

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم البيولوجية
Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie

Intitulé :

Etude chimiotaxonomique et activités biologiques des métabolites
secondaires des plantes du genre *Thym*. *Etude bibliographique*.

Présenté par :

MOHAMADI Ines et ZIDOUNE Bouchra

Soutenu le __/06/2024, Devant le Jury:

Présidente : Mme. BENOUADAH Zohra MCB Faculté SNV-STU, Univ.de B.B.A.
Encadrante : Mme. BOUMERFEG Sabah Pr Faculté SNV-STU, Univ.de B.B.A.
Examinatrice : Mme. MEZITI Asma MCA Faculté SNV-STU, Univ.de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

*Je commence ma dédicace au nom de Dieu et le salut sur Mohamed le
messager de Dieu Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me*

Sont chères:

MES TRES CHERE PARENTS: *Ce travail est dédié à mon père,
décédé trop tôt, qui m'a toujours poussée et motivée dans mes études. Puisse
dieu, le tout-puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde. A ma mère chérie qui
ont été toujours à côté de moi.*

A ma sœur bien aimé : Itham.

A mes chères frères : Amir, Riadhe.

A mon cher binôme Ines. A mes chères amies et mes collègues.

Bouchra

Dédicace

*Je commence ma dédicace au nom de Dieu et le salut
sur Mohamed le messager de Dieu*

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me
sont chères :*

MES TRES CHERE PARENTS

*Mon père adoré et ma mère chérie qui ont été toujours à
mes côtés.*

A mes sœurs bienaimées : Amira, Wiam.

A ma famille.

A mon binôme Bouchra.

A mes amis et mes collègues.

Ines

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour terminer ce mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements à Dr BENOUADAH Zohra d'avoir accepté de présider le jury.

Nous tenons également à remercier Dr MEZITI Asma pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire

Nous remercions notre encadrante Pr BOUMERFEG Sabah de son grand aide durant la réalisation de notre travail, qui nous a orientés vers le succès avec ses connaissances et partageant des idées, et aussi l'encouragement tout au long de notre travail, comme elle a été présente à tout moment qu'on a besoin de lui. Nous tenons également à remercier Mme CHADI Sara pour son soutien et ses efforts.

Enfin, nous remercions le personnel administratif et pédagogique de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie en particulier le Département des sciences biologiques, sans oublier tous les intervenants professionnels responsables de notre formation.

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumés	
Introduction	1
Chapitre I : Les plantes médicinales	3
I.1. Plantes médicinales.....	3
I.1.1. Métabolites secondaires.....	3
I.1.2. Classification.....	4
I.1.2.1. Composition phénoliques.....	4
I.1.2.1.1. Acides phénoliques.....	4
I.1.2.1.2. Flavonoïdes.....	5
I.1.2.1.3. Tanins.....	5
I.1.2.2. Alcaloïdes	6
I.1.2.3. Terpènes.....	7
I.1.2.4. Huiles essentielles.....	7
Chapitre II : Thym	
II.1. Famille des lamiacées.....	10
II.2 .Genre <i>Thymus</i>	10
II.2.1. Généralité.....	10
II.2.2. Composition chimique.....	10
II.2.3. Description botanique.....	11
II.2.4. Répartition géographique.....	11
II.2.5. Propriétés thérapeutiques.....	13
II.2.6. Classification	13
Chapitre III : Chimiotaxonomie des huiles essentielles du <i>Thymus</i>	
III. 1. Espèces du genre <i>Thymus</i>	14
III.1.1. <i>Thymus algeriensis</i>	14
III.1.1.1. Description botanique et distribution.....	14
III.1.1.2. Composition chimique	15
III.1.1.3. Usage traditionnelle.....	15

III.1.2. <i>Thymus capitatus</i>	16
III.1.2.1. Description botanique.....	16
III.1.2.2. Taxonomie et répartition géographique.....	16
III.1.2.3. Composition chimique.....	17
III.1.2.4. Usage traditionnelle.....	17
III.1.3. <i>Thymus vulgaris</i>	18
III.1.3.1. Description morphologique	18
III.1.3.2. Répartition géographique	18
III.1.3.3. Composition chimique	19
III.1.3.4. Usage traditionnelle.....	19
III.2. Etude phytochimique des huiles essentielles des trois espèces.....	20
III.2.1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. algeriensis</i>	20
III.2.2. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. capitatus</i>	22
III.2.3. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i>	23
Chapitre IV : Activités biologiques des huiles essentielles	
IV. Activités biologiques des huiles essentielles.....	25
IV.1. Activité antioxydante.....	25
IV.1.1. Effet scavenger du radical DPPH.....	25
IV.1.2. Effet scavenger du radical ABTS.....	27
IV.2. Activité antimicrobienne.....	28
IV.3. Corrélation entre l'activité biologique et le profil chimiotaxonomique de <i>T.algeriensis</i> , <i>T. capitatus</i> et <i>T.vulgaris</i>	33
Conclusion.....	36
Références bibliographiques	

Liste des abréviations

ABTS : sel de 2,2'-azinobis[acide 3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique]-diammonium.

ATCC : Collection de Culture Typographique Américaine.

ATP : Adénosine-Triphosphate.

BHT : le Butyl Hydroxy Toluène.

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice.

DPPH : 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl.

EO/HE : Huile Essentielle.

ERO : Espèces réactives de l'oxygène.

GC-MS : La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

IC50 : La concentration inhibitrice de 50%.

MH : Mueller-hinton.

MO : Monoterpènes Oxygénés.

PH : Le potentiel hydrogène.

T : Thym.

TEO : Huile Essentielle de Thym.

UV : Ultra Violet.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les différents espèces du <i>Thymus</i> en Algérie.....	12
Tableau 2 : Analyses phytochimiques des huiles essentielles de <i>T. algeriensis</i>	21
Tableau 3 : Les principaux composants de l'huile essentielle de <i>T. capitatus</i> analyses phytochimiques des huiles essentielles de <i>T. algeriensis</i>	22
Tableau 4 : Principaux composants de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> déterminés par GC-MS.....	24
Tableau 5 : Activité antimicrobienne de <i>T. algeriensis</i>	29
Tableau 6 : Activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>T. capitatus</i>	30
Tableau 7 : Activité antimicrobienne des huiles essentielles de <i>T. vulgaris</i> contre plusieurs souches bactériennes et levure.....	31

Liste des Figures

Figure 1 : La structure des C6-C3dérivés de l'acide cinnamique	5
Figure 2 : Structure chimique du flavonoïde	5
Figure 3 : Structures des tanins hydrolysables	6
Figure 4 : Structures des tanins condensés	6
Figure 5 : Structure chimique de la caféine	6
Figure 6 : Structure chimique de carvacrol et thymol	8
Figure 7 : Répartition géographique du thym dans le monde.....	11
Figure 8 : <i>Thymus algeriensis</i>	15
Figure 9 : <i>Thymus capitatus</i>	16
Figure 10 : <i>Thymus vulgaris</i>	18
Figure 11 : Réduction du DPPH	25

Résumé

Le thym, une plante de la famille des Lamiaceae, est largement répandu en Afrique du Nord, notamment en Algérie. Trois espèces de *Thymus* ; *Thymus algériensis*, *Thymus capitatus* et *Thymus vulgaris* ont été étudiées pour leur compositions chimiques et leurs effets sur l'activité biologique. Cette étude bibliographique indique que toutes ces espèces possèdent une activité antioxydante significative ainsi qu'une action antimicrobienne contre diverses souches pathogènes, y compris celles affectant la conservation des aliments. L'analyse GC-MS a montré des compositions chimiques similaires entre ces trois espèces, avec des variations principalement dans les concentrations des composés majeurs. L'huile de *T. capitatus* est dominée par le thymol (51,22%), le carvacrol (12,59%), et le γ -terpinène (10,3%), tandis que *T. vulgaris* se distingue par le thymol (41,04%), le 1,8-cinéole (14,26%), et le γ -terpinène (12,06%), et *T. algériensis* par le thymol (46,03%) et le bornéol (20,38%). La composition chimique des huiles essentielles de *Thymus* varie en fonction de facteurs comme l'origine géographique et les conditions climatiques. Des composés comme le thymol et le carvacrol jouent un rôle crucial en neutralisant les radicaux libres, ce qui leur confère une activité antioxydante notable. Ils ont également démontré leur efficacité contre une variété de micro-organismes, notamment les bactéries et les champignons. Ces variations chimiques peuvent influencer les propriétés biologiques des huiles essentielles. En raison de ces caractéristiques, les huiles essentielles de *Thymus* sont considérées comme prometteuses pour des applications pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires.

ملخص

الزعر نبات من الفصيلة الشفوية (Lamiaceae) ، متواجد على نطاق واسع في شمال أفريقيا، خاصة في الجزائر. تناولت هذه الدراسة المرجعية ثلاثة أنواع من الزعر *Thymus algériensis* ، *Thymus capitatus* و *Thymus vulgaris* لتحديد تركيبها الكيميائي وعلاقتها بالنشاطية البيولوجية حيث أظهرت الدراسة أن جميع هذه الأنواع تملك نشاطاً مضاداً للأكسدة ملحوظاً بالإضافة إلى فعالية مضادة للميكروبات ضد مختلف السلالات الممرضة، بما في ذلك تلك التي تؤثر على حفظ الأغذية. أظهر التحليل بواسطة GC-MS تشابهاً في التركيب الكيميائي بين هذه الأنواع الثلاثة، مع اختلافات تتمثل أساساً في تركيزات المركبات الرئيسية. يتميز زيت *Thymus capitatus* بسيطرة الثيمول (51.22%) والكارفاكرول (12.59%) والجاما تيربينين (10.3%)، بينما يتميز *Thymus vulgaris* بالثيمول (41.04%) والسينيول (14.26%) والجاما تيربينين (12.06%)، ويتميز *Thymus algériensis* بالثيمول (46.03%) واليورنيول (20.38%). يتأثر تنوع التركيب الكيميائي بعوامل مثل الأصل الجغرافي والظروف المناخية. تلعب هذه المركبات مثل الثيمول والكارفاكرول دوراً رئيسياً في النشاط المضاد للأكسدة من خلال إزاحة الجذور الحرة، وقد أثبتت فعاليتها ضد مجموعة متنوعة من الكائنات الدقيقة، بما في ذلك البكتيريا والفطريات. من المحتمل أن تؤثر هذه الاختلافات الكيميائية على خواصها البيولوجية، بما في ذلك مضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة وربما تأثيرات علاجية أخرى. هذه الخصائص تجعل زيوت الزعر الأساسية مرشحة للاستخدامات الصيدلانية والتجميلية والغذائية.

الكلمات المفتاحية: الزعر، الزيوت الأساسية، التصنيف الكيميائي، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للميكروبات، الثيمول، والكارفاكرول.

INTRODUCTION

Introduction

Depuis des milliers d'années, l'homme utilise différentes plantes présentes dans son environnement pour traiter et guérir toutes sortes de maladies. Ces plantes représentent un énorme réservoir de composés potentiels attribués aux métabolites secondaires, qui se caractérisent par la diversité de leur structure chimique et un très large éventail d'activités biologiques (**Zaghd, 2009**).

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est liée au développement des civilisations. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples montre que ces plantes ont toujours joué un rôle important dans la médecine, la parfumerie et les préparations culinaires dans toutes les régions du monde. Ces végétaux sont employés soit afin d'obtenir des huiles essentielles, soit pour extraire des molécules spécifiques essentielles à l'industrie pharmaceutique, soit en tant qu'agent aromatisant dans le secteur agroalimentaire (**Yao, 2014**).

Les plantes médicinales constituent la matière première utilisée dans l'extraction industrielle de substances naturelles pures, principalement destinées à des applications thérapeutiques. Une plante est qualifiée de médicinale lorsqu'au moins l'un de ses composants présente des propriétés pharmacologiques pouvant être exploitées à des fins thérapeutiques. Ainsi, une plante médicinale est définie comme une plante renfermant un ou plusieurs principes actifs ayant la capacité de prévenir, d'atténuer ou de guérir une maladie (**Schauenberg, 2005**).

Les lamiacées constituent l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs, comprenant environ 250 genres et plus de 7 000 espèces. La plupart des plantes de cette famille sont aromatiques et constituent donc une source importante des huiles essentielles. Les lamiacées sont largement utilisées comme herbes culinaires et sont considérées comme des plantes médicinales dans plusieurs traditions populaires. Dans la région méditerranéenne, l'origan, la sauge, le romarin, le thym et la lavande se distinguent par leur répartition géographique et la diversité de leurs applications (**Napoli, 2020**).

Le thym est une plante aromatique appartenant à la famille des Lamiaceae largement utilisée en médecine depuis l'Antiquité, et particulièrement répandue dans l'ouest de l'Afrique du Nord, notamment au Maroc, en Tunisie, en Algérie et en Libye. Avec environ 7 200 espèces, les variétés botaniques de thym se trouvent le long des côtes et dans les régions arides. Trois espèces du genre *Thymus*, à savoir *Thymus algériensis*, *Thymus capitatus* et *Thymus vulgaris*, ont été sélectionnées pour cette étude bibliographique.

Ce travail vise à explorer comment les variations de la composition chimique entre différentes espèces de plantes médicinales influencent leurs activités biologiques, notamment leur potentiel antioxydant et antimicrobien, dans le contexte de la chimiotaxonomie en utilisant le profil chromatographique établi par la méthode GC-MS à partir des recherches antérieures, l'objectif donc est de corréler la structure des composés présents dans ces huiles avec leurs activités pharmacologiques observées.

La procédure de cette recherche bibliographique sera réalisée de manière progressive en quatre parties distinctes :

- La première partie abordera les aspects généraux des plantes médicinales et des métabolites secondaires.
- La seconde partie portera sur les caractéristiques générales de la famille des Lamiacées, avec un accent particulier sur le genre *Thymus*.
- La troisième partie de l'étude se concentrera sur l'analyse chimiotaxonomique des huiles essentielles extraites des trois variétés de thym. Elle mettra en lumière leur activité antioxydante et antimicrobienne, ainsi que leur composition chimique.
- La quatrième partie aborde la corrélation entre l'activité biologique et le profil chimiotaxonomique de *T. algeriensis*, *T. capitatus* et *T. vulgaris*, suivie d'une conclusion sur cette étude bibliographique.

Chapitre I : plantes médicinales et métabolites secondaires

I.1. Plantes médicinales

Les plantes médicinales sont largement employées à travers le monde pour le traitement de diverses affections. Leur potentiel thérapeutique est l'objet d'études visant à authentifier leurs usages traditionnels et à développer de nouvelles molécules médicamenteuses (**Sasidharan *et al.*, 2011 ; Hegde et Hungund, 2021**). Les principes actifs médicinaux peuvent être localisés dans diverses parties des plantes, telles que les racines, les tiges, les feuilles, et d'autres organes spécifiques, etc. Malgré la popularité de la phytothérapie traditionnelle, seuls certains de ses aspects sont étayés par des données scientifiques. Lorsqu'ils sont correctement formulés, les remèdes à base de plantes peuvent présenter des avantages comme une efficacité accrue et une toxicité réduite (**Vaudrauil, 2012**). Les remèdes à base de plantes sont des médicaments qui tirent leurs propriétés médicinales de plantes, en accord avec les normes de la pharmacopée.

La phytothérapie repose sur l'utilisation de plantes fraîches ou séchées pour le traitement des affections. Certaines plantes médicinales contiennent des composés antioxydants tels que les flavonoïdes et les polyphénols, qui jouent un rôle crucial dans la lutte contre le stress oxydatif. Ces composés ont la capacité de neutraliser les radicaux libres, rétablissant ainsi l'équilibre du système antioxydant de l'organisme. Un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les mécanismes de défense antioxydants peut conduire au stress oxydatif, où les radicaux libres, en raison de leur instabilité et de leur réactivité élevée, peuvent altérer les fonctions cellulaires (**Fauvier, 2003**). Ces radicaux libres proviennent de deux sources principales : endogène et exogène.

I.1.1. Métabolites secondaires

Un métabolite secondaire est un composé organique qui n'est pas directement impliqué dans les processus métaboliques essentiels des cellules vivantes. Ces composés regroupent chez les végétaux plusieurs milliers de molécules différentes présentes en faible concentration. Parmi les principaux groupes de métabolites secondaires : les terpènes (ou isoprénoïdes), les composés phénoliques (acides phénoliques, tannins et flavonoïdes), ainsi que les composés azotés (alcaloïdes, glucosinolates et glycosides cyanogènes) (**Fang *et al.*, 2011**).

Selon **Guignard, (2000) et Bruneton, (2009)**, les métabolites secondaires jouent divers rôles à l'intérieur et à l'extérieur de la plante. Par exemple, ils attirent les agents responsables de la pollinisation ou de la dissémination des fruits, et protègent la plante contre les attaques de pathogènes ou d'herbivores. Ils participent également aux réponses allélopathiques et à la compétition entre les plantes pour la germination et la croissance. De plus, ces métabolites

sont considérés comme très utiles pour l'homme, étant utilisés comme colorants, arômes, épices, antibiotiques, diurétiques, anti-inflammatoires, herbicides, drogues, antioxydant, antimicrobienne, etc (**Iserin et ses collègues, 2001**) soulignent l'importance de connaître la composition chimique des plantes pour comprendre comment elles agissent sur l'organisme des êtres vivants.

I.1.2. Classification

I.1.2.1. Composés phénoliques

Les polyphénols sont des composés contenant plusieurs groupes phénoliques, produits par les plantes pour se défendre contre les agressions environnementales. Présents dans toutes les parties des plantes, ils englobent diverses structures telles que les acides phénoliques et les tanins. Ces composés possèdent des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, et sont connus pour leur potentiel dans la prévention du cancer (**Psotová et al., 2003; Hale, 2005**). Les polyphénols contribuent aux caractéristiques sensorielles des aliments et jouent un rôle crucial dans la protection des plantes contre les rayons UV et les attaques de pathogènes (**Macheix et al., 2005**). Ils agissent comme de puissants antioxydants en attrapant les radicaux libres et en stimulant d'autres antioxydants présents dans l'organisme (**Psotová et al., 2005**).

I.1.2.1.1. Acides phénoliques

Une classification des composés phénoliques peut être réalisée en fonction de la longueur de la chaîne aliphatique liée au noyau benzénique. On distinguera:

Les catégories comprennent les dérivés en C6C1, les dérivés en C6C3

(**Figure2**) (**MerghemR, 2009**).

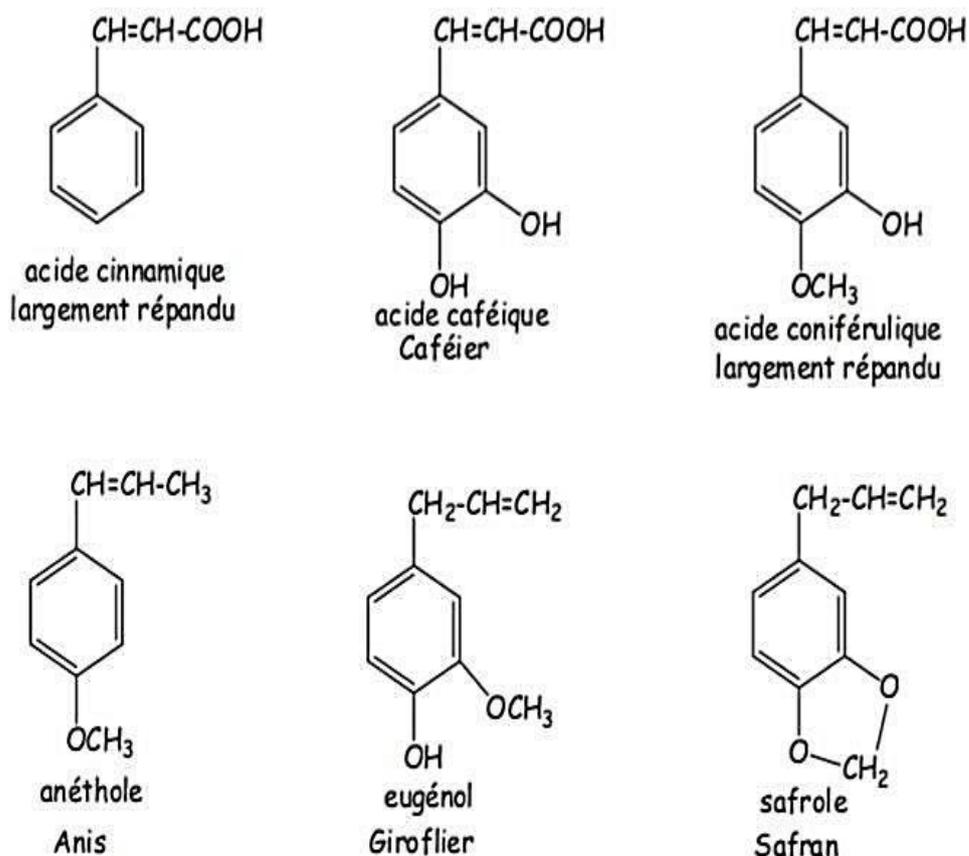


Figure 1: La structure des C6-C3dérivés de l'acide cinnamique (Merghem, 2009)

I.1.2.1.2. Flavonoïdes

Il s'agit de pigments de plantes vasculaires qui jouent un rôle dans la coloration et les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes des plantes (**Figure2**) (Cushnie et Lamb, 2005; Mercader *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2008).

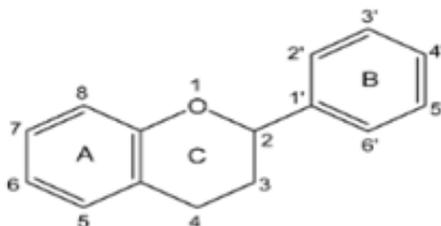


Figure 2 : Structure chimique du flavonoïde (Stalikas, 2007).

I.1.2.1.3. Tannins

Les tannins sont des composés phénoliques qui ont la capacité de précipiter les protéines. Après la cellulose, la lignine et les hémicelluloses, ils constituent, avec leurs

dérivés, la quatrième famille de composés en termes d'abondance dans la biomasse végétale. Représentant de 15 à 25 % du poids sec des plantes, les tannins sont présents dans les vacuoles et les parois cellulaires (jusqu'à 40 % dans l'écorce et 50 % dans certaines galles). Ils sont fréquemment dégradés, contribuant entre 1 et 4 % à la formation de l'humus, principalement grâce à l'action des champignons (Krauss *et al.*, 2003). Les tanins sont généralement classés en deux grands groupes distincts : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Figure 3 et 4).

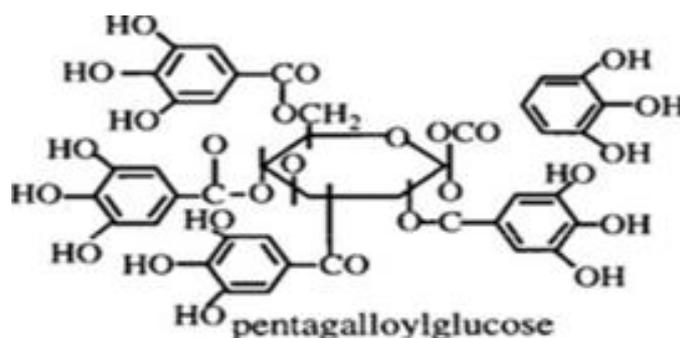


Figure 3: Structures d'un exemple des tanins hydrolysables (Cheynier *et al.*, 2013).

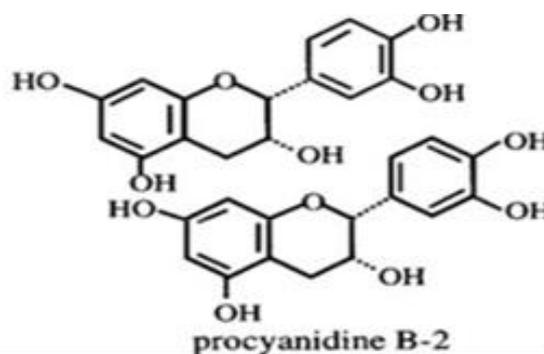


Figure 4: Structures d'un exemple des tanins condensés (Cheynier *et al.*, 2013).

I.1.2.2. Alcaloïdes

ce sont des substances basiques d'azote, souvent nocives, mais présentant des propriétés pharmaceutiques significatives (Figure 5) (Zakkad, 2016 ; Cherifi *et al.*, 2016).

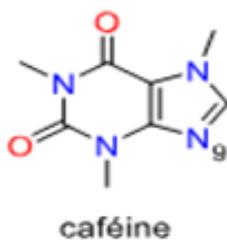


Figure 5 : Structure chimique d'un alcaloïde (caféine) (Mazars, 2023).

I.1.2.3. Terpènes

Le terme « terpénoïdes » désignait à l'origine les hydrocarbures présents dans la térébenthine, l'oléorésine produite par les conifères et les térébinthacées. Ces hydrocarbures peuvent être modifiés et se retrouvent sous diverses formes telles que les alcools, les éthers, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les esters et les glycosides. Aujourd'hui, environ 80 000 terpénoïdes sont décrits, constituant les produits naturels les plus abondants. Ils sont également produits par des bactéries, des animaux et certaines molécules primaires, comme les caroténoïdes, essentielles aux organismes vivants. Les composés naturels possèdent des propriétés physico-chimiques et biologiques diverses, ce qui les rend attractifs pour la communauté scientifique. Ils sont utilisés dans les cosmétiques, les produits d'hygiène, la parfumerie et les parfums pour leurs propriétés anti-oxydantes et odorantes. Les huiles essentielles contiennent des antimicrobiennes, des antifongiques, des antivirales, des anti-inflammatoires, et sont des précurseurs de médicaments anticancéreux. On les retrouve également dans l'agriculture et la nutrition, offrant des alternatives aux biocarburants (**Fattorusso *et al.*, 2007**).

Le groupe le plus important de les composés organiques volatils libérés par les plantes est celui des terpènes, qui comprend l'isoprène, les monoterpènes et les sesquiterpènes (**Rosenkranz *et al.*, 2021**).

I.1.2.4. Huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des substances naturellement volatiles produites par diverses parties des plantes comme les fleurs, les graines, les feuilles, le bois ou les racines. Elles confèrent aux végétaux aromatiques leurs caractéristiques gustatives, olfactives ou aromatiques distinctives, et sont largement utilisées dans les secteurs pharmaceutique, chimique, alimentaire, cosmétique et agricole pour leurs propriétés antiseptiques, antibiotiques, anti-inflammatoires, conservatrices, insecticides, entre autres. Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de nombreux composés chimiques tels que des hydrocarbures, des alcools, des esters, des aldéhydes, des cétones, etc (**Guesmi *et al.*, 2017**). Les propriétés et les activités des huiles essentielles dépendent de la nature, de la proportion et des interactions entre ces différents composés chimiques. De plus, la composition des huiles essentielles peut varier considérablement en fonction de l'origine géographique, des

conditions climatiques et des espèces végétales. Même différentes parties d'une même plante peuvent présenter des compositions d'huiles essentielles distinctes (**Figure 6**) (**Haziit *et al.*, 2009**) .

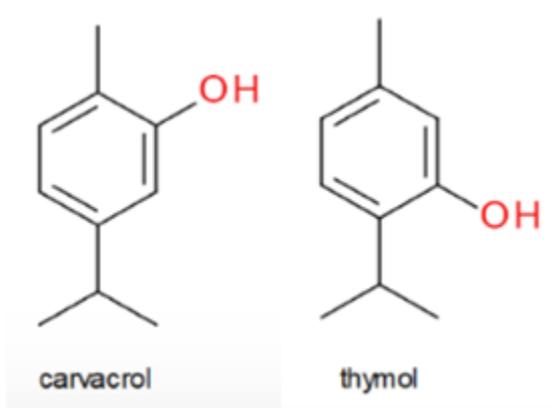


Figure 6 : Structure chimique de carvacrol et thymol (**Kowalczyk *et al.*, 2020**).

Les terpénoïdes constituent le groupe le plus important de produits naturels. 40 000 terpénoïdes différents ont été reconnus et constituent 90 % des HE. Les terpènes ont fait l'objet d'une attention commerciale en raison de leurs caractéristiques remarquables, notamment la prévention de plusieurs maladies telles que le cancer et leurs activités insecticides. Les terpènes ont fait l'objet d'une attention commerciale en raison de leurs caractéristiques remarquables, notamment la prévention de plusieurs maladies telles que le cancer et leurs activités insecticides. Ils ont des propriétés utiles dans les produits agricoles, comme les inhibiteurs de germination dans diverses pommes de terre, et sont des éléments de base pour la synthèse de molécules intéressantes (**Eslahi *et al.*, 2017**).

Les huiles essentielles sont des compositions complexes contenant une variété de composés chimiques tels que des hydrocarbures, des alcools, des esters, des aldéhydes, des cétones, etc. Les caractéristiques et les effets des huiles essentielles sont conditionnés par la composition chimique, la concentration et les interactions des différents composés qui les constituent. La composition des huiles essentielles peut varier selon leur provenance géographique, les conditions climatiques et les espèces végétales impliquées. Les diverses parties d'une plante peuvent présenter des compositions d'huiles essentielles distinctes. Les terpénoïdes représentent la catégorie la plus prédominante parmi les composés naturels. On a identifié environ 40 000 terpénoïdes distincts, représentant 90 % des huiles essentielles. Ces terpènes ont suscité un intérêt commercial en raison de leurs propriétés notables, telles que la prévention de diverses maladies comme le cancer et leurs effets insecticides, et de leurs

caractéristiques exceptionnelles, notamment en ce qui concerne la prévention de diverses maladies telles que le cancer et leurs propriétés insecticides. Ces composés présentent des caractéristiques bénéfiques dans le domaine des produits agricoles, tels que leur utilisation en tant qu'inhibiteurs de la germination dans différentes variétés de pommes de terre, et ils servent de matières premières essentielles pour la synthèse de molécules d'intérêt.

Chapitre II : Généralités sur le
Thymus

II.1. Famille des lamiacées

Connue en latin sous le nom de Lamiaceae ou Labiatae, la famille des Lamiaceae est assez vaste. Elle compte environ 6700 espèces réparties en 250 genres (Miller *et al.*, 2006), dont *Salvia* (900), *Scutellaria* (360), *Stachys* (300), *Plectranthus* (300), *Teucrium* (250) et bien d'autres. Sa flore est principalement herbacée et arborée, avec quelques arbres et lianes associées. Selon Yuan et ses collaborateurs (2010) les Lamiaceae sont largement répandues dans le monde entier et constituent l'une des familles les plus utilisées comme source mondiale d'épices et d'extraits aux puissantes propriétés antimicrobiennes, antifongiques, anti-inflammatoires et antioxydantes (Gherman *et al.*, 2000 ; Hilan *et al.*, 2006).

D'un point de vue chimique, cette famille a fait l'objet de plusieurs études approfondies pour isoler divers types de composés. Elle inclut des genres tels que *Rapodosia*, *Ajuga*, *Teucrium*, *Salvia*, *Scutellaria*, *Stachys*, *Leonurus*, *Pallotta*, *Coleus*, *Thym* et *Phlomis*. Ces recherches ont permis d'identifier plusieurs métabolites secondaires, notamment des stéroïdes, des flavonoïdes, des iridoïdes, des sesquiterpènes, des diterpènes et des triterpènes (Hoerni, 2001).

II.2. Genre *Thymus*

II.2.1. Généralité

Le nom "Thym" dérive du mot grec « thymon », signifiant "parfum", en référence à l'agréable odeur naturelle que la plante émet, particulièrement perceptible lorsqu'elle est brûlée (Zeghib, 2013). Le genre *Thymus* appartient à la famille des Lamiacées, anciennement connue sous le nom de Labiées en raison de la corolle à deux lèvres de ses petites fleurs. Cette famille est l'une des plus vastes du règne végétal, comprenant environ 240 genres et 7200 espèces (Abdelli, 2017). Elle est reconnue comme l'une des principales productrices d'huiles essentielles, et ses plantes sont largement utilisées et appréciées en tant qu'herbes aromatiques (Boulade, 2018). Dans la famille des Lamiacées, le genre *Thymus* est considéré comme l'un des huit genres les plus importants en termes de diversité d'espèces, bien que ce classement puisse varier selon les systèmes de classification taxonomique (Stahl-Biskup et Saez, 2002).

II.2.2. Composition chimique

Le genre *Thymus* contient des composés terpéniques, des dérivés phénoliques, des aldéhydes, des cétones, des éthers, des esters et des huiles essentielles, dont les composés dominants, qu'ils soient phénoliques comme le thymol ou le cravacrol ou non phénoliques comme le géraniol, le bornéol, le thujanol, l' α -terpinéol ou le p-cymène, varient selon l'espèce et le chémotype. Des composés phénoliques sont également présents dans les espèces du ce

genre, principalement des acides phénoliques (acide rosmarinique, acide caféique), des flavonoïdes, des tanins et des saponines (**Kosakowska et al., 2020**).

II.2.3. Description botanique

Les *Thymus* sont de petites plantes sous-ligneuses pouvant atteindre jusqu'à 40 cm de hauteur. Leurs feuilles sont petites, avec des bords recourbés, de couleur verte foncée, et elles sont couvertes de poils et de glandes appelées trichomes. Ces trichomes renferment principalement une huile essentielle composée de monoterpènes oxygénés. On retrouve également ces structures sur les calices et les jeunes tiges, où elles libèrent leur essence au simple contact, bien que cela soit moins prononcé sur les tiges. Les petites fleurs zygomorphes des *Thymus* sont regroupées en glomérules et peuvent présenter une gamme de couleurs allant du blanc au violet, en passant par le rose (**Bouaoun et al., 2007**).

II.2.4. Répartition géographique

- **Dans le monde**

Les *Thymus* sont répandus en Europe, en Asie occidentale et autour de la Méditerranée (**Dob et al., 2006**). Cette plante est particulièrement courante dans l'ouest de l'Afrique du Nord (Maroc, Tunisie, Algérie et Libye), ainsi que dans les montagnes d'Éthiopie et d'Arabie du Sud-ouest, jusqu'à la péninsule du Sinaï en Égypte. On la trouve également en Sibérie et même dans l'Himalaya. Selon une étude menée par **Nickavar et al. (2005)**, le genre *Thymus* compte environ 110 espèces différentes dans le bassin méditerranéen (**Figure 7**).

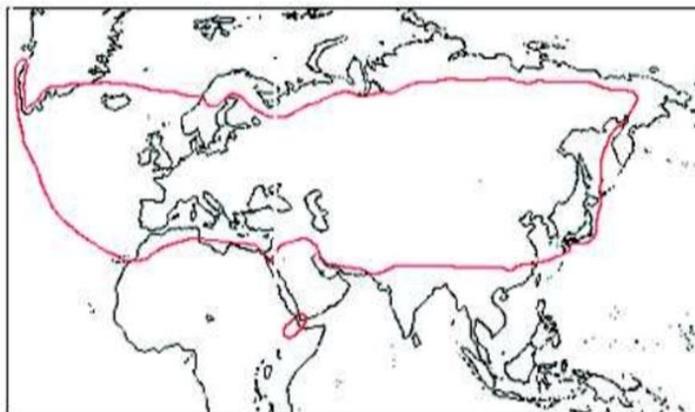


Figure 7 : Répartition géographique du thym dans le monde (**Stahl-Biskup, 2002**).

- **En Algérie**

En Algérie, la richesse des plantes médicinales est largement reconnue en raison de la diversité de ses écosystèmes et de ses zones bioclimatiques variées. Les espèces botaniques de

thym sont présentes le long du littoral ainsi que dans les régions intérieures, y compris les zones arides (**Tableau 1**) (**Saidj, 2006**).

Tableau 1 : Les différentes espèces du *Thymus* en Algérie.

Esèces	Localisation	Appellation	Auteurs
<i>Thymus capitatus</i> (Hoffman et Link)	Rare dans la région de Tlemcen.	Zaatar	(Dob <i>et al.</i> , 2006 ; Saidj, 2006)
<i>Thymus pallescens</i> (Noé)	Plante endémique du nord de l'Algérie.	Zaatar	(Hazzit <i>et al.</i> , 2009)
<i>Thymus dreatensis</i> (Battandier)	Plante endémique des montagnes Aures (Batna région) et les montagnes du Djurdjura (région de l'Est) Kabylie.	Zaatar	(Quezel et Santa, 1963 ; Hazzit <i>et al.</i> , 2009)
<i>Thymus guyonii</i> (Noé)	Rare dans le sous secteur des hauts plateaux algérois et oranais et constantinois.		(Hazzit <i>et al.</i> , 2009)
<i>Thymus lanceolatus</i> (Desfontaines)	Le secteur de l'Atlas tellien (terni de Médéa et Benchicao) et sous secteur des hauts plateaux algérois, oranais (Tiart).	Zaatar	(Hazzit <i>et al.</i> , 2009)
<i>Thymus pallidus</i> (Coss)	Très rare dans le sous secteur de l'atlas saharien.	Tizerdite	(Dobe <i>et al.</i> , 2006)
<i>Thymus hirtus</i> (Willd)	Commun sauf sur littoral.	Djertil Hamrya	(Dob <i>et al.</i> , 2006 ; Saidj, 2006)
<i>Thymus algeriensis</i> (Boiss et Reuter)	Très commun dans les hauts plateaux ajgérois et oranais.	Djertil Zaitra	(Hazzit <i>et al.</i> , 2009)
<i>Thymus fontanesii</i> (Boiss et Reuter)	Commun dans le tel, endémique Est Algérie, Tunisie.	Zaatar	(Dob <i>et al.</i> , 2006 ; saidj, 2006)
<i>Thymus vulgaris</i> (carl von Linné)	Région de Tebessa	Zaatar	(Tamert <i>et al.</i> , 2017)

II.2.5. Propriétés thérapeutiques

Plusieurs domaines pharmaceutiques utilisent également les huiles essentielles de *thym* comme antiseptiques (Loic, 2006), stomachiques et carminatives (Schauenberg, 2008). Leurs nombreuses activités biologiques reconnues sont associées à leur utilisation (Nielsen *et al.*, 2000; Lamiri *et al.*, 2001 ; Cimanga *et al.*, 2002 ; Yakhlef, 2010). L'espèce *Thymus algeriensis* est originaire de l'Afrique du Nord. En Algérie, on utilise cette espèce pour soigner les maladies respiratoires (rhumes, gripes, angines), les problèmes de digestifs (dyspepsies, crampes, flatuosités), le manque d'appétit et la digestion difficile (Guy, 2005).

Il est conseillé pour traiter les douleurs sciatiques, les douleurs des reins et de la vessie, la colite et les ballonnements (Madi, 2010). De plus, il est employé contre la lèpre, la paralysie et les maladies nerveuses. La cuisine algérienne utilise cette plante aromatique très parfumée pour préparer divers plats. Traditionnellement, elle est utilisée pour infuser des tisanes et pour parfumer la viande de volaille, en particulier (Benbelaïd *et al.*, 2013).

II.2.6. Classification

Selon Djedir (2018), le thym appartient aux :

Règne :	Plantae (végétale)
Embranchement :	Spermaphytes
Sous embranchement :	Angiospermes
Classe :	Eudicots
Sous-classe :	Gamopétales (Astérisées)
Ordre :	Lamiales
Famille :	Lamiacées
Genre :	<i>Thymus</i>

Chapitre III:
Chimiotaxonomie des huiles essentielles
du genre Thymus.

III.1. Espèces du genre *Thymus*

III.1.1. *Thymus algeriensis*

Thymus algeriensis est une plante herbacée parfumée qui représente l'épice aromatique (ElHadj *et al.*, 2010).

III.1.1.1. Description botanique et distribution

T. algeriensis est une espèce originaire de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) (Floc'h et Boulos, 2008). Il se développe naturellement dans différentes régions bioclimatiques, allant des zones subhumides aux zones arides inférieures et aux zones à sols calcaires pauvres (Ali *et al.*, 2012). La plante vivace *T. algeriensis* présente des entre-nœuds de 4 à 7 mm de long, qui émergent comme une touffe de la courte souche ligneuse (Benabid, 2000). Feuilles oppositionnelles, linéaires et lancéolées (6–12 mm) avec les deux faces vertes. Les fleurs sont de petite taille (5 à 7 mm) et sont d'un blanc violacé ou pourpre rosé de la corolle, avec la fente labiale supérieure et la fente labiale inférieure divisées en trois lobes. La floraison et la maturation se déroulent de la fin d'avril à juin (Zouari *et al.*, 2012; Guesmi *et al.*, 2019). Les populations et les cultivars de thym dans les zones naturelles subissent une forte pression anthropique, notamment la surcollecte, le surpâturage, le défrichage, et autres facteurs similaires (Ali *et al.*, 2010). Ces activités ont pour conséquence que ces populations tendent à se présenter sous forme de métapopulations dispersées, souvent de petite taille.

Le niveau de différenciation et la dérive génétique des populations de *T. Algeriensis* sont influencés par de nombreux facteurs, notamment la fragmentation de l'habitat, l'isolement spécifique, les conditions écologiques et la limitation du flux génétique, ce qui limite leur capacité à s'adapter aux changements écologiques (Ali *et al.*, 2014). Chez *T. Algeriensis*, plusieurs chémotypes ont été identifiés en fonction de leur composition phytochimique (huiles essentielles et composés principaux) (Zouari *et al.*, 2012). Le niveau de destruction du site, le nombre de fondateurs initiaux dans les populations, ainsi que leur dispersion et leur potentiel de reproduction seraient également des facteurs qui influenceraient la diversité génétique parmi les populations (Figure 8) (Ali *et al.*, 2014).



Figure 8: *Thymus algeriensis* (Guernoug, 2017).

III.1.1.2. Composition chimique

En raison de son importance médicinale, culinaire et économique, *Thymus capitatus* a fait l'objet de plusieurs études visant à analyser sa composition chimique. Les recherches phytochimiques ont confirmé la présence de composés phénoliques parmi lesquels les principaux composés identifiés sont : l'acide rosmarinique (6,3 mg/g d'extrait sec), l'acide caféique (4,8 mg/g), la lutéoline (3,1 mg/g), la quercétine (2,5 mg/g), l'apigénine (1,7 mg/g) et le thymol (1,1 mg/g). D'autres composés phénoliques présents en plus faibles quantités comprennent l'acide p-coumarique (0,8 mg/g), l'acide férulique (0,6 mg/g), l'acide syringique (0,4 mg/g) et l'acide vanillique (0,3 mg/g) et des huiles essentielles. Cette plante aromatique, qui est riche en huiles essentielles, a attiré l'attention des chercheurs en raison de son potentiel médicinal et culinaire. Des études menées par plusieurs chercheurs (Giwali *et al.*, 2013 ; Guesmi *et al.*, 2014 ; Guesmi *et al.*, 2017 ; Bendjabeur *et al.*, 2018) ont visé à déterminer sa composition chimique et ses activités biologiques. Ces recherches ont révélé une variation significative de la composition de cette plante d'une région à l'autre, voire à l'intérieur d'une même région (Haziit *et al.*, 2009). Par conséquent, les huiles essentielles de cette plante sont classées en différents chémotypes, notamment ceux riches en thymol, α -pinène, camphre, 1,8-cinéole et terpinène-4-ol (Haziit *et al.*, 2009 ; Guesmi *et al.*, 2014 ; Bendjabeur *et al.*, 2018

III.1.1.3. Usage traditionnel

Thymus algeriensis est couramment utilisée fraîche ou sèche à des fins culinaires comme épice. En médecine traditionnelle, cette plante est connue pour ces vertus médicinales dans le traitement des troubles respiratoires, contre l'avortement, et ses propriétés antispasmodiques qui en font un bon remède pour soigner les troubles gastro-intestinaux (Giweli *et al.*, 2013 ; Zianiet *al.*, 2019). Elle est également utilisée dans le traitement de plusieurs maladies infectieuses, la dysenterie, la diarrhée, le rhume et l'adénome de la prostate

(Ziani *et al.*, 2019). Cette plante agit comme un stimulant pour la circulation sanguine et est un aphrodisiaque (Benkiniouar *et al.*, 2007).

III.1.2. *Thymus capitatus*

III.1.2.1. Description botanique

Thymus capitatus est une plante vivace et ornementale, atteignant une hauteur comprise entre 20 et 60 cm (BenEl Hadj Ali *et al.*, 2012). Elle présente des branches ligneuses dressées portant des grappes de feuilles axillaires. Cette plante est hermaphrodite et se reproduit à la fois par multiplication végétative et sexuée. Les feuilles sont dimorphes, plus petites en saison sèche et plus grandes en saison humide, mesurant entre 6 et 12 mm de longueur, sessiles, presque trilatérales, et légèrement ciliées à la base. Elles sont disposées de manière opposée et ont une forme linéaire. *Thymus capitatus* fleurit en juin. Ses fleurs sont hermaphrodites, grandes (7-10 mm), regroupées en têtes terminales denses avec un calice inégal (5 mm). La corolle est de grande taille, avec des pétales violets ou blancs (5-8 mm), présentant une lèvre supérieure bifide caractéristique de la famille des Lamiacées. Les cellules végétales sont diploïdes, avec un nombre chromosomique de $2n = 30$ (Figure 9) (Bouyahya *et al.*, 2020).



Figure 9 : *Thymus capitatus* (www.naturalmedicinefacts.info).

III.1.2.2. Taxonomie et répartition géographique

Il existe quelques synonymes pour *T. capitatus* Hoffm., notamment *Coridothymus capitatus* (L.) et *Thymbra capitata* (L.). *T. capitatus* appartient à la famille des Lamiaceae, à la sous-famille des Nepetoideae, à la tribu des Mentheae et au genre *Thymus* (Ali *et al.*, 2012). Cette espèce prospère principalement dans les climats méditerranéens secs (BenEl Hadj Ali *et al.*, 2012). Elle est largement répandue dans diverses régions méditerranéennes, telles que l'Albanie, les Baléares, la Corse, Chypre, la Mer Égée orientale, la Grèce, l'Italie, la Crète, le Liban, la Syrie, la Libye, le Maroc, la Tunisie, l'Algérie, l'Égypte, la Palestine, le

Portugal, la Sardaigne, la Sicile, l'Espagne, la Turquie et l'ex-Yougoslavie (**Iapichino et al., 2006**).

III.1.2.3. Composition chimique

L'analyse de la composition chimique des extraits et des huiles essentielles de l'espèce provenant de divers pays à travers le monde a permis aux scientifiques d'identifier plus de 90 composés, appartenant à quatre grandes classes de métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques tels que l'acide rosmarinique (37,4 mg/g), l'acide caféique (12,2 mg/g), l'acide férulique (6,3 mg/g) et la lutéoline (16,7 mg/g). La composition chimique des huiles essentielles de *T. capitatus* provenant du Grand Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) est presque similaire, principalement composée de carvacrol, α -pinène, γ -terpinène, thymol, p-cymène, flavonoïdes, acides gras et terpénoïdes (**Hajlaoui et al., 2015 ; Megdiche-Ksouri et al., 2015 ; Saïd et al., 2016 ; Saoudi et al., 2017 ; Ainane et al., 2018 ; ElJalel et al., 2018 ; Tammar et al., 2018 ; Goudjil et al., 2020**). L'huile essentielle de *T. Capitatus* provenant de certaines régions d'Algérie est composé principalement de thymol (51,22%), de carvacrol (12,59%) et de γ -terpinène (10,3%) qui représentent 74,11% de la composition totale (**Goudjil et al., 2020**).

III.1.2.4. Usage traditionnelle

Plusieurs études ethnomédicales ont souligné l'importance de *T. capitatus* dans la médecine traditionnelle de la région méditerranéenne (**El-Hilaly et al., 2003a**). Cette plante est traditionnellement utilisée pour traiter divers troubles tels que les affections cardiaques et digestives, les gonflements et l'indigestion (**El-Hilaly et al., 2003b**). Elle est également réputée pour ses propriétés contre la douleur et la toux (**Oran et Al-Eisawi, 2015**), ainsi que pour ses applications dans le traitement des maladies de peau, des problèmes respiratoires, des troubles digestifs et de l'infertilité chez les femmes (**Wahida et al., 2011**). Les parties les plus utilisées de la plante sont les feuilles, préparées sous forme de décoction (**Bouyahya et al., 2020**).

Les fleurs de *T. capitatus* mélangées aux feuilles sont employées traditionnellement comme analgésique et sédatif (**Eissa et al., 2014**). Ainsi que comme traitement antidiabétique, contre le rhume, la toux, les flatulences, la dermatite, l'indigestion, les douleurs gastriques, les rhumatismes, les maladies inflammatoires et respiratoires (**El-Mokasabi et al., 2018**). On attribue également à *T. capitatus* des effets anticancéreux, renforçant le système immunitaire et traitant la pneumonie et les troubles respiratoires (**El-Mokasabi et al., 2018**). *T. capitatus* est également utilisé traditionnellement contre la diarrhée, la coqueluche, la grippe, le cholestérol, les maux de dents, l'asthme, la bronchite, le rhume, la pneumonie, la

dysménorrhée, comme apéritif, stimulant, antiseptique et pour la perte de cheveux (**Hanlidou et al., 2004**).

Les parties aériennes de *T. capitatus* sont utilisées en décoction pour traiter les troubles gastro-intestinaux (**Caruana et Attard, 2016**). La plante entière de *T. capitatus* est également reconnue en médecine traditionnelle pour ses propriétés antitussives, expectorantes et pour le traitement de la bronchite (**Mustafa et al., 2012**). En outre, elle est préparée en décoction et en infusion pour traiter les troubles digestifs, les névralgies, comme dépuratif, pour ses effets balsamiques et comme anti-catarrhal (**Loi et al., 2005**).

III.1.3. *Thymus vulgaris*

III.1.3.1. Description morphologique

Il s'agit d'une plante aromatique à tiges cylindriques ligneuses de 7 à 30 cm de haut. Elle présente des feuilles très-petites, ovales, lancéolées, à bord roulé en dessous. Les pétales sont de couleur rose à blanche, mesurant de 4 à 6 mm de long (**Fernandez, 2003**). *Thymus vulgaris* demeure endémique des plaines et des collines (**Kaloustian et al., 2003**). Cette plante naturelle se développe en grande quantité dans les zones arides, caillouteuses et ensoleillées, de la côte à la montagne (**Figure 10**) (**Kuete, 2017**).



Figure 10: *Thymus vulgaris* (**Delloum & Rami, 2016**).

III.1.3.2. Répartition géographique

Thymus vulgaris est une plante à fleurs de la famille des Lamiacées, originaire du sud de l'Europe, mais elle est largement répandue à travers le monde (**Hosseinzadeh et al., 2015**). On la retrouve notamment dans le bassin méditerranéen et ses pays voisins, ainsi qu'en Afrique du Nord et dans certaines régions d'Asie. En Afrique, cette plante a été cultivée et est bien établie en Égypte, au Maroc, en Algérie, en Tunisie et en Libye (**Stahl-Biskup et Sáez,**

2002), au Cameroun (Nkouaya Mbanjo *et al.*, 2007), au Nigeria (Kayode et Ogunleye, 2008), et en Afrique du Sud (Schmitz, 2015).

III.1.3.3. Composition chimique

Thymus vulgaris est riche en divers composés phytochimiques. Il contient des composés phénoliques tels que les acides phénoliques comme l'acide chlorogénique (0,012 mg/g), l'acide caféique (0,151 mg/g), l'acide sinapique (0,115 mg/g), l'acide benzoïque (0,343 mg/g) et l'acide vanillique (0,144 mg/g), ainsi que des flavonoïdes comme la myricétine (0,204 mg/g) et la quercétine (0,811 mg/g). Il est également riche en polyphénols, terpénoïdes, et particulièrement en thymol, eugénol et saponines (Ekoh *et al.*, 2014). Les huiles essentielles de *Thymus vulgaris* présentent une concentration élevée de monoterpènes oxygénés (56,53 %), avec des proportions plus faibles d'hydrocarbures monoterpéniques (28,69 %), d'hydrocarbures sesquiterpéniques (5,04 %) et de sesquiterpènes oxygénés (1,84 %) (Reddy *et al.*, 2014).

III.1.3.4. Usage traditionnelle

Le *Thymus vulgaris* est une plante aromatique largement appréciée à travers le monde pour ses multiples applications dans la médecine traditionnelle (Adwan *et al.*, 2006). Son huile essentielle est utilisée dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Jordan *et al.*, 2006). Cultivée principalement en Europe et aux États-Unis, cette plante est couramment utilisée en cuisine pour aromatiser une variété de plats (Ozcane et Chalchat, 2004). *Thymus vulgaris* est inscrit dans les pharmacopées allemande et britannique en tant que plante médicinale, reconnue pour ses propriétés spasmolytiques, expectorantes et antibactériennes. L'infusion de ses feuilles est associée à l'amélioration du repos et du sommeil (Kitajima *et al.*, 2004). De plus, l'ajout d'un extrait de bain préparé par décoction favorise la circulation sanguine cutanée, ce qui peut contribuer à soulager les symptômes de la dépression nerveuse (Ozcan et Chalchat, 2004). L'infusion de la plante est bénéfique pour soigner la toux, le diabète, le rhume et les infections pulmonaires, ainsi que sous forme de sirop pour les problèmes digestifs. Il a également un effet apaisant sur les maux de gorge, car le thym renferme des antiseptiques, des antibiotiques et des propriétés antifongiques (Ekoh *et al.*, 2014).

Thymus vulgaris est reconnu pour ses propriétés multiples, notamment comme astringent, anthelminthique, carminatif, désinfectant et tonique. Cette plante est réputée pour ses effets bénéfiques dans le traitement de diverses infections et infestations intestinales, telles

que celles causées par les ankylostomes, les ascaris, les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, ainsi que les champignons et les levures, y compris *Candida* (Reddy *et al.*, 2014).

III.2. Etude phytochimique des huiles essentielles des trois espèces

La plupart des chercheurs ont utilisé la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), une méthode analytique permettant d'identifier les substances dans un échantillon. Cette technique combine la capacité de la chromatographie en phase gazeuse (GC) à séparer les composants en fonction de leur volatilité et de leur affinité avec la phase stationnaire de la colonne chromatographique, avec l'analyse structurale de la spectrométrie de masse (MS). Une fois séparés par GC, les composants sont introduits dans le spectromètre de masse où ils sont ionisés. Les ions produits sont ensuite triés en fonction de leur rapport masse/charge (m/z) et détectés, générant ainsi un spectre de masse distinct pour chaque composé. Ce spectre peut ensuite être comparé à des bibliothèques de spectres pour identifier précisément les composés présents dans l'échantillon (Oirere *et al.*, 2015).

III.2.1. Composition chimique des huiles essentielles de *T. algeriensis*

La composition chimique des huiles essentielles est principalement représentée par les monoterpènes (C10 : deux unités isoprène) et les sesquiterpènes (C15 : trois unités isoprène), les hydrocarbures et les dérivés oxygénés, ainsi que les aldéhydes aliphatiques, les alcools ou bien les esters. D'après El Ouahdani *et ses collègues.* (2021), l'analyse des huiles essentielles de *T. algeriensis* par CPG révèle la présence des composés illustrée dans le **tableau 2**

Tableau 2 : Analyses phytochimiques des huiles essentielles de *T. algeriensis*. (El Ouwahdani *et al.*, 2021).

Composé	%	Composé	%
δ -3-Carene	3.1	Borneol	20.38
α -Thujene	0.64	Terpin-4-ol	0.48
α -Pinene	0.35	β -dihydroterpineol cis	1.87
Caryophyllene acetate	0.34	Verbenone	0.08
Sabinene	0.56	Sabinene-hydrate, cis-	0.54
Caryophyllene	0.28	Thymolmethylether	0.98
α -Terpinene	2.3	α -Terpin-7-al	0.18
p-Cymene	0.47	Thymol	46.03
1,8-Cineole	2.63	Carvacrol	5.86
β -Ocimene,(E)-	2.80	γ -Terpinene	0.74

Le tableau 3 indique que l'extrait de *T.algeriensis* est particulièrement riche en composés terpéniques, à savoir :

- **Monoterpènes:** Tricyclène, β -Ocimène, α -Thujène, α -Pinène, γ -Terpinène, Camphène, Sabinène, β -Myrcène, δ -3-Carène, Terpinène, p-Cymène (Monoterpène aromatique), Thymol et Carvacrol (Monoterpènes phénoliques).
- **Monoterpénoïdes :** Monoterpène oxygéné: Sabinène hydraté, cis, 1,8-Cinéole, Bornéol, Terpin-4-ol, β -Dihydroterpineol, cis, Verbenone, piperitol, trans, Myrtanol, trans, α -Terpin-7-al, 3-thuyl acétate.
- **Sesquiterpène :** Caryophyllène.
- **Sesquiterpénoïde:** Sesquiterpène oxygéné ; acétate de caryophyllène.
- **Éther phénolique :** Éther méthylique de thymol, apocarotènes et dérivés non terpéniques. Avec la dominance de Thymol (46.03%) suivis par Borneol (20.38%), le Carvacrol (5.86%) et le 1,8-Cineole (2.63%), α - Terpinene (2.3%), et β -Ocimene (2.80%).

Ces molécules sont très utilisées dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique en raison de leur arôme et forte odeur. La plupart de ces composés sont biologiquement actifs et

sont considérés comme les agents antimicrobiens les plus efficaces. (El Ouwahdani *et al.*, 2021).

III.2.2. Composition chimique des huiles essentielles de *T. capitatus*

Les huiles essentielles de *T. capitatus* renferment une diversité de composés incluant des monoterpénoïdes, des sesquiterpénoïdes, des époxydes et des acides gras. La classification de ces composés se fait en fonction de leur structure et de leurs propriétés moléculaires, ce qui permet de comprendre leurs caractéristiques biologiques et chimiques (Tableau 3). (Goudjil *et al.*, 2019)

Tableau 3 : Les principaux composants des huiles essentielles de *T. capitatus*. (Goudjil *et al.*, 2019)

Composants	%
α -thujene	0,38
α -Pinene	0,91
Camphene	0,2
β -Myrcene	1,49
α -terpinene	1,78
γ -Terpinene	10,3
Linalool	2,29
Terpineol	0,37
Thymol	51,22
Carvacrol	12,59
α -gurjunene	0,26
Caryophyllene	2,01
(+)-Ledene	0,34
β -Bisabolene	0,3
β -copaene	0,12
δ -Amorphene	0,24
α -Bisabolene	0,23
Elemicin	0,14
(-)-Spathulenol	0,87
Caryophylleneoxide	1,21
Pentadecanoicacid	1,92
trans-13-Octadecenoicacid	9,04
Total	98,21

Le tableau indique que l'extrait de *T. capitatus* est particulièrement riche en composés terpéniques, à savoir :

- **Monoterpène** : α -Thujène, α -Pinène ,Camphène, β -Myrcène, α -Terpinène, γ -Terpinène.
- **Monoterpenoïdes** : Linalol, Terpeneol (Monoterpène Alcool), Thymol etCarvacrol (Monoterpène Phénol).
- **Sesquiterpène** : α -Gurjunène, Caryophyllène, Lédène, β -Bisabolène, β -Copaène, δ - Amorphène, α Bisabolène,.
- **Sesquiterpénoïdes** :Spathuléol (Sesquiterpène Alcool), Oxyde de caryophyllène (Sesquiterpène Oxyde).
- **Acide Gras** : Acide pentadécanoïque et Acide trans-13-octadécénoïque, Elémicine (Phénylpropène).

Le thymol est présent en grande quantité (51,22%), suivi du carvacrol (12,59%), γ -Terpinene (10,3 %) et de l'acide trans-13-Octadécénoïque (9,04%), ainsi que d'autres classes de composés en petites quantités. (Goudjil *et al.*, 2019)

III.2.3. Composition chimique des huiles essentielles de *T. vulgaris*

L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles de l'espèce *T. vulgaris* mentionnées par Aljabeili *et al.* (2018), a permis d'identifier les molécules suivantes :

- **Monoterpène** : Myrcène, α -Terpinène, P-Cymène, Terpinolène.
- **Monoterpenoïdes** : 1,8-Cinéole (éther monoterpénique), γ -Terpinène, cis-Carveol, Linalol, α -Terpineol, Terpin-4-ol (alcool monoterpénique), Thymol, Carvacrol (phénol monoterpénique), Trans-Thujone (cétone monoterpénique).
- **Sesquiterpène** : Caryophyllène.

Le thymol est le composant majoritaire (41,04%), suivi du 1,8-cinéole (14,26 %), du γ -terpinène (12,06 %), du p-cymène (10,50 %), de l' α -terpinène (9,22 %), du carvacrol (2,77 %) et des autres composants en faibles pourcentages (des autres composants en faibles pourcentages (Tableau 4).

Tableau 4 : Principaux composants des huiles essentielles de *T. vulgaris* déterminés par GC-MS. (Aljabeili *et al.*, 2018).

Composé	%
Myrcene	0.04
α-Terpinene	9.22
p-Cymene	10.50
1,8-Cineole	14.26
Thymol	41.04
Terpinolene	0.25
Linalool	2.80
trans-Thujone	0.22
Terpin-4-ol	0.65
α -Terpineol	1.10
cis-Carveol	0.43
γ-Terpinene	12.06
Carvacrol	2.77
Caryophyllene	0.43
composés inconnus	4.33
Totale	95.77

**Chapitre IV : Activités biologiques des
huiles essentielles du *Thymus***

IV. Activités biologiques des huiles essentielles

IV.1. Activité antioxydante

IV.1.1. Effet scavenger du radical DPPH

L'activité anti-radicalaire des trois espèces de thymus a été évaluée, *in vitro*, par le test de DPPH. Ce test repose sur la capacité de l'huile à réduire le radical libre DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) par sa décoloration de couleur violette foncée en couleur jaunâtre (**Figure11**) due à sa réduction en présence de capteurs des radicaux libres, il présente une absorbance caractéristique dans un intervalle compris entre 512 et 517 nm, cette couleur disparaît rapidement lorsqu'il est réduit par un composé ayant des propriétés anti-radicalaires. L'intensité de la couleur est directement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans l'échantillon à libérer des protons.

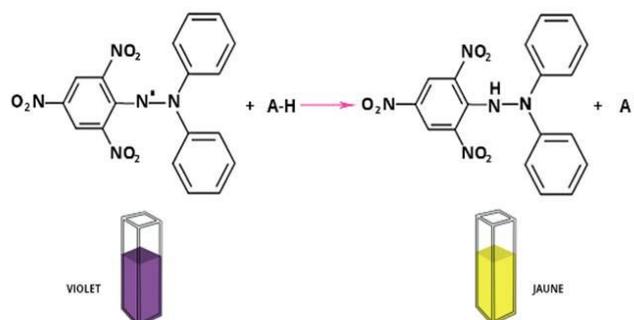


Figure 11: Réduction du DPPH (Nimse et Pal, 2015).

- *Thymus algerensis*

Selon le test effectué, l'huile essentielle de *Thymus algerensis* a démontré une capacité modérée à capturer les radicaux DPPH, avec une IC50 de $1,437 \pm 4,51 \text{ E-}05$ mg/ml. Cette valeur indique la concentration nécessaire pour réduire de moitié du radical DPPH. En comparaison, l'antioxydant standard vitamine C (acide ascorbique) présente une IC50 de $0,002 \pm 3,826$ mg/ml, ce qui montre une capacité significativement plus élevée à neutraliser les radicaux DPPH par rapport à l'huile essentielle de *Thymus algerensis*. Ces résultats, basés sur l'étude de **Rezzoug et al. (2019)**, mettent en évidence la différence d'efficacité entre l'huile essentielle de *Thymus algerensis* et la vitamine C en tant qu'antioxydants, mesurée par leur capacité à capturer les radicaux libres DPPH.

L'huile essentielle de *Thymus algeriensis* est composée de 21 composés différents, représentant au total 90,61% de sa composition. Les principaux constituants sont le thymol (46,03%), le bornéol (20,38%) et le carvacrol (5,86%). Dans cette étude, le thymol est

identifié comme le principal composant volatil de l'huile essentielle. Le thymol est un composé phénolique connu pour ses propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Ces caractéristiques en font un composé d'intérêt dans divers domaines, y compris en tant qu'agent potentiel pour capturer les radicaux libres, comme évalué par le test de DPPH, ainsi que pour ses capacités à combattre les micro-organismes.

- *Thymus Capitatus*

Les résultats de test de DPPH montrent que l'huile essentielle de *Thymus capitatus* présente une capacité significative à neutraliser les radicaux libres, augmentant avec la concentration d'huile. L'IC₅₀ mesurée est de $44,16 \pm 0,809 \mu\text{g/mL}$, ce qui indique la concentration nécessaire pour inhiber de moitié des radicaux libres DPPH, comparable à celle du BHT ($39,37 \text{ mg/mL}$)

La composition chimique de cette huile essentielle révèle une forte prédominance de monoterpènes oxygénés (94,98 %). Les hydrocarbures monoterpéniques, les sesquiterpènes et les sesquiterpènes oxygénés représentent environ 2 % chacun. Cette richesse en monoterpènes oxygénés, en particulier le carvacrol, contribue à la valeur de cette huile essentielle en tant que produit naturel actif.

Ces résultats sont cohérents avec des études antérieures qui ont souligné le potentiel antioxydant élevé des huiles essentielles de diverses espèces de *Thymus*, attribué à la présence de composés phénoliques et à leur capacité de libérer des protons (hydrogénation). Les composés oxygénés tels que le carvacrol et le thymol sont particulièrement notables pour leur activité antioxydante élevée. De plus, l'activité des huiles essentielles des espèces de *Thymus* est influencée par diverses caractéristiques structurales des molécules, en particulier la réactivité accrue des groupes hydroxyles substitués.

- *Thymus vulgaris*

D'après l'étude menée par **Ballester-Costa et ses collègues. (2017)**, il a été démontré que l'huile essentielle issue du *Thymus vulgaris* présente une activité antioxydante significative, surpassant même celle de certains antioxydants bien établis tels que le BHT et l' α -tocophérol. Cette huile s'est révélée efficace pour piéger les radicaux libres, agissant comme un antioxydant naturel avec une valeur IC₅₀ de $4,05 \pm 0,09 \text{ mg/ml}$. Le principal composé de était le thymol (41,04 %), tandis que le 1,8-cinéole (14,26 %), le γ -terpinène (12,06 %), le p-cymène (10,50 %), l' α -terpinène (9,22 %), le linalol (2,80 %) et le carvacrol (2,77 %) ont été observés en quantités appréciables. Les huiles essentielles sont riches en

composés terpéniques tels que le 1,8-cinéole, l' α -pinène, le β -pinène, l' α -terpinéol et le camphre, qui possèdent des niveaux élevés d'activités antioxydantes et antimicrobiennes.

Dans cette étude, le thymol a été identifié comme le principal constituant volatil des huiles essentielles étudiées. Il s'agit d'un composé phénolique reconnu pour ses capacités antioxydantes et antimicrobiennes. Il est important de noter que la composition chimique des huiles essentielles peut varier considérablement en fonction des conditions climatiques, saisonnières et géographiques. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux de **Sacchetti et al., (2005)** qui ont également observé une variabilité significative dans la composition chimique des huiles essentielles de *Thymus vulgaris*. Cette variation influence les propriétés antioxydantes et antiradicalaires des huiles essentielles. Dans plusieurs études récentes, des composés tels que le thymol, le 1,8-cinéole et le γ -terpinène ont été identifiés comme principaux constituants avec des capacités antioxydantes élevées (**Aldjabali et al., 2018**). Ainsi, la présence dominante de thymol dans les huiles essentielles de *Thymus* est cohérente avec leur potentiel antioxydant et antimicrobien, influencé par les variations naturelles et environnementales dans la composition des plantes.

IV.1. 2. Effet scavenger du radical ABTS

Le test ABTS (2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonate) permet de mesurer l'activité antioxydante d'un échantillon en évaluant sa capacité à neutraliser le radical ABTS \cdot^+ , visible par la diminution de l'absorbance à 734 nm. Ce test est sensible et largement utilisé dans la recherche pour évaluer les propriétés antioxydantes des composés naturels.

- *Thymus algeriensis*

La valeur IC₅₀ des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* est de $0,8960 \pm 0,203$ mg/mL, ce qui indique une activité modérée de piégeage des radicaux libres. Toutefois, cette activité est inférieure à celle de l'acide ascorbique, qui est utilisé comme antioxydant de référence ($0.001 \pm 5.13 \text{ E}^{-05}$) (**Rezzoug et al., 2019**).

Les huiles essentielles de *Thymus algeriensis* contiennent principalement du carvacrol, du thymol, du p-cymène et du γ -terpinène. Ces fractions bioactives ne sont pas seulement responsables de l'activité antimicrobienne, mais contiennent également des composés phénoliques qui sont responsables de la capacité antioxydante élevée du thym.

- *Thymus capitatus*

Le test ABTS révèle une activité antioxydante élevée de l'huile essentielle de *Thymus capitatus*, avec une IC₅₀ de $0,463 \pm 0,122$ $\mu\text{g/mL}$. Cette activité semble être supérieure à celle

du BHT utilisé comme standard (IC_{50} de $3,204 \pm 3,5 \mu\text{g/mL}$). Cette activité est attribuée à la présence de composés phénoliques tels que le carvacrol et le thymol, ainsi qu'à la présence de composés prédominants tels que le p-cymène, le carvacrol, l'acétate de géranyle et le bornéol (El Abed *et al.*, 2014).

- *Thymus vulgaris*

L'huile de *T. vulgaris*, évaluée par la méthode ABTS, montre une capacité à inhiber la formation de radicaux libres. La valeur de l' IC_{50} est de $6,46 \pm 0,11 \text{ mg/ml}$, indiquant une activité antioxydante comparable à celle du standard. Cette similitude est due à la présence de composés phénoliques comme le carvacrol et le thymol (Ballester-Costa *et al.*, 2017).

Les trois espèces de *Thymus* montrent des capacités antioxydantes remarquables, mais avec des concentrations IC_{50} différentes pour les tests DPPH et ABTS. *Thymus algeriensis* présente une faible IC_{50} pour DPPH, indiquant une forte activité antiradicalaire, tandis que *Thymus capitatus* montre une capacité notable à capturer les radicaux ABTS avec une IC_{50} de $44,16 \mu\text{g/mL}$. Chaque plante possède une composition spécifique en composés bioactifs. *Thymus algeriensis* est dominé par le thymol, tandis que *Thymus capitatus* est riche en monoterpènes oxygénés, principalement le carvacrol. *Thymus vulgaris*, est connu pour contenir des quantités significatives de thymol, 1,8-cinéole et γ -terpinène.

Chaque espèce de *Thymus* présente des caractéristiques uniques qui les rendent potentiellement utiles comme sources naturelles d'antioxydants, avec des concentrations et des profils de composés variés qui influencent leur efficacité dans la neutralisation des radicaux libres.

VI.2. Activité antimicrobienne

Le principe de l'activité antimicrobienne repose sur la capacité d'une substance à inhiber la croissance de micro-organismes, tels que les bactéries, les champignons, et les levures, ou à les tuer. Cette méthode est largement utilisée en microbiologie clinique pour tester la sensibilité des bactéries aux antibiotiques et pour sélectionner les traitements antimicrobiens appropriés. La méthode de diffusion sur disque, également appelée antibiogramme par diffusion, est basé sur l'application de disques imprégnés d'antibiotiques sur une gélose Mueller-Hinton (MH) standardisée. Ces disques renferment une concentration spécifique de l'huile, lequel se diffuse dans le milieu gélosé pendant la période d'incubation. Cette diffusion crée un gradient de concentrations de l'antibiotique, permettant ainsi d'évaluer la sensibilité d'une bactérie à cet agent en fonction de la zone d'inhibition formée autour du disque.

- *Thymus algeriensis*

Les huiles essentielles de *T. algeriensis* pourraient avoir une activité antimicrobienne contre un groupe de micro-organismes pathogènes, à savoir des champignons et des bactéries Gram positifs et Gram négatifs. L'efficacité de l'extrait en tant que antimicrobien est testée en termes de CMI (concentration minimale inhibitrice) contre les bactéries Gram-positives : *S. aureus* et *B. subtilis* et Gram-négatives : *S. epidermidis*, *E. coli*, *K. pneumonia* et *p. aeruginosa* et contre deux champignons : *C. albicans* et *C. glabrata* (**Tableau 5**) (**Rezzoug et al., 2019**).

Tableau 5 : Activité antimicrobienne de *T. algeriensis*.

Bactérie	MIC (ug/ml)
<i>S. epidermidis</i>	32
<i>S. aureus</i>	32
<i>B. subtilis</i>	32
<i>E. coli</i>	64
<i>K. pneumonia</i>	256
<i>p. aeruginosa</i>	512
<i>C. albicans</i>	64
<i>C. glabrata</i>	32

Dans cette étude, une activité antimicrobienne plus élevée a été observée contre les bactéries gram-positives testées, tandis que les huiles essentielles ont montré des activités antimicrobiennes modérées contre les bactéries gram-négatives.

- *Thymus capitatus*

Selon l'étude **d'El Abed et ses collègues (2014)**, les huiles essentielles de *Thymus capitatus* ont montré des activités antimicrobiennes significatives *in vitro* contre divers micro-organismes. L'évaluation a été effectuée à la fois qualitativement, par la présence ou l'absence de zones d'inhibition dans les tests de diffusion en disque, et quantitativement, par la détermination des valeurs de CMI (Concentration Minimale Inhibitrice). Les résultats ont révélé que les huiles essentielles présentaient une forte activité antibactérienne contre toutes les souches testées, comparable à celle des antibiotiques utilisés comme contrôles dans l'étude (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Activité antibactérienne de l'huile essentielle de *T. capitatus*.

Bactérie	Zone d'inhibition	CMI (mg/mL)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	23	10
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	70	2.5
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 11700	60	2.5
<i>Enterobacter cloacae</i> ATCC 13097	80	5
<i>Salmonella typhimurium</i> ATCC 14028	50	2.5
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 502	80	5
<i>Salmonella salamae</i> ATCC 6633	75	5
<i>Salmonella anatum</i> (food isolate)	80	2.5
<i>Shigella flexneri</i> ATCC 29903	80	2.5
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 2592	20	5
<i>Streptococcus pyogenes</i> ATCC 12344	75	2.5
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 19118	70	5
<i>Morganella morganii</i> (clinical isolate)	75	1.25
<i>Klebsiella oxytoca</i> (clinical isolate)	70	2.5
<i>Vibrio cholerae</i> (clinical isolate)	80	0.63
<i>Yersinia enterocolitica</i> ATCC 23715	80	10
<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 29906	45	5
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 11768	50	0.63
<i>Bacillus subtilis</i> (food isolate)	70	5

Les huiles essentielles de *Thymus capitatus* a démontré une forte activité antibactérienne, comme en témoignent les larges zones d'inhibition observées dans la méthode de diffusion en disque. Les valeurs de Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) varient selon les souches bactériennes testées, allant de 0,32 à 5 mg/mL pour les bactéries Gram-positives et de 0,63 à 20 mg/mL pour les bactéries Gram-négatives. *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 et *Bacillus cereus* ATCC 11768 se sont révélés être particulièrement sensibles à l'huile essentielle.

L'efficacité antibactérienne des huiles essentielles est attribuée à sa concentration et à la composition des monoterpènes et des composés phénoliques, comme indiqué par des études antérieures (Goudjil *et al.*, 2015 ; Hay *et al.*, 2018). Les mécanismes d'action des huiles essentielles sont souvent liés à leurs propriétés hydrophobes, qui leur permettent de perturber les lipides des membranes cellulaires et mitochondriales des bactéries. Cette perturbation augmente la perméabilité membranaire, perturbant ainsi le gradient de pH et le flux d'électrons à travers la membrane, ce qui peut conduire à la mort cellulaire par fuite de molécules et d'ions (Jouki *et al.*, 2014 ; Oulkheir *et al.*, 2017 ; Marin *et al.*, 2018 ; Sriken *et al.*, 2018). Le carvacrol, présent en concentration significative dans l'huile essentielle de *Thymus capitatus*, est identifié comme un composé particulièrement puissant pour ses propriétés antibactériennes.

- *Thymus vulgaris*

L'activité antibactérienne des HES obtenues à partir de *T. vulgaris* a été déterminée par diffusion sur disque contre un panel des bactéries communément associées aux aliments réfrigérés, soit comme indicateurs de micro-organismes pathogènes, soit comme micro-organismes de détérioration (tableau 7) (Ballester-Costa *et al.*, 2013).

Tableau 7 : Activité antimicrobienne des huiles essentielles de *T. vulgaris* contre plusieurs souches bactériennes et levure (Borugă *et al.*, 2014).

Microorganisme testé	Zone d'inhibition (mm)
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	31.4 ± 0.47
<i>Salmonella typhimurium</i> ATCC 14028	34.94 ± 0.22
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27853	14.13 ± 0.19
<i>E. coli</i> ATCC 25922	34.99 ± 0.19
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 13882	33.93 ± 0.14
<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	24.06 ± 0.15
<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	30.2 ± 0.17

D'après les données du tableau 7, les huiles essentielles ont démontré une activité très marquée contre ces bactéries, comme en témoigne leur large diamètre de zone d'inhibition, indiquant une efficacité inhibitrice de la croissance d'*E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis*, ainsi qu'une efficacité contre *C. albicans* et *S. typhimurium* (Borugă *et al.*, 2014).

L'analyse de l'efficacité des huiles essentielles contre les bactéries Gram positif et les champignons ont révélé une activité antimicrobienne significativement supérieure, tandis que

leur action contre les bactéries Gram-négatives s'est avérée modérée. Il convient de souligner que les effets antimicrobiens induits par le traitement aux huiles essentielles ont généralement surpassé ceux observés suite au traitement avec des extrait de *T. algeriensis* (**Bardaweel et al., 2015 ; Bouziane et al., 2018**).

En règle générale, il est difficile d'établir une corrélation directe entre les activités antimicrobiennes des huiles essentielles (HE) et un composé spécifique en raison de leur complexité et de leur variabilité. Cependant, certains chercheurs ont observé une relation entre la composition chimique des composants les plus abondants dans les HES et leur activité antimicrobienne. Dans cette étude, le carvacrol était identifié comme le principal constituant de l'HE de *Thymus capitatus*. Ce composé a été rapporté comme biocide, perturbant la membrane bactérienne et entraînant la fuite d'ATP intracellulaire et d'ions potassium, conduisant ainsi à la mort cellulaire. Des recherches antérieures ont montré que le carvacrol perturbe la membrane bactérienne, suggérant une possible activité antibactérienne au niveau intracellulaire. Ces résultats sont cohérents avec d'autres études démontrant que les huiles essentielles riches en carvacrol issues d'espèces de *Thymus* possèdent des propriétés antimicrobiennes puissantes *in vitro* (**Baser, 2008**).

L'activité antimicrobienne différenciée des huiles essentielles contre les bactéries gram-positives et gram-négatives peut être expliquée par plusieurs facteurs interdépendants : la composition chimique spécifique des huiles essentielles, la structure distincte de la paroi cellulaire des bactéries, les mécanismes spécifiques d'action des composés et la sensibilité intrinsèque des micro-organismes. Ces éléments convergent pour déterminer comment les huiles essentielles affectent efficacement différents types de bactéries (**Sakkas et al., 2017**).

Les mécanismes d'action des huiles essentielles sont principalement liés à leurs propriétés hydrophobes, permettant la perturbation des lipides des membranes cellulaires bactériennes et mitochondriales. Cette perturbation entraîne une augmentation de la perméabilité membranaire, perturbant le gradient de pH et le flux d'électrons à travers la membrane, ce qui peut conduire à la mort cellulaire par fuite de molécules et d'ions (**Jouki et al., 2014 ; Oulkheir et al., 2017 ; Marin et al., 2018 ; Siriken et al., 2018**). Cette activité est particulièrement attribuée à la présence de carvacrol, identifié comme une molécule antibactérienne puissante.

IV.3. Corrélation entre l'activité biologique et le profil chimiotauxonomique de *T. algeriensis*, *T. capitatus* et *T. vulgaris*

- **Profil chimiotauxonomique**

Notre étude a comparé trois espèces de *Thymus* à travers leurs profils chromatographiques, activités antiradicalaire et antimicrobienne. Les analyses ont révélé des différences notables dans la composition chimique des huiles essentielles, influencées par la taxonomie géographique. Les résultats ont identifié des critères discriminants basés sur les pourcentages de divers composés, essentiels pour comprendre les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes spécifiques à chaque espèce de *Thymus*.

Après avoir examiné en détail les tableaux précédents (**Tableaux 5, 6 et 7**) concernant les compositions chimiques des huiles de trois espèces de *Thymus*, il est évident qu'il existe des différences quantitatives significatives entre ces plantes.

Les différences dans la composition chimique des huiles essentielles de *Thymus algeriensis*, *Thymus capitatus* et *Thymus vulgaris* sont principalement attribuables à la prédominance de certains composés. Dans *Thymus algeriensis*, le thymol représente la majorité de la composition à 46,03%, suivi par le bornéol à 20,38%, le carvacrol à 5,86%, le 1,8-cinéole à 2,63%, l' α -terpinène à 2,3% et le β -ocimène à 2,80%. *Thymus capitatus* se caractérise par une concentration élevée de thymol à 51,22%, accompagné par le carvacrol à 12,59%, le γ -terpinène à 10,3% et l'acide trans-13-octadécénoïque à 9,04%, ainsi que d'autres composés en moindres quantités. En revanche, *Thymus vulgaris* présente également une dominance de thymol à 41,04%, suivi par le 1,8-cinéole à 14,26%, le γ -terpinène à 12,06%, le p-cymène à 10,50%, l' α -terpinène à 9,22% et le carvacrol à 2,77%. Ces variations reflètent les caractéristiques spécifiques de chaque espèce de *Thymus* en termes de composition chimique, ce qui influence leurs propriétés biologiques et leurs utilisations en phytothérapie et aromathérapie.

- **Activités Biologiques**

La capacité antioxydante des huiles essentielles de *Thymus algeriensis*, *Thymus capitatus* et *Thymus vulgaris* est analysée, cette diversité pourrait être expliquée par la présence de composés hydroxylés, particulièrement les terpénoïdes, dans leur composition. L'activité antioxydante observée est attribuable aux composants communs aux trois plantes, tels que les terpènes, et leur effet est directement lié à la concentration de ces composés spécifiques dans chaque espèce. De plus, la présence d'autres composants spécifiques à chaque plante peut également contribuer positivement à renforcer cette activité antioxydante.

La forte activité anti-radicalaire observée chez *T. capitatus*, marquée par des valeurs d'IC50 plus faibles que celles des autres plantes, peut principalement s'expliquer par sa concentration élevée en thymol (51,22 %) par rapport aux deux autres espèces. De plus, l'acide trans-13-octadécénoïque a été mentionné comme un facteur contribuant à renforcer l'activité antioxydante des huiles essentielles de *Thymus*, comme rapporté par Youssef et ses collègues (2023). En outre, la présence de faibles quantités d'autres monoterpènes contribue également à cette efficacité, bien que leur concentration soit moindre. Une étude antérieure menée par Phiet et al. (2012) a montré que le Thymyl méthyl éther, présent dans *Thymus algeriensis*, offre une protection supérieure au thymol contre les radicaux peroxy et le stress oxydatif induit par le Cu²⁺, malgré sa présence en quantité moindre dans l'huile. Par ailleurs, selon Rezzoug et ses collègues (2019), l'effet réducteur de l'huile est attribué à la présence de monoterpènes oxygénés, notamment le linalol.

La variation de la capacité antioxydante mesurée à l'aide de deux tests différents entre les trois espèces de *Thymus* étudiées peut s'expliquer par les mécanismes distincts impliqués dans chaque test. Chaque huile essentielle (HE) présente des compositions chimiques différentes, avec des capacités spécifiques à participer à ces mécanismes. Cependant, il est difficile d'attribuer l'effet antioxydant d'une HE à un ou quelques constituants principaux, étant donné que chaque HE est un mélange complexe de divers composés chimiques. Ainsi, leurs profils biologiques résultent probablement d'une synergie entre toutes les molécules présentes, et il est possible que l'activité des composants principaux soit influencée par des molécules minoritaires. Il est également essentiel de noter que l'activité des huiles essentielles, comme les antioxydants, dépend non seulement de leurs structures chimiques, mais aussi de nombreux autres facteurs environnementaux tels que la concentration, la température, la lumière, le type de substrat et l'état physique du système. De plus, des microcomposants peuvent agir comme des pro-oxydants ou des synergistes, modulant ainsi leur activité antioxydante (**Ballester-Costa et al., 2017**).

Dans diverses études, il est établi que les variations de la composition chimique des huiles essentielles sont étroitement liées aux conditions climatiques, saisonnières et géographiques. **Sacchetti et ses collègues (2005)**, qui ont identifié une diversité de composants dans *T. vulgaris*, comprenant notamment le thymol, le 1,8-cinéole et le γ -terpinène. Ces composés sont fréquemment cités dans la littérature pour leurs fortes capacités antioxydantes et antiradiculaires.

- **Activité antimicrobienne**

L'étude sur l'activité antimicrobienne des huiles de trois espèces de *Thymus* face à divers microorganismes multi-résistants, responsables de maladies nosocomiales, de la détérioration alimentaire et de problèmes de stockage, a mis en évidence un potentiel antimicrobien prometteur de ces huiles. Leur efficacité contre ces pathogènes est largement documentée et attribuée principalement à leurs composés volatils, notamment les huiles essentielles. Cette activité antimicrobienne est vraisemblablement due aux composants hydrophobes des huiles essentielles, qui peuvent perturber les membranes cellulaires des bactéries en séparant les lipides, entraînant ainsi la lyse des cellules bactériennes.

Les propriétés pharmacologiques des composés identifiés contribuent en partie à expliquer les activités biologiques observées des huiles. L'analyse par CPG/SM a révélé une concentration significative de composés terpéniques dans toutes les huiles étudiées. De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés antimicrobiennes des monoterpènes et sesquiterpènes, qui jouent un rôle crucial dans l'activité antimicrobienne de nombreuses huiles essentielles et extraits végétaux.

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles étudiées semble être associée à la présence de composés phénoliques tels que le thymol et le carvacrol, ainsi qu'à des hydrocarbures terpéniques comme le γ -terpinène. Le p-Cymène, bien que présent en pourcentage significatif, ne montre pas d'activité antibactérienne notable lorsqu'il est utilisé seul, mais il est attribué des effets synergiques avec le thymol et le γ -terpinène, ce qui pourrait contribuer à l'activité antimicrobienne observée (**Borugă et al., 2014 ; Landoulsi et al., 2016**). Le thymol et le carvacrol sont capables de perturber les membranes cellulaires des bactéries, ce qui entraîne une augmentation de leur perméabilité et la libération de composants cellulaires essentiels. En outre, ces composés ont la capacité d'inhiber des enzymes cruciales pour la croissance bactérienne. **Jayari et ses collaborateurs (2018)** ont démontré une activité antibactérienne significative des huiles essentielles de thym, principalement attribuée au thymol et au carvacrol. Ces deux composés sont capables de rendre la membrane cellulaire perméable et de détruire la membrane externe des bactéries à Gram négatif.

Le thym possède des propriétés antimicrobiennes puissantes et polyvalentes, ce qui en fait un ingrédient précieux dans divers domaines tels que l'industrie alimentaire, les produits pharmaceutiques et cosmétiques.

Conclusion

Conclusion

Cette étude comparative des profils chimiques de *Thymus algeriensis*, *Thymus capitatus* et *Thymus vulgaris* a mis en évidence l'impact direct de ces différences chimiques sur divers aspects de leur activité biologique. Cela inclut leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et ainsi que leurs utilisations traditionnelles. Les trois espèces de thym démontrent également une activité antioxydante mesurée par les tests DPPH et ABTS, laquelle varie d'une espèce à l'autre. Cette activité est attribuée à leur composition chimique commune, notamment la présence de carvacrol et de thymol. Toutes les espèces étudiées ont montré une activité antimicrobienne significative contre diverses souches pathogènes, y compris celles affectant la conservation des aliments. Cette activité est liée aux composés bioactifs présents dans chaque espèce, tels que le thymol et le carvacrol. Ces composés ont démontré leur capacité à inhiber la croissance de bactéries et de champignons, ce qui les rend précieux dans les applications antimicrobiennes. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) a confirmé des similitudes dans la composition chimique de ces espèces, avec des variations principalement dans les concentrations des composés majeurs. Cette variabilité chimique est influencée par des facteurs tels que l'origine géographique et les conditions climatiques, ce qui explique les variations observées dans les propriétés biologiques des différentes espèces de thym. En conséquence, la chimiotaxonomie aide à comprendre comment ces différences chimiques sont corrélées avec la classification taxonomique des plantes, permettant ainsi de prédire et d'expliquer leurs diverses applications en phytothérapie, aromathérapie et d'autres contextes médicaux et industriels nécessitant des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes à base naturelle.

Références bibliographiques

- **ABDELLI, W. (2017).** Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* et de *Thymus vulgaris* (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- **Adwan, G., Abu-Shanab, B., Adwan, K., & Abu-Shanab, F. (2006).** Antibacterial effects of Nutraceutical Plants Growing in Palestine on *Pseudomonas aeruginosa*. *Turkish Journal of Biology*, 30, 239-242.
- **Aljabeili, H. S., Barakat, H., & Abdel-Rahman, H. A. (2018).** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of thyme essential oil (*Thymus vulgaris*). *Food and Nutrition Sciences*, 9(5), 433-446.
- **Ainane, A., Khammour, F., Kouali, M. E., Talbi, M., Abba, E. H., Cherroud, S., & Ainane, T. (2018).** Composition chimique et activité anti insecticide des huiles essentielles de Thymus du Maroc : *Thymus Capitatus*, *Thymus Bleicherianus* et *Thymus Satureioides*. *Proc. BIOSUNE*, 96–100.
- **Akroum, S. (2011).** Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels (Thèse de doctorat, Université Constantine 1, Algérie).
- **Ali, B. E. H., Imen, A. G., & Boussaid, M. (2012).** Chemical and genetic variability of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae), a North African endemic species. *Industrial Crops and Products*, 40, 277–284.
- **Ali, B. E. H., Imen, A. G., & Boussaid, M. (2014).** Effect of habitat fragmentation on the genetic structure of the gynodioecious *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae) in Tunisia. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 148(2), 217–226.
- **Ali, E. H., Ben, I., Zaouali, Y., Bejaoui, A., & Boussaid, M. (2010).** Variation of the chemical composition of essential oils in Tunisian populations of *Thymus algeriensis* Boiss. Et Reut. (Lamiaceae) and implication for conservation. *Chemistry & Biodiversity*, 7(5), 1276–1289.
- **Ali, I. B. E. H., Guetat, A., & Boussaid, M. (2012).** Genetic Diversity and structure of wild Tunisian *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. et Link. (Lamiaceae) assessed using isozyme markers. *African Journal of Ecology*, 50, 140–151.
- **Amarti, F., Satrani, B., Ghanmi, M., Aafi, A., Farah, A., Aarab, L., Chaouch, A. (2011).** Activite antioxydante et composition chimique des huiles essentielles de quatre especes de *thym* du maroc. *Acta Botanica Gallica*, 158, 513–523.
- **Amiot, J. (2005).** *Thymus vulgaris*, un cas de polymorphisme chimique pour comprendre l'écologie évolutive des composés secondaires. Thèse de doctorat-Ecole nationale supérieure d'Agronomie de Montpellier.
- **Anon. (2003).** Major groups, families and Genera: Lamiaceae (Labiatae). *Science and Horticulture*, Royal Botanic Garden, Kew, UK.
- **Ballester-Costa, C., Sendra, E., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2017).** Assessment of antioxidant and antibacterial properties on meat homogenates of essential oils obtained from four *Thymus* species achieved from organic growth. *Foods*, 6(8), 59.
- **Bardaweel, S. K., Hudaib, M. M., Tawaha, K. A., & Bashatwah, R. M. (2015).** Studies on the in vitro antiproliferative, antimicrobial, antioxidant, and acetylcholinesterase inhibition activities associated with *Chrysanthemum coronarium* essential oil. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 790838.

- **Baser, K.H.C., (2008).** Biological and pharmacological activities of carvacrol and carvacrol bearing essential oils. *Current pharmaceutical design*, 14(29), pp.3106-3119.
- **Ben El Hadj Ali, I., Guetat, A., & Boussaid, M. (2012).** Genetic diversity, population structure and relationships of Tunisian *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. and *Thymus capitatus* Hoffm. et Link. assessed by isozymes. *Industrial Crops and Products*, 36, 149–163.
- **Ben El Hadj Ali, I., Guetat, A., & Boussaid, M. (2012).** Genetic diversity, population structure and relationships of Tunisian *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. and *Thymus capitatus* Hoffm. et Link assessed by isozymes. *Industrial Crops and Products*, 36, 149-163.
- **Benabid, A. (2000).** Flore et Écosystèmes Du Maroc: Evaluation et Préservation De La Biodiversité. Ibis Press, Paris, France.
- **Benbelaïd, F., Khadir, A., Abdoune, M. A., & Bendahou, M. (2013).** Phytochemical screening and in vitro antimicrobial activity of *Thymus lanceolatus* Desf. from Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 3(6), 454–459.
- **Bendif, H. (2017).** Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in vitro des extraits actifs de quelques Lamiaceae: *Ajuga iva* (L.) Schreb., *Teucrium polium* L., *Thymus munbyanus* subsp. *coloratus* (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet et *Rosmarinus eriocalyx* Jord & Fourr. Thèse de doctorat, École normale supérieure de Kouba-Alger, 154.
- **Bendjabeur, S., Benchabane, O., Bensouici, C., Hazzit, M., Baaliouamer, A., & Bitam, A. (2018).** Antioxidant and anticholinesterase activity of essential oils and ethanol extracts of *Thymus algeriensis* and *Teucrium polium* from Algeria. *Journal of food measurement & characterization*, 12, 2278–2288.
- **Benkiniouar, R., Rhouati, S., Touil, A., Seguin, E., & Chosson, E. (2007).** Flavonoids from *Thymus algeriensis*. *Chemistry of Natural Compounds*, 43(3), 321–322.
- **Berthod, A., Billardello, B., & Geoffroy, S. (1999).** Polyphenols in countercurrent chromatography: An example of large scale separation. *Analisis*, 27(9), 750-757.
- **Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., & Sapirstein, H. D. (2005).** Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chemistry*, 82(4), 390-393.
- **Borugă, O., Jianu, C., Mișcă, C., Goleț, I., Gruia, A. T., & Horhat, F. G. (2014).** *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of medicine and life*, 7(Spec Iss 3), 56.
- **Bouaoun, D., Hilan, C., Garabeth, F., & Sfeir, R. (2007).** Etude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle d'une plante sauvage *Prangos asperula* Boiss. *Phytothérapie*, 5, 129-134.
- **Bouhdid, S., Idaomar, M., Zhiri, A., Baudoux, D., Skali, N. S., & Abrini, J. (2006).** *Thymus* essential oils: chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial activities. Congrès international de biochimie, Agadir, Maroc, 09-12 Mai 2006.
- **Boulade, K. (2018).** Lamiaceae :caractéristiques et intérêts thérapeutiques à l'officine. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III, Paul Sabatier, France.
- **Bousmaha-Marroki, L., Atik Bekkara, F., Toumi, F., & Casanova, J. (2007).** Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. ssp. *eu-ciliatus* Maire from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 19, 490-493.

- **Bouyahya, A., Guaouguaou, F.-E., Benali, T., Balahbib, A., El Omari, N., El-Shazly, M., & el Menyiy, N. (2020).** Ethnomedicinal use, phytochemistry, pharmacology, and food benefits of *Thymus capitatus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 112925.
- **Bouziane, A., Bakchiche, B., Dias, M., Barros, L., Ferreira, I., AlSalamat, H., & Bardaweel, S. (2018).** Phenolic compounds and bioactivity of *Cytisus villosus* Pourr. *Molecular*, 23, 1994–2006.
- **Braca, A., Sortino, C., Politi, M., & Morelli, I. (2002).** Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*. *Journal of Ethnopharmacology* 79, 379–381.
- **Brouillard, R., Figueiredo, P., Elhabiri, M., & Dangles, O. (1996).** Molecular interactions of phenolic compounds in relation to the colour of fruit and vegetables. In *Proceedings of the Phytochemical Society of Europe*.
- **Bruneton, J. (2009).** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales (4e éd.). Lavoisier.
- **Buchanan, B., Gruissem, W., & Jones, R. (2000).** Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists. Courier Companies, Inc. Waldorf, MD.
- **Caruana, U., & Attard, E. (2016).** An ethno botanical survey of medicinal plants used in the island of gozo. *Stud. Ethno-Med*, 10, 269–281.
- **Che, C. T., George, V., Ijnu, T. P., Pushpangadan, P., & Andrae-Marobela, K. (2017).** Traditional medicine. In S. Badal & R. Delgoda (Eds.), *Pharmacognosy* (pp. 15–30). Academic Press; Elsevier.
- **Cherifi, K., Haddioui, A., & Mohamed Boufous, H. (2016).** Growth and proline content in NaCl-stressed plants of annual medic species. *International Journal of Advanced Research in Biological Science*, 3(9), 82-90.
- **Cheyrier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013).** Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant physiology and biochemistry*, 72, 1-20.
- **Choudhury, R. P., Kumar, A., & Garg, A. N. (2006).** Analysis of Indian mint (*Mentha spicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behaviour. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 7, 825-32.
- **Cimanga, K., Kambu, K., Tona, L., Apers, S., De Bruyne, T., Hermans, N., Totté, J., Pieters, L., & Vlietinck, A. J. (2002).** Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. *Journal of Ethnopharmacology*, 79, 213-220.
- **Cowan, M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564-582.
- **Cushnie, T. T., & Lamb, A. J. (2005).** Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26(5), 343-356.
- **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, 39–44.
- **Debuigne, G. (1974).** Larousse des plantes qui guérissent.
- **Dimitrijević, S. I., Mihajlovski, K. R., Antonović, D. G., Milanović-Stevanović, M. R., & Mijin, D. Z. (2007).** A study of the synergistic antilisterial effects of a sub-lethal dose of lactic-acid and essential

- oils from *Thymus vulgaris* L., *Rosmarinus officinalis* L. and *Origanum vulgare* L. Food Chemistry, 104, 774-782.
- **Djedir, G. (2018).** Étude comparative entre deux espèces du *Thym*: *Thymus coloratus* et *Thymus capitatus* dans la région de Tlemcen : Aspect écologique, cartographique et morphométrique. Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
 - **Dob, T., Dahmane, D., Benabdelkader, T., & Chelghoum, C. (2006).** Studies on the essential oil composition and antimicrobial activity of *Thymus algeriensis* Boiss et Reut. International Journal of Aromatherapy, 16, 95-100.
 - **Dorman, D. H. G., Bachmayer, O., Kosar, M., & Hiltunen, R. (2004).** Antioxidant properties of aqueous extracts from selected Lamiaceae species grown in Turkey. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 762-770.
 - **Eissa, T. A. F., Palomino, O. M., Carretero, M. E., & Gómez-Serranillos, M. P. (2014).** Ethnopharmacological study of medicinal plants used in the treatment of CNS disorders in Sinai Peninsula, Egypt. J. Ethnopharmacol, 151, 317–332.
 - **Ekoh, S., Akubugwo, E., Chibueze Ude, V., & Edwin, N. (2014).** Anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic effect of spices (*Thymus vulgaris*, *Murraya koenigii*, *Ocimum gratissimum* and *Piper guineense*) in alloxan-induced diabetic rats. International Journal of Biosciences, 4 (2), 179-187.
 - **Ekor, M. (2014).** The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. Frontiers in Pharmacology, 4(4), 177.
 - **El Abed, N., Kaabi, B., Smaali, M. I., Chabbouh, M., Habibi, K., Mejri, M., ...& Ben Hadj Ahmed, S. (2014).** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Thymus capitata* essential oil with its preservative effect against *Listeria monocytogenes* inoculated in minced beef meat. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014.
 - **Elhadj Ali, I. B., Zaouali, Y., Bejaoui, A., & Boussaid, M. (2010).** Variation of the chemical composition of essential oils in Tunisian populations of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae) and implication for conservation. Chemistry & Biodiversity, 7(5), 1276-1289.
 - **El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., & Lyoussi, B. (2003a).** Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). J. Ethnopharmacol, 86, 149–158.
 - **El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., & Lyoussi, B. (2003b).** Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province (Northern Morocco). J. Ethnopharmacol, 86, 149–158.
 - **El-Jalel, L. F. A., Elkady, W. M., Gonaïd, M. H., & El-Gareeb, K. A. (2018).** Difference in chemical composition and antimicrobial activity of *Thymus capitatus* L. essential oil at different altitudes. Future J. Pharm. Sci, 4, 156–160.
 - **El-Mokasabi, F. M., Al-Sanousi, M. F., & El-Mabrouk, R. M. (2018).** Taxonomy and ethnobotany of medicinal plants in eastern region of Libya. J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol, 12, 14–23.
 - **El-Nekeety, A. A., Mohamed, S. R., Hathout, A. S., Hassan, N. S., Aly, S. E., & Abdel-Wahhab, M. A. (2011).** Antioxidant properties of *Thymus vulgaris* oil against aflatoxin-induced oxidative stress in male rats. Toxicol, 57(7-8), 984–991.

- **El Ouahdani, K., Es-Safi, I., Mechchate, H., Al-Zahrani, M., Qurtam, A. A., Aleissa, M., ... & Bousta, D. (2021).** Thymus algeriensis and Artemisia herba-alba essential oils: chemical analysis, antioxidant potential and in vivo anti-inflammatory, analgesic activities, and acute toxicity. *Molecules*, 26(22), 6780.
- **Fang, X., Yang, C.-Q., Wei, Y.-K., Ma, Q.-X., Yang, L., & Chen, X.-Y. (2011).** Genomics grand for diversified plant secondary metabolites. *Plant Diversity Research*, 33, 53–64
- **Fattorusso, E., & Tagliatela-Scafati, O. (2007).** *Modern Alkaloids: Structure, Isolation, Synthesis and Biology* (1st ed.). Wiley.
- **Favier, A. (2003).** Le stress oxydant: Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Actualité Chimique*, 11/12, 108-115.
- **Fellah, S., Romdhane, M., & Abderraba, A. (2006).** Extraction et étude des huiles essentielles de la *Salvia officinalis*. L cueillie dans deux régions différentes de la Tunisie. *Journal de la Société Algérienne de Chimie*, 16, 193-202.
- **Fernandez, M. (2003).** Quelques plantes médicinales et leurs fonctions. *Aenigma*.
- **Gachkar, L., Yadegari, D., Rezaei, M., Taghizadeh, M., Astaneh, S., & Rasooli, I. (2007).** Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food Chemistry*, 102, 898-904.
- **Gachkar, L., Yadegari, D., Rezaei, M., Taghizadeh, M., Astaneh, S., & Rasooli, I. (2007).** Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food Chemistry*, 102, 898-904.
- **Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
- **Gherman, C., Culea, M., & Cozar, O. (2000).** Comparative analysis of some active principles of herb plants by GC/MS. *Talanta*, 53(2), 253-262.
- **Ghnimi, W. (2015).** Étude phytochimique des extraits de deux Euphorbiaceae: *Ricinus communis* et *Jatropha curcas*. Évaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité de l'acétylcholinestérase (Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France).
- **Giwali, A. A., Džamić, A. M., Soković, M. D., Ristić, M. S., & Marin, P. D. (2013).** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Thymus algeriensis* wild-growing in Libya. *Central European Journal of Biology*, 8(5), 504–511.
- **Goudjil, M. B., Ladjel, S., Bencheikh, S. E., Zighmi, S., & Hamada, D. (2015).** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of the essential oil extracted from the *Mentha piperita* of southern algeria. *Research Journal Of Phytochemistry*, 9, 79–87.
- **Goudjil, M. B., Zighmi, S., Hamada, D., Mahcene, Z., Bencheikh, S. E., & Ladjel, S. (2020).** Biological activities of essential oils extracted from *Thymus capitatus* (Lamiaceae). *South Afr. J. Bot.*, 128, 274–282.
- **Goudjil, M., Zighmi, S., Saoud, D., Mahcene, Z., Bencheikh, S. E., & Segni, L. (2019).** Biological activities of essential oils extracted from *Thymus capitatus* (Lamiaceae). *South African Journal of Botany*, 128, 274-282

- **Guesmi, F., Ben Ali, M., Barkaoui, T., Tahri, W., Mejri, M., Ben-Attia, M., Bellamine, H., & Landoulsi, A. (2014).** Effects of *Thymus hirtus* sp. *algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae) essential oil on healing gastric ulcers according to sex. *Lipids in Health and Disease*, 13.
- **Guesmi, F., Ben Hadj Ahmed, S., & Landoulsi, A. (2017).** Investigation of extracts from Tunisian ethnomedicinal plants as antioxidants, cytotoxins, and antimicrobials. *Biomedical and Environmental Sciences*, 30, 811–824.
- **Guesmi, F., Saidi, I., Bouzenna, H., Hfaiedh, N., & Landoulsi, A. (2019).** Phytocompound variability, antioxidant and antibacterial activities, anatomical features of glandular and aglandular hairs of *Thymus hirtus* Willd. Ssp. *Algeriensis* Boiss. And Reut. over developmental stages. *South African Journal of Botany*, 127, 234–243.
- **Gueye, P. M. (2007).** Phénotypes majeurs de l’haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l’hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge (Thèse pour le doctorat Sciences Pharmaceutiques). Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- **Guignard, J. L. (2000).** Biochimie Végétale. Dunod. Paris.
- **Gurib-Fakim, A. (2006).** Medicinal plants: Traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular Aspects of Medicine*, 27(1), 1–93.
- **Guy, G. (2005).** Les plantes aromatiques et huiles essentielles à Grasse – Botanique, Culture, Chimie, Production et Marché. L’Harmattan.
- **Hajlaoui, H., Mighri, H., & Aouni, M. (2015).** Screening of antibacterial, antifungal and antioxidant activities of Tunisian *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. et Link. essential oil. *Tunis. J. Med. Plants Nat. Prod*, 20–38.
- **Hale, A. L. (2005).** Screening potato genotypes for antioxidant activity, identification of the responsible compounds, and differentiating Russet Norkotah strains using AFLP and microsatellite marker analysis. Texas A&M University.
- **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007).** Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10).
- **Hanlidou, E., Karousou, R., Kleftoyanni, V., & Kokkini, S. (2004).** The herbal market of Thessaloniki (N Greece) and its relation to the ethnobotanical tradition. *J. Ethnopharmacol.*, 91, 281–299.
- **Hay, Y.-O., Abril-Sierra, M. A., Sequeda-Castaneda, L. G., Bonnafous, C., & Raynaud, C. (2018).** Evaluation of combinations of essential oils and essential oils with hydrosols on antimicrobial and antioxidant activities. *Journal Of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 6, 216–230.
- **Hazzit, M., Baaliouamer, A., Verissimo, A. R., Faleiro, M. L., & Miguel, M. G. (2009).** Chemical composition and biological activities of Algerian *Thymus* oils. *Food Chemistry*, 116, 714–721.
- **Hegde, N. P., & Hungund, B. S. (2021).** Isolation, identification and in vitro biological evaluation of phytochemicals from *Memecylon randerianum*: a medicinal plant endemic to Western Ghats of India. *Natural Product Research*, 35(23), 5334–5338.
- **Hilan, C., Sfeir, R., Jawich, D., & Aitour, S. (2006).** Huiles essentielles de certaines plantes médicinales libanaises de la famille des Lamiaceae. *Journal Scientifique Libanais*, 7(1), 13–22.
- **Hazzit, M., Baaliouamer, A., Verissimo, A. R., Faleiro, M. L., & Miguel, M. (2009).** Chemical composition and biological activities of Algerian *Thymus* oils. *Food Chemistry*, 116, 714–721.

- **Hosseinzadeh, S., Kukhdan, A., Hosseini, A., & Armand, R. (2015).**The application of *Thymus vulgaris* in traditional and modern medicine: a review. *Global Journal of Pharmacology*, 9 (3), 260–266.
- **Iapichino, G., Arnone, C., Bertolini, M., & Amico Roxas, U. (2006).**Propagation of three *thymus* species by stem cuttings. *Acta Hortic*, 411–414.
- **Iserin, P., Masson, M., Restellini, J., Ybert, E., De Laage De Meux, A., Moulard, F., Zha, E., De La Roque, R., De La Roque, O., & Vican, P. (2001).** Encyclopédie des Plantes Médicinales, Identification Préparation et Soins. Larousse Bordas
- **Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E., & Vivanco, J. (2003).**Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum* accessions. *Food Chemistry*, 83, 547–550.
- **Jayari, A., El Abed, N., Jouini, A., Mohammed Saed Abdul-Wahab, O., Maaroufi, A., & Ben Hadj Ahmed, S. (2018).** Antibacterial activity of *thymus capitatus* and *thymus algeriensis* essential oils against four food-borne pathogens inoculated in minced beef meat. *Journal of Food Safety*, 38, E12409.
- **Jean, B. (2009).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e éd.). Lavoisier.
- **Jokić, S., Velić, D., Bilić, M., Bučić-KoJić, A., Planinić, M., & Tomas, S. (2010).** Modelling of solid-liquid extraction process of total polyphenols from soybeans. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(3), 206-212.
- **Jordán, M. J., Martínez, R. M., Goodner, K. L., Baldwin, E. A., & Stomayor, J. A. (2006).** Seasonal Variation of *Thymus vulgaris* L. essential oils composition. *Industrial Crops and Products*, 24, 253-263.
- **Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Koocheki, A. (2014).** Characterization of antioxidant antibacterial quince seed mucilage films containing *thyme* essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 99, 537–546.
- **Kaloustian, J., El-Moselhy, T. F., & Portugal, H. (2003).** Chemical and thermal analysis of the biopolymers in *thyme (Thymus vulgaris)*. *Thermochimica Acta*, 401, 77-86.
- **Kayode, J., & Ogunleye, T. (2008).** Checklist and status of plant species used as spices in Kaduna state of Nigeria. *African Journal of General Agriculture*, 4(1), 13-18.
- **Kitajima, J., Ishikawa, T., Urabe, A., & Satoh, M. (2004).** Monoterpenoids and their glycosides from the leaf of *thyme*. *Phytochemistry*, 65, 3279-3287.
- **Kizil, S., Hasimi, N., Tolan, V., Kilinc, E., & Yuksel, U. (2010).**Mineral content, essential oil components and biological activity of two mentha species (*M. piperita* L., *M. Spicata* L.). *Turkish Journal Of Field Crops*, 15, 148–153.
- **Kosakowska, O., Bączek, K., Przybył, J. L., Pawelczak, A., Rolewska, K., & Węglarz, Z. (2020).** Morphological and Chemical Traits as Quality Determinants of Common *Thyme (Thymus vulgaris* L.), on the Example of ‘Standard Winter’ Cultivar. *Agronomy*, 10(6), 90.
- **Kowalczyk, A., Przychodna, M., Sopata, S., Bodalska, A., & Fecka, I. (2020).**Thymol and thyme essential oil—new insights into selected therapeutic applications. *Molecules*, 25(18), 4125.
- **Kuete, V. (2017).***Thymus vulgaris*. Medicinal spices and vegetables from Africa, 599-609.
- **Kunle, O. F., Egharevba, H. O., & Ahmadu, P. O. (2012).** Standardization of herbal medicines-a review. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4(3), 101–112.
- **Laghouiter, O., Gherib, A., & Laghouiter, H. (2015).**Etude de L’activité antioxydante des huiles essentielles de certaines menthes cultivées dans la région de ghardaïa. *Revue Elwihat Pour Les Recherches Et Les Etudes*, 8, 84–93.

- **Lamiri, A., Lhaloui, S., Benjilali, B., & Berrada, M. (2001).** Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola Destructor* (Say). *Field Crops Research*, 71, 9-15.
- **Landoulsi, A., Roumy, V., Duhail, N., Skhiri, F. H., Rivière, C., Sahpaz, S., ... & Hennebelle, T. (2016).** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from aerial parts and roots of *Eryngium barrelieri* Boiss. and *Eryngium glomeratum* Lam. from Tunisia. *Chemistry & Biodiversity*, 13(12), 1720-1729.
- **Le Floch, E., & Boulos, L. (2008).** Flore de Tunisie, Catalogue synonymique commenté. Montpellier, France.
- **Lee, K. G., & Shibamoto, T. (2002).** Determination of antioxidant potential of volatile extracts isolated from various herbs and spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4947-4952.
- **Lee, S. J., Umamo, K., Shibamoto, T., & Lee, K. G. (2005).** Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Journal of Food Chemistry*, 91, 131-137.
- **Loi, M. C., Maxia, L., & Maxia, A. (2005).** Ethnobotanical comparison between the villages of escolca and lotzorai (Sardinia, Italy). *J. Herbs, Spices, Med. Plants*, 11, 67-84.
- **Loïc, G. (2006).** Les plantes et les médicaments. L'origine végétale de nos médicaments. Delachaux et Niestlé.
- **Lugasi, A. (2003).** The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta Biologica Szegediensis*, 47(1-4), 119-125.
- **Macheix, J.-J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.
- **Macheix, J.-J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.
- **Madi, A. (2010).** Caractérisation et comparaison du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales (*Thym* et Sauge) et la mise en évidence de leurs activités biologiques. Thèse de magister.
- **Manian, R., Anusuya, N., Siddhuraju, P., & Manian, S. (2008).** The antioxidant activity and free radical scavenging potential of two different solvent extracts of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntz, *Ficus bengalensis* L. and *Ficus racemosa* L. *Food Chemistry*, 107(3), 1000-1007.
- **Marin, M., Novakovic, M., Vuckovic, I., Tesevic, V., Kolarevic, S., & Vukovic-Gacic, B. (2018).** Wild *Thymus capitatus* Hoff. et link. chemical composition, Antioxidant and antimicrobial activities of the essential oil. *Journal Of Essential Oil Bearing Plants*, 21, 388-399.
- **Marzouk, Z., Neffati, A., Marzouk, B., Chraief, I., Fatiha, K., Chekir Ghedira, L., & Boukef, K. (2006).** Food. *Agriculture & Environment*, 4, 61-65.
- **Mazars, F. (2023).** La caféine, une ressource naturelle renouvelable pour la synthèse de catalyseurs biosourcés. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 92. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.11461>.
- **Megdiche-Ksouri, W., Saada, M., Soumaya, B., Snoussi, M., Zaouali, Y., & Ksouri, R. (2015).** Potential use of wild *Thymus algeriensis* and *Thymus capitatus* as source of antioxidant and antimicrobial agents. *J. New Sci*, 23, 11.
- **Mehani, M., Salhi, N., Valeria, T., & Ladjel, S. (2014).** Antibacterial and antifungal activity of essential oil of *Eucalyptus camendulensis* on a few bacteria and fungi. *World Academy of Science*,

- Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food And Biotechnological Engineering, 8, 937–940.
- **Mengesha Yessuf, A. (2015).** Phytochemical extraction and screening of bioactive compounds from Black Cumin (*Nigella Sativa*) seeds extract. American Journal of Life Sciences, 3(5), 358
 - **Merghem, R. (2009).** Éléments de biochimie végétale (16). Ed, Bahaeddine. Algérie.
 - **Mercader, A. G., Duchowicz, P. R., Fernández, F. M., Castro, E. A., Bennardi, D. O., Autino, J. C., & Romanelli, G. P. (2008).** QSAR prediction of inhibition of aldose reductase for flavonoids. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 16(15), 7470-7476.
 - **Migdal, C., & Serres, M. (2011).** Espèces réactives de l’oxygène et stress oxydant. MedSci (Paris), 27(4), 405-412.
 - **Mighri, H., Hajlaoui, H., Akrouf, A., Najjaa, H., & Neffati, M. (2010).** Antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* essential oil cultivated in Tunisian arid zone. Comptes Rendus Chimie, 13, 380–386.
 - **Miladi, H., Slama, R. B., Mili, D., Zouari, S., Bakhrouf, A., & Ammar, E. (2013).** Essential oil of *Thymus vulgaris* L. and *Rosmarinus officinalis* L.: Gas chromatography-mass spectrometry analysis, cytotoxicity and antioxidant properties and antibacterial activities against foodborne pathogens.
 - **Miller, R. E., McConville, M. J., & Woodrow, I. E. (2006).** Cyanogenic glycosides from the rare Australian endemic rainforest tree *Clerodendrum grayi* (Lamiaceae). Phytochemistry, 67, 43-51.
 - **Mishra, K., Ojha, H., & Kumar Chaudhury, N. (2012).** Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: a critical review and results. Food Chemistry, 130, 1036–1043.
 - **Mohammedi, Z. (2013).** Étude phytochimique et activités biologiques de quelques plantes médicinales de la région nord et sud-ouest de l’Algérie (Thèse de doctorat). Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
 - **Mustafa, B., Hajdari, A., Krasniqi, F., Hoxha, E., Ademi, H., Quave, C. L., & Pieroni, A. (2012).** Medical ethnobotany of the Albanian alps in kosovo. J. Ethnobiol. Ethnomed, 8,6.
 - **Nabavi, S. M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., & Nabavi, S. F. (2015).** Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents: From farm to pharmacy. Food Chemistry, 173, 339–347.
 - **Nanasombat, S., & Wimuttigol, P. (2011).** Antimicrobial and antioxidant activity of spice essential oils. Food Science and Biotechnology, 20, 45–53.
 - **Napoli, E., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2020).** New tricks for old guys: Recent developments in the chemistry, biochemistry, applications and exploitation of selected species from the Lamiaceae Family. Chemistry & Biodiversity, 17(3) , e1900677.
 - **Nickavar, B., Mojab, F., & Dolat-Abadi, R. (2005).** Analysis of the essential oils of two *Thymus* species from Iran. Food Chemistry, 90, 609-611.
 - **Nielsen, P. V., & Rios, R. (2000).** Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. International Journal of Food Microbiology, 60, 219-229.
 - **Nimse, S. B., & Pal, D. (2015).** Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. RSC advances, 5(35), 27986-28006.

- **Nkouaya Mbanjo, E., Tchoumboungang, M., Jazet Dongmo, P., Sameza, M., Amvam Zollo, P., & Menut, C. (2007).** Mosquito larvicidal activity of essential oils of *Cymbopogon citratus* and *Thymus vulgaris* grown in Cameroon. *Planta Medica*, 73 (9), P_329.
- **Nolkemper, S., Reichling, J., Stintzing, F. C., Carle, R., & Schnitzler, P. (2006).**
- **Ocana, A., & Reglero, G. (2012).** Effects of *Thyme* extract oils (from *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis*, and *Thymus hyemalis*) on cytokine production and gene expression of oxLDL-stimulated THP-1-macrophages. *Journal of Obesity*, 2012, 104706.
- **Oirere, E. K., Palanirajan, A., Raj, C. A., & Gopalakrishnan, V. K. (2015).** Phytochemical analysis of n-hexane leaf extract of *Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum using UV-VIS, FTIR and GC-MS. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(8), 387-389.
- **Oran, S. A., & Al-Eisawi, D. M. (2015).** Ethnobotanical survey of the medicinal plants in the central mountains (North-South) in Jordan. *J. Biodivers. Environ. Sci. JBES*, 6, 381–400.
- **Oulkheir, S., Aghrouch, M., El Mourabit, F., Dalha, F., Graich, H., Amouch, F., Ouzaid, K., Moukale, A., & Chadli, S. (2017).** Antibacterial activity of essential oils extracts from *cinnamon*, *thyme*, *clove* and *geranium* against a gram negative and gram positive pathogenic bacteria. *Journal of Diseases and Medicinal Plants*, 3, 1–5.
- **Özcan, M., & Chalchat, J. C. (2004).** Aroma profile of *Thymus vulgaris* L. Growing Wild in Turkey. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(4), 68-73.
- **Ozioma, E. O. J., & Chinwe, O. A. N. (2019).** Herbal medicines in African traditional medicine. In P. F. Builders (Ed.), *Herbal medicine* (pp. 191–214). IntechOpen.
- **Ozioma, E. O. J., & Chinwe, O. A. N. (2019).** Herbal medicines in African traditional medicine. In P. F. Builders (Ed.), *Herbal medicine* (pp. 191–214). London, England: IntechOpen.
- **Patil, S. M., Ramu, R., Shirahatti, P. S., Shivamallu, C., & Amachawadi, R. G. (2021).** Une revue systématique sur l'ethnopharmacologie, la phytochimie et les aspects pharmacologiques de *Thymus vulgaris* Linn. *Héliyon*, 7(5), e07054.
- **Phi, K. C. T., Kim, G. N., & Jang, H. D. (2012).** In vitro and intracellular antioxidant capacity of thymyl methyl ether as a major component in *Blumea lanceolaria* (Roxb.) Druce leaf oil. *Food and chemical toxicology*, 50(5), 1583-1588.
- **Pšotová, J., Lasovsky, J., & Vácar, J. (2003).** Metal-chelating properties, electrochemical behavior, scavenging and cytoprotective activities of six natural phenolics. *Biomedical Papers of the Medical Faculty of the University Palacky Olomouc Czech Republic*, 147(2), 147-153.
- **Rajae, E.B., & Meryem, P.B. (2014).** Caractérisation Morphologique Et Phénologique De Quelques Accessions D'*origanum Compactum*. Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco.
- **Rao, P. S., Kalva, S., Yerramilli, A., & Mamidi, S. (2011).** Free radicals and tissue damage: Role of antioxidants. *Free Radicals and Antioxidants*, 1(4), 2-7.
- **Rasooli, I., & Mirmostafa, S. A. (2002).** Antibacterial properties of *Thymus pubescens* and *Thymus serpyllum* essential oils. *Fitoterapia*, 73(3), 244-250.
- **Reddy, P., Kandisa, R., Varsha, P., & Satyam, S. (2014).** Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Medicinal & Aromatic Plants*, 3, 164.

- **Rezatofghi, S. E., Seydabadi, A., & Seyyed Nejad, S. M. (2014).** Evaluating the efficacy of *Achillea millefolium* and *Thymus vulgaris* extracts against Newcastle Disease Virus in vivo. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 7(2), e9016.
- **Rezzoug, M., Bakchiche, B., Gherib, A., Roberta, A., FlaminiGuido, Kilinçarslan, Ö., ...& Bardaweel, S. K. (2019).** Chemical composition and bioactivity of essential oils and Ethanolic extracts of *Ocimum basilicum* L. and *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. from the Algerian Saharan Atlas. *BMC complementary and alternative medicine*, 19, 1-10.
- **Rødtjer, A., Skibsted, L. H., & Andersen, M. L. (2006).** Antioxidative and prooxidative effects of extracts made from cherry liqueur pomace. *Food Chemistry*, 99(1), 6–14.
- **Rosenkranz, M., Chen, Y., Zhu, P., & Vlot, A. C. (2021).** Volatile terpenes - mediators of plant-to-plant communication. *The Plant journal : for cell and molecular biology*, 108(3), 617–631.
- **Russo, M., Suraci, F., Postorino, S., Serra, D., Roccotelli, A., & Agosteo, G.E. (2013).** Essential oil chemical composition and antifungal effects on *Sclerotium cepivorum* of *Thymus capitatus* wild populations from Calabria, Southern Italy. *Revista Brasileira De Farmacognosia*, 23, 239–248.
- **Rwangabo, P.-C. (1994).** La médecine traditionnelle du Rwanda. Edition Kartala.
- **Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M., & Bruni, R. (2005).** Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food chemistry*, 91(4), 621-632.
- **Said, A., Aoun, T., Elhaji, N., Marin, P. D., & Giweli, A. (2016).** Allelopathic effects on seeds germination of *Lactuca sativa* L. Seeds and antibacterial activity of *Thymus capitatus* essential oil from zintan-Libya flora. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci*, 17, 11.
- **Saidj, F. (2006).** Extraction de l'huile essentielle de *thym* : *Thymus numidicus kabylica*-Thèse de magistère en Technologie des hydrocarbures, Université Boumerdes, Algérie.
- **Sakkas, H., Papadopoulou, C (2017).** Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. *J Microbiol Biotechnol. Sep 28; 27(3): 429–438.*
- **Salima, B., & Nadia, K. (2013).** Extraction des flavonoïdes de la plante *Inula viscosa* de la région d'Oran et mise en évidence de l'activité microbienne.
- **Saoudi, S., Sifaoui, I., Chammem, N., Reyes-Batlle, M., López-Arencibia, A., Pacheco Fernández, I., Lorenzo-Morales, J. (2017).** Anti- *Acanthamoeba* activity of Tunisian *Thymus capitatus* essential oil and organic extracts. *Exp. Parasitol*, 183, 231–235.
- **Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011).** Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*, 8(1), 1–10. Schauenberg, P., & Paris, F. (2008). *Guide des plantes médicinales*. Espagne. ISBN : 978-2-603-01454-4, pp. 295-296.
- **Schauenberg, P., & Paris, F. (2008).** *Guide des plantes médicinales*. Espagne. ISBN: 978-2-603-01454-4.
- **Schmitz, P. (2015).** *Thymus vulgaris*. Retrieved from http://ecoport.org/ep?Plant=2441&entityType=PLCR**entityDisplayCategory=full.
- **Selmi, S., & Sadok, S. (2008).** The effect of natural antioxidant (*Thymus vulgaris* Linnaeus) on flesh quality of tuna *Thunnus thynnus* (Linnaeus) during chilled storage. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3(1), 36–45.

- **Sharma, B., Viswanath, G., Salunke, R., & Roy, P. (2008).** Effects of flavonoid-rich extract from seeds of *Eugenia jambolana* (L.) on carbohydrate and lipid metabolism in diabetic mice. *Food Chemistry*, 110(3), 697-705.
- **Siriken, B., Yavuz, C., & Guler, A. (2018).** Antibacterial activity of *Laurus nobilis*: a review of literature. *Medical Science And Discovery*, 5, 374–379.
- **Sonam, M., Singh, R. P., & Pooja, S. (2017).** Phytochemical screening and TLC profiling of various extracts of *Reinwardtia indica*. *Phytochemistry*, 9(4), 523–527.
- **Stahl-Biskup, E. (2002).** *Thyme: The genus Thymus*. Taylor & Francis.
- **Stahl-Biskup, E., & Saez, F. (2002).** *Thyme. The genus Thymus*. London; New York, USA: Taylor & Francis.
- **Stahl-Biskup, E., & Sáez, F. (2002).** *Thyme: The Genus Thymus*. CRC Press.
- **Stahl-Biskup, E., & Saez, F. (Eds.). (2002).** *Thyme—The Genus Thymus*. Taylor & Francis, London.
- **Stahl-Biskup, E., & Venskutonis, R. P. (2012).** *Thyme*. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of Herbs and Spices* (2nd ed., pp. 499-525). Woodhead Publishing.
- **Stalikas, C.D. (2007).** Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *J. Sep. Science*, 30: 3268-3295. <https://doi.org/10.1002/jssc.200700261>
- **Sun, J., Tan, B. K., Huang, S.-H., Whi-teman, M., & Zhu, Y.-Z. (2002).** Effects of natural products on ischemic heart diseases and cardiovascular system. *Acta Pharmacologica Sinica*, 23(12), 1142-1151.
- **Tamert, A., Latreche, A., & Aouad, L. (2017).** Phytochemical Screening and Antimicrobial Activity of Extracts of *Thymus serpyllum* and *Thymus vulgaris* from the Mount of Tessala (Western Algeria). *Phytothérapie*, 15, 384-394.
- **Tammar, S., Salem, N., Rebey, I. B., Sriti, J., Hammami, M., Khammassi, S., ... Msaada, K. (2018).** Regional effect on essential oil composition and antimicrobial activity of *Thymus capitatus* L. *J. Essent. Oil Res*, 31, 129–137.
- **Tedone, L., D'andrea, L., & Marzi, V. (2001).** Caratterizzazione biomorfologica e valutazione agronomica di specie e popolazioni di timo (*Thymus spp.*) nell'area mediterranea. *Atti del VI Convegno delle Biodiversità*, Valenzano, 6 settembre 2001, 1134–1142.
- **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. *rosulans*. *Journal of Food Engineering*, 66, 447–454.
- **Vaudrauil. (2012).** A propos de deux registres nécessaires au bon usage des plantes médicinales de Martinique : la Pharmacopée végétale martiniquaise et un vademécum de phytothérapie (Thèse de doctorat en pharmacie). Rouen.
- **Villano, D., Fernández-Pachón, M. S., Moyá, M. L., Troncoso, A. M., & García-Parrilla, M. C. (2007).** Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71, 230–235.
- **Wahida, B., Amor, M., & Nabil, C. (2011).** An inventory of ethnomedicinal plants used in Tunisia. *Ethnomed. Plants*.

- **Wang, J., & Mazza, G. (2002).** Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide production in LPS/IFN- γ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(4), 850-857.
- **Yakhlef, G. (2010).** Étude de l'activité biologique des extraits de feuilles de *Thymus vulgaris* Let *Laurus nobilis* L thèse de magister, Université El Hadj Lakhder Batna.
- **Yeo, Y. L., Chia, Y. Y., Lee, C. H., Sheng Sow, H., & Sum Yap, W. (2014).** Effectiveness of maceration periods with different extraction solvents on in-vitro antimicrobial activity from fruit of *Momordica charantia* L. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 4(10), 16–23.
- **Youssef, A. M., Maaty, D. A., & Al-Sarairah, Y. M. (2023).** Phytochemical Analysis and Profiling of Antitumor Compounds of Leaves and Stems of *Calystegia silvatica* (Kit.) Griseb. *Molecules*, 28(2), 630.
- **Yuan, T. W., Mabberley, D. J., Steane, D. A., & Olmstead, R. G. (2010).** Further disintegration and redefinition of *Clerodendrum* (Lamiaceae): Implications for the understanding of the evolution of an intriguing breeding strategy. *Taxon*, 59(1), 125-133.
- **Zakkad, F. (2016).** "Etude phytochimique et évaluation de quelques propriétés biologiques de trois espèces de l'Euphorbia" (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, pp 21-35).
- **Zeghib, A. (2013).** Etude phytochimique et activités anti-oxydante, anti-proliférative, antibactérienne et antivirale d'extraits et d'huiles essentielles de quatre espèces endémiques du genre *Thymus*. Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie.
- **Ziani, B. E. C., Heleno, S. A., Bachari, K., & Inês, M. (2019).** Phenolic compounds characterization by LC-DAD-ESI / MSn and bioactive properties of *Thymus algeriensis* Boiss .&Reut .and *Ephedra alata* Decne. *Food Research International*, 116, 312–319.
- **Zouari, N., Ayadi, I., Fakhfakh, N., Rebai, A., & Zouari, S. (2012).** Variation of chemical composition of essential oils in wild populations of *Thymus algeriensis* Boiss. Et Reut., a north African endemic species. *Lipids in Health and Disease*, 11(1), 28

