



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et De La Recherche Scientifique

Université Blida-1-

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département de Biologie des Populations des Organismes

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention

du Diplôme de Master

En Biologie

Option : Biodiversité et Physiologie Végétale

Thème :

Analyses physicochimiques et chromatographiques des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata* (Thuya de Berberie) de deux sites différents

Présenté par :

M^{lle} Bouakkaz Menel

M^{lle} Salem Lydia

Date de soutenance

02/09/2020

Devant le jury composé de :

M^{me} FAIDI H MAA/BPO UB-1- Présidente

M^{me} TOUAIBIA M MCA/BPO UB-1- Examinatrice

M^{me} CHÉRIFF H.S MCA/BPO UB-1- Promotrice

Année Universitaire : 2019-2020

Remerciements

On remercie dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience nécessaire pour réaliser ce travail.

*on tient à exprimer d'abord nos profonds remerciements et notre vive reconnaissance à notre promotrice **M^{me} CHERIF H.S.** Maître de Conférences classe A, à la Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie , université Blida-1-, pour ses précieux conseils et pour les efforts qu'elle a consentis durant la rédaction de ce mémoire, où on a eu un Bon guide, ainsi que les années de nos études , on la remercie aussi pour sa disponibilité, ses qualités humaines et surtout sa patience.*

*On tient à remercier également **M^{me} FAIDI H,** Maître Assistante classe A à la Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie à l'université Blida-1-, de nous avoir fait l'honneur de précéder le jury de ce mémoire.*

*On exprime nos vifs remerciements à **M^{me} TOUAIBIA M** Maître de Conférences classe A à la Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie à l'université Blida-1- pour l'examen de ce mémoire.*

On n'oublie pas aussi de remercier l'ensemble de nos professeurs et enseignants durant nos années d'études : primaire, moyenne, secondaire et universitaire.

Enfin, on tient à remercier gracieusement toutes les personnes qui nous ont encouragé et soutenu dans les moments difficiles durant la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Nous dédions humblement ce travail

À nos parents

À nos très chers pères sans eux on n'arrivera jamais à ce stade.

À nos très chères mères pour leurs encouragements, présence et sacrifice, leurs soutient tout au long de nos études, on vous aime que dieu vous garde pour nous.

À nos chers sœurs et frères : Hanane, Sílía, Nesrine, Ahlém, Massínissa et Nadía, Samíha, Mohamed, Samí.

À nos tantes : Nadjía, Malíka, Zohra et leurs époux.

À notre très chère promotrice M^{me} CHERIF H.S.

À nos amis : Med amine G, Rofáida, Roumaíssa, Asma, chahínez, Maroua, Soheíb.

À toute la famille Bouakkaz et la famille Salem

Et enfin à tous les étudiants de notre promotion sans exceptions.

❖ *MENEL ET LYDIA*

Résumé

Tetraclinis articulata (Thuya de Berberie) appartient à la famille des Cupressacées, et pousse spontanément dans différents pays du bassin méditerranéen.

La présente étude rétrospective porte sur la variation de la composition chimique des Huiles essentielles (HE) extraites par hydro distillation des parties aériennes et sous terraines de l'espèce *Tetraclinis articulata*, récoltée en Algérie, Tunisie, le Maroc et l'île de Malte.

Le rendement en huile essentielle a été calculé et l'analyse quantitative réalisée par CG-SM et a permis d'identifier et quantifier les constituants de cette huile.

L'analyse chromatographique détaillée des parties aériennes et sous terraines, a permis d'identifier : 36 composés dans l'huile essentielle des feuilles de *Tetraclinis articulata* de la région de Ouled Mimoun en Algérie représentant 95,91% de la composition totale, dont les composés majoritaires sont le Camphre (26,67%), Acétate de bornyle (25,79%) et le Bornéol (12,96%), 33 composés dans l'huile essentielle des rameaux de *Tetraclinis articulata* ont été étudiés dans la région de Khemisset au Maroc représentant plus de 80 % de la composition chimique totale de cette huile, composée principalement d' α -pinène (30,22 %), de limonène (22,29 %), de widdrol (5,41 %) et d'acétate de bornyle (4,76 %), 17 composés dans l'huile essentielle des cônes et graines de *Tetraclinis articulata* récoltée dans la région de Msida à l'île de Malte, ont été mis en évidence dont les composés majoritaires sont : α -pinène (68.2%), et le limonène (16.6%) pour les cônes et l' α -pinène (46.3%) et le limonène (25.3%) pour les graines et 52 composés dans l'huile essentielle des racines de *Tetraclinis articulata* analysée pour la première fois dans la région de Zaghouan en Tunisie dont le composé majoritaire est camphre (70,2%).

La richesse de *tetraclinis articulata* en huile essentielle et la variabilité de sa composition chimique font de cette plante une inestimable source de composés terpéniques «monoterpènes et sesquiterpènes», qui ont un intérêt industriel, écologique et médicinal intéressant.

Mots clés : *Tetraclinis articulata*, Cupressacées, huile essentielle, composition chimique, CG-SM.

Abstract

Tetraclinis articulata (Thuya de Berberie) belongs to the Cupressaceae family, and grows spontaneously in different countries of the Mediterranean basin

This retrospective study focuses on the variation in the chemical composition of essential oils (EO) extracted by hydro distillation from the aerial and underground parts of the species *Tetraclinis articulata*, collected in Algeria, Tunisia, Morocco and the island of Malta.

The essential oil yield was calculated and quantitative analysis carried out by CG-SM and allowed to identify and quantify the constituents of this oil. The detailed chromatographic analysis of the aerial and underground parts made it possible to identify: 36 compounds in the essential oil of the leaves of *Tetraclinis articulata* were studied in the region of Ouled Mimoun in Algeria representing 95.91% of the total composition, of which the majority compounds are Camphor (26.67%), Bornyl Acetate (25.79%), and Borneol (12.96%), 33 compounds in the essential oil of the twigs of *Tetraclinis articulata* were studied in the region of Khemisset in Morocco representing more than 80% of the total chemical composition of this oil, composed mainly of α -pinene (30.22%), limonene (22.29%), widdrol (5.41%) and bornyl acetate (4.76%) , 17 compounds in the essential oil of the cones and seeds of *Tetraclinis articulata* were studied in the region of Msida on the island of Malta, of which the majority compounds are α -pinene (68.2%) and limonene (16.6%) for the cones, α -pinene (46.3%) and limonene (25.3%) for seeds and 52 compounds in the essential oil of the roots of *Tetraclinis articulata* analyzed for the first time in the region of Zaghouan in Tunisia, the majority compound of which is camphor (70.2%).

The richness of *tetraclinis articulata* in essential oil and the variability of its chemical composition make this plant an invaluable source of terpene compounds «monoterpenes and sesquiterpenes», which have an interesting industrial, ecological and medicinal interest.

Key words: *Tetraclinis articulata*, Cupressaceae, essential oil, chemical composition, CG-SM.

ملخص

تنتمي *Tetraclinis articulata* (Thuja de Berberie) لعائلة Cupressacées وتنمو تلقائيا في بلدان مختلفة من حوض البحر الابيض المتوسط.

تركز هذه الدراسة باثر رجعي على التباين في التركيب الكيميائي للزيوت الاساسية المستخرجة عن طريق التقطير المائي من الاجزاء الهوائية و الترابية لنبات *Tetraclinis articulata* التي تم جمعها في الجزائر و تونس و المغرب و جزيرة مالطا.

تم حساب انتاج المرودود و اجراء التحليل الكمي بواسطة CG-SM والذي سمح بتحديد مكونات هذا الزيت.

اتاح التحليل الكروماتوغرافي المفصل للاجزاء الهوائية و الترابية تحديد :

36 مركبا في الزيت العطري لاوراق نبات *tetraclinis articulata* في منطقة اولاد ميمون بالجزائر تمثل 95.91 % من التركيبة الاجمالية ,حيث معظم مركباتها هي كالاتي : Camphre (26.67%) ; Acétate de bornyle (25.79%) و Bornéol (12,96%)

33 مركبا في الزيت العطري لأغصان نبات *tetraclinis articulata* في منطقة الخميسات بالمغرب تمثل أكثر من 80% من التركيب الكيميائي الكلي لهذا الزيت العطري المكون بشكل رئيسي من :

limonène (22,29 %) ; α -pinène (30,22) ; acétate de bornyle (4,76 %) و widdrol (5,41 %).

17 مركبا في الزيت العطري لكل من بذور و اكواز نبات *tetraclinis articulata* في منطقة مسيدا بجزيرة مالطا ، وأغلبها مركبات: (68.2%) α -pinène و (16.6%) limonène بالنسبة للمخاريط اما بالنسبة للبذور فهي كالاتي (46.3%) α -pinene و (25.3%) limonene.

52 مركبا في الزيت العطري لجذور نبات *tetraclinis articulata* لأول مرة في منطقة زغوان في تونس ، وأغلبها مركب (70,2%) .camphre.

ان ثراء *tetraclinis articulata* بالزيت العطري وتنوع تركيبته الكيميائية تجعل هذا النبات مصدرا لا يقدر بثمن لمركبات التربين «monoterpènes و sesquiterpènes» والتي لها اهمية معتبرة في مجال الصناعة و البيئة و الطب.

الكلمات المفتاحية : CG-SM ، التركيب الكيميائي ، الزيت العطري ، *Tetraclinis articulata*, Cupressacées,

Glossaire

Xérophile : Se sont organismes extrêmophiles vivants dans des milieux très pauvres en eaux, autrement dit c'est des organismes qui vivent dans les régions désertiques (**Husson, 1970**).

Imbriquées : Se dit d'organes (feuilles, écailles) se chevauchant partiellement, verticalement ou latéralement. (Ex : Feuilles du Cyprès, du Thuya) et Qualifie une préfloraison au niveau de laquelle, dans un même verticille, une seule pièce est recouvrante, les autres étant emboîtées les unes dans les autres. Ex : Corolle des Caryophyllacées (**Billy, 1991**).

Rhytidome : Un rhytidome est un tissu mort de la périphérie d'une tige ligneuse comprenant les tissus externes de l'écorce et le liège le plus ancien. Les rhytidomes forment la partie la plus ancienne du sous-cambium qui est détachées de la surface des troncs de la plante ligneuse, constituant sa couche la plus externe. Cette couche externe est constituée de cellules mortes, du périderme d'arbres et d'autres plantes ligneuses (xylème) (**Jean-François et al, 2019**).

Fendillé : Présence de petites fentes dans quelque chose, fissurer (**Débaule, 1892**).

Valves : En botanique, c'est une fraction du péricarpe d'un fruit, qui se soulève quand se forment les fentes de déhiscence.

Verticillées : Un verticille est un groupe (soit de feuilles, soit de sépales, soit de pétales, d'étamines, de carpelles ou de tous autres organes floraux ayant une structure identique) inséré de façon rayonnante au même niveau sur un axe d'une racine, d'une tige, d'un rameau (**Kerlouan, 2006**).

Taillis : Le taillis est un peuplement d'arbres issu de la reproduction asexuée ou reproduction végétative d'une souche, où plusieurs bourgeons latents ont pu se développer après avoir reçu un apport massif de sève brute, donnant ainsi plusieurs tiges nouvelles, strictement semblables à l'arbre de départ

Halomorphes : Se dit de l'ensemble des sols dont l'évolution et les propriétés sont affectées par la présence de sels de sodium (et, secondairement, de magnésium et de calcium).

liste des abreviations

CV : Coefficient de variation.

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature.

CPG : Chromatographie en phase gazeuse.

CG/MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

HE : Huile essentielle.

mm : Millimètre.

eV : Electrons volte.

µL : Symbole du microlitre, unité de mesure de volume.

°C : Degré Celsius.

g : Gramme.

µm : Le micromètre

Liste des figures

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Figure 1 : Aspect générale de <i>T. articulata</i> | 3 |
| Figure 2 : Feuille de <i>T.articulata</i> | 3 |
| Figure 3 : Cônes de <i>T. articulata</i> | 3 |
| Figure 4 : Ecorce de <i>T. articulata</i> | 3 |
| Figure 5 : Cônes de <i>T.articulata</i> | 4 |
| Figure 6 : Aire de répartition du thuya de Berbérie en Méditerranée sud-occidentale..... | 6 |
| Figure 7 : Répartition du thuya de Berbérie dans la région de Tlemcen..... | 7 |
| Figure 8 : Quelques produits artisanaux à base de bois de thuya..... | 10 |
| Figure 09 : Quelques exemples des monoterpènes..... | 14 |
| Figure 10 : Quelques exemples des sesquiterpènes..... | 15 |
| Figure 11 : Montage d'extraction de type Clevenger..... | Annexe III |
| Figure 12 : Protocole général de la procédure expérimentale effectuée sur <i>Tetraclinis articulata</i> | 25 |
| Figure 13 : Composés de l'huile essentielle des rameaux du Thuya Berbérie..... | Annexe IV |

liste des tableaux

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tableau I : Composition chimique de certaines essences de <i>T. articulata</i> | 9 |
| Tableau II : Comparaison de composants majoritaires des feuilles de <i>Tetraclinis articulata</i> entre l'Algérie, Tunisie et le Maroc..... | 19 |
| Tableau III : Teneur en composés majoritaires en fonction de la date de récolte des feuilles adultes de Thuya de Berbérie..... | 20 |
| Tableau IV : Teneurs en huiles essentielles obtenues suivant l'âge des feuilles de Thuya de Berbérie et durant les trois périodes de récolte..... | 21 |
| Tableau V : Sites et périodes de récoltes des échantillons..... | 23 |
| Tableau VI : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des racines du Thuya de Berbérie..... | Annexe IV |
| Tableau VII : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des cônes et graines du Thuya de Berbérie..... | Annexe IV |
| Tableau VIII : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des rameaux du Thuya de Berbérie..... | Annexe IV |
| Tableau IX : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des feuilles du Thuya de Berbérie..... | Annexe IV |
| Tableau X : Rendement en huile essentielle de <i>Tetraclinis articulata</i> | 29 |

Table de Matières

| | |
|------------------------|---|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Glossaire | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Résumé | |
| Abstract | |
| ملخص | |
| Introduction | 1 |

Partie bibliographique

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Chapitre I : Généralités sur le Thuya de Berberie <i>Tetraclinis articulata</i> | 2 |
| I.1. Description Botanique | 2 |
| I.2. Systématique de la plante..... | 4 |
| I.2.1. Classification..... | 4 |
| I.2.2. Étymologie..... | 5 |
| I.3. Origine et répartition géographique..... | 5 |
| I.4. Ecologie..... | 8 |
| I.4.1. Conditions climatiques..... | 8 |
| I.4.2. Conditions lithologiques..... | 8 |
| I.4.3. Condition édaphiques..... | 8 |
| I.5. Composition chimique de thuya..... | 9 |
| I.6. Domaines d'utilisation..... | 10 |
| Chapitre II : Généralités sur les Huiles Essentielles | 12 |
| II.1. Définition..... | 12 |
| II.2. Localisation des huiles essentielles..... | 12 |
| II.3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles..... | 13 |
| II.3.1. Composition chimique des huiles essentielles..... | 13 |
| II.3.2. Compositions chimiques des diverses organes de <i>Tetraclinis articulata</i> | 15 |
| II.3.3. Propriétés physiques | 16 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.4. Fonctions des huiles essentielles | 16 |
| II.5 Méthodes d'extraction | 17 |
| II.6. Chémotype..... | 17 |
| II.7. Fluctuation de la composition chimique des HE en fonction de la famille botanique... | 18 |
| II.8. Facteurs de variabilité des huiles essentielles..... | 19 |
| II.8.1. Influence de l'origine géographique..... | 19 |
| II.8.2. Influence du mode et de la période de récolte..... | 19 |
| II.8.3. Influence du cycle végétatif..... | 20 |

Partie expérimentale

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Chapitre III : Matériel et Méthodes..... | 22 |
| III.1 Présentation de l'étude..... | 22 |
| III.2. Matériel Végétal..... | 22 |
| III.2.1. Sites et périodes de récolte des échantillons..... | 22 |
| III.2.2. Cueillette et séchage..... | 23 |
| III.3. Méthodes..... | 24 |
| III.3.1. Protocole d'extraction de l'huile essentielle..... | 24 |
| III.3.2. Protocole général de la procédure expérimentale effectuée sur <i>Tetraclinis articulata</i> | 24 |
| III.3.3. Méthodes d'extraction de l'huile essentielle de <i>Tetraclinis articulata</i> | 26 |
| III.3.4. Méthodes d'Analyse Chromatographique..... | 26 |
| III.3.5. Identifications des constituants des huiles essentielles de <i>Tetraclinis articulata</i> | 28 |
| Chapitre IV : Résultats et Discussion..... | 29 |
| IV.1. Rendement en huile essentielle de <i>Tetraclinis articulata</i> | 29 |
| IV.2. Compositions chimiques de l'huile essentielle par Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM)..... | 29 |
| IV.3. Variabilités de la composition chimique de <i>Tetraclinis articulata</i> | 30 |
| Conclusion..... | 33 |
| Références bibliographiques..... | 35 |
| Annexes. | |

Introduction

Introduction

Tetraclinis articulata, communément appelé Thuya de Berberie, est endémique de la Méditerranée Sud occidentale, en particulier les pays du Maghreb (d'où son appellation thuya du Maghreb ou thuya de Berbérie). L'espèce couvre en Algérie 161 000 hectares et occupe la troisième place après le pin d'Alep et le chêne vert (**Benabdeli, 1996; Leutreuch-Belarouci, 1982**). Elle a divers domaines d'intérêt, dont celui des huiles essentielles.

L'huile essentielle du thuya de Berbérie a fait l'objet d'études de plusieurs auteurs tels que (**Ben jemia et al., 2012; Chikhouné et al., 2013; Fennane, 1982**), et diverses compositions chimiques ont été fournies en fonction de l'origine écotypique et de la partie utilisée de la plante.

Notre travail s'inscrit :

D'une part, dans le cadre d'une étude comparative de la variabilité chimique de l'huile essentielle extraite de différentes parties de la plante dans différents pays, en réalisant une étude rétrospective suivant les travaux de (**Benali Toumi et al., 2011; Boukhriss et al., 2007; Buhagiar et al., 2000; Tékaya-karoui et al., 2007**).

D'autre part, dans la caractérisation du thuya de Berbérie originaire de quatre pays notamment l'Algérie, la Tunisie, le Maroc et l'île de Malte, à travers la composition chimique de l'huile essentielle qui a été extraite, pour mettre en évidence un éventuel profil chimique au sein de cette espèce et préciser à quel(s) type(s) chimique(s) elle appartient.

Ainsi, ce travail est divisé en deux parties :

La première partie consiste en une synthèse bibliographique, description botanique, localisation géographique et les différents domaines d'utilisations de la plante et une vue générale sur les huiles essentielles.

La deuxième partie consiste en une étude physicochimique se rapportant à la mise en évidence des métabolites secondaires de la plante, l'extraction de l'huile essentielle et détermination de son rendement, son étude physicochimique et son analyse par Chromatographie en phase Gazeuse couplée à la Spectrophotométrie de Masse (CGMS)

Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata*

I.1 Description Botanique

Le thuya de Berbérie est un arbre toujours vert, qui mesure de 6 à 8 m de hauteur, mais peut atteindre 15 m et plus. Le nom latin de ce conifère est *Tetraclinis articulata* ou *Callitris articulata*. C'est pourquoi les forêts de thuyas de Berbérie s'appellent tétraclinaies ou callitraies. Le thuya de Berbérie est une plante rustique et xérophile (UICN, 2011). Il est parmi les rares conifères qui repoussent après les incendies. Il peut pousser sur des sols pauvres, et joue donc un rôle très important dans la protection contre l'érosion, surtout au niveau des montagnes.

Le thuya est un résineux à feuillage léger et persistant. À l'état juvénile, son port est pyramidale (**Figure.1**). Les feuilles sont plates, en forme d'écailles et persistantes et réduites en écailles opposées et imbriquées par deux (**Figure.2**), les fleurs en chaton, situées à l'extrémité des rameaux. Le fruit (**Figure.3**) est un cône d'allure cubique s'ouvrant par quatre valves sous l'effet de la chaleur, libérant ainsi six graines ailées (**Hadjadj-aoul et al ., 2009**).

Le tronc (**Figure.4**) est droit à rhytidome gris clair, puis devenant plus sombre, fendillé longitudinalement, à rameaux dressés et minces, composés de petites branches plates, vertes, articulées selon la disposition des feuilles. Les feuilles sont en aiguilles bleutées, de 1-2 cm chez les jeunes plantes. Elles vont ensuite, chez les plantes adultes, laisser la place aux feuilles en écailles, persistantes, opposées et plus ou moins verticillées par 4, enveloppant le rameau aplati inégal, 2 larges alternant 2 étroites. Les fleurs sont groupées à l'extrémité des rameaux courts. Les cônes (**Figure.3**) plus ou moins globuleux, constitués de 4 écailles ligneuses, en 2 paires, en forme de cœur (**Boudy, 1952**).



Figure 1 : Aspect générale de *T. articulata* (<https://ecologie.ma/le-thuya-de-berberie/>)



Figure 2 : Feuille de *T. articulata* (<https://api.tela-botanica.org/img:0022728630.jpg>)

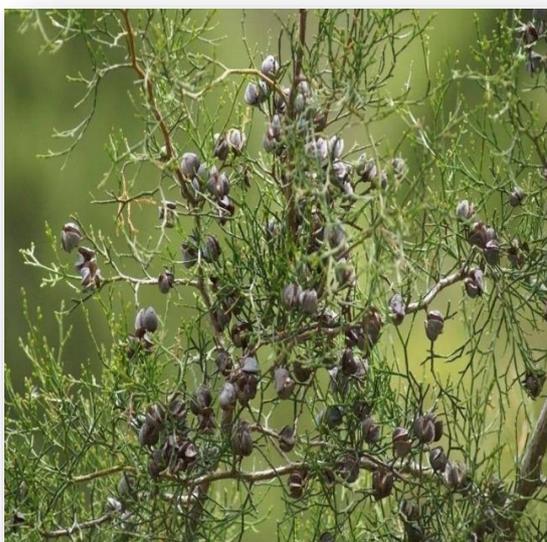


Figure 3 : Cônes de *T. articulata* (<https://ecologie.ma/le-thuya-de-berberie/>)



Figure 4 : Ecorce de *T. articulata* (<https://www.flickr.com/photos/helicongus/10697>)

L'arbre fleurit en automne (octobre) et fructifie l'été suivant (juin, juillet). Cette fructification démarre vers l'âge de 15 ans et se poursuit jusqu'à un âge très avancé. L'ouverture des cônes, qui reste comme pour beaucoup d'espèces conditionnées par la chaleur, n'a lieu qu'à la fin de l'été (Boudy, 1952).

Les plantules sont très semblables à celles du pin d'Alep, avec lesquelles, d'ailleurs elles peuvent être confondues. En effet, toutes deux présentent durant la première année de petites feuilles en aiguilles d'un centimètre environ.

Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata*

Ce n'est que plus tard que les petites feuilles de la plantule du thuya s'imbriquent telles des écailles par quatre pour donner de petits rameaux articulés caractéristiques. Cela donne un feuillage très léger et ainsi le couvert du thuya reste suffisamment lumineux (**Hadjadj-aoul, 1995**).

La production de graines (**Figure.5**) de cette essence est relativement bonne (10000 graines /kg) et le problème de sa régénération naturelle ne semble pas être freinée par la quantité de semence produites (**Hadjadj-aoul et al ., 2009**).



Figure 5 : Cônes de *T.articulata* (<https://api.tela-botanica.org/img:000732332O.jpg>)

I.2. Systématique de la plante

I.2.1. Classification :

Le Thuya de Berbérie appartient à la famille des Cupressaceae et au genre *Tetraclinis* qui ne comprend qu'une seule espèce *T. articulata*, selon (**Fralish, 2002; Barrero et al., 2003**) Le Thuya de Berbérie appartient au :

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Règne : | plantea |
| Embranchement : | Spermatophytes |
| Sous embranchement : | Gymnospermes |
| Classe : | Pinopsida |
| Ordre : | Pinales |
| Famille : | Cupressaceae |
| Genre : | <i>Tetraclinis</i> |
| Espèce : | <i>Tetraclinis articulata</i> |

*Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata**

I.2.2. Étymologie:

Tetraclinis articulata a plusieurs noms à travers le monde d'après (**Lamnauer & Batanouny, 2005**) :

Arabe: Aaraar, (عرعار بري) Sandarus (سننروس), Aaraar berboush (عرعار بربوش), Shajrat el-Hayat (شجرة الحياة).

Anglais: arar tree, sandarch tree, thyia, sandarc tree, sandarc gum tree, juniper gum tree, alerce, thuja, ghardar, thuya from berberie.

Français : thuya de Berbérie, thuya, callitris, thuia articulé, thuia à la sandarque, vernix.

Berbère: Azouka, Imijad, Tazout.

I.3. Origine et répartition géographique

Le thuya de Berbérie *Tetraclinis articulata*, est une espèce endémique de l'Afrique du Nord et en particulier des pays du Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) (**Figure.6**). Il se rencontre aussi dans quelques secteurs très ponctuels, au Sud-est de l'Espagne (région d'Almeria) et sur l'île de Malte (**Quézel, 1980**), il a été classé dans la catégorie « en danger » sur la liste rouge de l'UICN (**UICN, 2011**).

Il pousse à des hauteurs qui oscillent du niveau de la mer jusqu'à 1800 m d'altitude dans un climat méditerranéen en zone semi aride.

De nombreux auteurs, tels que (**Boudy, 1950; Benabid, 1976; Benabdeli, 1992**) ont rapporté que les superficies couvertes en Afrique du Nord par cette essence sont variables, mais globalement on avance les chiffres suivants :

- Maroc : 740 000 ha,
- Algérie : 161 000 ha,
- Tunisie : 30 000 ha.

Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata*

En Algérie, il représentait moins de 140.000 ha (**Maatoug, 2003**) alors qu'il couvrait plus de 160.000 ha au milieu du siècle dernier (**Boudy, 1950**) Au Maroc, l'aire de répartition du thuya est subdivisée en six grandes zones : zone Rifaine, zone du Maroc oriental, zone du moyen Atlas oriental, zone des vallées du plateau central, zone du moyen Atlas occidental et Haut-Atlas (piémonts Nord Atlasique, revers Sud du Haut -Atlas, région d'Essaouira, Haut-Atlas occidental) et zone de l'anti Atlas (**Benabid, 1976**) et (**Fennane, 1987**).

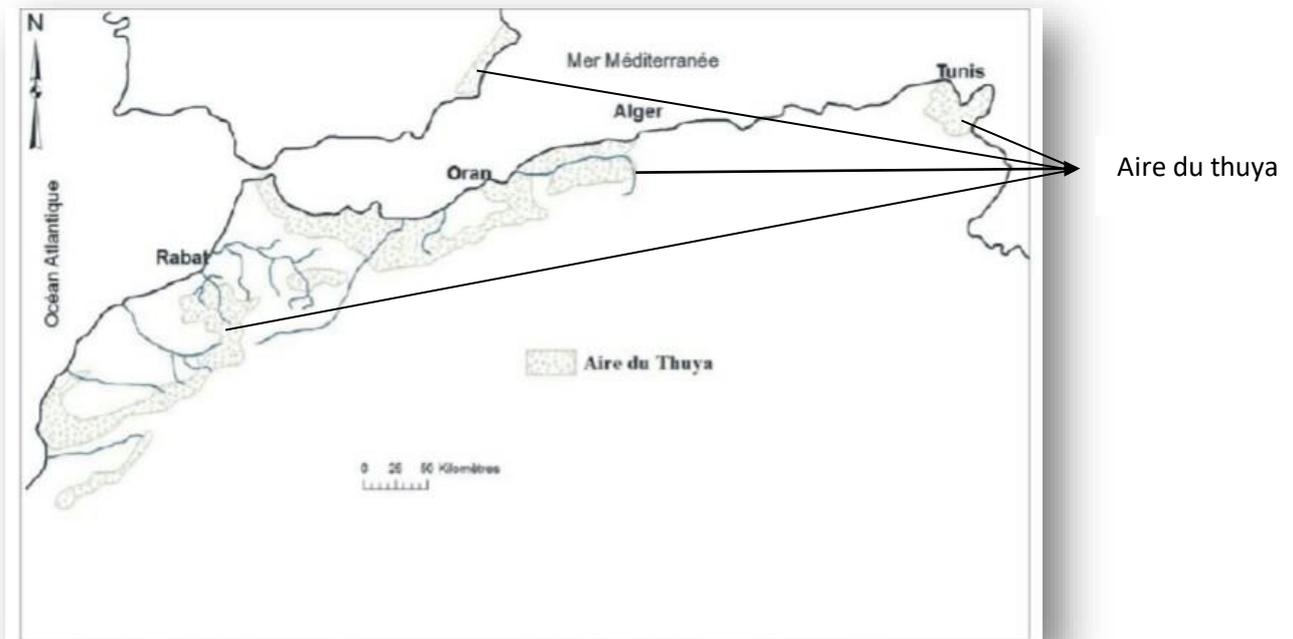


Figure 6 : Aire de répartition du thuya de Berbérie en Méditerranée sud-occidentale (**Hadjadj, 2016**).

Dans la région algéro-ouarsienne, les peuplements de thuya ne s'individualisent pas et sont le plus souvent en mélange avec le pin d'Alep. On les trouve dans les circonscriptions de Cherchell, Média, Ténès et Theniet el Had sous forme de vieux taillis dégradés par les incendies ; ils se trouvent aussi dans les régions de Delles et Lakhdaria sous forme de pieds isolés et de petits bouquets, puis dans la vallée de l'oued sahel vers M'Chandella sur le piémont sud de Lalla Khadîdja du Djurdjura (**Hadjadj-aoul, 1995**).

Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata*

Dans la région de Tlemcen (**Figure. 7**) et particulièrement dans les Monts des Trara (Forêts domaniales de Honaine, Beni Menir, Nedroma, Ain Kebira, Beni Ouarsous, Beni Khellad et Touent) le thuya forme des peuplements purs. Dans les Monts de Tlemcen, il se trouve mélangé avec le chêne vert et le genévrier oxycèdre ; on le trouve aussi dans la forêt domaniale de Tamaksalt au niveau des Plaines telliennes de Maghnia-Tlemcen et de Remchi (**El Mouridi, 2011**).

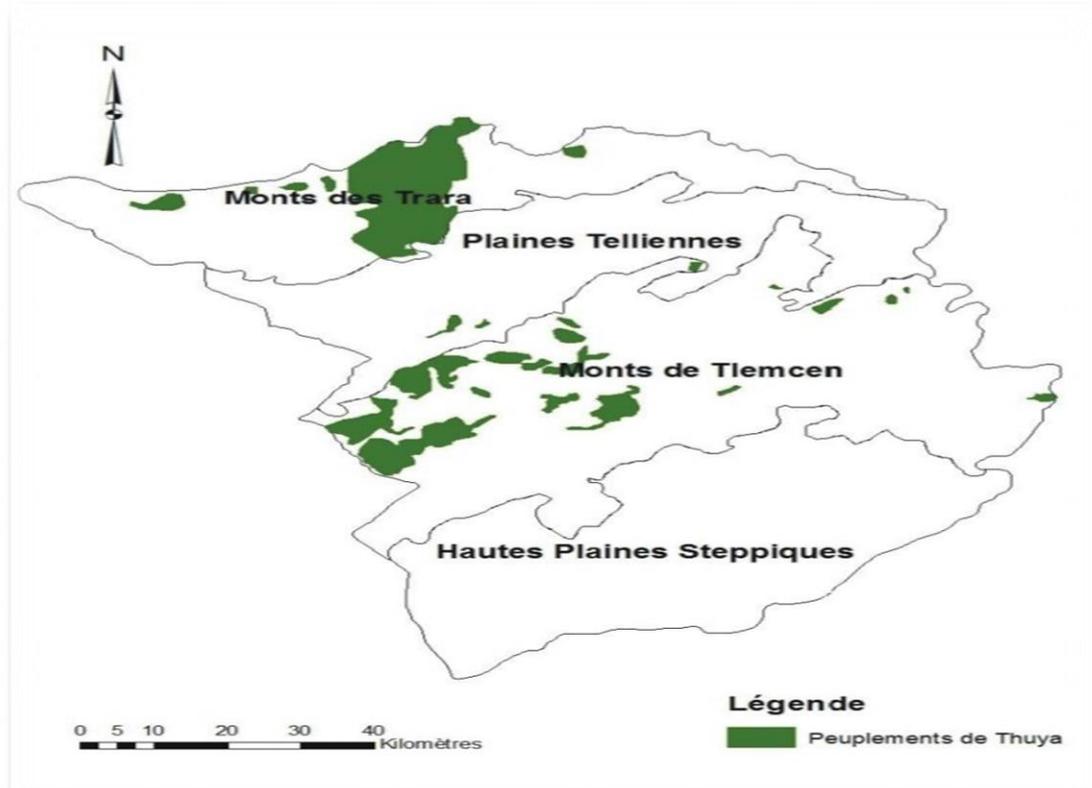


Figure 7 : Répartition du thuya de Berbérie dans la région de Tlemcen (Hadjadj, 2016)

Au Maroc, La grande partie de l'aire de thuya de Maroc se trouve dans l'étage bioclimatique semi -aride à variante tempérée, douce, chaude et très chaude (**Fennane, 1982**) Elles peuvent se développer aussi dans le subhumide à variante chaude, douce ou tempérée sur sols filtrants, sur des fortes pentes ou sur des expositions chaudes (**Fennane, 1987**).

I.4. Ecologie

I.4.1. Conditions climatiques

Le thuya est une essence de lumière thermophile et xérophile caractérisée par ses faibles exigences en eau, de 300 à 500 mm par an. Ecologiquement le thuya est décrit comme une espèce qui préfère les pentes exposées au sud et un climat semi –aride à variante tempérée douce, chaude et très chaude (**Buhagiar et al., 2000**) ; il se développe aussi en étage subhumide à variante chaude, douce et tempérée sur sol filtrant (calcaire) ; il craint les froids humides et préfère les expositions chaudes (**Quézel, 2000**).

En effet, Le thuya par sa rusticité, peut se développer aussi dans les climats très secs et aux sols les plus déshérités. Ses peuplements sont remarquablement liés aux variantes chaudes et tempérées du thermo-méditerranéen semi-aride exceptionnellement subhumide inférieur ou aride (**Ladhem, 2016**).

I.4.2. Conditions lithologiques

En Algérie, on rencontre le thuya sur tous les étages, sur le crétacé, dans les régions de l'Ouarsenis et Ténès, sur le jurassique dans celles de Frenda, Saida et Tlemcen et sur le quaternaire et pliocène dans celle de Mostaganem (**Boudy, 1950**).

En Tunisie, le thuya pousse sur le calcaire, la silice et même les terrains gypseux à condition qu'ils soient bien drainés (**El hamrouni, 1978**) , il est nettement exclu des sols halomorphes dans les plaines sublittorales, il est aussi éliminé des terrains lourds, argileux et épais (**Hadjadj-aoul, 1995**).

I.4.3. Conditions édaphiques

Du point de vue type de sol, le thuya pousse sur ceux peu profonds de type rendzine, reconnus superficiels à horizons peu différenciés ou dégradés (**Fennane, 1987**), appelé aussi un type de sol argilo-calcaire (**Buhagiar et al., 2000**) d'où son intérêt écologique dans la conservation des sols.

Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata*

I.5. Composition chimique de thuya

Tableau I : Composition chimique de certaines essences de *T. articulata*

| Auteurs et année de publication | Pays | Partie utilisé | Méthodes d'extraction | Méthodes d'analyse | Composés majoritaires |
|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| (Benali Toumi et al., 2011) | La région de Freneda, Tlemcen (Algérie) | Feuilles | Clevenger | CPG et CG/MS | Bornyle acetate (24, 59%) Camphre (23, 41%) α -pinene (11,34%) |
| (Bourkhiss et al., 2007) | La région de Khemisset(Maroc) | Rameaux sèche | Clevenger | CG/MS | L' α -pinène (30,22 %) le limonène (22,29 %) |
| (Ben jemia et al., 2012) | Parc national de Boukornine (Tunisie) | Feuilles séchées | Clevenger | CG/MS | l'acétate de bornyle (31,4%) l' α -pinène (24,5%) le camphre (20,3%) |
| (Buhagiar et al., 2000) | Ile de Malte | Cônes et Graines | Clevenger | CG/MS | l' α -pinène (68.2%, 46.3%) limonène (16.6% ,25.3%) |

La variation dans la composition de l'huile essentielle est probablement due aux lieux et aux périodes de récolte qui doivent être différentes.

La variation dans la composition chimique de thuya dans les quatre pays montre la diversité chimique due à l'influence des facteurs environnementaux et écologiques.

I.6. Domaine d'utilisation

Le thuya surnommé au XVII^{ème} siècle « arbre de vie » en raison de sa valeur médicinale attribuée à son feuillage et sa résine balsamique dont l'extrait augmente la tension artérielle et baisse la fièvre (Ayache, 2007).

En effet, différentes parties de thuya sont employées dans plusieurs domaines en raison de ses multiples utilisations :

❖ Artisanale

Le bois de ce Thuya est surtout utilisé dans le secteur artisanal en menuiserie et en ébénisterie ou comme bois de chauffage.

Le bois de thuya, spécial et luxueux, est un bois dur reconnaissable par sa couleur rouge foncé moucheté de grappes de petites taches brun foncé et parfois de motifs de veines de couleur dorée. Les qualités relatives à ce bois sont sa dureté, sa rareté, les centaines de textures qu'il présente, le luxe de son apparence, le très beau poli qu'il manifeste après polissage (Figure.8). Son bois, aussi connu sous le nom de citre, est très solide. On l'utilise généralement pour la charpente de maisons traditionnelles (UICN, 2011).



Figure 8 : Quelques produits artisanaux à base de bois de thuya, photo de (<https://ecologie.ma/le-thuya-de-berberie/>)

*Chapitre I : Généralités sur *Tetraclinis articulata**

❖ **Médicinale**

En médecine traditionnelle et phytothérapie , les populations locales utilisent cette essence en raison de ses multiples effets thérapeutiques, les différentes parties de l'arbre, particulièrement les feuilles et les rameaux sont connues par leurs propriétés sudorifiques, diurétiques et antirhumatismales, elles sont aussi préconisées dans les traitements des infections intestinales, les maladies respiratoires, le diabète, l'hypotension et les fièvres infantiles (**Buhagiar et al., 2000; Ziyat et al., 1997**).

❖ **Ecologique**

Tetraclinis joue un rôle écologique très important grâce a sa capacité à la conservation des sols, la partie relative à la régénération du thuya, et sur le rôle que peut jouer son système racinaire serré et pivotant dans la défense et la restauration des sols notamment dans les bassins versant des ouvrages hydrauliques, limitant ainsi les effets de l'érosion (**Ayache, 2007; Miloudi, 1996**). Il est parmi les rares conifères qui repoussent après les incendies. Il peut pousser sur des sols pauvres (**UICN, 2011**).

❖ **Economique**

L'espèce trouve essentiellement sa place dans l'activité artisanale surtout maghrébine qui joue un rôle économique et social crucial. A ce sujet, les forêts de thuya jouent un rôle socio-économique important dans le cadre de la satisfaction des besoins locaux des populations riveraines en matière de parcours (pour le bétail), produits ligneux (bois d'œuvre, bois de feu, bois de service et les loupes), gomme sandaraque, tanin, goudron végétal et la production de miel (**El Mouridi, 2011**).

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

Les plantes produisent naturellement des substances actives permettant de se protéger contre les insectes, les maladies ou d'attaques extérieures. De celles-ci ont été extraites les huiles essentielles.

L'utilisation des huiles essentielles en parfumerie, en cuisine avec les herbes dites aromatiques, en cosmétologie, et en thérapeutique est reconnue depuis l'Antiquité.

De nos jours, l'utilisation des huiles essentielles est de plus en plus répandue que ce soit dans les pharmacies, ou dans divers commerces. Elle s'affirme comme une thérapeutique complémentaire dans le conseil officinal. Elle permet l'harmonisation de la santé physique et mentale (**Mayer, 2012**).

II .1. Définition

Les huiles essentielles sont des produits de composition généralement assez complexe, renfermant les principes volatils contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation (**Raynaud, 2006**).

Du point de vue chimique, une huile essentielle est un mélange complexe de composés naturels de structures odorantes, dites aromatiques. Elles sont constituées principalement de deux groupes de composés odorants distincts selon la voie métabolique empruntée. Il s'agit des terpènes et de leurs dérivés oxygénés (alcool, aldéhyde, ester, éther, cétone, phénols et oxydes) prépondérants dans la plupart des huiles essentielles, et des dérivés du phénylpropane retrouvés en tant que composés majoritaires dans les huiles de quelques espèces (**Bouhdid et al, 2012**).

II.2. Localisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, il y a environ 500 000 sur terre dont 10 000 possèdent des propriétés médicinales (**Iserin, 2001**).

La plupart des végétaux renferment des huiles essentielles ,mais habituellement en quantités infimes .Seules les plantes dites « aromatiques » en produisent en quantité suffisantes .Ces plantes appartiennent aux familles des labiées (lavande , thym , sarriette , sauge , menthe) , des ombellifères (cumin ,carvi , anis , fenouil) , des myrtacées (eucalyptus , cajepout ,niaouli) des conifères (pin , cèdre , cyprès , genévrier) des rutacées (citron , orange , bergamote) et des lauracées (cannelle, camphrier , sassafras) (**Lardry et Hberkorn, 2007**).

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

Ces plantes se caractérisent par la présence de structures sécrétrices des huiles essentielles dans presque tous les organes du végétal (fleurs, graines, racines, feuilles, fruits...). Il s'agit de structures histologiques sécrétrices spécialisées qui diffèrent selon l'organe végétal considéré et qui sont souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante (**Iserin, 2001**).

Par exemple l'orange amer : *Citrus aurantium L*, de la famille des Rutacées le zeste, c'est-à-dire le péricarpe frais du fruits, fournit l'huile essentielle de l'orange amère ou « essence de curaçao », la fleur fournit « l'essence de Néroli » et l'hydrodistillation de la feuille, des ramilles et des petits fruits conduit à « l'essence de petits grains bigaradiers », la composition de ces trois huiles essentielles est différente (**Bruneton, 1999**).

D'après (**Bruneton, 1999**), les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux :

- ❖ Fleurs (bergamotier, tubéreuse).
- ❖ Feuilles (citronnelle, eucalyptus).
- ❖ Ecorces (cannelier).
- ❖ Bois (bois de rose).
- ❖ Racines (vétiver).
- ❖ Rhizomes (gingembre).
- ❖ Fruits (anis, badiane).
- ❖ Graines (muscade).

II.3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

II.3.1. Composition chimique des huiles essentielles :

L'étude de la composition chimique des huiles essentielles montre qu'il s'agit de mélanges complexes et variables dont les constituants sont deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques :

➤ Les terpénoïdes :

Dans le cas des huiles essentielles, seuls seront rencontrés les terpènes les plus volatils qui sont issus de la condensation d'unités isopréniques, et des composés aromatiques ; dérivés du phénylpropane qui sont :

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

↳ Les monoterpènes(C10) :

Constituants les plus simples de la série terpéniques, les monoterpènes sont issus du couplage « tête-queue » de deux unités isopréniques, ils sont composés de C10 (**Padua et al., 1999**). Ils peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques, et constituent parfois plus de 90%de l'huile essentielle (**Figure.09**) (**Bruneton, 1999**).

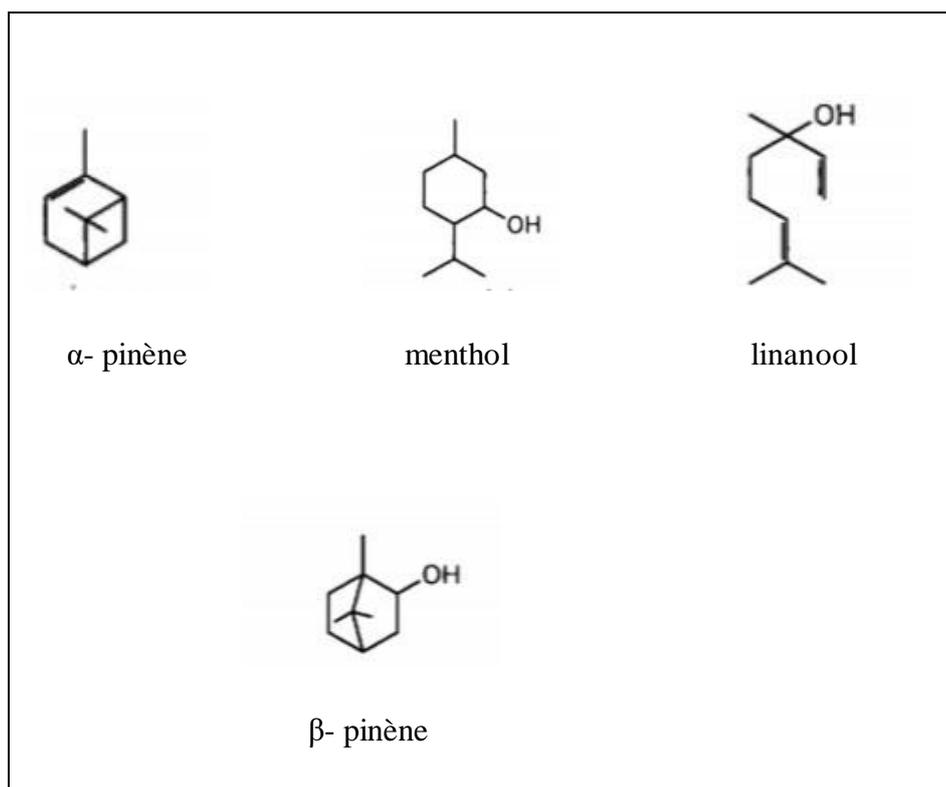


Figure 09 : Exemples des monoterpènes (**Padua et al., 1999**).

↳ Les sesquiterpènes(C15) :

Ce sont des dérivés d'hydrocarbures en C15H22 (assemblage de trois unités isoprènes). Il s'agit de la classe la plus diversifiée des terpènes qui se divisent en plusieurs catégories structurales, acycliques, monocycliques, bicycliques, tricycliques, polycycliques. Ils se trouvent sous forme d'hydrocarbures ou sous forme d'hydrocarbures oxygénés comme les alcools, les cétones, les aldéhydes, les acides et les lactones dans la nature (**Figure. 10**) (**Haib, 2011**).

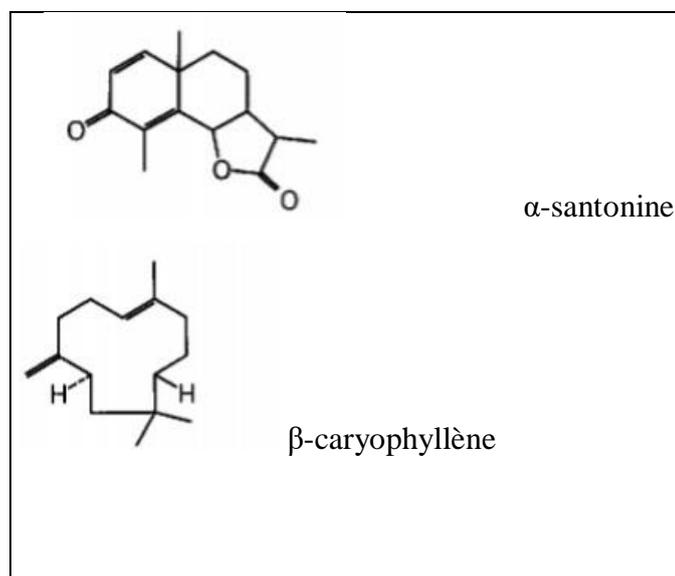


Figure 10 : Exemples des sesquiterpènes (Padua et al., 1999).

➤ Les composés aromatiques :

Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane sont beaucoup moins fréquents dans les huiles essentielles que les monoterpènes et sesquiterpènes tels que l'acide cinnamique et l'aldéhyde cinnamique (HE de cannelle), l'eugénol (HE de girofle), l'anéthol et l'aldéhyde anisique (HE de badiane, d'anis, de fenouil), ainsi que le safrole (HE de sassafras). Les lactones dérivées des acides cinnamiques, comme les coumarines, sont, pour la plupart, entraînaibles par la vapeur d'eau et ainsi présentes dans certaines huiles essentielles (ex. HE de céleri) (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

II.3.2. Compositions chimiques des diverses organes de *Tetraclinis articulata*

La composition en HE des feuilles du thuya de berbérie renferme des monoterpènes comme principaux composants. Plusieurs compositions sont décrites avec une variation quantitative de trois constituants majoritaires : α - pinène, le camphre et acétate de bornyle selon (El jemli et al., 2016), (Benali Toumi et al., 2013) et (Bourkhiss et al., 2007).

Concernant les cônes du thuya de berberie les composants majoritaires sont α -pinène et limonène (Chikoune et al., 2013) et en faisant une comparaison de la composition chimique en HE d'autres pays (Tunisie) on trouve comme composés majoritaires : p-cymèn-8-ol, α -Phellandrène, trans-pinocarvéol, carvone (Tékaya-Karoui et al., 2007).

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

L'huile essentielle des rameaux de thuya de berbérie présentent différentes compositions selon lieu de récolte. En Tunisie, le camphène, Z- β -ocimène, Nonanol considérés comme composants majoritaire (Tékaya-Karoui et al., 2007), et la région d'île de Malte contient principalement : l' α -pinène, acétate de bornyle, le camphre, le limonène selon (Buhagiar et al., 2000) et de la région de Khemisset au Maroc les composants majoritaires sont l' α -pinène, le limonène et le widdrol (Bourkhiss et al., 2007).

Concernant les grains de thuya du berbérie qui renferme 2 composés majoritaires d' α -pinène et limonène (Buhagiar et al., 2000) et d'après (Tékaya-Karoui et al., 2007) les racines de thuya du berbérie caractérisée par une forte teneur en camphène.

II.3.3. Propriétés physiques

Selon (Couic-Marinier, 2018) les huiles essentielles possèdent un certain nombre de propriétés physiques :

- Les huiles essentielles ne se dissolvent pas dans l'eau. Il faut utiliser un excipient pour leur mise en suspension dans un bain (tel un savon moussant) ou dans une tisane (miel).
- Les huiles essentielles ont, en revanche, une affinité toute particulière avec les graisses de toute nature, ainsi qu'avec l'alcool de titre élevé et la majorité des solvants organiques.
- La couleur des gouttes des HE au sortir de leur flacon en verre teinté varie du bleu marine au rouge brunâtre, en passant par le vert et le jaune pâle (la plus courante).

II.4. Fonctions des huiles essentielles

Le rôle exact que jouent les huiles essentielles dans la physiologie de la plante productrice reste encore mal connu. Il a été démontré qu'elles ont un effet attractif envers les animaux qui servent à la pollinisation et à la dispersion des graines, un effet répulsif contre les herbivores, un effet allopathique et servent également de moyen de défense contre les organismes phytopathogènes (Bouhdid et al, 2012).

II.5. Méthodes d'extraction

Pour extraire l'huile essentielle de *Tetraclinis articulata* deux processus ont été employés : l'hydrodistillation, d'après (Benali Toumi *et al.*, 2013) ; (Buhagiar *et al.*, 2000) ; (Tékaya-Karoui *et al.*, 2007) ; (Bourkhiss *et al.*, 2007) et l'hydrodistillation assistée par micro-onde selon (Djouahri *et al.*, 2012) :

➤ L'hydrodistillation

C'est la méthode la plus simple et la plus ancienne qui a été utilisée, l'hydrodistillation par le système de Clevenger consiste à placer la plante aromatique immergée dans l'eau, dans un alambic porté à ébullition.

L'eau à l'état vapeur en passant à travers le matériel végétal entraîne l'huile essentielle ; elle est refroidie et condensée dans un serpent.

L'huile essentielle est séparée de l'eau par différence de densité. L'eau obtenue est un hydrolat aromatique qui renferme des molécules odorantes (Raynaud, 2006).

➤ L'hydrodistillation assistée par micro-onde

Cette technique d'extraction a été développée au cours des dernières décennies à des fins analytiques. Le procédé consiste à irradier par micro-ondes de la matière végétale broyée en présence d'un solvant absorbant fortement les micro-ondes (le méthanol) pour l'extraction de composés polaires ou bien en présence d'un solvant n'absorbant pas les micro-ondes (hexane) pour l'extraction de composés apolaires. L'ensemble est chauffé sans jamais atteindre l'ébullition durant de courtes périodes entrecoupées par des étapes de refroidissement. (Haib, 2011).

II.6. Chémotype

Une huile essentielle chémotypée, ou H.E.C.T. est une HE qui possède une classification chimique. On peut également retrouver l'appellation chimiotypée (CT). Cela permet de définir la/(les) molécule(s) majoritaire(s) d'une HE (Laurent, 2017).

La mise en évidence du chémotype s'explique par le fait qu'une même plante aromatique, définie botaniquement, synthétise une essence unique qui sera chimiquement

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

différente en fonction du biotope dans lequel elle se développe. Cette classification dépend de facteurs qui peuvent influencer la composition de l'huile essentielle (Laurent, 2017).

La nature du sol, l'altitude, les conditions climatiques, l'ensoleillement et la population végétale avoisinante, entraînent des variations dans la composition biochimique de l'essence qui déterminent ces différents chémotypes (Lardry et Hberkorn, 2007) à titre d'exemple :

Le thym comprend 7 chémotype différents : cinéol, géraniol, linanol, terpinéol, thuyanol, thymol et carvacol (Lardry et Hberkorn, 2007).

II.7. Fluctuation de la composition chimique des huiles essentielles en fonction de la famille botanique

La composition chimique des huiles essentielles diffère d'une espèce à l'autre malgré l'appartenance à la même famille, on peut remarquer des différences au niveau du rendement, la quantité de composants des huiles essentielles et le nombre des composants. Tout ceci est dû à des facteurs écologiques, l'âge de la plante, climat, le génotype, le mode d'extraction, et la source géographique.

Boufares et al., 2019 ont fait des expérimentations sur la composition chimique des huiles essentielles de la partie aérienne (feuille) de 4 espèces de la famille des Cupressacées en l'occurrence , *Juniperus phoenicea* , *Juniperus oxycedrus* et *Cupressus sempervirens* , *Tetraclinis articulata* , ils ont trouvés que la composition des huiles essentielles de ces espèces était variable d'une espèce à une autre :

- ↪ le rendement de *C.sempervirens* est le meilleur avec une moyenne de 0,91% après *J.phoenicea* avec 0,76% ensuite *T.articulata* 0,6% et *J.oxycedrus* avec 0,4 %.
- ↪ le mono-terpène le plus répandu de la famille biochimique de l'essence extraite de *J.phoenicea* , *J.oxycedrus* et *C.sempervirens* est l' α - pinène et la teneur respectif est de (30,26% ;34,15% et 43%) ,par contre les sesquiterpènes esters et cétone sont moins répandus.
- ↪ Le composant majoritaire de *T.articulata* diffère dans les huiles essentielles des autres espèces en monoterpènes en particulier (α pinène 16,45%, limonène 12,75%) et ester (acétate de bornyle 28,42%).

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

II.8. Facteurs de variabilité des huiles essentielles

II.8.1. Influence de l'origine géographique

La composition de l'huile essentielle d'une plante aromatique diffère selon le pays dont elle provient. L'origine géographique apporte des précisions importantes sur le biotope et donc sur les principes actifs majoritaires produits (**Laurent, 2017**) (Tableau II).

Tableau II : Comparaison de composants majoritaires des feuilles de *Tetraclinis articulata* entre l'Algérie, Tunisie et Maroc. (**Larabi et al, 2015**).

| Composants majoritaires | Algérie | Tunisie | Maroc |
|-------------------------|---------|---------|-------|
| α -pinène | 3,2% | 23,54% | 16,8% |
| Camphre | 19,6% | 17,27% | 17,6% |
| Limonène | 2,8% | 5,98% | 5,7% |
| Bornéol | 6,3% | 4,57% | 4,7% |
| Acétate de bornyle | 18,7% | 0,12% | - |
| α -terpinol | 0,6% | 0,4% | 0,4% |
| Trans-caryophyllène | 7,1% | - | - |
| Germacrène-D | 7,6% | 0,04% | 0,3% |

II.8.2. Influence du mode et de la période de récolte

Les conditions de culture et de récolte, de séchage, de fragmentation et stockage ont un impact direct sur la qualité des végétaux.

- le mode de récolte joue aussi un rôle important dans la variabilité de la composition chimiques des huiles essentielles. si la récolte est faite de manière manuelle ou mécanique et si elle est issue ou non d'une culture biologique tout cela conduit à diverses huiles essentielles des espèces.
- La saison de récolte a aussi un rôle dans la variation des composés majoritaires des huiles essentielles (**Laurent, 2017**) (Tableau III).

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

Tableau III : Teneur en composés majoritaires en fonction de la date de récolte des feuilles adultes de Thuya de Berbérie (Bourkhiss et al, 2011).

| Les composés majoritaires | Période de récolte | | |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|
| | Janvier | Mars | Juin |
| α -pinène | 18,5 % | 16,8 % | 15,2 % |
| Limonène | 7,2 % | 5,7 % | 4,6 % |
| Camphre | 15,1 % | 18,6 % | 20,2 % |
| Bornéol | 7,3 % | 4,7 % | 3,2 % |
| Acétate de bornyle | 25,0 % | 30,6 % | 33,0 % |

II.8.3. Influence du cycle végétatif

Pour une espèce donnée, la proportion des différents constituants d'une HE peut varier tout au long du développement. C'est pour cela que toutes les plantes aromatiques ne sont pas cueillies au même stade. Des variations parfois très importantes sont couramment observées chez certaines espèces (Laurent, 2017), par exemple pour le thuya de Berbérie, la concentration en essence est maximale pour les feuilles adultes (soit une moyenne de 0,20%) par contre elle est minimale pour les feuilles juvéniles (soit une moyenne de 0,15%) (Bourkhiss et al, 2011) (Tableau IV).

Il sera donc très important de choisir la date de la cueillette en fonction du moment où la plante est la plus riche en essence.

Enfin, pour une même plante, on observe des modifications moléculaires selon son âge et l'état d'avancement de la maturité des parties végétales récoltées. Ainsi, les feuilles adultes ou mûres, produiront des HE différentes d'un point de vue biochimique.

Chapitre II : Généralités sur les Huiles essentielles

Tableau IV : Teneurs en huiles essentielles obtenues suivant l'âge des feuilles de Thuya de Berbèrie et durant les trois périodes de récolte (Bourkhiss *et al*, 2011).

| Période De récolte | Teneur moyenne (%) feuilles jeunes | CV(%) | Teneur Moyenne Feuilles adultes | CV(%) |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------|
| Janvier | 0,12 | 4,75 | 0,16 | 1,42 |
| Mars | 0,17 | 3,68 | 0,22 | 0,85 |
| Juin | 0,16 | 4,37 | 0,19 | 2,24 |

III.1. Présentation de l'étude

La présente étude est une étude rétrospective de travaux de recherches réalisés sur l'espèce *Tetraclinis articulata* par différents auteurs de différents pays méditerranéens notamment l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et l'île de Malte. Elle porte sur l'extraction des huiles essentielles et l'analyse de la composition chimique par GCMS

III.2. Matériel végétal :

Dans la littérature consultée différentes parties de la plante *Tetraclinis articulata* ont fait l'objet des études des chercheurs

La partie aérienne :

- ❖ Feuilles (**Benali Toumi et al., 2011**).
- ❖ Cônes et graines (**Buhagiar et al., 2000**).
- ❖ Des rameaux (**Bourkhiss et al., 2007**).

Et la partie sous terrainne (**Tékaya-karoui et al., 2007**).

III.2.1. Sites et périodes de récolte des échantillons

Le tableau V regroupe l'ensemble des informations sur le lieu, la période et la partie végétale récoltée

Tableau V : Sites et périodes de récoltes des échantillons.

| Auteurs | Partie végétale récoltée | Période de récolte | Lieu de récoltes |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| (Benali Toumi et al., 2011) | Feuilles | En juin 2008. | Commune d'Ouled Mimoun (la wilaya de Tlemcen) |
| (Bourkhiss et al., 2007) | Des rameaux | En septembre 2005. | la région de Khemisset (Nord-Ouest du Maroc). |
| (Buhagiar et al., 2000) | Cônes et graines | Début octobre juste avant l'ouverture des cônes. | Ces pièces ont été recueillies à la Campus universitaire (Msida, Malte). |
| (Tékaya-karoui et al., 2007) | Les racines | En mars 2005. | La station forestière de Zaghouan (Tunisie). |

III.2.2. Cueillette et séchage :

Un échantillon représentatif de chacune des quatre parties indiquées a été séché dans des conditions précises :

- Les feuilles d'une quantité environ (100 g) ont été séchées à l'air libre, à l'abri de la lumière pendant une semaine complète (Benali Toumi et al., 2011).
- Des rameaux de *Tetraclinis articulata* d'une quantité de (100 g) ont été séchés à l'ombre pendant dix jours, avant leur utilisation (Bourkhiss et al., 2007).
- Des échantillons de Cônes et graines de *Tetraclinis articulata* d'une quantité environ égale à 200 g chacun, ont été séchés à poids constant dans une pièce froide et sèche, à l'abri de la lumière directe (Buhagiar et al., 2000).
- Les racines ont été coupées et laissées séchées à la lumière du soleil avant leur utilisation (Tékaya-karoui et al., 2007).

III.3. Méthodes

III.3.1. Protocole d'extraction de l'huile essentielle

L'extraction des huiles essentielle de *Tetraclinis articulata* a été réalisée par la méthode d'hydrodistillation en utilisant un appareil de type Clevenger (**Figure.11**) (Annexe III). Cette dernière est retenue par la **Pharmacopée Européenne (2002)**.

III.3.2. Protocole général de la procédure expérimentale effectuée sur *Tetraclinis articulata*

Le plan général du protocole adopté par les différents chercheurs dans les travaux consultés, pour l'extraction et l'analyse de l'huile essentielle de la plante *Tetraclinis articulata* est illustré par la (**Figure.12**).

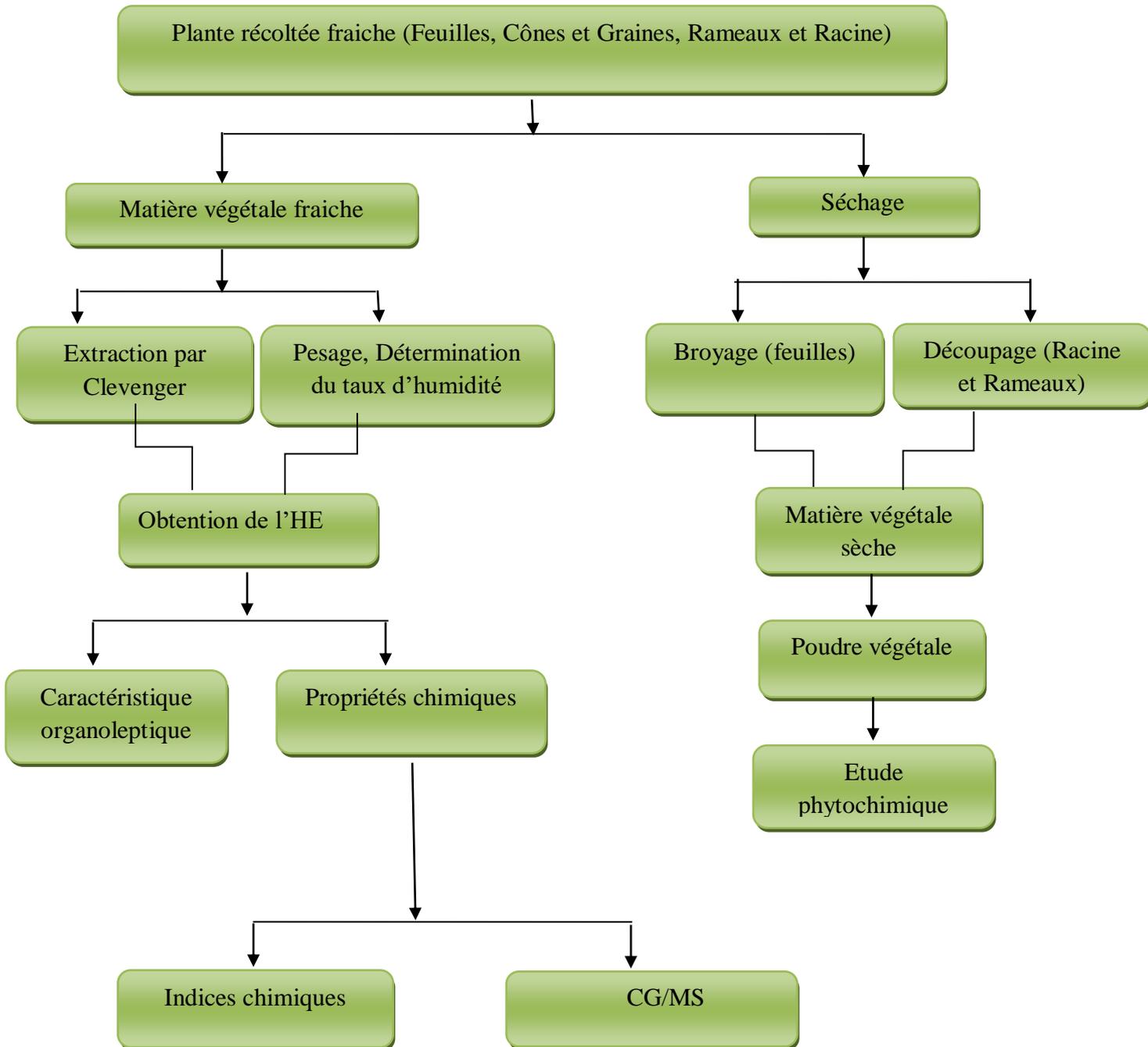


Figure 12 : Protocole général de la procédure expérimentale effectuée sur *Tetraclinis articulata*.

➤ **Etude phytochimique :**

L'étude phytochimique a pour but de détecter les différents composés chimiques existants au sein de l'espèce *Tetraclinis articulata*.

III.3.3. Méthodes d'extraction de l'huile essentielle de *Tetraclinis articulata*

La méthode d'extraction adoptée pour extraire les huiles essentielles des différentes parties de la plante est l'hydrodistillation. La matière végétale sèche de chaque échantillon (feuilles, rameaux, cônes et graine, racine) est introduite dans un ballon de l'appareil Clevenger.

- La durée de l'extraction est variable d'un auteur à un autre : trois heures, selon **(Benali Toumi et al., 2011)** et **(Bourkhiss et al., 2007)** , deux heures selon **(Buhagiar et al., 2000)** et quatre heures selon **(Tékaya-karoui et al., 2007)** on obtient vers la fin un distillat.
- Les huiles essentielles extraites des feuilles sont séparées de chaque distillat par décantation, après addition de 100 ml d'éther di-éthylique (C₄H₁₀O) **(Benali Toumi et al., 2011)**, elles sont ensuite séchées avec du sulfate de magnésium
- Néanmoins, selon **(Bourkhiss et al., 2007)** les rameaux ont été séchés avec du sulfate de sodium anhydre.
- L'huile essentielle a été stockée dans des flacons en verre scellés dans un réfrigérateur à 4°C à l'obscurité.

III.3.4. Méthodes d'Analyse chromatographique

Il est bien connu que les analyses quantitatives de la composition chimique de l'huile essentielle extraite par hydrodistillation se font par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse «CG-SM» **(Figure.13)** (Annexe III), et c'est la méthode utilisée par les quatre chercheurs dans leurs travaux.

III.3.4.1. Conditions opératoires

Selon les auteurs **(Benali Toumi et al., 2011)**, **(Bourkhiss et al., 2007)**, **(Buhagiar et al., 2000)** et **(Tékaya-karoui et al., 2007)** l'analyse est effectuée dans les conditions suivantes :

- Pour **(Benali Toumi et al., 2011)**
Les analyses chromatographiques ont été effectuées par :

Chapitre III : Matériel et Méthodes

- ↪ Le couplage de la chromatographie phase gazeuse, de marque HP 6890 série GC system, a un spectromètre de masse de type HP 5973 Mass sélective detector.
 - ↪ La température de l'injecteur est fixée à 250 °C. Le mode d'injection est Split (1/60).
 - ↪ Le gaz vecteur est l'hélium, son débit est fixe a 1 ml /min. Un impact électronique pour un champ de 70 eV est adopte pour la fragmentation.
- D'après (**Bourkhiss et al., 2007**)

Les analyses chromatographiques ont été effectuées sur :

- ↪ Un chromatographe en phase gazeuse à régulation électronique de pression, de type Hewlett-Packard (série HP 5890), couplé à un spectromètre de masse série HP 5772. Équipé d'une colonne capillaire en Silice fondue de type DB-5 de 25 m de longueur, 0,25 mm de diamètre et 0,25 µm d'épaisseur de film.
 - ↪ Un détecteur à ionisation de flamme réglé à 260°C et alimenté par un mélange de gaz H₂/air et d'un injecteur split-splitless réglé à 240°C. Le gaz vecteur est l'azote à 1 ml/min.
 - ↪ Le mode d'injection est split (rapport de fuite de 1/50, débit de 66 ml/min).
 - ↪ La température de la colonne est programmée de 50 à 250°C à raison de 4°C/min, puis est maintenue à 250°C pendant 20 min.
 - ↪ L'appareil est piloté par un système informatique de type " HP ChemStation ".
- (**Buhagiar et al., 2000**) ont réalisé l'analyse chromatographique avec :

- ↪ Un instrument HP-5890 Séries I1 équipé d'un HP-5.
- ↪ Une colonne capillaire HP-WAX (30 m x 0,25 mm, épaisseur de film de 0,25 µm) fonctionnant avec les éléments suivants programme de Température 60 °C pendant 10 min, rampe de 5 °C / min jusqu'à 220°C.
- ↪ Températures de l'injecteur et du détecteur 250°C.
- ↪ Azote gazeux porteur (5 ml / min), détecteur double FID, rapport de division 1:30 injection d'aliquotes de 0,5 µl.

- (Tékaya-karoui et al., 2007) Rapportent que les analyses chromatographiques ont été effectuées sur :
- ↳ Un chromatographe en phase gazeuse à régulation électronique de pression de Type Hewlett-Packard (série II 5890, MSD 5972), équipé d'une colonne capillaire en Silice fondue (30mm de longueur, 0,25 mm de diamètre et 0,25 μm d'épaisseur de film.).
 - ↳ Le gaz porteur était de l'hélium, avec un débit de 1,2 ml / min.
 - ↳ La température de la colonne est programmée de 50°C pour 1mn, après 50-280 °C à raison de 5°C/min, et par la suite maintenue isotherme pendant 20 min.
 - ↳ Le mode d'injection est split (rapport de fuite de 1/50 ; La quantité d'huile essentielle injectée est 0.1 μL de 1% de solution dilué dans l'hexane).
 - ↳ Températures de l'injecteur et du détecteur 250°C.
 - ↳ Spectromètre de masse HP 5972 enregistrement à un temps de balayage de 70 eV, Plage de masse de 1,5 s 40-300 amu.
 - ↳ Logiciel adopté pour gérer les spectres de masse et les chromatogrammes était un système informatique de type " ChemStation ".

III.3.5. Identifications des constituants des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata*

Les constituants des huiles essentielles des échantillons ont été détectés en se basant sur leurs indices de Kovats (**Bourkhiss et al., 2007; Benali Toumi et al., 2011**)

Et en comparant leurs spectres à ceux des produits de référence grâce à un logiciel d'aide à l'identification.

Buhagiar et al., (2000) affirme que l'identification des composants a été réalisée pour les deux colonnes par comparaison de leurs temps de rétention avec ceux d'échantillons authentiques purs, au moyen de leurs temps de rétention relatifs par rapport à deux étalons internes (Acétate de butyl cellosolve).

D'après (**Tékaya-karoui et al., 2007**) , les composants de l'huile ont été identifiés par comparaison de leurs spectres de masse avec ceux d'une bibliothèque informatique (bibliothèque wiley 275) une confirmation supplémentaire a été faite à partir des données d'indice de rétention générées à partir d'une série d'indices de rétention d'alcane (apparentés à C₉ -C₂₈ sur la colonne HP-5).

IV.1. Rendement en huile essentielle de *Tetraclinis articulata*

Les résultats du rendement en huile essentielle, obtenus par (Tékaya-karoui et al., 2007; Buhagiar et al., 2000; Bourkhiss et al., 2007; Benali Toumi et al., 2011) sont mentionnés dans les tableaux (VI, VII, VIII, IX) (Annexe IV).

D'après les résultats consignés dans les tableaux et les articles étudiés, on constate que le rendement en HE du *Tetraclinis articulata* (Thuya de Berbérie) diffère d'un pays à un autre, d'un auteur à un autre (Tableau X). Ces différences indiquent que la composition de l'huile essentielle végétale étudiée est influencée par la présence de divers facteurs tels que les facteurs locaux, climatiques, saisonniers, conditions expérimentales, les conditions de récolte et le mode d'extraction (Daferera et al., 2000).

Tableau X : Rendement en huile essentielle de *Tetraclinis articulata*.

| Auteurs et échantillons | Rendement (%) |
|-------------------------------------------|---------------|
| (Benali Toumi et al., 2011)/ Feuilles | 0.78 |
| (Bourkhiss et al., 2007)/ Rameaux | 0.41 |
| (Buhagiar et al., 2000)/ Cônes et graines | 0.31/0.55 |
| (Tékaya-karoui et al., 2007)/ Racines | 0.09 |

La variabilité dans le rendement de l'HE peut être expliquée globalement soit, par l'influence des facteurs pédoclimatiques (le sol et le climat), soit par des pertes de l'HE lors de la décantation (Vekiari et al., 2002; Bowles et Sackaitey, 1995).

IV.2. Compositions chimiques de l'huile essentielle par Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM)

La GC/MS a permis d'identifier les principaux constituants de l'huile essentielle de diverses parties du végétal (feuilles, rameaux, cônes, graines, racines).

Cette analyse a permis d'identifier 36 composés dans l'huile essentielle des feuilles de la région d'Ouled Mimoun en Algérie (Benali Toumi et al., 2011)

33 composés dans l'huile essentielle des rameaux au Maroc (**Bourkhiss et al., 2007**), 52 composés dans l'huile essentielle des racines en Tunisie (**Tékaya-karoui et al., 2007**), et 17 composés entre les graines et cônes à l'île de Malte (**Buhagiar et al., 2000**).

IV.3. Variabilités de la composition chimique de *Tetraclinis articulata*

- **L'huile essentielle des feuilles**

L'huile essentielle des feuilles de *Tetraclinis articulata*, a fait l'objet du plus grand nombre de travaux, environs quinze articles ont été publiés entre (2000-2020).

Benali Toumi et al., 2011 Ont rapporté que l'huile essentielle des feuilles de *Tetraclinis articulata* prélevées de l'Ouest algérien renferme treize hydrocarbures terpéniques avec un pourcentage de (11,30%). Par ailleurs, les cétones représentent le taux le plus élevé (30,05%), viennent ensuite les esters avec un pourcentage de (26,65%) et les alcools (21,93%) et moins riche en sesquiterpènes. Cette huile est caractérisée par la dominance du camphre (26,67%) suivi par Acétate de bornyle (25,79%), Bornéol (12,96%), l' α -pinène (3,65%) et le limonène (2,67%). Par contre cette composition chimique est relativement différente dans la région d'Alger, l'étude menée par (**Chikhouné et al., 2013**) dans la région de Tipaza, montre que les composés majoritaires sont l' α -pinène (19,8%) et l'acétate de bornyle (59,2%), On note aussi la présence du Camphre, mais à faibles teneurs (4,8%).

Ces résultats décrivent la variabilité des composants des huiles essentielle du thuya présents dans le territoire algérien, Leurs teneurs, en particulier celles des composés majoritaires, connaissent toutefois une variabilité apparente. De ce fait, la provenance, l'origine géographique et les conditions écologiques pourraient être la cause de cette variabilité, ce qui explique la différence des teneurs des composés majoritaires de l'huile essentielle de la région d'Ouled Mimoun (Tlemcen) et de celle de Tipaza en particulier l'altitude (497.3km et 70 km à l'ouest d'Alger, respectivement) les précipitations annuelles (420 mm et 642.4 mm, respectivement), les températures moyennes annuelles (15 °C et 17.6 °C, respectivement) ,et périodes de récolte (juin2008 et juillet 2009, respectivement) (**Maatoug, 2003; Benali Toumi et al., 2011; Chikhouné et al., 2013**).

- **L'huile essentielle des rameaux**

Bourkhiss et al., 2007 ont mené une étude sur les rameaux de *Tetraclinis articulata* provenant de la région Khemisset (Nord-Ouest du Maroc) et ont pu identifier Trente Trois composés dans l'huile essentielle, représentant plus de 80 % de la composition chimique totale de cette huile (Tableau V). Dont Les hydrocarbures monoterpéniques représentent (55,48 %) et sont essentiellement bicycliques (31,32 %) et aussi la présence de (18,08 %) de sesquiterpènes. L' α -pinène (30,22 %) et le limonène (22,29 %) sont majoritaires. On note aussi la présence, à un degré moindre, de widdrol (5,41 %), d'acétate de bornyle (4,76 %) et d'humulène (3,49%) (**Figure.14**) (Annexe IV). Les autres composés sont présents en faibles quantités.

Dans la région d'Oued Cherrat (Maroc), le composé majoritaire est le Bornyl acetate (30.5%), suivi par le Camphre (18.6%) et de borneol (10.2%) (**Ait Igri et al., 1990**).

- **L'huile essentielle des racines**

Une seule étude concerne l'huile essentielle des racines de *T. articulata* prélevées dans la région de Zaghouan (**Tékaya-karoui et al., 2007**). Ce travail réalisé en Tunisie fait état d'une composition très riche en camphène (70,2%). Elle renferme aussi une quantité appréciable en Camphre (1,42%) suivi par le δ 3-carène (1.16%) et le Bicyclogermacrene (1.18%).

- **L'huile essentielle des cônes**

Trois études ont été réalisées en Tunisie, à Malte et en Algérie concernant l'huile essentielle des cônes de *Tetraclinis articulata* (**Tékaya-karoui et al., 2007; Buhagiar et al., 2000; Chikhounne et al., 2013**). Ces études, rapportent une composition chimique dominée par l' α -pinène (68,2% en Malte, 57,5-75,0% en Algérie), suivi par le limonène (16,6% et 10,6%). Nous notons également la présence de β -myrcène (10,6%) dans l'huile essentielle d'Algérie (**Chikhounne et al., 2013**). Par contre (**Tékaya-karoui et al., 2007**) rapportent une composition très différente. Cet échantillon originaire de Tunisie renferment plusieurs composés présents en quantités appréciables : *p*-cymèn-8-ol (10,41%), β -Phellandène (8.09%) Trans-pinocarvéol (6,08%), Acétate de fenchyle (5.06%) et Nerol (3.85%).

- **L'huile essentielle des graines**

Un seul échantillon d'huile essentielle des graines de thuya récoltées à Msida (Malte) contient deux composés majoritaires : l' α -pinène (46,3%), et le limonène (25,3%). D'autres composés sont présents en quantités appréciables, il s'agit de : germacrène D (5,0%), acétate de bornyle (2,2%), sabinène (1,7%), myrcène (1,5%), camphre et β -caryophyllène (1,1%) (**Buhagiar et al., 2000**).

La variabilité remarquée dans la composition de l'huile essentielle de diverses parties de *Tetraclinis articulata*, met en évidence l'existence d'une diversité chimique, laquelle peut être expliquée soit, par l'influence des facteurs pédoclimatiques (le sol et le climat), les facteurs écologiques et même génétiques.

Dans le cadre de l'étude de la variabilité de la composition chimique et la biodiversité des espèces végétales dans différents pays du bassin méditerranéen, nous nous sommes intéressées à l'étude du thuya de Berbérie « *Tetraclinis articulata* » très répandue en Afrique du nord.

L'huile essentielle du thuya de Berbérie a fait l'objet d'études au Maroc et en Tunisie, en Algérie et à l'île de Malte, et diverses compositions chimiques ont été fournies en fonction de l'origine écotypique et de la partie utilisée de la plante. Notre étude est basée sur la comparaison de la composition chimique de cette huile obtenue par **(Benali Toumi et al., 2011; Boukhriss et al., 2007; Buhagiar et al., 2000; Tékaya-karoui et al., 2007)**.

Le rendement moyen en huile essentielle extraite dans différents organes végétaux est :

- ✓ Feuilles (0.78%), Rameaux (0.41%), Cônes (0.31%,) Graines (0.55%) et Racines (0.09%).

La caractérisation des HE par des analyses quantitatives «CG-SM» a permis d'identifier :

- ✓ 36 composés dans l'huile essentielle des feuilles représentant 95,91% de la composition totale, les composés monoterpéniques enregistrent (10.23%) avec une légère dominance de camphre (26,67%) avec l'Acétate de bornyle (25,79%) comme composés majoritaire, Un seul diterpène identifié, L'Abiétal, présente une quantité non négligeable (1,09%).
- ✓ 33 composés dans l'huile essentielle des rameaux représentant plus de 80 % de la composition chimique totale de cette huile, dont les hydrocarbures monoterpéniques représentent (55,48 %) et sont essentiellement bicycliques (31,32 %) avec une dominance de l' α -pinène (30,22 %) et le limonène (22,29 %) sont majoritaires.
- ✓ 17 composés dans l'huile essentielle des cônes et graines, dont les composées majoritaire sont α -pinène (68.2% et 46.3% respectivement) et le limonène (16.6% et 25.3% respectivement).
- ✓ 52 composés dans l'huile essentielle des racines analysée pour la première fois présentaient une grande différence de pourcentage des constituants par rapport à ceux des parties aériennes, dont les hydrocarbures monoterpéniques représentent (74.1%) avec composition très riche en camphène (70,2%).

Conclusion

Le profil chimique étudié permet de déduire que l'huile essentielle extraite des différentes parties de la plante appartient à différentes familles chimiques :

- L'huile essentielle des feuilles de *Tetraclinis articulata* d'Algérie appartient principalement à la classe des monoterpènes «camphre» (**Benali Toumi et al., 2011**).
- L'huile essentielle des rameaux de *Tetraclinis articulata* du Maroc appartient principalement à la classe des monoterpènes « α -pinène» (**Boukhriss et al., 2007**).
- L'huile essentielle des racines de *Tetraclinis articulata* de Tunisie appartient principalement à la classe des monoterpènes bicycliques «Camphène» (**Tékaya-karoui et al., 2007**).
- L'huile essentielle des cônes et graines de *Tetraclinis articulata* de l'île de Malte appartient principalement à la classe des monoterpènes « α -pinène» (**Buhagiar et al., 2000**).

Pour conclure, le thuya de Berbérie est susceptible d'avoir un intérêt industriel (économique) intéressant, car sa richesse en huile essentielle et l'homogénéité de sa composition chimique font de cette plante une notable source de camphre et camphène. Cette huile pourrait constituer une nouvelle source de widdrol, alcool sesquiterpénique rencontré chez les Cupressacées (**Runeberg, 1960**)

- Achhal A., Barrero M. et Ech-Chamikh S. 1985.** Productivité du thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters) dans le bassin versant du N'fis. s.l. : *Ecologia Mediterranea*, 1985. Vol. Tome XI Fascicule 2/3, pp. 201-212.
- Ait Igri M, Holeman M, Ildrissi A, Berrada M. 1990.** Contribution à l'étude des huiles essentielles des rameaux et de bois de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters. *Plantes Médicinales et Phytothérapie*. 1990. 24, pp. 36-43.
- Ayache, F. 2007.** Les résineux dans la région de Tlemcen (aspect écologique et cartographie). 2007, p 147.
- Barrero AF, Quilez-del Moral JF, Lucas R, Paya M, Akssira M, Akaad S, Mellouki F. 2003.** Diterpenoides from *tetraclinis articulata* that inhibit various human leucocyte functions. s.l. : *J.Nat.Prod*, 2003. 60, pp. 844-850.
- Ben jemia M, Chaabane S, Senatore F, Bruno M, Kchouk M.E.,. 2012.** Etudes sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle et de l'extrait de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast tunisien(Cupressacées). s.l. : *Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters*, 2012, pp. 1419-1430.
- Benabdeli. 1996.** Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Dhaya. Thèse de doctorat. 1996. p. 356.
- Benabdeli, k. 1992.** Le thuya: une essence noble en voie de disparition. s.l. : *E Ardh.*, 1992. pp. 38-42.
- Benabid, A. 1976.** Etude écologique, phytosociologique et sylvo-pastorale de la *Tétraclinaie* de l'Amisttène. 1976. p. 155.
- Benali Toumi F, Benyahia M, Hamel L, Mohamedi H et Boudaghen L. 2011.** Étude comparative de la composition chimique des huiles essentielles de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters originaire d'Algérie. 2011, pp. 93-100.
- Billy, C. 1991.** Glossaire de botanique. s.l. : Éd. Lechevalier, 1991.
- Boudy, P. 1950.** Economie forestière Nord Africaine. Tome II : Monographies et traitement des essences forestières, Fasc. 2 : Monographie et traitement du thuya de berbérie. s.l., paris : Larousse, 1950. pp. 707-739.
- Boudy, P. 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Paris, La maison rustique. 1952.
- Boufares K, Hassani A et Allam AS. 2019.** Essential oil composition and antimicrobial activities of some Cupressaceae species from Algeria against two phytopathogenic microorganisms. 2019. pp. 223-234.

Références Bibliographique

- Bouhdid S, Abrini J , Baudoux D , Manresa A et Zhiri A. 2012.** les huiles essentielles de l'origan compact et de la cannelle de ceylan:pouvoir antibactérien et mécanisme d'action. 2012. pp. 141-8.
- Bourkhiss B, Ouhssine M,Hnach M,Bourkhiss M,Satrani B,Farah A.,. 2007.** Composition chimique et bioactivité de l'huile essentielle des rameaux de *tetraclinis articulata*. s.l., Laboratoire de Biotechnologie microbienne, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, 14000 Kénitra, BP 133, Maroc. : Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 2007, pp. 75-84.
- Bourkhiss H, Hnach M,Lakhlifi T. 2011.** Effet de l'Age et du stade végétatif sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles de thuya de berbere. 2011. pp. 64-68.
- Bowles et Sackaitey, . 1995.** Inhibitory on flavor compounds on *Staphylococcus aureus*. 1995. Vol. 15, pp. 337-347.
- Bruneton, j. 1999.** Huile essentielles,In Pharmacognosie-phytochimie plantes médicinales. 3ème édition. s.l. : 3ème éd.Doc&t Tec.Lavoisier, 1999.
- Buhagiar J, Camilleri Podestà M. T,Cioni P. L,Flamini G et Morelli L,. 2000.** Essential Oil Composition of Different Parts of *Tetraclinis articulata*. s.l., Faculty of Medicine and Surgery University of Malta ;Dipartimento di Chimica Bioorganica , Università di Pisa , Via Bonanno 33, 56126, Pisa, Italy : Journal of Essential Oil Research, 2000, pp. 29-32.
- Chikhoun A, Hazzit M, Kerbouche L, Baaliouamer A, Aissat K. 2013.** *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters essential oils:chemical composition and biological activities. s.l. : Journal of Essential Oil Research, 2013. 25, pp. 300-307.
- Couic-Marinier F et Lobstein A. 2013.** Composition chimique des huiles essentielles. 2013. pp. 22-25.
- Couic-Marinier, F. 2018.** Les huiles essentielles en pratique,administration et précaution d'emploi. 2018. pp. 26-28.
- Daferera D.J, Ziogas B.N.et Polissiou M. 2000.** GC-MS analysis of essential oils from Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. 2000. pp. 2576–2581.
- Débacle, Z. 1892.** centre national de ressources textuelles et lexicales. [En ligne] 1892. [Citation : 21 aout 2020.]
- Djouahri A, Boudarene L,Meklati BY. 2012.** Effect of extraction method on chemical composition , antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oil from leaves of algerian *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters. 2012. pp. 32-36.

Références Bibliographique

El hamrouni, A. 1978. Etude phytosociologique et problème d'utilisation et d'aménagement dans les forêts de pind'Alep de la région de Kasserine (Tunisie centrale). [Thèse 3ème cycle]. 1978. p. 106 .

El jemli M, Kamal R, Marmouzi I, Doukkali Z, Boudida EH, Touati D et Nejari R. 2016. Chemical composition , acute toxicity , antioxidant and anti-inflammatory activities of Moroccan *Tetraclinis articulata* L. 2016. pp. 281-287.

El Mouridi, M. 2011. Caractérisation mécanique de la loupe de thuya (*Tetraclinis Articulata* (Vahl) Masters) en vue de sa valorisation. Thèse. Doct. s.l. : Univ. Mohammed V, 2011. p. 121.

Fennane M, . 1987. Etude phytoécologique des *Tetraclinaies* Marocaines. Aix-Marseille III 1987. p. 147.

Fennane, M. 1982. Analyse phytogéographique et phytoécologique des *Tetraclinaies* Marocaines. s.l. : Univ .Aix –Marseille II, 1982. p. 150.

Fralish. 2002. taxonomy and ecology of woody plants in north american forests:(Excluding Mexico and Subtropical Florida). New York : John Wiley& Sons,ed, 2002.

Haddad A, Lachenal D, Marechal A, Kaid-harche M, Janin G. 2005. Caractéristiques papetières de la pâte de bois de thuya de Berbérie (Algérie) (*Tetraclinis articulata* Vahl) obtenue par un procédé soude-anthraquinone. 2005.

Hadjadj, K. 2016. Étude de la productivité du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* Vahl Mast.) dans l'ouest algérien dans la perspective de développement durable. Thèse de Doctorat en Foresterie, Univ. de Tlemcen. 2016. p. 185.

Hadjadj-aoul A.S, Chouieb M et Loisel R. 2009. Effet des facteurs environnementaux sur les premiers stades de larégénération naturelle de *Tetraclinis articulata* (Vahl Master) en Oranie (Algérie). s.l. : Ecologia mediterranea, 2009. pp. 19-31.

Hadjadj-aoul, S. 1995. Les peuplements du thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata*, Vahl, Master) en Algérie :phytoécologie, Syntaxonomie et potentialités sylvicoles. Thèse Doc. d'Etat, Université Aix-Marseille III. 1995. p. 159p.

Haib, Abderrahim . 2011. Doctorat de L'université de Toulouse. Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. 2011. pp.6-12

Husson, Michel. 1970. centre national de ressources textuelles et lexicales. [En ligne] 1970. [Citation : 10 aout 2020.] <https://www.cnrtl.fr/definition/x%C3%A9rophile>.

Iserin, Paul. 2001. Encyclopédie des plantes médicinales . s.l. : Dorling Kindersiey, 2001.p.54.

Références Bibliographique

Jean-François F, Arnaud F et Denis T. 2019. aquaportail. [En ligne] 2019. [Citation : 22 aout 2020.] <https://www.aquaportail.com/definition-11176-rhytidome.html>.

Kerlouan. 2006. Environnement & Patrimoine. fleur sauvage de l'yonne. [En ligne] 2006.

Ladhem, N. 2016. Contribution à l'étude de l'effet antibactérien et antioxydant de l'extrait aqueux de *Tetraclinis articulata* (Thuya de Berbérie). 2016. pp. 32-33.

Lamnauer, Driss et Batanouny, Kamal. 2005. A guide to medicinal plant in north africa. s.l. : IUCN , 2005.p 269.

Landouer, Pierre-Yves. Les arbres maintenu. le parisien sans agent. [En ligne] [Citation : 12 aout 2020.] [http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/verticill%C3%A9/fr-fr/#:~:text=VERTICILLE%20\(s.%20m.\)%5Bv%C3%A8r%2D,sur%20un%20m%C3%AAme%20plan%20horizontal.](http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/verticill%C3%A9/fr-fr/#:~:text=VERTICILLE%20(s.%20m.)%5Bv%C3%A8r%2D,sur%20un%20m%C3%AAme%20plan%20horizontal.)

Larabi F, Benhassaini H, Bennaoum Z. 2015. Essentiel oil composition of *Tetraclinis articulata* (Vahl.) Masters.leaves from Algeria. 2 s.l. : International Journal of Herbal Medicine, 2015. 6, pp. 31-33.

Lardry JM et Hberkorn V, . 2007. L'aromathérapie et les huiles essentielles. 2007. pp. 14-7.

Laurent, julia. 2017. Conseils et utilisation des huiles essentielles les plus courant en officine. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie . 15 Décembre 2017.

Leutreuch-Belarouci. 1982. Le reboisement en Algérie et ses perspectives d'avenir. Thèse de doctorat. 1982. p. 600.

Maatoug, M. 2003. Effets des facteurs stationnels sur les propriétés physiques, mécaniques et papetières du bois du thuya de Maghreb (*Tetraclinis articulata* Vahl Master (Algérie occidentale). 2003. p. 140.

Mayer, Florence. 2012. Utilisation thérapeutique des huiles essentielles :Etude de cas en maison de retraite. le diplôme d'Etat de docteur en pharmacie . 12 mars 2012.p.7.

Miloudi, A. 1996. La régénération du thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl. Master) dans la forêt de Fergoug (Mascara). These. Mag Foresterie. I.N.A., El Harrach. 1996. p. 104.

Padua L.S, Bunyapraphatsara N, Lemmens R.H.M.J. 1999. Plant resources of South-East Asia . s.l. : medicinal and poisonous plants 1, 1999. Vol. (1), 12.pp.43-45

Pharmacopée Européenne, . 2002. 3ème édition Paris : s.n., 2002. 1235p.

Références Bibliographique

- Quézel, P. 1980.** Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen Actualité d'écologie forestière : Sol, flore, faune. Bordas 1980. pp. 205-256.
- Quézel, P. 2000.** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. s.l., Paris : Ibis Press, 2000. p. 117.
- Raynaud, Jean. 2006.** Prescription et conseil en aromathérapie. s.l. : TEC& DOC lavoisier, 2006.
- Runeberg, j . 1960.** The chemistry of the order Cupressales. Heartwood constituents of Juniperus utahensis Lemm. s.l. : Acta Chemeca scandinavica 14, 1960. 14, pp. 797-804.
- Tékaya-karoui A, Ben Jennet H et Mighri Z. 2007.** essential oil composition of terminal Branche, Cones and Roots of tetraclinis articulata from Tunisia. 2007. pp. 2495-2499.
- UICN. 2011.** Le Thuya de Berbérie « Découvre la biodiversité du Parc National d'Al Hoceima ». s.l., Gland, Suisse et Malaga, Espagne : UICN, 2011. p. 16.
- Vekiari S.A, Protopapadakis E et Papadopoulou P. 2002.** Gas chromatography- Mass spectroscopy analysis of aromatic compounds of leaves and peel from healthy and viroid-infected Citron plants. 2002. pp. 272-277.
- Zeraib, Azzeddine. 2010.** L'analyse biométrique de 17 populations de l'espèce Moricandia arvensis, récoltées de différentes régions de l'Est Algérien. 2010.
- Ziyyat A, Legssyer A, Mekhfi H, Dassouli A, Serhrouchni M, Benjelloun W. 1997.** Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco. s.l. : Journal of Ethnopharmacology 58, 1997. pp. 45-54.

Annexes

Annexe III

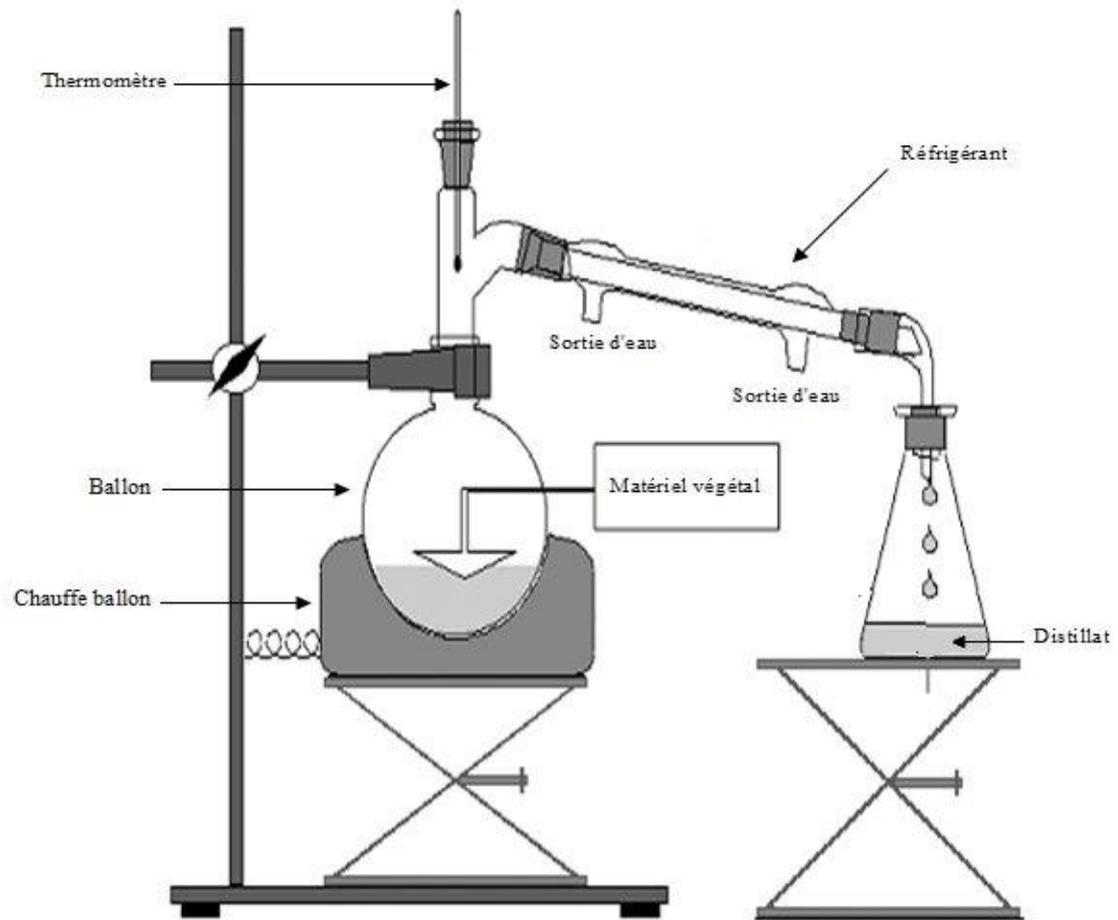


Figure 11 : Montage d'extraction de type Clevenger (Zeraib, 2010).

Annexe IV

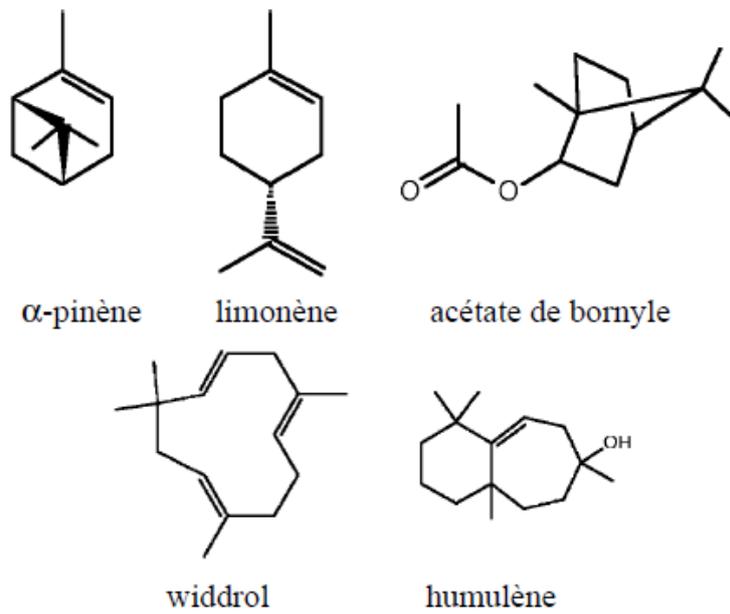


Figure 13 : Composés de l'huile essentielle des rameaux du Thuya de Berbérie (Boukhriss et al., 2007).

Annexes

Tableau VI : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des racines du Thuya de Berbérie (Tékaya-karoui et al., 2007).

| constituants | % | constituants | % |
|-----------------------|-------|------------------------|------|
| α -Fenchene | 0.22 | NI | 0.34 |
| camphène | 70.22 | Aromadendrene | 0.50 |
| sabinène | 0.42 | α -Hummulene | 0.47 |
| β -pinène | 0.34 | 4-Nonanol | 0.68 |
| β - myrcène | 0.14 | Bicyclogermacrene | 1.18 |
| n-Décane | 0.72 | δ -Cadinene | 0.57 |
| δ 3-carène | 1.16 | Hexyl benzene | 0.45 |
| Exo-Fenchol | 0.16 | α -Cadinene | 0.16 |
| Camphre | 1.42 | α -Calacorene | 1.11 |
| Trans-pinocarvéol | 0.35 | β - Calacorene | 1.07 |
| Myrtenal | 0.19 | (Z)-3-Hexenyl-benzoate | 0.23 |
| Octanoic acide | 0.71 | Caryophyllène oxide | 0.23 |
| Nerol | 0.56 | Pinocarvone | 0.47 |
| Acétate de fenchyle | 0.17 | Tetradecanol | 0.10 |
| β -Phellandrène | 0.70 | δ -Muurolol | 0.14 |
| Carvone | 0.26 | α -Cadinol | 0.12 |
| Piperitone oxide | 0.16 | β -Eudesmol | 0.18 |
| Geraniol | 0.13 | α -Bisabolol | 0.15 |
| Linalyl acetate | 0.36 | Cadalene | 0.25 |
| Decanol | 0.04 | (E-E) Famesol | 0.26 |
| 2-Decanol | 1.02 | Heptadecane | 0.03 |
| Acétate de bornyle | 0.12 | α -Cyperone | 0.06 |
| α -Ylangene | 0.38 | Eicosane | 0.10 |
| β -Patchoulene | 0.24 | Heneicosane | 0.27 |
| E- Caryophyllène | 0.10 | Docosane | 0.81 |
| Tetracosane | 0.03 | Tricosane | 0.03 |

Annexes

Tableau VII : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des cônes et graines du Thuya de Berbérie (Buhagiar et al., 2000).

| Constituants | Cônes (%) | Graines (%) |
|------------------------|-----------|-------------|
| α -pinène | 68.2 | 46.3 |
| β -pinène | - | 0.7 |
| Sabinene | 1.7 | 1.7 |
| Myrcene | 2.0 | 1.5 |
| Limonene | 16.6 | 25.3 |
| Camphre | - | 1.1 |
| Acétate de bornyle | 1.8 | 2.2 |
| β -Caryophyllène | - | 1.1 |
| α - Terpineol | 4.9 | - |
| Borneol | - | 0.4 |
| Verbenone | 1.4 | - |
| Gennacrene D | - | 5.0 |

Annexes

Tableau VIII : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des rameaux du Thuya de Berbérie (Boukhriss *et al.*, 2007).

| Constituants | % |
|---------------------------------------------|-------|
| α -thujène | 0.17 |
| α -pinène | 30.22 |
| Camphène | 0.20 |
| Verbénène | 0.22 |
| β -pinène | 0.38 |
| β -myrcène | 0.9 |
| α -Phellandrène | 0.07 |
| δ -3-carène | 0.13 |
| α -terpinène | 0.79 |
| p-cymène | 0.05 |
| limonène | 22.29 |
| (<i>E</i>)- <i>p</i> -mentha-2,4(8)-diène | 0.11 |
| α -campholénal | 0.52 |
| (<i>E</i>)-pinocarvéol | 0.36 |
| Camphre | 1.05 |
| Bornéol | 1.23 |
| 4-terpinéol | 0.37 |
| α -terpinéol | 0.45 |
| Myrténol | 0.28 |
| Verbénone | 0.37 |
| (<i>E</i>)-carvéol | 0.32 |
| (<i>Z</i>)-carvéol | 0.06 |
| Acétate de bornyle | 4.76 |
| Carvacrol | 0.39 |
| α -longipinène | 0.39 |
| α -copaène | 1.97 |
| γ -élémane | 1.58 |
| Déhydroaromadendrène | 0.61 |
| γ -cadinène | 0.73 |
| Oxyde de caryophyllène | 0.31 |
| Cédrol | 0.59 |
| Widdrol | 5.41 |
| α -humulène | 3.49 |

Annexes

Tableau IX : Pourcentages des principaux constituants de l'huile essentielle des feuilles du Thuya de Berbérie (Benali Toumi et al., 2011).

| Constituants | % |
|----------------------------|-------|
| α -pinène | 3.65 |
| Camphène | 0.26 |
| β -pinène | 0.11 |
| β -myrcène | 0.35 |
| limonène | 2.67 |
| Linalool oxyde | 0.11 |
| Terpinolene | 0.19 |
| Thuyone | 0.02 |
| Cis-pinene hydrate2 | 0.12 |
| α -campholénal | 0.32 |
| Trans-pinocarvéol | 0.60 |
| Camphre | 26.67 |
| Camphène hydraté | 2.88 |
| Iso-Bornéol | 0.18 |
| Pinocarvone | 0.17 |
| Borneol | 12.96 |
| Terpineol-4 | 2.68 |
| p-cymene-8 ol | 0.32 |
| α -terpinol | 2.90 |
| Myrténol | 1.19 |
| Verbénone | 2.78 |
| Trans-carvéol | 0.99 |
| Carvone | 0.41 |
| Acétate de bornyle | 25.79 |
| α -terpényl acétate | 0.86 |
| Trans-caryophyllène | 0.39 |
| α -humulène | 0.16 |
| Germacrene-D | 0.36 |
| Ionole | 0.58 |
| γ -cadinene | 0.56 |
| δ -cadinene | 0.23 |
| Caryophyllene oxyde | 1.09 |
| Globulol | 0.07 |
| Epi-cubenol (acedrene) | 0.88 |
| α -cadinol | 0.51 |
| Abiétal | 01.09 |