

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر  
Université de Saida - Dr. MOULAY TAHAR



كلية العلوم  
Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا  
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques

Spécialité : Biochimie

## Thème

---

**Étude Bibliographique des Activités Antibactériennes,  
Antifongiques et antioxydantes des Huiles Essentielles du  
Thymus dans trois pays du maghreb (Algérie, Tunisie et  
Maroc)**

---

Présenté par :

**Mr. :** Kaoudj Ilyes

Soutenu le 21/09/2023

Devant le jury composé de :

**Président**  
**Examineur**  
**Rapporteur**

Pr.Kahloula Khaled  
DR.Adli Djallal Eddine  
DR. Ziani Kaddour

Professeur à l'université De Saida  
MCA à l'université De Saida  
MCA à l'université De Saida

**Année Universitaire 2022/2023**

## **Dédicaces**

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance envers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ma réussite, avec l'expression de ma reconnaissance à ceux qui, quels que soient les termes, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

**À la mémoire de :**

*L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir un jour, mon adorable cher père : **ABDELKARIM** Toute l'encre du monde ne peut suffire pour exprimer mes sentiments pour toi. Tu as toujours été mon maître de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Tu étais et tu resteras pour moi ma référence et la lumière qui éclaire mon chemin.*

*Ma mère **BENMOUSSA OURDIA** qui a toujours voulu nous voir réussir, hélas.*

*À mon frère et mon confident **ABOBAKR et AZIZ** le bonheur de la maison, à la meilleure sœur qu'on puisse avoir **CHAHRAZED**, et toute ma famille pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral tout au long de mes études.*

*À Mes Collègues **MOUHAMED ,LAHCEN,MAHDI***

*Que dieu le tout puissant vous accueille dans son vaste paradis et vous accorde son infinie miséricorde.*

**ILYES**

### Remerciements

Tout d'abord, nous remercions, du plus profond de notre cœur, Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'achever ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr. ZIANI Kaddour**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire, pour sa gentillesse et sa compréhension. Merci pour tout.

Nous remercions les membres du jury, professeur **Khaled Kahloula et Dr. Adli Djallal Eddine**, d'avoir accepté de participer à ce jury, qu'il trouve ici l'expression de nos profonds respects.

## Résumé

Cette analyse bibliographique visait à évaluer les activités biologiques (antibactériennes, antifongiques et antioxydantes) des huiles essentielles de plusieurs espèces du thymus dans les trois pays du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc). Cette revue de la littérature a été réalisée suite à une recherche systématique dans des bases de données (Pubmed, Springer-Link et Google School). Sur 130 articles recueillis, seuls 63 ont été retenus. Les résultats préliminaires de cette recherche montrent que le rendement le plus élevé des huiles extraites par hydrodistillation et distillation à la vapeur d'eau est enregistré pour *l'thymus hirtus* (HETHI) acclimaté en Tunisie avec une valeur variant entre (2,3-5,4%). L'huile essentielle *du thymus cladocalyx* (HETCa) représente un rendement moyen de (2,52%) le plus faible observé. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC) a permis d'identifier 153 composants dans l'ensemble des huiles étudiées. D'après cette étude, le 1,8-cinéole est le composant majoritaire de l'espèce. L'huile essentielle du *thymus ZYGIS* (HETZ) de Tunisie présente la plus forte teneur en 1,8-cinéole, soit 92.13%. Cependant, les activités biologiques de ces huiles ont montré que l'activité antibactérienne est la plus marquée contre *Staphylococcus aureus* et *Enterobacter sakazakii*, avec un diamètre de la zone d'inhibition pouvant atteindre 85 mm, suivi par *Staphylococcus epidermidis* (66 mm). Parallèlement, *Pseudomonas aeruginosa* est considérée comme l'espèce la plus résistante à cet effet. L'activité antifongique est la plus marquée contre *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium verticillioides* avec un pourcentage d'inhibition qui peut atteindre 100%, cependant, les souches les plus résistantes à l'huile sont *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus flavus*. L'activité antioxydante la plus élevée a été enregistrée pour l'huile essentielle du *thymus vulgaris* (HETVU) selon le test du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (IC50= 342mg/mL).

**Mots clés :** Activité biologique, Algérie, Huile essentielle, Maroc, Thymus, Tunisie.

### Abstract

This bibliographic analysis aimed to evaluate the biological activities (antibacterial, antifungal and antioxidant) of essential oils of several thymus species in the three Maghreb countries (Algeria, Tunisia and Morocco). This literature review was carried out following a systematic search in databases (Pubmed, Springer-Link and Google School). Out of 130 articles collected, only 63 were retained. The preliminary results of this research show that the highest yield of oils extracted by hydrodistillation and steam distillation is recorded for *thymus hirtus* (HETHI) acclimated in Tunisia with a value varying between (2.3-5.4%). *Thymus cladocalyx* essential oil (HETCa) represents an average yield of (2.525%) the lowest observed. Analysis by gas chromatography (GC) made it possible to identify 153 components in all the oils studied. According to this study, 1,8-cineole is the majority component of the species. The essential oil of the *thymus ZYGIS* (HETZ) from Tunisia has the highest content of 1,8-cineole, i.e. 92.13%. However, the biological activities of these oils showed that the antibacterial activity is most marked against *Staphylococcus aureus* and *Enterobacter sakazakii* with a diameter of the inhibition zone of up to 85 mm, followed by *Staphylococcus epidermidis* (66 mm). At the same time, *Pseudomonas aeruginosa* is considered the most resistant species for this purpose. The antifungal activity is most marked against *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium verticillioides* with a percentage of inhibition which can reach 100%, however, the strains most resistant to oil are *Aspergillus fumigatus* and *Aspergillus flavus*. The highest antioxidant activity was recorded for thymus vulgaris essential oil (HETVU) according to the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) test (IC<sub>50</sub> = 342mg/mL).

Keywords: Algeria, Biological activity, Essential oil, Morocco, Thymus, Tunisia.

## ملخص

يهدف هذا التحليل الببليوغرافي إلى تقييم الأنشطة البيولوجية (المضادة للبكتيريا والفطريات ومضادات الأكسدة) للزيوت الأساسية للعديد من أنواع الغدة الصعترية في بلدان المغرب العربي الثلاثة (الجزائر وتونس والمغرب). تم إجراء مراجعة ومن بين 130 (Google School، Springer-Link، و Pubmed) الأدبيات هذه بعد بحث منهجي في قواعد البيانات مقالة تم جمعها، تم الاحتفاظ بـ 63 فقط. أظهرت النتائج الأولية لهذا البحث أن أعلى إنتاجية للزيوت المستخرجة بالتقطير المتأقلم بتونس بقيمة تتراوح بين (2.3-5.4%). يمثل زيت الغدة (HETHI) المائي والبخاري سجلت لزيت التوتة متوسط إنتاجية (2.525%) وهو أدنى مستوى ملاحظ. وقد أتاح التحليل (HETCa) الأساسي cladocalyx الصعترية التعرف على 153 مكوناً في جميع الزيوت التي تمت دراستها. وفقاً لهذه الدراسة، فإن (GC) بواسطة كروماتوغرافيا الغاز من تونس على (ZYGIS (HETZ) هو المكون الأكبر للأنواع. يحتوي الزيت العطري من الغدة الصعترية 1,8-cineole أعلى محتوى من 1,8 سينيول، أي 92.13%. ومع ذلك، أظهرت الأنشطة البيولوجية لهذه الزيوت أن النشاط المضاد للبكتيريا هو الأكثر وضوحاً ضد المكورات العنقودية الذهبية والأمعانية الساكازاكي بقطر منطقة تثبيط يصل إلى 85 ملم، أكثر الأنواع *Pseudomonas aeruginosa* تليها المكورات العنقودية البشرية (66 ملم). وفي الوقت نفسه، تعتبر تعتبر *Fusarium culmorum*، *Fusarium pseudograminearum*، *Fusarium graminearum*، *Fusarium proliferatum*، *Fusarium avenaceum*، *Fusarium nygamai*، *Fusarium verticillioides*، ومع ذلك، فإن 100%، مع نسبة تثبيط يمكن أن تصل إلى 100%، و *Aspergillus fumigatus* السلالات الأكثر مقاومة للزيت هي و أسبرجيلوس، فلافوس. تم تسجيل أعلى نشاط مضاد *Aspergillus fumigatus* السلالات الأكثر مقاومة للزيت هي (DPPH) وفقاً لاختبار 1،1-ثنائي فينيل-2-بيكريل هيدرازيل (HETVU) للأكسدة في زيت الغدة الصعترية الأساسي (ملجم/مل = 342 IC50).

الكلمات المفتاحية: تونس، الجزائر، الزيوت العطرية، الغدة الصعترية، المغرب، النشاط البيولوجي.

### Sommaire

Dédicaes .....	2
Remerciements .....	3
Résumé .....	4
Abstract.....	5
ملخص .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Introduction Générale.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
1. Genre Thymus .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Caractère Morphologie De Thymus.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Histoire De Thymus Dans Le Pays Maghreb ( Algérie, Tunisie Et Maroc ) :	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Les Huiles Essentielles Du thymus .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Méthodes d'extraction des huiles essentielles .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Composition Chimique des HES .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Inconvénients de l'usage abusif des produits issus du thymus .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité antimicrobienne .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activités antioxydants.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité antifongique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité anti-inflammatoire.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité insecticide.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité acaricide .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité larvicide.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité phytotoxique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité antibiofilm .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.10. Activité anticancéreuse .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité analgésique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité antihistaminique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activité antidiabétique (Antihyperglycemiant).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Table des Matières

---

Activité anti-douleur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3. Conception de l'étude .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Formulation de sujet de recherche.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Sélection et éligibilité.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4. Résultats & Discussion .....	33
4.1.Méthodes d'extraction.....	33
Rendement .....	33
Composition chimique .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Activités biologiques des huiles essentielles du thymus dans les trois pays de Maghreb .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Conclusion .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Références bibliographiques .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## **Liste des Figures**

<b>Figure 1 :</b>	<i>Huile du thymus.....</i>	10
<b>Figure 2 :</b>	<i>Méthodes classiques et non conventionnelles d'extraction des huiles essentielles.....</i>	11
<b>Figure 3 :</b>	<i>Analyse comparative des méthodes traditionnelles et innovantes d'extraction des huiles essentielles du thymus.....</i>	11
<b>Figure 4 :</b>	<i>Le processus d'extraction par distillation à la vapeur.....</i>	13
<b>Figure 5 :</b>	<i>Illustrer de manière schématique le principe de l'hydrodistillation (HD) .....</i>	14
<b>Figure 6 :</b>	<i>Représentation schématique du système d'extraction par fluide supercritique (SFE).....</i>	15
<b>Figure 7 :</b>	<i>Représentation schématique du système d'extraction par fluide supercritique (SFE).....</i>	16
<b>Figure 8 :</b>	<i>Quelques principaux constituants des huiles essentielles de feuilles du thymus.....</i>	17
<b>Figure 9 :</b>	<i>Quelques principaux constituants des huiles essentielles de feuilles du thymus.....</i>	19
<b>Figure 10 :</b>	<i>Diverses application thérapeutique du genre thymus.....</i>	20
<b>Figure 11:</b>	<i>Activité antimicrobienne des constituants de thymus.....</i>	21
<b>Figure 12 :</b>	<i>Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne.....</i>	22
<b>Figure 13 :</b>	<i>Activité antioxydante de thymus pour la chimioprèvention.....</i>	23
<b>Figure 14 :</b>	<i>Mécanisme moléculaire de l'action anti-inflammatoire du cinéole .....</i>	25

### Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b>	Classification scientifique du thymus.....	4
<b>Tableau 2</b>	Les espèces d' thymus dans certaines régions d'Algérie.....	6
<b>Tableau 3</b>	Importance des Thymus dans chaque régions de la Tunisie .....	7
<b>Tableau 4</b>	Surfaces plantées en Thymus par région au Maroc.....	8
<b>Tableau 5</b>	les huiles essentielles des espèces du thymus avec des activités insecticide.....	26
<b>Tableau 6</b>	Les HET avec les activités acaricide.....	27
<b>Tableau 7</b>	Nombres d'articles collectés pour chaque base des données.....	31
<b>Tableau 8</b>	Nombres des espèces du thymus identifiées dans les trois pays de Maghreb.....	31
<b>Tableau 9</b>	Critères d'inclusion et d'exclusion.....	32
<b>Tableau 10</b>	Les espèces du thymus identifiés dans les trois pays de Maghreb.....	33
<b>Tableau 11</b>	Rendements des espèces du thymus dans les trois pays de Maghreb.....	36
<b>Tableau 12</b>	Composition chimique des HET en Algérie.....	40
<b>Tableau 13</b>	Composition chimique des HET de Tunisie.....	42
<b>Tableau 14</b>	Composition chimique des HET de Maroc.....	44
<b>Tableau 15</b>	Les diamètres de zone d'inhibition par HET en Algérie.....	46
<b>Tableau 16</b>	Diamètres de zone d'inhibition (mm) par HET en Tunisie par la méthode de diffusion suegélose.....	50
<b>Tableau 17</b>	la concentration minimale inhibitrice et bactéricide par HET en Tunisie.....	50
<b>Tableau 18</b>	Diamètre des zones d'inhibition par l'huile essentielle du thymus au Maroc.....	51
<b>Tableau 19</b>	Activité antioxydante des HET en Algérie.....	54
<b>Tableau 20</b>	Activité antioxydante des HET en Tunisie.....	54
<b>Tableau 21</b>	Activité antioxydante des HET au Maroc.....	54
<b>Tableau 22</b>	Activité antifongiques des HET en Algérie.....	57
<b>Tableau 23</b>	Activité antifongique des HET en Tunisie.....	58

### Liste des abréviations

<b>HETAL</b>	Huile essentielle du thymus algeriensis
<b>HETZ</b>	Huile essentielle du thymus zygis
<b>HETV</b>	Huile essentielle du thymus vulgaris
<b>HETSe</b>	Huile essentielle du thymus serpyllum
<b>DPPV</b>	1,1-diphényl-2-vulgaris
<b>ETOHl</b>	Essential oil of thymus hirtus
<b>EToz</b>	Essential oil of thymus zygis
<b>ETOV</b>	Essential oil of thymus vulgaris
<b>ETOsE</b>	Essential oil of thymus serpyllum
<b>HETAL</b>	Huile essentielle d' thymus capitatus
<b>HE</b>	Huile essentielle
<b>HET</b>	Huile essentielle d' thymus
<b>HD</b>	Hydrodistillation
<b>SFE</b>	Extraction par fluide à l'état supercritique
<b>MAE</b>	Extraction assisté par micro-ondes
<b>SFME</b>	Extraction par micro-ondes sans solvant
<b>EAU</b>	Extraction assisté par ultrasons
<b>SW</b>	Subcritical water extraction
<b>GC-MS</b>	Chromatographie en phase gazeuse-spectométrie de masse
<b>CMI</b>	Concentration minimale inhibitrice
<b>CMB</b>	Concentration minimale bactericide
<b>CMF</b>	Concentration minimale fongicide
<b>LPIC</b>	Capacité d'inhibition de la peroxidation lipide
<b>RP</b>	Reducing power
<b>TAEC</b>	Trolox equivalent antioxydant capacity

## Liste des Abréviations

---

<b>ORAC</b>	Oxygen radical absorbance capacity
<b>EC50</b>	Concentration efficace médiane
<b>IC50</b>	Concentration inhibitrice médiane
<b>TAC</b>	Total antioxydant capacity
<b>ABTs</b>	L'acide 2,2-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)
<b>NO</b>	Monoxyde d'azote
<b>O2</b>	Superoxide anion radical-scavenging activity
<b>TBARS</b>	Thiobarbituric Acid Reactive Substance
<b>ABTs</b>	L'acide 2,2-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)
<b>NO</b>	Monoxyde d'azote
<b>O2</b>	Superoxide anion radical-scavenging activity
<b>TBARS</b>	Thiobarbituric Acid Reactive Substance

### Introduction Générale

Les plantes aromatiques, telles que celles de la famille des Lamiaceae, sont reconnues pour leur utilisation étendue à la fois dans le cadre des pratiques traditionnelles et commerciales en vue d'améliorer la durée de conservation et la sécurité des aliments. De plus, elles ont fait la preuve de plusieurs propriétés thérapeutiques (*Tolba et al., 2018*). Cette famille englobe un vaste ensemble de 236 genres et 7000 espèces d'arbres et d'arbustes (*Ben Marzoug et al., 2011*). Parmi ces genres, l'*thymus* occupe une place prépondérante en tant que l'un des genres les plus importants et largement cultivés à travers le monde au sein de cette famille (*Sliti et al., 2015*).

D'origine du sud de l'europe, le genre *Thymus*, qui appartient à la famille lamiaceae, comprend environ 300 espèces et sous-espèces. Sa capacité d'adaptation et de croissance rapide l'a conduit à se répandre dans le monde entier, notamment en Afrique, où il est désormais largement cultivé dans de nombreux pays. Ces cultures servent à diverses fins, telles que la production decellulose, , d'huiles essentielles, ainsi que dans l'apiculture. De plus, les *Thymus* sont utilisés dans la construction et en tant que plantes ornementales (*Kouki et al., 2022*).

En ce qui concerne les *Thymus*, un grand nombre d'espèces ont été introduites en Algérie, notamment par les colons français entre 1864 et 1876 (*Atmani-Merabet et al., 2018*). De plus, plus de 100 espèces ont été introduites en Tunisie depuis les années 1950 (*Amri et al., 2023*). Au Maroc, ces espèces ont également été introduites et cultivées avec un grand succès (*Farah et al., 2002*).

Le *Thymus* a fait l'objet de nombreuses études en tant que source d'huile essentielle (*Tolba et al., 2018*). Plus de 300 espèces de *Thymus* contiennent de l'huile volatile dans leurs feuilles, et différentes méthodes ont été employées pour extraire les huiles essentielles de *Thymus*, notamment l'hydrodistillation, l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique, l'extraction assistée par microondes, l'extraction sous vide par des solvants, la distillation à la vapeur, l'expression à froid, l'extraction par solvant organique, et l'extraction par fluide à l'état supercritique (*Elaissi et al., 2010 ; Boukhatem et al., 2019*).

Les huiles essentielles de *Thymus* sont réputées pour leurs vertus thérapeutiques (*Dorsaf et al., 2010*). De nombreuses recherches ont identifié diverses activités biologiques associées à des composants spécifiques des huiles essentielles de *Thymus*, notant que les variations de composition de l'huile sont souvent liées à des changements significatifs d'activités, notamment l'activité antibactérienne, analgésique, anti-inflammatoire, antifongique, antioxydante et

insecticide (*Sliti et al., 2015*). L'un des composés les plus prédominants dans de nombreuses espèces de *Thymus* est le 1,8-cinéole, pouvant représenter jusqu'à 80-90% de la composition totale de l'huile (*Polito et al., 2022*). En plus du 1,8-cinéole, les huiles essentielles de *Thymus* renferment des quantités relativement élevées de plusieurs monoterpènes hydrocarbonés tels que l' $\alpha$ -pinène, le limonène, le p-cymène, le  $\beta$ -pinène, l' $\alpha$ -phellandrène, le camphène, le  $\gamma$ -terpinène, etc., en grande quantité pour les trois premiers, ainsi que des sesquiterpènes hydrocarbonés tels que l'aromadendrène, l'allo-aromadendrène, le globulol, entre autres. Les monoterpènes oxygénés comme le myrténal, la carvone et la pinocarvone sont également présents en moindre proportion (*Fouad et al., 2015*).

Enfin, les plantes de *Thymus* suscitent l'intérêt des chercheurs et des écologistes du monde entier, car elles représentent à la fois une source de bois à croissance rapide et une source d'huile à usage polyvalent (*Dikshit Rathva et al., 2008*).

L'objectif principal de notre étude consiste à mener une recherche bibliographique sur les activités biologiques des huiles essentielles issues de plusieurs espèces de *Thymus* dans les trois pays du Maghreb, à savoir l'Algérie, la Tunisie et le Maroc. Pour ce faire, nous avons entrepris les démarches suivantes :

1. Évaluation des propriétés antimicrobiennes : Nous nous sommes intéressés aux propriétés antimicrobiennes de l'huile essentielle de *Thymus*. Dans le cadre de cette recherche documentaire, nous avons recueilli des informations sur les effets de cette huile essentielle sur divers micro-organismes, notamment les bactéries et les champignons.
2. Étude des effets antioxydants : Nous avons également examiné les propriétés antioxydantes de l'huile essentielle de *Thymus*. Cette huile est reconnue pour sa richesse en composés antioxydants. Dans le cadre de notre recherche, nous avons recensé les études existantes qui ont exploré les capacités antioxydantes de cette huile et leurs implications éventuelles pour la santé humaine.

En résumé, notre étude bibliographique vise à rassembler des informations essentielles sur les activités biologiques des huiles essentielles de *Thymus* dans les pays du Maghreb, en mettant particulièrement l'accent sur leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydantes.

**Chapitre 01 :**  
**Généralités sur thymus**

## **Genre Thymus**

Le thym est une plante condimentaire qui appartient à la famille des Lamiaceae. Le genre *Thymus* se compose d'environ 215 espèces de plantes vivaces herbacées et dessous-arbustes (*Nickavar et al 2005*). Il pousse spontanément sur les coteaux arides de la méditerranée (*Stahl-Biskup 2002*).

Il est couramment utilisé dans le domaine thérapeutique, ceci est dû à ses propriétés pharmacologiques et aromatiques : antispasmodique, antiseptique, antitussif et expectorant (*Rasooli et al 2002*). C'est l'une des espèces les plus utilisées dans la médecine populaire, pour stimuler l'action dans toutes les fonctions de l'organisme (*Bruneton 1993*) et aussi pour l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle (*Dob et al 2006*).

Il existe plusieurs écotypes de thym, qui diffèrent selon des caractéristiques morphologiques (*Tedone et al 2001*) et aussi dans la composition des huiles essentielles, (*Corticchiato et al 1998*) caractérisée par une odeur forte et pénétrante et parfois balsamique très prononcée et de saveur épicée. De nombreuses espèces présentent différents chémotypes intra-spécifiques et la composition chimique des huiles essentielles est variable par rapport au: stade de développement de la plante, au moment de la récolte et aux conditions d'environnement du champ (*Senatore 1996*).

## **Caractère Morphologie De Thymus**

Le Thym, Djertil/Zater (Hamria, Hamzoucha, khieta, mezouqach, Mougecha ou encore appelé Mazoukcha) en Arabe (Morales, 2002 ; Beloued, 2014 ; Guesmi et al., 2014) et Azoukni, Rebba, Djouchchen ou Touchna en Targui ou Berbère (Beloued, 2014) est une plante ligneuse formant souvent des coussinets (figure I.8 et I.9). La plante à entre-nœuds longs de 4 à 7 mm naissant en touffe de la souche courte et ligneuse. Tiges, au moins sur les rameaux jeunes, à pilosité répartie uniformément tout au long de l'entre-nœud. Elle possède des rameaux serrés, grêles, plus ou moins dressés et velus, recouverts de feuilles opposées, effilées, courtement pétiolées, glabres, mais légèrement ciliées à la base, un peu enroulées sur les bords, limbe ponctué (vue à la loupe) très glanduleux, mesurant 1 à 2 cm de long sur 2 à 3 mm de large. Les feuilles florales, lancéolées et égalant ou dépassant les calices, sont différentes des feuilles caulinaires en général fortement dilatées à leur portion inférieure (Quezel et Santa, 1963 ; Benabid, 2000 ; Beloued, 2014). C'est une plante à épis florifères larges de 16- 20 mm avec des fleurs rosées, plus grandes que la corolle (en capitule terminaux), avec un calice glanduleux, glabre ou légèrement velu, long de 5 à 6

mm à 2 lèvres égales. Une corolle qui dépasse de très peu le calice, bilabiée, à lobe médian plus grand (Quezel et Santa, 1963 ; Beloued, 2014).

## Histoire De Thymus Dans Le Pays Maghreb ( Algérie, Tunisie Et Maroc) :

### Thymus En Algérie

L'Algérie est connue par sa richesse en plantes médicinales au regard de sa superficie et sa diversité bioclimatique. Le thym est une plante répandue en Algérie. Les différentes espèces qui y existent sont réparties le long du territoire national, du Nord Algérois à l'Atlas saharien, et du Constantinois à l'Oranais (Kabouche *et al* 2005). Sa répartition géographique est représentée dans le tableau 1 (Quezel 1962-1963).

**Tableau 1** : Localisation des principales espèces du Thym en Algérie

Espèces	Découverte par	Localisation
<i>T.Capitatus</i>	Hoffman et Link	Rare dans la région de Tlemcen
<i>T.Fontanasii</i>	Boiss et Reutre	Commun dans le tell endémique Est Algérie-Tunisie
<i>T.Commutatus</i>	Battandie	Endémique Oran
<i>T.Numidicus</i>	Poiret	Assez rare dans : Le sous-secteur de l'atlas tellien la grande et la petite Kabylie De Skikda à la frontière Tunisienne Tell constantinois
<i>T.Guyonii</i>	Noé	Rare dans le sous-secteur des Hauts plateaux algérois-oranais et constantinois
<i>T.Lancéolatus</i>	Desfontaine	Dans le sous-secteur des Haut plateaux algérois, oranais(Tiaret) et constantinois
<i>T.Pallidus</i>	Coss	Très rare dans le sous-secteur de l'Atlas saharien et constantinois
<i>T.Hirtus</i>	Willd	Commun sauf sur le littoral

### **1.3.1 Thymus En Tunisie**

La Tunisie possède une riche biodiversité de plantes médicinales et aromatiques en raison de ses conditions climatiques diversifiées. Vingt-cinq pour cent de ses plantes sont connues en tant qu'espèce ayant des propriétés médicinales et aromatiques.<sup>1</sup> La majorité des espèces poussent spontanément dans différents climats et sur divers substrats édaphiques. Dans la flore tunisienne [Citation2], le genre *Thymus* est principalement représenté par *Thymus capitatus*, un arbuste herbacé vivace couramment utilisé comme herbe épice et connu localement sous le nom commun de « zaâtar ». D'autre part, les antioxydants sont des composés qui neutralisent les produits chimiquement actifs du métabolisme, tels que les radicaux libres, qui peuvent endommager le corps.

### **1.3.2 Thymus En maroc**

Les ravageurs constituent un sérieux problème dans les grains au cours du stockage et de son industrie dérivée (Pérez Mendoza et al. 2004). En effet, selon Scherrer (Scherrer et al. 2005), le Maroc est l'un des pays méditerranéens qui ont une longue tradition médicale et un savoir-faire traditionnel à base de plantes médicinales. Par ailleurs le *Thymus* est l'un des genres les plus importants en nombre d'espèces dans la famille des lamiacées (Lamiaceae) incluant environ 215 espèces (Morales et al. 2002) et englobe des nombreuses variétés. Au Maroc, les espèces du genre *Thymus* (du nom grec : *Thymos*, venant du mot grec (*theo*) parfum ou plante odoriférante) possèdent plusieurs nominations (en Amazigh : *Azukni*, *Tazuknite*, en Arabe : *Ziitra*) et représenté par 21 espèces dont 12 endémiques (Benabid et al. 2000). Les propriétés aromatiques et médicinales de *thymus* possèdent une grande importance, puisque son huile essentielle est dotée d'activités antibactériennes, antifongique et insecticide etc. ; et par conséquent il rendu l'une des plantes les plus populaires dans le monde

### Les Huiles Essentielles Du thymus

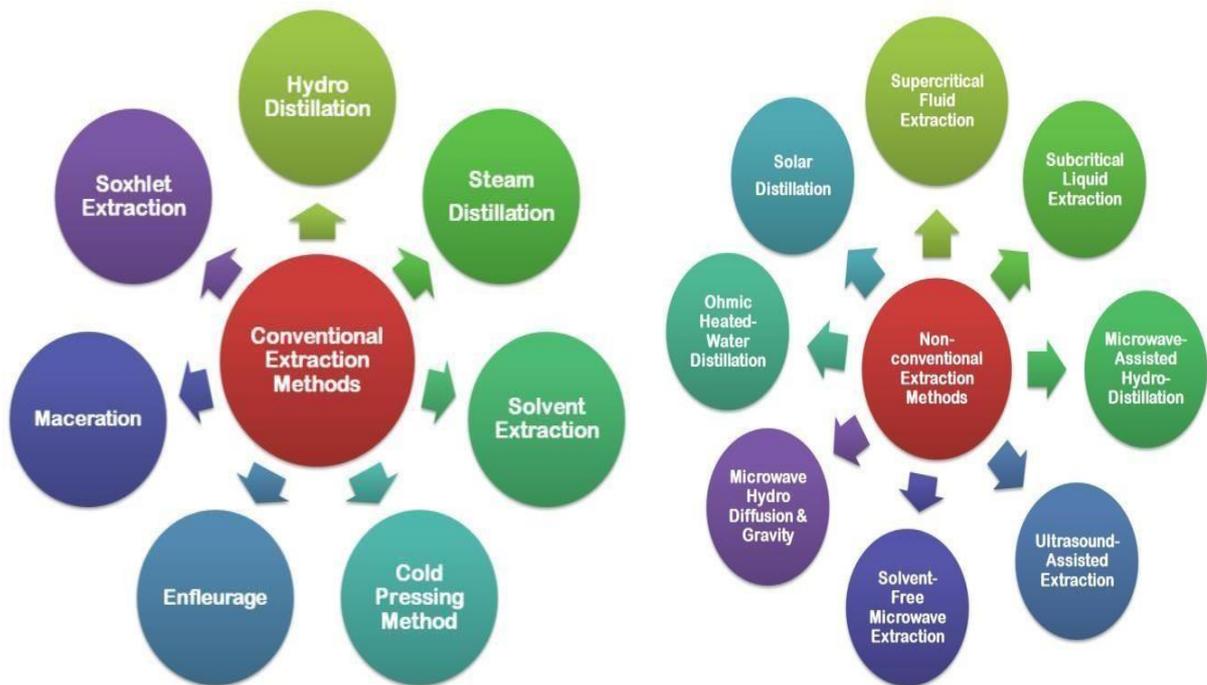
La composition en huile essentielle du *Thymus* dépend du lieu géographique et géologique des données climatiques ainsi que des données génétiques et saisonnières (Loziene *et al* 2007) (Tableau 2).

**Tableau -2-** Composition chimique de l'huile essentielle de différentes espèces de Thym

Espèces	Pays	Composition majoritaires	Références
<i>Thymus zygis</i>	Tunisie	thymol 18,7% 1,8-cineolel 58,8%	Domokos <i>et al</i> 1995
<i>Thymus algerensis</i>	Tunisie	l 43,13% $\gamma$ - terpinène 20,86% p-cymène 13,94%	Karaman <i>et al</i> 2001
<i>Thymus algeriensis</i>	Maroc	1,8-cineole 70,92% p-cymène 6,34	El Ajjouri <i>et al</i> 2008
<i>Thymus capitatus</i>	Maroc	$\alpha$ – terpinène 42,23% Thymol 23,95	El Ajjouri <i>et al</i> 2008
<i>Thymus numidicus poiret</i>	Algérie (Constantine)	Thymol 23,92% Linalool 17,20% $\gamma$ –terpinène 10,84%	Zeghib <i>et al</i> 2013
<i>Thymus numidicus</i>	Algérie	Thymol 60,80% p-cymène 10,30% $\gamma$ –terpinène 7,60%	Giordani <i>et al</i> 2008
<i>Thymus algeriensis</i>	Algérie	Thymol 71,45% Linalool 7,89%	Chemat <i>et al</i> 2012
<i>Thymus vulgaris</i>	Maroc	Camphre 27,70% $\alpha$ –pinène 20,50%	Amarti <i>et al</i> 2008
<i>Thymus ciliatus</i>	Maroc	Thymol 44,2% E-ocimène 25,8% $\alpha$ - terpinène 12,3%	Amarti <i>et al</i> 2008

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

Les HE obtenues à partir de plantes aromatiques représentent une source diversifiée et unique de produits naturels, largement utilisés pour des applications bactéricides, fongicides, antivirus, antiparasitaires, insecticides, médicinales ou cosmétiques, notamment dans les industries pharmaceutique, sanitaire, alimentaires et agricole. Cependant, avant que les HE puissent être utilisées ou analysées, elles doivent être extraites de la matrice végétale (**Reyes-Jurado et al., 2015**), il existe différentes méthodes d'extraction, mais la qualité et le pourcentage de rendement en HE ne restent jamais les mêmes. Ainsi, des techniques innovantes et non conventionnelles d'extraction d'huiles essentielles à partir des plantes médicinales ont été développées pour obtenir un rendement quantitatif et qualitatif (**Murti et al., 2023**).



**Figure 1:** *Méthodes d'extraction non conventionnelles et conventionnelles des huiles essentielles (Murti et al., 2023)*



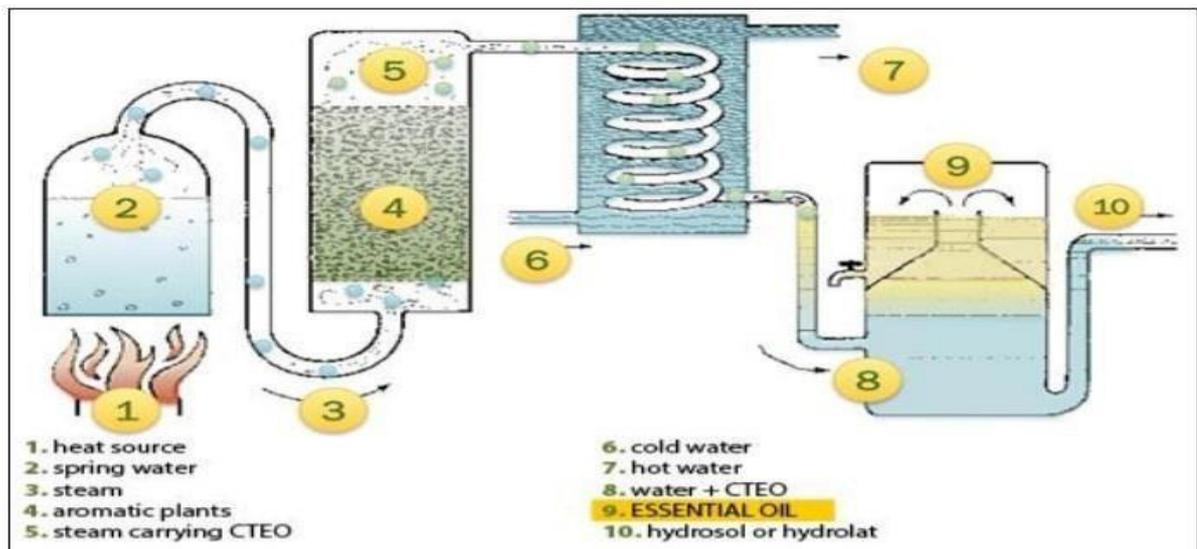
**Figure 3:** *Comparaison des méthodes conventionnelles et non conventionnelles d'extraction des huiles essentielles (Murti et al., 2023).*

### **Extraction par pression à froid**

Est l'une des méthodes d'extraction mécanique et nécessite moins d'énergie que les autres techniques d'extraction d'huile. Cette méthode n'implique ni chaleur ni extraction chimique (**Çakaloğlu et al., 2018**). Elle s'applique particulièrement pour les HE des agrumes (orange, mandarine, cédrat, pamplemousse, etc) et elle consiste à exercer sur les fruits une pression pour extraire les HE leur écorce (**Aboughe Angone et al., 2015**), ainsi que c'est une technique est plus simple, moins nocive et la meilleure pour maintenir l'intégrité de l'huile essentielle (**Nakatsu et al., 2000**).

### **Distillation à la vapeur**

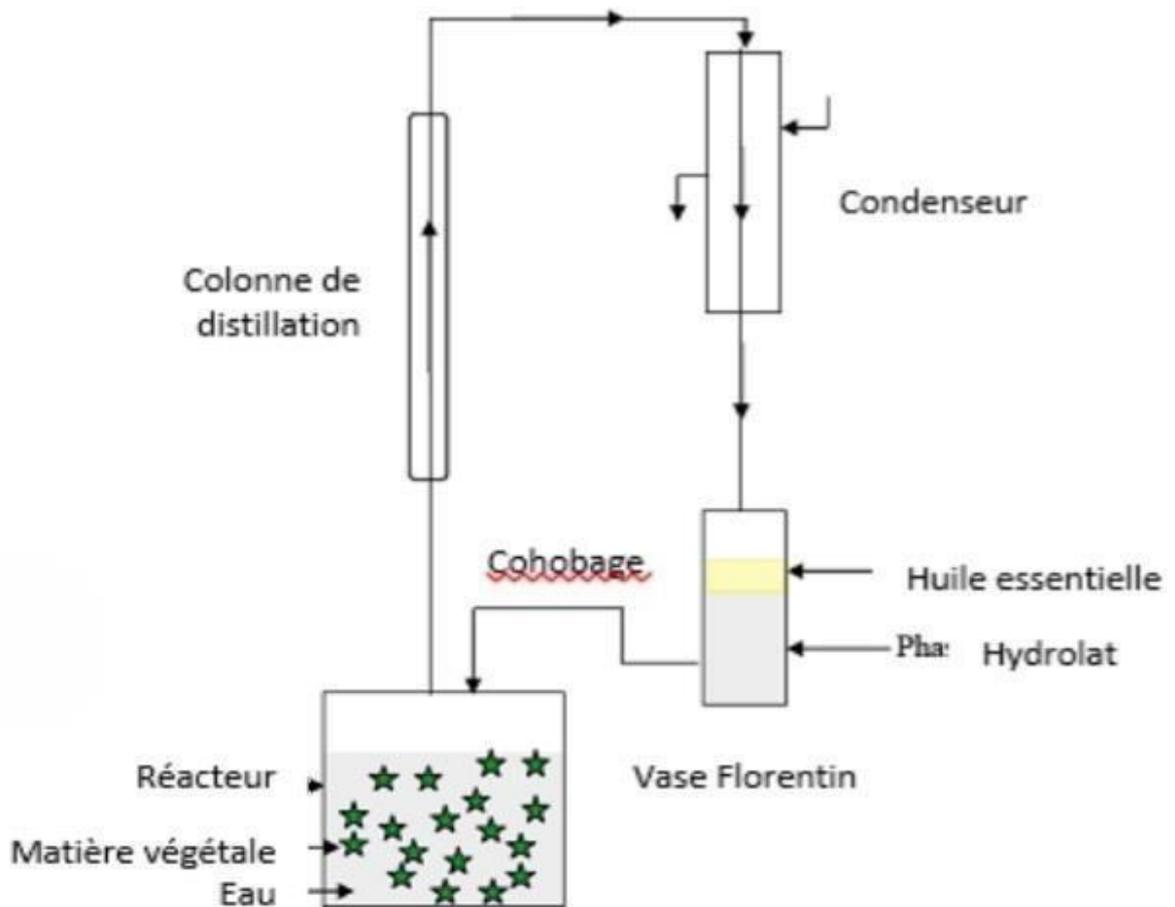
Cette méthode est la plus couramment utilisée pour les extractions à l'échelle industrielle, mais elle est également largement utilisée dans les études en laboratoire (**Nakatsu et al., 2000**). Est introduite à la base d'un alambic dans un vide sous une grille perforée, qui supporte la charge de la matière végétale (**Sovová & Aleksovski, 2006**). Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile (**Boukhatem et al., 2019**). Bien qu'il s'agisse d'un processus très efficace, la chaleur appliquée, l'acidité/basicité de l'eau ou les traces de métaux dans l'échantillon ou l'appareil peuvent provoquer des saponifications, des isomérisations ou d'autres réactions indésirables qui peuvent affecter l'équilibre de l'odeur et/ou de la saveur de l'huile essentielle (**Nakatsu et al., 2000**). La vapeur est produite dans une chaudière et soufflée par un tuyau dans le fond du conteneur, où la matière végétale repose sur un plateau perforé. Le distillat condensé consiste en un mélange d'eau et d'huile, l'huile est séparée de l'eau au moyen d'un ballon florentin, qui les sépare en fonction de leurs densités différentes. Les caractéristiques typiques de cette méthode sont que la vapeur est toujours complètement saturée, humide et jamais surchauffée, et que le matériau n'est en contact qu'avec la tige et non avec l'eau bouillante (**Reyes-Jurado et al., 2014**).



**Figure 4: Procédé d'extraction par distillation à la vapeur (Kesharwani et al., 2018).**

### Hydrodistillation

Dans l'hydrodistillation (distillation de l'eau), contrairement à la distillation à la vapeur, la matière végétale est complètement immergée dans l'eau bouillante. Cette méthode protège les huiles ainsi extraites dans une certaine mesure (Sovová & Aleksovski, 2006). La particularité de ce procédé est qu'il y a un contact direct entre l'eau bouillante et la matière première (Reyes- Jurado et al., 2014). Elle est généralement conduite à pression atmosphérique. La distillation peut s'effectuer avec ou sans cohobage des eaux aromatiques obtenues lors de la décantation. Ce procédé présente des inconvénients dus principalement à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau à l'ébullition ; Certains organes végétaux, en particulier les fleurs, sont trop fragiles et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation, Cependant, le contact direct des constituants de l'HE avec l'eau occasionne des réactions chimiques conduisant à des changements dans la composition finale de l'extrait. Les conditions opératoires et, notamment, la durée de distillation ont une influence considérable sur le rendement et la composition de l'HE. L'hydrodistillation possède des limites. Le chauffage prolongé et puissant engendre une détérioration de certains végétaux et la dégradation de certaines molécules aromatiques. L'eau, l'acidité et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters mais aussi des réarrangements, des isomérisations, des racémisations et/ou des oxydations (Boukhatem et al., 2019).



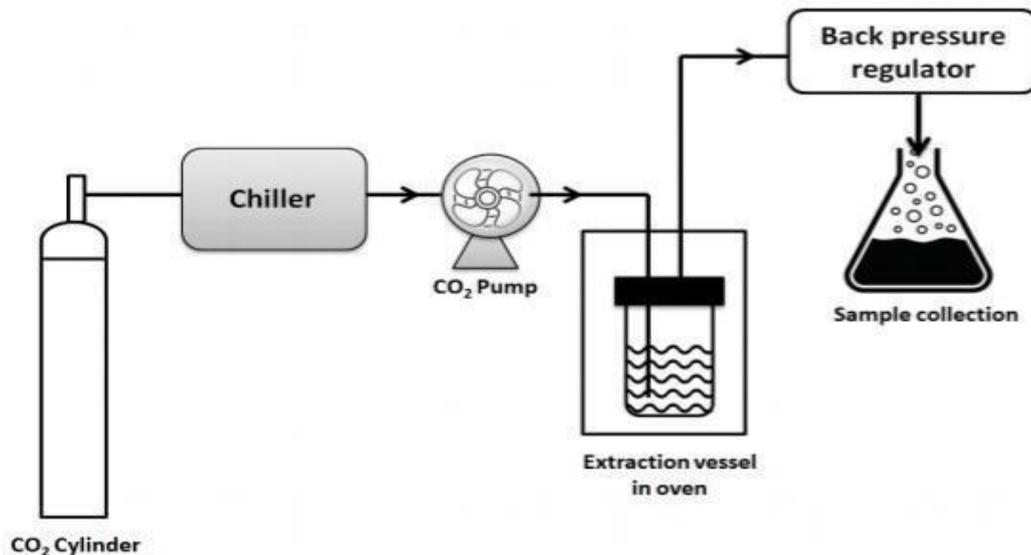
**Figure 5: Principe schématisé l'hydrodistillation (HD) (Boukhatem et al., 2019).**

### Extraction par fluide à l'état supercritique (SFE)

L'originalité de la technique d'extraction par fluide supercritique, dite « SFE », provient de l'utilisation de solvants dans leur état supercritique, c'est-à-dire dans des conditions de températures et de pressions où le solvant se trouve dans un état intermédiaire aux phases liquide et gazeuse et présente des propriétés physico-chimiques différentes, notamment un pouvoir de solvatation accru. Si, en pratique, de nombreux solvants peuvent être employés, 90% des SFE sont réalisées avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), principalement pour des raisons pratiques. En plus de sa facilité d'obtention due à ses pression et température critiques relativement basses, le CO<sub>2</sub> est relativement non toxique, disponible à haute pureté et à faible prix, et il possède l'avantage d'être éliminé aisément de l'extrait. La SFE est une technique dite

« verte » utilisant pas ou peu de solvant organique et présentant l'avantage d'être bien plus

rapide que les méthodes traditionnelles. Les compositions chimiques des HE ainsi obtenues peuvent présenter des différences, qualitatives et quantitatives, avec celles issues de l'hydrodistillation (**Boukhatem et al., 2019**).



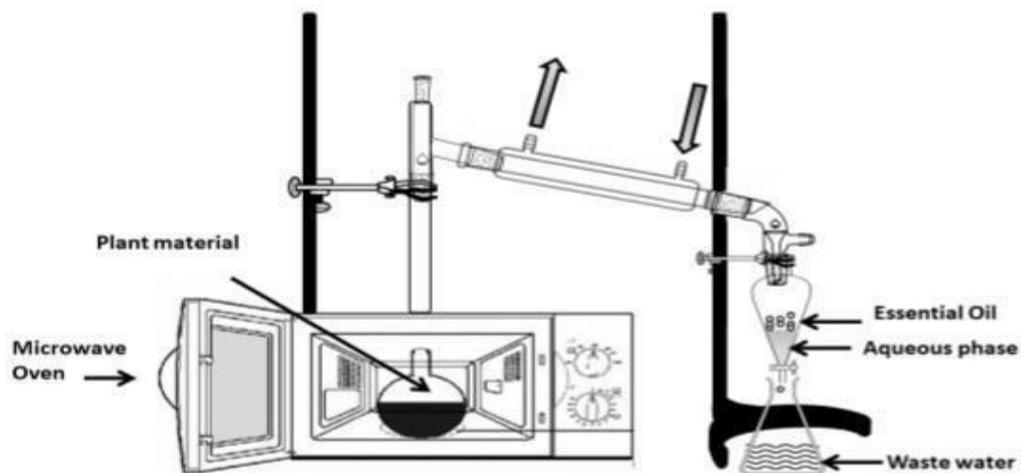
**Figure 6 :** Représentation schématique du système d'extraction par fluide supercritique (SFE) (**Murti et al., 2023**).

### Extraction assistée par micro-ondes (MAE)

Ces dernières années, différents chercheurs ont appliqué les micro-ondes pour l'extraction de plusieurs HE et ont rapporté que les HE obtenues en 30 min ou moins étaient comparables, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif, à ceux après plus du double du temps avec des techniques traditionnelles sélectionnées. MAE utilise le rayonnement micro-ondes comme source de chauffage pour le mélange solvant-échantillon. En raison des effets particuliers des micro-ondes sur la matière (à savoir la rotation dipolaire et la conductance ionique), le chauffage aux micro-ondes est instantané de l'échantillon, conduisant à des extractions très rapides. Un avantage du chauffage par micro-ondes est la rupture des liaisons hydrogène faibles, favorisée par la rotation dipolaires des molécules. Le processus MAE sont différents de ceux des méthodes conventionnelles car l'extraction se produit à la suite de changements dans la structure cellulaire provoqués par les ondes électromagnétiques (**Reyes-Jurado et al., 2014**). L'avantage de ce procédé est de réduire considérablement la durée de distillation et d'incrémenter le rendement. Toutefois, aucun développement industriel n'a été réalisé à ce jour.

La distillation assistée par micro-ondes fait aujourd'hui l'objet de beaucoup d'études et ne cesse d'être améliorée parce qu'elle présente beaucoup d'avantages : technologie verte, économie d'énergie et de temps, investissement initial réduit et dégradations thermiques et hydrolytiques minimisées, A titre d'exemple, La SFME (Solvent Free Microwave Exatrcction) est une combinaison originale des techniques de chauffage par micro-ondes et de distillation sèche. La SFME se caractérise par une diminution de la consommation énergétique et des rejets en CO<sub>2</sub>

mais, surtout, par un temps d'extraction de l'ordre de 9 fois plus rapide. Les HE issues de ce procédé sont composées d'un taux plus important en composés oxygénés, de valeurs odorantes plus significatives, alors que les monoterpènes sont présents en moindre quantité (Boukhatemet *al.*, 2019)



**Figure 7:** Représentation schématique du système d'extraction par micro-ondes sans solvant(SFME) (Murti *et al.*,2023)

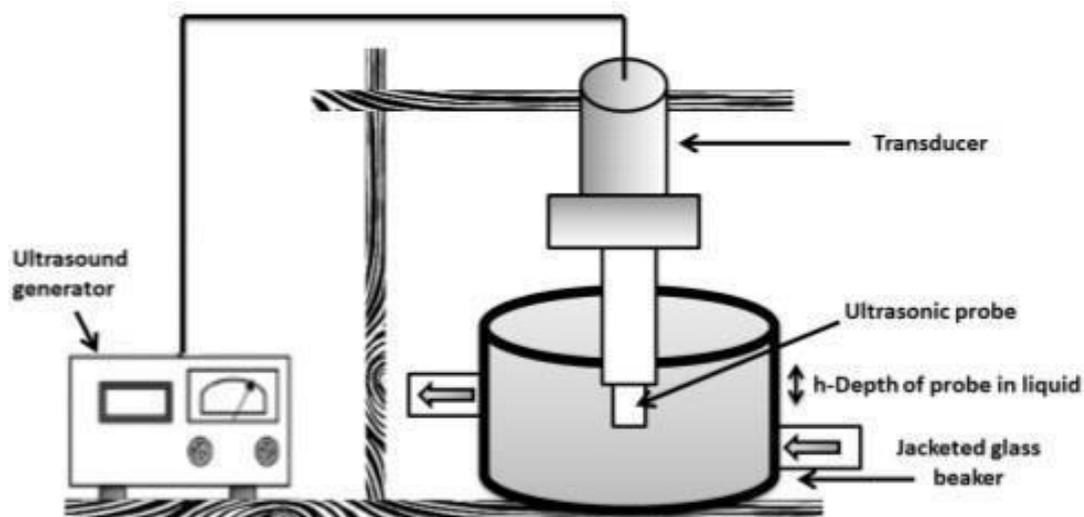
### Extraction par solvant

L'extraction par solvant peut être réalisée à l'aide du procédé d'extraction Soxhlet qui utilise différentes combinaisons de solvants en fonction de la partie de la plante utilisée (Surbhi *et al.*,2011). Le caractère hydrophobe et non polaire des HE permet leur extraction par des solvants organiques, en particulier des solvants dérivés du carburant. Cette extraction fait référence à la distribution d'un soluté entre deux phases liquides non miscibles en contact l'une avec l'autre. Cette extraction est de loin la méthode la plus simple pour obtenir des HE et est le plus souvent utilisée en laboratoire. Son principal inconvénient est la contamination de l'échantillon par solvant (ou les impuretés du solvant) qu'il faut

éliminer complètement soit pour caractériser les qualités olfactives de l'huile, soit pour étudier son activité biologique. Malheureusement, souvent, de nombreuses espèces de faible poids moléculaires sont perdues lors de l'évaporation du solvant, modifiant ainsi, dans certains cas de manière très spectaculaire, l'équilibre aromatique de l'huile essentielle (Reyes-Jurado *et al.*, 2015).

### Extraction assistée par ultrasons

L'application industrielle potentielle des ultrasons a été reconnue dans l'industrie de l'extraction phytopharmaceutique pour une large gamme d'extraits de plantes. L'EAU est utilisé pour l'isolement des composés volatils des produits naturels à température ambiante avec des solvants organiques raccourcissant le temps de traitement, diminuant le volume de solvant et augmentant le rendement de l'extrait par rapport aux méthodes conventionnelles. Des augmentations des rendements d'extraction ont été signalées lorsque les EAU ont été utilisées pour obtenir des HE par rapport à toutes les méthodes traditionnelles (Reyes-Jurado *et al.*, 2015).



*Figure 8: Représentation schématique du système d'extraction assistée par ultrasons (EAU) (Murthi *et al.*, 2023).*

### Extraction d'eau sous-critique

L'extraction avec de l'eau sous-critique (SW) est un mécanisme qui dépend principalement de l'eau comme extractant à une pression relativement élevée pour maintenir

la forme liquide et une température allant de 100 °C à 374 °C. SW facilite une opération d'extraction rapide et utilise des températures basses, qui empêchent les pertes de volatils ainsi que la dégradation des composées. La technique SW comprend une transmission des solutés de l'échantillon au milieu d'extraction en utilisant la convection, la diffusion et l'équilibre de partage. L'eau offre des caractéristiques inégalées dans des conditions sou-critiques. Le taux d'extraction écologique, adorable et rapide sont les principaux avantages de ce procédé. SW a été utilisé pour extraire plusieurs composés d'espèces du thymus. Selon Wu et al, la condition idéale de l'huile d'extraction SW est inférieure 300 °C.

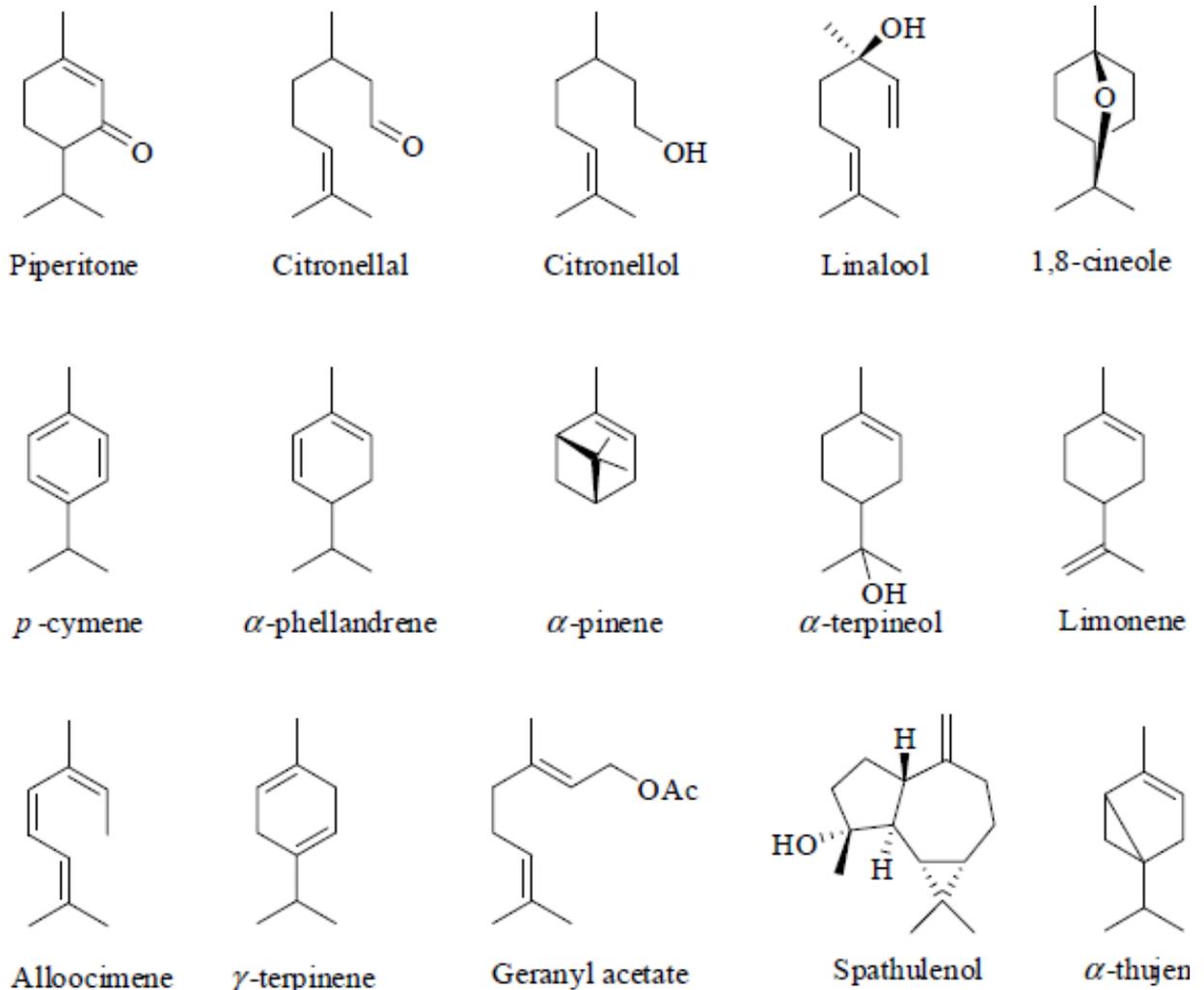
pendant 30 min ce qui est suffisant pour obtenir 30,1% de bio-huile (**Sawalha et al., 2021**)

### **Composition Chimique des HEs**

Les constituants des huiles essentielles peuvent être largement classés en fractions volatiles et non volatiles. La composition chimique globale de la fraction volatile de l'huile aromatique comprend des composants mono et sesquiterpènes et plusieurs dérivés oxygénés ainsi que des alcools, des aldéhydes aliphatiques et des esters. D'autre part, 1 à 10% en poids d'huile essentielle isolée comprennent des caroténoïdes, des acides gras, des flavonoïdes et des cires qui sont classés comme. Généralement, la méthode de chromatographie en phase gazeuse- spectrométrie de masse (GC-MS) est utilisée pour déterminer les constituants présents dans les huiles essentielles. Cette méthode est simple, permet des réponses rapides, est efficace et est une technique analytique largement utilisée pour la détermination largement utilisé pour la détermination des constituants des huiles essentielle. Un rapport GC-MS est l'empreinte digitale d'un lot particulier d'huile essentielle. Les propriétés uniques des huiles essentielle peuvent être déduites de sa composition chimique et la GC-MS est capable d'indiquer la pureté des huiles essentielles dans la plupart des cas (**Zarith Asyikin et al., 2018**)

L'huile dBatish et al., 2008). Les composés volatils présents dans les feuilles et les pousses sont le *1,8-cinéole (eucalyptol)*, le *citronellal*, le *globulol*, la *pipertone*, l'*α-gurjunène*, le *β-pinène*, l'*aromadendrène*, l'*allo-aromadendrène* et les *α-, β- et γ-terpinen-4-ol*. Les fleurs

sont riches en dextrine et en saccharose (Stackpole *et al.* , 2011). Les fruits contiennent de l'asparagine, du bornéol, de l'acide caproïque, du citral, de la cystéine, de l'eudesmol, de la fenchone, de l'acide glutamique, de la glycine, du *p*-menthane, du myrcène, du myrténol, de l'ornithine  $\alpha$ - terpinéol, de la thréonine et de la verbinone (Boulekbache-Makhlouf *et al.*, 2010)



**Figure 9:** Quelques principaux constituants des huiles essentielles de feuilles du *thymus*

(Barbosa *et al.*, 2016)

### Inconvénients de l'usage abusif des produits issus du thymus

L'abus de produits à base de thymus, tels que les compléments alimentaires, les huiles essentielles de thym, ou autres produits dérivés, peut entraîner divers inconvénients et effets indésirables. Voici quelques-uns des inconvénients potentiels de l'usage excessif de ces produits :

1. Réactions allergiques: Certaines personnes peuvent être allergiques au thym ou à ses composants. L'abus de produits à base de thym peut déclencher des réactions allergiques, telles que des éruptions cutanées, des démangeaisons, des rougeurs et même des difficultés respiratoires chez les personnes sensibles.
2. Irritation de la peau et des muqueuses: L'utilisation excessive d'huiles essentielles de thym non diluées peut provoquer une irritation cutanée ou des brûlures. De plus, l'application de ces huiles sur les muqueuses, comme celles du nez ou de la bouche, peut être très irritante.
3. Troubles gastro-intestinaux: L'ingestion excessive de thym, notamment sous forme de compléments alimentaires, peut entraîner des troubles gastro-intestinaux tels que des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales et des diarrhées.
4. Interactions médicamenteuses: Les produits à base de thym peuvent interagir avec certains médicaments. Par exemple, ils peuvent augmenter l'effet de médicaments anticoagulants, ce qui peut entraîner un risque accru de saignement.
5. Problèmes hormonaux: Le thym contient des composés appelés phytoestrogènes, qui peuvent influencer les niveaux d'hormones dans le corps. Une utilisation excessive de ces produits peut perturber l'équilibre hormonal, en particulier chez les personnes sensibles.
6. Effets psychotropes: À fortes doses, certaines variétés de thym peuvent contenir des composés psychotropes tels que la thujone. L'abus de thujone peut provoquer des symptômes neurologiques tels que des convulsions, des hallucinations et des perturbations mentales.
7. Tolérance et dépendance: Bien que cela soit moins courant avec le thym que avec d'autres substances, certaines personnes peuvent développer une tolérance aux effets du thym, ce qui signifie qu'elles doivent en consommer de plus en plus pour obtenir les mêmes effets. Cela peut éventuellement entraîner une dépendance psychologique.

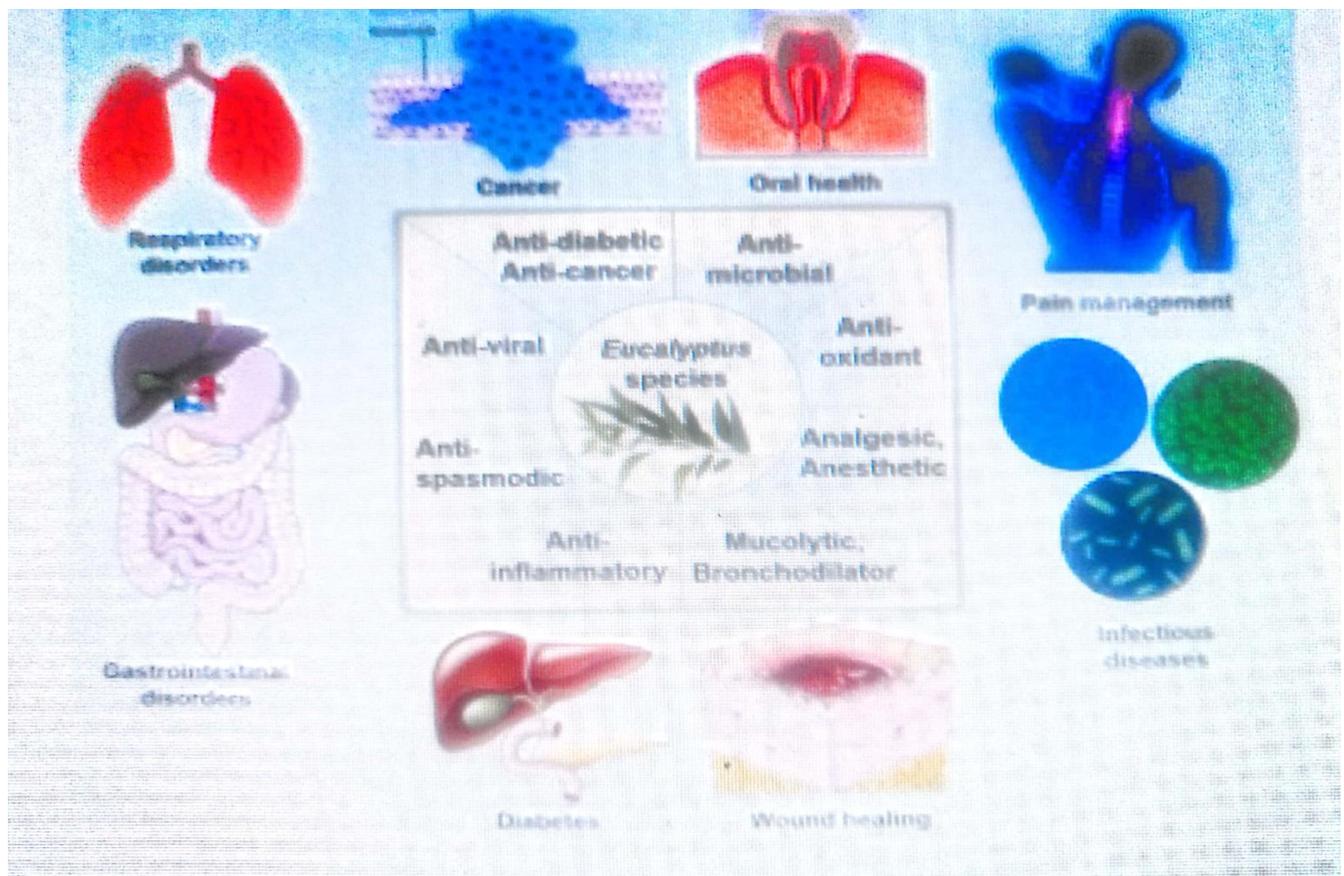
Il est essentiel de faire preuve de prudence et de modération lors de l'utilisation de produits à base de thym, en suivant les instructions d'utilisation et en consultant un professionnel de la santé en cas de doute. Les effets indésirables peuvent varier en fonction de la forme du produit, de la concentration et de la sensibilité individuelle.

## **Chapitre 02**

# **Applications Thérapeutiques D'thymus**

## Chapitre 02 : Applications Thérapeutiques Du thymus

Les vertus thérapeutiques des essences aromatiques sont connues depuis l'antiquité. Cependant, l'intérêt pour l'étude scientifique du pouvoir des plantes aromatiques et médicinales n'a augmenté que récemment, dans le but de trouver des alternatives aux substances chimiques, qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement. Plusieurs travaux de recherche ont mis en évidence les diverses activités biologiques des plantes aromatiques et médicinales, notamment leurs propriétés antifongiques, antibactériennes, antioxydantes et insecticides (Hmiri et al., 2011). Les métabolites secondaires présents dans ces plantes ont un fort potentiel en tant que nouvelles sources naturelles pour contrôler les micro-organismes pathogènes, tels que les virus, les nématodes, les bactéries et les champignons, qui sont responsables de nombreuses maladies affectant la biodiversité (Yangui et al., 2017).



**Figure 10: Diverses applications thérapeutiques du genre Thymus (Chandorkar et al., 2021).**

le **thymus** a été largement étudié comme source d'huile essentielle, qui a diverses activités biologiques (Tolba et al., 2018). HET est une HE d'importance ethnomédicale et populaire avec diverses activités thérapeutiques telles qu'analgésique, antimicrobienne, antioxydante, antibactérien, antiviral, sédatif, stimulant, décongestionnant pulmonaire, antispasmodique (Chandorkar et al., 2021), anti-inflammatoire, analgésiques, fumigant (Sliti et al., 2015), insecticides et acaricides (Tolba et al., 2018). A part son **potentiel thérapeutique**, HET a trouvé son application dans le traitement de diverses affections telles que la bronchite, sinusite, asthme, maladie pulmonaire obstructive chronique, douleur, infections, blessures, cancer, paludisme et le dernier mais pas le moindre COVID-19 (Chandorkar et al., 2021).

### **Activité antimicrobienne**

Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles (HE) étaient reconnues depuis longtemps et continuent de faire l'objet de plusieurs études. En raison de leurs propriétés, les HE ont gagné beaucoup d'attention et ont donné naissance à diverses investigations sur leur potentiel antimicrobien alternatif en industrie agroalimentaire (Djenane et al., 2011). Les effets antimicrobiennes contre un large éventail de micro-organismes ont été pris en compte dans plusieurs études (Tolba et al., 2018). L'eucalyptus présente la plus grande diversité de gènes pour des métabolites particuliers tels que les terpènes qui agissent comme défense chimique fournissent des huiles pharmaceutiques uniques. HEE et son composant principal, le 1.8-cinéole, ont des effets antimicrobiens contre de nombreuses bactéries, virus, champignons (Saadaoui et al., 2017).

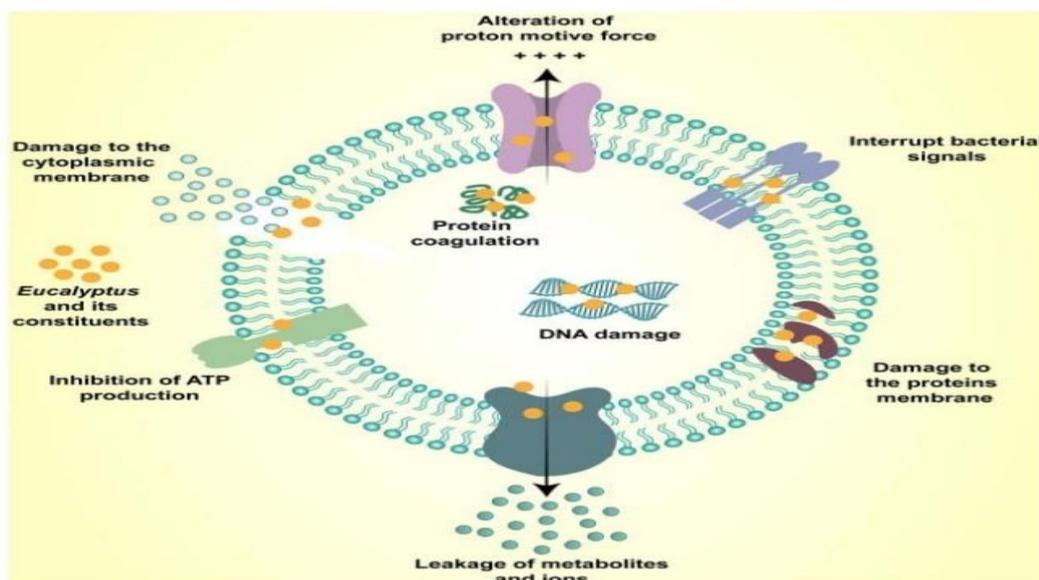
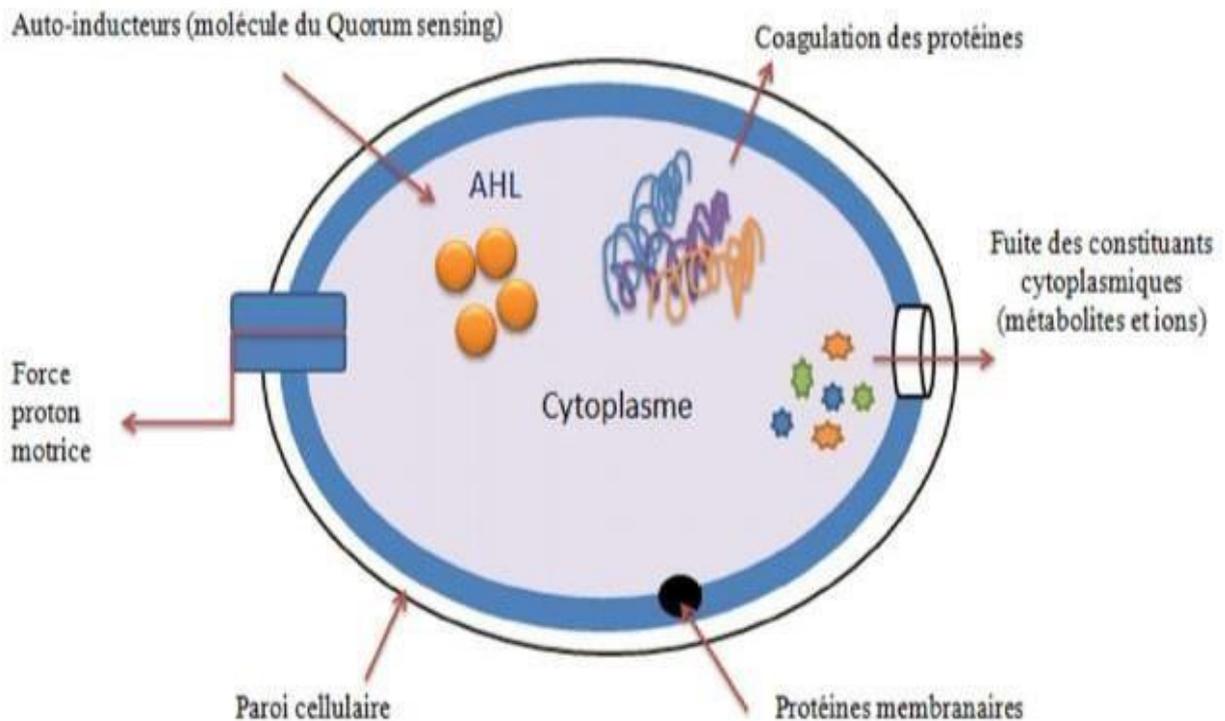


Figure 11: Activité antimicrobienne des constituants de Thymus (Chandorkar et al., 2021).

L'application de plantes aromatiques comme agents antibactériens pour inhiber la croissance bactérienne et la prévention de la pourriture est appliquée depuis l'antiquité. Scientifiquement, diverses études ont rapporté le potentiel des huiles essentielles pour prévenir la croissance bactérienne dans de nombreux domaines (Zarith Asyikin et al., 2018), tels que *E.camaldulensis* peut être suggérée comme une nouvelle source d'agents antibactériens naturels (Sliti et al., 2015), ainsi que plusieurs rapport ont étudié les activités antibactériennes de HET et ont démontré leur potentiel d'action. Les HET peut augmenter la perméabilité des membranes cellulaires de la souche bactérienne, modifier leurs enzymes microbiennes, et provoque la mort cellulaire, se sont avérés efficaces contre les bactéries Gram (+) et Gram (-) qui sont généralement plus réticentes à subir l'action des antibiotiques conventionnels. Il est généralement difficile de trouver une substance capable de diminuer la virulence bactérienne et de limiter tous les mécanismes conduisant à une agression bactérienne accrue, conduisant à plus de difficulté à éradiquer les infections qu'elles déclenchent. Par conséquent, l'activité manifestée par ces huiles essentielles du thymus contre les agents pathogène utilisé dans ces

expériences pourrait être comme ayant une signification observable, à la fois à des fins alimentaires et sanitaires (Khammassi et al., 2022), cependant les Huiles essentielles du thymus, *T. bicostata*. *T. cinerea* ont montré l'activité antibactérienne la plus élevée contre *Listeria ivanovii* et *Bacilles Creus*, elles peuvent avoir des applications potentielles dans les produits alimentaires et pharmaceutique (Sebei et al., 2015). Elaissi et al., (2021) ont montré aussi l'activité antibactérienne des HET contre les souches responsables d'otites tels que HETbroussenti, HETnumiduis, HETalgererinesis, HETserplyum", HETpallencens de plus les

résultats obtenues par (Fenghour *et al.*, 2021) montre que HETVU a un large spectre d'activité antibactérienne contre les bactéries Gram (+) et Gram (-).

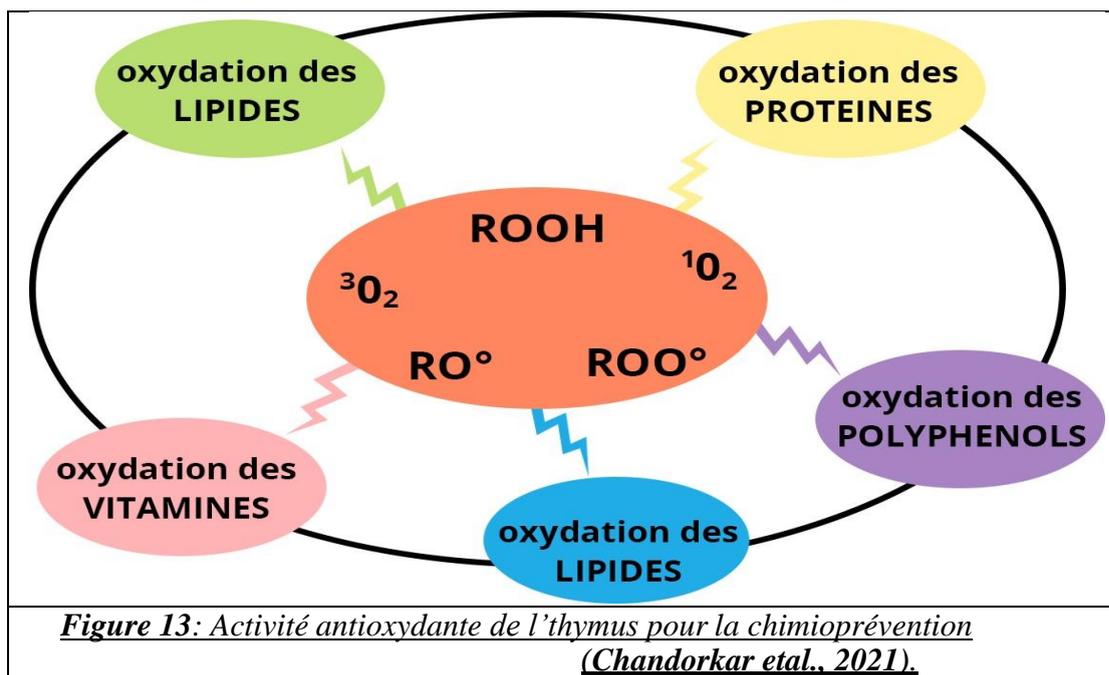


**Figure 12:** Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne (Fenghour *et al.*, 2021)

### Activités antioxydants

L'évaluation du potentiel antioxydant des trois huiles essentielles a révélé des activités prometteuses qui pourraient contribuer à valoriser les huiles essentielles issues d'espèces forestières, en particulier celles du genre *Thymus*. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature. En effet, plusieurs études ont exploré les propriétés antioxydantes de diverses espèces d'*thymus*, telles que *Thymus Vulgaris*, *Thymus Zygis*, *Thymus Capitatus*, *Thymus Algeriensis* et *Thymus Pallescens*. De plus, il est à noter que l'HETHI (*thymus H*) a présenté un potentiel antioxydant supérieur dans toutes les méthodes d'analyse (Amri *et al.*, 2023).

Il est donc possible de suggérer que *Thymus vulgaris* pourrait également être envisagé comme une nouvelle source d'agents antioxydants naturels, en accord avec les travaux antérieurs (Sliti *et al.*, 2015). De nombreuses publications ont également examiné l'activité antioxydante des huiles essentielles en utilisant diverses méthodes (Aazza *et al.*, 2011). Il est à noter que de *thymus*, *derflerio* en particulier en raison de sa richesse en monoterpénoïdes, présente des propriétés antioxydantes intéressantes (Dhakad *et al.*, 2017).



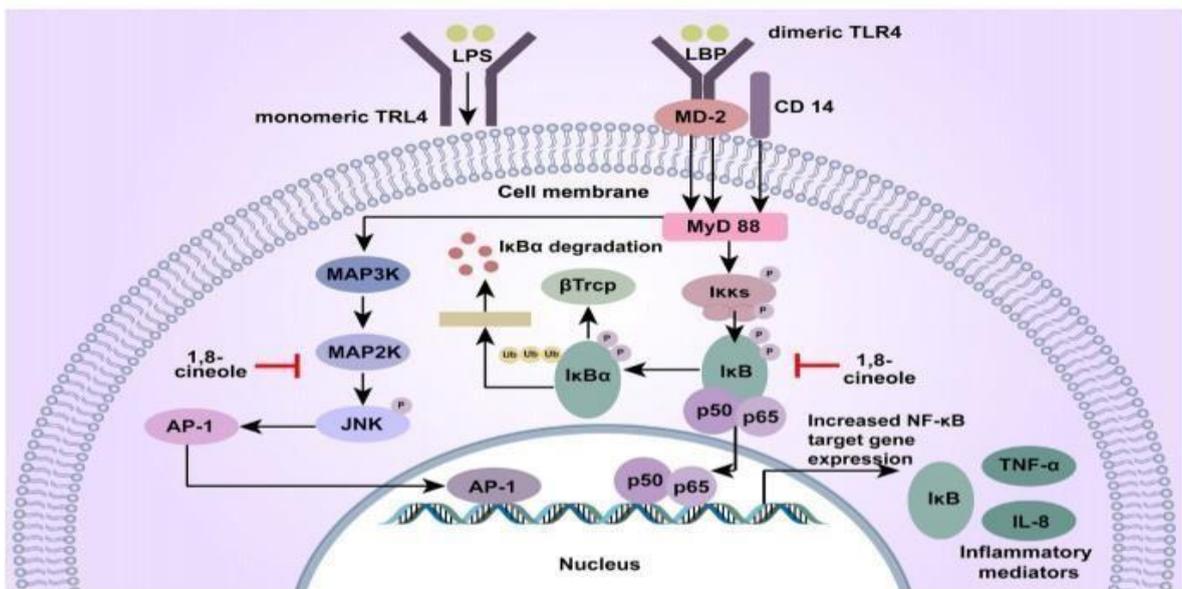
### Activité antifongique

Il y a plus de 60 000 ans, les peuples autochtones d'Australie ont développé une connaissance empirique avancée des plantes autochtones, notamment de l'eucalyptus. Dans leurs traditions ancestrales, ils utilisaient couramment les feuilles d'thymus pour traiter des blessures et des infections fongiques (Doll-Boscardin et al., 2012).

Les HE sont bien connues pour posséder des effets antifongiques considérables contre plusieurs champignons tels que *Biscogniauxia Mediterranea* est largement sensible au HETAL (Yangui et al., 2017), selon (Tolba et al., 2015) HETHI présentait un potentiel antifongique plus élevé contre les quatre dermatophytes, alors il pourrait être utilisé comme source naturel d'agent antifongique pour contrôler les infections humaines et les agents fongiques. Ainsi que d'autre étude montre l'efficacité des HET contre les souche fongiques (*Aspergillus clavatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Chaetomium globosum*, *Myrothecium verrucaria*, *Penicillium citrinum*, *Trichoderma viridide*, *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Phaeolus schweintzii*, *Lenzites sulphureu*) telles que HEECa, HEECi, HETZzyjs, HETUrophylla (Su et al., 2006). L'étude de l'activité antifongique a révélé que l'huile essentielle du thymus. Bressenti inhibant significativement la croissance de cinq champignons phytopatogènes en particulier *Bipolaris sorokiniana* et *Botrytis cinerea* (Ben Ghnaya et al., 2013).

### Activité anti-inflammatoire

Les propriétés anti-inflammatoires des huiles du thymus ont été étudiées à l'aide de plusieurs méthodes pharmacologiques standard. Les résultats révèlent généralement que les HETZ, HETT et HETHI ont suscité des activités anti-inflammatoires d'intensité différentes (Silva *et al.*, 2003). Le -cinéole, constituant majeur présent dans l'huile volatile du thymus est un puissant inhibiteur des cytokines, qui pourrait convenir au traitement à long terme de l'inflammation des voies respiratoires dans l'asthme bronchique et d'autres troubles sensibles aux stéroïdes (Patil & Nitave. 2014), de plus HETZ était le plus active contre tyrosinase ( $IC_{50} = 38.21 \pm 0.13 \mu\text{g/mL}$ ) et 5-lipoxygénase ( $IC_{50} = 0.88 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$ ) (Assaggaf *et al.*, 2022).



**Figure 14 : Mécanisme anti-inflammatoire moléculaire de 1,8-cinéole (Chandorkar et al., 2021).**

### Activité insecticide

De nombreux composés chimiques produits par les plantes, connus sous le nom de métabolites végétaux secondaires, sont célèbres pour leurs propriétés insecticides. Dans de nombreuses cultures, les plantes ont traditionnellement été utilisées comme remèdes maison pour éliminer ou repousser les insectes. Au cours des dernières décennies, les recherches sur les interactions entre les plantes et les insectes ont révélé le potentiel d'utilisation de ces métabolites végétaux, également appelés allélochimiques, à des fins insecticides. Il est bien établi que certains composants chimiques présents dans les huiles essentielles possèdent des propriétés insecticides. Parmi les huiles essentielles, l'huile du thymus, en particulier, est particulièrement précieuse en raison de sa facilité d'extraction à des fins industrielles. De plus, la présence de monoterpènes volatils dans ces huiles essentielles confère aux plantes une stratégie de défense essentielle, notamment contre les insectes nuisibles qui se nourrissent des plantes (**Ben Slimane et al., 2014**). Par conséquent, le contrôle des insectes est grandement souhaité et nécessaire pour améliorer la qualité de vie et la santé humaine. Cependant, il convient de noter que les huiles essentielles de nombreuses espèces d'thymus sont montrées des résultats positifs dans le contrôle d'une variété d'espèces d'insectes, comme le montre le tableau présenté dans l'étude de (**Barbosa et al. en 2016**).

**Tableau 5:** Localisation des principales espèces du Thym en Algérie avec des activités insecticide (**Barbosa et al., 2016**)

Espèces	Découverte par	Localisation
<i>T.Capitatus</i>	Hoffman et Link	Rare dans la région de Tlemcen
<i>T.Fontanasii</i>	Boiss et Reutre	Commun dans le tell endémique Est Algérie-Tunisie
<i>T.Commutatus</i>	Battandie	Endémique Oran
<i>T.Numidicus</i>	Poiret	Assez rare dans : Le sous-secteur de l'atlas tellien la grande et la petite Kabylie De Skikda à la frontière Tunisienne Tell constantinois
<i>T.Guyonii</i>	Noé	Rare dans le sous-secteur des Hauts plateaux algérois-oranais et constantinois
<i>T.Lancéolatus</i>	Desfontaine	Dans le sous-secteur des Haut plateaux algérois, oranais(Tiaret) et constantinois
<i>T.Pallidus</i>	Coss	Très rare dans le sous-secteur de l'Atlas saharien et constantinois
<i>T.Hirtus</i>	Willd	Commun sauf sur le littoral

### Activité acaricide

Un acaricide peut être défini comme toute substance ou mélange de substances destiné à prévenir, détruire, repousser ou atténuer les tiques et les acariens. De nombreuses études ont démontré les effets acaricides des HE obtenues à partir de différentes espèces d'eucalyptus telsqu'*Thymus Zygis*, *Thymus Fontanasii*, *Thymus camaldulensis*, *Thymus Vulgaris*, *Thymus Algerinisis*, *Thymus Pallidus*, *Thymus Guuyonii*, *Thymus Commutatus*, *Thymus Serpyllum*. D'après la littérature examinée, il était clair que les effets acaricides des huiles essentielles de *Thymus* dans certains cas sont élevés et pourraient conduire au développement d'un produit commercial respectueux de l'environnement pour contrôler ces parasites (**Barbosa et al., 2016**). Comme indiquer dans le (**Tableau 6**).

**Tableau 6:** Les HET avec les activités acaricide (**Barbosa et al., 2016**).

Espèces du thymus	Espèces cibles
<i>Algerinisis</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Vulgaris</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Camaldulensis</i>	<i>Varroa destructor</i>
<i>Fontanasii</i>	<i>Boophilus microplus</i> , <i>Dermanyssus gallinae</i> , <i>Neoseiulus californicus</i> , <i>Tetranychus urticae</i>
<i>Zygis</i>	<i>Boophilus microplus</i>
<i>Pallidus</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Guuyonii</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Commutatus</i>	<i>Boophilus microplus</i> , <i>Dermanyssus gallinae</i>
<i>Serpyllum</i>	<i>Amblyoma variegatum</i>

### Activité larvicide

Les moustiques jouent un rôle prédominant dans la transmission de la malaria, de la dengue, de la fièvre, de la filariose et de plusieurs maladies qui comptent aujourd'hui parmi les grands problèmes de santé dans le monde. Elles provoquent également des réactions allergiques chez les humains, notamment des réactions cutanées locales et systématiques tels que l'œdème de Quincke (**Cheng et al., 2009**). Le contrôle de ces larves de moustiques dépend souvent d'application continues d'organophosphorés tels que le téméphos et le fenthion et dérégulateur de croissance d'insectes tels que le diflubenzuron et le méthoprène. Bien qu'efficaces, leur utilisation répétée a perturbé les systèmes naturels de contrôle biologique et a conduit à des épidémies d'espèces d'insectes, entraînent parfois le développement généralisé de la résistance, a eu des effets indésirables sur les organismes non ciblés et a

suscité des préoccupations environnementales et de la santé humaine. Ces problèmes ont mis en évidence la nécessité de développer de nouvelles stratégies de lutte sélective contre les larves de moustiques. Beaucoup d'efforts ont été concentrés sur les extraits de plantes ou les composés phytochimiques en tant que sources potentielles d'agents commerciaux de lutte contre les moustiques ou de composés chimiques bioactifs (Yang *et al.*, 2002). Les HE de plantes peuvent constituer une source alternative d'agent de lutte contre les larves de moustiques, car elles constituent une riche source de composés bioactifs biodégradables en produits non toxiques et potentiellement utilisables dans des programmes de gestion intégrée. En effet, de nombreux chercheurs ont rapporté l'efficacité des huiles essentielles végétales contre les larves moustiques telles que HETAL et HET *Urophyla* qui montre une activité contre les larves moustiques *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (S.-S. Cheng *et al.*, 2009). Un article récent a rapporté que l'huile essentielle de thymus *benthamii* fournissait des activités larvicides et adulticides contre *Aedes aegypti* (Alejandro Luci *et al.*, 2012). De plus HET *Grandis* a un effet délétère sur les stades 3 et 4 d'*Aedes aegypti* et de *Culex quinquefasciatus* lorsqu'elle est exposée à la solution acétonique (Dhakad *et al.*, 2017).

### Activité phytotoxique

L'activité phytotoxique a été évaluée sur la germination et l'élongation radicalaire des graines de *Raphanus sativus*, *Lolium multiflorum*, et *Sinapis arvensis*, les résultats montrent que HET était actif contre la germination et l'élongation radicale tels que HET *Pyriiformis*, HET *Viminalis*, HET *Griffithshii*, HET *Hemiphloia*, HET *Longicornis*. De nombreux auteurs ont rapporté des effets phytotoxiques et alléopatiques de plusieurs HEE tels que *Eucalyptus citriodora* Hook, *Thymus nicholii* Maiden et Blakely, *Thymus nicholii*, *Thymus globulus* Labill. La phytotoxicité était probablement due à la présence du thymustol : comme suggéré dans la littérature, ce composé peut provoquer une diminution de la germination, inhibant la respiration mitochondriale, la mitose et la synthèse d'ADN (Khedhri *et al.*, 2022).

### Activité antibiofilm

Les HT étaient des inhibiteurs actifs du métabolisme des cellules sessiles, au stade précoce de la formation du biofilm bactérien, et l'activité inhibitrice sur les processus d'adhésion était principalement causée par l'action exercée sur le métabolisme cellulaire. C'est le cas par exemple d'*Acinetobacter baumannii*, contre lequel, à quelque exceptions près, les taux

d'inhibition s'élevaient à pas moins de 53,64% (*Thymus viminalis*), et qui atteignait plus de 83% (*Thymus griffithsii*, *Thymus hemiphloia* et *Thymus pyriformis*). Dans le cas d'*Escherichia coli*, la plus forte concentration d'HT utilisée a provoqué une inhibition aussi élevée que 90,7% (*Thymus lesoufii*). En générale, cependant ces HT ont montré une efficacité inhibitrice apparente sur le métabolismecellulaire de toutes les souches. Une telle efficacité a également été observée dans des tests effectués sur les biofilms matures (Khedhri *et al.*, 2022).

### 2.10. Activité anticancéreuse

La propriété anticancéreuse de HET est due à la présence de composés bioactifs tels que le terpinène-4-ol,  $\alpha$ -pinene et  $\gamma$ -terpienene. Il a été rapporté que le terpinène-4-ol présente une activité antitumorale en provoquant sélectivement une nécorse et un arrêt du cycle cellulaire dans les cellules de mélanome ou une autre manière consiste à déclencher l'apoptose dépendante de la caspase dans les cellules de mélanome humain. Les propriétés anticancéreuses du terpinène-4-ol ont été étudiées sur des lignées cellulaires humaines induites par des conditions tumorales. Il a été observé que le terpinène-4-ol inhibait la croissance des cancers colorectaux, pancréatiques, gastriques et de la prostate de manière dose-dépendante (0.005-0.1%) (Surbhi *et al.*, 2021), ainsi que les feuilles jeunes et adultes d'*E. benthamii* sont actuellement indiquées comme pratique populaire pour le traitement du cancer. De plus, cette espèce a été prise sous forme de thé obtenu en infusant ses feuilles dans l'eau chaude ou utilisée en inhalation de vapeur. L'infusion est particulièrement recommandée pour les cancers de la gorge, de l'œsophage et de l'estomac ainsi que les lymphomes et le cancer du col de l'utérus. Pour le cancer du poumon, les agriculteurs familiaux et leurs communautés inhalent profondément les fumées issues de l'huile essentielle d'*T. benthamii* (Doll-Boscardin *et al.*, 2012).

### Activité analgésique

Selon les études de Silva *et al.*, (2003) ont montré que les HETHI, de thymus terticorniset du *Thymus zigys* induisaient des effets analgésique dans les deux modèles, suggérant actions périphériques et centrale.

### Activité antihistaminique

L'histamine est principalement responsable de l'allergie. L'huile de feuilles de thymus zigys

est utilisée comme médicament indonésien pour le traitement des allergies. Il a été scientifiquement prouvé que l'HT inhibait la libération d'histamine dépendante des IgE par les cellules RBL-2H3 (Dhakad *et al.*, 2017).

### **Activité antidiabétique (Antihyperglycemiant)**

L'huile essentielle de feuilles de thymus zigys à des propriétés antidiabétiques et antioxydantes, réduit le stress oxydatif en diminuant le taux de glucose plasmatique chez les rats diabétiques, contrôlant ainsi la production inutile de radicaux libres par glycation des protéines. *T.hirtus* a montré une activité antidiabétique importante qui est analogue au médicament standard Glibenclamide. Une étude de Basak et Candan a rapporté une évaluation in vitro des propriétés antidiabétiques de HETAL par l'inhibition de l' $\alpha$ -amylase et de l' $\alpha$ -glucosidase. L' $\alpha$ -amylase et l' $\alpha$ -glucosidase ont été inhibées par un mécanisme non compétitif (Dhakad *et al.*, 2017).

### **Activité anti-douleur**

L'huile de feuilles d'eucalyptus agit comme analgésique naturel et empêche également la zone de contracter une infection, ce qui accélère la guérison en raison de la teneur en cinéole, qui pénètre facilement dans les tissus. Par conséquent, il est souvent suggéré aux patients souffrant de courbatures, de fibrose, de rhumatisme, de lumbago, d'entorses aux ligaments et tendons, de raideurs musculaires et même de douleurs nerveuses d'utiliser l'huile essentielle de feuilles du Thymus. C'est la principale raison de son efficacité dans les décongestionnants et les analgésiques. Les produits à base d'huile du Thymus sont également utilisés dans les médicaments pour le soulagement des douleurs musculaires. HT de feuilles du Thymus *Radiata* et du Thymus *Smithi* est également utilisé comme analgésique et anti-fatigue. Il a été rapporté que l'huile de feuilles du Thymus *staigeriana* était bonne pour l'anxiété, l'agitation, le stress et les comportements difficiles (Dhakad *et al.*, 2018).

## **Chapitre 03**

# **Résultats & Discussion**

### 3. Conception de l'étude

#### Formulation de sujet de recherche

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les caractéristiques biologiques des huiles essentielles provenant de différentes variétés de thymus dans les trois pays du Maghreb, à savoir l'Algérie, la Tunisie et le Maroc, en se penchant notamment sur leurs capacités antibactériennes, antifongiques et antioxydantes. Pour parvenir à cette fin, nous avons entrepris une analyse documentaire à la suite d'une recherche bibliographique menée dans diverses bases de données telles que Pub Med, Springer-Link, Research Gate et Google Scholar. Cette recherche a permis de rassembler un total de 125 articles, parmi lesquels seuls 75 documents ont été sélectionnés pour notre étude.

Les termes clés utilisés pour interroger les bases de données comprenaient les suivants en français : "Thymus" ET/OU "Huile essentielle" ET/OU "Activités biologiques" ET/OU "Activité Antibactérienne" ET/OU "Activité Antifongique" ET/OU "Activité Antioxydante" ET/OU "Algérie" ET/OU "Tunisie" ET/OU "Maroc", et en anglais : "Thymus" ET/OU "Essential oil" ET/OU "Biological Activity" ET/OU "Antibacterial activity" ET/OU "Antifungal activity" ET/OU "Antioxidant activity" ET/OU "Algeria" ET/OU "Tunisia" ET/OU "Morocco".

Mots clés	Google scolaire	Spinger-link	PubMed	Reaserchgate
Thymus	11230000(0.04s)	39.962	5.719	100
Huile Essentielle Du thymus	5231	42	42	100
THYMUS Essential Oil	129000(0.03s)	8.369	882	100
Activités Biologiques Du thymus	4436	13	87	100
Biological Activity Of Thymus	269000(0.07s)	14 .980	932	100

**Tableau 8:** Le nombre d'espèces de thymus identifiées dans les trois pays du Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).

Pays	Nombres d'espèces identifiés
Algérie	30
Tunisie	20
Maroc	20

## Sélection et éligibilité

Tableau 9: Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'exclusion	Critères inclusion
Articles publiés avant <b>2000</b>	Articles publiées depuis 2000 au 2023
Articles publiés dans d'autres langues que l'anglais et français	Articles et les articles revus
Articles en double (répétés)	Termes de recherche : en rapport à l'thymus, huile essentielle et les activités biologique du thymus
Articles hors sujets	Nombres d'articles sélectionnés : 63
Mémoires, les livres, les chapitres, les rapports, les thèses	Langue de recherche : français, anglais
Nombres d'articles identifiés : plus que 1000 articles	Pays étudiés : Algérie, Tunisie, Maroc
Nombres d'articles collectés : 130	Nombres d'espèces inclus : 5 Nombres d'espèces inclus : 5 (meme méthode d'extraction, composition chimique CPG, présence d'activité biologique : antibactérienne, antioxydantee, antifongique)
Articles exclus : 46	Activité antibactérienne : méthode de disque de diffusion, méthode de disque de vapeur, test de microatmosphère, méthode de diffusion sur gélose, concentration minimale inhibitrice, concentration minimale bactéricide.
Nombres d'espèces exclus :	Activité antioxydantee : DPPH, Reducing power, b-carotene/linoleic acid, Chelation IC50, TAC, ABTS, TBARS, TEAC, Hydroxyl, NO, ORAC TE*, Liposomes, Inhibition of Lipid Peroxidation,O <sub>2</sub> .
Algérie : 12	Activité antifongique : méthode de disque diffusion, méthode de disque de vapeur, méthode de disque de diffusion, méthode de volatilisation de disque, méthode de microatmosphère, concentration minimale inhibitrice, concentration minimale fongicide.
Tunisie : 10	
Maroc : 10	

**Tableau 10** : Les variétés de thymus recensées dans les trois pays du Maghreb.

Algérie	Tunisie	Maroc
	<i>T. vulgaris</i> <i>T. serpyllum</i> <i>T. zygis</i> <i>T. capitatus</i>	
<i>T. vulgaris</i> <i>T. serpyllum</i> <i>T. zygis</i> <i>T. capitatus</i> <i>T. algeriensis</i> <i>T. pallescens</i> <i>T. fontanesii</i> <i>T. camaldulensis.</i>		<i>T. vulgaris</i> <i>T. serpyllum</i> <i>T. zygis</i> <i>T. capitatus</i> <i>T. algeriensis</i> <i>T. pallescens</i> <i>T. fontanesii</i> <i>T. bleicherianus</i>
<i>T. melliodora</i>		<i>T. cinerea</i>
<i>T. wandoo</i>		<i>T. cinerea</i>
<i>T. albens</i>		<i>T. hemiphloia</i>
<i>T. saligna</i>		<i>T. hemiphloia</i>
<i>T. microcorys</i>		<i>T. torquata</i>
<i>T. blakelyi</i>		<i>T. torquata</i>
<i>T. tereticornis(E.umbellata)</i>		<i>T. brockwayi</i> <i>T. brockwayi</i> <i>T. punctata</i>
<i>T. smithii</i>	<i>T. salmonophloa</i>	<i>T. propinqua</i>

Les variétés de thymus incluses dans cette étude, en fonction des critères mentionnés précédemment dans le tableau, sont *Thymus vulgaris*, *Thymus serpyllum*, *Thymus zygis*, *Thymus camaldulensis* et *Thymus punctata*.

## 4. Résultats & Discussion

### 4.1. Méthodes d'extraction

Diverses méthodes sont disponibles pour extraire les huiles essentielles, mais parmi elles, l'hydrodistillation (HD) et la distillation à la vapeur sont les plus couramment utilisées. L'hydrodistillation est la méthode la plus ancienne et la plus simple pour extraire les huiles essentielles, comme indiqué par (**Zarith Asyikin et al. 2018**). Elle implique l'immersion complète du matériau végétal dans de l'eau bouillante, assurant ainsi un contact direct entre l'eau bouillante et la matière première, comme le soulignent (**Reyes-Jurado et al. 2014**). Un avantage notable de cette technique est sa capacité à protéger les huiles essentielles en cours d'extraction en les maintenant en dessous de 100°C, ce qui évite une surchauffe, comme le notent (**Zarith Asyikin et al. 2015**). Cependant, cette méthode présente quelques inconvénients dus principalement à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau bouillante. Certaines parties des plantes, en particulier les fleurs, peuvent être trop fragiles pour résister aux traitements par entraînement à la vapeur d'eau ou par hydrodistillation. De plus, le contact direct des constituants des huiles essentielles avec l'eau peut entraîner des réactions chimiques qui modifient la composition finale de l'extrait, comme l'ont évoqué (**Boukhatem et al. 2019**).

En revanche, dans le processus de distillation à la vapeur, le matériau végétal ne vient pas en contact direct avec l'eau, comme l'indique (**Reyes-Jurado et al. 2014**). Il est exposé à un courant de vapeur sans aucune pré-macération, comme l'ont noté (**Boukhatem et al. 2019**). L'avantage majeur de cette méthode est qu'elle prévient certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation susceptibles de compromettre la qualité de l'huile extraite. En général, une période d'environ une demi-heure permet de récupérer environ 95 % des molécules volatiles, ce qui répond aux besoins de l'industrie et de la parfumerie. Cependant, en aromathérapie, il est parfois nécessaire de prolonger le processus afin d'obtenir la totalité des composants aromatiques volatils, comme l'ont suggéré (**Reyes-Jurado et al. 2014**). De plus, selon (**Yildirim et al. 2004**), il a été observé que la distillation à la vapeur avait un meilleur rendement en ce qui concerne les composés antioxydants par rapport aux huiles extraites par hydrodistillation.

#### 1. Rendement

Le rendement des huiles essentielles extraites par hydrodistillation à partir des feuilles des espèces de thymus dans les trois pays du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc) peut varier en fonction de plusieurs facteurs. Ces facteurs comprennent la variété d'espèce de thymus utilisée, les conditions climatiques locales, le moment de la récolte, la méthode d'extraction, et d'autres variables. Le taux de rendement des huiles essentielles est généralement exprimé en pourcentage, représentant la quantité d'huile

essentielle obtenue par rapport au poids total des matières premières, telles que les feuilles de thymus dans ce cas. Ce rendement peut varier d'une variété de thymus à une autre, mais il est généralement considéré comme relativement bas en comparaison avec certaines autres plantes aromatiques.

À titre d'illustration, diverses variétés de thymus peuvent présenter des rendements en huile essentielle allant d'environ 0,5 % à 3 % en fonction des conditions de croissance et des facteurs évoqués précédemment. Cela implique que, à partir d'une quantité substantielle de feuilles de thymus, seule une petite quantité d'huile essentielle est extraite.

Il est important de noter que le rendement en huile essentielle peut également varier d'une récolte à l'autre et d'une année à l'autre en raison des variations climatiques et des facteurs environnementaux. Les chercheurs et les producteurs étudient souvent ces facteurs pour optimiser le rendement en huile essentielle et la qualité du produit final.

En Tunisie, les données principales recueillies concernant les rendements des cinq huiles essentielles de thymus ont montré des variations en fonction des espèces, avec des taux allant de 0.71% à 2.8 % pour HETZ, suivi de 0.69% à 1.36% pour HETCA, de 1,37 % pour HETAL, de 2.87% à 5.7% pour HETHI, et enfin de 1,7 % à 5,07 % pour HETPA

Au Maroc, les principales données collectées concernant les rendements des cinq huiles essentielles du thymus ont montré des variations en fonction des espèces, avec des taux allant de 1.19% à 3.2% pour HETZ, suivi de 0.79 à 4.24% pour HETCA, 1.27% pour HETAL, de 4.29% pour HETHI, et enfin de 0.35 à 0.7% à 0,8 % pour HETPA

Le rendement le plus élevé en ce qui concerne les huiles essentielles extraites par hydrodistillation est enregistré pour l'espèce *hirtus* acclimatée en Tunisie, avec des taux variant de 5.07 % à 5.7%. En revanche, le rendement le plus bas est observé pour l'espèce *capitatus* acclimatée en Algérie, atteignant seulement 0,29 %. De plus, il convient de noter que l'huile essentielle des feuilles de *Thymus ala* a montré des rendements similaires dans les trois pays, se situant entre 1,3 % et 1,41 %.

Les résultats de cette analyse bibliographique dans l'ensemble des trois pays de Maghreb ont montré que les huiles essentielles *du thymus zygis*

caractérisés par un pourcentage plus au moins élevé que ce du Congo (42.9%) (**Cimanga et al., 2002**), Kenya (16.3%), Egypt (22.3%) (**Barbosa et al., 2016**), HETAL est riche en 1.78-cineole que d'Argentine (18.2%), HETHI d'Algérie et Tunisie est riche en citronellal que de Chine (53.7-66.4%), d'Australie (67.6%), Colombie (41.2) (**Olivero-Verbel et al., 2010**), Inde (51.92%) (**Batish et al., 2005**) et Taiwan (48.2%) (**Su et al., 2006**), d'autre part HETHI de Tunisie et Maroc est plus riche en 1.78-cineole que du Kenya (12.3%) (**Barbosa et al., 2016**). Cependant, les valeurs observées pour HETP

en Australie (1.2 – 1.75%) sont presque similaires aux celles cités dans la littérature pour les trois pays de Maghreb (Elaïssi *et al.*, 2021).

### Partie III. Résultats & Discussion

**Tableau 11:** Les taux de rendement des variétés de thymus dans les trois pays du Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).

Espèces du thymus	Algérie		Tunisie		Maroc	
	Rendements %	Références	Rendements %	Références	Rendements %	Références
<i>zygis</i>	2.36%	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015	2.80%	Elaïssia <i>et al.</i> , 2010	3.20%	Habbadi <i>et al.</i> , 2022
	2.70%	Daroui-Mokaddem <i>et al.</i> , 2010	1.29%	Ben Slimane <i>et al.</i> , 2014	3,22%	Farah <i>et al.</i> , 2002
	2.52%	Benabdesslem <i>et al.</i> , 2020	0.71	Jerbi <i>et al.</i> , 2017	3%	Jaber <i>et al.</i> , 2021
	1.87%	Boukhatem <i>et al.</i> , 2014			2,43%	Farah <i>et al.</i> , 2002
	1.10%	Benayache <i>et al.</i> , 2001			1.19	Barbosa <i>et al.</i> , 2016
	1.39%	Fenghour <i>et al.</i> , 2021	1.36%	Haouel & Mediouni, 2010	4.24%	Habbadi <i>et al.</i> , 2022
<i>vulgaris</i>	0.93%	Raho Ghalem & Benali, 2014	1.29%	Elaïssia <i>et al.</i> , 2010	1,38 %	Hmiri <i>et al.</i> , 2011
	0,96 %	Mehani <i>et Segni</i> .2014	0.69	Sliti <i>et al.</i> , 2015		
	0.60%	Benayache <i>et al.</i> , 2001			0.79%	Farah <i>et al.</i> , 2002

	0.29	<b>Boukhatem et al., 2014</b>				
serpyllum	1.53%	<b>Faudil-Cherif et al., 2000</b>	1.37%	<b>Elaissi et al., 2021</b>	1.27%	<b>Ameur et al., 2021</b>
	<b>2.39%</b>	<b>Benchaâ et al., 2018</b>	<b>5.70%</b>	<b>Elaissi et al., 2020</b>	4.29%	<b>Habbadi et al., 2022</b>
<i>hirtus</i>	2.23%	<b>Tolba et al., 2015</b>	3.43%	<b>Elaissia et al., 2011</b>		
	1.59	<b>Boukhatem et al., 2014</b>	2.87%	<b>Amri et al., 2023</b>		
	0.51%	<b>Faudil-Cherif et al., 2000</b>	<b>5.07%</b>	<b>Elaissi et al., 2021</b>	<b>0.70%</b>	<b>Fouad et al., 2015</b>
<i>capitatus</i>			3.02%	<b>Ben Hassine et al., 2010</b>		
			1.70%	<b>Elaissi et al., 2011</b>	0.35%	<b>Farah et al., 2002</b>

## Composition chimique

Les composants principaux des huiles essentielles de thymus varient d'une espèce à une autre et d'un pays à l'autre. Par exemple, le pourcentage de 1,8-cinéole peut atteindre 92,13 % pour HETZ, 76,13 % pour HETHI, % pour HETAL, 57,3 % pour HETP, et finalement 42,0 % pour HETCa.

En Algérie, le composant prédominant dans la majorité des espèces étudiées (3 sur 5) est le 1,8- cinéole pour *T.zygis*, avec des teneurs variant de 94,03 % pour HETZ, à 38.6% pour HETVU, et 58.2 % pour HETSE. Cependant, le citronellal est identifié comme le composant principal uniquement pour *E.hirtus*, atteignant 68,13 % .Le deuxième composant principal identifié dans les huiles essentielles de thymus est le benzaldéhyde .sa teneur est de (32.3) % dans l'espèce *capitatus*

En Tunisie, le 1,8 *cinéole* se révèle être le composant principal dans la majorité des espèces étudiées (3 sur 5), notamment pour *T.zygis*, avec des teneurs variant de 95,61 %, 71.17 % pour HETCa, 53.,8 % pour HETHI, et 53,19 % pour HETZ. Cependant, le citronellal est identifié comme le composant principal uniquement pour *T.hirtus*, avec une concentration de 78,7 %. Par ailleurs, *p-cymene* se classe également comme le composant majeur pour deux espèces (2 sur 5), principalement pour *T.vulgaris*, avec des teneurs oscillant entre 29,77 % pour HETVU et 28,7 % pour HETSE.

Au Maroc, le 1,8-cinéole se distingue comme le composant principal dans la totalité des espèces étudiées (5 sur 5), en particulier pour *T.zygis* avec des concentrations variant de 90.14% pour HETZ,78,11 % pour HETHI, 65,55 % pour HETVU, et 44,0 % pour HETSE et HETCA.

Les résultats de cette analyse bibliographique menée dans les trois pays du Maghreb indiquent que les huiles essentielles de *Thymus zygis* présentent des pourcentages relativement élevés par rapport à d'autres régions, comme le Congo (43,7 %) (Cimanga et al., 2002), le Kenya (16,3 %), et l'Égypte (22,7 %) (Barbosa et al., 2016). En ce qui concerne HETAL, il est notable qu'elle est plus riche en 1,8-cinéole que les huiles d'Argentine (19,1 %). Par ailleurs, HETHI d'Algérie et de Tunisie se distingue par sa teneur élevée en citronellal par rapport à la Chine (54,3 % - 66,7 %), l'Australie (69,4 %), la Colombie (40,0 %) (Jesus Olivero-Verbel et al., 2010), l'Inde (54,32 %) (Batish et al., 2005), et Taiwan (48,3 %) (Su et al., 2006). En outre, HETHI de Tunisie et du Maroc présente également une teneur plus élevée en 1,8-cinéole par rapport au Kenya (12,7 %) (Barbosa et al., 2016).

De Tunisie et Maroc est libre de benzaldehyde que HETCa d'Algérie et d'Uruguay (32.29%)  
(Faudil-Cherif *et al.*, 2000)

La variation observée dans les rendements et la composition chimique des huiles essentielles des espèces de thymus est influencée par divers facteurs. Parmi ces facteurs, on peut citer l'âge des feuilles, le moment de la récolte, l'origine géographique et la méthode de distillation. De plus, pour le genre *Thymus*, la quantité et la composition des feuilles peuvent varier de manière saisonnière et diurne en fonction des conditions environnementales, comme l'ont souligné (Sebei *et al.* 2015). Les composants des huiles essentielles varient non seulement d'une espèce végétale à l'autre, mais aussi en fonction du climat, de la composition du sol et de la partie de la plante, comme l'ont noté (Ben Slimane *et al.* 2014).

Cette variation peut également être attribuée à la fréquence d'hybridation au sein du genre *Thymus*, comme l'ont mentionné (Elaissi *et al.* 2020). De légères différences dans les pourcentages peuvent résulter de multiples facteurs tels que le patrimoine génétique, les influences biotiques et abiotiques (Amri *et al.*, 2023), ainsi que des facteurs externes tels que les précipitations, la température, l'altitude et la lumière. Les facteurs internes, liés principalement aux caractéristiques anatomiques, physiques et génétiques de la plante, jouent également un rôle clé dans la biosynthèse des huiles essentielles. En effet, l'environnement peut influencer l'ADN des plantes aromatiques, entraînant ainsi des génotypes différents (Elaissi *et al.*, 2021). Enfin, les différences dans les rendements et les composants chimiques peuvent également être attribuées à la variété des plantes, à la localisation, à la saison d'échantillonnage, au régime de fertilisation et au mode de séchage du matériel végétal, comme évoqué par (Siramon *et al.* 2013).

La qualité, la quantité et la composition des huiles essentielles extraites modifiées en fonction de l'organe de la plante et des étapes du cycle de la vie végétale (Zarith Asyikin *et al.*, 2018).

Tableau 12 : Composition chimique des HET en Algérie

HETZ					
Boukhatem <i>et al.</i> , 2020	Djenane <i>et al.</i> , 2011	Benayache <i>et al.</i> , 2001	Daroui- Mokaddem <i>et al.</i> , 2010	Atmani-Merabet <i>et al.</i> , 2018	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015
1,8-Cineole (94.03%) $\alpha$ -Pinene (2.93%) $\gamma$ -Terpinène (1.93%)	<b>1,8-cinéole</b> (81,70%) $\gamma$ -terpinène (8,50%) <b><math>\alpha</math>-pinène</b> (2,30%) p-cymène (1,07%)	1.8-cinéole <b>71.3%</b> $\alpha$ -pinene (8.8%) limonene (2.7%) trans- pinocarveol (3.3%) $\alpha$ -terpineol (2.7%) Globulol (1.6%)	1.8-cinéole (48.6%) Trans- pinocarveol (10.7%) Globulol (10.9%) $\alpha$ -Pinene (9.7%) $\alpha$ -Terpineol (6.6%) Aromadendrane (4.6%) Pinocarvone (1.0%)	1,8-cineole (78.45%) o-cymene (2.18%) Isopinocarveole (1.74%) $\alpha$ -pinene (1.69%) $\alpha$ -terpineol (1.36%) Pinocarvone (1.34%) Veridiflorol (1.31%) Spathulenol (1.05%)	1,8-Cineole (55.29%) Isovaleraldehyde (10.04%) Spathulenol (7.44%) $\alpha$ -Terpineol (5.46%) $\alpha$ -pinene (4.61%) Cryptone (3.10%) Globulol (2.96%) o-Ocymene (1.83%) 2-pentanone-4- hydroxy-4- methyl (1.69%) Caryophyllene- oxide (1.66%)
<i>HETHI</i>		<i>HETVU</i>		<i>HETCA</i>	<i>HETSE</i>
Benchaa <i>et al.</i> , 2018	Tolba <i>et al.</i> , 2015	Benayach <i>et al.</i> , 2001	Faudil-cherif <i>et al.</i> , 2000	Faaudil- cherif <i>et al.</i> , 2000	
Citronellal (64.7%) Citronellol (10.9%) Citronellyl acetate (3.2%) Caryophyllene oxide (1.5%) 1,8-Cineole (2.0%)	Citronellal (69.77%) Citronellol (10.63%) Isopulegol (4.66%) p-Menthane-3,8- diol (2.76%) Citronellyl acetate (2.16%) $\beta$ -Caryophyllene (1.34%)	1.8-cinéole (38.6%) Limonen (4.5%) p-cymen (15.2%) sabinen (3.6%) $\alpha$ -pinene (2.8%) spathulenol (4.0%) $\alpha$ -terpineol (2.8%)	Benzaldehyde (32.3%) 1.8-cinéole (14.9%) $\beta$ -phellandrene (12.1%) p-cyrnène (9.0%) $\alpha$ -pinene (6.7%) $\alpha$ -phellandrene (4.1%) terpinen-4-ol (1.5%) p-cymen-8-ol (2.5%) $\alpha$ -thujene (1.1%)	1.8-cinéole (58.2%) $\alpha$ -pinene (7.7%) $\beta$ -pinene (4.1%) p-cymen (8.8%) trans- pinocarveol (2.8%) p-cymen-8-ol (2.5%) $\alpha$ -terpineol (1.6%) myrtenal (1.5%)	

*HETZ* : Huile Essentielle Du thymus *Zygis* ; *HETVU* : huile essentielle du thymus *vulgaris* ,  
*HEECa* : huile essentielle du thymus *capitatus*, *HETSE* : huile essentielle du thymus  
*serpyllum*, *HETHi* : huile essentielle du thymus *hirtus*

Tableau 13: Composition chimique des HET de Tunisie

HETZ			HETCA			HETSE
Noumi <i>et al.</i> , 2011	Ben slimane <i>et al.</i> , 2014	Elaisia <i>et al.</i> , 2011	Elaissia <i>et al.</i> , 2011	Ben Hassine <i>et al.</i> , 2010	Elaissi <i>et al.</i> , 2021	Elaissia <i>et al.</i> , 2021
		1,8-Cineole (53.8%)	1,8-cineole (39.2%) Globulol (12.7%) Methyl amyl acetate (8.9%) Aromadendrene (8.7%)		1,8-cineole (39.2%) Globulol (12.7%) Methyl amyl acetate (8.9%) Aromadendrene (8.7%)	p-cymene (28.7%)
	1. 8-Cineol (43.18%)	$\alpha$ -Pinene (12.1%)	$\alpha$ -Pinene (3.9%)	1-8cinéole (71.19%) Oxyde de $\beta$ -caryophyllène (6.74%)	$\alpha$ -Pinene (3.9%)	1,8-cineole (20.7%)
	$\alpha$ -Pinene (13.61%)	limonene	Viridiforol (2.6%)	$\alpha$ thujène (5.53%)	Viridiforol (2.6%)	Cryptone
1-8-cineole (95.61%)	$\beta$ -Cymene (3.95%) trans-Pinocarveol (3.76%)	-2.40%	Epiglobulol (2.3%)	$\alpha$ pinène (2.92%)	Epiglobulol (2.3%)	-8.4
$\alpha$ -pinene (1.50%)	Pinocarvone (2.99%)	globulol (4.4%)	trans-Pinocarveol (2.0%)	$\alpha$ -copaène (2.49%)	trans-Pinocarveol (2.0%)	$\beta$ -pinene (5.4)
	$\alpha$ -Terpineol (1.65%)	pinocarvone (1.7%)	Rosifoliol (1.7%)	$\alpha$ -campholénal (2.44%)	Rosifoliol (1.7%)	$\alpha$ -Pinene (4.2)
	4-Carene (6.90%) Allo-Aromandrene (2.23%)	trans-Pinocarveol (3.7%)		Cédrol (1.66%)		trans-Pinocarveol (4.2%)

	<i>α-Gurjunene</i> (1.33%)	<i>α -Terpineol</i> (3.3%) <i>Aromadendren</i>				<i>p-Cymen-8-ol</i> (3.0%)
	<i>Ledene</i> (1.06%)	-3.40% <i>Isospathulenol</i> -1.90%				<i>Cuminaldehy</i> <i>de</i> -2.10% <i>Spathulenol</i> (1.6%)

.....suite au Tableau 13

HETVU			HETHI		
Elaissia et al., 2012	Sliti et al., 2015	Yangi et al., 2017	Amri et al., 2023	Elaissi et al., 2011	Elaissi et al., 2020
<i>Spathulenol</i> (28.0%)	(+)- <i>Spathulenol</i> (20.2%)	<i>p-cymen</i> (29.77%) <i>Phellandral</i> (17.44%)	<i>Citronellal</i> (48.7%)	<i>1,8-cineole</i> (54.1%) <i>α-</i> <i>pinene</i>	<i>Citronellal</i> (78.7%)
<i>p-Cymene</i> (11.7%)	<i>ρ-Cymene</i> (14.83%)	<i>Cryptone</i> (13.07%)	<i>Citronellol</i> (20.2%)	-23.60%	<i>Isopulegol</i> (4.7%)
<i>Cryptone</i> (12.7%)	<i>1,8-Cineole</i> (12.16%)	<i>b-Phellandrene</i> (11.58%)	<i>Isopulegol</i> (8.1%)	<i>α-Terpineol</i> (3.0%)	<i>Citronellol</i> (4.0%)
<i>1,8-Cineole</i> (3.7)	<i>Cryptone</i> (7.02%)	<i>b-Panasinsene</i> (6.23%)	<i>Citronellylacetate</i> (8.1%)	<i>p-Cymene</i> (2.8%)	<i>Citronellylacetate</i> (3.6%)
<i>Terpinene-4-ol</i> (2.0)	<i>Globulol</i> (6.16%)	<i>γ-terpinenr</i> (4.04%)	<i>trans-β-terpineol</i> (4.1%)	<i>limonene</i> (2.5%)	<i>β-Pinene</i> (1.8%)
<i>Phellandra</i> (3.7)	<i>Phellandral</i> (6.0%)	<i>Cuminaldehyde</i> (4.0%)	<i>caryophylleneoxide</i> (2.5%)	<i>trans-</i> <i>Pinocarveol</i> (2.3%)	<i>1,8-Cineole</i> (1.2%)
<i>Thymol</i> (1.0%)	<i>Terpen-4-ol</i> (4.72%)	<i>Cymenene</i> (2.26%)	<i>spathulenol</i> (1.4%)	<i>Pinocarvone</i> (1.6%)	
<i>Aromadendrene</i> (0.3%)	<i>α -Pinene</i> (3.06%)	<i>Carvacrol</i> (1.37%)		<i>Borneol</i> (1.5%)	

<i>Viridiflorol</i> (1.0%).	$\rho$ -Menth-2-en-1-ol (1.88%)				
<i>Limonene</i> (0.3%)	$\delta$ -Terpinene (1.36%)				
	Carvacrol (1.5%)				
	Allo-aromadendrene (1.20%)				
	Iso-Spathulenol (1.05%)				

Tableau 14 : Composition chimique des HET de Maroc

<i>HETZ</i>						<i>HETES</i>	<i>HETHI</i>
<i>Farah et al., 2002</i>	<i>Farah et al., 2002</i>	<i>Ait-Ouazzou et al., 2011</i>	<i>Habbadi et al., 2022</i>	<i>Assaggaf et al., 2022</i>	<i>Jaber et al., 2021</i>	<i>Elaissi et al., 2021</i>	<i>Habbadi et al., 2022</i>
	1,8-cinéole <b>(81,00)</b>		1-8Cineole				
1,8-cinéole	Trans-pinocarvéol <b>(2,00)</b>		<b>-71.69</b>	,8-cineole	1.8 cineole(55.9) Globulol(12.99) $\alpha$ -Terpineol(5.52) $\alpha$ -Pinene(4.67)	1,8-cineole	
	Bornéol <b>(1,00)</b>		$\alpha$ -Pinene <b>-15.21</b>	<b>-90.14</b>	$\beta$ -Pinene(2.07)	#####	
(74,18)		1.8-cinéole	<b>-79.9</b>	$\alpha$ -pinene <b>(3.85)</b>		$\alpha$ -pinene	1-8Cineole
$\alpha$ -pinène (7,57)	Globulol <b>(2,00)</b>		$\beta$ -Pinene2 <b>(3.73)</b>	$\gamma$ -terpinene		#####	<b>-78.11</b>
$\alpha$ -terpinéol (1,80)		Limonene	$\rho$ -Cymene <b>-2.39</b>				$\alpha$ -Pinene <b>(12.21)</b>
Acétate d'a-		<b>-6.72</b>	<b>-3.39</b>				$\beta$ -Pinene-2 <b>(5.27)</b>

terpynyl (1,20)		p-cymen -5.14 y- terpinene -3.93					Aromadendrene (1%)
Spathuléno l(1,50)							

..... suite au Tableau 14

HETCA			HETVU		
Elaissi et al., 2021	Farah et al., 2002	Fouad et al., 2015	Hmiri et al., 2011	Farah et al., 2002	Habbadi et al., 2022
	$\alpha$ -pinène (23,05%)		1,8-cinéole (42,30%)	1,8-cinéole (50,69%)	1- 8Cineole (65.55%) $\alpha$ -Pinene (10.24%) $\rho$ -Cymene (3%) $\beta$ -Pinene-2 (2.33%) $\gamma$ - Gurjunene (1.97%)
	p-cymène -16.30%		$\alpha$ -pinène (28,30%)	$\alpha$ -pinène (11,23%) p-cymène (11,24%) Spathuléno l(4,90%)	
	1,8-cinéole (13,70%)	Spathulenol -21.60%	$\gamma$ -terpinène (7,30%)	Terpinen-4- ol (4,58%) $\beta$ -pinène (1.88%) Nérol (1,31%)	
1,8-cineole -44.00%	$\beta$ -pinène -6.30%	1.8-Cineole -20.50%	p-cymène (6,50%)	Trans- pinocarvéol (1,46%)	
$\alpha$ -pinene -19.60%	Trans-pinocarvéol -4.30%	p-Cymene -15.10%	trans-pinocarvéol (1,50%)		
	Nérol (3.20%)	Terpinen-4- ol -1.80%	terpinen-4-ol (1,40%)		
	Globulol -2.10%		pinocarvone (1,10%)		
	a- phéllandrène(1.90%)		$\beta$ -pinène  (1,00%)		
	Terpinen-4- ol(1.30%)		$\alpha$ -thujène  (1,00%)		
	Trans-carvéol -1.20%				

## Activités biologiques des huiles essentielles du thymus dans les trois pays de Maghreb

Les propriétés biologiques des huiles essentielles du thymus varient en fonction de l'espèce et diffèrent d'un pays à l'autre.

### Activité Antibactérienne (Algérie, Tunisie, Maroc)

**Tableau 15** : les diamètres de zone d'inhibition par HET en Algérie

H.E.T/Méthode/Dose	Microorganismes	Diamètre de zone d'inhibition	Références
HETZ méthode de disque de diffusion Dose (20µL ;40µL ;60µL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> .Gram(-)	-	Boukhatem <i>et al.</i> , 2020
	<i>Enterobacter sakazakii</i> .Gram(-)	12mm-15mm-25mm	
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i> .Gram(-)	(-)-10mm-19mm	
	<i>Escherichia coli</i> .Gram(-)	11mm-19mm-34mm	
	<i>Bacillus cereus</i> .Gram(+)	15mm-35mm-50mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram(+)	18mm-48mm-85mm	
HETZ méthode de disque de vapeur Dose (20µL ;40µL ;60µL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> .Gram(-)	-	
	<i>Enterobacter sakazakii</i> .Gram(-)	(-)-85mm-85mm	
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i> .Gram(-)	-	
	<i>Escherichia coli</i> .Gram(-)	(-)(-)-36mm	
	<i>Bacillus cereus</i> .Gram(+)	24mm-40mm-59mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram(+)	41mm-85mm-85mm	
HETZ Test de microatmosphère Dose (20 µl)	<i>Staphylococcus aureus</i>	40 mm	Ghalem et Benali, 2008
	<i>Escherichia coli</i>	24 mm	
HETZ méthode de diffusion sur gélose	<i>Salmonella enteritidis</i>	35,26 mm	Djenane <i>et al.</i> , 2011
HETZ Concentration minimale inhibitrice (CMI)	<i>Salmonella enteritidis</i>	8(µl/ml)	
HETZ CMI	<i>Fusobacterium nucleatum</i> Gram(-)	1.14(µl /mL)	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015
	<i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> Gram(-)	9.13(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	0.28(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	4.56(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	2.28(µl /mL)	
	<i>Streptocoque mutans</i> Gram(+)	11.4(µl /mL)	
	<i>Streptocoque sobrinus</i> Gram(+)	11.4(µl /mL)	
HETZ Méthode de diffusion sur disque	<i>Citrobacter freundii</i>	12(mm)	Daroui-Mokaddem <i>et al.</i> , 2010
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	15(mm)	
	<i>Escherichia coli</i>	16(mm)	
	<i>Escherichia coli</i>	20(mm)	
	<i>Proteus mirabilis</i>	18(mm)	
	<i>Providencia alcalifaciens</i>	12(mm)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20(mm)	
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	32(mm)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	0	
<i>Staphylococcus aureus</i>	16(mm)		

H.ET/méthodes/doses	Microorganismes	Diamètre de zone d'inhibition	Références
HTVu CMI	<i>Entérocoques faecalis</i>	0	Fenghour <i>et al.</i> , 2021
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	0.08 µL/mL	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0.09 µL/mL	
	<i>Escherichia coli</i>	0.08 µL/mL	
	<i>Klebsiella pneumonia</i>	0.09 µL/mL	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Proteus mirabilis</i>	0.36 µL/mL	
HTvu méthode de diffusion sur gélose	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6.33 mm	Mehani et Segni .2014
	<i>Escherichia coli</i>	9.69 mm	
	<i>Porteus</i>	10 mm	
	<i>antibactère</i>	11.66mm	
HEvu test diffusion sur disque	<i>Escherichia coli</i>	10-31mm	Ghalem et Benali.2014
	<i>Staphylococcus aureus</i>	10mm-25mm	
HTCa Test de microatmosphère Dose (20 µl)	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram (+)	30 mm	Ghalem et Benali.2008
	<i>Escherichia coli</i> Gram (-)	18 mm	
HTCa Méthode de diffusion sur gélose Dose (10 µL)	<i>Entérocoques faecalis</i>	0	Fenghour <i>et al.</i> , 2021
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	12.03mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	17.50mm	
	<i>Escherichia coli</i>	15.60mm	
	<i>Klebsiella pneumonia</i>	13.66mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Proteus mirabilis</i>	8.20mm	
HTHI méthode disque de diffusion Dose (10µL ;20µL; 30µL )	<i>Escherichia.coli</i>	26mm-38mm-40mm	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	9mm-11mm-14.5mm	
	<i>Salmonella Typhi Murium</i>	9mm-12mm-13.5mm	
	<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>	11.5mm-14.5mm-15.5mm	
	<i>Staphylococcus.aureus</i>	20mm-24mm-26mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Corynebacterium striatum</i>	20.5mm-31.5mm-44mm	
	<i>Bacillus subtilis</i>	16mm-30mm-41mm	
	<i>Salmonella seftenberg</i>	10mm-14mm-15mm	
	<i>Staph epidermidis</i>	50mm-51mm-66mm	
HTHI méthode de diffusion de vapeur Dose (10µL ;20µL; 30µL )	<i>Escherichia.coli</i>	13.5mm-19mm-31mm	Tolba <i>et al.</i> , 2018
	<i>Salmonella enteritidis</i>	0	
	<i>Salmonella Typhi Murium</i>	0	
	<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>	0	
	<i>Staphylococcus.aureus</i>	13mm-17mm-20mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Corynebacterium striatum</i>	14mm-16mm-18mm	
	<i>Bacillus subtilis</i>	13mm-48mm-49mm	
	<i>Salmonella seftenberg</i>	0	
	<i>Staphylocoque epidermidis</i>	27mm-38mm-42mm	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	
	<i>Staph saprophyticus</i>	14mm-26mm-32mm	
	HTHI (CMI)	<i>Escherichia.coli</i>	
<i>Salmonella enteritidis</i>		>20(µl/ml)	
<i>Salmonella Typhi Murium</i>		>20(µl/ml)	
<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>		>20(µl/ml)	
<i>Staphylococcus.aureus</i>		1.25(µl/ml)	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		0	
<i>Corynebacterium striatum</i>		1.25(µl/ml)	
<i>Bacillus subtilis</i>		0.6(µl/ml)	
<i>Salmonella seftenberg</i>		>20(µl/ml)	
<i>Staphylocoque epidermidis</i>		0.6(µl/ml)	
<i>Enterococcus faecalis</i>		0	
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>		1.25(µl/ml)	

**Tableau 16** : Diamètres de zone d'inhibition (mm) par HET en Tunisie par la méthode de diffusion sue gélose.

Microorganismes	HETZ Elaissi <i>et al.</i> , 2022	HTVU Elaissi <i>et al.</i> , 2012	HTHI Elaissi <i>et al.</i> , 2021	HETSE Elaissi <i>et al.</i> , 2021
<i>Staphylococcus aureus. Gram (+)</i>	9.0	11.7	8.0	9.7
<i>Escherichia coli Gram(-)</i>	8.0	7.3	15.7	6.0
<i>Pseudomonas aeruginosa Gram(-)</i>	8.7	7.0	6.0	6.0
<i>Enterococcus faecalis Gram(+)</i>	8.7	9.0		
<i>Haemophilus influenzae Gram(-)</i>			6.0	11.7
<i>Haemophilus parainfluenzae Gram(-)</i>			6.3	10.7
<i>Klebsiella pneumoniae Gram(-)</i>			15.0	7.0

**Tableau 17** : la concentration minimale inhibitrice et bactéricide par HET en Tunisie.

Microorganismes	HETVU (Sliti <i>et al.</i> , 2015)	
	CMI (%)	Concentration minimale bactéricide (CMB) (%)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.1	0.5
<i>Streptococcus agalactiae</i>	0.5	1
<i>Escherichia coli</i>	1.5	2.5
<i>Salmonella enteritidis</i>	1	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	-

Tableau 18: Diamètre des zones d'inhibition par l'huile essentielle du thymus au Maroc

HET	Microorganismes	Zone de diamètre d'inhibition	Références
HETZ méthode de disque de diffusion	<i>Staphylococcus aureus</i>	14.0	Ait-Ouazzou et al., 2011
	<i>Listeria monocytogenes</i>	12.5	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	0	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	
	<i>Escherichia coli</i>	0	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
HETZ CMI	<i>Staphylococcus aureus</i>	10.0(µL/ ml)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	2.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	10.0(µL/ mL)	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Escherichia coli</i>	10.0(µL mL)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	30.0(µL/ mL)	
HETZ CMB	<i>Staphylococcus aureus</i>	30.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	15(µL/ mL)	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	15.0(µL/ mL)	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	15(µL/ mL)	
	<i>Escherichia coli</i>	30.0(µL/ mL)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	>30.0(µL/ mL)	
HETZ test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	14.25%	
HETZ CMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	
HETVU test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	14.01%	
HETV UCMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	
HETHI test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	13.67%	
HETH ICMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	

Les zones d'inhibition des bactéries induites par les huiles essentielles de thymus varient dans une fourchette allant de 6,0 mm à 85 mm dans les trois pays du Maghreb. La plus faible valeur a été observée pour HETZ en Tunisie, tandis que la valeur maximale a été enregistrée pour HETZ en Algérie.

En Algérie, le plus grand diamètre de zone d'inhibition a été enregistré pour HETZ, atteignant 85 mm à une concentration d'huile essentielle de 40-60 µl contre les bactéries *Staphylococcus aureus* et *Enterobacter Sakazakii*. De plus, HETZ a également montré une activité anti-salmonelle moyenne contre *Salmonella enteritidis*, avec un diamètre de zone d'inhibition de 35,26 mm à une concentration d'huile de 40-60 µl. La concentration minimale inhibitrice (CMI) de HETZ varie entre 0,28 mg/mL et 11,4 mg/mL. *Bacillus subtilis* s'est avéré être la bactérie la plus résistante à HETZ.

Concernant HETVU, elle présente un diamètre de zone d'inhibition de plus ou moins 31 mm contre *Escherichia coli*, et sa CMI varie de 0,36 mg/mL à 0,08 mg/mL. Les bactéries les plus résistantes à cette huile sont *Pseudomonas aeruginosa* et *Enterococcus faecalis*.

HETHI montre un diamètre de zone d'inhibition qui peut atteindre (66mm.a une dose de 30µl)

contre staphylococcus Salmonella Typhi Murium et Salmonella Gallinarum Pullorum Qui sont sensitive en l'huile dans la phase liquide devient résistantes dans la phase vapeur .

*Gallinarum Pullorum* qui sont sensitive en l'huile dans la phase liquide devient résistantes dans la phase de vapeur. La CMI de HETHI est  $>20(\mu\text{l/ml})$  pour *Salmonella enteritidis*, *Salmonella Typhi Murium*, *Salmonella Gallinarum Pullorum* et *Salmonella seftenberg*.

En Tunisie, les diamètres des zones d'inhibition induites par les huiles essentielles des espèces de thymus ont présenté une variation allant de 6,0 mm à 15,7 mm. La zone d'inhibition la plus étendue a été observée pour HETCA contre *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumonia*, avec des mesures de 15,7 mm à 15,0 mm. Ensuite, HETVU a montré un diamètre de zone d'inhibition de 11,7 mm contre *Staphylococcus aureus*, et HETSE a présenté une zone d'inhibition contre *Haemophilus influenzae*. En revanche, HETZ a affiché une zone d'inhibition modérée de 9,0 mm, ce qui indique que l'espèce bactérienne la plus sensible est *Escherichia coli*, tandis que l'espèce la plus résistante est *Pseudomonas aeruginosa*. Pour ce qui est de la concentration minimale inhibitrice (CMI) de HET, elle varie de 0,1 % à 1,5 %. Cependant, la concentration minimale bactéricide (CMB) pour la même huile varie entre 0,5 % et 2,5 %.

Au Maroc, les diamètres des zones d'inhibition varient entre 12,5 mm et 14,25 mm pour HETZ, atteignent 14,01

% pour HETVU et 13,67 % pour HETHI. En revanche, la concentration minimale inhibitrice est similaire pour les trois huiles, à savoir 40  $\mu\text{L/mL}$ . Il est à noter que la concentration minimale bactéricide est supérieure à 30,0  $\mu\text{L/mL}$  pour HETZ.

De manière générale, les souches bactériennes à Gram positif montrent une plus grande sensibilité aux huiles essentielles du thymus que les souches à Gram négatif. Cette observation peut être expliquée en considérant que les bactéries à Gram négatif possèdent une membrane lipopolysaccharidique qui limite la diffusion des composés hydrophobes. En revanche, chez les bactéries à Gram positif, il peut y avoir un contact direct entre les composants hydrophobes des huiles essentielles et la bicouche phospholipidique de la membrane cellulaire. En conséquence, ces composants exercent leurs effets, tels que l'augmentation de la perméabilité aux ions, la fuite de composants intracellulaires vitaux, ou encore l'inhibition des enzymes bactériennes (Barbosa et al., 2016).

#### 4.4.2. Activités Antioxydantes des espèces du thymus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

**Tableau 19** : Activité antioxydante des HET en Algérie.

Méthodes	HETZ		HETHI
	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015	Boukhatem <i>et al.</i> , 2020	Tolba <i>et al.</i> , 2018
DPPH	33.33 (mg/mL)	2.48 (mg/mL)	0.896 mg/ml
Reducing power	115.39 (mg/mL)		
$\beta$ -carotene/linoleic acid	6.753(mg/mL)		
Chelation IC50		8.43 (mg/mL)	

**Tableau 20** : Activité antioxydante des HET en Tunisie

Méthodes	HETHI	HETVU	HETZ
	Amri <i>et al.</i> , 2023	Sliti <i>et al.</i> , 2015	Ref
TAC (mg GAE/g)	80.21		
DPPH (IC50 mg/mL)	71.37	342	57
ABTS (IC50mg/mL)	53.26		
O <sub>2</sub> .-			14
RP EC50			48
$\beta$ -carotenes IC50			48

O<sub>2</sub> : Superoxide anion radical-scavenging activity, TAC: Total antioxydant capacity, RP : Reducing power, DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, ABTS : L'acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique).

**Tableau 21** : Activité antioxydante des HET au Maroc

Méthodes	HETZ		
	Aazza <i>et al.</i> , 2014	Aazza <i>et al.</i> , 2011	Assaggaf <i>et al.</i> , 2022
DPPH		34.8	0.37 mg/mL
TBARS		1.109 (mg/mL)	
TEAC	1.43		
Hydroxyl	2.90		
NO	60.4 (mg/ mL)		
ORAC TE*	5.9		
Chelating	0.05		
Liposomes	3.66		
LPIC			0.17 mg/mL
RP			0.29 mg/mL

TBARS : Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TEAC : Trolox equivalent antioxydant capacity, NO : Monoxyde d'azote, ORAC : Oxygen radical absorbance capacity, LPIC : Capacité d'inhibition de la Peroxidation liquide, TE\* : Trolox Equivalen .

En Algérie, HETZ présente une activité antioxydante plus élevée, variant entre 2,48mg/mL et 33,33 mg/mL selon l'essai de piégeage des radicaux DPPH, par rapport à HETHI, qui présente une activité antioxydante mesurée à 0,896 mg/mL. Cependant, pour HETZ, l'activité antioxydante varie avec une concentration d'inhibition (IC50) pouvant atteindre 115,39 mg/mL selon l'essai du pouvoir de réduction (RP), 6,753 mg/mL selon l'essai au  $\beta$ -carotène/à l'acide linoléique, et 8,43 mg/mL selon l'essai de chélation.

En Tunisie, une forte activité antioxydante a été observée pour HETVU lors de l'essai de piégeage des radicaux DPPH, avec une valeur de 342 mg/mL, suivi de HETHI avec 71,37 mg/mL et de HETZ avec 57 mg/mL. Par ailleurs, HETHI a démontré une activité antioxydante significative dans le test TAC, avec une valeur de 80,21 mg GAE/g, tandis que HETZ a présenté une activité modérée avec une concentration efficace médiane (EC50) de 48mg/mL dans le test de réduction du pouvoir (RP) et une concentration inhibitrice de 48 mg/mL dans le test du  $\beta$ -carotène.

Au Maroc, HETZ montre une activité antioxydante plus au moins élevée avec le test au monoxyde d'azote (NO) (60.4mg mL<sup>-1</sup>) et une activité modérée avec le test DPTH. Cependant cette huile a enregistré une faible activité antioxydante par les autres tests.

L'activité antioxydante la plus élevée a été enregistrée pour l'espèce *T. vulgaris* en Tunisie (IC50=342mg/mL) selon le l'essai de piégeage des radicaux DPPH, par contre la plus faible activité a été enregistrée pour l'espèce *T. vulgaris* de Maroc (0.05 mg/mL) avec le test de chélation.

#### 4.4.3 Activité antifongique des huiles essentielles du thymus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

**Tableau 22** : Activité antifongiques des HET en Algérie.

HET	Souches fongiques	Zone de diamètre d'inhibition	Références
HETHI méthode de disque de diffusion Dose (10 µl ; 20 µl ; 30 µl)	<i>Microsporum canis</i>	64mm-90mm-90mm	Tolba et al., 2015
	<i>Microsporum gypseum</i>	12mm-12mm-29.5mm	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	65mm-90mm-90mm	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	39mm-90mm-90mm	
HETHi méthode de diffusion de vapeur Dose (10 µl ; 20 µl ; 30 µl)	<i>Microsporum canis</i>	90mm-90mm-90mm	
	<i>Microsporum gypseum</i>	R-R-24.5mm	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	48.5mm-90mm-90mm	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	24mm-33mm-37.5mm	
HETHi CMI	<i>Microsporum canis</i>	0.6(µl /mL)	
	<i>Microsporum gypseum</i>	5(µl /mL)	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	0.6(µl /mL)	
HETHi CMF	<i>Microsporum canis</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Microsporum gypseum</i>	5(µl /mL)	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	1.25(µl /mL)	
HETZ test de disque de diffusion 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Candida albicans</i>	(-)-11mm-40mm	Boukhatem et al., 2020
	<i>Candida albicans</i>	10mm-25mm-27mm	
	<i>Candida albicans</i>	14mm- 19mm- 24mm	
	<i>Candida parapsilosis</i>	12mm- 17mm- 20mm	
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	11mm- 37mm- 49mm	
	<i>Trichosporon sp.</i>	16mm- 34mm- 39mm	
HETZ test de volatilisation de disque 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Candida albicans</i>	-	
	<i>Candida albicans</i>	(-)-(-)-53mm	
	<i>Candida albicans</i>	85mm- 85mm 85mm	
	<i>Candida parapsilosis</i>	85mm- 85mm 85mm	
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(-)-(-)-59mm	
	<i>Trichosporon sp.</i>	21mm- 85mm- 85mm	
HETZ Test disque de diffusion 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Aspergillus niger</i>	12mm- 21mm- 29mm	
	<i>Aspergillus niger</i>	(-)-10mm-15mm	
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	
	<i>Aspergillus flavus</i>	-	
	<i>Aspergillus brasiliensis</i>	(-)-(-)-14mm	
HETZ Test de volatilisation de disque 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Aspergillus niger</i>	-	
	<i>Aspergillus niger</i>	-	
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	
	<i>Aspergillus flavus</i>	-	
	<i>Aspergillus brasiliensis</i>	(-)-43mm-85mm	

**Tableau 23** : Activité antifongique des HET en Tunisie.

HEE	Souches fongiques	Pourcentage d'inhibition %	Référence
HEHi	<i>Fusarium culmorum</i>	100	Amri et al., 2023
	<i>Fusarium pseudograminearum</i>	100	
	<i>Fusarium graminearum</i>	100	
	<i>Fusarium proliferatum</i>	100	
	<i>Fusarium avenaceum</i>	100	
	<i>Fusarium nygamai</i>	100	
	<i>Fusarium verticillioides</i>	100	
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	77.64	

HETZ d'Algérie a démontré une forte activité antifongique avec un diamètre de zone d'inhibition de 85 mm à une dose de 20 µl d'huile contre les levures *Candida albicans*, *Candida parapsilosis*, *Trichosporon* sp, ainsi que contre le moisissure *Aspergillus brasiliensis* dans la phase de volatilisation. Par ailleurs, HETHI a présenté une activité antifongique très prometteuse contre les souches fongiques *Microsporum canis*, *Trichophyton mentagrophytes* et *Trichophyton mentagrophytes*, avec un diamètre de zone d'inhibition de 99 mm à une dose de 10 µl. La concentration minimale inhibitrice (CMI) la plus élevée a été enregistrée pour *Microsporum gypseum*, à une concentration de 5 µl/mL. En ce qui concerne HETHI de Tunisie, elle a montré une activité antifongique très significative, avec des valeurs allant de 77,64 % à 100 % d'inhibition contre toutes les souches fongiques testées.

Dans l'ensemble, les activités biologiques des huiles essentielles affichées une variation considérable entre les différentes huiles d'espèces du *Thymus* dans les trois pays de Maghreb. Cette variation pourrait être attribuée à leur composition chimique différente (Elaissi *et al.*, 2012), la plus forte activité antibactérienne était surtout évidente pour HETZ d'Algérie ainsi que l'activité antioxydante, antifongique, qui sont fortement liés au pourcentage de 1.8-cineole et d'autres composants mineurs tels que  $\alpha$ -Pinène, suivi par HETZ de Maroc et Tunisie. Par contre les HETHI d'Algérie et Tunisie possèdent une activité antifongique plus élevée et presque similaire avec une différenciation de (10%) seulement, cette différenciation est due au pourcentage du deuxième composant majeur qui est le citronellol (10.63 % pour l'Algérie et 20.2% pour Tunisie), HETHI de Tunisie montre une activité antioxydante plus élevée que d'Algérie grâce à sa richesse en citronellal et en citronellol. HETVU de Tunisie montre une faible activité antibactérienne par rapport au HETVU d'Algérie car il est pauvre en 1.8-cineole. Cependant, d'autres résultats obtenus par d'autres chercheurs ont montré que HETHI et HETZ d'Algérie renferment une activité antimicrobienne plus au moins élevée que du Congo avec un diamètre de zone d'inhibition qui varie entre (8-16mm) pour HETHI et (6-22mm) pour HETZ, cette variation est due à une différenciation dans le pourcentage de composés majeurs (1.8- thymol et carvacrol) et aux certains composés mineurs tels que cineole, Isopulegol et citronellyl acétate (Cimanga *et al.*, 2002)

En générale, l'activité antibactérienne la plus élevée ne dépendait pas seulement d'un pourcentage moyen élevé sur un composé majeur tel que le 1.8-cineole (Elaissi *et al.*, 2021) mais elle dépend de la combinaison synergique des composés mineurs et majeurs (Habbadi *et al.*, 2022), ainsi que la technique de test, la source botanique de la plante, l'âge de la plante, l'état du matériel végétal utilisé (séché ou frais), la quantité d'huile utilisée pour le test et la technique d'isolement sont quelques facteurs impliqués dans la grande variation d'activité (Cimanga *et al.*, 2002). Ainsi que la variation du pouvoir antioxydant peut être liée à la composition chimique, la méthode de distillation et des aspects environnementaux de l'âge, des conditions de stockage des situations géoclimatiques. Ainsi que les contrôles positifs et les unités utilisées ne sont pas les mêmes (Boukhatem *et al.*, 2020)

De nombreux rapports ont identifié différentes activités biologiques associées à des composants spécifiques de l'huile essentielle de thymus. Il a été observé que les variations dans la composition de l'huile étaient généralement corrélées à des changements significatifs dans ses propriétés, notamment ses activités antibactériennes, analgésiques, antivirales, antioxydantes, fumigantes et insecticides (Sliti et al., 2015).

### Conclusion

L'huile essentielle de *Thymus zygis* se distingue par une activité antibactérienne plus prononcée que d'autres huiles essentielles, tandis que l'huile essentielle de *Thymus hirtus* est notable pour ses propriétés antifongiques et antioxydantes.

Ces activités biologiques sont étroitement corrélées à la composition chimique de chaque huile essentielle. En effet, les huiles riches en cinéole se distinguent par leur effet antibactérien, tandis que les huiles riches en citronellal présentent une activité antifongique plus marquée. Ces propriétés biologiques ne sont pas uniquement influencées par les composants majeurs, comme le thymol, mais elles sont également liées aux composants mineurs. Une simple variation de ces composants mineurs peut entraîner des différences significatives dans l'activité d'une espèce à une autre et d'un pays à un autre.

### Références bibliographiques

Abdellah Farah, Badr Satrani, Mohamed Fechtal, Abdelaziz Chaouch & Mohamed Talbi (2001) Composition chimique et activités antibactérienne et antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles thymus vulgaris et de son hybride naturel (clone 583), *Acta Botanica Gallica*, 148:3, 183-190

Abdellah Farah, Mohamed Fechtal, Abdelaziz Chaouch. Effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles du thymus cultivés au Maroc, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2002 6 (3), 163–169

Abdenour Ait-Ouazzou, Susana Loran, Mohammed Bakkali, Amin Laglaoui, Carmen Rota, Antonio Herrera, Rafael Pagan and Pilar Conchello. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Thymus algeriensis* thymus *zygis* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco, *J Sci Food Agric* 2011;91: 2643–2651

Adel-sellami, madiha, et al. "l'entomofaune associée au gommier rouge (*eucalyptus camaldulensis* dehn, 1832) dans l'algérois." *bull. Soc. Zool. Fr* 145.3 (2020): 341-355.

Alejandro Lucia & Laura W. Juan & Eduardo N. Zerba & Leonel Harrand & Martín Marcó & Hector M. Masuh. Validation of models to estimate the fumigant and larvicidal activity of *Thymus* essential oils against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), *Parasitol Res* (2012) 110:1675–1686

Ali Yildirim, Ahmet Cakir, Ahmet Mavi, Mehmet Yalcin, Gunter Fauler and Yavuz Taskesenligil. The variation of antioxidant activities and chemical composition of essential oils of *Teucrium orientale* L. var. *orientale* during harvesting stages, *Flavour Fragr. J.* 2004; 19: 367–372

Amel Bouzabata, Ange Bighelli, Lahouari Abed, Joseph Casanova and Félix Tomi. Composition and Chemical Variability of *thymus broussenti* Essential Oil from Algerian Sahara, *Natural Product Communications* Vol. 9 (5) 2014

Amel Jerbi, Amal Derbali, Abdelfatteh Elfeki & Majed Kammoun (2017). Essential Oil Composition and Biological Activities of *Thymus zygis* Leaves Extracts from Tunisia, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20:2, 438-448

Ameur Elaissi , Zyed Rouis , Samia Mabrouk , Karima Bel Haj Salah , Mahjoub Aouni , Mohamed Larbi Khouja , Farhat Farhat , Rachid Chemli and Fethia Harzallah-Skhiri. Correlation Between Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oils from Fifteen *Thymus* Species Growing in the Korbous and Jbel Abderrahman Arboreta (North East Tunisia), *Molecules* 2012, 17, 3044-3057

Ameur Elaissi, Sarra Moumni, Kevin Roeleveld and Mohamed Larbi Khouja. Chemical Characterization of Five Tunisian *Thymus* Essential Oils Species, *Chem. Biodiversity* 2020, 17, e1900378

Ameur Elaissia, Hane`ne Medina, Mohamed Larbi Khoujab, Monique Simmonds , Frederic Lynend, Farhat Farhate, Rachid Chemlia, and Fethia Harzallah-Skhiri. Variation in Volatile Leaf Oils of Five

Thymus Species Harvested from Jbel Abderrahman Arboreta (Tunisia), CHEMISTRY & BIODIVERSITY  
– Vol. 8 (2011)

Amri, I.; Khammassi, M.; Ben Ayed, R.; Khedhri, S.; Mansour, M.B.; Kochti, O.; Pieracci, Y.; Flamini, G.; Mabrouk, Y.; Gargouri, S.; et al. Essential Oils and Biological Activities of Thymus salgerinensis, T. Numidus and T. Hirtus Growing in Tunisia. *Plants* 202, 12, 816.

Asma Ben Ghnaya • Mohsen Hanana • Ismail Amri • Hazar Balti • Samia Gargouri • Bassem Jamoussi • Lamia Hamrouni. Chemical composition of thymus fontasii essential oils and evaluation of their herbicidal and antifungal activities, *J Pest Sci* (2013) 86:571–577

Assaggaf, H.M.; Naceiri Mrabti, H.; Rajab, B.S.; Attar, A.A.; Hamed, M.; Sheikh, R.A.; Omari, N.E.; Meniy, N.E.; Belmehdi, O.; Mahmud, S.; et al. Singular and Combined Effects of Essential Oil and Honey of Thymus zygis on Anti-Inflammatory, Antioxidant, Dermatoprotective, and Antimicrobial Properties: In Vitro and In Vivo Findings. *Molecules* 2022, 27, 5121.

Bachir Raho Ghalem, Benali Mohamed. Antibacterial activity of essential oil of north west Algerian Thymus vulgaris against Escherichia coli and Staphylococcus aureus, *Journal of Coastal Life Medicine* 2014; 2(10): 799-804

Bachir Raho Ghalem, Benali Mohamed. Antibacterial activity of leaf essential oils of thymus zygis and thymus vulgaris, *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* Vol. 2(10). pp. 211-215, December, 2008

Badreddine Ben Slimane, Olfa Ezzine, Samir Dhahr, and Mohamed Lahbib Ben Jamaa. Essential oils from two Thymus from Tunisia and their insecticidal action on Orgyia trigotephra (Lepidoptera, Lymantriidae), *Biological Research* 2014, 47:29

ben hassine dorsaf, ben ismail hanen, jribi chokri, khouja mohamed larbi and abderrabba manef. Chemical composition of some Tunisian Thymus essential oils as obtained by hydrodistillation using Clevenger type apparatus, *Biosci., Biotech. Res. Asia*, Vol. 7(2), 647-656 (2010)

BOUKHATEM Mohamed Nadjib, FERHAT Amine et KAMELI Abdelkrim. MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE DISTILLATION DES HUILES ESSENTIELLES, *Revue Agrobiologia* (2019) 9(2): 1653-1659

Bouyahya, A., et al. "Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries." *Phytothérapie* 16.S1 (2018): S173-S183.

D. Djenane, K. Lefsih, J. Yangüela, P. Roncalés. Composition chimique et activité anti-Salmonella enteritidis CECT 4300 des huiles essentielles de Thymus zygis, de Lavandula angustifolia et de Satureja hortensis. Tests in vitro et efficacité sur les œufs entiers liquides conservés à  $7 \pm 1$  °C, *Phytothérapie* (2011) 9: 343–353

Daizy R. Batisha, Harminder Pal Singhb, Nidhi Setiaa, Shalinder Kaura and Ravinder K. Kohli. Chemical Composition and Inhibitory Activity of Essential Oil from Decaying Leaves of *Thymus hirtus*, *Z. Naturforsch.* 61 c, 52-56 (2006)

Dhahri, Samir, and M. L. Ben Jamâa. "Les insectes ravageurs des *Thymus* en Tunisie." *Ann. INRGREF* 12.2 (2008): 363-372.

Dhakad, Ashok K., et al. "Biological, medicinal and toxicological significance of *Thymus* leaf essential oil: a review." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98.3 (2018): 833-848.

Dikshit Rathva, Prince Pal, Devendra Parmar, Dr. Siddhi Upadhyay, Dr. Umesh Upadhyay. A Basic Review on *Thymus* Oil, *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications* Volume 5, Issue2, pp: 771-781 (2008)

DÖLL-BOSCARDIN, Patrícia Mathias, SARTORATTO, Adilson, SALES MAIA, Beatriz Helena Lameiro de Noronha, *et al.* In vitro cytotoxic potential of essential oils of *Thymus benthamii* and its related terpenes on tumor cell lines. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, vol. 2012.

Elaissi Ameer, Moumni Sarra , Derbali Yosra , Khouja Mariem , Abid Nabil, Frederic Lynen and Khouja Mohamed Larbi. Chemical composition of essential oils of eight Tunisian *Thymus* species and their antibacterial activity against strains responsible for otitis, *BMC Complement Med Ther* (2021) 21:209

Emira Noumi, Mejdj Snoussi, Hafedh Hajlaoui, Najla Trabelsi, Riadh Ksouri, Eulogio Valentin and Amina Bakhrouf. Chemical composition, antioxidant and antifungal potential of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) and *Thymus zygis* essential oils against oral *Candida* species, *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 5(17), pp. 4147-4156, 9 September, 2011

Farah, Abdellah, et al. "Composition chimique et activités antibactérienne et antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles d' *Thymus vulgaris* et de son hybride naturel (clone 583)." *Acta botanica gallica* 148.3 (2001): 183-190.

Fatima Reyes-Jurado • Avelina Franco-Vega • Nelly Ramírez-Corona • Enrique Palou • Aurelio Lo'pez-Malo. Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their Modeling, *Food Eng Rev*

Ghania Atmani-Merabet, Abdelmalik Belkhir1, Mohamed Abdeslam Dems, Abdeldjallil Lalaouna, Zakaria Khalfaoui, Bouzid Mosbah. Chemical composition, toxicity and acaricidal activity of *Thymus zygis* essential oil from Algeria, *Curr. Issues Pharm. Med. Sci.*, Vol. 31, No. 2, Pages 89-93, 2018

H. Fenghour, H. Bouabida, D. Dris, M. Houhamdi. Antibacterial effect of essential oils of two plants *Thymus vulgaris* and *Artemisia herba alba* on some bacterial strains, *Biosyst. Divers.*, 2021, 29(2)

Habbadi Khaoula , El Iraqui EL Houssaini Salma , Benbouazza Abdellatif , Benali Taoufiq and Achbani El Hassan . (2022), Yield, phytochemical characterization and antiAllorhizobium vitis activity of essential oils from four *Thymus* species growing in Morocco, *AFRIMED AJ –Al Awamia* (137). p. 87-101

Hajer Naceur Ben Marzoug , Mehrez Romdhane , Ahmed Lebrihi , Florence Mathieu , François Couderc , Manef Abderraba , Mohamed Larbi Khouja and Jalloul Bouajila. Thymus oleosa Essential Oils: Chemical Composition and Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Oils from Different Plant Parts (Stems, Leaves, Flowers and Fruits), *Molecules* 2011, 16, 1695-1709

Hajer Naceur Ben Marzoug, Jalloul Bouajila, Monia Ennajar, Ahmed Lebrihi, Florence Mathieu, François Couderc, Manef Abderraba and Mehrez Romdhane thymus (ciliatus, oleosa, pallens and salmonophloia) Essential Oils: Their Chemical Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities, *J Med Food* 13 (4) 2010, 1005–1012

Haouel, S, Mediouni-Ben Jemâa, J and Khouja, M.L. 2010. Postharvest control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae* using Thymus essential oil fumigation. *Tunisian Journal of Plant Protection* 5: 201-212.

Hassna Jaber , Asmaa Oubih, Imane Ouryemchi, Rachid Boulamtat , Ali Oubayoucef , Brahim Bourkhiss and Mohammed Ouhssine. Chemical Composition and Antibacterial Activities of Eight Plant Essential Oils from Morocco against *Escherichia coli* Strains Isolated from Different Turkey Organs, *Biochemistry Research International* Volume 2021, Article ID 6685800, 9 pages

Helena Sovová and Slavcho A. Aleksovski. Mathematical model for hydrodistillation of essential oils, *Flavour Fragr. J.* 2006; 21: 881–889

Islem Yanguï, Meriem Zouaoui Boutiti, Mohamed Boussaidb, Chokri Messaoud. Essential oils of Myrtaceae species growing wild in Tunisia: Chemical variability and antifungal activity against *Biscogniauxia mediterranea*, the causative agent of charcoal canker

Jeane Silva, Worku Abebe, S.M. Sousa, V.G. Duarte, M.I.L. Machado, F.J.A. Matos. Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of thymus, *Journal of Ethnopharmacology* 89 (2003) 277–283

Jesus Olivero-Verbel, Luz S Nerio and Elena E Stashenko. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and thymus *hirtus* essential oils grown in Colombia, *Pest Manag Sci* (2010)

K. Cimanga, K. Kambu, L. Tona, S. Apers, T. De Bruyne, N. Hermans, J. Totte, L. Pieters, A.J. Vlietinck. 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 (2002) 213–220

Khaled Sebei, Fawzi Sakouhi , Wahid Herchi , Mohamed Larbi Khouja and Sadok Boukhchina. Chemical composition and antibacterial activities of seven thymus species essential oils leaves, *Biological Research* 2015, 48:7

Khedhri, S.; Polito, F.; Caputo, L.; Manna, F.; Khammassi, M.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Nazzaro, F.; De Feo, V.; Fratianni, F. Chemical Composition, Phytotoxic and Antibiofilm Activity of Seven Thymus Species from Tunisia. *Molecules* 2022, 27, 8227.

Kouki, H.; Polito, F.; De Martino, L.; Mabrouk, Y.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Fratianni, F.; De Feo, V.; Nazzaro, F. Chemistry and Bioactivities of Six Tunisian thymus Species. *Pharmaceuticals* 2022, 15, 1265.

Kouki, H.; Polito, F.; De Martino, L.; Mabrouk, Y.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Fratianni, F.; De Feo, V.; Nazzaro, F. Chemistry and Bioactivities of Six Tunisian thymus Species. *Pharmaceuticals* 2022, 15, 1265.

KOUL, Opende, WALIA, Suresh, et DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides international*, 2008, vol. 4, no 1, p. 63-84.

LILA BOULEKBACHE-MAKHLLOUF, EMMANUELLE MEUDEC, MOHAMED CHIBANE, JEAN-PAUL MAZAURIC, SAKINA SLIMANI, MAX HENRY, VERONIQUE CHEYNIER AND KHODIR MADANI. Analysis by High-Performance Liquid Chromatography Diode Array Detection Mass Spectrometry of Phenolic Compounds in Fruit of thymus zygis Cultivated in Algeria, *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 12615–12624

Lila Harkat-Madouri , Boudria Asmaa , Khodir Madani , Zakia Bey-Ould Si Saida , Peggy Rigouc , Daniel Grenier , Hanane Allaloua , Hocine Remini , Abdennour Adjaouda , Lila Boulekbache-Makhlouf. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of Thymus zygis from Algeria, *Industrial Crops and Products* 78 (2015) 148–153

Luiz Claudio Almeida Barbosa, Claudinei Andrade Filomeno and Robson Ricardo Teixeira. Chemical Variability and Biological Activities of Thymus spp. *Essential Oils, Molecules* 2016, 21, 1671

Marien, Jean-Noël, and A. Idrissi Azami. "Le développement des plantations clonales d' Thymus au Maroc- Une dynamique toujours plus actuelle." *Forêt méditerranéenne* 32.1 (2011): 31-38.

Mohamed Nadjib Boukhatem , Asma Boumaiza , Hanady G. Nada , Mehdi Rajabi and Shaker A. Mousa. Thymus zygis Essential Oil as a Natural Food Preservative: Antioxidant, Antibacterial and Antifungal Properties In Vitro and in a Real Food Matrix (Orangina Fruit Juice), *Appl. Sci.* 2020, 10, 5581

Mohamed Nadjib Boukhatem<sup>1</sup>, Ferhat Mohamed Amine, Abdelkrim Kameli, Fairouz Saidi , Kerkadi Walid , Sadok Bouziane Mohamed. Quality assessment of the essential oil from Eucalyptus globulus Labill of Blida (Algeria) origin, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy* 17(3) (2014) 303-315

Mouna MEHANI et Ladjel SEGN. Effet antimicrobien des huiles essentielles de la plante Thymus vulgaris sur certaines bactéries pathogènes, *Annales des Sciences et Technologie* Vol. 6, N 1, Mai 2014

Mrs. Vishin A. Patil \*, Mr. Sachin A. Nitave. A REVIEW ON thymus zygis: A DIVINE MEDICINAL HERB, *WORLD JOURNAL OF PHARMACY AND PHARMACEUTICAL SCIENCES*, Volume 3, Issue 6, 559-567.

Murti, Y., Divya, J. A. I. N., Semwal, B. C., SINGH, S., Janmeda, P., & Bhaskar, P. (2023). Innovative methods for extraction of essential oils from medicinal plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(2), 190-230.

Naithani, H. B. "Botany of genus *Thymus*." *Botany of Genus Thymus; Bhojvaid, PP, Kaushik, S., Singh, YP, Kumar, D., Thapliyal, M., Barthwal, S., Eds* (2014): 1-20.

Nakatsu, T., Lupo Jr, A. T., Chinn Jr, J. W., & Kang, R. K. (2000). Biological activity of essential oils and their constituents. *Studies in natural products chemistry*, 21, 571-631.

Nikhil Chandorkar, Srushti Tambe, Purnima Amin, Chandu Madankar. A systematic and comprehensive review on current understanding of the pharmacological actions, molecular mechanisms, and clinical implications of the genus *Thymus*, *Phytomedicine Plus* 1 (2021) 100089

Polito, F.; Kouki, H.; Khedhri, S.; Hamrouni, L.; Mabrouk, Y.; Amri, I.; Nazzaro, F.; Fratianni, F.; De Feo, V. Chemical Composition and Phytotoxic and Antibiofilm Activity of the Essential Oils of *Thymus numduis*, *t. algernis*, *t. tintertexta*, *t. obliqua*, *t. pauciflora* and *t. tereticornis*. *Plants* 2022, 11, 3017

Pornpun Siramon , Yoshito Ohtani and Hideaki Ichiura. Chemical Composition and Antifungal Property of *Thymus vulgaris* Leaf Oils from Thailand, *Rec. Nat. Prod.* 7:1 (2013) 49-53

Rida Fouad , Dalila Bousta , Abdelhakim El Ouali Lalami , Fouad Ouazzani Chahdi , Ismail Amri , Bassem Jamoussi , Hassane Greche. Chemical Composition and Herbicidal Effects of Essential Oils of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf, *Thymus capitatus*, *Origanum vulgare* L and *Artemisia absinthium* L. cultivated in Morocco, *TEOP* 18 (1) 2015 pp 112 – 123

S. Benayache , F. Benayache , S. Benyahia , Jean-Claude Chalchat & Raymond-Philippe Garry (2001) Leaf Oils of some *Thymus* Species Growing in Algeria, *Journal of Essential Oil Research*, 13:3, 210-213

Saadaoui, Ezzeddine, et al. "An overview of adaptative responses to drought stress in spp." *Forestry Studies* 67.1 (2017): 86-96.

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Llaïque, H., Villalobos, M., Smeriglio, A., ... & Martins, N. (2019). Insights into *Thymus* genus chemical constituents, biological activities and health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 609-624.

Samira Sliti , Sameh Ayadi , Feten Kachouri , Mohamed Arbi Khouja, Manef Abderrabba , Nabih Bouzouita. Leaf essential oils chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of *Thymus vulgaris* and *E. rudis* from korbous (Tunisia), *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3) (2015) 743-748

Sara Benchaa, Mohamed Hazzit and Hacene Abdelkrim. Allelopathic Effect of *thymus hirtus* Essential Oil and Its Potential Use as Bioherbicide, *Chem. Biodiversity* 2018, 15, e1800202

Sawalha, H.; Abiri, R.; Sanusi, R.; Shaharuddin, N.A.; Noor, A.A.M.; Ab Shukor, N.A.; Abdul-Hamid, H.; Ahmad, S.A. Toward a Better Understanding of Metal Nanoparticles, a Novel Strategy from *thymus* Plants. *Plants* 2021, 10, 929.

Sen-Sung Cheng, Chin-Gi Huang, Ying-Ju Chen, Jane-Jane Yu, Wei-June Chen, Shang-Tzen Chang. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two *thymus* species, *Bioresource Technology* 100 (2009) 452–456.

Shama HMIRI , Mohamed RAHOUTI, Zakaria HABIB , Badr SATRANI , Mohamed GHANMI et Mustapha EL ajjour. évaluation du potentiel antifongique des huiles essentielles de mentha pulegium et d' *Thymus vulgaris* dans la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des pommes en conservation, Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 80, 2011, p.824 – 836

Smail Aazza, Badiâ Lyoussi and Maria G. Miguel. Antioxidant and Antiacetylcholinesterase Activities of Some Commercial Essential Oils and Their Major Compounds, *Molecules* 2011, 16, 7672-7690

Smail Aazza<sup>a,b</sup>, Badiâ Lyoussib , Cristina Megíasc , Isabel Cortés-Giraldoc , Javier Vioquec , A. Cristina Figueiredod and Maria G. Miguel. Anti-oxidant, Anti-inflammatory and Anti-proliferative Activities of Moroccan Commercial Essential Oils, *Natural Product Communications* Vol. 9 (4) 2014, 587 – 594

Stackpole, D. J., Vaillancourt, R. E., Alves, A., Rodrigues, J., & Potts, B. M. (2011). Genetic variation in the chemical components of *Thymus zygis* wood. *G3: Genes/ Genomes/ Genetics*, 1(2), 151-159.

Su YC, Ho CL, Wang IC, Chang ST. 2006. Antifungal activities and chemical compositions of essential oils from leaves of four thymus. *Taiwan J For Sci* 21(1):49-61

Surbhi, Kumar, A., Singh, S., Kumari, P., & Rasane, P. 2021thymus : phytochemical composition, extraction methods and food and medicinal applications. *Advances in Traditional Medicine*, 1-12.

Tolba H, et al. Essential oil of Algerian thymus hirtus: Chemical composition, antifungal activity. *Journal De Mycologie Médicale* (2015)

TOLBA H., MOGHRANI H., ABOUN A. and MAACHI R., Essential oil of Algerian *Thymus hirtus*: Chemical composition, antimicrobial activity, *Nature & Technology Journal*, Vol. B : Agronomic and Biological Sciences, 18 (2018) 105-111

Vipin Kesharwani, Shashank Gupta, Nikhil Kushwaha, Roohi Kesharwani and Dilip KM Patel. A review on therapeutics application of eucalyptus oil, *International Journal of Herbal Medicine* 2018; 6(6): 110-115

Y. Foudil-Cherif , B. Y. Meklati , A. Verzera , L. Mondello & G. Dugo (2000) Chemical Examination of Essential Oils from the Leaves of Nine *Thymus* Species Growing in Algeria, *Journal of Essential Oil Research*, 12:2, 186-191

Yang, Young-Cheol, et al. "A piperidine amide extracted from *Piper longum* L. fruit shows activity against *Aedes aegypti* mosquito larvae." *Journal of agricultural and food chemistry* 50.13 (2002): 3765-3767.

Yasmina Benabdesslem , Kadda Hachem & Moubarek Mébarki (2020) Chemical Composition of the Essential Oil from the Leaves of *Thymus zygis* Labill. Growing in Southwest Algeria, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23:5, 1154-1160

Yasmina Benabdesslem, Kadda Hachem, Moubarek Mébarki. Chemical Composition of the Essential Oil from the Leaves of *thymus zygis* Labill. Growing in Southwest Algeria, *TEOP* 23 (5) 2020 pp 1154 – 1160

Zarith Asyikin Abdul Aziz1 , Akil Ahmad1, Siti Hamidah Mohd Setapar, Alptug Karakucuk , Muhammad Mohsin Azim , David Lokhat , Mohd. Rafatullah , Magdah Ganash , Mohammad A. Kamal and Ghulam Md Ashraf. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review, Current Drug Metabolism, 2018, Vol. 19, No. 00

Zrira, S., et al. "Chemical composition of the essential oil of nine Thymus species growing in Morocco." *Flavour and fragrance journal* 19.2 (2004): 172-175.

Büşra Çakaloğlu, Vasfiye Hazal Özyurt, Semih Ötleş. Cold press in oil extraction. A review, Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7. Issue 4

Mouchid K, N. Dersi, A. Bellik, T. Aboussaouira, A. Rachidai, K. Zarrouck, A. Tantaoui-Elaraki, M. Alaoui-Ismaili. Caractérisation chimique et recherche ; effet antibactérien des huiles essentielles de Rosmarinus officinalis, Thymus zygis et Mentha pulegium du sud marocain, Biotechnologies, Congrès International de Biochimie, Marrakech, 525-527.

Aboughe Angone S. R.R.R. Aworet Samseny · C. Eyele Mve Mba. Quelques propriétés des huiles essentielles des plantes médicinales du Gabon, *Phytothérapie* 13.5 (2015): 283-287.