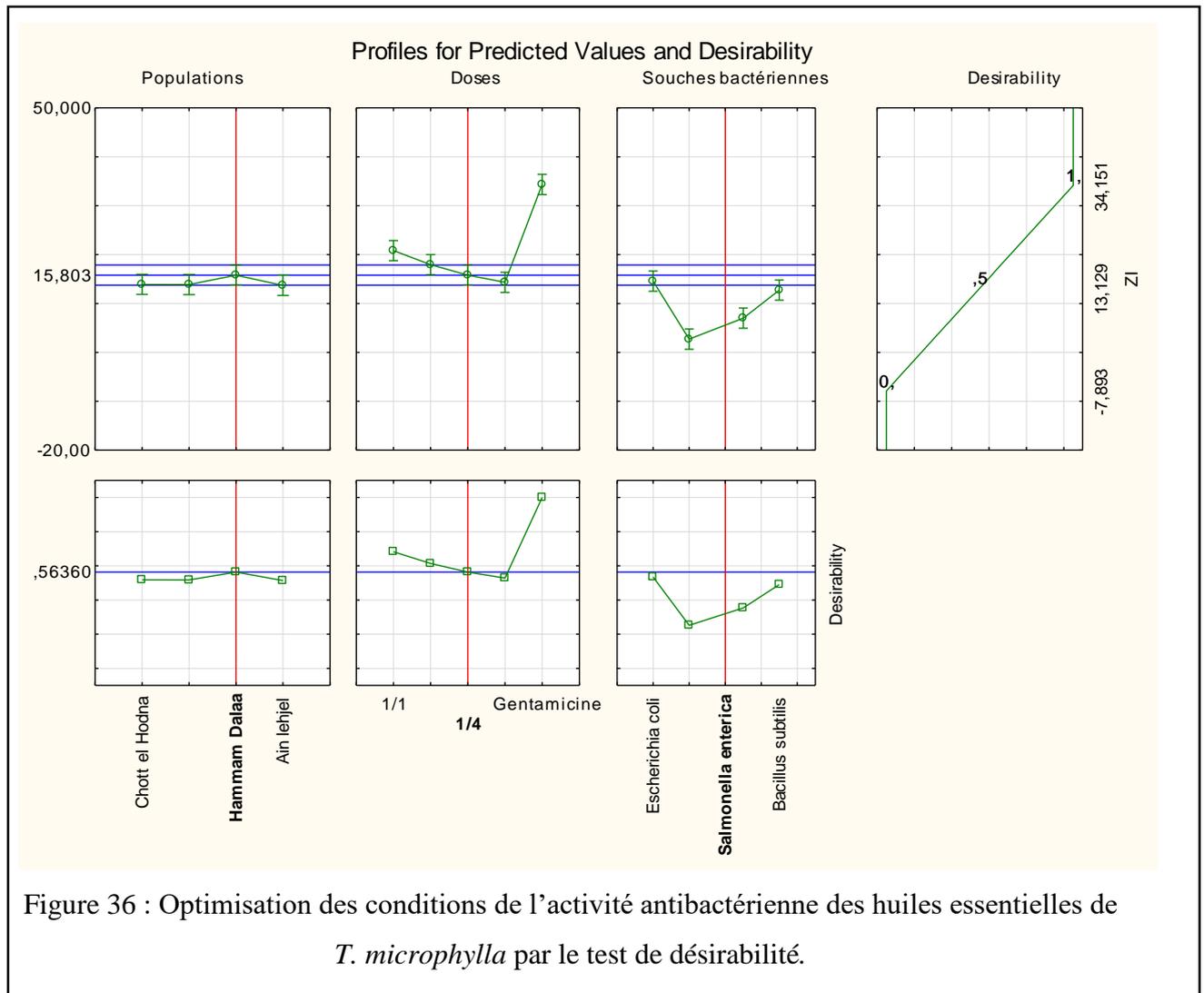
Avec la prédiction profilée, on voit clairement que les huiles essentielles des populations de Hammam Dalaa sont les plus représentatives, elles sont égales à la valeur de prédiction (0,56360), par contre les autres populations sont inférieures.

Les doses (1/1, 1/2 et 1/4) de l'huile utilisée et la gentamicine ont une bonne activité contre les bactéries testées avec des valeurs supérieures à 0,56360 sauf à la dose (1/8) les valeurs sont inférieures à la valeur de prédiction.

L'optimisation de la formulation contre les huit souches bactériennes étudiées à la fois a permis de montrer que toutes les souches bactériennes testées ont des valeurs inférieures à 0,56320.

Les prédictions de réponses montrent bien la zone d'inhibition maximale avec l'antibiotique que celle l'huile essentielle de *T. microphylla*, elle atteint une valeur maximale des zones d'inhibition de l'ordre de 1 en assurant comme conditions opératoires une valeur de 34,15 mm.

Le test de désirabilité montre que l'huile essentielle de *T. microphylla* est désirable (Souhaitable).



Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Felhi et *al.* (2017) qui ont signalés une forte sensibilité de quelques souches *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* (27 mm) à l'huile essentielle des populations tunisienne de *T. hirsuta*.

Les résultats de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *T. microphylla* sont similaires à ceux trouvés dans la littérature. L'étude menée par Noman et *al.* (2015 a et b) ont rapportés que l'huile essentielle de *T. microphylla* possèdent une bonne activité antibactérienne contre les souches *Escherichia coli* ( $27,33 \pm 0,57$  mm), *Staphylococcus aureus* ( $27,33 \pm 3,78$  mm), *Staphylococcus blanc* ( $30,5 \pm 1,15$  mm), *Klebsiella pneumoniae* ( $27 \pm 1$  mm) et *Pseudomonas aeruginosa* avec un diamètre d'inhibition de 16 mm.

L'absence de l'activité antibactérienne pourrait s'expliquer par la résistance développée de quelques souches qui réagissent différemment à diverses huiles essentielles : c'est le cas de *Pseudomonas aeruginosa*. Cette bactérie possède une résistance intrinsèque aux agents biocides, en relation avec la nature de sa membrane externe ; ce dernier est composé de lipopolysaccharides qui forment une barrière imperméable aux composés hydrophobes. En présence d'agents perméabilisant de la membrane externe, des substances inactives contre *Pseudomonas aeruginosa* deviennent actives (Mann et al., 2000). Il semble que cette souche se révèle résistante à un très grand nombre d'huiles essentielles (Hammer et al., 1999).

La plus grande résistance des souches à Gram positive de *Staphylococcus aureus* vers les extraits peut être expliquée par la structure de paroi hétérogène de la bactérie. Les bactéries Gram négatives possèdent une résistance intrinsèque aux agents biocides, qui est en relation avec la nature de leur paroi bactérienne. Chez les bactéries à Gram (+), le peptidoglycane est très épais et associé à des protéines pariétales exposées et à des structures polyosidiques (Acides lipoteichoïques et acides teichoïques).

En revanche chez les bactéries à Gram (-), le peptidoglycane est très fin et associé à une enveloppe externe complexe définissant un espace périplasmique. Cette membrane externe est une bicouche lipidique asymétrique hydrophobe constituée de phospholipides, de protéines (Porines) et de lipopolysaccharides (LPS). L'espace périplasmique est rempli d'enzymes qui dégradent les substances complexes pour qu'elles puissent traverser la membrane cytoplasmique, et inactivent les produits chimiques toxiques (Antibiotiques). La résistance des bactéries à Gram négative aux glycopeptides et aux macrolides est due à l'incapacité de ces molécules à franchir la membrane externe (Zaika, 1988 ; Sharif et al., 2009 ; Boukhatem et al., 2014 ; Russo et al., 2015).

## **2. Activité antifongique**

### **2.1. Activité antifongique des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

La méthode de diffusion des disques nous a permis de déterminer le pouvoir antifongique des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* vis-à-vis *Candida albicans* et *Aspergillus niger*. Le tableau (27) rassemble les résultats des diamètres d'inhibition de la croissance mycélienne.

L'activité antifongique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* a été également testée sur *A. niger* et *C. albicans*. Cette huile a présenté une forte activité contre *C. albicans* avec un diamètre d'inhibition de  $44 \pm 2$  mm (Ain lehjel) contrairement à *A. niger* qui s'est montré moins sensible avec un diamètre de  $25,66 \pm 1,52$  mm (Ouled mansour).

Tableau 27 : Diamètres d'inhibition (mm) de l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla*.

Souches fongiques	Dilutions	Huile essentielle de <i>T. hirsuta</i>						Huile essentielle de <i>T. microphylla</i>				
		Bouti sayeh	Mergueb	Ain lehjel	Ouanougha	Ouled Mansour	Benzoh	Sidi hajress	Chott el Hodna	Mergueb	Hamam Dalaa	Ain lehjel
<i>Candida albicans</i>	1	37 ± 1	39,33±1,5	44±2	42,6± 1,5	38 ± 1	38 ± 1	21,66 ±1,1	52 ± 2	42,33 ± 2	37,33 ± 1,52	54,33 ± 1,52
	1/2	23,33 ± 1,52	29,33±0,5	36,6±1,5	32 ± 2	24 ± 1	22,6±1,52	15,33 ±1,5	38,3±1,52	35 ± 2	26,33 ± 1,52	34,33 ± 1,52
	1/4	15,33 ± 1,15	20,33±1,5	21 ± 2	23,6 ± 1,5	15,3 ±0,57	15,6±1,5	10,6 ±1,1	20,6 ± 1,5	19 ± 1	17,33 ± 0,57	25,33 ± 1,52
	1/8	10,33 ± 0,57	12,33±1,5	13,6±2,0	15 ± 1	10,6 ±0,57	12 ± 1	6 ± 5,19	11,6 ± 0,5	13,66 ±0,5	13 ± 0	16 ± 1
	<b>Témoin = 70,66 ± 3,05</b>											
<i>Aspergillus niger</i>	1	23,33 ± 0,57	16,6±1,52	18,6±1,1	24 ± 2	25,6± 1,5	17,3±0,57	15 ± 1,73	21 ± 2,64	20,33 ±1,1	25,33 ± 1,54	25,33 ± 1,15
	1/2	18 ± 1	13,3±0,57	13,3±0,5	17,3 ± 0,5	17 ± 1	13,6 ± 0,5	11,6± 0,5	16,5 ± 0,5	14,66 ±0,5	18 ± 1	16,66 ± 0,57
	1/4	14,33±0,5	11 ± 1	10,3±0,5	13,3 ± 0,5	12 ± 1	10,3±0,5	9,33 ± 0,5	11,3±0,5	11,33 ± 0,5	11,33 ±0,5	11,33 ± 0,57
	1/8	11,33 ± 0,5	8,66 ± 0,5	5,66±4,9	10 ± 0	6 ± 5,19	8,66 ± 0,5	7,66 ± 0,5	0	9,66 ±0,5	9,33 ±0,5	9 ± 0
	<b>Témoin = 39 ± 1</b>											

Avec les différentes concentrations d'huile essentielle extraite, on remarque que les diamètres des zones d'inhibition les plus élevées ont été enregistrées à la concentration (1/2) avec des diamètres de  $36,66 \pm 1,52$  mm (*C. albicans*) et  $18 \pm 1$  mm (*A. niger*).

Des valeurs des diamètres d'inhibition modérés sont enregistrées avec *C. albicans* aux concentrations (1/4) et (1/8), ces valeurs varient de  $10,66 \pm 0,57$  mm à  $23,66 \pm 1,52$  mm. Alors que, des valeurs faibles ont été enregistrées avec *A. niger* aux concentrations (1/8).

En revanche, en absence d'huile essentielle (Témoin), le plus grand diamètre de croissance mycélienne a été enregistré avec *C. albicans* ( $70,66 \pm 3,05$  mm), alors qu'avec *A. niger* nous avons obtenu des diamètres de  $39 \pm 1$  mm. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par l'huile essentielle de *T. hirsuta*.

Ainsi, les résultats relatifs à la mesure des diamètres d'inhibition de la croissance mycélienne prouvent que les huiles essentielles de *T. microphylla* sont dotées d'un grand pouvoir antifongique.

*Candida albicans* est extrêmement sensible aux huiles essentielles de *T. microphylla* et présente des diamètres élevés avec l’huile pure de  $54,33 \pm 1,52$  mm des populations d’Ain lehjel. Alors que, avec *Aspergillus niger* nous avons enregistré des valeurs des diamètres d’inhibition de  $25,33 \pm 1,54$  mm et  $25,33 \pm 1,15$  mm pour les populations de Hammam Dalaa et Ain lehjel respectivement.

Aux dilutions (1/2), (1/4) et (1/8), nous avons enregistré des diamètres qui varient de 9 mm à 38 mm.

En absence de l’huile essentielle de *T. microphylla*, les deux souches fongiques testées ont donnés des diamètres d’inhibition de  $70,66 \pm 3,05$  mm (*Candida albicans*) et de  $39 \pm 1$  mm (*Aspergillus niger*).

**2.2. Analyse des variances (ANOVA) de l’huile essentielle de *T. hirsuta***

Les analyses statistiques effectuées par ANOVA ont montrés aussi que les populations, les doses et les souches fongiques, ainsi que leurs interactions, étaient très significatives ( $P < 0,001$ ) (Tableau 28).

Tableau 28 : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de *T. hirsuta* dans l’activité antifongique.

Sources	df	F	P
<b>Principaux effets</b>			
Popualtions	6	59,76	0,000000***
Doses	4	4137,87	0,000000***
Souches fongiques	1	3137,36	0,000000***
<b>Interactions</b>			
Populations * Doses	24	8,83	0,000000***
Populations * souches fongiques	6	37,78	0,000000***
Doses * souches fongiques	4	420,51	0,000000***
Populations * Doses * souches fongiques	24	4,79	0,000000***

Remarque : \*\*\* Très significatif ( $P < 0,001$ )

Le test de sensibilité des souches fongiques en absence de l’huile essentielle de *T. hirsuta* a révélé une inhibition de croissance supérieure (54,83 mm) à celle des dilutions des huiles essentielles de *T. hirsuta*.

L'huile pure de *T. hirsuta* a montré un effet plus puissant avec un diamètre de 28,66 mm par rapport aux autres dilutions qui représentent des diamètres de 20,54 mm, de 14,47 mm et de 9,85 mm respectivement (Tableau 29).

Tableau 29 : Effet des dilutions d'huile essentielle de *T. hirsuta* sur la zone d'inhibition des souches fongiques testées.

Rang	Doses	Significatif	n
1	Témoin	54,83	42
2	1/1	28,66	42
3	1/2	20,54	42
4	1/4	14,47	42
5	1/8	9,85	42

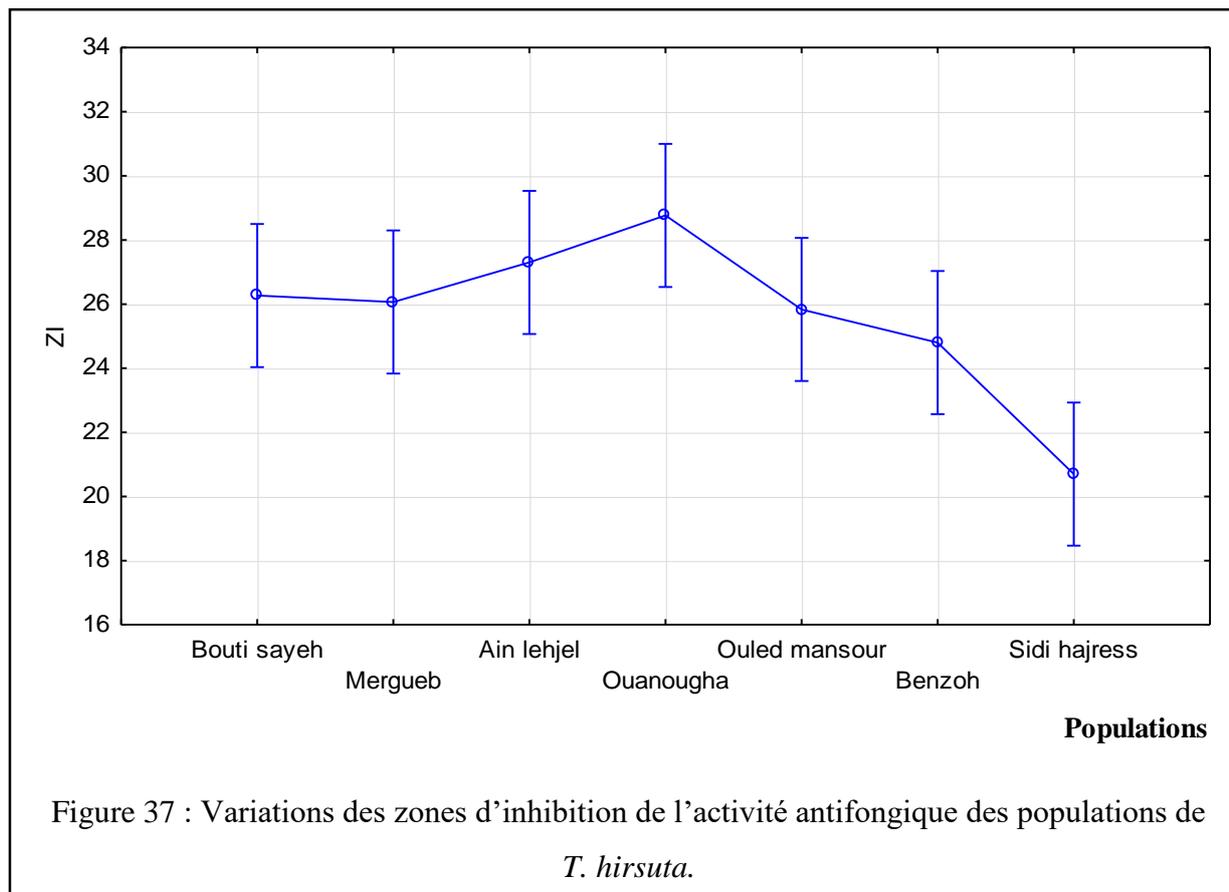
Current effect : F (4,198) = 344, 86, p=0, 0000

L'analyse statistique de l'efficacité des huiles essentielles de *T. hirsuta*, contre les souches fongiques testées, par rapport aux populations, a montré que les huiles les plus efficaces de cette plante sont celles collectées auprès d'Ouanougha (28,76 mm) suivie par les populations d'Ain lehjel (27,30 mm), les populations de Bouti sayeh (26,26 mm) et la population de Mergueb (26,06 mm). Le reste des populations a donné des diamètres d'inhibition de 25,83 mm pour les populations d'Ouled mansour, de 24,80 mm (Benzoh) et de 20,70 mm pour la station de Sidi hajress (Tableau 30, figure 37).

Tableau 30 : Efficacité des huiles essentielles de *T. hirsuta* provenant de plusieurs populations d'échantillonnage contre deux souches fongiques.

Rang	Localities des populations	Significatif	n
1	Ouanougha	28,76	30
2	Ain lehjel	27,30	30
3	Bouti sayeh	26,26	30
4	Mergueb	26,06	30
5	Ouled Mansour	25,83	30
6	Benzoh	24,80	30
7	Sidi hajress	20,70	30

Current effect : F (6,198) =4, 9802, p = 0, 00009



L'activité antifongique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* a présenté aussi une activité significative contre les deux souches fongiques testées avec des diamètres d'inhibition différentes. La valeur la plus élevée a été enregistrée contre *Candida albicans* avec un diamètre d'inhibition de 32,59 mm, contrairement à *Aspergillus niger* où nous avons signalé un diamètre d'inhibition de 18,76 mm (Tableau 31).

Tableau 31 : Groupes de sensibilité des souches fongiques testées aux huiles essentielles de *T. hirsuta*.

Rang	Souches fongiques	significatif	n	S*
1	<i>Candida albicans</i>	32,59	105	++
2	<i>Aspergillus niger</i>	18,76	105	++

Curent effect : F (1,198) = 261,48, p=0,0000\* S. = Sensibilité (++)

**2.3. Analyse des variances (ANOVA) de l'huile essentielle de *T. microphylla***

Les résultats de l'analyse des variances (ANOVA) de l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. microphylla* des divers facteurs les populations, les doses et les souches fongiques étaient très significatives ( $P < 0,001$ ) (Tableau 32).

Tableau 32 : Principaux effets et interactions des huiles essentielles de *T. microphylla* dans l'activité antifongique.

Sources	df	F	P
<b>Principaux effets</b>			
Populations	3	29,34	0,000000***
Doses	4	3362,83	0,000000***
Souches fongiques	1	4224,00	0,000000***
<b>Interactions</b>			
Populations * Doses	12	16,10	0,000000***
Populations * souches fongiques	3	51,26	0,000000***
Doses * souches fongiques	4	289,18	0,000000***
Populations * Doses * souches fongiques	12	10,27	0,000000***

Remarque : \*\*\* Très significatif ( $P < 0.001$ )

L'analyse statistique de l'effet des doses et le témoin sur la zone d'inhibition des souches fongiques testées sont regroupés dans le tableau (33). Les résultats de cette analyse ont montrés que le témoin a donné un diamètre d'inhibition élevé de 54,83 mm par rapport à celle des dilutions des huiles essentielles de *T. microphylla*. L'huile pure de *T. microphylla* a révélé un effet plus puissant avec un diamètre de 34,75 mm par rapport aux autres dilutions qui représentent des diamètres de 25 mm (1/2), de 15,95 mm (1/4) et de 10,29 mm (1/8) respectivement.

Tableau 33 : Effet des dilutions de l'huile essentielle de *T. microphylla* sur la zone d'inhibition des souches fongiques testées.

Rang	Doses	Significatif	n
1	Témoin	54,83	24
2	1/1	34,75	24
3	1/2	25	24
4	1/4	15,95	24
5	1/8	10,29	24

Current effect : F (4,111) = 218, 68, p=0, 0000

Un autre facteur a été effectué dans l'analyse statistique de l'efficacité des huiles essentielles de *T. microphylla* par rapport aux populations. Cette analyse a démontré que les huiles les plus efficaces de cette plante sont celles collectées auprès d'Ain lehjel avec des diamètres de 30,20 mm. Suite par les populations de Chott el Hodna avec des diamètres d'inhibition de 28,13 mm, Mergueb avec des diamètres d'inhibition de 27,56 mm et Hammam Dalaa avec des diamètres d'inhibition de 26,76 mm (Tableau 34, figure 38).

Tableau 34 : Efficacité des huiles essentielles de *T. microphylla* provenant de quatre populations contre deux souches fongiques.

<b>Rang</b>	<b>Localities des populations</b>	<b>Significatif</b>	<b>n</b>
1	Ain lehjel	30,20	30
2	Chott el Hodna	28,13	30
3	Mergueb	27,56	30
4	Hammam Dalaa	26,76	30

Current effect : F (3,111) = 1,9082, p=0,13239

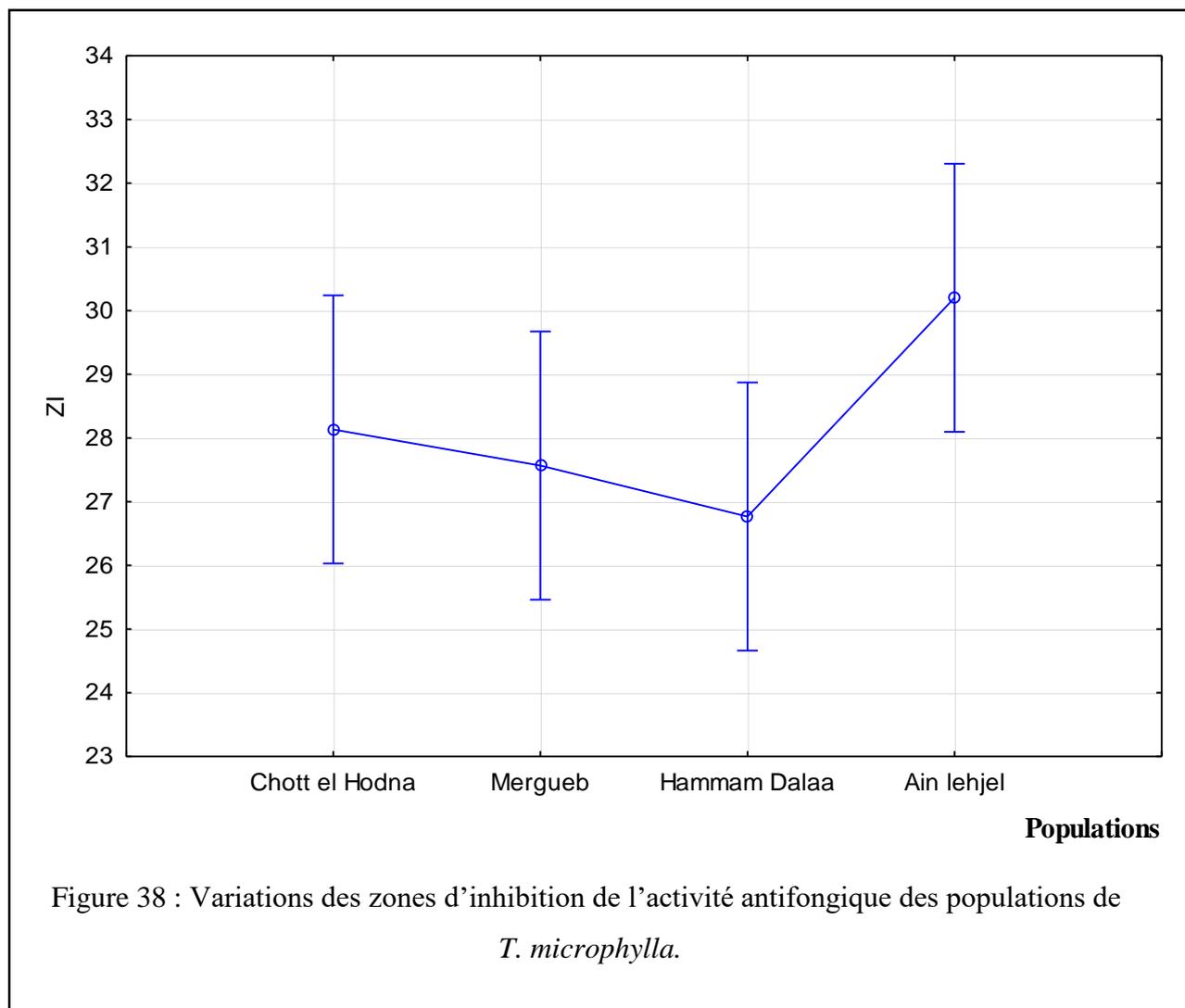


Figure 38 : Variations des zones d'inhibition de l'activité antifongique des populations de *T. microphylla*.

De même, l'activité antifongique de l'huile essentielle de *T. microphylla* a donné des résultats significatifs contre les deux souches fongiques testées avec des diamètres d'inhibition différents. La valeur la plus élevée a été enregistrée contre *Candida albicans* avec un diamètre d'inhibition de 36,96 mm contrairement à *Aspergillus niger* où nous avons obtenu un diamètre d'inhibition de 19,36 mm (Tableau 35).

Tableau 35 : Groupes de sensibilité des souches fongiques testées aux huiles essentielles de *T. microphylla*.

Rang	Souches fongiques	Significatif	n	S*
1	<i>Candida albicans</i>	36,96	60	++
2	<i>Aspergillus niger</i>	19,36	60	++

Current effect : F (1,111) = 274,68, p =0,0000. \* S. = Sensibilité (++) .Très significatif (P < 0,01)

2.4. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta*

Le test de désirabilité de l'huile essentielle de *T. hirsuta* effectué par rapport aux facteurs considérés a montré une activité antifongique importante avec une valeur de 0,29729 (Figure 39) et que ce test a révélé clairement que toutes les stations étudiées ont une valeur inférieure à 0,29729. Par opposition, la meilleure activité antifongique a été bien observée avec le témoin et les doses (1/1, 1/2 et 1/4) de l'huile essentielle de *T. hirsuta*. Cependant, les valeurs de prédiction des souches fongiques ont une bonne activité avec une valeur supérieure à 0,29729. Les prédictions de réponses montrent que les diamètres de la zone d'inhibition maximale sont bien représentés avec le témoin que celle l'huile essentielle de *T. hirsuta*, elles atteignent une valeur, en assurant comme conditions opératoires, de 62,73 mm.

On peut dire que l'huile essentielle de *T. hirsuta* est plus désirable pour les facteurs considérés (Les doses et les souches fongiques).

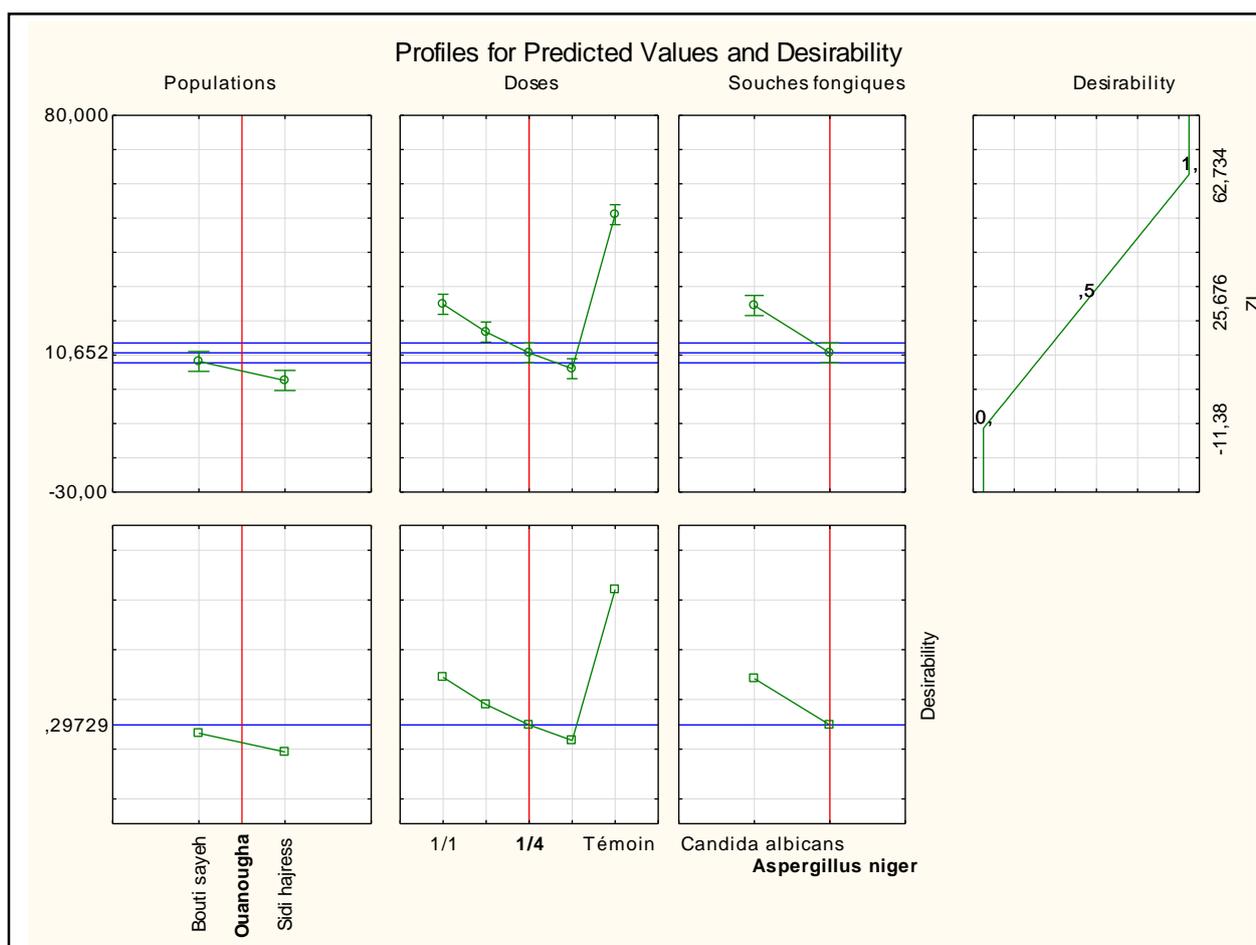


Figure 39 : Optimisation des conditions de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* par le test de désirabilité.

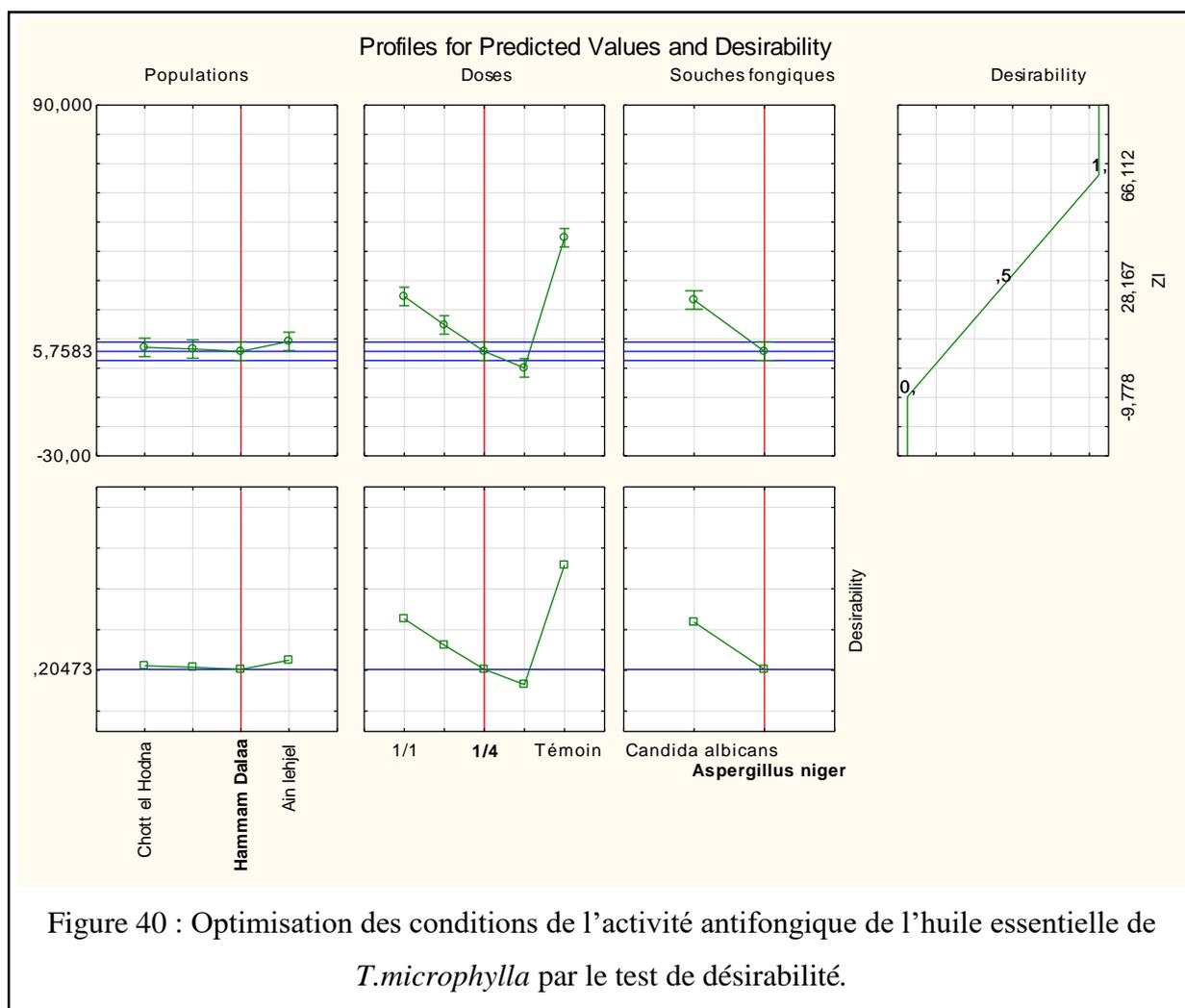
**2.5. Etude de la désirabilité de l'huile essentielle de *Thymelaea microphylla***

Le profil de désirabilité de l'huile essentielle de *T. microphylla* contre les bactéries testées avait une valeur de prédiction de 0,20473 (Figure 40).

Les valeurs de prédiction des populations de l'huile essentielle de *T. microphylla* sont les mêmes et égales à 0,20473 sauf à la population d'Ain lehjel, on note une valeur supérieure à la valeur de prédiction. Par rapport aux doses étudiées, le (1/1), le (1/2) et le témoin ont des valeurs supérieures à celles de la valeur de prédiction à l'exception aux doses (1/4) qui sont égales à 0,20473 et les doses (1/8) sont inférieures à la valeur de prédiction.

Les valeurs de prédiction des souches fongiques testées ont indiqués une forte activité supérieure à 0,20473 pour *Candida albicans* et une valeur égale à la valeur de prédiction (*Aspergillus niger*).

L'atteinte de la valeur maximale de l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. microphylla* est possible avec une désirabilité de l'ordre de 1 avec un diamètre de zone d'inhibition de 66,11 mm en assurant comme conditions opératoires les doses et les souches fongiques.



Les recherches bibliographiques sur les études de l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sont assez rares et presque nulle. Dans une autre étude réalisée par Felhi et al. (2017) sur l'évaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles de *T. hirsuta* de la Tunisie, les résultats ont révélés une activité inhibitrice modérée contre *Candida albicans* ( $13,2 \pm 0,4$  mm), *Botrytis cinerea* ( $11,8 \pm 0,2$  mm) et *Aspergillus niger* ( $10,6 \pm 0,4$  mm).

Pour conclure, les résultats des activités antibactériennes et antifongiques des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* peuvent être influencés par certains facteurs principaux :

- La concentration en huiles essentielles influence directement sur l'activité inhibitrice, lorsque la concentration en huile augmente, les diamètres des inhibitions sont importants, des remarques similaires ont été faites par Emiroğlu et al. (2010).
- La présence des terpènes oxygénés en particulier des monoterpènes oxygénés dans la composition des huiles essentielles pourrait être responsable de l'activité prononcée des huiles (Akrouf et al., 2010 ; Taran et al., 2010 ; Ben Marzoug et al., 2011 ; Bencheqroun et al., 2012). Les terpènes ont également montrés des propriétés antimicrobiennes qui semblent avoir de forte à modérée activité antibactérienne contre les bactéries Gram positives et contre les champignons pathogènes, mais en général, une faible activité a été observée contre les bactéries Gram négatif (Hada et al., 2003).
- Sirot et al. (1983) ; Saurat et Thomas (2009) signalent que les acides gras libres ont une activité antimicrobienne sur *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et sur *Pseudomonas aeruginosa*.

Malgré la présence des acides gras dans la composition chimique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* avec un pourcentage de  $23,13 \pm 9,67$  %, l'activité antibactérienne de l'huile reste moyenne sur les souches bactériennes testées. Cela peut être expliqué par les interactions synergiques entre les différents composés qui peuvent être à l'origine d'une activité beaucoup plus prononcée que celle prévisible pour les composés majoritaires.

De nombreux travaux ont démontrés la corrélation entre l'activité antibactérienne et le profil chimique d'une huile essentielle. Ces travaux classent l'activité exercée par les composés majoritaires des huiles essentielles dans l'ordre suivant : phénols > alcools > aldéhydes > cétones > éthers > hydrocarbures (Charai et al., 1996).

Les aldéhydes sont connus pour avoir des activités antimicrobiennes puissantes et les alcools aliphatiques ont été signalés à posséder une activité forte à modérée contre plusieurs bactéries (Kabelitz et al., 2003).

De même, l'activité antibactérienne semble résulter d'une combinaison de la diversité des molécules présentes dans les huiles essentielles et de plusieurs modes d'action (Dorman et Deans, 2000 ; Kalemba et Kunicka, 2003 ; Calsamiglia et al. 2007 ; Goetz et Ghedira., 2012).

En outre, la méthode utilisée pour étudier l'effet antibactérien d'une huile essentielle peut être considéré comme un facteur influant sur les d'inhibitions (Fazeli *et al.*, 2007).

Le pouvoir antifongique des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* pourrait être attribué à la présence des composants antifongiques classés dans la liste des constituants à activité antifongique de Duke (2009) tels que le caryophyllène et le pinène à différentes proportions.

Chu et Kemper (2001) signalent que le pouvoir antifongique de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas* est lié aux  $\beta$ -pinène, *p*-cimène, 1,8 cinéole et  $\alpha$ -pinène. Ce dernier composant se trouve dans l'huile essentielle de *T. microphylla* de la présente étude à une proportion de 0,55 %.

D'après Deba *et al.* (2008) ; Giordani *et al.* (2008) ; Regnier *et al.* (2008), les composés majoritaires ou mineurs peuvent augmenter l'activité antifongique. L'effet synergique ou antagoniste de ces composants joue un rôle important dans l'inhibition des champignons.

L'action antifongique des huiles essentielles vis-à-vis *C. albicans* est due à une augmentation de la perméabilité de la membrane plasmique suivie d'une rupture de celle-ci entraînant une fuite du contenu cytoplasmique et donc la mort de la levure (Cox *et al.*, 2000).

### **3. Evaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla***

L'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* est faite comparativement à la BHT. Les pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des échantillons et de BHT sont regroupés dans le tableau (36).

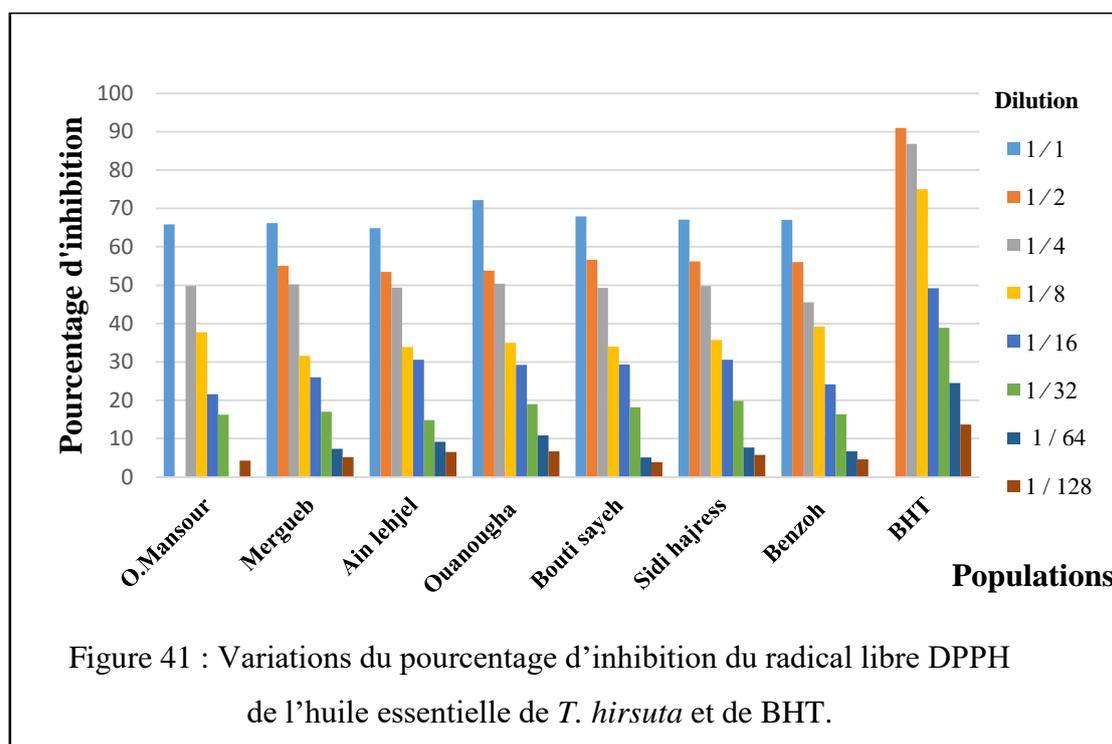
Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *T. hirsuta* témoigne un pouvoir antioxydant très intéressant, ce dernier évolue avec l'augmentation des concentrations.

La valeur du pourcentage d'inhibition maximal par l'huile essentielle de *T. hirsuta* et la BHT a été enregistrée aux dilutions (1/1), elle est de  $72,2 \pm 5,99$  % (Ouanougha) et  $92,31 \pm 0,45$  % (BHT) respectivement (Figure 41).

Tableau 36 : Résultats de l'activité antioxydante des huiles essentielles de *T. hirsuta*, *T. microphylla* et celle de BHT.

Populations	Dilutions (mg/ml)	1/1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128
			<b>BHT</b>						
		92,31 ± 0,45	90,96 ± 0,24	86,87 ± 0,2	75,04 ± 2,21	49,25 ± 1,83	38,93 ± 1,25	24,53 ± 0,69	13,71 ± 1,08
		<b>Huile essentielle de <i>T. hirsuta</i></b>							
Ouled mansour	Pourcentage d'inhibition (IP %)	65,84 ± 0,44	55,25 ± 0,41	49,81 ± 0,41	37,75 ± 2,61	21,59 ± 0,84	16,28 ± 3,14	6,72 ± 0,19	4,31 ± 0,34
Mergueb		66,2 ± 0,34	55,06 ± 0,3	50,24 ± 0,29	31,55 ± 0,43	26,04 ± 0,91	17,01 ± 5,1	7,41 ± 0,55	5,24 ± 0,19
Ain lehjel		64,85 ± 0,39	53,44 ± 0,3	49,39 ± 0,2	33,89 ± 2,58	30,59 ± 0,39	14,83 ± 0,61	9,19 ± 0,64	6,56 ± 0,3
Ouanougha		72,2 ± 5,99	53,84 ± 0,3	50,41 ± 0,15	35,04 ± 4,87	29,24 ± 0,39	19,05 ± 0,31	10,84 ± 0,44	6,69 ± 0,34
Bouti sayeh		67,95 ± 0,55	56,61 ± 0,15	49,35 ± 0,69	33,99 ± 0,46	29,31 ± 0,39	18,23 ± 0,48	5,11 ± 0,54	3,85 ± 0,26
Sidi hajress		67,12 ± 0,41	56,21 ± 0,24	49,78 ± 0,2	35,74 ± 0,79	30,59 ± 0,34	19,84 ± 0,44	7,68 ± 1,04	5,83 ± 0,29
Benzoh		66,99 ± 0,44	56,08 ± 0,29	45,53 ± 0,2	39,26 ± 0,29	24,16 ± 0,57	16,38 ± 0,72	6,69 ± 0,41	4,64 ± 0,35
			<b>Huile essentielle de <i>T. microphylla</i></b>						
Hamam Dalaa		67,91 ± 3,14	58,52 ± 0,63	49,39 ± 0,15	40,52 ± 1,2	30,03 ± 0,7	18,72 ± 0,31	8,86 ± 0,54	5,01 ± 0,24
Mergueb		67,85 ± 0,39	55,78 ± 0,29	49,39 ± 0,37	38,41 ± 0,54	28,51 ± 0,67	17,4 ± 0,69	6,92 ± 0,74	5,2 ± 0,3
Ain lehjel		67,49 ± 0,34	56,41 ± 0,2	48,66 ± 0,39	33,79 ± 0,24	29,54 ± 0,41	18,1 ± 0,35	4,25 ± 0,26	3,29 ± 0,41
Chott el Hodna		65,18 ± 0,35	59,54 ± 0,29	45,66 ± 0,24	39 ± 0,41	30,82 ± 0,3	19,25 ± 0,46	8,67 ± 0,39	6,23 ± 0,45

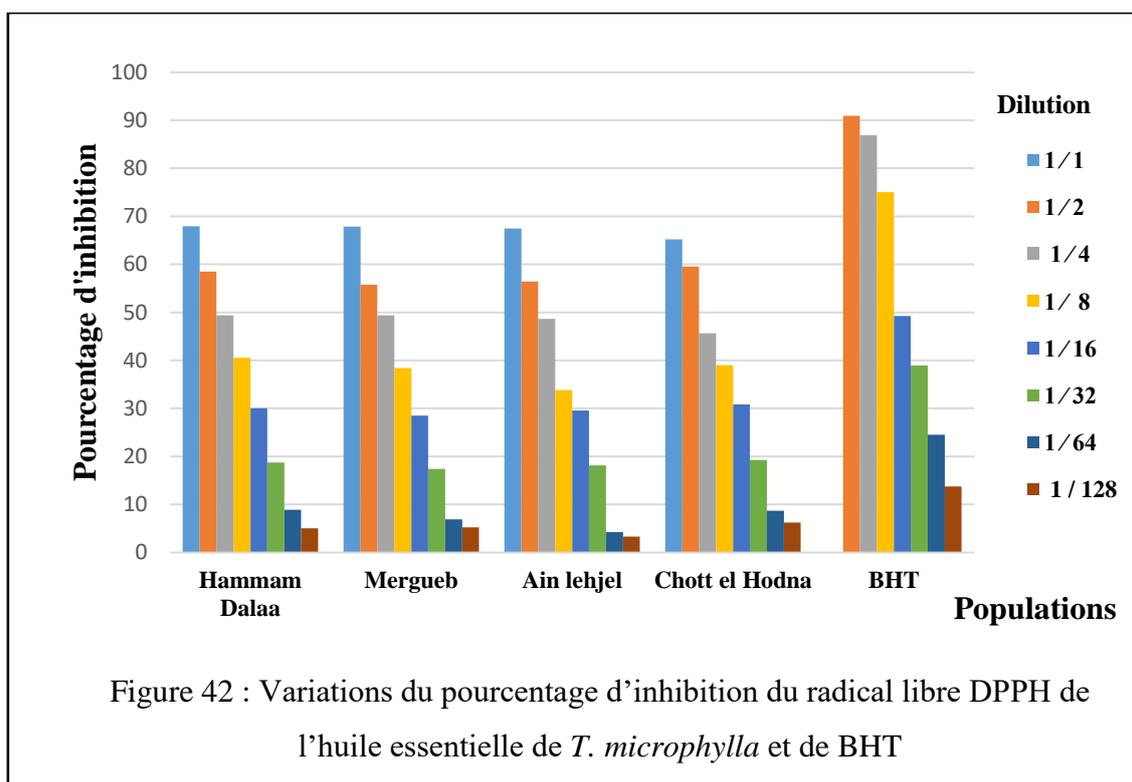
Alors que la valeur la plus faible a été enregistrée aux dilutions 1/128 pour l'huile essentielle de cette plante chez les populations de Bouti sayeh et Benzoh ,ainsi la BHT avec un pourcentage d'inhibition de 3,85 ± 0,26 %, de 4,64 ± 0,35 % et de 13,71 ± 1,08 % respectivement. Les autres dilutions ont un pourcentage d'inhibition moyen et similaire pour toutes les populations.



En plus, le tableau (36) montre aussi que l'huile essentielle de *T. microphylla* possède une bonne activité antioxydante et les résultats de cette analyse sont similaires pour toutes les populations étudiées. Cette activité est puissante pour l'antioxydant standard BHT avec un taux de  $92,31 \pm 0,45$  % (Aux dilutions 1/1) et supérieure à celle obtenue par l'huile essentielle de *T. microphylla*.

Avec l'huile essentielle de *T. microphylla*, le pourcentage d'inhibition le plus élevé a été consigné aux dilutions (1/1) chez les populations de Hammam Dalaa, Mergueb et Ain lehjel avec des taux de l'ordre de  $67,91 \pm 3,14$  %,  $67,85 \pm 0,39$  % et  $67,49 \pm 0,34$  % respectivement.

Par contre, la valeur la plus faible a été indiquée chez la population d'Ain lehjel avec un taux de  $3,29 \pm 0,41$  % aux dilutions (1/128) (Figure 42).



L'activité anti-radicalaire des huiles essentielles de *T. hirsuta* et de *T. microphylla* est exprimée en IC<sub>50</sub> déterminée graphiquement, les résultats d'IC<sub>50</sub> sont récapitulés dans le tableau (37) et illustrés dans les figures 1 et 2 (Annexe 2).

Tableau 37 : Valeurs des IC<sub>50</sub> des huiles essentielles de *T. hirsuta* de *T. microphylla* et celle BHT.

IC <sub>50</sub> (mg/ml)		
Populations	Huile essentielle de <i>T. hirsuta</i>	BHT
Ouled mansour	6,33 ± 0,02	
Mergueb	6,32 ± 0,08	
Ain lehjel	6,43 ± 0,01	
Ouanougha	5,84 ± 0,45	
Bouti sayeh	6,11 ± 0,07	
Sidi hajress	6,08 ± 0,01	
Benzoh	6,25 ± 0,05	<b>3,05 ± 0,04</b>
Populations	Huile essentielle de <i>T. microphylla</i>	
Hammam Dalaa	5,12 ± 1,26	
Mergueb	4,55 ± 0,02	
Ain lehjel	4,62 ± 0,02	
Chott el Hodna	4,6 ± 0,02	

L'examen du tableau ci-dessus a montré que l'antioxydant standard BHT a une activité antioxydante puissante avec une IC<sub>50</sub> de 3,05 ± 0,04 mg/ml. Plus cette valeur est faible plus l'activité antioxydante est puissante.

L'IC<sub>50</sub> de l'huile essentielle des populations de *T. hirsuta* la plus élevée a été enregistrée dans les stations d'Ain lehjel (6,43 ± 0,01 mg/ml) dont la valeur la plus basse a été observée dans la station d'Ouanougha (5,84 ± 0,45 mg/ml). Les autres valeurs sont très voisines pour le reste des stations.

Pour l'huile essentielle de *T. microphylla*, la valeur d'IC<sub>50</sub> maximale a été trouvée dans les populations de Hammam Dalaa (5,12 ± 1,26 mg/ml) par rapport aux autres stations qu'elle est comprise entre 4,55 ± 0,02 mg/ml et 4,62 ± 0,02 mg/ml. Alors qu'avec le BHT, l'IC<sub>50</sub> calculé est égale à 3,05 ± 0,04 mg/ml.

Les résultats obtenus dans notre étude sur l'huile essentielle de *T. hirsuta* sont similaires à ceux obtenus par Kadri et al. (2011), avec des pourcentages d'inhibition de 56,40 ± 2,80 %, de 60,02 ± 0,4 % et de 66,66 ± 3,59 % aux concentrations 100, 200 et 300 µg/ml, respectivement.

À nos connaissances, aucune étude n'a été réalisée sur l'activité antioxydante des huiles essentielles de *T. microphylla*, mais diverses études ont été effectuées sur les extraits de cette plante par certains auteurs.

On peut déduire que l'activité antioxydante des huiles essentielles des deux plantes étudiées serait probablement liée aux composants majoritaires et les possibles effets synergiques entre les constituants (Tang et al., 2001 ; Bouzouita et al., 2008 ; Oussou, 2009 ; Oussou et al., 2010) et même aussi les composés minoritaires qui peuvent interagir d'une façon synergique ou antagoniste pour créer un système efficace vis-à-vis des radicaux libres (Lu et Yeap Foo, 2001 ; Singh et al., 2006). Les huiles essentielles riches en composés oxygénés présentent une activité anti radicalaire plus marquée que celles à terpènes hydrocarbonés (Benov et al., 1994).

En général, les huiles essentielles riches en composés oxygénés présentent une activité anti- radicalaire plus marquée que celle à terpènes hydrocarbonés (Demirci et al., 2007 ; Miladi et al., 2013 ; Hammoudi et al., 2015).

La présence des monoterpènes dans la composition chimique des huiles essentielles peuvent agir en tant qu'agents anti-radicalaires (Tepe et *al.*, 2005 ; Tepe et *al.*, 2007 ; Alavi et *al.*, 2008 ;Roberto et *al.*, 2010). Aussi, les méthodes d'extraction influent sur l'extraction des composés antioxydants (Yahyaoui et *al.*, 2017).

# **CONCLUSION**

## **CONCLUSION**

L'aire d'étude est la région du Hodna représenté par les deux forêts domaniales de Dréat et d'Ouanougha. Ces deux massifs forestiers sont localisés dans la partie Nord-Ouest de la wilaya de M'sila. Ecologiquement, ils s'intègrent aux étages bioclimatiques semi-aride et humide avec un régime saisonnier de type APHE.

L'étude de la végétation dont l'objectif de faire un inventaire qui reste l'outil de travail indispensable afin de mesurer la biodiversité. La performance des méthodes d'échantillonnage et l'amplitude des relevés floristiques est relative aux conditions d'application et le but tracé. En effet, grâce à l'utilisation de l'échantillonnage subjectif et des relevées floristiques réalisées sur onze stations qui s'intègrent aux forêts de Dréat et Ouanougha, nous avons inventorié 343 espèces appartenant à 222 genres et 55 familles botaniques avec prédominance des *Asteraceae* et des *Fabaceae*. Ces deux familles s'adaptent bien aux zones arides et semi-arides, et elles sont très répandues dans toute la zone steppique.

Cette végétation est marquée par le type : Thé > Hé > Pha > Cha > Géo, avec des taux d'indice de perturbation comprises entre 50,5 % et 67,27 %.

Une nette prédominance de l'élément méditerranéen avec 128 espèces, confirmant ainsi l'affiliation de la zone étudiée à la région méditerranéenne.

L'utilisation des indices de la richesse spécifique, de Shannon-Wiener, de diversité maximale, d'équitabilité, de Simpson et de perturbation offre une mesure appréciative de la diversification et l'équilibre écologique de chaque site échantillonnée dans la zone d'étude.

Les résultats de cette mesure ont révélés des valeurs de l'indice de Shannon-Wiener variant de 2,08 bits à 3,41 bits.

La diversité maximale varie à son tour aussi de 5,78 à 7,76. Ainsi, on a noté des valeurs d'équitabilité égales à 0,92 et 0,97 bits pour tous les sites d'étude des deux forêts.

Les valeurs calculées de l'indice de Simpson oscillent à 1 pour la plupart des sites échantillonnés.

Les différents paramètres de diversité (Richesse, abondance,...) varient suivant les variations de celle-ci dont ils indiquent les changements en distribution et en présence / absence des différentes espèces recensées au cours du temps et dans l'espace.

Après la caractérisation de la flore du point de vue qualitative, l'étude quantitative de la végétation consiste à la caractérisation de la végétation à travers l'étude des gradients qui régissent l'organisation et la distribution des espèces végétales, pour cela une ACP (Analyse des composantes principales) et AFC (Analyse factorielle des correspondances) ont été réalisées à partir des inventaires floristiques de l'ensemble des sites étudiés.

L'analyse d'AFC et l'ACP ont été concluantes par la mise en évidence des gradients écologiques majeurs.

L'action de l'homme représentée par le surpâturage et les facteurs topographiques (Altitude, pente,...) réagit sur la répartition de la végétation dans la zone d'étude.

Dans la seconde partie de cette étude, l'objectif de ce travail est aussi de valoriser cette richesse, particulièrement, de la région du Hodna. Les travaux présentés dans cette thèse contribuent à la valorisation de deux plantes médicinales de la région de M'sila (Algérie), en utilisant des outils chimiques aiguisés pour établir les profils chimiques des mélanges complexes des huiles essentielles étudiées. Après avoir caractérisé les huiles essentielles, nos efforts ont porté, ainsi, sur leur valorisation par le biais de la réalisation des tests biologiques.

Les espèces végétales étudiées dans cette thèse sont d'origines algériennes, appartenant à la famille des Thymelaeaceae *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur. Le choix de ces plantes a été basé sur l'absence et la rareté des études sur leurs huiles essentielles et notamment leurs activités biologiques.

L'extraction des huiles essentielles des parties aériennes *T. hirsuta* et *T. microphylla* par hydro-distillation a fourni des rendements faibles de moyenne de  $0,3 \pm 0,12$  % et  $0,08 \pm 0,04$  %, respectivement.

Les analyses chromatographiques des huiles essentielles de ces plantes par CPG / MS ont montrés que la composition chimique de l'huile essentielle de *T. hirsuta* diffère qualitativement et quantitativement à celle de *T. microphylla*.

L'analyse de l'huile essentielle de *T. hirsuta* a permis d'isoler et d'identifier 45 constituants représentant 98,2 % de l'huile essentielle dont les constituants majoritaires sont nonanal-n (10,39 %), acide hexadecanoïque (9,77 %), acide nonanoïque (9,13 %), triacontane (7,2 %), isopropyl tetradecanoate (6,16 %) et tridecane (4,87 %).

Trente composés ont été identifiés dans l'huile essentielle de *T. microphylla* et qui représentent 99,93 % de sa totalité. Il est caractérisée par la dominance des acides et les aldéhydes avec des moyennes de 20,25 % et 23,13 % respectivement dont l'acide hexadécanoïque (9,77 %) et le n-nonanal (10,4 %) sont les composés majoritaires.

En revanche, l'huile essentielle de *T. microphylla* est caractérisée par la dominance des aldéhydes avec un taux de 57,42 % représentées essentiellement par le tridecanal (31,24 %) et le n-nonanal (11,43 %).

L'analyse statistique UPGMA de *T. hirsuta* a scindé les populations étudiées en deux clades. Le premier clade regroupe deux populations Bouti-sayeh et Benzoh qui sont caractérisées par un taux élevé de l'acide nonanoïque avec une moyenne de 9,13 %. Le deuxième clade à une teneur élevée en acide hexadécanoïque regroupe les cinq populations restantes.

Les résultats de cette analyse a permis d'identifier quatre chémotypes à partir de l'huile essentielle de *T. hirsuta* d'Algérie.

L'évaluation *in vitro* de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles des deux plantes étudiées a été faite par la méthode de diffusion contre huit espèces de bactéries. Toutes les espèces de bactéries testées ont montrés une sensibilité élevée et significative aux huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sauf qu'avec *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* aucune activité antibactérienne n'a été enregistrée avec l'huile essentielle de *T. microphylla*.

Le test de sensibilité aux antibiotiques a montré que le l'activité de l'antibiotique standard (Gentamicine) variait selon les espèces de bactéries. L'antibiotique (Gentamicine) testé a montré une inhibition de croissance plus élevée que les huiles contre les bactéries utilisées. Des quatre concentrations testées, l'huile pure des deux plantes ont présentés un effet puissant par rapport aux huiles diluées.

Les résultats de l'activité antifongique des huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* ont montrés un effet modéré et significatif vis-à-vis les souches fongiques *Candida albicans* et *Aspergillus niger*.

Enfin, les résultats de l'activité antioxydante ont montrés que les pourcentages d'inhibition des huiles essentielles de *T. hirsuta* et *T. microphylla* sont tous inférieurs à ceux obtenus par le BHT, ce qui indique que le BHT est le plus efficace et l'huile essentielle des deux plantes étudiées ont une activité antioxydante modérée.

En perspective, il serait intéressant d'approfondir des études traitant de plusieurs aspects de la biodiversité dans la région du Hodna. L'étude de la biodiversité qui est soumise à l'heure actuelle à l'effet de plusieurs perturbations de différentes natures permet d'avoir une prévision des situations des écosystèmes et donc accéder à un procédé afin de préserver la biodiversité et garantir la continuité de la vie et son évolution.

En plus, le présent travail nous a permis aussi de contribuer à la valorisation des deux espèces de la famille des Thymelaeaceae *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* par le biais de l'étude phytochimique et les activités biologiques. Cette étude nécessite d'être complétée par un certain nombre de travaux dont on propose de :

- Continuer l'étude phytochimique sur cette espèce afin d'isoler et de purifier les constituants chimiques responsables de leurs activités biologiques.
- Procéder à une analyse structurale des constituants présents dans l'huile essentielle.
- Etudier d'autres propriétés biologiques de cette plante, à savoir les propriétés anti inflammatoires, antivirales, anti-cancéreuses, toxicologiques, antiparasitaires et insecticides pour une meilleure connaissance de leurs propriétés et donc un bon usage.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Adams R.P. 2001. Identification of essential oils components by Gas Chromatography / quadrupole mass spectroscopy. Allured Publishing. Carol Stream, Illinois USA.
- Adams R.P. 2007. Identification of essential oils components by Gas Chromatography-Mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation Carol Stream, Illinois USA.
- AFNOR. 1986. Huiles essentielles. Recueil de normes françaises. Ed. Tec and Doc. Lavoisier. 2eme éd, 57p.
- Agence National de la protection de la Nature .1993. La protection de la flore en Algérie.22p
- Akrouf A, El Jani H, Amouri S, Neffati M.2010. Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of *Artemisia campestris* L., *Artemisia herba alba* Asso and *Thymus capitatus* Hoff. Et Link. Growing wild in the Southern of Tunisia. Recent Research in Science and Technology 2 (1): 29-39.
- Akrouf A, Alarcon-Gonzalez L, El- Jani H, Campra - Madrid P. 2011. Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaea hirsuta* from southern Tunisia. Food and Chemical Toxicology 49 (2):342-347.
- Amari O.N, Bouzouina M, Berkani A, Lotmani B. 2014. Phytochemical screening and antioxidant capacity of the aerial parts of *Thymelaea hirsuta* L. Asian Pacific Journal of Tropical Disease 4 (2): 104 - 109.
- Amari N.O. 2015. Etude Phytochimique, Potentiel Antioxydant et Activité antifongique de *Thymelaea hirsuta* (Cas des dermatophytes). Thèse de Doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem. 215 p + annexes.
- Alaoui A, Laaribya S. 2017. Etude ethnobotanique et floristique dans les communes rurales Sehouf et Sidi-Abderrazak (Cas de la Maamora-Maroc Septentrional) Algérienne. Nature and Technology Journal. Vol. B: Agronomic and Biological Sciences 17:15 - 24.
- Alavi L, Jabbari A, Barzegar M and Naghdibadi H. 2008. Chemical composition and antioxidant properties of essential oils (*Lippia ciiriodora*, *Thymus daenensis*). Food Chemistry 89: 27 - 36.
- Alexis St-Gelais. 2014 .Étude de la composition chimique et de l'activité biologique de *Dirca palustris* L. Université du Québec. 150 p.

- APG (The angiosperm phylogeny Group).1998. An ordinal classification for the families of flowering plants. *Annals of Missouri Botanical Garden* 85 (4): 531 - 553.
- APG III .2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the orders and families flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 161p.
- Archana B, Dasgupta N and De B.2005. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. *Food Chemistry* 90 (4) : 727-733.
- Arpino P, Prévôt A, Serpinet J, Tranchant J, Vergnol A, Witier P. 1995. Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse. Ed.Masson, Paris. 700 p
- Azza Z, Marnissi F, Naya A, Benjelloun N, Zamyati S, Amrani M, Oudghiri M.2012.Toxicological evaluation of *Thymelaea hirsuta* and protective effect against CCl<sub>4</sub>-induced hepatic injury in rats. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6 (1): 379 - 393.
- Azza Z, Oudghiri M. 2015. In vivo anti-inflammatory and antiarthritic activities of aqueous extracts from *Thymelaea hirsuta*. *Pharmacognosy Research* 7 (2) : 213-216.
- Bakalem A. 2012. Invertébrés marins des substrats meubles. Actualisation de la stratégie nationale de préservation et d'utilisation durable de la diversité biologique. Atelier de restitution. Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, 28 avril 2012, Algérie.
- Barbero M, Quezel P.1989. Contribution à l'étude phytosociologique des matorrals de la méditerranée orientale. *Lazoco* II: 37-56.
- Barbero M, Bonin G, Loisel R, Quezel P. 1990. Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Vegetatio* 87(2): 151-173.
- Baser K.H.C, Buchbauer G, 2010. Handbook of essential oils: Science, technology, and applications. CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton. New York. 994p.
- Beaumont A, Edwards T and Smith F. 2001. Leaf and bract diversity in *Gnidia* (Thymelaeaceae): patterns and taxonomic value. *Systematics and Geography of Plants* 71 (2) :399 - 418.
- Benayache F.2013. Etude phytochimique et biologique de l'espèce *Thymus numidicus* Poiret.Mémoire de Magister.Université de Constantine <sup>1</sup> .155 p.

- Bencheqroun H.K, Ghanmi M, Satrani B, Aafi A, Chaouch A. 2012. Activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia mesatlantica*, plante endémique du Maroc. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège 81 : 21 - 24.
- BenChobba I, Felhi S, Chaaibia M, Ben Mansour R, Békir A, Drira N, Gharsallah N, Kadri A. 2014. Phytochemical composition and biological assays of the aerial parts of *Thymelaea hirsuta* essential oil from Tunisia. The third international symposium on Biology of rare and endemic plant species. Antalya. Turkey (19 - 23 April): 1-73. <http://www.iseo2014.org/location.html>
- Beniston N.T et W.S. 1984. Fleurs d'Algérie. Ed. Entreprise Nationale du Livre. 359 p.
- Benkhniq O, Zidane L, Fadli M, Elyacoubi H, Rochdi A and Douira A. 2011. Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc). Acta Botanica Barcelona 53: 191 - 216.
- Benhammou N, Atik-Bekkara F, Coustard J-M. 2009. Antioxidant activity of methanolic and water extracts from *Marrubium deserti* (De Noë) and *Thymelaea microphylla* from Algerian Sahara. Advances in Food Sciences 31 (4):194 - 201.
- Benjilali B, Tantaoui-Elaraki A, Ismaïli Alaoui M, Ayadi A, 1986. Méthode d'étude des propriétés antiseptiques des huiles essentielles par contact direct en milieu gélosé. Plantes médicinales et phytothérapie. Tome XX : 155 - 167.
- Ben Marzoug H.N, Romdhane M, Lebrihi A, Mathieu F, Couderc F, Abderrabba M, Khouja M.L and Bouajila J. 2011. *Eucalyptus oleosa* essential oils: Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of the oils from different plant parts (stems, leaves, flowers, and fruits). Molécules 16 (2) : 1695 - 1709.
- Benlamdini N, Elhafian M, Rochdi A, Zidane L. 2014. Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale du Haut Atlas oriental (Haute Moulouya). Journal of Applied Biosciences 78: 6771 - 6787.
- Benov L, Georgiev N. 1994. The antioxidant activity of Flavonoids Isolated from *Corylus colurna*. Phytotherapy Research 8 (2) : 92-94.
- Blandin P, 2010. Biodiversité, l'avenir du vivant. Bibliothèque Sciences éd. Paris. 259 p.

- Bnouham M, Benalla W, Bellahcen S, Hakkou Z, Ziyyat A, Mekhfi H, Aziz M, Legssyer A. 2012. Antidiabetic and antihypertensive effect of a polyphenol-rich fraction of *Thymelaea hirsuta* L in a model of neonatal streptozotocin-diabetic and N<sup>G</sup>-nitro-l-arginine methyl ester-hypertensive rats. *Journal of Diabetes* 4 (3) : 307 - 313.
- Bouazza M, Mahboubi A, Loisel R, Benabadji N, 2001. Bilan de la flore de la région de Tlemcen (Oranie-Algérie). *Forêt méditerranéenne* XXII 7 (2) : 130-136.
- Bouderdara N, 2013. Séparation et Détermination de Structures des Métabolites Secondaires de *Cachrys libanotis* L. Thèse de Doctorat Sciences. Université les frères Mentouri. Constantine <sup>1</sup>, Algérie. 216 p.
- Boudjelal A, Henchiri C, Sari M, Sarri D, Hendel N, Benkhaled A and Ruberto G. 2013. Herbalists and wild medicinal plants in M'Sila (North Algeria): An ethnopharmacology survey. *Journal Ethnopharmacol* 148 (2): 395 - 402.
- Boukhatem M.N, Ferhat M.A, Kameli A, Saidi F, Taibi H and Teffahi Dj. 2014. Potential application of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil as antibacterial drug in aromatherapy. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 8 (4): 1418 - 1431. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- Bouroumi M.T. 2014. Le littoral Algérien entre dégradation et protection du patrimoine, cas de la commune côtière d'Ain el Türck. Colloque francophone international cultures, territoires et développement durable.
- Bouzouina M, Amari N.O, Berkani A, Lotmani B, Hanafi M and Lazizi A. 2016. Total phenolics contents, flavonoids contents, and fatty acids compositions in *Thymelaea hirsuta* L. aerial parts, grown in Western Algeria. *Advances in Environmental Biology* 10 (1) : 16 - 22.
- Bouzouita N, Kachouri F, Ben Halima M et Chaabouni M. 2008. Composition Chimique et Activités Antioxydante, Antimicrobienne et Insecticide de l'Huile Essentielle de *Juniperus phoenicea*. *Journal de la Société Chimique de la Tunisie* 10: 119-125.
- Borris R, Blasko G and Cordell G. 1988. Ethnopharmacologic and Phytochemical studies of Thymelaeaceae. *Journal of Ethnopharmacology* 24:41-91.
- Borris R.P. 1996. Natural products research: perspectives from a major pharmaceutical company. *Journal of Ethnopharmacol* 51(1-3): 29 - 38.
- Bowes E.J. 2003. *The chemistry of Aromatherapeutic Oils*. 3<sup>rd</sup> Ed. p56.

- Brooks G.A., Evans T , Aitken A, Evans F.J, Rizk A.F, Faisal M, Hammouda F.M ,El-Missiry M, Shams E, Ismail S.1990. Daphnane diterpenes of *Thymelaea hirsuta*. *Phytochemistry* 29 (7) : 2235-2237.
- Brunetton J.1987. *Elément de phytochimie et pharmacognosie*, Paris : Lavoisier - Tech and Doc. 584 p.
- Bruneton J. 1993. *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Techniques et documentation*, 2<sup>ème</sup> éd. Lavoisier (France). 915 p.
- Bruneton J.1999. *Pharmacognosie, phytochimie, Plantes Médicinales. Tec et Doc*, Lavoisier 3<sup>ème</sup> éd.Paris. 1120 p.
- Calsamiglia S, Busquet M, Cardozo P.W, Castillejos L and Ferret A. 2007. Invited Review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 90 (6): 2580-2595.
- Carnesecchi S, Schneider Y, Ceraline J, Duranton B, Gosse F, Seiler N, Raul F.2001. Geraniol, a component of plant essential oils, inhibits growth and polyamine biosynthesis in human colon cancer cells. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 298 (1): 197-200.
- Carson C.F, Rilley T.V, Bosque F.2002. Antimicrobial activity of the major components of Essential oil of *Malaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Bacteriology* 78 (3): 264 - 269.
- Charai M, Mosaddak M and Faid M. 1996. Chemical composition and antimicrobial activities of two aromatic plants: *Origanum majorana* L and *Compactum* Benth. *Journal of essential oil Research* 8 (6): 657- 664.
- Chebli B, Achouri M, Idrissi Hassani M, Hmamouchi M. 2003. Antifungal activity of essential oils from several medicinal plants against four postharvest *Citrus pathogens*. *Phytopathologia Mediterranea* 42 (3): 251 - 256.
- Chu C. J and Kemper K. J. 2001. *Lavender (Lavandula spp.)*. The Longwood Herbal Task Force and the Center for Holistic Pediatric Education and Research: 1 - 32.
- Comhair S.A.A, Erzurum S.C.2002. Antioxidant responses to oxidant-mediated lung diseases. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology* 283 (2): 246-255.

- Conservatoire et Jardin botaniques du Genève and South African National Biodiversity Institute. 2018. Base de données des plantes d'Afrique. <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>.
- Constantin E, Traldi P, Favretto D et Schnell A. 1996. Spectrométrie de Masse. 2<sup>ème</sup> éd. Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 280 p.
- Convention sur la diversité biologique. 1992. Nations Unies. Rio De Janeiro. 32 p.
- Cosentino S, Tuberoso C.I, Pisano B, Satta M, Mascia V, Arzedi E and Palmas F. 1999. *In vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. Letter of Applied Microbiology 29 (2): 103-105.
- Cox S.D, Mann C.M, Markham J.L, Bell H.C, Gustafson J.E, Warmington J.R and Wyllie S.G. 2000. The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). Journal of Applied Microbiology 88: 170 - 175.
- Daferera D.J, Ziogas B.N, Polissiou M.G. 2003. The effectiveness of plant essential oils on the growth of *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp. and *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Crop Protection 22 (1) : 39 - 44.
- Dahamna S, Dehimi K, Merghem M, Djarmouni M, Bouamra D, Harzallah D, Khenouf S. 2015. Antioxidant, Antibacterial and Hypoglycemic Activity of Extracts from *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients 2 : 15 - 18.
- Dahmani M, 1996. Groupement à chêne vert en Algérie .Syntaxonomie, phytosociologie et dynamique des peuplements. Thèse de Doctorat. Es .Sciences. Université Houari Boumediene, Alger. 383 p.
- Dajoz R. 2006. Précis d'écologie. 8<sup>ème</sup> éd. Dunod. Paris, 621 p.
- Dajoz R. 2008. La Biodiversité, l'avenir de la planète et de l'homme. Ellipses éd. Paris. 269p.
- Daoudi A, Bachiri L, Bammou M, Ibjibjen J, Nassiri L. 2015. Etude ethnobotanique au moyen Atlas central. European Scientific Journal 11 (24) : 226 - 242.
- Deba F, Xuan T.D, Yasuda M and Tawata S. 2008. Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* L. var. *Radiata*. Food Control 19 (4): 346 - 352.
- Dehimi K, Speciale A, Antonina S, Dahamna S, Raciti R, Cimino F, Cristani M. 2016. Antioxidant and anti-inflammatory properties of Algerian *Thymelaea microphylla* Coss and Dur. Extracts. Pharmacognosy Magazine 12 (47): 203-210.

- Demirci B, Kosar M, Demirci F, Dinç M and Baser K. H. C. 2007. Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil of *Chaerophyllum libanoticum* Boiss. Et Kotschy. Food Chemistry 105 (4): 1512-1517.
- Deramchia N, Belhakem M. 2017. Antimicrobial activity of phenolic extracts and essential oil from *Thymelaea hirsuta*. South Asian Journal of Experimental Biology 7 (1): 35 - 41. <http://sajeb.org/index.php/sajeb/article/view/20374>.
- Deramchia N.2018. Activité antibacatérianne de l'huile essentielle et extraits brutes de *Thymelaea hirsuta*. Thèse de Doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.153 p + annexes.
- Djebaili S.1984. Steppe algérienne « Phytosociologie et Ecologie ». Edition O.P.U, Alger.177p.
- Dobignard A, Châtelain C. 2010 - 2013. Index synonymique de la Flore d'Afrique du nord. Ed. Des conservatoires et jardins botaniques de la ville de Genève. 5 Volume. [http://www.ville-ge.ch/cjb/publications\\_news.php](http://www.ville-ge.ch/cjb/publications_news.php).
- Dohou N, Yamni K, Tahrouch S, Idrissi Hassani L.M, Badoc A, Gmira N.2003. Screening Phytochimique d'une endémique Ibéro-Marocaine, *Thymelaea lythroides*. Bulletin-Société de Pharmacie de Bordeaux 142 : 61 - 78.
- Dohou N, Yamni K, Gmira N, Idrissi Hassani L.M. 2004<sup>a</sup>. Étude de Polyphénols des Feuilles d'une Endémique Ibéro Marocaine *Thymelaea lythroides*. Acta Botanica Malacitana 29: 233 - 239.
- Dohou N, Yamni K, Badoc A, Douira A. 2004<sup>b</sup>. Activité antifongique d'extraits de *Thymelaea lythroides* sur trois champignons pathogènes du Riz. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux 143 : 31 - 38.
- Dohou N, Yamni K, Gmira N.2006. Approche ethnobotanique d'une endémique ibéro marocaine : *Thymelaea lythroides* (Thymelaeaceae). Quad. Bot. Amb. Appl: 175 - 177.
- Dorman H.J, Deans S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. Journal of Applied Microbiology 88 (2): 308-316.
- Duke J. 2009. Phytochemical and ethnobotanical database. USDA- ARS- NGRI, Beltsville Agricultural research center (<http://www.Ars-grin.gov/duke/>)
- El Amrani F, Rhallab A, Alaoui T, El Badaoui K, Chakir S. 2009. Hypoglycaemic effect of *Thymelaea hirsuta* in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. Journal of Medicinal Plants Research 3 (9) : 625 - 629.

- El Kalamouni C. 2010. Caractérisation chimiques et biologiques d'extraits de plantes aromatiques oubliées de Midi-Pyrénées. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse. 263p
- El Hilah F, Ben akka F, Bengueddour R, Rochdi A, Zidane L. 2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des affections dermatologiques dans le plateau central marocain. *Journal of Applied Biosciences* (98) : 9252-9260.
- Emberger L. 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue de Botanique* 503: 642- 662.
- Emiroğlu Z.K, Yemis G.P, Coskum B.K, Candogan K.2010. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oil on fresh ground beef patties. *Meat Science* 86 (2): 283 - 286.
- Ewa Hanus-Fajerska, Wiszniewska A, Czaicki P. 2012. Effectiveness of *Daphne* L. (Thymelaeaceae): *in vitro* Propagation, rooting of microshoots and acclimatization of Plants. *Acta Agrobotanica* 65 (1) : 21-28.
- Fahn A. 1988. Tansley Review No. 14 Secretory tissues in vascular plants. *New Phytol* 108 : 229 - 257.
- F.A.O. 1971. Etude de projet du Hodna. Pédologie d'Oued El-Lham et Oued Loughemane. La carte géologique de Tarmount (N°140,1963-1964) + Notice.
- F.A.O.1974. Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna (Algérie) : Amélioration des pâturages et de l'élevage. Programme des nations unies pour le développement / Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. AGS/ALG/66/509. Rapport Technique « 2 ».49 p.
- Fazeli M.R,Amin G, Ahmadian-Attari M.M, Ashtiani H, Jamalifar H and Samadi N. 2007. Antimicrobial activities of Iranian sumac and avishane shirazi (*Zataria multiflora*) against some food-borne bacteria. *Food Control* 18 (6): 646 - 649.
- Felhi S, Chaaibia M, Bakari S, Ben Mansour R, Békir A, Gharsallah N and Kadri A. 2017. Anti-microbial screening and cytotoxic activity of aerial part of *Thymelaea hirsuta* L essential oil growing in south-west Tunisia. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Science* 30 (1) : 87 - 91.
- Ferrari J. 2002. Contribution à la connaissance du métabolisme secondaire des Thymelaeaceae et investigation phytochimique de l'une d'elles : *Gnidia involucrata* Steud ex A. Rich. Thèse de Doctorat. Université de Lausanne. Faculté des Sciences. Institut de Pharmacognosie et Phytochimie. 242 p.

- Floret C, Le Floc'h E and Pontanier K. 1992. Influence de l'évolution de l'occupation de l'espace sur le bilan d'eau régional (Tunisie). Ed. ORSTOM, Paris Collection Didactique.
- Franke K, Porzel A and Schmidt J. 2002. Flavone-coumarin hybrids from *Gnidia socotrana*. *Phytochemistry* 61(7) : 873 - 878.
- Franchomme P and Penoel D.1990. L'aromathérapie exactement. Limoges.
- Franchomme P. 2001. L'aromathérapie exactement : Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Ed. Jollois.490 p.
- Galicia-Herbada D. 2006. Origin and diversification of *Thymelaea* (Thymelaeaceae): inferences from a phylogenetic study based on ITS (rDNA) sequences. *Plant Systematics and Evolution* 257 (3 - 4): 159-187.
- Gehu J.M et Rivas Martinez S. 1981. Notion fondamentale de phytosociologie. *Berichte der international en Sympoien CRAMER J. Syntaxonomie*. 3 pp.
- Gelfand M, Mavi S, Drummond R and Ndemera B.1985. The Traditional Medical Practitioner in Zimbabwe. Mambo Press, Gweru. pp. 191-192 / 268-269 and 304.
- Ghanem H, Haba H, Marcourt L, Benkhaled M and Wolfender J.L. 2014. Microphynolides A and B, new spiro- $\gamma$ -lactone glycosides from *Thymelaea microphylla* Coss et Dur. *Natural Product Research* 28 (20): 1732 - 1738.
- Gharzouli R.2007. Flore et Végétation de la Kabylie des Babors : étude floristique et phytosociologique des groupements forestiers et post forestiers des djebels Takoucht, Adrar Oumelal, Tababort et Babor. Thèse Doctorat, Université de Sétif 1, Algérie. 253 p.
- Ghestem A, Seguin E, Paris M et Orecchioni A-M. 2001. Le Préparateur en Pharmacie. Dossier 2, Botanique, Pharmacognosie, Phytothérapie, Homéopathie. Ed. Tec et Doc, Paris. 273p.
- Giordani R, Hadeff Y and Kaloustian J. 2008. Composition and antifungal activities of essential oils of some Algerian aromatic plants. *Fitoterapia* 79 (3) : 199 - 203.
- Glande F, Christiane F, Paul M, Jean D et Jean-Louis H. 2003. *Ecologie. Approche scientifique pratique*. 5<sup>ème</sup> Ed. Lavoisier, Paris. 395 p.
- Goetz P, Ghedira K. 2012. *Phytothérapie anti-infectieuse*. Springer-Verlag, France, Paris.
- Gounot M. 1969. *Méthodes d'études quantitatives de la végétation*. Masson et C. Editeurs, Paris. 314 p.
- Guinochet M. 1973. *Phytosociologie*. Ed. Masson. Paris. 285 p.

- Grall J, Coic N. 2006. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Université de Bretagne occidentale. Laboratoire des sciences de l'environnement Marin. 90 p.
- Grime G. P.1997. Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens. *Science* 277 (5330):1260 - 1261.
- Hada T, Shiraishi A, Furuse S, Inoue Y, Hamashima H, Masuda K, Shiojima K, Shimada J. 2003. Inhibitory effects of terpenes on the growth of *Staphylococcus aureus*. *Natural Medicine* 57(2): 64 - 67.
- Habrard J.P, Loisel R, Roux C, Goumila H and Bouni G.1995. Incidence of clearing on phanerogamic and cryptogamic vegetation in south Eastern France disturbance indices. *Ext.de Technique de documentation. Lavoisier Intercept Ltd: 747 - 758.*
- Hammer K.A, Carson C-F and Riley T.V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology* 86 : 985 - 990.
- Hammoudi R, Dehak K, Hadj Mahammed M et Didi Ouldelhadj M. 2015. Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de *Deverra scoparia* Coss and Dur. (Apiaceae). *Lebanese Science Journal* 16 (2) : 27 - 36.
- Harkati B. 2011. Valorisation et identification structurale des principes actifs de la plante de la famille Asteraceae : *Scorzonera undulata*. Thèse de Doctorat. Université de Constantine. 215 p.
- Hernandez-Ochoa L. R. 2005. Substitutions des solvants et matières actives de synthèse par combiné « Solvant/Actif » d'origine végétale. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. France, 225 p.
- Houée P.1996. Les politiques de développement rural. Des années de croissance au temps d'incertitude. Paris, Economica, 321 p.
- Hounankpon Y, Aristide C. A, Akpovi A, Bruno D.2012. Diversité spatiotemporelle des ressources florales autour d'un rucher en zone de végétation de transition soudano-guinéenne au Bénin. *Acta Botanica Gallica* 159 (1) : 97 - 108.
- Hseini S, Kahouadji A. 2007. Étude ethnobotanique de la flore médicinale dans la région de Rabat (Maroc occidental). *LAZAROA* 28 : 79 - 93.

- Iboukassene S. 2008. Dynamique de la végétation des forêts à *Quercus suber* anthropisées du Nord Est de l'Algérie (Parc National d'El-Kala). Thèse de Doctorat. Université Catholique de Louvain. Faculté d'Ingénierie Biologique, Agronomique et Environnementale. Département des sciences du milieu et de l'aménagement du territoire. Unité des Eaux et Forêts.
- Jeanmonod D, Gamisans J. 2007. Flora Corica. Edisud. 1058 p.
- John B. 2013. Application of desirability function for optimizing the performance characteristics of carbonitrided bushes. International Journal of Industrial Engineering Computations 3 : 305 - 314.
- Kaabeche M. 1990. Les groupements végétaux de la région de Boussaâda (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse de Doctorat. Université de Paris-sud, Centre d'orsay. 132 p.
- Kaabeche M. 1996. Les relations climat-végétation dans le bassin du Hodna (Algérie). Acta Botanica Gallica. Journal home page. 11p (<http://www.tandfonline.com/loi/tabg20>).
- Kaabeche M. 1998. Les pelouses steppiques à dominante thérophytique du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Essai de synthèse phytosociologique par application des techniques numériques d'analyse. Document. Phytosociologie. NS. Vol 26. Camerino. Univ, Degli Stud.
- Kabelitz N, Santos P.M, Heipieper H.J. 2003. Effect of aliphatic alcohols on growth and degree of saturation of membrane lipids in *Acinetobacter calcoaceticus*. FEMS Microbiology Letters 220 (2): 223-227.
- Kadi K, Hamli S, Zeraib A, Yahia A. 2017. Effet antibactérien des extraits de *Thymelaea hirsuta* L. Revue des Régions Arides n°43– Numéro spécial – Actes du 5ème Meeting International sur l'Aridoculture et les Cultures Oasiennes : Biotechnologie végétale en zones arides et oasiennes Zarzis (Tunisie) 43 (3) : 409 - 419.
- Kadri A, Zarai Z, Ben chobba I, Gharsallah N, Damak M and Békir A. 2011 . Chemical composition and in vitro antioxidant activities of *Thymelaea hirsuta* L essential oil from Tunisia. African Journal Biotechnology 10 (15): 2930 - 2935.
- Kalemba D, Kunicka A. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. Current Medicinal Chemistry 10 (10): 813 - 829.
- Kato T, Lijima H, Ishihara K, Kanek T, Hirai K, Naito Y, Okuda K. 1990. Antibacterial effect of listerine on oral bacteria. The Bulletin of Tokyo Dental College 31(4) : 301 - 307.

- Kefifa A. 2013. Contribution à l'étude et à la cartographie de l'impact des pressions anthropozoogènes et climatiques sur les ressources naturelles des monts de Saïda (Algérie). Thèse Doctorat. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. 246 p.
- Kerbab K, Mekhelfi T, Zaiter L, Benayache S, Benayache F, Picerno P, Mencherini T, Sansone F, Aquino R.P and Rastrelli L. 2014. Chemical composition and antioxidant activity of a polar extract of *Thymelaea microphylla* Coss and Dur. Natural Product Research (Formerly Natural Product Letters) 29 (7) : 671 - 675.
- Kerbab K. 2017. Validation scientifique de l'utilisation traditionnelle des plantes médicinales elle des plantes médicinales algériennes : *Halimium halimifolium* (L.)Wilk et *Thymelaea microphylla* Coss.et Dur., composition chimique et activité biologique. Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri, Constantine. 239 p.
- Kouamé F.P.B.K. 2012. Valorisation de quatre plantes médicinales ivoiriennes : étude phytochimique. Thèse de Doctorat. Université de Nantes et Université de Cocody-Abidjan. 180 p.
- Lacoste L, Salanon R. 1999. Eléments de Biogéographie et d'Ecologie. 2<sup>ème</sup> Edition. Nathan, Paris. 318 p.
- Lafferty M-C, Stauffer D-B. 1994. Wiley Registry of Mass Spectral Data, 6<sup>th</sup> Ed. Mass spectrometry library search system BenchTop/PBM. Version 3.10 d. Palisade Co., Newfield.
- Laïb S. 2018. Le rôle de *Thymelaea microphylla* dans l'amélioration du stress oxydant et du taux de la métallothionéine induits par le cadmium dans le rein chez le rat. Thèse de doctorat LMD. Université les Frères Mentouri Constantine <sup>1</sup>. 111 p
- Laouer H. 2004. Inventaire de la flore médicinale utilisée dans les régions de Sétif, de Bejaia, de Msila et de Djelfa, composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoides pusilla* et de *Magydaris pastinacea*. Thèse de Doctorat d'état, Département de Biologie, Faculté des sciences. Université Ferhat Abbas de Sétif.
- Le Floc'h E. 1983. Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. Publ. sci. tunisiennes. Programme flore et végétation tunisienne. Vol 1, 402p.
- Le Floc'h E, Boulos L, Vela E. 2010. Catalogue synonymique commenté de la flore de Tunisie. Banque nationale de Gènes, Tunis.
- Le Houérou H.N. 1995. Considérations biogéographiques sur les steppes arides du Nord de l'Afrique. Sécheresse 6 (2) : 167-182.

- Le journal officiel (2012). Le décret exécutif n°12-03 du 4 janvier 2012 fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées en Algérie, 28 p.
- Liu Y, Sun Q, Li L, Song S.2019. Chemical constituents with prenyl substitution from the stem and root of *Daphne giraldii* Nitsche. (Thymelaeaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 87: 1 - 4.
- Lograda T. 2010. Etude Caryologique et Phytochimique de six espèces endémiques du genre *Genista* L. en Algérie. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbes, Sétif 1. 163 p + annexes.
- Lograda T, Ramdani M, Kiram A, Chalard P and Figueredo G.2012. Variation of essential oils composition of *Pituranthos Scoparius* in Algeria. *Global Journal of Research on Medicinal Plants and Indigenous Medicine* 2 (1): 1 - 11.
- Lograda T, Ramdani M, Chalard P, Figueredo G.2013. Characteristics of essential oils of *Rosmarinus officinalis* from eastern Algeria. *Global Journal of Research on Medicinal Plants and Indigenous Medicine* 2 (12): 794 - 807.
- Lograda T, Ramdani M, Chalard P, Figueredo G and Deghar A.2014. Chemical analysis and antimicrobial activity of *Teucrium polium* L. Essential oil from eastern Algeria. *American Journal of Advanced Drug Delivery* 2 (6): 697-710.
- Loisel R, Gamila H.1993. Traduction des effets du débroussaillage sur les écosystèmes forestiers et préforestiers par un indice de perturbation. *Annales de la Société des Sciences Naturel et d'Archéologie de Toulon et du Var* 45 (2) : 123 - 132.
- Liao S, Chen H, Yue J. 2009. Plant orthoesters. *Chemical Reviews* 109 (3):1092 - 1140.
- Loupy A. 2006. *Microwaves in Organic Synthesis*. 2<sup>ème</sup> Ed.Tome I et II. Wiley-VCH, Weinheim, 1303 p.
- Loza-Tavera H.1999. Monoterpenes in essential oils. *Biosynthesis and Properties*. pp 49.
- Lu F, Yeap Foo L. 2001. Antioxidant activity of polyphenols from Sage (*Salvia officinalis*). *Food Chemistry* 75 (2): 197 - 202.
- Madhavi D, Deshpande S, Salunkhe D. 1996. *Food Antioxidants. Technological, Toxicological and Health Perspectives*. Marcel Dekker, Inc. New York. 65 p.
- Mann C.M, Cox S.D, Markham J.L. 2000. The outer membrane of *Pseudomonas aeruginosa* NCTC 6749 contributors to its tolerance to the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (Tea tree oil). *Letters in Applied Microbiology* 30 (4): 294-297.

- Masada Y.1976. Analysis of essential oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry. Halsted, Nueva York. 334 p.
- Masotti V, Juteau F, Bessière J. M, Viano J. 2003. Seasonal and Phenological Variations of the Essential Oil from the Narrow Endemic Species *Artemisia molinieri* and its Biological Activities. Journal of Agriculture Food Chemistry 51 (24) : 7115-7121.
- Marcon E. 2006. Mesures de la Biodiversité. 34 p.
- Marcon E.2013. Mesures de la Biodiversité. Unité mixte de recherche.79 p.
- Marcon E. 2017. Mesures de la Biodiversité. <https://hal-agroparistech.archives-ouvertes.fr/cel-01205813v4.282p>.
- Martinetti P.2013. Mon guide des huiles essentielles. Ed. Lanore. Pp 5 - 6.
- MATE. 2014. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 5<sup>eme</sup> Rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national, Algérie. 128 p.
- Mayer F. 2012. Utilisations Thérapeutiques des huiles essentielles. Etude de cas en maison de retraite. Thèse de doctorat en Pharmacie. Université de Lorraine. 107 p.
- Medjahdi B.2010. Réponse de la végétation du littoral oranais aux perturbations : Cas des monts des Trara (Nord-ouest de l'Algérie). Thèse de Doctorat. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. 366 p.
- Mediouni K. 2002. Bilan taxonomique bibliographique des groupes systématiques de la flore continentale. Tome III. FEMPNUD Projet ALG / 97/ G31. Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie. 282 p.
- Mekhelfi T, Kerbab K, Guella G, Zaiter L, Benayache S, Benayache F. 2014 . Phytochemical constituents of *Thymelaea microphylla* Coss and Dur from Algeria. Der Pharmacia Lettre 6 (1) :152-156.
- Mekhelfi T.2016. Séparation et Détermination Structurale de Métabolites Secondaires de deux Plantes Algériennes - Activités Biologiques. Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri , Constantine. 243 p.
- Miladi H, Benslama R, Mili D, Zouari S, Bakhrouf A, Ammar E. 2013. Chemical Composition and Cytotoxic and Antioxidant Activities of *Satureja montana* L. Essential Oil and its Antibacterial Potential Against *Salmonella* spp Strains. Journal of Chemistry 1-9.

- Miyamae Y, Villareal M-O, Ben Abdrabbah M, Isoda H, Shigemori H. 2009. Hirseins A and B, Daphnane Diterpenoids from *Thymelaea hirsuta* that inhibit Melanogenesis in B16 Melanoma Cells. *Journal Natural Product* 72 (5) : 938–941.
- Mimoune S. 1995. Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique d'Algérie (sud du Chott Hodna). Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille <sup>1</sup>. 204 p.
- Mohammedi Z. 2006. Etude du pouvoir antibactérien et antioxydant des huiles essentielles et de quelques plantes de la région de Tlemcen. Thèse de Magistère. Université de Tlemcen. 155 p.
- Mohammedi Z. 2013. Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud-Ouest de l'Algérie. Thèse Doctorat. Université de Tlemcen. 170p.
- NIST (National Institute of Standards and Technology). 1999. PC Version 1.7 of the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, the Perkin Elmer Corporation.
- NIST, 2002. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, vers. 2.0. Fiveash data, USA.
- Noamane L.S, Zellagui A, Mesbah K, Gherraf N, Lahouel M, Rhouati S. 2010. Essential oil Composition of *Thymelaea microphylla* Coss et Dur. *Der Pharmacia Lettre* 2 (5) : 428 - 431.
- Noman L, Zellagui A, Yaglioglu A.S, Demirtas I, Rhouati S. 2015 <sup>a</sup> . Antimicrobial activity of essential oil components and antiproliferative activity of trans-tiliroside compound from an endemic desert species *Thymelaea microphylla* Coss and Dur. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 6 (2): 671 - 676.
- Noman L, Zellagui A, Hallis Y, Ayse Sahin Yaglioglu, Demirtas I, Gherraf N, Rhouati S., 2015<sup>b</sup>. Antioxidant and antimicrobial activities of an endemic desert species *Thymelaea microphylla* Coss and Dur. *Der Pharmacia Lettre* 7 (1):118-121.
- Noman L.A.S.2017. Secondary metabolic components and biological effectiveness study on two species *Thymelaea microphylla* and *Gnidia somalensis*. Thèse de Doctorat. Université des Frères Mentouri, Constantine<sup>1</sup>. 248 p.
- Obame Engonga L.C. 2009. Etude Phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines. Thèse de Doctorat. Université d'Ouagadougou. 277 p.

- Orshan G, Montenegro G, Avila G, Aljaro M.E, Walckowiak A, Mujica A.M. 1985. Plant growth forms of Chilean matorral species. A monocharacter growth form analysis along an altitudinal transect from sea level to 2000. Bulletin de la Société Botanique de France (Actualités Botaniques) 2 (4) : 411-425.
- Oussou K.R. 2009. Etude chimique et activité biologiques des huiles essentielles de sept plantes aromatiques de la pharmacopée Ivoirienne. Thèse de Doctorat. Université de Cocody-Abidjan. 241 p.
- Oussou K.R, Youlou S, Kanko C, Tue-Bi B, Boti J.B, Ahibo C, Casanova J.2010. Etude chimique bio-guidée de l'huile essentielle de *Ocimum gratissimum* (Lamiaceae). European Journal of Scientific Reaserch 1 : 50 - 59.
- Ouraïni D, Agoumi A, Ismaïli-Alaoui M, Alaoui A, Cherrah Y, Amrani M, Belabbas M.A. 2005. Étude de l'activité des huiles essentielles de plantes aromatiques à propriétés antifongiques sur les différentes étapes du développement des dermatophytes. Pharmacognosie 4 :147 - 157.
- Ozenda P. 1977. Flore du Sahara. Ed. C.N.R.S, Paris. 622 p.
- Parixit B, Rajarajeshwari N, Ganapatya S, Santosh P. 2013. The *Gnidia* genus: A review. Asian Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences 3 (19): 1 - 31.
- Piochon M.2008. Etude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore Laurentienne : composition chimique, activités pharmacologiques et héli-synthèse. Université de Québec, Chicoutimi. 213 p.
- Ponce A.G, Fritz R, Del Valle C, Roura S.I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie 36 (7) : 679-684.
- Pouget M. 1980. Les relations sol végétation dans les steppes Sud Algéroises. Thèse de Doctorat .Université Marseille III. 555 p.
- Quezel P, Santa S. 1962-1963.Nouvelle flore de l'Algérie. CNRS éd. Paris. Vol 1, 1-565 p
- Quezel P, Santa S. 1962-1963.Nouvelle flore de l'Algérie. CNRS éd. Paris. Vol 2, 566 -1170 p
- Quezel P. 1964. L'endémisme dans la flore de l 'Algérie. C.R. de la Soc. De Biogéogr 361 : 137-149.
- Quezel P. 1965. La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. G. Fischer, Stuttgart, 333 p.

- Quezel P. 1976. Forêts et maquis méditerranéens. UNESCO. Notes techniques du MAB 2 : 9-34.
- Quezel P. 1978. Analyze of the flora of Mediterranean and Saharan Afrique. Annals of the Missouri Botanical Garden 65 : 479 - 534.
- Quezel P, Gamisans J, Gruber M. 1980. Biogéographie et mise en place des flores méditerranéennes. Naturalia Monspeliensia, n° Hors-série. Pp 41-51.
- Quezel P. 1991. Structures de végétation et flore en Afrique du Nord : leurs incidences sur les problèmes de conservation. Actions édition : 19 - 32pp.
- Quezel P, Médial F.1995. La région circumméditerranéen, Centre mondial majeur de Biodiversité végétale. Institut Méditerranéen d'Ecologie et de la Paléoécologie. France, 152-155 pp.
- Quezel P.2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Meghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris. 117p.
- Quezel P. 2002. Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press. 112 p.
- Rahili G.2002. Les huiles essentielles et leurs intérêts. La forêt algérienne n°4. Institut national de la recherche forestière. Bainem Alger.
- Ramade F. 2003. Eléments d'Ecologie : Ecologie fondamentale. Ed. Dunod. 690 p.
- Ramade F. 2008. Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Ed. Dunod, 737 p.
- Ramdani M, Lograda T, Silini H, Zeraib A, Chalard P, Figueredo G, Bouchaala M and Zerrar S.2013. Antibacterial activity of essential oils of *Juniperus phoenicea* from eastern Algeria. Journal of Applied Pharmaceutical Science 3 (11): 022 - 028.
- Ramdani M, Lograda T, Chalard P and Figueredo G.2015. Phytochemistry, Antibacterial activity and Chromosome number of two species of *Daphne* from Algeria. International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry 4 (1): 7 - 17.
- Rasooli I, Mirmostafa S.A. 2003. Bacterial susceptibility and chemical composition of essential oils from *Thymus kotschyanus* and *Thymus persicus* .Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(8): 2200 - 2205.
- Rhattas M, Douira A, Zidane L.2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales dans le Parc National de Talassemtane (Rif occidental du Maroc). Journal of Applied Biosciences 97: 9187 – 9211.

- Regnier T, Plooy W.D, Combrinck S, Botha B. 2008. Fungitoxicity of *Lippia scaberrima* essential oil and selected terpenoid components on two mango postharvest spoilage pathogens. *Postharvest Biology and Technology* 48 (2): 254 - 258.
- Roberto D, Micucci P, Turner S, Ferraro G, Anesini C. 2010. Antioxidant activity of limonene on normal murine lymphocytes: relation to H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> modulation and cell proliferation. *Basic and clinical pharmacology and toxicology* 106:1: 38 - 44.
- Rolland Y. 2004. Antioxydants naturels végétaux. Oléagineux, Corps Gras, Lipides 11 (6) : 419-424.
- Roulier G. 2000. Les huiles essentielles pour votre santé. Éd. Dangles. 336 p.
- Russo R, Corasaniti M.T, Bagetta G, Morrone L. A. 2015. Exploitation of Cytotoxicity of Some Essential Oils for Translation in Cancer Therapy. Review Article Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: 1 - 9.
- Salhi S, Fadli M, Zidane L, Douira A. 2010. Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *LAZAROA* 31: 133-146.
- Samate D.A. 2001. Composition chimique d'huiles essentielles extraites de plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : Valorisation. Thèse de Doctorat. Université d'Ouagadougou, Burkina Faso.
- Sarri M, Boudjelal A, Hendel N, Sarri Dj and Benkhaled A. 2015. Flora and ethnobotany of medicinal plants in the southeast of the capital of Hodna (Algeria). *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. Flora and ethnobotany of medicinal plants* 1(1) : 24 - 30.
- Saurat J.H et Thomas Luc. 2009. *Dermatologie et infections sexuellement transmissibles*. Éd 5, Elsevier Masson. 1152 p.
- Schmidt. 1981. Hydrodiffusion SA. Brevet Suisse n° 2473058.
- Schmidt J, Stavisky N. 1983. Uses of *Thymelaea hirsuta* (Mitnan) with Emphasis on Hand Papermaking. *Economic Botany* 37(3):310-321.
- Sefidkon F, Abbas K, Jamzad Z and Ahmadi S. 2007. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food Chemistry* 100 (3): 1054 - 1058.
- Senatore F, 1996. Influence of harvesting time on yield and composition of the essential oil of thyme (*Thymus pulegioides* L.) growing wild in Campania (Southern Italy). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 44 (5): 1327-1332.

- Sharif S, Singh M, Kim S-J, Schaefer J. 2009. *Staphylococcus aureus* peptidoglycan tertiary structure from carbon-13 spin diffusion. *Journal American Chemical Society* 131(20): 7023-7030.
- Singh G, Marimuthu P, Heluani C.S, Catalan C. A. N. 2006. Antioxidant and biocidal activities of *Carum nigrum* (Seed) essential oil, oleoresin, and their selected components. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 54 (1):174 - 181.
- Sirot J, Jouanel P, Motta C and Sirot D. 1983. Influence of the fatty acid content of bone tissue on the activity of antibiotics. *Annales de l'institut Pasteur. Microbiologie* 134 (1): 79 - 90.
- Sourai P.G. 1989. Antimicrobial action of dental materials used in operative dentistry: a review. *Odontostomatol proodos* 43 (5): 399 - 408.
- Sutour S. 2010. Etude de la composition chimique d'huiles essentielles et d'extraits de menthe de Corse et de Kumquats. Thèse de Doctorat. Université de Corse Pascal Paoli. Faculté des Sciences et Techniques. 222 p + annexes.
- Tan K. 1980. Studies in the Thymelaeaceae II: a revision of the genus *Thymelaea*. *Notes Roy. Bot. Gard. Edinburgh* 38: 189 - 246.
- Tang S, Sheehan D, Buckley D.J, Morrissey P.A, Kerry J-P. 2001. Anti-oxidant activity of added tea catechins on lipid oxidation of raw minced red meat, poultry and fish muscle. *International journal of food science and technology* 36: 685 - 692.
- Tapas A.R, Sakarkar D.M, Kakde R.B. 2008. Flavonoids as nutraceuticals. *Topical journal of Pharmaceutical Research* 7 (3): 1089 - 1099.
- Taran M, Ghasempour R.H, Shirinpour E. 2010. Antimicrobial activity of essential oil of *Ferulago angulata* subsp *Carduchorum*. *Jundishapur journal of Microbiology* 3 (1): 10-14. <http://jjmicrobiol.portal.tools>.
- Tenscher E, Anton R, Lobstein A. 2005. Plantes aromatiques. Épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. Tec et Doc. Pp 3 - 50 / 121 - 124.
- Tepe B, Sokmen M, Akpulat H.A, Daferera D, Polissiou M, Sokmen A. 2005. Antioxidative activity of the essential oils of *Thymus sipyleus* subsp. *Sipyleus* var. *sipyleus* and *Thymus sipyleus* subsp *Sipyleus* var. *roslans*. *Journal of Food Engineering* 66 (4): 447- 454.
- Tepe B, Sihoglu-Tepe A, Daferera D, Polissiou M, Sokmenc A. 2007. Chemical composition and activity of the essential oil *Clinopodium vulgare* L. *Food Chemistry* 103 (3): 766 - 770.

- Terras M. 2011. Typologie, cartographie des stations forestières et modélisation des peuplements forestiers. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida (Algérie). Thèse Doctorat. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. 386 p.
- Trigui M, Ben Hsouna A, Tounsi S, Jaoua S. 2013. Chemical composition and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of Tunisian *Thymelaea hirsuta* with special reference to its mode of action. *Industrial Crops and Products* 41 (1) : 150 - 157.
- UICN, 2008. Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées. Nigel Dudley Ed. Gland. Suisse. 116 p.
- Van der Bank M, Fay M.F, Chase M.W.2002. Molecular Phylogenetics of Thymelaeaceae with Particular Reference to African and Australian Genera. *International Association for Plant Taxonomy (IAPT)* 51 (2): 329 - 339.
- Vargas I, Sanz I, Prima-Yufer E, 1999. Antimicrobial and Antioxidant compounds in the nonvolatile fraction of expressed range essential oil. *Journal of food protection* 62 (8) : 929 - 932.
- Viaed H, 1993. Les huiles essentielles et leur distillation. Thérapeutique naturelle. 924 p.
- Viljoen A.M, Denirci B, Baser K.H.C, Potgieter C.J, Edwards T.J.2006. Micro distillation and essential oil chemistry- a useful tool for detecting hybridisation in *Plectranthus* (Lamiaceae). *South African Journal of Botany* 72 (1): 99-104.
- Wilson E.O, 1988. Biodiversity. National Academy Press, Washington D.C. 531 p.
- Wilson E.O, 2007. My wish: Build the Encyclopedia of Life. Http: [www.ted.com](http://www.ted.com).
- Yahyaoui M, Bouajila J, Camy S, Condoret J-S, Abderabba M. 2014. Comparison of chemical composition and yield of *Thymelaea hirsuta* volatile oils obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. *A Quarterly Open Access Scientific Journal ISEO. Abstracts Nat. Vol. Essent. Oils, Special Issue. Publisher: Badebio Ltd. Turkey (7-10 September) 1: 267.*
- Yahyaoui M, Ghazouani N, Sifaoui I, Abderrabba M. 2017. Comparison of the effect of various extraction methods on the phytochemical composition and antioxidant activity of *Thymelaea hirsuta* L. aerial parts in Tunisia. *Journal of Biosciences Biotechnology Research Asian* 14 (3): 997-1007.

- Yahyaoui M, Ghazouani N, Saoudi S, Sifaoui I, Chammem N, Abderrabba M. 2018<sup>a</sup>. Experimental design methodology application in the optimization of phytochemical compounds extraction and antioxidant activity of *Thymelaea hirsuta* extracts. Journal Mater Environ Science 9 (5) : 1551-1561.
- Yahyaoui M, Bouajila J, Cazaux S, Abderrabba M. 2018<sup>b</sup>. The impact of regional locality on chemical composition, antioxidant and biological activities of *Thymelaea hirsuta* L. extracts. Journal Phytomedecine 41 (1): 13 - 23.
- Zedam A, Fenni M. 2015. Vascular flora analysis in the Southern part of Chott El Hodna wetland (Algeria). Advances in Environmental Sciences - International Journal of the Bioflux Society. AES Bioflux 7 (3): 357 - 368.
- Zaika L.L. 1988. Spices and herbs: their antimicrobial activity and its determination. Journal of Food safety 9 (2) : 97-118.
- Zahalka J.P. 2010. Les huiles essentielles (230 huiles essentielles, 170 maux traités). Ed. Dauphin. Pp : 12 - 39.
- Zhiri A and Baudoux D. 2005. Huiles essentielles chémotypées et leurs synergies. Luxembourg. Editions Inspir Development. P 8.
- Ziyyat A, Legssyer A, Mekhfi H, Dassouli A, Serhrouchni M, Benjelloun W. 1997. Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco. Journal of Ethnopharmacology 58 (1): 45-54.
- Site internet : [www.tela-botanica.org](http://www.tela-botanica.org)

# ANNEXES

# ANNEXE

## « 1 »

**Tableau 1 : La liste floristique des forêts de Dréat et Ouanougha**

N°	Taxons selon QUEZEL & SANTA (1962)	Familles botaniques	Type biologique	Type chorologique
1	<i>Cedrus atlantica</i> (Manetti) Holm	<i>Abiétaceae</i>	Pha	<i>Oro-Méd.</i>
2	<i>Pinus halepensis</i> Mill.	<i>Abiétaceae</i>	Pha	<i>Méd.</i>
3	<i>Acer monspessulanum</i> L ssp. <i>eumonspessulanum</i> P.Four.	<i>Aceraceae</i>	Pha	<i>Méd.</i>
4	<i>Acer campestre</i> L.		Pha	<i>Eur. As.</i>
5	<i>Pistacia atlantica</i> Desf	<i>Anacardiaceae</i>	Pha	<i>End NA</i>
6	<i>Pistacia lentiscus</i> L.		Pha	<i>Méd.</i>
7	<i>Ammoides verticillata</i> (Desf) Briq (= <i>A. pusilla</i> (Brot) Breistr)	<i>Apiacées</i> ( <i>Ombellifères</i> )	Thé	<i>Méd.</i>
8	<i>Ferula communis</i> L.	<i>Apiacées</i>	Hé	<i>Méd.</i>
9	<i>Foeniculum vulgare</i> (Miller.) Gaertn. Ch	<i>Apiacées</i>	Thé	<i>Méd.</i>
10	<i>Kundmannia sicula</i> Dc	<i>Apiacées</i>	Hé	<i>Méd.</i>
11	<i>Pituranthus scoparius</i> (Coss et Dur) Benth et Hook	<i>Apiacées</i>	Cha	<i>End NA</i>
12	<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	<i>Apiacées</i>	Hé	<i>Eur. Méd</i>
13	<i>Smyrniolum olusatrum</i> L.	<i>Apiacées</i>	Hé	<i>Méd.</i>
14	<i>Thapsia garganica</i> L.	<i>Apiacées</i>	Hé	<i>Méd.</i>
15	<i>Thapsia villosa</i> L.		Hé	<i>Méd.</i>
16	<i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link.	<i>Apiacées</i>	Thé	<i>Paléo -Tempé</i>
17	<i>Nerium oleander</i> L.	<i>Apocynacées</i>	Pha	<i>Méd.</i>
18	<i>Ambrosina bassii</i> L.	<i>Aracées</i>	Géo	<i>Méd.</i>
19	<i>Anacyclus clavatus</i> Desf	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Eur, Méd</i>
20	<i>Anacyclus valentinus</i> L		Thé	<i>Méd.</i>
21	<i>Artemisia absinthium</i> L.	<i>Astéracées</i>	Hé	<i>Méd.</i>

22	<i>Artemisia campestris</i> L.		Cha	<i>Méd.</i>
23	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.		Cha	<i>Espèces des Canaries à l’Egypte, Asie occidentale</i>
24	<i>Asteriscus pygmaeus</i> Coss et Kral(= <i>Pallenis hierochuntica</i> )	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Sah-Sind</i>
25	<i>Atractylis cancellata</i> (L) (P.)	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Circum-Méd</i>
26	<i>Atractylis flava</i> Desf.		Thé	<i>Méd.</i>
27	<i>Atractylis gummifera</i> L (= <i>Carlina gummifera</i> DC)		Hé	<i>Ibéro Maur</i>
28	<i>Atractylis humilis</i> L		Hé	<i>Ibéro Maur.</i>
29	<i>Atractylis serratuloides</i> Sieb		Hé	<i>Sah</i>
30	<i>Bellis annua</i> L.	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Circum-Méd</i>
31	<i>Bellis sylvestris</i> L.		Hé	<i>Circum-Méd.</i>
32	<i>Calendula aegyptica</i> Desf.	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Euras.</i>
33	<i>Calendula arvensis</i> L.		Thé	<i>Sub-Méd.</i>
34	<i>Calendula bicolor</i> Raf.		Thé	<i>Canaries, Sicile, Grèce, Afrique septentrionale</i>
35	<i>Carduncellus pinnatus</i> (Desf) DC	<i>Astéracées</i>	Hé	<i>Sicile.A,N, Lybie,</i>
36	<i>Carduus pteracanthus</i> Dur.	<i>Astéracées</i>	Hé	<i>Ibéro-Maur.</i>
37	<i>Carduus pycnocephalus</i> L.		Hé	<i>Euras</i>
38	<i>Carduus tenuiflorus</i> Curtis		Hé	/
39	<i>Carlina lanata</i> L.	<i>Astéracées</i>	Thé	<i>Circum-Méd.</i>
40	<i>Carlina involucrata ssp corymbosa</i> Q et S		Cha	<i>Euras.NA</i>
41	<i>Catananche caerulea</i> L	<i>Astéracées</i>	Hé	<i>O-Méd.</i>
42	<i>Catananche lutea</i> L.		Thé	<i>Méd.</i>
43	<i>Centaurea acaulis</i> L. p.p.	<i>Astéracées</i>	Hé	<i>A.N</i>
44	<i>Centaurea calcitrapa</i> L		/	<i>Méd</i>
45	<i>Centaurea parviflora</i> Desf		Hé	<i>Algéro-Tunisien</i>
46	<i>Centaurea pullata</i> L.		Thé	<i>Méd</i>
47	<i>Centaurea pungens</i> Pomel		Thé	<i>Sah</i>

48	<i>Chrysanthemum fuscatum</i> Desf Var <i>fuscata</i> Q et S.	Astéracées	Thé	N-A
49	<i>Cirsium echinatum</i> (Desf) DC	Astéracées	Thé	W. Méd
50	<i>Crepis vesicaria</i> L.	Astéracées	Thé	Eur, Méd.
51	<i>Crupina vulgaris</i> Cass	Astéracées	Thé	Méd
52	<i>Cynara cardunculus</i> L.	Astéracées	Thé	Méd.
53	<i>Evax pygmaea</i> (L).Brot	Astéracées	Thé	Circum-Méd
54	<i>Filago spathulata</i> Presl (= <i>Filago pyramidata</i> L).	Astéracées	Thé	Méd
55	<i>Galactites elegans</i> (All)	Astéracées	Thé	Circum -Méd.
56	<i>Galactites tomentosus</i> (L) Moench		Thé	Circum -Méd.
57	<i>Geropogon glaber</i> L.	Astéracées	Thé	Eur, Méd.
58	<i>Hyoseris radiata</i> L.	Astéracées	Hé	Eur, Méd
59	<i>Hypochoeris radicata</i> L	Astéracées	Hé	N-A
60	<i>Launaea acanthoclada</i> M.	Astéracées	Thé	Ibéro -Maur, Macar.
61	<i>Launaea nudicaulis</i> (L.) Hook.f.		Thé	Méd, Saharo -Sind.
62	<i>Leontodon hispidulus</i> (Del.)Boiss.	Astéracées	Thé	Méd
63	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Astéracées	Thé	Euras, Macar
64	<i>Matricaria pubescens</i> (Desf).Sch.Bip (= <i>Aaronsohnia pubescens</i> subsp.maroccana)		Thé	Sahara
65	<i>Micropus bombycinus</i> Lag. (= <i>Bombycilaena discolor</i> (Pers.) Lainz.)	Astéracées	Thé	Euras, N-A, Trop.
66	<i>Micropus supinus</i> L.		Thé	S- Méd.
67	<i>Ormenis praecox</i> (Link.)Eriq (= <i>Chamaemelum fuscatum</i> )	Astéracées	Thé	Méd
68	<i>Pallenis spinosa ssp cuspidata</i> (Pomel) Batt	Astéracées	Hé	Eur-N-A.
69	<i>Phagnalon rupestre</i> L. DC	Astéracées	Cha	Circum-Méd
70	<i>Phagnalon saxatile</i> (L) .Cass		Cha	O-Méd.
71	<i>Pulicaria arabica ssp inuloides</i> (DC) M.	Astéracées	Hé	Afr. Sept. Arabie. Pétrée

72	<i>Reichardia picroides</i> (L.) Roth ssp <i>eu-picroides</i> M.	Astéracées	Hé	Méd
73	<i>Rhagadiolus stellatus</i> (L.) Gaertn.	Astéracées	Hé	Eur- Méd
74	<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	Astéracées	/	/
75	<i>Santolina rosmarinifolia</i> L.		/	Ibero-Maur
76	<i>Scorzonera laciniata</i> L.	Astéracées	Cha	Sub- Méd.
77	<i>Scorzonera undulata</i> Vahl.		Cha	Méd
78	<i>Senecio leucanthemifolius</i> Poiret (= <i>Senecio transiens</i> Rouy, Jeanm)	Astéracées	Thé	W. Méd.
79	<i>Senecio nebrodensis</i> L.		Hé	Canar. Syrie
80	<i>Senecio vulgaris</i> L.		Thé	Méd
81	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Astéracées	Thé	Cosmo
82	<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex Wiggers	Astéracées	Thé	Méd
83	<i>Urospermum picroides</i> (L) Schmidt	Astéracées	Thé	Eur, Méd
84	<i>Xeranthemum inapertum</i> (L.) Mill	Astéracées	Thé	Sub-Cosmo
85	<i>Anchusa azurea</i> Mill.	Borraginacées	Thé	Eur, Méd
86	<i>Borago officinalis</i> L.	Borraginacées	Thé	W-Méd
87	<i>Elizaldia violacea</i> (Desf.)Johnst	Borraginacées	Thé	Sud-Méd
88	<i>Lithospermum arvense</i> L.	Borraginacées	Thé.	Méd
89	<i>Myosotis collina</i> Hoffm.	Borraginacées	Géo	Méd
90	<i>Alyssum granatense</i> Boiss et Reut.	Brassicacées	Thé.	Euras
91	<i>Biscutella didyma</i> L.	Brassicacées	Thé.	Méd
92	<i>Brassica amplexicaulis</i> (Desf.) Pomel.	Brassicacées	Thé	Afrique du Nord, Sicilien.
93	<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	Brassicacées	Thé	Méd
94	<i>Clypeola jonthlaspi</i> L.	Brassicacées	Thé	Méd, Irano-touranien.
95	<i>Coronopus squamatus</i> (Forsk.) Asch	Brassicacées	Thé	Eur, Méd
96	<i>Diplotaxis harra</i> (Frosk) Boiss.	Brassicacées	Hé	Méd.- Iran –
97	<i>Draba muralis</i> L.	Brassicacées	Thé	Euras

98	<i>Enarthrocarpus lyratus</i> (Forsk) DC	Brassicacées	Thé	<i>E. Méd</i>
99	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Car.	Brassicacées	Thé	<i>Méd</i>
100	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv	Brassicacées	Hé	<i>Méd</i>
101	<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire.	Brassicacées	Cha	<i>Méd</i>
102	<i>Moricandia arvensis</i> (L.) DC.	Brassicacées	Cha	<i>Méd, Saharo-sindique.</i>
103	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Brassicacées	Thé	<i>Méd</i>
104	<i>Thlaspi perfoliatum</i> L.	Brassicacées	Thé	<i>Eur, Méd</i>
105	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	Caryophyllacées	Thé	<i>Cosmo</i>
106	<i>Herniaria fontanesii</i> Gray	Caryophyllacées	Hé	<i>Ib-Maur-Cen</i>
107	<i>Paronychia argentea</i> (Pourr.) Lamk.	Caryophyllacées	Hé	<i>Méd</i>
108	<i>Paronychia capitata</i> (L.)Lamk.		Hé	<i>Méd</i>
109	<i>Polycarpon tetraphyllum</i> L.	Caryophyllacées	Thé	<i>Méd</i>
110	<i>Silene fuscata</i> Link.	Caryophyllacées	Thé	<i>Méd</i>
111	<i>Silene italica</i> L.		Thé	<i>Méd</i>
112	<i>Silene rubella</i> L (= <i>Silene diversifolia</i> Otth).		Thé	<i>Méd</i>
113	<i>Silene tridentata</i> Desf.		Thé	<i>Ibéro-Maur</i>
114	<i>Spergula pentandra</i> L.	Caryophyllacées	Thé	<i>Méd, Atl</i>
115	<i>Telephium impearti</i> L	Caryophyllacées	Pha	<i>Méd</i>
116	<i>Cistus albidus</i> L.	Cistacées	Cha	<i>W-Méd</i>
117	<i>Cistus libanotis</i> L.		Cha	<i>Ibéro, Baléares, Sicile, NA</i>
118	<i>Cistus monspeliensis</i> L.		Pha	<i>Méd</i>
119	<i>Cistus salvifolius</i> L.		Cha	<i>Euras, Méd</i>
120	<i>Cistus villosus</i> L.		Cha	<i>Méd</i>
121	<i>Fumana thymifolia</i> (L.) Verlot.	Cistacées	Hé	<i>Euras, A-sept</i>
122	<i>Helianthemum hirtum</i> Mill .ssp.ruficomum (Viv.)M.	Cistacées	Thé	<i>Afrique du Nord</i>
123	<i>Helianthemum ledifolium</i> (L)Mill		Thé	<i>Canaries, Euras, Afrique septentrionale</i>

124	<i>Helianthemum villosum</i> Thib.		Thé	<i>Ibéro –Maur</i>
125	<i>Helianthemum virgatum</i> (Desf.) Pers.		Thé	<i>Ibéro-Maur</i>
126	<i>Anabasis articulata</i> L. (Forsk)	<i>Chénopodiacées</i>	Hé	<i>Sah-Sind</i>
127	<i>Atriplex halimus</i> L	<i>Chénopodiacées</i>	Cha	<i>Cosmop</i>
128	<i>Atriplex hortensis</i> L.		/	/
129	<i>Convolvulus altheoides</i>	<i>Convolvulacées</i>	Hé	<i>Macar, Méd.</i>
130	<i>Cuscuta epithymum</i> L	<i>Convolvulacées</i>	Thé	<i>Cosmo</i>
131	<i>Cotyledon umbilicus veneris</i> L.	<i>Crassulacées</i>	Géo	<i>Méd, Atlant</i>
132	<i>Sedum acre subsp. neglectum</i> (Ten) Archang	<i>Crassulacées</i>	Thé	<i>Euras</i>
133	<i>Sedum album</i> L		Cha	<i>Euras</i>
134	<i>Sedum nevadense</i> Coss.		Géo	<i>Ibéro -Maur</i>
135	<i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau.		Cha	<i>Méd</i>
136	<i>Bryonia dioïca</i> Jacq.	<i>Cucurbitacées</i>	Géo	<i>Euras</i>
137	<i>Ecballium elaterium</i> Rich.	<i>Cucurbitacées</i>	Géo	<i>Méd</i>
138	<i>Cupressus sempervirens</i> L (P.)	<i>Cupressacées</i>	Pha	<i>Europe orientale, Asie occidentale</i>
139	<i>Juniperus oxycedrus</i> L	<i>Cupressacées</i>	Pha	<i>Circum-Méd</i>
140	<i>Juniperus phoenica</i> L. (= <i>Juniperus turbinata</i> .Guss. subsp. <i>turbinata</i> .)		Pha	<i>Circum-Méd</i>
141	<i>Carex halleriana</i> Asso	<i>Cypéracées</i>	Hé	<i>Méd</i>
142	<i>Scirpus holoschoenus</i> L.	<i>Cypéracées</i>	Hé	<i>Paléo-temp</i>
143	<i>Knautia arvensis</i> L.	<i>Dipsacées</i>	Hé	<i>Eur, As</i>
144	<i>Scabiosa atropurpurea</i> L. ssp. <i>maritima</i> (L) Fiori et Paol.	<i>Dipsacées</i>	Hé	<i>Méd</i>
145	<i>Scabiosa stellata</i> L (= <i>Lomotosta stellata</i> (L.) Rafin).		Thé	<i>O-Méd</i>
146	<i>Euphorbia bivonae</i> Steud	<i>Euphorbiacées</i>	Thé	<i>A-N.SIC</i>
147	<i>Euphorbia exigua</i> L.		Thé	<i>Méd. Eur</i>
148	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.		Thé	<i>Euras</i>

149	<i>Euphorbia segetalis ssp pinea</i> (L.) Rouy		Hé	<i>Méd-Atl</i>
150	<i>Euphorbia sulcata</i> De Lens ex Loisel		Thé	<i>W-Méd</i>
151	<i>Anthyllis montana</i> L.	<i>Fabacées</i>	Thé	<i>Oro -Sub -Eur</i>
152	<i>Anthyllis tetraphylla</i> L.		Thé	<i>Méd</i>
153	<i>Anthyllis vulneraria</i> L.		Thé	<i>Eur-Méd</i>
154	<i>Astragalus armatus</i> Willd	<i>Fabacées</i>	Cha	<i>Endémique à l'Afrique du nord</i>
155	<i>Astragalus cruciatus</i> Link.		Thé	<i>Méd,Sah</i>
156	<i>Astragalus hamosus</i> L.		Thé	<i>Méd</i>
157	<i>Astragalus sesameus</i> L.		Thé	<i>O-Méd</i>
158	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Lamk. (=Calicotome spinosa (L.) Link)	<i>Fabacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
159	<i>Coronilla scorpioides</i> Koch.	<i>Fabacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
160	<i>Cytisus arboreus</i> (Desf.)DC.	<i>Fabacées</i>	Pha	<i>O- Méd</i>
161	<i>Erinacea anthyllis</i> Link (=E.pungens Boiss.).	<i>Fabacées</i>	Cha	<i>Oro. W. Méd</i>
162	<i>Erinacea pungens</i> Boiss		Cha	<i>Oro. W. Méd</i>
163	<i>Genista ferox</i> Poirret (=Genista ifniensis)	<i>Fabacées</i>	Pha	<i>End. A- N</i>
164	<i>Genista microcephalla</i> Coss et Durieu		Pha	<i>End. N.A.</i>
165	<i>Genista tricuspidata</i> Desf.		Cha	<i>End.N.A</i>
166	<i>Genista ulicina</i> Spach		Cha	<i>End</i>
167	<i>Hedysarum coronarium</i> L.	<i>Fabacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
168	<i>Hedysarum spinosissimum</i> L ssp eu spinosissimum Briquet		Thé	<i>Méd</i>
169	<i>Hippocrepis unisiliquosa</i> L (=Hippocrepis biflora Sprengel.)	<i>Fabacées</i>	Thé	<i>Méd.</i>
170	<i>Lathyrus annuus</i> L.	<i>Fabacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
171	<i>Lathyrus articulatus</i> L.		Thé	<i>Méd.</i>
172	<i>Lotus creticus</i> L.	<i>Fabacées</i>	Cha	<i>Méd</i>
173	<i>Lotus edulis</i> L.		Thé	<i>Méd</i>

174	<i>Medicago hispida</i> Gaerth (= <i>Medicago polymorpha</i> L.)	Fabacées	Thé	<i>Méd</i>
175	<i>Medicago italica</i> L.ssp. <i>tornata</i> (L) Emb. Et Maire		Thé	<i>Méd</i>
176	<i>Medicago laciniata</i> (L.)All.		Thé	<i>Méd, Saha.Sind</i>
177	<i>Medicago littoralis</i> Rohde.		Thé	<i>Méd</i>
178	<i>Medicago orbicularis</i> (L) All		Thé	<i>Méd</i>
179	<i>Medicago sativa</i> L.		Hé	<i>Eur. As. devenue sub-Cosmop</i>
180	<i>Medicago tuberculata</i> (L) Willd		Thé	<i>Méd</i>
181	<i>Melilotus elegans</i> Salz	Fabacées	Thé	<i>Méd</i>
182	<i>Melilotus siculus</i> (Turra) Jackson		Pha	<i>Méd</i>
183	<i>Ononis natrix</i> L. (ssp. <i>Natrix ascch.</i> et Graebn.).	Fabacées	Thé	<i>Méd</i>
184	<i>Retama raetam</i> Webb.	Fabacées	Pha	<i>Saharo-sindique.</i>
185	<i>Scorpiurus muricatus</i> ssp <i>eu sulcatus</i>	Fabacées	Hé	<i>Méd</i>
186	<i>Spartium junceum</i> L.	Fabacées	Pha	<i>Méd</i>
187	<i>Trifolium angustifolium</i> L.	Fabacées	Pha	<i>Méd</i>
188	<i>Trifolium nigrescens</i> Viv.		Pha	<i>Méd</i>
189	<i>Trifolium repens</i> L.		Pha	<i>Circumbor</i>
190	<i>Trifolium scabrum</i> L.		Pha	<i>Méd.-Atl</i>
191	<i>Vicia sativa</i> L ssp <i>angustifolia</i> (L.)Gaudin.R.	Fabacées	Thé	<i>Eur, Méd</i>
192	<i>Quercus ilex</i> L. subsp <i>rotundifolia</i> (Lam) (= <i>Quercus ilex.subsp.ballota</i> (Desf.)Samp.	Fagacées	Pha	<i>Méd</i>
193	<i>Erodium cicutarium</i> L'Her.	Géraniacées	Thé	<i>Méd</i>
194	<i>Erodium malacoides</i> (L.) Willd (= <i>Erodium malacoides</i> (L.) L'Herit).		Thé	<i>Méd</i>
195	<i>Erodium moschatum</i> (Burm.) L'Her.		Thé	<i>Méd</i>
196	<i>Erodium triangulare</i> (Forsk.) Musch (= <i>Erodium laciniatum</i> (Cav) Willd).		Thé	<i>Méd</i>
197	<i>Geranium lucidum</i> (Bouhin) L.	Géraniacées	Thé	<i>Méd. Atl</i>

198	<i>Geranium molle</i> L.		Thé	<i>Euras</i>
199	<i>Geranium pyrenaicum</i> Burn.		Thé	<i>Euras</i>
200	<i>Geranium robertianum</i> L.		Thé	<i>Cosmo</i>
201	<i>Globularia alypum</i> L.	<i>Globulariacées</i>	Cha	<i>Méd</i>
202	<i>Gladiolus byzantinus</i> Mill.(= <i>Gladiolus communis</i> subsp.byzantinus (Miller)Douin).	<i>Iridacées</i>	Géo	<i>Méd</i>
203	<i>Gladiolus segetum</i> Ker-Gawl. (= <i>Gladiolus italicus</i> Miller).		Géo	<i>Méd</i>
204	<i>Iris juncea</i> Poir.	<i>Iridacées</i>	Géo	<i>O-Méd</i>
205	<i>Iris sisyrynchium</i> L (= <i>Gynandiris sisyrynchium</i> (L.) Parl).		Géo	<i>Paléo-sub-tropicale</i>
206	<i>Iris spuria</i> L (Var. <i>Reichenbachiana</i> (Klatt) Dykers).		Pha	<i>Eur</i>
207	<i>Romulea bulbocodium</i> (L.) Sebast et Maur (= <i>Romulea ligustica</i> Parl)	<i>Iridacées</i>	Géo	/
208	<i>Juglans regia</i> L.	<i>Juglandacées</i>	/	/
209	<i>Juncus maritimus</i> Lamk	<i>Juncacées</i>	Cha	<i>Sub-Cosmo</i>
210	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreber	<i>Lamiacées</i>	Cha	<i>Méd</i>
211	<i>Cleonia lusitanica</i> L	<i>Lamiacées</i>	Thé	<i>Ibéro-pur</i>
212	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	<i>Lamiacées</i>	Thé	<i>Cosmo</i>
213	<i>Lamium longiflorum</i> Ten. (= <i>Lamium garganicum</i> L.subsp.longiflorum (Ten.) Kerguelén).		Hé	<i>Circum-Méd</i>
214	<i>Lavandula stoechas</i> L	<i>Lamiacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
215	<i>Lycopus europaeus</i> L.	<i>Lamiacées</i>	Hé	<i>Circum-boréale</i>
216	<i>Marrubium vulgare</i> L	<i>Lamiacées</i>	Hé	<i>Cosmo</i>
217	<i>Mentha spicata</i> L,em. Huds	<i>Lamiacées</i>	Cha	<i>E Méd.</i>
218	<i>Origanum glandulosum</i> Desf.	<i>Lamiacées</i>	Hé	<i>Alg.-Tun</i>
219	<i>Phlomis herba-venti</i> L	<i>Lamiacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
220	<i>Prasium majus</i> L	<i>Lamiacées</i>	Pha	<i>Méd</i>

221	<i>Prunella laciniata</i> L.	Lamiacées	Hé	Euras
222	<i>Rosmarinus officinalis</i> L	Lamiacées	Pha	Méd
223	<i>Rosmarinus tournefortii</i> de Noé (= <i>Rosmarinus eriocalyx</i> Jordanet Fournier).		Pha	End
224	<i>Salvia verbenaca</i> (L.) Briq.	Lamiacées	Hé	Méd, Atlant
225	<i>Sideritis montana</i> L.	Lamiacées	Thé	Méd
226	<i>Teucrium chamaedrys</i> L	Lamiacées	Cha	Eur, Méd
227	<i>Teucrium polium</i> L.(p.p)		Cha	Eur, Méd
228	<i>Teucrium pseudo-chamaepitys</i> L.		Cha	O- Méd
229	<i>Thymus ciliatus</i> ssp. <i>eu-ciliatus</i> Maire.	Lamiacées	Cha	End. A- N
230	<i>Thymus hirtus</i> Willd. (= ? <i>Thymus algeriensis</i> ).		Cha	Ibéro-Maur
231	<i>Ziziphora hispanica</i> L.	Lamiacées	Thé	Ibéro-Maur
232	<i>Laurus nobilis</i> L.	Lauracées	Pha	Méd
233	<i>Allium cepa</i> L.	Liliacées	/	/
234	<i>Allium roseum</i> L		Géo	Méd
235	<i>Allium sativum</i> L.		/	/
236	<i>Asparagus albus</i> L.	Liliacées	Pha	O- Méd
237	<i>Asparagus officinalis</i> L.		Pha	Euras
238	<i>Dipcadi serotinum</i> (L.) Medik.	Liliacées	Géo	Méd
239	<i>Fritillaria messanensis</i> Raf. Var <i>glauca</i> .	Liliacées	Géo	Espagne, Italie, Crèce, Balkans
240	<i>Gagea foliosa</i> (Presl.) Sch.	Liliacées	Géo	O- Méd
241	<i>Gagea reticulata</i> (Pall.) Sch.		Géo	Est- Méd
242	<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill	Liliacées	Géo	Méd
243	<i>Muscari neglectum</i> Guss		Géo	Eur, Méd
244	<i>Ruscus aculeatus</i> L.	Liliacées	Pha	Atl.Méd
245	<i>Scilla obtusifolia</i> Poirret	Liliacées	Géo	Corse, Sardaigne, Sicile.
246	<i>Scilla peruviana</i> L.		Géo	Madère, O-Méd
247	<i>Tulipa sylvestris</i> L.	Liliacées	Géo	Eur, Méd

248	<i>Linum strictum</i> L.	Linacées	Thé	Méd
249	<i>Linum suffruticosum ssp suffruticosum</i> Maire		Cha	W-Méd
250	<i>Malva parviflora</i> L.	Malvacées	Thé	Méd
251	<i>Malva sylvestris</i> L.		Thé	Euras
252	<i>Ficus carica</i> L.	Moracées	Pha	Méd
253	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Myrtacées	Pha	/
254	<i>Jasminum fruticans</i> L	Oléacées	Pha	Méd
255	<i>Olea europea</i> Var <i>Sativa</i> L.	Oléacées	Pha	Méd
256	<i>Olea europea</i> Var <i>Oleaster</i> (L)Dc.		Pha	Méd
257	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	Oléacées	Pha	Méd
258	<i>Aceras anthropophorum</i> L. Ait	Orchidacées	Géo	Atlantique, Méd
259	<i>Ophrys fusca</i> Link.	Orchidacées	Géo	Méd
260	<i>Ophrys lutea</i> Cav		Géo	Méd/Sub-Méd
261	<i>Ophrys speculum</i> Link		Géo	Circum-Méd
262	<i>Fumaria capreolata</i> L.	Papavéracées	Thé	Méd
263	<i>Glaucium corniculatum</i> Curtis	Papavéracées	Thé.	Méd
264	<i>Papaver hybridum</i> L.	Papavéracées	Thé.	Méd
265	<i>Papaver rhoeas</i> L.		Thé.	Paléo- Temp
266	<i>Roemeria hybrida</i> (L.) Dc	Papavéracées	Thé.	Méd, Irano-touranien.
267	<i>Plantago albicans</i> L	Plantaginacées	Hé	Méd
268	<i>Plantago lagopus</i> L.		Thé	Méd
269	<i>Aegilops triuncialis ssp eu-ovata</i> Eig	Poacées	Thé	Méd-Irano-Tour
270	<i>Agrostis semiverticillata</i> (Forsk.)	Poacées	Thé	Paléo- Tempé
271	<i>Ampelodesma mauritanicum</i> (Poir.) Dur et Schinz.	Poacées	Pha	W. Méd
272	<i>Avena alba</i> L.	Poacées	Thé	Méd, Irano-touranien.
273	<i>Avena sterilis</i> L.		Thé	Macar, Méd, Irano touranien.
274	<i>Bromus madritensis</i> L.	Poacées	Thé	Eur, Méd
275	<i>Bromus rubens</i> L.		Thé	Paléo-sub-tropicale

276	<i>Cynosurus elegans</i> auct Eur,non Desf (= <i>C. effusus</i> Link)	Poacées	Thé	Méd-macar
277	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Poacées	Hé	Paléo-temperée
278	<i>Echinaria capitata</i> (L.) Desf	Poacées	Thé	Atlantique, Méd
279	<i>Hordeum murinum</i> L.	Poacées	Thé	Circum-boréale
280	<i>Koeleria phleoides</i> (Vill.)Pers (= <i>Rostraria cristata</i> (L.)Tzevelev).	Poacées	Thé	Sub-Cosmo
281	<i>Koeleria pubescens</i> L (= <i>Lophochloa pubescens</i> )		Thé	Méd
282	<i>Lagurus ovatus</i> L.	Poacées	Thé	Macaro, Méd
283	<i>Lolium multiforum</i> Lamk.	Poacées	Thé	Méd
284	<i>Lolium perrene</i> L.		Thé	Circum boréale
285	<i>Lygium spartium</i> L.	Poacées	Hé	O-Méd
286	<i>Oryzopsis miliacea</i> (= <i>Piptatherum miliaceum</i> L.) (L.) Asch et Schiv.	Poacées	Hé	Méd, Irano-touranien
287	<i>Poa bulbosa</i> L.	Poacées	Hé	Paléo-tempé
288	<i>Stipa tenacissima</i> L.	Poacées	Géo	Ibéro-Maur
289	<i>Stipa retorta</i> Cav		Thé	Circum-Méd
290	<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	Polygonacées	Thé	Méd
291	<i>Asplenium ceterach</i> L	Polypodiacées	Hé	Euras tempérée
292	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Primulacées	Thé	Sub-Cosmo
293	<i>Anagallis monelli ssp linifolia</i> (L.) M.		Thé	O-Méd
294	<i>Anagallis monelli</i> L.		Thé	O- Méd
295	<i>Androsace maxima</i> L.	Primulacées	Thé	Euras
296	<i>Asterolinum linum -stellatum</i> (L.) Duby (= <i>Aesterolinon linum-stellatum</i> (L.)Dubey)	Primulacées	Thé	Méd
297	<i>Coris monspeliensis</i> L.	Primulacées	Thé	Méd
298	<i>Adonis annua</i> L.	Ranunculacées	Cha	Euras
299	<i>Clematis cirrhosa</i> L.	Ranunculacées	Pha	Méd

300	<i>Nigella arvensis</i> L.	Ranunculacées	Thé	Méd
301	<i>Ranunculus bulbosus</i> L.	Ranunculacées	Géo	Euras
302	<i>Ranunculus gramineus</i> L.		Géo.	Sud-ouest.Europe
303	<i>Ranunculus macrophyllus</i> Desf		Géo.	O-Méd
304	<i>Ranunculus sardous</i> Gantz		Géo.	Méd
305	<i>Ranunculus spicatus</i> Desf		Hé	Ibéro Mauritanie, Sicile
306	<i>Reseda alba</i> L.	Résédacées	Thé	Euras
307	<i>Reseda phyteuma</i> L.		Thé	Méd
308	<i>Rhamnus alaternus</i> ssp. <i>myrtifolia</i> (Willd)M	Rhamnacées	Pha	Méd
309	<i>Rhamnus lycioides</i> ssp. <i>oleoides</i> .		Pha	O- Méd
310	<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Desf.	Rhamnacées	Pha	Méd
311	<i>Crataegus azarolus</i> L.	Rosacées	Pha	E.Méd
312	<i>Crataegus oxyacantha</i> L (ssp <i>monogyna</i> (Jacq) Rouy et Camus		Pha	Eur. Méd
313	<i>Geum heterocarpum</i> (Incl <i>R.obuisifolia</i> Desf et <i>R. pouzini</i> Tratt).	Rosacées	Pha	Oro-Méd
314	<i>Prunus armeniaca</i> L.	Rosacées	Pha	Méd
315	<i>Rosa canina</i> L.	Rosacées	Pha	Euras
316	<i>Rosa sempervirens</i> L.		Hé	Euras
317	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	Rosacées	Hé	Euras
318	<i>Asperula hirsuta</i> Desf.	Rubiaceées	Hé	O-Méd
319	<i>Crucianella angustifolia</i> L.	Rubiaceées	Thé	Eur, Méd
320	<i>Galium valantia</i> Webber (= <i>Galium verrucosum</i> Hudson).	Rubiaceées	Thé	Méd
321	<i>Galium verticillatum</i> Danth		Thé	Méd
322	<i>Rubia peregrina</i> L.	Rubiaceées	Cha	Méd, Atlantique
323	<i>Sherardia arvensis</i> L.	Rubiaceées	Thé	Euras.
324	<i>Ruta montana</i> (Clus.) L.	Rutacées	Thé	Euras

325	<i>Saxifraga veronicifolia</i> Pers (= <i>Saxifraga carpetana</i> Boiss).	<i>Saxifragacées</i>	Cha	<i>W. Méd.</i>
326	<i>Linaria laxiflora</i> Desf.	<i>Scrophulariacées</i>	Thé	<i>Sah</i>
327	<i>Linaria reflexa</i> Desf.		Thé	<i>Circum-Méd</i>
328	<i>Linaria simplex</i> Dc.		Thé	<i>Méd</i>
329	<i>Linaria triphylla</i> L.		Thé	<i>Méd</i>
330	<i>Parentucellia latifolia</i> (L) Caruel (= <i>Eufragia latifolia</i> (L) Gris.	<i>Scrophulariacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
331	<i>Scrophularia canina</i> L.	<i>Scrophulariacées</i>	Hé	<i>Méd</i>
332	<i>Veronica cymbalaria</i> Bodard.	<i>Scrophulariacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
333	<i>Lycium europaeum</i> L.	<i>Solanacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
334	<i>Tamarix africana</i> (L) Poiret	<i>Tamaricacées</i>	Pha	<i>W.Méd</i>
335	<i>Daphne gnidium</i> L.	<i>Thymelaeacées</i>	Pha	<i>N-trop</i>
336	<i>Thymelaea hirsuta</i> Endl	<i>Thymelaeacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
337	<i>Thymelaea microphylla</i> Coss et Dur		Cha	<i>End. N.A</i>
338	<i>Typha angustifolia</i> L (= <i>Typha angustifolia</i> )	<i>Typhacées</i>	Géo	<i>Sub-Circumbor</i>
339	<i>Fedia cornucopiae</i> (L.) Gaerth.	<i>Valérianacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
340	<i>Lonicera implexa</i> Ait.	<i>Valérianacées</i>	Pha	<i>Méd</i>
341	<i>Vallerianella coronata</i> (L.) Dc.	<i>Valérianacées</i>	Thé	<i>Méd</i>
342	<i>Valerianella locusta</i> (L.) Laterr		Thé	<i>Méd</i>
343	<i>Peganum harmala</i> L.	<i>Zygophyllacées</i>	Hé	<i>Irano -touranien, Europe.</i>

**Tableau 2 : Les indices de la Biodiversité dans chaque site d'étude**

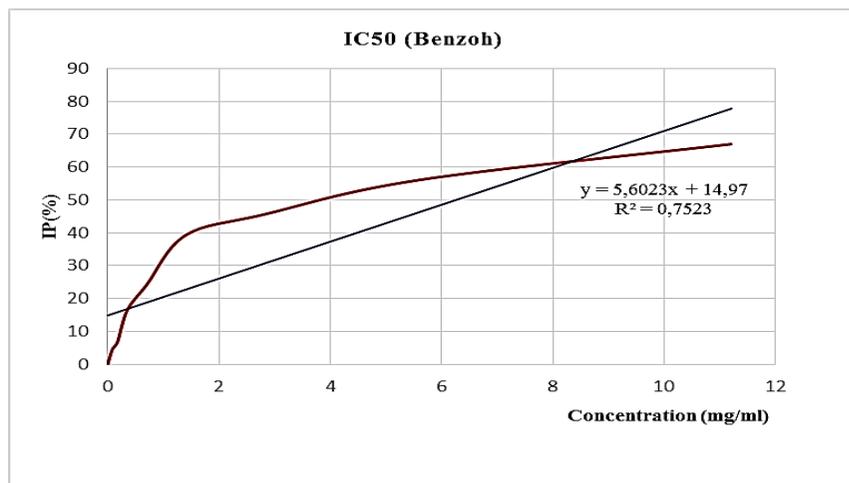
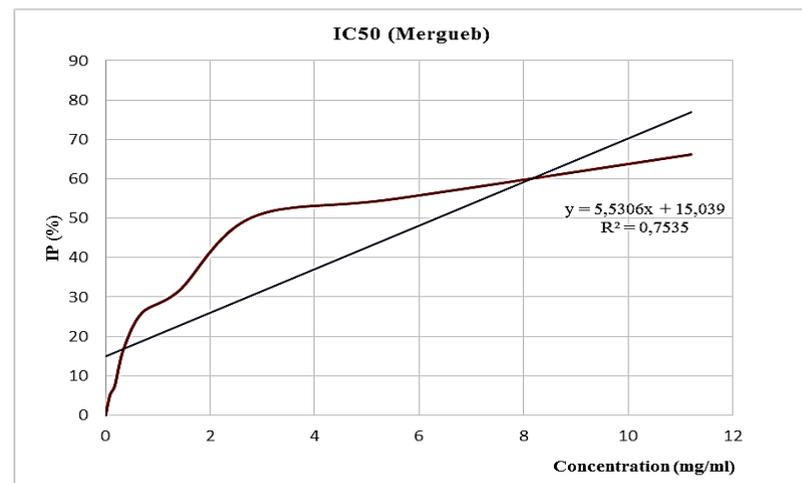
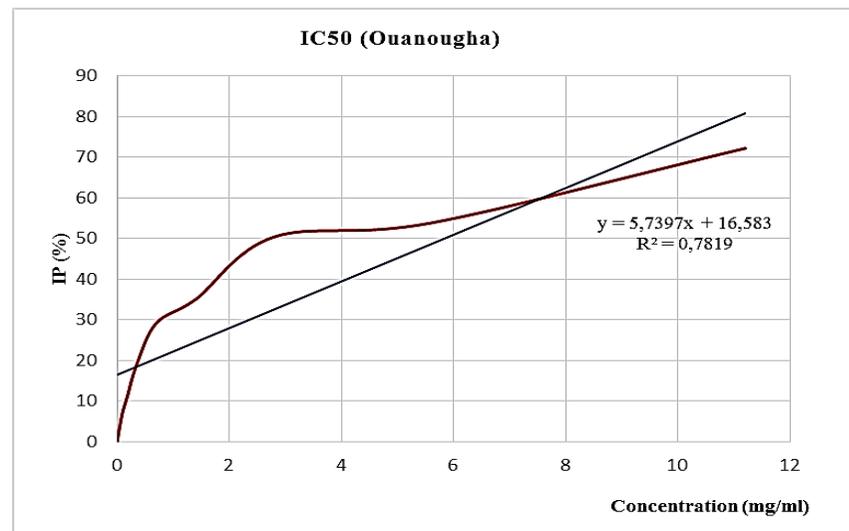
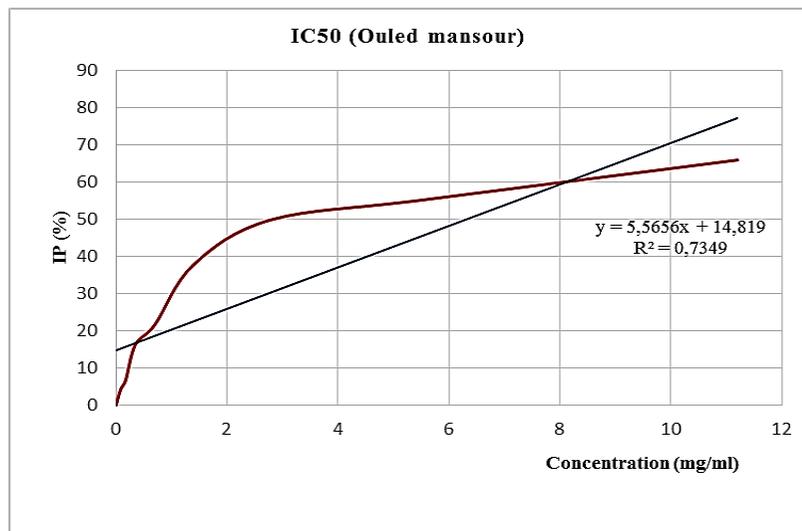
	El haourane							Djebel chedoug						
	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R29	R30	R31	R32	R33	R34	R35
Richesse (S)	19	40	68	104	104	97	61	32	38	70	69	61	57	37
Nombre des individus	52	94	161	231	203	163	107	72	126	219	210	160	140	85
Dominance (D)	0,06361	0,03599	0,02311	0,01404	0,01483	0,01457	0,0235	0,03627	0,03225	0,02617	0,02045	0,02195	0,02235	0,03945
Indice de Simpson	0,9364	0,964	0,9769	0,986	0,9852	0,9854	0,9765	0,9637	0,9678	0,9738	0,9795	0,978	0,9777	0,9606
Indice de Shannon (H')	2,84	3,493	4,003	4,438	4,425	4,406	3,931	3,387	3,535	3,99	4,067	3,964	3,925	3,414
Equitabilité (J)	0,9646	0,947	0,9488	0,9555	0,9527	0,9631	0,9563	0,9773	0,9719	0,9392	0,9606	0,9642	0,9709	0,9453
	Kef el assel						Ahl el-oued							
	R39	R40	R41	R42	R43	R44	R45	R55	R56	R57	R58	R59	R60	R61
Richesse (S)	43	34	48	59	36	45	27	5	23	58	53	44	35	16
Nombre des individus	76	73	110	124	76	86	58	18	65	142	125	92	77	36
Dominance (D)	0,02909	0,03922	0,02744	0,02003	0,03255	0,02704	0,04637	0,2284	0,06509	0,02182	0,02554	0,03379	0,03964	0,09105
Indice de Simpson	0,9709	0,9608	0,9726	0,98	0,9675	0,973	0,9536	0,7716	0,9349	0,9782	0,9745	0,9662	0,9604	0,909
Indice de Shannon (H')	3,65	3,381	3,736	3,993	3,502	3,706	3,174	1,542	2,922	3,937	3,824	3,598	3,394	2,584
Equitabilité (J)	0,9705	0,9587	0,9651	0,9792	0,9772	0,9735	0,9632	0,958	0,932	0,9697	0,9631	0,9507	0,9545	0,932
	Bousstella					Kef el kbir					Sagaa			
	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R36	R37	R38	
Richesse (S)	28	24	50	63	34	17	36	42	46	26	22	46	50	
Nombre des individus	86	79	206	233	100	50	106	147	131	65	52	107	115	
Dominance (D)	0,05165	0,05977	0,02682	0,02282	0,04	0,0736	0,04165	0,03188	0,02896	0,06982	0,05325	0,02594	0,02442	
Indice de Simpson	0,9484	0,9402	0,9732	0,9772	0,96	0,9264	0,9583	0,9681	0,971	0,9302	0,9467	0,9741	0,9756	
Indice de Shannon (H')	3,135	2,993	3,738	3,944	3,371	2,702	3,352	3,586	3,666	2,948	3,001	3,731	3,802	
Equitabilité (J)	0,9408	0,9419	0,9555	0,952	0,9559	0,9538	0,9353	0,9594	0,9575	0,9047	0,9709	0,9744	0,9719	
	Kef ktef zana													
	R62	R63	R64	R65	R66	R67	R68	R69	R70	R71	R72	R73		
Richesse (S)	10	26	45	64	54	46	45	41	35	30	28	41		
Nombre des individus	23	67	100	127	122	101	96	86	63	64	62	94		
Dominance(D)	0,1342	0,04834	0,0308	0,0199	0,02338	0,02774	0,02865	0,02948	0,03855	0,04834	0,04839	0,03984		
Indice de Simpson	0,8658	0,9517	0,9692	0,9801	0,9766	0,9723	0,9714	0,9705	0,9615	0,9517	0,9516	0,9602		
Indice de Shannon (H')	2,137	3,13	3,636	4,035	3,863	3,706	3,67	3,613	3,411	3,217	3,17	3,471		
Equitabilité (J)	0,9283	0,9608	0,955	0,9703	0,9685	0,968	0,9642	0,9729	0,9594	0,9459	0,9512	0,9347		
	Sidi amar													
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11			
Richesse (S)	24	23	40	47	55	47	68	59	67	45	29			

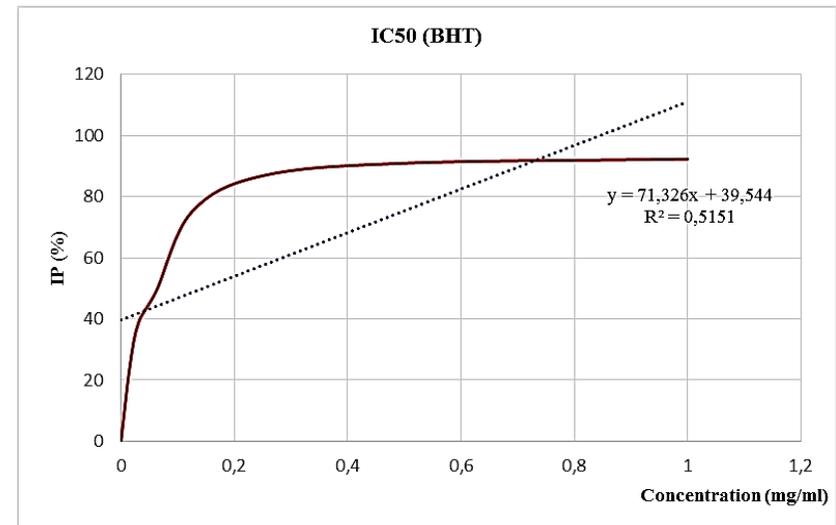
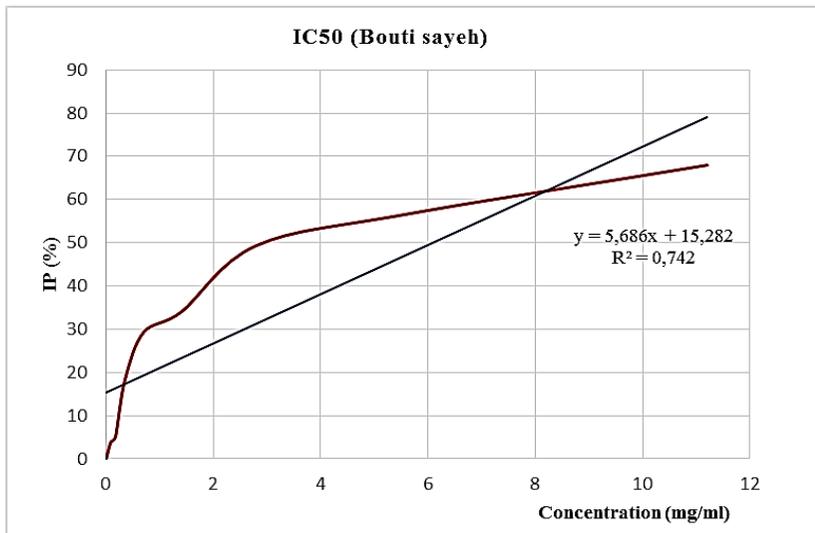
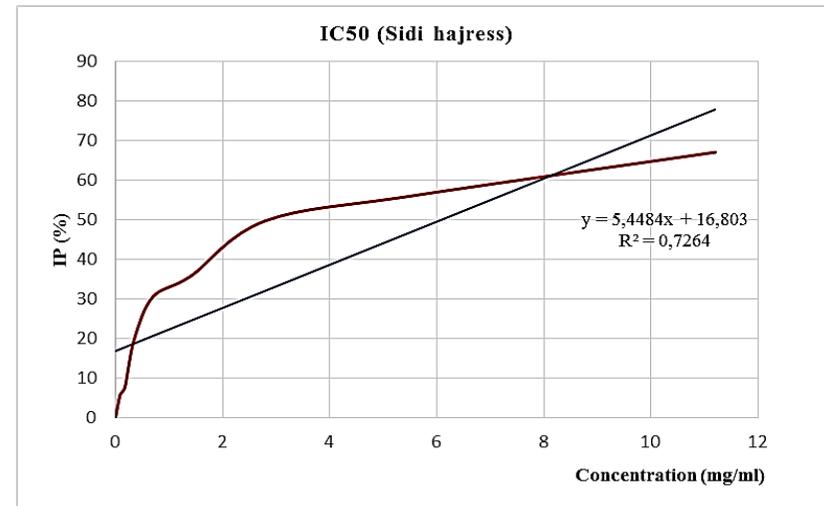
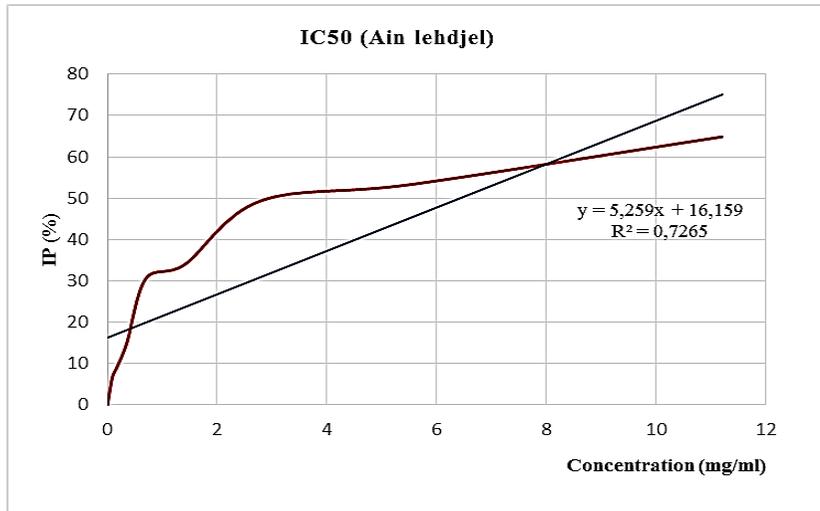
Nombre des individus	66	77	128	133	140	118	157	118	124	92	51
Dominance (D)	0,05923	0,06696	0,03882	0,03465	0,02704	0,03059	0,0213	0,02442	0,01964	0,03095	0,05267
Indice de Simpson	0,9408	0,933	0,9612	0,9653	0,973	0,9694	0,9787	0,9756	0,9804	0,969	0,9473
Indice de Shannon (H')	2,975	2,902	3,463	3,577	3,78	3,653	4,013	3,892	4,061	3,638	3,162
Equitabilité (J)	0,9362	0,9254	0,9389	0,9291	0,9433	0,9488	0,9511	0,9544	0,9659	0,9557	0,9391
	<b>Beloudeh</b>					<b>Boustallough</b>					
	R50	R51	R52	R53	R54	R46	R47	R48	R49		
Richesse (S)	18	27	34	42	27	14	22	30	28		
Nombre des individus	71	90	128	142	84	30	57	81	69		
Dominance (D)	0,07241	0,04741	0,03491	0,02956	0,04875	0,09111	0,06002	0,04374	0,04894		
Indice de Simpson	0,9276	0,9526	0,9651	0,9704	0,9512	0,9089	0,94	0,9563	0,9511		
Indice de Shannon (H')	2,733	3,156	3,426	3,61	3,159	2,5	2,947	3,264	3,171		
Equitabilité (J)	0,9455	0,9577	0,9715	0,9659	0,9585	0,9472	0,9533	0,9596	0,9517		

# ANNEXE

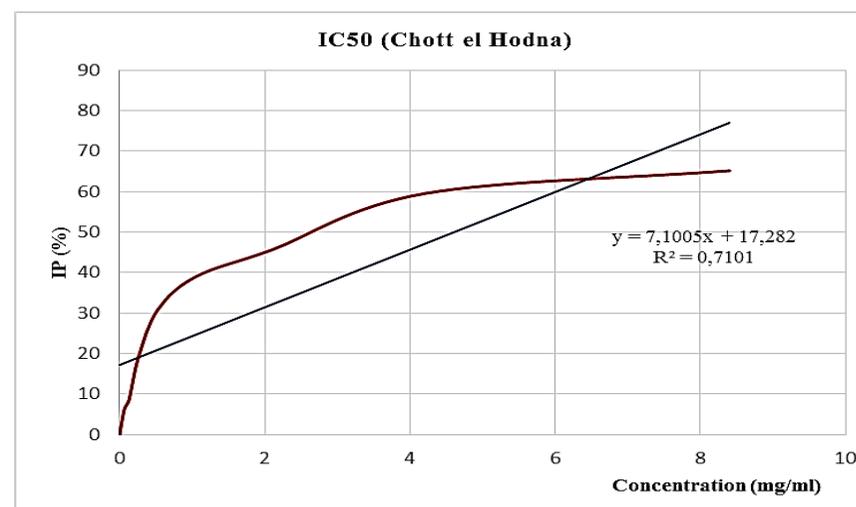
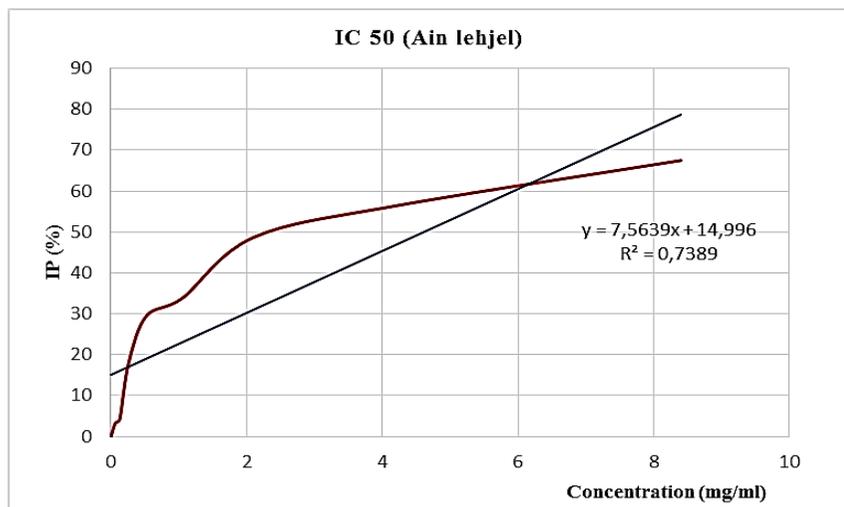
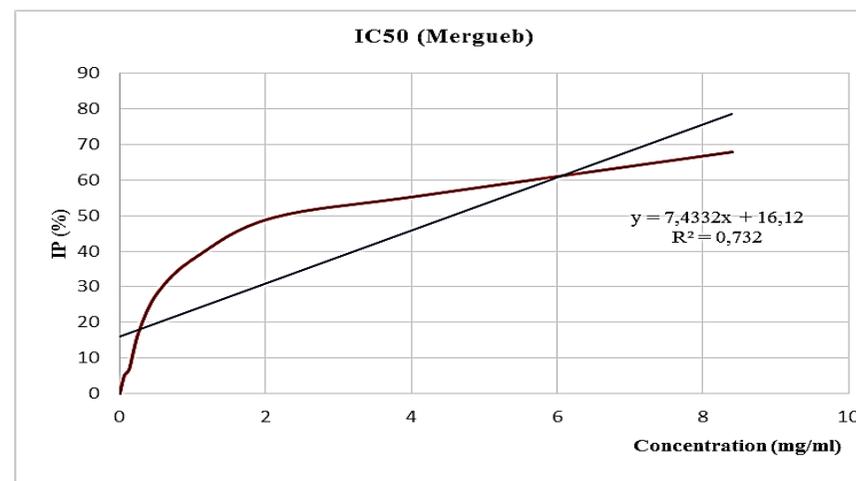
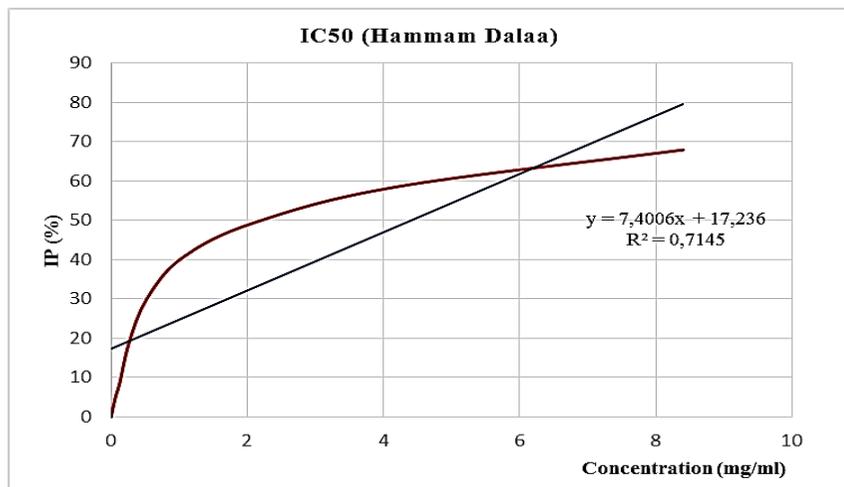
« 2 »

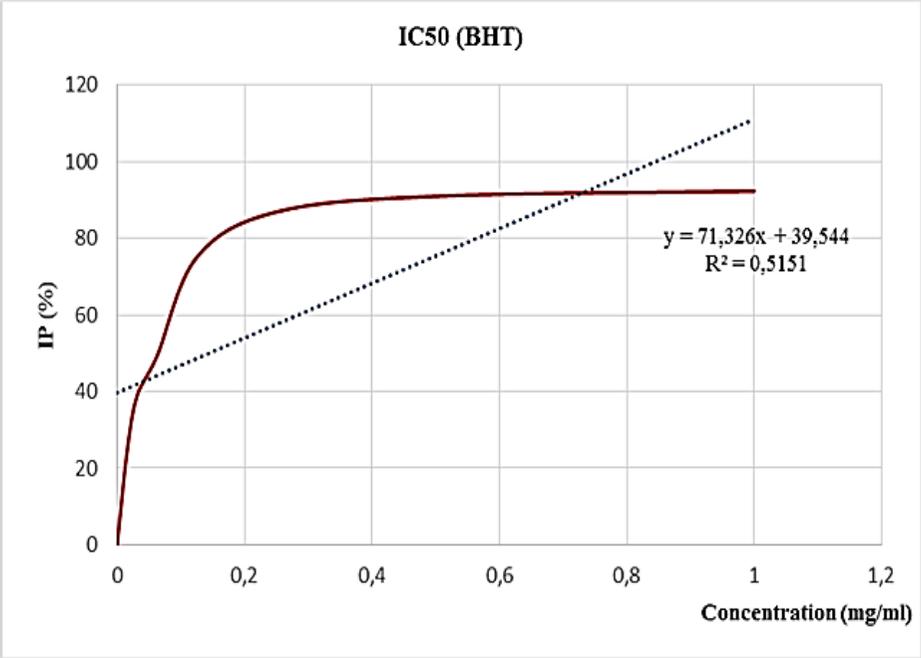
**Figure 1 : Activité anti-radicalaire des huiles essentielles de *T. hirsuta* et celle de la BHT**





**Figure 2 : Activité anti-radicalaire des huiles essentielles de *T. microphylla* et celle de la BHT**





# Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Thymelaea hirsuta* from Algeria

BOUNAB SOUHILA<sup>1</sup>, LOGRADA TAKIA<sup>1</sup>, RAMDANI MESSAOUD<sup>1,✉</sup>, CHALARD PIERRE<sup>2</sup>, FIGUEREDO GILLES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Natural Resource Valorisation, SNV Faculty, Setif 1 University, 19000 Setif, Algeria. ✉email: ramdanimesaoud@yahoo.com

<sup>2</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, ICCF, F-63000 Clermont, Ferrand, France

<sup>3</sup>LEXVA Analytique, 460 Rue Du Montant, 63110 Beaumont, France

Manuscript received: 10 August 2019. Revision accepted: 6 September 2019.

**Abstract.** Souhila B, Takia L, Messaoud R, Pierre C, Gilles F. 2019. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Thymelaea hirsuta* from Algeria. *Biodiversitas* 20: 2868-2876. The objectives of this study were to determine the chemical composition and to evaluate the antibacterial activity of *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl., essential oils from seven sampling locations in M'sila region (Algeria). Extraction of essential oils was carried out by the hydro-distillation; the analysis of chemical composition of essential oil was carried out by GC-MS. Antimicrobial activity was performed by disc diffusion method at the essential oil concentration of non-diluted and diluted (1:2, 1:4 and 1:8 v:v of DMSO) against eight species of bacteria. The results showed that the average yields of essential oils were  $0.3 \pm 0.12\%$ . A total of 45 components were identified, averaging  $98.2 \pm 1.85\%$  of the total oils. The main components were nonanal-n ( $10.39 \pm 3.21\%$ ), hexadecanoic acid ( $9.77 \pm 2.81\%$ ), nonanoic acid ( $9.13 \pm 6.49\%$ ), triacontane ( $7.2 \pm 3.34\%$ ), isopropyl tetradecanoate ( $6.16 \pm 1.99\%$ ) and tridecane ( $4.87 \pm 3.1\%$ ). Based on the UPGMA cluster analysis, there were two clades of *T. hirsuta*. *T. hirsuta* has a chemical polymorphism with different chemotypes marked in nature. There were four chemotypes identified in the essential oil of *T. hirsuta* in the region of M'sila. The essential oil of *T. hirsuta* has antibacterial activity against eight tested bacteria on the concentration-dependent manner.

**Keywords:** Algeria, antibacterial activity, chemotypes, essential oils, *Thymelaea hirsuta*

## INTRODUCTION

The genus *Thymelaea* consists of 31 species with circum-Mediterranean distribution (Galicia-Herbada 2006). In Algeria, there are eight species of *Thymelaea* including *T. hirsuta* (L.) Endl. (Quezel et Santa 1963). Previous studies showed that *T. hirsuta* has no toxic effects on humans (Bnouham et al. 2007; Azza et al. 2012). Various parts of *T. hirsuta* have been widely used in the paper industry (Schmidt et al. 1983).

In traditional medicine, *T. hirsuta* is used as antiseptic, anti-inflammatory and in the treatment of hypertension (Le Floch 1983; Azza et al. 2012; Bnouham et al. 2012; Azza and Oudghiri 2015). It is also used in hypoglycemic, antidiabetic drugs and as an antioxidant (Ziyyat et al. 1997; Djeridane et al. 2006; El Amrani et al. 2009; Akrouit et al. 2011; Trigui et al. 2013; Yahyaoui et al. 2017, 2018a and b). *T. hirsuta* extracts are used as anti-melanogenesis (Kawano et al. 2007), anti-tumor (Akrouit et al. 2011), anti-cholinesterase and anti-cytotoxic (Yahyaoui et al. 2018a). In Algeria, *T. hirsuta* is used as an antioxidant (Amari et al. 2014), and for the treatment of Leishmanicide and eczema (Boudjelal et al. 2013).

The aqueous extracts of *T. hirsuta* from eastern Algeria have an inhibitory activity to the growth of *S. aureus* and *P. aeruginosa* (Deramchia et al. 2017). Kadi et al. (2017) reported that *T. hirsuta* extracts from the Batna are effective against several bacterial species (*P. aeruginosa*,

*E. coli*, and *S. aureus*). The essential oil of *T. hirsuta* has a potent antioxidant activity (Kadri et al. 2011), while essential oils of *T. hirsuta* from Tunisia have significant antibacterial activity against *S. aureus*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* and *Escherichia coli* (Felhi et al. 2017).

*Thymelaea hirsuta* is rich in polyphenols, flavonoids, tannins, and alkaloids (Djeridane et al. 2006; Akrouit et al. 2011; Trigui et al. 2013; Amari et al. 2014; Bouzouina et al. 2016; Yahyaoui et al. 2018 a and b). The essential oil of *T. hirsuta* from Tunisia is very rich in heptane, germacrene-D,  $\gamma$ -eudesmol (Kadri et al. 2011; Benchobba et al. 2014). On the other hand, Yahyaoui et al. (2014) reported that the oils from Tunisian are composed of hexadecanoic acid, stylopsal, 4-8-dimethylhecosan, and 5-7-dodecadienal (Z, Z) (Table 1).

The aims of this study were to determine the chemical composition and to evaluate the antibacterial activity of essential oils of *T. hirsuta* as a source of the natural antibiotic agent.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant materials

*Thymelaea hirsuta*, synonym (*Passerina hirsuta* L and *Passerina metnan* Forsk), is belonging to the family

*Thymelaeaceae* (Schmidt et al. 1983), a perennial shrubby plant can reach 2-3 meters in height. The small leaves are densely imbricated, coriaceous ovoid acute, glabrous below. The flowers are deciduous calyx, yellowish, polygamous, are at the tops of the branches (Figure 1). The fruit is a hairless berry (Quézel et Santa 1963).

Aerial parts of *T. hirsuta* were collected during the flowering stage in May 2017 from M'sila region (Figure 2). The geographical coordinates of sampling locations were noted using a GPS (Table 2).

### Essential oil extraction

The air-dried materials were subjected to hydro-distillation for 3h using a Clevenger apparatus type. Voucher specimens were deposited in the herbarium of the Department of Biology and Ecology, Setif University, Algeria. The oil obtained was collected and dried over anhydrous sodium sulfate and stored in screw-capped glass vials in a refrigerator at 4-5°C before analysis. The yield based on the dry weight of the samples was calculated.

### Essential oil analysis

The essential oils were analyzed on a Hewlett-Packard gas chromatograph CPG/FID 7890, coupled to a gas chromatograph: CPG/MS 7890/5975C, equipped with a Column Apolar: DB5 MS (40m x 0.18mm; 0.18 $\mu$ m), programming from 50°C for 5min – 5°C/min until 300°C. Helium was used as the carrier gas (1.0 ml/min); injection in split mode (1:30), injector and detector temperature is 280°C with split 1/100. The mass spectrometer worked in EI mode at 70 eV; electron multiplier, 2500 V; ion source temperature, 180°C; MS data were acquired in the scan mode in the  $m/z$  range 33450. The identification of the components was based on comparison of their mass spectra with those of NIST mass spectral library (Masada 1979; NIST 2002) and those described by Adams as well as on comparison of their retention indices either with those of authentic compounds or with literature values (Adams 2007).

**Table 1.** Chemical composition of *Thymelaea hirsuta* essential oil of Tunisia

Localities	Gafsa and Sidi Aich	Tunisia 1	Tunisia 2
	A	B	C
References			
Hexadecanoic acid	0	0	15.4
Heptane	28.34	34.2	0
Citronellyl formate	9.98	12.04	0
Trans- $\beta$ -caryophyllene	3.25	3.92	0
Germacrene-D	12.98	15.66	0
$\gamma$ -cadinene	2.55	3.08	0
$\gamma$ -Eudesmol	11.81	14.25	0
Tetradecamethyl-heptasiloxane	11.83	0	0
4, 8-dimethylhecosane	0	0	12.9
13-methylhexacosane	0	0	5
Stylopsal	0	0	15.5
5,7-dodecadienal (Z, Z)-	0	0	12.2

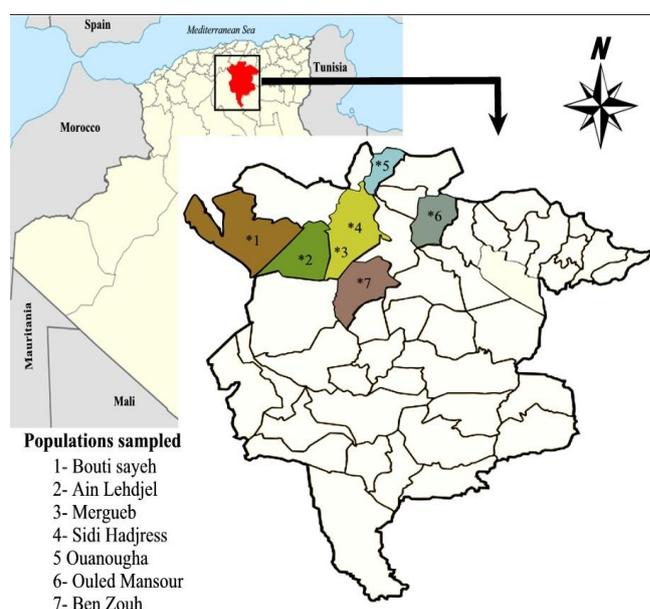
Note: A. Kadri et al. (2011); B. Benchobba et al. (2014); C. Yahyaoui et al. (2014)

**Table 2.** Geographical coordinates of sampling locations

Localities	Lat (N)	Lon (E)	Alt. (m)
1 Bouti sayeh	35° 63' 18"	3° 72' 55"	647
2 Ain Lehdjel	35° 66' 60"	3° 85' 98"	623
3 Mergueb	35° 60' 14"	3° 93' 95"	630
4 Sidi Hadjress	35° 66' 80"	3° 98' 24"	502
5 Ouanougha	35° 58' 51"	4° 11' 10"	922
6 Ouled Mansour	35° 43' 46"	4° 23' 47"	478
7 Ben Zouh	35° 51' 75"	4° 08' 65"	713



**Figure 1.** *Thymelaea hirsuta* from M'sila region, Algeria (Photograph: Bounab, 2017)



**Figure 2.** Locations of collected samples of *Thymelaea hirsuta*

### Antibacterial activity assessment

The in vitro evaluation of the antimicrobial activity was performed by the disc diffusion method against four Gram-positive bacteria (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Enterococcus faecalis* ATCC 51299) and four Gram-negative bacteria (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella enterica* ATCC43972, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853). The bacterial inoculums were prepared from overnight broth culture in physiological saline (0.8% NaCl) to obtain an optical density range from 0.08-0.1 at 625 nm. Muller Hinton agar (MH agar) and MH agar supplemented with 5% sheep blood for fastidious bacteria were poured in Petri dishes, solidified and surface dried before inoculation. Sterile discs (6 mm) were placed on inoculated agars with test bacteria, added with 10  $\mu$ l of stock solution of essential oil and diluted essential oil (1:2, 1:4 and 1:8 v:v of DMSO). DMSO was used as negative control. Bacterial growth inhibition was determined as the diameter of the inhibition zones around the discs. The Petri dishes were incubated at 37°C for 18 to 24h aerobically. All the tests were performed in triplicate, and the means were calculated as final results. The sensitivity to essential oil was classified by diameter of inhibition halos as follows: not sensitive (-) for diameter less than 8 mm; sensitive (+) for diameter 9–14 mm; very sensitive (++) for diameter 15–19 mm and extremely sensitive (+++) for diameter larger than 20 mm (Ponce et al. 2003).

### Statistical analysis

Cluster analysis (UPGMA) was carried out on the original variables and on the Manhattan distance matrix to seek for hierarchical associations among the populations. The cluster analyses were carried out using STATISTICA 10 software. Statistical significance of antibacterial activity results were analyzed by the ANOVA three-way Completely Randomized (Populations, doses, and bacteria) by using the statistical software package (CoStat). All analyses are performed at the 5% significance level ( $P < 0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Chemical analysis

The hydro-distillation of *Thymelaea hirsuta* essential oil gave a pale yellow viscous liquid. The average yield of essential oil of the samples was  $0.3 \pm 0.12\%$ . The highest value (0.4%) was obtained from the samples collected in Benzoh, Bouti Sayeh, and Ain Lejel. The results of the analysis and identification of the essential oil components of *T. hirsuta* using GC-MS was shown in Figure 3.

The chemical analysis of the essential oil of *T. hirsuta* by (GC / MS) showed a total of 45 identified compounds with the average of ( $92.7 \pm 4.8\%$ ) of the total oil. The identified compounds and their abundance were presented in Table 3.

The chemical composition of *T. hirsuta* was dominated by nonanal-n ( $10.39 \pm 3.21\%$ ), with the highest level was in the sample collected from Ouanougha (16.7%). The second highest compound was hexadecanoic acid ( $9.77 \pm 2.81\%$ ), followed by nonanoic acid ( $9.13 \pm 6.49\%$ ), triacontane ( $7.2 \pm 3.34\%$ ), isopropyl tetradecanoate ( $6.16 \pm 1.99\%$ ) and tridecane ( $4.87 \pm 3.1\%$ ).

The chemical classes of *T. hirsuta* essential oils showed significant variations between samples collected from different locations. Acids and aldehydes are dominant with an average of  $23.25 \pm 9.67\%$  and  $20.25 \pm 5.12\%$  respectively, followed by alkanes ( $16.28 \pm 4.27\%$ ) and monoterpenes ( $15.08 \pm 1.5\%$ ) (Figure 4).

Result of UPGMA Cluster Analysis (Figure 5) revealed two clades of *T. hirsuta* used in this study. The first clade includes samples from two locations of sampling (Bouti-Sayeh and Benzoh), that are characterized by the highest level of nonanoic acid (21.3 and 12.2%).

The second clade groups consisted of samples collected from five sampling locations, which are characterized by hexadecanoic acid, in which samples from Sidi Hadjress deviates from the group by the presence of a high level of triacontane (7.2%). Based on this statistical analysis, four chemotypes were identified that characterize *T. hirsuta* in Algeria (Table 4).

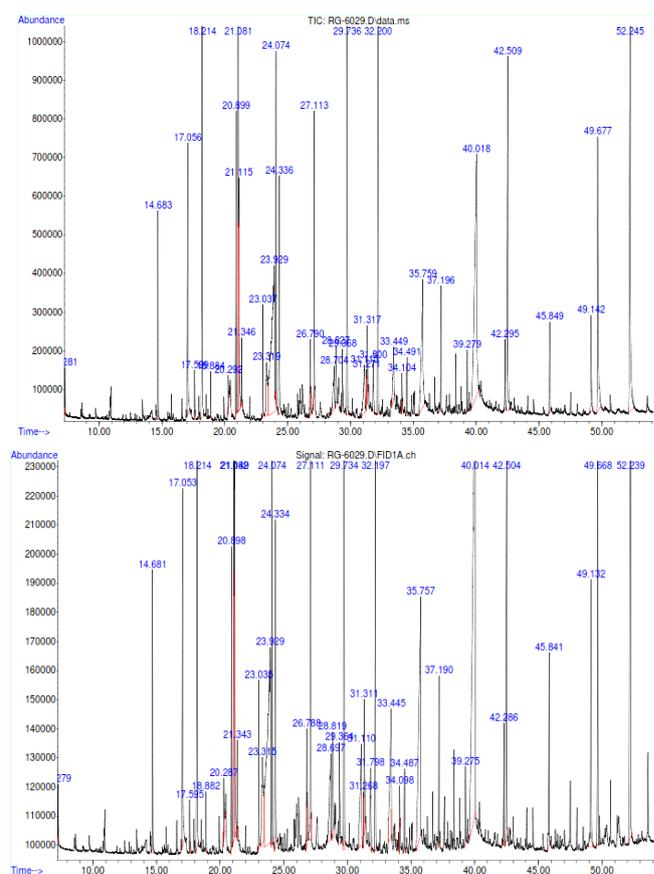


Figure 3. GC/Masse and GC/FID profiles of *Thymelaea hirsuta*

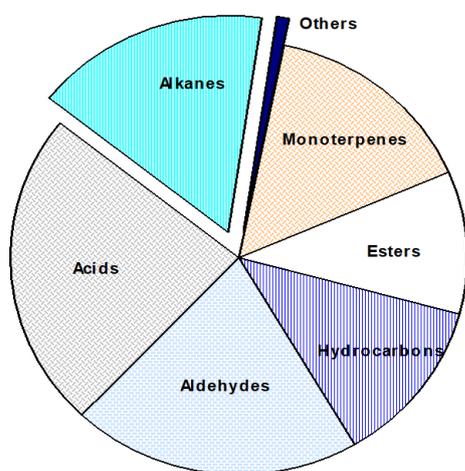
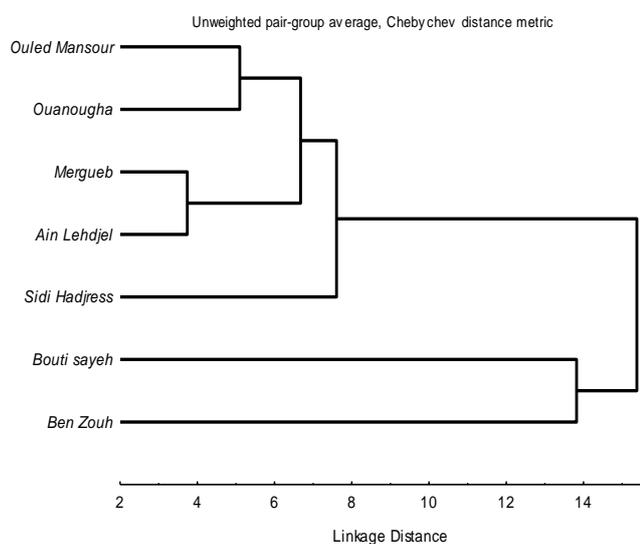
**Table 3.** Chemical composition of *Thymelaea hirsuta* essential oils from 7 sampling locations in M'sila region, Algeria

Location of collected samples		Ouled Mensour	Ounougha	Mergueb	Bouti Sayah	Ain Lehdjel	Sidi Hadjress	Ben Zouh	Average	SD
Yield (%)		0.18	0.18	0.16	0.4	0.4	0.38	0.4	0.3	0.12
Number of compounds	KIc	30	33	37	28	33	28	27	31	4
Total %		99.7	98	94.9	100	98.8	96.6	99.4	98.2	1.85
Octane-n	800	0.98	0.73	0.26	0.8	0.61	1.42	0	0.69	0.46
Octanal-n	1003	3.14	3.27	1.51	2.34	2.23	3.17	1.43	2.44	0.78
Octen-1-al (2E)	1057	0	0	0	0	0	0	0.52	0.07	0.2
Octanol-n	1072	3.87	3.95	2.66	3.2	3.89	3.63	2.54	3.39	0.6
Linalool oxide cis-	1086	0.61	0.45	0.26	0	0.41	0	0	0.25	0.25
Undecane-n	1096	0.58	0.56	0	0	0	0	0	0.16	0.28
Nonanal-n	1106	11.6	16.7	8.03	6.82	8.99	10.4	10.2	10.4	3.21
Octyl formate	1127	0.98	1.09	0.27	0.8	0.63	1.2	0	0.71	0.44
Nonanol-n	1173	0	1.4	0.4	0	0.58	0	0	0.34	0.52
Naphtalene	1193	4.56	2.35	1.66	1	0.99	2.01	5.6	2.6	1.79
Methyl salicylate	1199	1.85	1.9	3.11	1.06	1.85	0	1.22	1.57	0.96
Dodecane	1200	3.46	2.18	3.55	2.51	2.01	5.76	2.12	3.09	1.34
Butanoate-3Mpentyl-3M	1202	0	0	0	0	1.93	0	1.39	0.47	0.83
Decanal-n	1208	0.78	0.95	0.44	0	0	0.9	0.52	0.51	0.4
Geraniol	1230	0	0.81	0	0	0	0	0	0.12	0.31
Decenal (2E)	1266	0.84	1.2	0.87	1	0.94	0.84	1.81	1.07	0.35
Decanol-n	1275	0	0.5	1.81	0	0.2	0	0	0.36	0.67
Nonanoic acid	1296	6.66	7.16	8.32	21.3	8.28	0	12.2	9.13	6.49
Tridecane	1302	8.51	6.49	3	0	3.7	3.95	8.41	4.87	3.11
Decanoic acid	1306	2.25	0	2.05	0	0	0	0	0.61	1.05
Undecanol n	1311	2.39	3.02	0	0	0	2.07	0	1.07	1.36
Tetradecane	1400	0.87	0.5	0.64	0.63	0.52	0.7	0	0.55	0.27
Dodecanal	1413	2.8	2.85	2.51	1.66	2.18	2.09	1.91	2.29	0.45
Dodecanol-n	1480	1.13	0	0.98	4.03	4.14	2.63	2.85	2.25	1.59
Pentadecane	1500	0	0	0.8	0	0	0	0.59	0.2	0.34
Dodecanoic acid	1511	0	0.98	2.05	2.88	2.84	0	16.7	3.64	5.89
Tridecenol (2E)	1554	4.56	4.59	3.89	2.71	2.95	3.45	3.69	3.69	0.73
Hexenyl benzoate (2Z)	1556	0	0	1.13	0.69	0.99	2.97	0	0.82	1.06
Hexadecane	1571	0	0	0.76	0	0	0	0.97	0.25	0.43
Tetradecanal	1580	3.64	4.73	3.66	2.17	2.57	2.95	4.62	3.47	0.98
Tetradecanol-n	1650	2.63	0.56	2.49	4.11	2.92	0	3.69	2.34	1.53
Heptadecane	1700	0	0	0.23	0	0	0	0	0.03	0.09
Octadecane-1	1717	0	0	0.57	0	0	0	0	0.08	0.22
Isopropyl tetradecanoate	1745	6.55	3.72	5.81	8.65	7.64	7.34	3.39	6.16	1.99
Hexadecanol	1843	1.64	1.04	0.9	1.2	1.27	1.38	1.46	1.27	0.25
Cyclohexadecanolide	1877	0	1	0.51	0.66	1.02	0.88	1.5	0.79	0.47
Hexadecyle acetate	1946	0.92	1.43	0	1.06	0.63	1.5	0	0.79	0.62
Hexadecanoic acid	1976	10.7	6.77	13.6	11.6	10.7	9.5	5.46	9.77	2.81
Eicosene-1	2077	0	0	0	0	0	0.8	0.87	0.24	0.41
Eicosane	2104	3.35	4.53	0.78	4.65	3.92	6.88	3.03	3.88	1.86
Docosene-1	2115	0	0	3.74	0	0	0	0	0.53	1.41
Hexacosane	2305	1.04	1.76	1.29	1.2	2.21	2.19	0	1.38	0.77
Octacosane	2507	1.38	1.68	2.03	1.4	3.06	2.51	0	1.72	0.97
Nonacosane	2541	0	0	0	1.91	2.04	2.71	0	0.95	1.21
Triacontane	2711	5.4	7.09	8.38	7.94	9.99	10.8	0.8	7.2	3.34
Chemical classes										
Monoterpenes		16.83	16.32	13.39	15.25	16.36	13.16	14.23	15.08	1.50
Esters		10.3	8.14	10.32	12.26	13.67	13.01	6	10.53	2.75
Hydrocarbons		10.94	10.17	14.8	11.65	13.63	16.94	7.37	12.21	3.18
Aldehydes		22.8	29.7	17.02	13.96	16.91	20.35	21.01	20.25	5.12
Acids		19.61	14.91	25.9	35.78	21.82	9.5	34.36	23.13	9.67
Alkanes		19.19	17.7	12.89	10.39	15.42	23.38	15.02	16.28	4.27
Others		0	1	0.51	0.66	1.02	0.88	1.5	0.8	0.47

Note: KIc = Kovats retention index calculated

**Table 4.** Chemotypes of *Thymelaea hirsuta* in M'sila region, Algeria

Chemotypes			Locations of sampling
1	Nonanoic acide	Decanoic acid	Nonanal-n Benzouh
2		Hexadecanoic acid	Isopropyl tetra decanoiate Bouti sayeh
3	Hexadecanoic acid	Nonanoic acid	Nonanol- n Ouled Mansour, Ouanougha Triacantane Mergueb, Ain Lehdjel
4		Triacantane	Sidi Hadjress

**Figure 4.** Chemical classes of *Thymelaea hirsuta* oils**Figure 5.** UPGMA cluster analysis of *Thymelaea hirsuta* in M'sila, Algeria

### Antibacterial activity

The in vitro evaluation of antimicrobial activity was performed by the diffusion method against eight species of bacteria. All bacteria species tested showed high sensitivity to the essential oil of *T. hirsuta* (Table 5).

The ANOVA statistical analysis (three Way Completely Randomized) showed that sampling locations, doses, and bacterial species, and their interactions are very highly significant ( $P < 0.001$ ) (Table 6).

The antibiotic susceptibility test showed that the activity of antibiotic standard (gentamicin) varied according to the species of bacteria. The antibiotic (gentamicin) tested showed a higher growth inhibition than the oils against the bacteria used (group a) (Table 7). Of the four tested concentrations, pure oil exhibited the most potent effect compared to diluted oils (group b).

The most effective oils against the tested bacteria were those of *T. hirsuta* collected from Sidi Hajress, Ouanougha and Bouti Sayeh, forming the group (a). On the other hand, the least antibacterial activity is the oil from *T. hirsuta* collected from Ouled Mansour (Table 8).

The antibacterial activity of *T. hirsuta* essential oil was qualitatively assessed by the diameter of inhibitory zone. The results indicated that the tested oils exhibited a significant antibacterial activity against all the tested bacteria, but on a concentration dependent-manner (Table 9). The highest average of inhibition zone diameters was recorded against *Salmonella enterica* (18.64 mm), while the lowest average of inhibition zone diameter was recorded against *Enterococcus faecalis* (12.07 mm).

### Discussion

Hydro-distillation of the aerial parts of *T. hirsuta* gives an average yield of essential oils of  $0.3 \pm 0.12\%$ , and this result was similar to the study by Kadri et al. (2011). Variations in essential oil yields from different sampling locations may be due to several factors, especially interaction with the environment (the type of climate, soil), harvest time and extraction methods (Viljoen et al. 2006; Sefidkon et al. 2007).

The chemical composition of *T. hirsuta* essential oils was dominated by nonanal-n, hexadecanoic acid, nonanoic acid, triacantane, and isopropyl tetradecanoate. The composition of the essential oils in this study was different from that of collected in Tunisia, whose major compounds were heptane, germacrene-D, eudesmol and citronellyl formate (Kadri et al. 2011; Benchobba et al. 2014). Other studies by Yahyaoui et al. (2014) showed that the essential oil of *T. hirsuta* grown in Tunisia contained stylopsal, hexadecanoic acid, and 5,7-dodecadienal- (Z, Z) (2014).

UPGMA cluster analysis allowed us to compare chemical compounds of *T. hirsuta* from this study with those of the literature (Figure 6). Two clades are different and well separated. The first clade includes samples collected from Gafsa, Sidi Aich and Tunisia (1), which are characterized by the presence of heptane in high proportions, germacrene-D and  $\gamma$ -eudesmol (Kadri et al. 2011; Benchobba et al. 2014). These populations may represent a chemotype with heptane and germacrene-D compounds, as in sample collected from Tunisia.

**Table 5.** Inhibition diameter (mm) of *Thymelaea hirsuta* essential oils against eight bacteria species

Species of bacteria	Dilutions	Bouti Sayeh	Mergueb	Ain Lehjel	Ouanougha	Ouled Mansour	Benzoh	Sidi Hajress
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	1	14 ± 1.15	15 ± 2	12 ± 2	15 ± 2	14 ± 2	12 ± 1	15 ± 2
	1/2	12 ± 1	12 ± 1.52	9 ± 0.6	12 ± 1	11 ± 1.15	9 ± 1.52	12 ± 1
	1/4	11 ± 1.15	10 ± 0.57	9 ± 5.3	9 ± 1.5	9 ± 0.57	9 ± 5.19	11 ± 1.5
	1/8	9.33 ± 0.6	9 ± 0	0	8 ± 0.6	9 ± 0	0	9.33 ± 0.6
	Gentamicin = 28 ± 1							
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603	1	17 ± 1.52	18 ± 1.15	14 ± 2.9	16 ± 1.5	14 ± 3.6	19 ± 1.52	15 ± 1.2
	1/2	14 ± 0.57	12 ± 1	10 ± 0.6	12 ± 0	10 ± 0	13 ± 1.15	11 ± 0.6
	1/4	12 ± 0.54	9 ± 1.15	9 ± 0.6	10 ± 0	9 ± 0	12 ± 1	8 ± 0.6
	1/8	10 ± 1.52	9 ± 1.73	0	9 ± 0	0	10 ± 0.57	0
	Gentamicin = 31.33 ± 1.52							
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	1	20 ± 2.08	10 ± 1.15	13 ± 1.2	14 ± 1	17 ± 2	16 ± 2.64	31 ± 3.6
	1/2	13 ± 1.73	9 ± 0.57	9 ± 0.6	11 ± 0	11 ± 1.15	10 ± 0.57	22 ± 3.8
	1/4	10 ± 0.57	8 ± 0.57	9 ± 5.2	10 ± 1	10 ± 1	9 ± 0.57	17 ± 3.1
	1/8	9 ± 1.15	0	0	0	0	0	13 ± 1.5
	Gentamicin = 30.66 ± 1.15							
<i>Salmonella enterica</i> ATCC43972	1	24 ± 3.05	24 ± 3.78	21 ± 2.5	24 ± 4	11 ± 1.52	20 ± 1.15	27 ± 3.5
	1/2	20 ± 2.08	11 ± 1.15	15 ± 3.2	22 ± 3	10 ± 0	15 ± 3	10 ± 0.6
	1/4	14 ± 3.21	10 ± 0.57	12 ± 1.5	15 ± 5.7	9 ± 1.15	12 ± 2.08	10 ± 0
	1/8	11 ± 1.52	8.33 ± 0.6	10 ± 1.2	11 ± 1.7	8 ± 0	10 ± 3.88	0
	Gentamicin = 35.33 ± 0.57							
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 11778	1	21 ± 3.51	11 ± 1.52	22 ± 3.1	17 ± 1.5	21 ± 2.51	15 ± 1.52	24 ± 4.01
	1/2	9 ± 0.57	8 ± 0.57	15 ± 1.5	13 ± 0.6	14 ± 3.60	11 ± 1	14 ± 4.7
	1/4	0	8.33 ± 0.6	11 ± 0.6	11 ± 1	11 ± 2	9 ± 1	12 ± 3.2
	1/8	0	0	9 ± 0.6	9 ± 0.6	9.33 ± 0.6	9.33 ± 0.6	10 ± 1.5
	Gentamicin = 33 ± 1							
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	1	20 ± 1.52	16 ± 1.52	14 ± 1.7	17 ± 1.2	12 ± 1.52	12 ± 1	21 ± 2.5
	1/2	14 ± 1	13 ± 0.57	12 ± 1	13 ± 0.6	11 ± 1	10 ± 0.57	15 ± 1.5
	1/4	11 ± 1.52	11 ± 1.52	10 ± 1	10 ± 0.6	9 ± 1.15	9 ± 0.57	12 ± 1.2
	1/8	9 ± 1	9 ± 0	9 ± 0	9 ± 0.6	0	0	10 ± 1
	Gentamicin = 30.33 ± 0.57							
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	1	16 ± 1.52	24 ± 2	25 ± 3.1	21 ± 2.1	13 ± 1.52	17 ± 2	14 ± 2.1
	1/2	13 ± 1.73	19 ± 3.05	16 ± 1.5	17 ± 0.6	11 ± 1.15	13 ± 0.6	11 ± 2.5
	1/4	11 ± 1.52	14 ± 1.52	14 ± 1.7	13 ± 0.6	9 ± 1.52	11 ± 0.6	10 ± 2.1
	1/8	10 ± 1.73	11 ± 1.52	12 ± 1	10 ± 1.2	8.33 ± 0.6	9 ± 1	10 ± 1.7
	Gentamicin = 26 ± 1							
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 51299	1	16 ± 1.15	17 ± 2	14 ± 0.6	18 ± 1.7	13 ± 1.15	16 ± 1.15	14 ± 1
	1/2	13 ± 0.57	14 ± 1	12 ± 1.2	14 ± 1.2	11 ± 1	14 ± 1	11 ± 1.52
	1/4	12 ± 1	11 ± 1.15	10 ± 0.6	11 ± 1.2	10 ± 1	11 ± 1.52	10 ± 0.6
	1/8	9 ± 1	9.33 ± 0.6	9 ± 0	9 ± 0.6	8.33 ± 0.6	9 ± 1.15	9 ± 0
	Gentamicin = 12.9 ± 0.1							

**Table 6.** Main effects and interactions of essential oils of *Thymelaea hirsuta*

Sources	df	F	P
<b>Main effects</b>			
Sampling locations	6	35.21	.0000 ***
Doses	4	4496.93	.0000 ***
Species of bacteria	7	148.79	.0000 ***
<b>Interactions</b>			
Sampling locations * Doses	24	5.66	.0000 ***
Sampling locations * Species of bacteria	42	30.88	.0000 ***
Doses * Species of bacteria	28	84.45	.0000 ***
Sampling locations * Doses * Species of bacteria	168	7.06	.0000 ***

Note: \*\*\* Very highly significant (P &lt; 0.001)

**Table 7.** Effect of oil dilutions on the inhibitory zone of tested bacteria

Rank	Doses	Mean inhibition zones	n	Significant groups
1	Gentamicin	28.45	168	a
2	1	17.54	168	b
3	0.5	12.96	168	c
4	0.25	10.75	168	d
5	0.125	6.92	168	e

Note: LSD 0.05 = 0.3429650445

**Table 8.** The effectiveness of *T. hirsuta* essential oils from several sampling locations against eight bacteria species

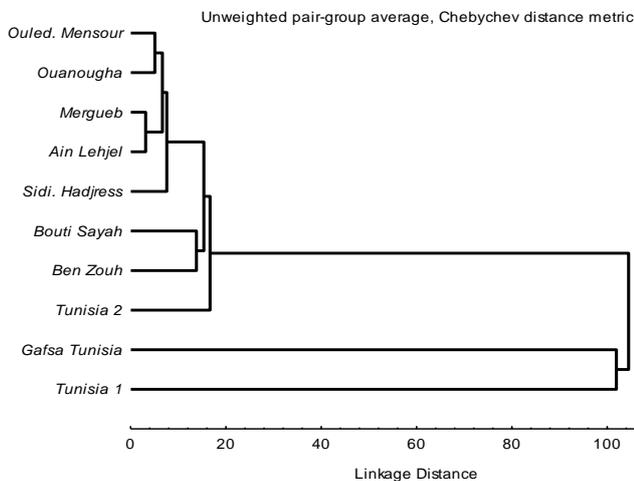
Rank	Sampling location	Mean inhibition zones	n	Significant groups
1	Sidi Hajress	16.31	120	a
2	Ouanougha	16.13	120	a
3	Bouti Sayeh	15.99	120	a
4	Mergueb	15.12	120	b
5	Ain Lejhjel	15.07	120	bc
6	Ben zoh	14.71	120	c
7	Ouled Mansour	13.92	120	d

Note: LSD 0.05 = 0.40580171325

**Table 9.** Sensitivity groups of tested bacteria with essential oils of *Thymelaea hirsuta*

Rank	Species of bacteria	Mean inhibition zones	n	Significant groups	S*
1	<i>Salmonella enterica</i>	18.64	105	a	++
2	<i>Bacillus subtilis</i>	16.33	105	b	++
3	<i>Bacillus cereus</i>	16.03	105	b	++
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	15.36	105	c	++
5	<i>Escherichia coli</i>	15.20	105	c	++
6	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	15.13	105	c	++
7	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13.83	105	d	++
8	<i>Enterococcus faecalis</i>	12.07	105	e	+

Note: LSD 0.05 = 0.43382027941; \* S.= Sensitivity (++ Highly significant (P < 0.01); + Significant (P < 0.05))

**Figure 6.** UPGMA of essential oils of *Thymelaea hirsuta* populations

The second clade was clustered between *T. hirsuta* in this study with that of collected in Tunisia (2). The Tunisian (2) was characterized by the presence of hexadecanoic acid and stylopsal (Yahyaoui et al. 2014). This composition may represent a second Tunisian chemotype.

The essential oil of *T. hirsuta* from the M'sila region has antibacterial activity against the tested bacterial species. These bacterial species are highly sensitive, except *Enterococcus faecalis* which shows low sensitivity to the essential oil of *T. hirsuta* with inhibition diameters of 10 to 18 mm for all tested dilutions. This sensitivity gives it the status of sensitive bacteria (+), but statistically, it is the least sensitive, among the bacteria tested, to the oils of the seven populations studied. It is classified in the last group (e) with an average zone of inhibition of 12.07mm.

Compared to the reference antibiotic, similar degrees of inhibitory effects of pure essential oils were observed on Gram-negative bacteria; with inhibitory zones of 10-31 mm. All the dilutions have shown more potent effect against Gram-positive bacteria than Gram-negative ones. All dilutions showed, overall, a more potent effect against Gram-positive bacteria than Gram-negative bacteria.

It is noted that the concentration of essential oils directly influences the inhibitory activity, when the concentration of the oil increases, the diameters of inhibitions are important, similar remarks were made by Emiroglu et al. (2010). In addition, the presence of oxygenated terpenes and especially oxygenated monoterpenes in essential oils may be responsible for the pronounced activity of oils (Akrouit et al. 2010; Taran et al. 2010; Ben Marzoug et al. 2011; Bencheqroun et al. 2012). Antibacterial activity appears to result from a combination of the diversity of molecules present in Essential oils and several modes of action (Calsamiglia et al. 2007, Goetz and Ghedira 2012). On the other hand, the method used to study the antibacterial effect of essential oil can be considered as a factor influencing the zones of inhibition (Fazeli et al. 2007).

Kadi et al. (2017) and Deramchia et al. (2017) reported that essential oils of *T. hirsuta* had antibacterial activity. Trigui et al. 2013; and Felhi et al. (2017) also reported that *T. hirsuta* extracts from Tunisia were also able to inhibit the growth of bacteria.

In conclusion, this study showed that the yield of *T. hirsuta* essential oils by hydrodistillation was very low (0.3 ± 0.12 %). There were two clades of *T. hirsuta* in Algeria. The 1<sup>st</sup> clades have a high content of nonanoic acid, and the 2<sup>nd</sup> clade has a high content of hexadecanoic acid. Four chemotypes have been identified from the essential oil of *T. hirsuta* from Algeria. The essential oil of *T. hirsuta* was able to inhibit the growth of eight species tested bacteria. The preliminary results obtained are promising in expanding the therapeutic arsenal of plants with antibacterial properties. However, the in vitro methods used to confirm the antibacterial activity of essential oils are insufficient and require further, more advanced, additional testing. More detailed future studies should be performed to identify the antimicrobial activity of essential oils of *T. hirsuta*.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was supported by Algerian MESRS and LEXVA Analytique, France.

## REFERENCES

- Adams RP. 2007. Identification of essential oils components by Gas Chromatography-Mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation Carol Stream, Illinois, USA.
- Akrouf A, Alarcon Gonzalez L, El Jani H, Campra Madrid P. 2011. Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaea hirsuta* from southern Tunisia. *Food Chem Toxicol* 49 (2): 342–347. DOI: 10.1016/j.fct.2010.11.003
- Akrouf A, El Jani H, Amouri S and Neffati M. 2010. Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of *Artemisia campestris* L., *Artemisia herba alba* Asso and *Thymus capitatus* Hoff. et Link. Growing wild in the Southern of Tunisia. *Recent Research in Science and Technology* 2 (1): 29-39.
- Amari O-N, Bouzouina M, Berkani A, Lotmani B. 2014. Phytochemical screening and antioxidant capacity of the aerial parts of *Thymelaea hirsuta* L. *Asian Pac J Trop Dis* 4 (2): 104-109. DOI: 10.1016/S2222-1808 (14)60324-8
- Azza Z and Oudghiri M. 2015. In vivo anti-inflammatory and antiarthritic activities of aqueous extracts from *Thymelaea hirsuta*. *Pharmacogn Res* 7 (2): 213-216. DOI: 10.4103/0974-8490.150510
- Azza Z, Marnissi F, Naya A, Benjelloun N, Zamyati S, Amrani M, Oudghiri M. 2012. Toxicological evaluation of *Thymelaea hirsuta* and protective effect against CCl<sub>4</sub>-induced hepatic injury in rats. *Intl J Biol Chem Sci* 6 (1): 379-393. DOI: 10.4314/ijbcs.v6i1.33
- Ben Marzoug HN, Romdhane M, Lebrhi A, Mathieu F, Couderc F, Abderraba M, Khouja ML and Bouajila J. 2011. *Eucalyptus oleosa* essential oils: Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of the oils from different plant parts (stems, leaves, flowers, and fruits). *Molecules* 16 (2): 1695-1709. DOI: 10.3390/molecules16021695.
- Bencheqroun HK, Ghanmi M, Satrani B, Aafi A et Chaouch A. 2012. Activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia mesatlantica*, plante endémique du Maroc. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège* 81: 4-21.
- BenChobba I, Felhi S, Chaaibia M, Ben Mansour R, Békir A, Drira N, Gharsallah N, Kadri A. 2014. Phytochemical composition and biological assays of the aerial parts of *Thymelaea hirsuta* essential oil from Tunisia. The third international symposium on Biology of rare and endemic plant species. Antalya. Turkey (19-23 April): 1-73. <http://www.iseo2014.org/location.html>
- Bnouham M, Benalla W, Bellahcen S, Hakkou Z, Ziyat A, Mekhfi H, Aziz M, Legssyer A. 2012. Antidiabetic and antihypertensive effect of a polyphenol rich fraction of *Thymelaea hirsuta* L. in a model of neonatal streptozotocin diabetic and NG-nitro-L-arginine methyl ester-hypertensive rats. *J Diabetes* 4 (3): 307-313. DOI: 10.1111/j.1753-0407.2012.00202.x
- Bnouham M, Merhfouf FZ, Legssyer A, Mekhfi H, Maâllem S, Ziyat A. 2007. Antihyperglycemic activity of *Arbutus unedo*, *Ammoides pusilla* and *Thymelaea hirsuta*. *Pharmazie* 62 (8): 630-632.
- Boudjelal A, Henchiri C, Sari M, Sarri D, Hendel N, Benkhaled A, Roberto G. 2013. Herbalists and wild medicinal plants in M'Sila (North Algeria): An ethnopharmacology survey. *J Ethnopharmacol* 148 (2): 395-402. DOI: 10.1016/j.jep.2013.03.082
- Bouzouina M, Amari N-O, Berkani A, Lotmani B, Hanafi M and Lazizi A. 2016. Total phenolics contents, flavonoids contents, and fatty acids compositions in *Thymelaea hirsuta* L. aerial parts, grown in Western Algeria. *Adv Environ Biol* 10 (1): 16–22.
- Calsamiglia S, Busquet M, Cardozo PW, Castillejos L et Ferret A. 2007. Invited Review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 90: 2580-259.
- Deramchia N, Belhakem M. 2017. Antimicrobial activity of phenolic extracts and essential oil from *Thymelaea hirsuta*. *South Asian J Exp Biol* 7 (1): 35-41. <http://sajeb.org/index.php/sajeb/article/view/20374>
- Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, Boutassouna D, Stocker P, Vidal N. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Food Chem* 97 (4): 654-660. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.04.028
- El Amrani F, Rhallab A, Alaoui T, El Badaoui K, Chakir S. 2009. Hypoglycemic effect of *Thymelaea hirsuta* in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Med Plants Res* 3 (9): 625-629.
- Emiroğlu ZK, Yemis GP, Coskum BK, Candogan K. 2010. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oil on fresh ground beef patties. *Meat Sci* 86 (2): 283-286. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.016
- Fazeli MR, Amin G, Ahmadian-Attari MM, Ashtiani H, Jamalifar H and Samadi N. 2007. Antimicrobial activities of Iranian sumac and avishane shirazi (*Zataria multiflora*) against some food-borne bacteria. *Food Control* 18 (6): 646-649. DOI: 10.1016/j.foodcont.2006.03.002.
- Felhi S, Chaaibia M, Bakari S, Ben Mansour R, Békir A, Gharsallah N and Kadri A. 2017. Anti-microbial screening and cytotoxic activity of aerial part of *Thymelaea hirsuta* L essential oil growing in south-west Tunisia. *Pak J Pharm Sci* 30 (1): 87-91.
- Galicía-Herbada D. 2006. Origin and diversification of *Thymelaea* (*Thymelaeaceae*): inferences from a phylogenetic study based on its (rDNA) sequences. *Plant Syst Evol* 257 (3-4): 159-187. DOI: 10.1007/s00606-005-0371-z
- Goetz P, Ghedira K. 2012. *Phytothérapie anti-infectieuse*. Springer-Verlag, France, Paris.
- Kadi K, Hamli S, Zeraib A, Yahia A. 2017. Effet antibactérien des extraits de *Thymelaea hirsuta* L. *Revue des Régions Arides n°43– Numéro spécial – Actes du 5ème Meeting International sur l'Aridoculture et les Cultures Oasiennes : Biotechnologie végétale en zones arides et oasiennes Zarzis (Tunisie)* 43 (3): 409-419.
- Kadri A, Zari Z, Ben Chobba I, Gharsallah N, Damak M, Békir A. 2011. Chemical composition and in vitro antioxidant activities of *Thymelaea hirsuta* L essential oil from Tunisia. *African J Biotechnol* 10 (15): 2930-2935. DOI: 10.5897/AJB11.028
- Kawano M, Matsuyama K, Miyamae Y, Shinmoto H, Kchouk M E, Morio T, Shigemori H, Isoda H. 2007. Antimelanogenesis effect of Tunisian herb *Thymelaea hirsuta* extract on B16 murine melanoma cells. *Exp Dermatol* 16 (12): 977-984. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2007.00618.x
- Le Floc'H E. 1983. Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. *Publ. sci. tunisiennes. Programme flore et végétation tunisienne*, Vol. 1, 402p. <http://www.ethnopharmacologia.org/bibliotheque-ethnopharmacologie/>
- Masada Y. 1979. Analysis of essential oils by Gas Chromatography and Mass Spectrometry. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- NIST, 2002. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH. Mass Spectral Library, Vers. 2.0. Fiveash data, USA.
- Ponce A G, Fritz R, Del Valle C-E and Rora S I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 36 (7): 679-684. DOI: 10.1016/S0023-6438 (03)00088-4
- Quezel P, Santa S. 1962-1963. *Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*, ed. CNRS, Paris, 2 Tomes, 1170. <http://bibliotheques.mnhn.fr/medias/doc/exploitation/horizon/493163>
- Schmidt J and Stavisky N. 1983. Uses of *Thymelaea hirsuta* (Mitnan) with emphasis on hand papermaking. *Econ Bot* 37 (3): 310-321.
- Sefidkon F, Abbas K, Jamzad Z and Ahmadi S. 2007. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food Chem* 100 (3): 1054-1058. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.11.016
- Taran M, Ghasempour RH and Shirinpour E. 2010. Antimicrobial activity of essential oil of *Ferulago angulata* subsp. *Carduchorum*. *Jundishapur J Microbiol* 3 (1): 10-14.
- Trigui M, Benhsouna A, Tonsi S, Jaoua S. 2013. Chemical composition and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of Tunisian *Thymelaea hirsuta* with special reference to its mode of action. *Industr Crops Prod* 41 (1): 150-157. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.011
- Viljoen A M, Denirci B, Baser K H C, Potgieter C J and Edwards T J. 2006. Micro distillation and essential oil chemistry- a useful tool for detecting hybridisation in *Plectranthus* (*Lamiaceae*). *South African J Bot* 72 (1): 99-104. DOI: 10.1016/j.sajb.2005.05.003
- Yahaoui M, Bouajila J, Camy S, Condoret J-S, Abderrabba M. 2014. Comparison of chemical composition and yield of *Thymelaea hirsuta* volatile oils obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. *A Quarterly Open Access Scientific Journal ISEO. Abstracts Nat. Vol. Essent. Oils, Special Issue. Publisher: Badebio Ltd. Turkey (7-10 September) 1*: 267.
- Yahaoui M, Bouajila J, Cazaux S, Abderrabba M. 2018b. The impact of regional locality on chemical composition, antioxidant and biological activities of *Thymelaea hirsuta* L. extracts. *J Phytomed* 41 (1): 13-23. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.01.010.
- Yahaoui M, Ghazouani N, Saoudi S, Sifaoui I, Chammem N, Abderrabba M. 2018a. Experimental design methodology application in the optimization of phytochemical compounds extraction and

- antioxidant activity of *Thymelaea hirsuta* extracts. J Mater Environ Sci 9 (5): 1551-1561.
- Yahyaoui M, Ghazouani N, Sifaoui I, Abderrabba M. 2017. Comparison of the effect of various extraction methods on the phytochemical composition and antioxidant activity of *Thymelaea hirsuta* L. aerial parts in Tunisia. Biosci Biotechnol Res Asia 14 (3): 997-1007. DOI: 10.13005/bbra/2534
- Ziyyat A, Legssyer A, Mekhfi H, Dassouli A, Serhrouchni M, Benjelloun W. 1997. Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco. J Ethnopharmacol 58 (1): 45-54.

## الملخص التنوع البيولوجي النباتي لمنطقة الحضنة (المسيلة) : دراسة كيميائية نباتية ونشاط بيولوجي لبعض الأنواع الطبية.

الهدف من هذا العمل هو دراسة التنوع البيولوجي في منطقة الحضنة، والتحليل الكيميائي لكل من *Thymelaea hirsuta* (L) Endl و *Thymelaea microphylla* Coss et Dur ودراسة أنشطة مضادات البكتيريا والمضادات الفطرية وكذا مضادات الأكسدة في زيوتهم الأساسية. أظهرت نتائج التحليل المكاني للغطاء النباتي ثروة نباتية مهمة مع 343 نوع نباتي و222 جنس ينتمون إلى 55 عائلة نباتية. النباتات الحولية مهيمنة على نباتات منطقة الدراسة. أجري تحليل التركيب الكيميائي للزيوت الأساسية، التي تم الحصول عليها عن طريق التقطير المائي، بواسطة GC-MS متوسط المردود من الزيوت الأساسية لـ *Thymelaea hirsuta* و *Thymelaea microphylla* منخفض. كما تم تحديد 45 مكوناً كيميائياً في الزيت الأساسي لـ *Thymelaea hirsuta* و 30 مركب كيميائي عند الزيوت الأساسية لنباتة *Thymelaea microphylla*

لقد سمح لنا تحليل التركيب الكيميائي لزيوت نباتة *Thymelaea hirsuta* بتحديد أربعة أنواع كيميائية. كما أظهرت دراسة الأنشطة البيولوجية للزيوت الأساسية التي تم اختبارها نشاطاً مهماً ضد ثمانية أنواع بكتيرية وسلالتين فطريتين. هذه الزيوت لديها قدرة عالية للنشاطية ضد التأكسدية المقاسة باختبار DPPH الكلمات المفتاحية: التنوع البيولوجي – الحضنة - *Thymelaea hirsuta* - *Thymelaea microphylla* - الزيوت الأساسية - الأنشطة البيولوجية.

## RESUME Biodiversité végétale de la région du Hodna (M'sila) : étude phytochimique et activité biologique de quelques espèces médicinales.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la biodiversité de la région du Hodna, et de caractériser chimiquement *Thymelaea hirsuta* (L) Endl et *Thymelaea microphylla* Coss et Dur ainsi que l'étude des activités biologiques de leurs huiles essentielles. Les résultats de l'analyse spatiale de la végétation montrent une richesse floristique importante avec 343 espèces et 222 genres appartenant à 55 familles botaniques. La végétation de la région d'étude est dominée par les thérophytes. L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles, obtenues par hydrodistillation, a été réalisée par GC-MS, les rendements moyens en huiles essentielles de *Thymelaea hirsuta* et *Thymelaea microphylla* sont faibles. 45 composants chimiques ont été identifiés dans l'huile essentielle de *Thymelaea hirsuta* et 30 composés dans l'huile essentielle de *Thymelaea microphylla*.

L'analyse de la composition chimique des huiles *Thymelaea hirsuta*, nous a permis d'identifier quatre chémotypes. Les huiles essentielles testées ont montré une active importante contre huit espèces bactériennes et deux souches fongiques. Ces huiles possèdent une capacité antioxydante élevée ; mesurée par le test de DPPH.

Mots - clés : Biodiversité – Hodna - *Thymelaea hirsuta* - *Thymelaea microphylla* - huiles essentielles - activités biologiques.

## ABSTRACT Plant Biodiversity of the Hodna area (M'sila): phytochemical study and biological activity of some medicinal species.

In this work, we aimed to assess the biodiversity of the Hodna area, and to characterize chemically *Thymelaea hirsuta* (L) Endl and *Thymelaea microphylla* Coss and Dur and its essentials oils as well as the study of the biological activities of their essential oils.

The results of the spatial vegetation analysis show an important floristic richness with 343 species and 222 genera belonging to 55 botanical families. The vegetation in the study area is dominated by the therophytes. Analysis of the chemical composition of essential oils, obtained by hydrodistillation, was carried by GC-MS. The average yields of essential oils from *Thymelaea hirsuta* and *T. microphylla* are low. 45 chemical compounds have been identified in the essential oil of *Thymelaea hirsuta* and 30 compounds in the essential oil of *Thymelaea microphylla*.

Analysis of the chemical composition of *Thymelaea hirsuta* oils reveals the identification of four chemotypes. The essential oils tested showed an activity against eight bacterial species and two fungal strains. These oils have a high antioxidant capacity; measured by the DPPH.

Keywords: Biodiversity - Hodna - *Thymelaea hirsuta* - *Thymelaea microphylla* - essential oils - biological activities.