

I.1. Généralités sur les huiles essentielles :

Le règne végétal comprend des substances organiques de structure et d'utilisation variées. En effet, les plantes renferment des composants chimiques qui se répartissent en deux grands groupes (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

- ✓ Les constituants du métabolisme primaire: les glucides, les acides gras, protides, et les aminoacides des classes très importantes des composés chimiques naturels sont des matériaux qui existent en permanence au sein de la plante, Où permettent à l'organisme de former de l'énergie et des intermédiaires de biosynthèse (MERGHEM, 2009).
- ✓ Les constituants de métabolisme secondaire: flavonoïdes, les vitamines...et les essences végétales dites huiles essentielles, ces derniers ne sont pas nécessaires pour leurs évènements biochimiques essentiels, et diffèrent en fonctions des espèces. Leur rôle peut être intervient dans les relations qu'entretient la plante avec les organismes vivants qui l'entourent (parasites, pathogènes, prédateurs...) (AYAD, 2008).

I.2. Définition des huiles essentielles :

Au début du XVII siècle, Paracelse étudia l'extraction de l'âme des végétaux sous forme de quintessence à laquelle le nom d'esprit a été donné (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

Puis, on lui attribua le nom « d'essence » et finalement « d'huile essentielle ».

Le terme « huile » provient du fait que les substances volatiles contenues dans le végétal sont visqueuses et hydrophobe. Elles ont la propriété de se solubiliser dans huiles et les graisses. La dénomination « essentielle » reflète le caractère principal des plantes à dégager des odeurs agréables (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010; ABED et KAMBOUCHE, 2003).

Les huiles essentielles existent en grande partie dans le règne végétal. On y rencontre une très grande variété. Elles sont connues sous différents nom. On les appelle couramment :

- ✓ Essences.
- ✓ Essences végétales.
- ✓ Huiles ou essences aromatiques.
- ✓ Parfums.
- ✓ Et huiles volatiles (BEN ACHOURA, 2007).

AFNOR, 1989, définit l'huile essentielle comme un produit obtenu à partir d'une matière végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus, soit par distillation à sec. L'huile est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques.

Selon la pharmacopée européenne, ce sont des produits de composition généralement assez complexe renferme des principes volatils contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation (ABED et KAMBOUCHE, 2003).

I. 3. Caractéristiques physico-chimiques :

Les huiles essentielles diffèrent des huiles grasses, par leurs propriétés et leur composition, du fait qu'elles se volatilisent à la chaleur et que leurs taches sur le papier sont passagères. Autrefois, les essences étaient appréciées pour leurs propriétés organoleptiques (odeur, goût, couleur et aspect), vu l'usage qui en était fait comme matières aromatisants et parfumâtes.

Aujourd'hui, les propriétés physico- chimiques (densité, indice de réfraction, pouvoir rotatoire, solubilité dans l'alcool, indice d'acide, d'ester...) sont exigées pour leurs évaluations commerciales (DANIEL et MAX, 2010).

Les huiles essentielles sont des substances caractérisées par une forte odeur aromatique liée à leur volatilité et sont généralement incolores ou faiblement colorées (jaune pâle).

Cependant, on rencontre quelques-unes d'entre elles qui sont colorées comme l'essence de cannelle, d'absinthe et de camomille qui sont respectivement colorées en rouge, vert et bleu.

La plupart d'entre elles sont plus légères que l'eau. Il existe toutefois des huiles plus lourdes comme par exemple les essences de cannelle, girofle et sassafras.

Leur densité varie de 0,8 à 1,08, leur température d'ébullition de 160°C à 240°C (SALLE, 1991).

Elles ont des indices de réfraction élevés et elles sont le plus souvent optiquement actives car elles contiennent des molécules asymétriques.

Ces substances sont solubles dans les solvants organiques usuels et les huiles grasses. Elles sont liposolubles et très peu solubles dans l'eau à laquelle toutefois elles communiquent leur odeur. On parle alors d'eau aromatique.

Elles se caractérisent par des indices chimiques qui permettent d'évaluer approximativement la quantité de fonctions chimiques (acide, ester, alcool...) Présente dans les composants de l'essence (DANIEL et MAX, 2010).

De plus, elles sont sensibles à l'oxydation et ont tendance à se polymériser pour former des produits résineux (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003; BEKHECHI et ABDELOUAHID, 2010).

I.4. Classification des huiles essentielles

La détermination de la composition chimique a intéressée de nombreux chercheurs et les méthodes d'analyse chimique de plus sophistiquées ont permis d'identifier un très grand nombre de constituants des huiles essentielles (BRUNETON, 1999).

Les huiles essentielles sont des mélanges plus ou moins complexes dont les constituants jouent du point de vue parfume des rôles d'inégale importance: les uns contribuent puissamment à l'arome de l'essence, certains participent simplement à l'harmonie du mélange. D'autres sont complètement inodores ou peu odorants, ceux-ci ont un rôle tout à fait effacé (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010; ABED et KAMBOUCHE, 2003).

C'est en se basant sur la composition chimique des huiles essentielles qu'on a pu diviser les essences en:

- Essences hydrocarbures riches en terpènes comme l'essence de térébenthine, de citron,...Ce sont les plus nombreuses.
- Essences oxygénés comme l'essence de rose, de menthe,...Ce sont en général des essences solides.
- Essences sulfurées comme l'essence d'ail par exemple.
- En fait, la plupart des essences sont un mélange variable de carbures et de substances à fonctions chimiques diverses (VALNET, 1990).

Les constituants des huiles essentielles appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes: le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatique dérivés du phénylpropane, beaucoup moins fréquents, d'un part. Elles peuvent également renfermer divers produits issus de processus dégradatifs mettant en jeu des constituants non volatils (BRUNETON, 1999).

I.4.1. Les Terpènes :

I.4.1.1. Définition :

Le terme terpène inventé par Kékulé, vient de leur origine historique de l'arbre de terebinth : « *Pistacia Terebinthus* » (AYAD, 2008).

Du point de vue structural, Les terpènes sont des hydrocarbures naturels, soit cyclique soit à chaîne ouverte : leur formule brute est $(C_5H_x)_n$ dont le x est variable en

fonction du degré d'insaturation de la molécule et n peut prendre des valeurs (1-8) sauf dans les polyterpènes qui peut atteindre plus de 100 (le caoutchouc) (MALECKY, 2007; TOUAFEK, 2008).

Ils constituent une grande famille de composés prénologes, c'est-à-dire d'homologues a enchaînement isoprénique (La molécule de base est l'isoprène de formule C_5H_8), (figure 01) (MALECKY, 2007).

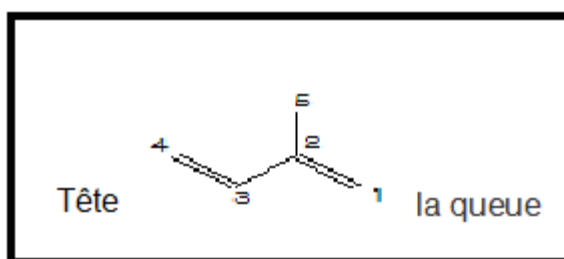


Figure 01: La molécule d'isoprène (MALECKY, 2007).

Le terme terpénoïde désigne un ensemble de substances présentant le squelette des terpènes avec une ou plusieurs fonctions chimiques (alcool, aldéhyde, cétone, acide, lactone, etc.) (AYAD, 2008).

Il existe selon la disposition des unités isopréniques dans un terpène, divers modes de liaisons possibles (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

Ainsi, on distingue autres que les liaisons de type tête-queue ou queue-queue, des liaisons particulières. La figure 02 rassemble les différents types de rencontrés dans les composés terpéniques (ALLINGER, 1975).

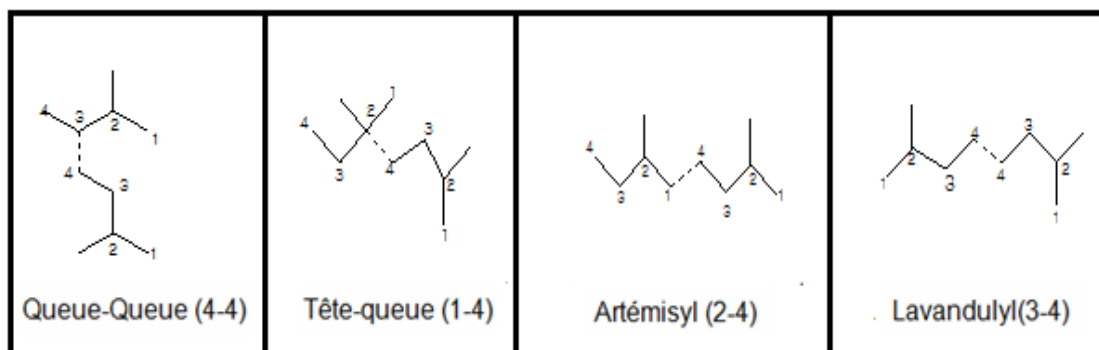


Figure 02: Liaisons typiques des terpènes (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2. Classification :

Dans le règne végétal, les terpénoïdes sont classés dans la catégorie des métabolites secondaires (avec les flavonoïdes et les alcaloïdes) (MALECKY, 2007).

Selon le nombre d'entités isoprène qui sont incorporées dans leurs structures, les terpènes sont subdivisés en :

- hémiterpènes : comptent une seule unité d'isoprène soit 5 atomes de carbone.
- monoterpènes comptent deux unités isoprènes soit 10 atomes de carbone.
- sesquiterpènes contiennent 3 unités isoprènes soit 15 atomes de carbone.
- diterpènes comportent 4 unités isoprènes soit 20 atomes de carbone.
- sesterpènes comptent 25 atomes de carbone.
- triterpènes comportent 30 atomes de carbone.
- tétraterpènes contiennent 40 atomes de carbone (HAMADA, 2008).

I.4.1.2.1. Hémiterpènes :

Dans la nature, il existe peu de composés naturels ayant une formule de C₅ ramifiée; parmi certains composés naturels trouvés chez les plantes qui peuvent être considérés comme hémiterpènes, seul l'isoprène a toutes les caractéristiques biogénétiques des terpènes (MALECKY, 2007).

I.4.1.2.2. Monoterpènes :

Constituants les plus simples de la série, les monoterpènes sont issus du couplage de deux unités « isopréniques ». Ils peuvent être acycliques (myrcène, ocimène), monocycliques (α et γ terpinène, p-cymène) ou bicycliques (pinène, camphène, sabinène). Ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle (citrus...). Les variations structurales justifient l'existence de nombreuses molécules: alcools (géraniol, α -terpinél, bornéol, trans-trans-farnésol), phénols (thymol), aldéhydes (citronellal), cétones (carvone, β -vetivone), esters (Acétate de cédryle), éthers (1,8-cinéole) (BRUNETON, 1999).

Les monoterpènes présentent des variations structurales les plus diverses: hydrocarbures, alcools, etc... (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.2.1. Les hydrocarbures :

Les carbures sont presque toujours présents. Ils présentent dans certains cas plus de 90% de l'huile essentielle: exemple de Citrus et térébenthine. Ils peuvent être (figure 03):

- ✓ Acycliques (myrcène, ocimène,...).
- ✓ Monocycliques (p-cymène, α et γ terpinène,...).
- ✓ Bicycliques (α - et β -pinène, 3 carène, camphène, sabinène,...) (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

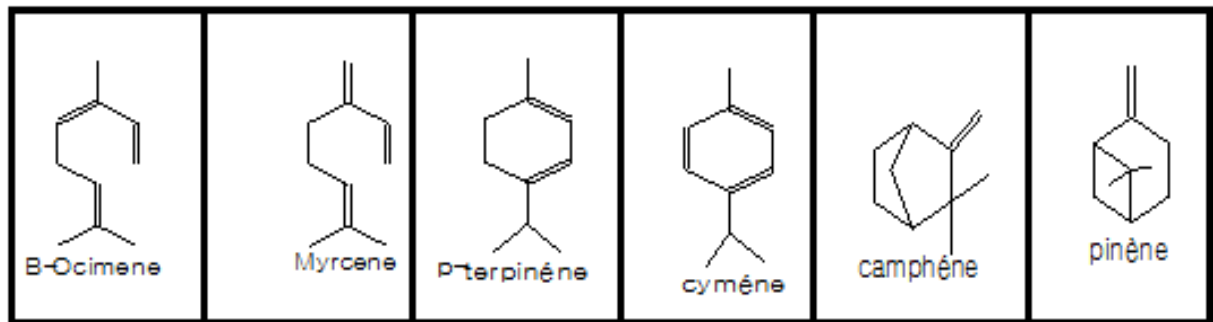


Figure 03: les hydrocarbures des monoterpènes (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.2.2. Les alcools :

Les alcools eux aussi peuvent être (figure 04):

- ✓ Acycliques (géraniol, linalol, citronellol,...).
- ✓ Monocycliques (menthol, α terpène, thymol,...).
- ✓ Bicycliques (bornéol, fenchol,...) (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

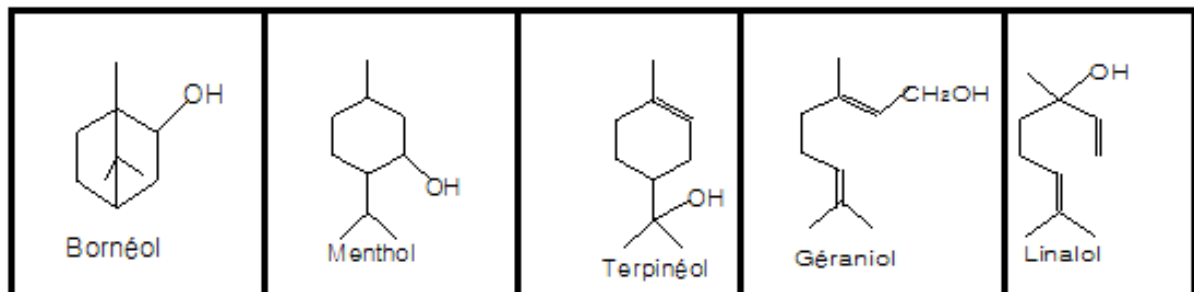


Figure 04: les alcools des monoterpènes (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.2.3. Les aldéhydes et les cétones :

Les dérivés carbonylés sont le plus souvent acycliques : géranol, néral, citronellal, tagétone,... Ils peuvent être monocycliques (menthone, carvone, pulégone,...), bicycliques (camphre, fenchone, thuyone,...), (figure 05) (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

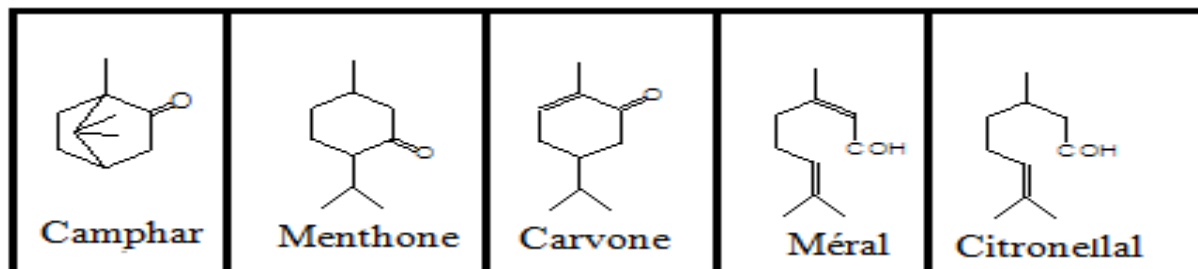


Figure 05 : les aldéhydes, cétones des monoterpènes (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.2.4. les esters :

On retrouve des esters acycliques : acétate ou propionate de linalyle, acétate de citronellyle, acétate de géranyle,... et monocycliques : acétate de menthyle, ou d' α terpène,... (figure 06) (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

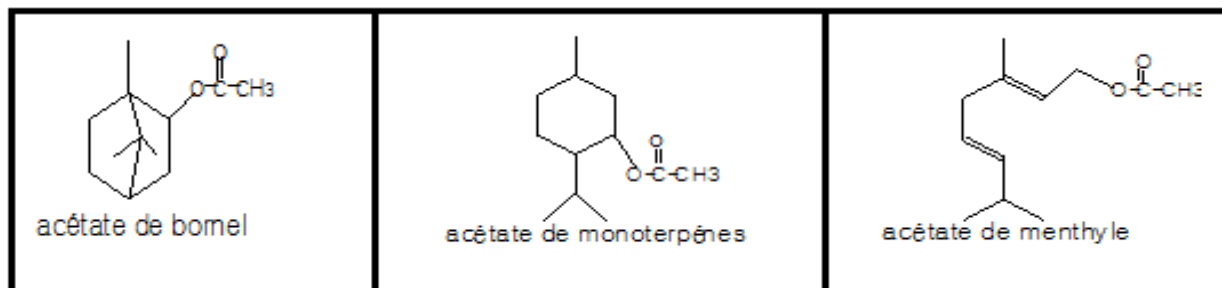


Figure 06 : les esters des monoterpènes (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.2.5. Les éthers :

Tell que: Cinéole, Ascaridole présentent dans la figure 07 (BEN ACHOURA, 2007).

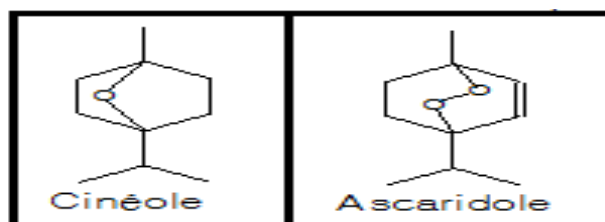


Figure 07: les éthers monoterpènes (MALECKY, 2007).

I.4.1.2.2.6. Dérivés phénoliques et autres :

Dans ce cas on peut citer : le thymol, le carvacrol, l'eugénol, le 1,8 cinéole (eucalyptol),... On trouvera ci-après quelques exemples de monoterpènes caractéristiques des huiles essentielles (figure 08) (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

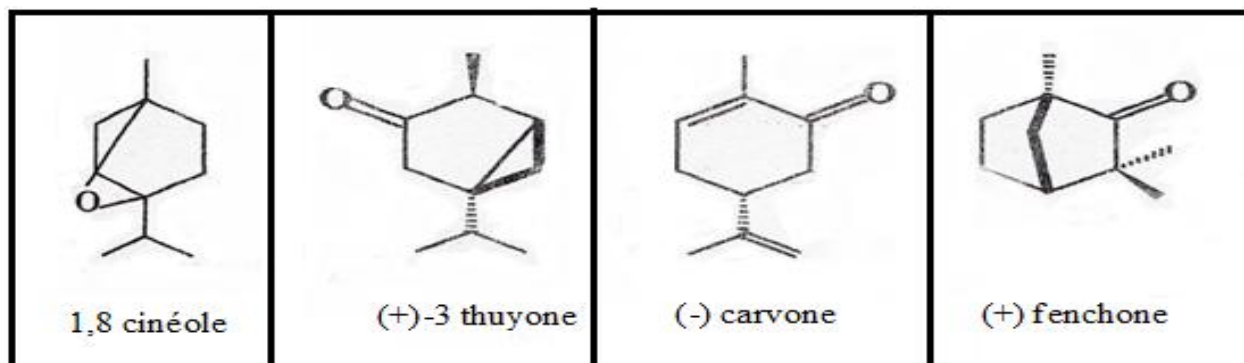


Figure 08: Dérivés phénoliques et autres (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003)

Les monoterpènes sont des stimulants, ils agissent sur les glandes mucipares, le système vasculaire notamment le système veino-lymphatique (rôle vasoconstricteur), et sur les glandes exocrines (au niveau digestif). Ils stimulent la glande endocrinienne (cortisol-like). Ils sont antalgiques (par la voie transcutanée) et antiseptiques (par la voie anale) (TOUAFEK, 2010).

I.4.1.2.3. Sesquiterpènes:

Ce n'est qu'en 1910 que Semmler détermine la structure correcte du premier composé sesquiterpénique, le β -santène, trois ans plus tard, Kerschbaum en 1913 établit la structure du trans -2-trans-6-farnésol, un alcool linéaire, la deuxième structure sesquiterpénique décrite avec précision (AYAD, 2008).

Les sesquiterpènes forment une série de composés qui renferment 15 atomes de carbones, 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 (BRUNETON, 1999).

I.4.1.2.3.1. Les hydrocarbures :

- ✓ Les monocycliques : comme T-farnésol.
- ✓ Les bicycliques : comme cadinène et le molécule de B-caryophyllène (figure 09) (BEN ACHOURA, 2007).

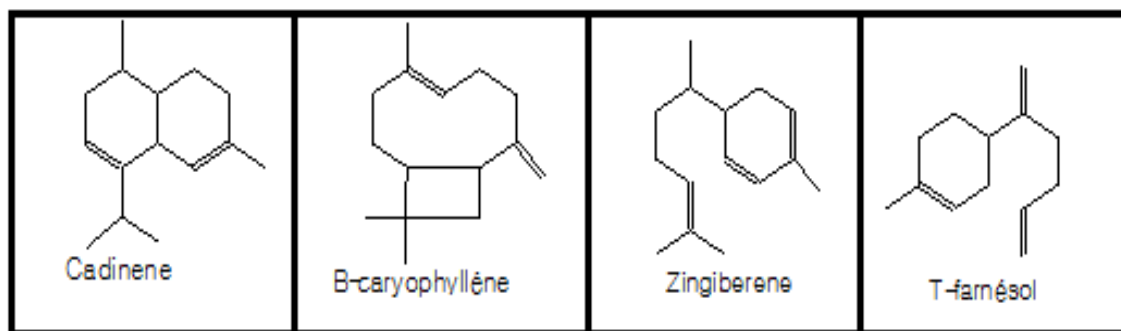


Figure 09 : les sesquiterpènes : les hydrocarbures (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.3.2. Les sesquiterpènes oxygénés :

Quelques exemples des sesquiterpènes : les cétones, les aldéhydes, les éthers (la figure 10) (BEN ACHOURA, 2007).

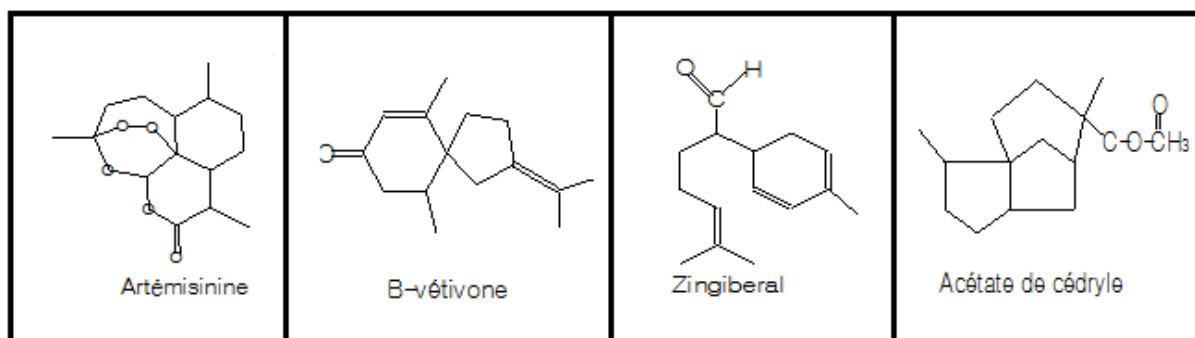


Figure 10 : les sesquiterpènes oxygénés (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.1.2.3.3. Les alcools :

- ✓ Les aliphatiques : comme Farnésol.
- ✓ Les monocycliques : comme α -cbebenol.
- ✓ Les bicycliques : comme β -santalol et carotol (figure11)(BEN ACHOURA, 2007).

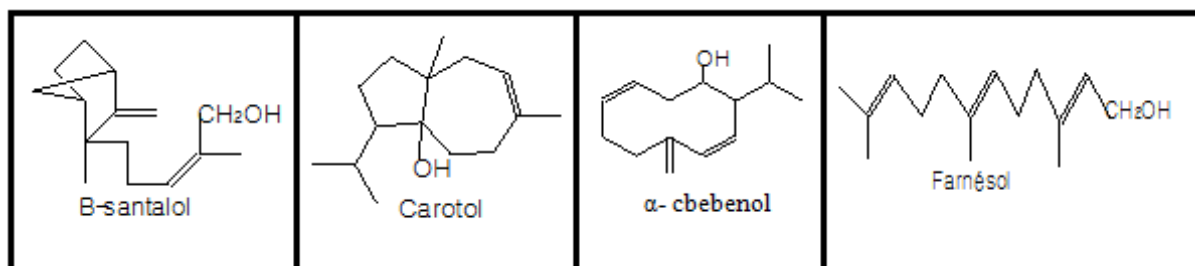


Figure 11: les sesquiterpènes : les alcools (BEN ACHOURA, 2007).

Les sesquiterpènes sont anti-inflammatoires (notamment anti-histaminiques) et sont recommandés dans les crises d'asthme. Ils agissent sur l'axe hypophyso-ovarien (hormonellike) (TOUAFEK, 2010).

I.4.1.2.4. Diterpènes :

Les diterpènes forment une catégorie bien plus vaste de terpènes en C_{20} , avec environ 2500 structures connues qui se répartissent en 20 groupes majeurs, ils sont biosynthétisés à la suite du couplage de quatre (4) unités isoprène, très répandus chez les végétaux supérieurs, ils sont aussi présent chez certains insectes et chez divers organismes marins. Il est rare de rencontrer les diterpènes comme constituants des huiles essentielles, à cause de leurs points d'ébullition les plus élevés. Ils peuvent être acycliques ou cycliques (figure 12) (HAMADA, 2008; TOUAFEK, 2010).

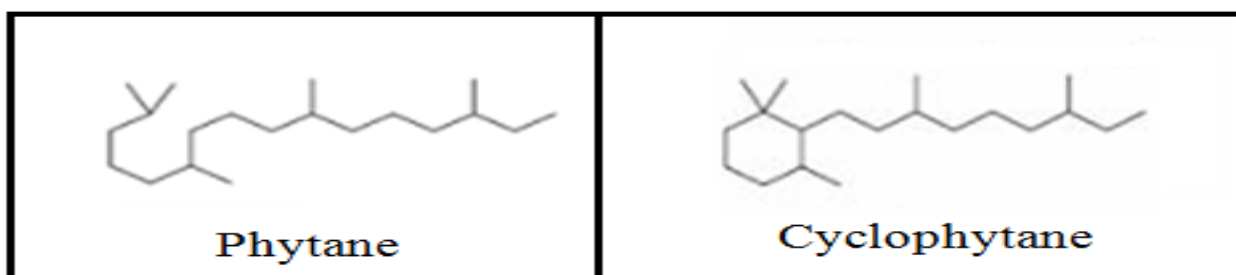


Figure 12: Exemples de quelques diterpène (MALECKY, 2007).

Les diterpènes possèdent diverses potentialités thérapeutiques: propriétés antihypertensives, abortives, antitumorales et anti-inflammatoires. Il y a lieu de signaler également l'intérêt des quinones diterpéniques dans le traitement de plusieurs affections myocardiques et la toxicité des amides diterpéniques à l'égard des insectes (BRUNETON, 1999).

Le rôle physiologique des diterpènes, comme celui de beaucoup d'autres métabolites secondaires n'est pas bien connu à l'exception des diterpènes à squelette gibberellines considérés comme des hormones de croissance. Cependant, certains d'entre eux sembleraient avoir un rôle dans la protection à l'encontre des prédateurs et d'autres constituants des revêtements foliaires limiteraient la perte en eau (HAMADA, 2008).

I.4.1.2.5. Sesterpènes :

Les sesterpènes sont des composés en C_{25} , construits à partir de 5 unités d'isoprène. Ils ont été isolés des plantes, des champignons, des insectes, et des éponges. Il y a plus de 150 sesterpènes bien connus, parmi lesquels une trentaine a une structure de furfurane, dérivé du 3,7,11,15,19-Pentaméthyleicosane (figure 13) (MALECKY, 2007).

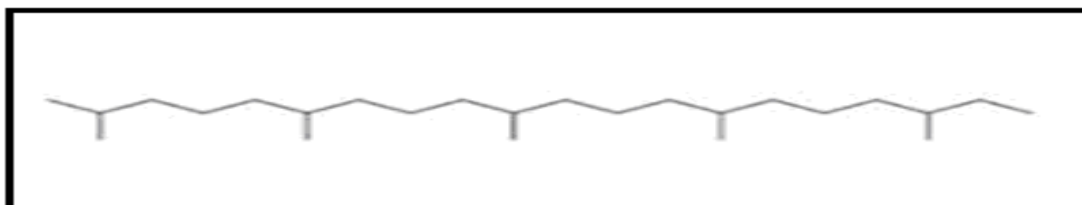


Figure 13: 3, 7, 11, 15,19-Pentaméthyleicosane (MALECKY, 2007).

Les sesterpènes sont plutôt rares dans la nature ; ils se trouvent soit sous forme linéaire soit cyclique, avec un, deux, trois ou quatre cycles (MALECKY, 2007).

I.4.1.2.6. Triterpènes :

Il y a plus de 1700 triterpènes dans la nature contenant dans leur squelette une trentaine d'atomes de carbone et dérivant du squalène, par une variété de cyclisations et d'autres modifications. Ils peuvent être classés en trois groupes : acyclique, tétracyclique et pentacyclique (figure 14). La forme acyclique étant très rare. Parmi les triterpènes acycliques (le squalène) (figure 15) (HAMADA, 2008; TOUAFEK, 2010).

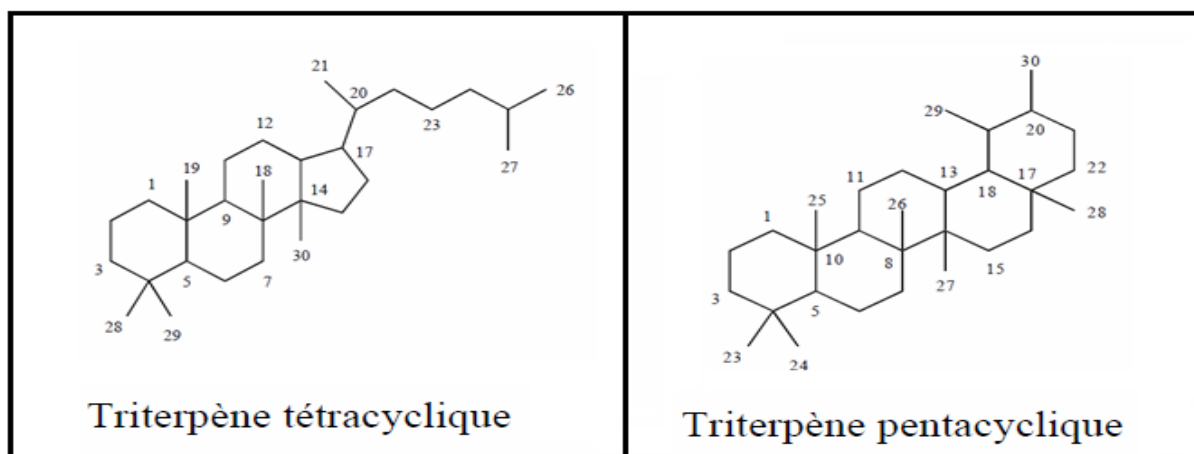


Figure 14 : Structure moléculaire de quelques triterpènes (MALECKY, 2007).

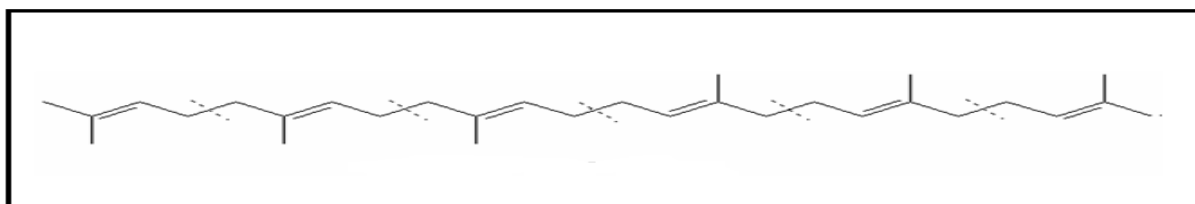


Figure 15: Structure moléculaire de squalène (MALECKY, 2007).

L'utilisation industrielle et l'intérêt thérapeutique des triterpènes représentent un enjeu capital dans le domaine de la recherche des substances naturelles (BRUNETON, 1999).

Permis ces intérêts :

- Des potentialités thérapeutiques dans les différents domaines : cytostatiques, anti-inflammatoires, analgésiques, insecticides, molluscicides,etc.
- Un intérêt considérable dans le secteur de l'industrie pharmaceutique particulièrement la production de médicaments stéroïdiques ayant des propriétés: contraceptifs, anabolisants, antinflammatoires,...etc (HAMADA, 2008).

I.4.1.2.7. Polyterpènes :

En général, les polyterpènes ou polyisoprènes se composent de plus de 8 unités d'isoprène. Ces terpènes se trouvent dans le caoutchouc naturel, il est l'exemple plus nomme. Donc les polyterpènes sont des macromolécules de poids moléculaire très élevé (Le caoutchouc naturel extrait de *l'Hévéa Brasiliensis* est un haut polymère de l'isoprène avec poids moléculaire de 140.000 à 210.000) (la figure 16). Sur le plan thérapeutique, ces composés n'ont pas des activités biologiques discutées (AYAD, 2008; MALECKY, 2007).

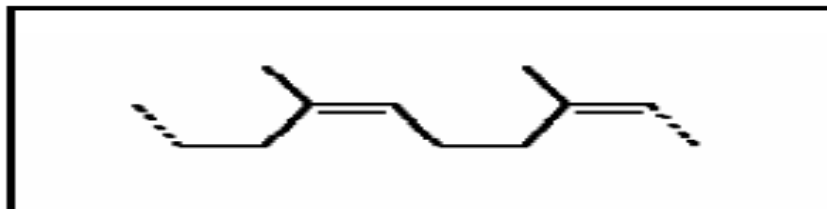


Figure 16 : Caoutchouc naturel (MALECKY, 2007).

I.4.1.3. Biosynthèse des terpènes :

La photosynthèse est à l'origine de la formation des huiles essentielles au sein du végétal par deux voies métaboliques secondaires.

La première est celle des composés terpéniques. Elle s'effectue par l'intermédiaire de l'acide mévalonique, via le pyrophosphate d'isopentén-3-yl.

La deuxième est celle des dérivés phénylpropanoïdes. Elle dérive du phosphate de l'énol de l'acide pyruvique, via l'acide shikimique (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

Les terpènes sont des produits d'un enchainement de leur unité de base, et la biosynthèse des terpènes se déclenche par activation de l'isoprène (activation par ATP) (BRUNETON, 1999).

L'isopentenyl pyrophosphate (IPP) qui est l'unité biologique isoprénique à partir de laquelle se forme par polymérisation et isomérisation tous les autres dérivés (MERGHEM, 2009).

Deux molécules d'acétyl CoA réagissent sous l'influence d'un β -cetothiolase pour donner de l'acéto-acétyl CoA, lequel en présence d'un enzyme condensant, fixe une troisième molécule d'acétyl CoA avec formation du β -(OH) β -(CH₃)-glutaryl CoA. La réduction du carboxyle combiné au CoA en alcool se produit ensuite en formant de l'acide mévalonique (MVA). Cette réduction se fait en 2 étapes par l'intermédiaire du NADPH:

Dans un premier temps, il forme un aldéhyde qui n'apparaît pas à l'état libre mais reste fixé sur l'enzyme assurant la réduction. L'acide mévalonique est, alors, phosphorylé par l'ATP qui lui cède en 2 étapes, 2 groupes phosphate. Ainsi activé, l'acide mévalonique est converti en pyrophosphate d'isopentenyl avec perte de CO₂ (figure 17) (MERGHEM, 2009).

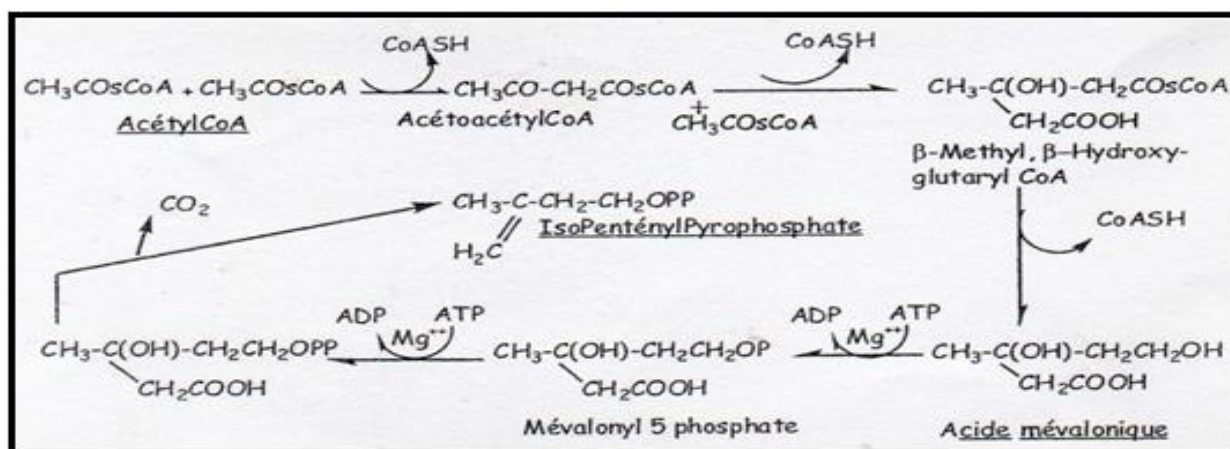


Figure 17: Synthèse de l'isopentényl pyrophosphate IPP et du géranyl PP (MERGHEM, 2009).

C'est l'IPP, qui constitue l'unité isoprénique d'enchaînement, il s'isomérisse en pyrophosphate de diméthyl-allyl schématiquement (figure 18).

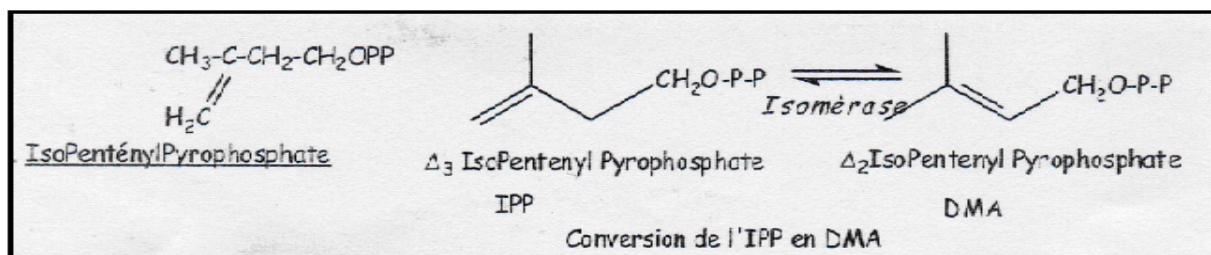


Figure 18 : La conversion d'IPP en DMA (MERGHEM, 2009).

Le pyrophosphate de diméthyl-allyl formé se condense avec une nouvelle molécule d'IPP, en donnant le pyrophosphate de Géranyl (figure 19) (MERGHEM, 2009).

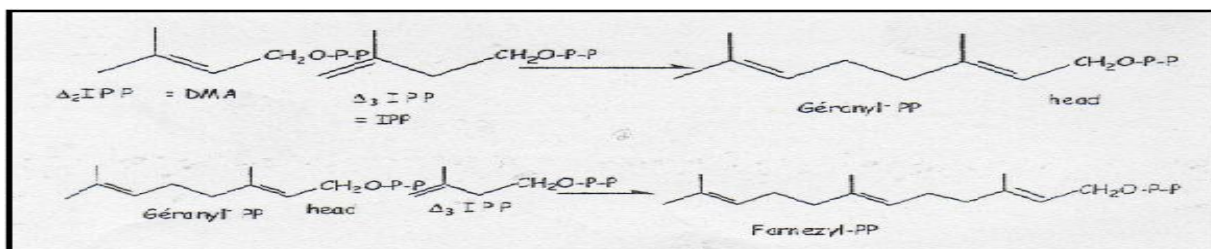


Figure 19 : la formation du pyrophosphate de Géranyl et de Farnesyl C₁₅ (MERGHEM, 2009).

Une addition similaire d'IPP conduit au pyrophosphate de Farnesyl C₁₅ (figure 19) , puis s'il y a addition d'une autre molécule on aura la formation du pyrophosphate de Géranyl-géranyl C₂₀ et ainsi de suite jusqu'à des terpènes comprenant 45 à 50 atomes de Carbone (figure 20). La synthèse des terpènes a lieu au niveau du réticulum endoplasmique (TOUAFEK, 2008; MERGHEM, 2009).

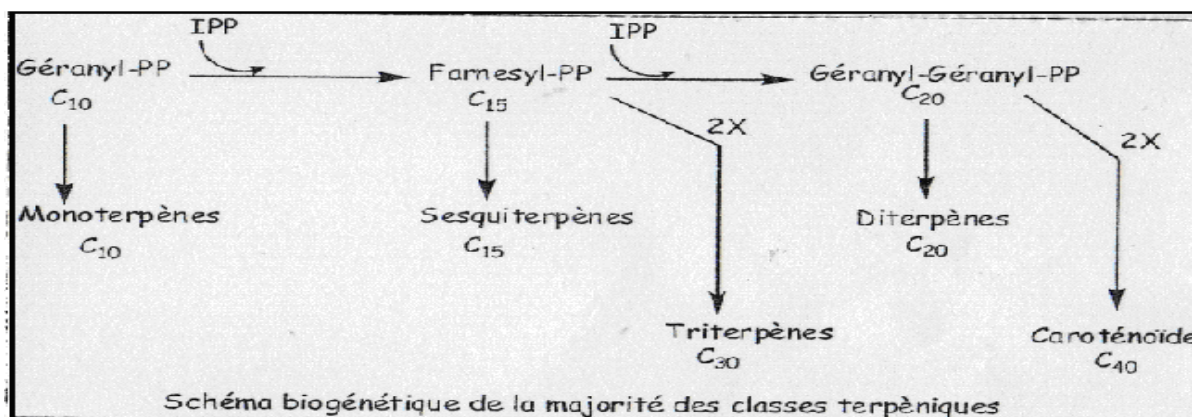


Figure 20: Polymérisation successive d'IPP- conversion en terpénoïdes supérieurs (MERGHEM, 2009).

I.4.2. Les composés aromatiques :

I.4.2.1. Définition :

Les dérivés du phénylpropane (C_6-C_3) sont beaucoup moins fréquents que les précédents. Ce sont très souvent des allyles- et des propénylphénols, parfois des aldéhydes (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

On peut également rencontrer dans les huiles essentielles:

- ❖ Des composés aromatiques à forme de phénylpropane (C_6-C_3) :

Comme l'eugénol d'essence de girofle, isoeugénol et E-anéthole...(figure 21) (BEN ACHOURA, 2007).

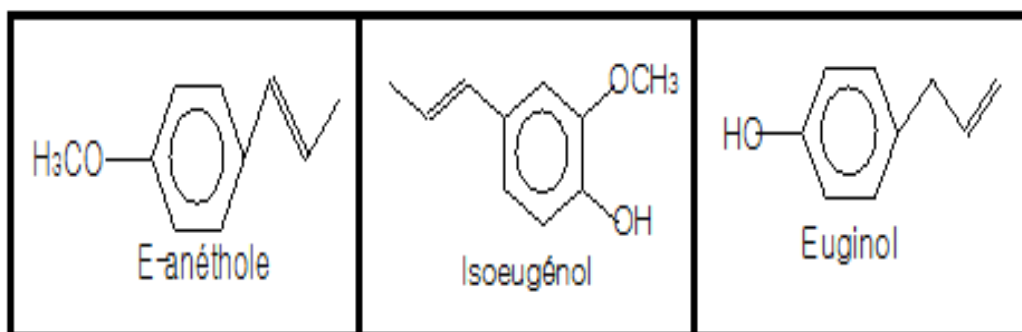


Figure 21 : composés aromatiques en (C_6-C_3) (BEN ACHOURA, 2007).

- ❖ Des composés aromatiques à forme phényl-éthyls (C_6-C_1):

Comme Vanilline, p.hydroxy benzaldehyde, anthranilate méthyle (figure 22) (BEN ACHOURA, 2007).

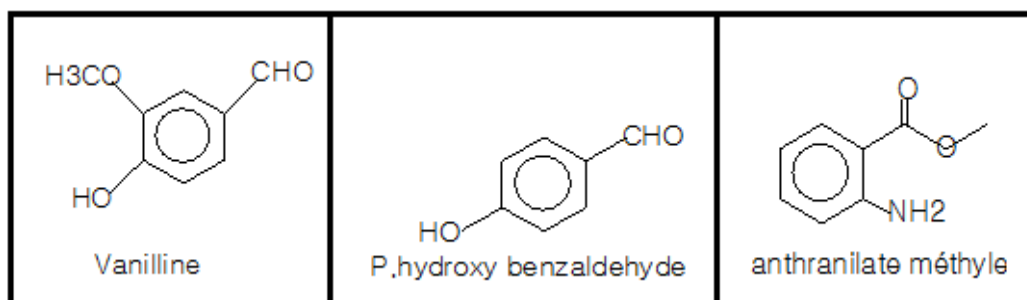


Figure 22 : composés aromatiques en (C_6-C_1) (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.2.2. Biosynthèse des dérivés du phénylpropane:

Les composés phényl propanoïdes empruntent une voie biosynthétique dite de l'acide shikimique.

C'est à partir de microorganismes (formation d'acides aminés aromatiques) qu'ont été obtenus les principaux résultats concernant la biosynthèse des composés phénoliques.

La voie de l'acide shikimique représente le principal mode d'accumulation des phénols dans les plantes.

L'acide shikimique est obtenu par condensation de l'acide pyruvique activé par phosphorylation, phosphoénol pyruvate, sur un sucre phosphorylé à quatre carbones, l'érythrose-4-phosphate (figure 23).

Un céto-acide phosphorylé à sept carbones est formé. Après réduction, céto-lisation intramoléculaire et déshydratation, il se transforme en acide shikimique (POULOZE et *al*, 1978; MALECKY, 2007).

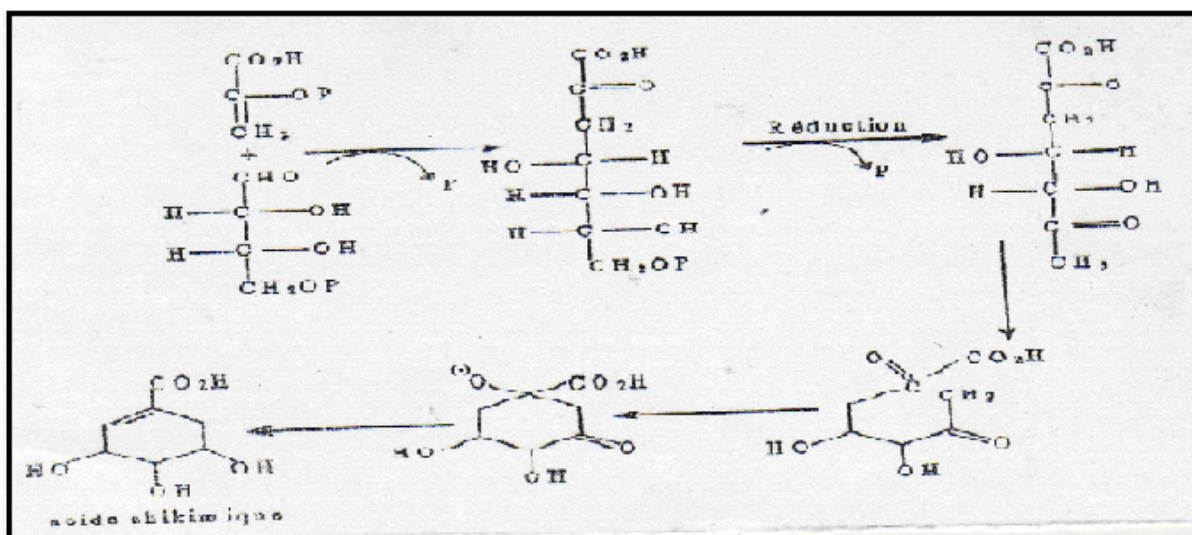


Figure 23: Formation d'acide shikimique (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

L'addition d'une deuxième molécule d'acide pyruvique activé donne l'acide préphénique qui par décarboxylation et élimination conduit à l'acide phényl pyruvique (figure 24) (BEN ACHOURA, 2007).

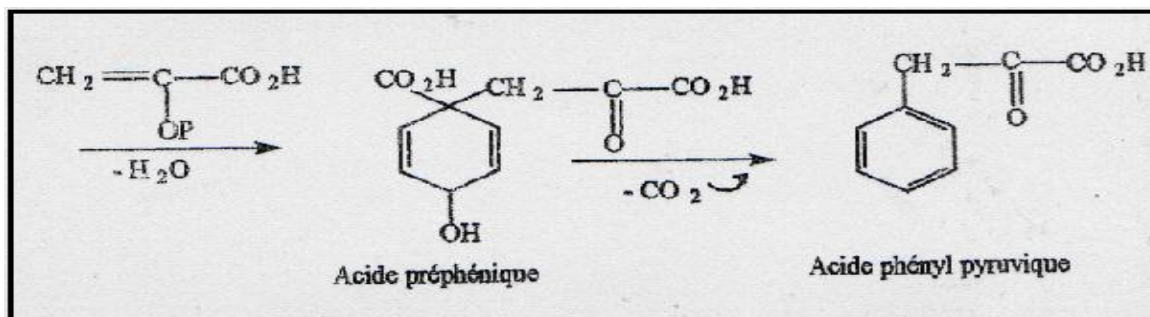


Figure 24: Formation d'acide phényl pyruvique (EL ABED et KAMBOUCHA, 2003).

Cette dernière se transforme en phénylalanine, acide aminé aromatique qui est à l'origine de la formation de nombreux composés aromatiques, comme par exemple les dérivés de l'acide cinnamique et du phénylpropane (figure 25) (BRUNETON, 1993).

Il faut noter que la biosynthèse de certains dérivés du propane peut s'expliquer par la voie de l'acide mévalonique.

Néanmoins, l'acide shikimique demeure le précurseur essentiel de nombreux composés aromatiques (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

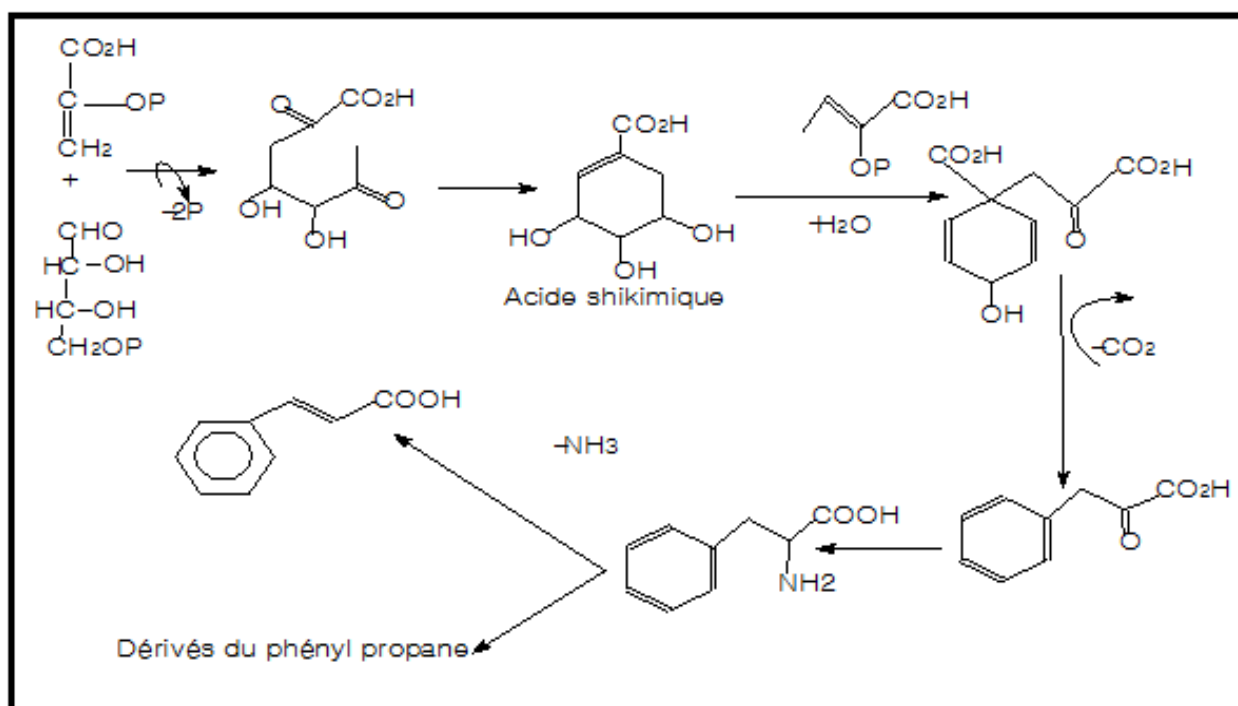


Figure 25 : Les étapes de biosynthèse des HEs appartir d'acide shikimique (BEN ACHOURA, 2007).

I.4.3. Les composés d'origines diverses:

Sont ceux qui n'appartiennent pas à une classe des composés aromatiques et des composés terpénoïques, tels que (figure 26):

- Les composés soufrés tels que l'huile, l'oignon, l'ail et la moutarde.
- Les composés où le nombre d'atomes de carbone piégés entre C₃ et C₁₀.
- Composés contenant de l'azote dans les fleurs de jasmin Kalondol et de citron (BEN ACHOURA, 2007).

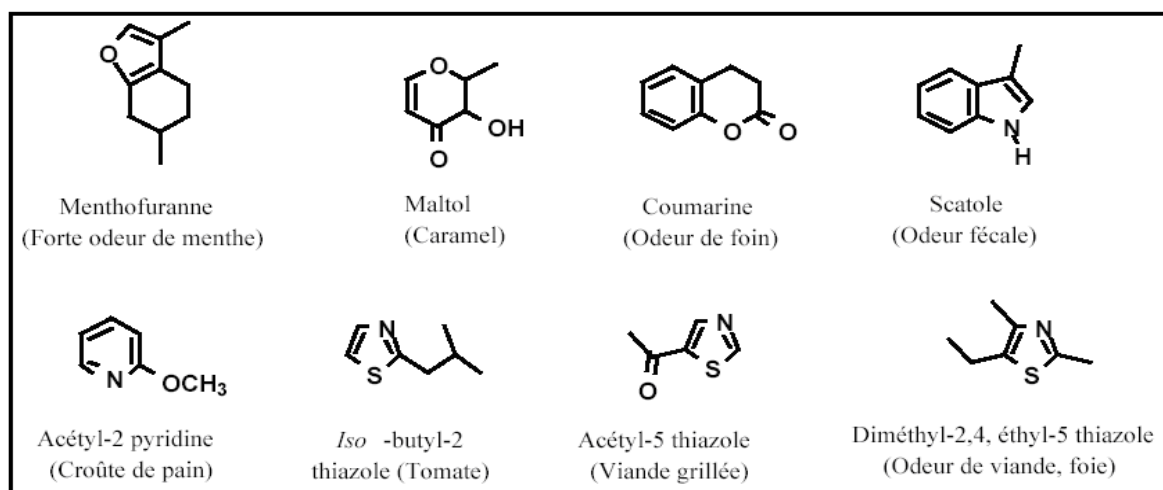


Figure 26: composés d'origine varies des huiles essentielles (BEN ACHOURA, 2007).

I.5. Fonction des huiles essentielles:

Le rôle des huiles essentielles n'a pas pu être clairement démontré. En effet, on considère qu'il s'agit de produits de déchets du métabolisme. Toutefois, certains autres pensent que la plante utilise son huile essentielle pour repousser les insectes, ou au contraire pour les attirer et favoriser la pollinisation (BELAÏCHE, 1979).

D'autres, la considère comme une ressource énergétique, facilitant certaines réactions chimiques. D'autre part, elles conservent l'humidité nécessaire à la vie des plantes exposées à des climats désertiques (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.6. Réparation et localisation des huiles essentielles :

Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieures. Il y a environ 500 000 plantes sur terre; 10 000 d'entre elles, environ, possèdent des propriétés médicinales (ENCYCLOPEDIE, 2001).

Les huiles essentielles peuvent être stockés dans tous les organes végétaux: fleurs (bergamotier, tubéreuse), mais aussi feuilles (citronnelle, eucalyptus...) et bien que cela soit moins habituel, dans les écorces (cannelier), des bois (bois de rose...), des (vétivie), des rhizomes (gingembre), des fruits (anis, badiane), des graines (muscade) (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

Si tous les organes d'une même espèce peuvent renfermer une huile essentielle, la composition de cette dernière peut varier selon la localisation. Ainsi dans le cas de l'oranger amer (*C. Aurantium L. subsp. aurantium, Rutacées*), le « zeste », c'est-à-dire le péricarpe frais du fruit, fournit l'huile essentielle d'orange amère ou «essence de Curaçao», la fleur fournit «essence de Néoli» et l'hydrodistillation de la feuilles, des ramilles et des petits fruits conduit à «l'essence l'essence de petit grain bigaradier». La composition de ces trois huiles essentielles est différente (BRUNETON, 1999).

Chez les plantes médicinales et aromatiques, à l'exception de leurs racines, tout l'appareil arien (tige, pétiole, feuilles et fleurs) présentent des formations glandulaires très développées, mais il ressort que la plus grande densité du système glandulaire est relevée sur le limbe foliaire. , donc il convient de noter que les huiles essentielles sont élaborées au sein du cytoplasme de certaines cellules; elles s'en séparent par synères, sous forme de petites gouttelettes qui confluent ensuite en plages plus ou moins étendues. Par suite elles sont accumulées, sous la cuticule dans les poils glandulaires sécréteurs situés au niveau des deux épidermes de la feuille et sur les tiges pendant la longue période allant de l'épanouissement des feuilles hors du bourgeon au stade de feuille adultes. De là, se remarque le rôle important de la cuticule dans le stockage des huiles essentielles. Chez les ombellifères, racine, tige et feuilles sont parcourues par des canaux sécréteurs qui contiennent un mélange d'essence et de résine. Ils sont surtout abondants dans les tiges, où l'on trouve en particulier un canal au niveau de chacune des cannelures. Ces canaux expliquent l'odeur forte qui se dégage des ombellifères lorsqu'on les écrase.

Les canaux sécréteurs des poches sécrétrices très allongées. Ces canaux sont protégés par une assise de tissus de soutien. En coupe transversale, le canal ressemble à une poche sécrétrice de faible diamètre entourée de 2 assises de cellules (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

Selon BELAÏCHE (1979), la morphologie des formations glandulaires permet de distinguer différents types d'éléments sécréteurs:

- ❖ Des cellules sécrétrices (schéma 2, figure 27), incluses dans l'épiderme ou à l'extrémité des poils.

- ❖ Des poches sécrétrices (schéma 1, figure 27), formées des cellules qui se sont modifiées (RICHTER, 1993).
- ❖ Des canaux sécréteurs, obtenus par l'allongement des poches sécrétrices.
- ❖ Des poils sécréteurs (voir schéma 3 et 4) (figure 27).

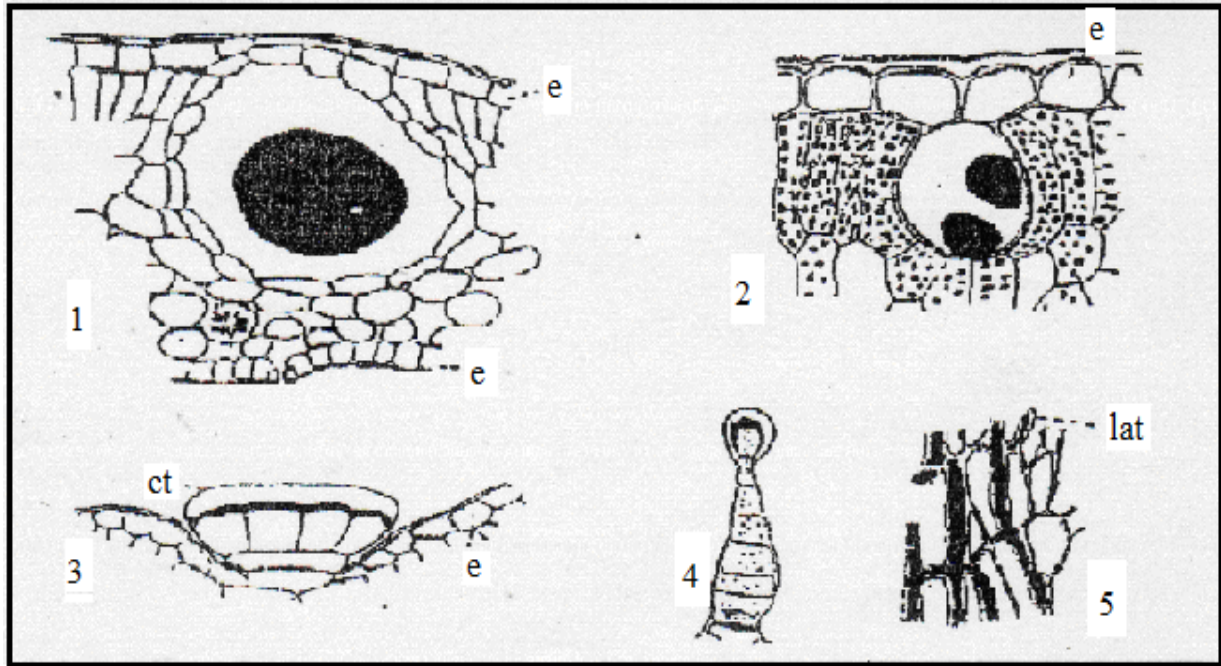


Figure 27: Quelques exemples d'appareil sécréteur
(BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

1, poche sécrétrice dans une feuille d'*Eucalyptus globulus* (Myrtacées); **2**, cellule isolée située sous l'épiderme, e, de la feuille de *Sassafras officinale* (Lauracées), **3**, poil de Menthe poivrée (*Mentha piperita*, Lamiacées): l'essence (en noir) s'accumule sous la cuticule, ct, très épaisse; **4**, poil de Patchouli (*Pogostemon*, Lamiacées); **5**, laticifères, lat, dans la racine d'un Salsifis (Astéracées).

I.7. Domaines d'utilisation des huiles essentielles :

Les plantes aromatiques et leurs huiles essentielles, peuvent avoir d'intéressantes applications dans différents secteurs :

I.7.1-En pharmacie :

L'importance des plantes aromatiques est indiscutable. Leur contenu en essence et la nature chimique des constituants de celle-ci leur confèrent de grandes perspectives

d'applications. Ces substances sont d'un grand intérêt pour le domaine médical et pharmaceutique (VALNET, 1984).

Les substances actives des plantes médicinales sont de deux types :

- Les produits du métabolisme primaire (essentiellement des saccharides), substances indispensables à la vie de la plante se trouvent dans toutes les plantes vertes grâce à la photosynthèse.
- Le second type de substances se compose des produits du métabolisme secondaire résultant essentiellement de l'assimilation de l'azote.

Ces produits apparaissent souvent inutiles à la plante, mais leurs effets thérapeutiques sont en revanche remarquables. Généralement, ces substances ne se trouvent pas dans la plante à l'état pur, mais sous forme de complexes qui se complètent et se renforcent dans leur action dans l'organisme (VALNET, 1984).

Dans leur grande majorité, les plantes médicinales sont utilisées en nature, en particulier pour la préparation d'infusion et sous la forme de préparations galéniques simple (sirop, gouttes, gélules...). Elles sont également utilisées pour l'obtention des huiles essentielles dont certaines peuvent avoir un intérêt médicamenteux (en particulier dans le domaine des antiseptiques externes) mais qui, majoritairement, sont surtout destinées à l'aromatisation des formes médicamenteuses destinées à la voie orale.

En effet, les huiles essentielles ont un champ d'action très large, elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celles des levures et des moisissures. L'effet biologique a souvent été trouvé supérieure à celui de plusieurs fongicides du commerce (SINGH et *al.*, 1983).

De plus, les huiles essentielles sont très efficaces sur les germes résistants aux antibiotiques; ce qui leur donne une place parmi les moyens thérapeutiques de désinfection. Elles sont utilisées comme anti-infectieux (girofle, eucalyptus, myrthe), analgésiques (girofle). Les essences d'eucalyptus qui, à cause de leur volatilité, favorisent l'expectoration et sont, de ce fait, indiquées dans les bronchites chroniques.

Les perspectives d'application peuvent s'étendre à d'autres domaines comme, par exemple, la stomatologie, le traitement des infections bactériennes et fongiques de la cavité buccale, les soins dentaire ou simplement pour l'hygiène dentaire sous forme de pâte à mâcher (DUQUENOIS, 1968).

I.7.2. En cosmétologie :

L'industrie des cosmétiques et le secteur des produits d'hygiène sont également des consommateurs, même si le coût souvent élevé des produits naturels conduit parfois à privilégier, pour les formulations de grande diffusion, les produits synthétiques (BRUNETON, 1999). Puisque la majorité des cosmétiques contiennent une certaine quantité d'huile essentielle comme élément parfumant, il serait probable que ces essences servent aussi à préserver ces cosmétiques tout en leur assurant une odeur agréable (BEKHECHI et ABDELOUAHID, 2010).

A la limite de la pharmacie et des produits d'hygiène, on notera la présence des huiles essentielles dans les préparations pour bains (bains « calmants » ou « relaxants »). On notera qu'il y a là une possibilité d'absorption percutanée des constituants terpéniques (BRUNETON, 1999).

I.7.3. Dans les industries agro-alimentaires :

L'activité antimicrobienne des extraits de plante utilisée dans l'assaisonnement des aliments a été reconnue depuis longtemps. C'est pour cela, que l'on pense de plus en plus à les utiliser dans la conservation des denrées alimentaires, sans pour autant dénaturer le goût puisque ces aromates entrent dans la composition des préparations alimentaires. C'est ainsi que l'on trouve le laurier dans certaines conserves et dans le miso qui est un met japonais traditionnel (BEKHECHI et ABDELOUAHID, 2010).

Le thym peut être utilisé dans diverses préparations alimentaires comme le smen par exemple (BEKHECHI et ABDELOUAHID, 2010).

BUSTA et FOEGEDING en 1983, ont eux aussi étudié la conservation alimentaire par les épices, les aromates et les huiles essentielles qui sont rajoutés aux aliments pour rehausser le goût et qui ont aussi un effet antimicrobien empêchant les contaminants alimentaires de se développer.

Il est à noter que les huiles essentielles sont aussi utilisées dans le milieu hospitalier pour la désinfection des locaux. En 1979, MALLEA et *al.* ont rapporté l'utilisation du « paragam ». Ce produit se présente sous forme de bombe qui diffuse un brouillard de particules de l'ordre de 10µm, d'une solution volatile à base d'essence naturelle (citron, lilas, citronnelle), d'alcools (salol, terpinéol), d'acide benzoïque et surtout d'huiles hydrogénées (75%).

Le pouvoir bactéricide, acaricide et fongistatique sont établis. Il s'est révélé sans aucune toxicité pour l'homme (BEKHECHI et ABDELOUAHID, 2010).

I.8. Aromathérapie:

L'aromathérapie est une branche de la phytothérapie. Elle utilise les propriétés odoriférantes des huiles essentielles que contiennent les plantes aromatiques.

L'aromathérapie est le traitement des maladies et le développement du potentiel humain par l'utilisation des huiles essentielles extraites de manière à en conserver les caractéristiques et les propriétés. Il est inexact que l'aromathérapie est une découverte récente, elle est plus justement une redécouverte (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

Nous savons que les anciens utilisent les huiles essentielles pour embaumer les corps, pour combattre la putréfaction et pour conserver les aliments. Ces exemples ne confirment pas seulement une diversité des propriétés autres que celle requises en parfumerie, ils font également ressortir la caractéristique fondamentale des essences: leur pouvoir anti bactériologie.

Pour lutter contre les agressions microbiennes, nous possédons aujourd'hui les antibiotiques ou autre médicaments similaires. Or ces produits nous seulement enravent l'infection mais affaiblissent en même temps l'organisme qui par la suite aura des difficultés à recréer son propre système de défense. Par contre, de récentes études ont pu revaloriser les essences et prouver que leur action antibiotique est exemple de toutes réactions secondaires sur les fonctions de l'organisme. En prenant connaissance de ces possibilités inestimable et des résultats positifs obtenus en laboratoire, on devrait être convaincu par ce type de traitement et le préférer à d'autres. L'essence de thym par exemple à un pouvoir antiseptique supérieur à celui de l'eau oxygénée et du gaïacol grâce à sa teneur en thymol. La solution aqueuse de thymol détruit en deux minutes le bacille de la typhoïde, en quater minutes le streptocoque, et en une heure le bacille de Koch (CHIEJ, 1982).

Par ailleurs, l'huile essentielle d'*Ammoides verticillata* (Nounkha) qui est riche en thymol, a une forte action stimulante et un remarquable pouvoir antimicrobien. En effet, elle a une action très intéressante sur les maladies microbiennes (ABDELOUAHID et BAKHECHI, 2004).

En effet depuis des millénaires, les essences sont exploitées pour leurs propriétés antiseptiques car elles s'opposent au développement des germes et les tuent. En outre, les essences sont dotées d'un pouvoir antitoxique, c'est-à-dire d'inactivation des produits de la détérioration des cellules: dans les plaies infectées, elles se lient aux toxines et les désactivent, non pas pour cacher les mauvaises odeurs mais pour empêcher les processus de décomposition.

Il a été prouvé que le pouvoir antiseptique des essences ne diminue pas avec le temps. Le corps ne « s'accoutume » pas aux essences, mais celles-ci agissent toujours efficacement, en renforçant les défenses de l'organisme (PADRINI et LUCHERONI, 1996)

Les propriétés antiseptiques des essences sont complétées par leur pouvoir cicatrisant: l'appel sanguin qu'elles provoquent stimule, en effet, la régénération cellulaire. Des solutions aqueuses d'huiles essentielles, surtout celles de la famille des labiées (Lavande, sauge, romarin, thym), facilitent les processus de réparation des tissus et stimulent la cicatrisation des plaies et des ulcères cutanés, en prévenant les surinfections bactériennes.

Les propriétés antiparasitaires de certaines essences (de thym, de géranium et de laurier) se manifestent en éloignant certains insectes, vers et moustiques et dans le traitement des pédiculoses et la gale. Certaines essences sont dotées de propriétés antitoxiques et antivenimeuses: elles contribuent à neutraliser le venin des guêpes, des abeilles et des araignées (par exemple la lavande et le géranium). De nombreuses essences ont des propriétés antirhumatismales et antinévralgiques (par exemple le romarin ou la camomille), utiles pour le traitement d'affections douloureuses articulaires (arthrose, goutte). Elles agissent aussi lorsqu'elles sont appliquées localement par compresse ou par massage, grâce à leur grande capacité de pénétration, de l'épiderme aux tissus profonds. La plupart des essences (par exemple le pin, le géranium, le basilic, la sarriette et le romarin) sont stimulantes et tonifiantes au niveau des glandes endocriniennes, entre autres, le cortex surrénal responsable de la capacité de résister au stress (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

De nombreuses essences ont des propriétés stimulantes sur l'appareil génital et sur la sensualité (par exemple le jasmin, le néroli ou le patchouli). L'action antispasmodique est commune à de nombreuses essences (par exemple la lavande, la marjolaine, la verveine et la mélisse). Elle permet de traiter des cas de spasmes viscéraux tels que les coliques, le syndrome du colon irritable, le hoquet ainsi que la tendance aux coliques hépatiques ou rénales (CHIEJ, 1982).

Certaines essences (par exemple la sauge, le cyprès, la verveine ou le fenouil) ont des propriétés hormonales, elles exercent une action de régulation sur les glandes endocriniennes, sans s'y substituer. La renaissance de l'aromathérapie marque une nouvelle étape dans la consécration scientifique d'une branche très importante qui est la phytothérapie (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9. Modes d'administration des huiles essentielles :

Les essences naturelles sont des substances très puissantes qui doivent être Utilisées selon des indications très précises. Avant de les employer, il faut les diluer dans une huile neutre car elles peuvent irriter la peau (BELAÏCHE, 1979).

Les essences peuvent être administrées, seules ou associées à d'autres principes actifs, par plusieurs voies et sous différentes formes. Elles s'utilisent en usage interne ou externe. Les principales voies externes: par inhalation, par l'absorption épidermique, bain (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

Les modes d'emploi par voie interne sont nombreux et variables (orale, vaginale, pulmonaire,...), les principales voies sont orale et rectale (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

I.9.1. Utilisation par voie externe :

La voie externe est préférable car elle est plus sûre et plus commode. En outre, avec une application locale, les essences pénètrent immédiatement à travers la peau et agissent directement sur les organes se trouvant dans la zone située sous la peau. La dose journalière est de 10 gouttes (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

Il existe de nombreuses voies d'utilisation des huiles essentielles. Les plus connues sont le bain aromatique, le massage, l'inhalation, le bain de bouche. (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.9.1. 1. Massage :

Pour un massage, on ajoute une ou plusieurs essences à l'huile de base qui servira de véhicule pour les essences sur la peau, les diluera pour éviter des d'irritation et permettra des mouvements de massage plus délié. Les huiles de base devront avoir une grande affinité avec la peau telles que les huiles végétales (l'huile de germe de blé, l'huile d'amande douce, l'huile de noisette, l'huile d'olive...) (DANIEL, 2010).

Les pourcentages de dilution sont les suivants: le contenu d'huile essentielle dans un mélange devrait osciller entre 1et 3% selon le type de troubles (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.1.2. Bain :

Pour un bain aromatique, la température de l'eau doit être chaude sans excès. On ajoutera l'essence juste au moment d'entrer dans la baignoire afin de pouvoir tirer l'effet maximum de l'évaporation des composants volatils. Ajoutez 4 ou 5 gouttes de l'essence choisie (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.1.3. Compresse :

Dans un bol d'eau chaude ou froide selon les besoins, versez 5 à 8 gouttes d'essences. Utilisez de l'eau chaude pour les douleurs musculaires et de l'eau froide pour les foulures, les fièvres, migraines. Les compresses aux essences peuvent atténuer la douleur ou les gonflements (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010; CHEVALLIER, 2001).

I.9.1.4. Evaporation :

Versez 3 ou 4 gouttes d'essence dans un diffuseur, constitué d'une source de chaleur (petite lampe ou bougie) sur laquelle se trouve une coupelle avec un peu d'eau. Sous l'effet de la chaleur, l'eau s'évapore et l'essence se volatilise. On peut également verser quelques gouttes d'essence dans un humidificateur prévu à cet effet ou dans un nébuliseur de spray. La nébulisation d'essence dans l'atmosphère a un pouvoir antiseptique puissant et elle est particulièrement recommandée dans les chambres des malades pour purifier l'air (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.1.5. Fumigation et inhalation :

Ajoutez de 5 à 8 d'essence dans une petite cuvette d'eau bouillante et respirez-en les vapeurs après vous être recouvert la tête d'une serviette de bain. Cette méthode est très efficace pour le traitement des affections des respiratoires (BABA AISSA, 1991).

I.9.1.6. Frictions :

2 ou 3 gouttes d'essence diluées dans une base alcoolisée que l'on frictionnera sur la région cutanée correspondant à l'organe touché (par exemple sur le thorax pour une toux, une bronchite, etc.), jusqu'à ce que cette partie soit réchauffée (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.1.7. Rinçages et gargarismes:

Ajoutez 2 ou 3 gouttes d'essence dans un verre d'eau bouillie pour des rinçages ou des gargarismes en cas d'inflammation des muqueuses de la bouche ou de la gorge (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.9.2. Utilisation par voie interne :**I.9.2.1. Par voie orale:**

Les essences peuvent être prises soit pures, soit en solution ou en poudre.

I.9.2.1.1. Absorption des huiles essentielles pures:

C'est la façon la plus simple. Deux ou trois gouttes d'huile essentielle déposées sur les aliments (un sucre, du miel, du yaourt,...) sont pris avant les repas et trois fois par jour (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.2.1.2. Absorption des huiles essentielles en solution:

Les essences peuvent être absorbées sous de nombreuses formes extractives en solution dans l'eau ou dans l'éthanol.

I.9.2.1.2.1. Absorption des huiles essentielles en solution aqueuse :

La tisane est l'une des formes extractives des principes actifs contenus dans le matériel végétal. Elle est obtenue de trois façons différentes: par décoction, infusion ou macération (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.2.1.2.1.1. La décoction:

La décoction consiste à mettre la ou les plantes dans l'eau généralement froide et à porter à l'ébullition pendant 5 à 15 minutes, afin de dissoudre les éléments actifs non volatils. Elle est réservée particulièrement pour les racines, les écorces et les baies. Les temps d'ébullition varient selon la résistance de la plante (CHEVALLIER, 2001).

I.9.2.1.2.1.2. L'infusion:

L'infusion est la forme de préparation la plus simple. Elle consiste à verser de l'eau bouillante sur les parties de la plante (fleurs, feuilles, tiges,...) et à laisser infuser 5 à 10

minutes. Puis, on filtre. Cette forme permet d'assurer une diffusion optimale des substances volatiles (BABA AISSA, 1991).

I.9.2.1.2.1.3. La macération:

La macération est utilisée généralement pour les plantes dont les produits actifs peuvent être dégradés sous l'effet de la chaleur. C'est une infusion qui consiste à laisser en contact à froid la plante avec le solvant pendant une période n'excédant pas 18 heures quand le solvant utilisé est l'eau (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003; CHEVALLIER, 2001).

I.9.2.1.2.2. Absorption des huiles essentielles en solution alcoolique:

L'huile essentielle peut être diluée dans de l'alcool, dans une proportion de 10% d'huile essentielle. La dose prescrite est de 20 à 25 gouttes de ce mélange 2 à 3 fois par jour dans un peu d'eau (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

Les alcoolés (ou solutions alcooliques) sont obtenus par macération du matériel végétal frais ou sec dans de l'alcool à des degrés de dilution et à des proportions variables. Selon le degré, la proportion de l'alcool et la durée de macération, on obtient ce qu'on appelle l'alcoolature, les alcoolats, les teintures,... (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.9.2.1.3. Absorption des huiles essentielles en poudre:

La poudre est obtenue par broyage et tamisage d'une partie de la plante ou de la plante entière dans certaines conditions. Elle renferme la totalité des principes actifs et est appelée le « Totum ». Cette poudre se présente dans le commerce sous forme de gélules.

Par ailleurs, les gélules sont obtenues également par incorporation de silice colloïdale aux huiles essentielles (SALLE, 1991).

I.9.2.2. Par voie rectale :

Par cette voie on utilise les huiles essentielles en lavements ou sous forme de suppositoires :

I.9.2.2.1. Lavements:

Le lavement consiste à injecter à l'aide d'une cannelle anorectale sous faible pression dans le colon une solution aqueuse contenant 20 gouttes d'un alcool renfermant 6% d'huile essentielle dans 2 litres d'eau (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

I.9.2.2.2. Les suppositoires:

L'introduction des suppositoires à base d'huiles essentielles se produit au niveau des veines hémorroïdaires supérieures. Ils ont facilement administrés. Toutefois ils sont moins efficaces que les lavements (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

I.9.2.3. Par voie vaginale :

Selon EL ABED et KAMBOUCHE, 2003 Les ovules et l'injection vaginale représentent le principal mode de traitement des infections vaginales.

I.9.2.3.1. Sous forme d'ovule:

Les ovules anti-infectieux sont prescrits pour lutter contre les infections répétitives (cystites,...). La posologie est d'un ovule tous les deux jours à base d'huiles essentielles choisies par l'aromatogramme (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.9.2.3.2. Sous forme d'injection vaginale:

On injecte une fois par jour un mélange contenant une huile végétale renfermant 15% d'huile essentielle diluée dans un litre d'eau tiède (EL ABED et KAMBOUCHE, 2003).

I.10. Facteurs de variabilité des huiles essentielles:

La qualité des huiles essentielles varie selon le moment de la cueillette, le type de terrain, le procédé d'extraction et la conservation (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.1. Origine botanique:

La composition d'une huile essentielle varie selon l'espèce productrice. Ainsi, il semble utile de souligner l'importance qu'il convient d'accorder à la nomenclature (BRUNETON, 1999).

I.10.2. Le Cycle végétatif :

Pour une espèce donnée, la proportion des différents constituants d'une huile essentielle peut varier tout au long du développement. Des variations parfois très importantes sont couramment observées dans certaines espèces, par exemple, pour la coriandre, la teneur en

linalol est 50% plus élevées chez le fruit mûr que chez fruit vert. De ce fait, le choix d'une date de récolte s'impose (BRUNETON, 1999).

I.10.3. Les Facteurs génétiques:

I.10.3.1. Les hybridations:

Les hybridations introduisent l'hétérogénéité dans une population végétale. La composition des huiles essentielles issues de ces hybrides est variable et se situe en général entre celles des huiles essentielles des plantes mères (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.3.2. Les facteurs de mutation:

Par mutation, une nouvelle race chimique peut apparaître. Elle peut être à peine perceptible dans les caractères morphologiques, alors qu'elle est susceptible de provoquer de profondes modifications dans la composition de l'huile essentielle (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.3.3. Les races chimiques:

Les chimiotypes - ou races chimiques – sont très fréquents chez les plantes à huiles essentielles, et ceci, pour une même espèce botanique.

Ces races chimiques peuvent fournir, de part leur composition, différentes huiles essentielles (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.4. Influence du procédé d'obtention des huiles essentielles:

La labilité des constituants des huiles essentielles explique que la composition du produit obtenu par hydrodistillation soit, le plus souvent, différente de celle du mélange initialement présent dans les organes sécréteurs du végétal. En effet, au cours de l'hydrodistillation, l'eau et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters, mais aussi, des réarrangements, des isomérisations, des racémisations et des oxydations.

Donc, pour assurer la qualité du produit et de sa constance, il faut étudier, définir et contrôler l'ensemble des paramètres, de la culture à l'élaboration du produit final (BRUNETON, 1999).

I.10.5. Influence des facteurs extrinsèques:

La nature du sol ainsi que les conditions climatiques influent directement sur la production des huiles essentielles. Parmi ces facteurs, nous avons: (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.5.1. La lumière et température:

Elles sont les plus influentes sur la composition des huiles essentielles, d'ailleurs, elles agissent sur celle-ci simultanément. Certains auteurs admettent que la quantité d'essence augmente dans la journée, atteint un maximum dans l'après-midi ou le soir et diminue dans la nuit. D'autres disent, que les plantes destinées à l'extraction des essences doivent être cueillies avant l'aube, lorsque la rosée du matin est encore présente et avant que la chaleur n'en libère la substance aromatique. Cependant, sur d'autres espèces, on signale que le rendement nocturne en essence est de 20% supérieur à celui du jour (PADRINI et LUCHERONI, 1996).

I.10.5.2. Les problèmes phytosanitaires:

I.10.5.2.1. Les maladies:

Les plantes malades sont caractérisées par une déformation, une chute prématurée des feuilles ainsi que des rameaux aux tâches brunes. La récolte est alors compromise, la qualité de l'essence dépréciée (BEKHECHI et ABED EL OUAHID, 2010).

I.10.5.2.2. Les ennemis animaux:

Les plus dévastateurs et donc les plus redoutables sont les nématodes pathogènes, Par les attaques qu'ils occasionnent aux parties souterraines, ces derniers diminuent la longévité des cultures et des rendements (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.10.5.2.3. La nature du sol:

Les pratiques culturales sont également déterminantes sur le rendement et la qualité du produit final. L'apport d'engrais et l'influence des variations N, P, K, ont été étudiés pour diverses espèces.

Les résultats des expériences concernant les recherches sur les fumures azotées de la menthe faites en Bulgarie au cours des années 1953-1955 représentent une très bonne illustration sur l'influence de la nature sur le rendement en huile essentielles:

- L'azote augmente le rendement d'essence de menthe.
- L'azote en combinaison avec d'autres éléments nutritifs, ainsi qu'avec le fumier de mouton influe sur le pourcentage en huile essentielle des plantes.
- Le potassium employé seul, au contraire, diminue sensiblement la teneur en huile essentielle et n'a aucune influence sur le rendement en masse verte (BEKHECHI et ABEDLOUAHID, 2010).

I.11. Toxicité des huiles essentielles:

Les huiles essentielles ne sont pas des produits qui peuvent être utilisées sans risque. Certaines huiles essentielles sont dangereuses lorsqu'elles sont appliquées sur la peau, en raison de leur pouvoir irritant (les huiles riches en thymol, ou en carvacrol), allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde) ou photo-toxique (huiles de citrus contenant des furacoumarines), d'autres ou huiles essentielles ont un effet neurotoxique (les cétones comme l' α -thujone sont toxiques pour les tissus nerveux). La toxicité des huiles essentielles est assez mal connue. Il manque de données sur leurs éventuelles propriétés mutagènes et cancérigènes. La plupart du temps, sous le terme de toxicité sont décrites des données expérimentales accumulées en vue d'évaluer le risque que représente leur emploi. Il existe quelques huiles essentielles dont certains composés sont capables d'induire la formation de cancer, c'est le cas par exemple de dérivés d'allylbenzène ou de propenylbenzène comme le safrole, l'estragole, la β -arason, et le methyl-eugénol. Des chercheurs ont mis en évidence l'activité hépatocarcinogénique de ces composés chez les rongeurs. Le safrole et l'estragole, sont métabolisés au niveau du foie des rats en dérivés hydroxylés puis en esters sulfuriques électrophiles qui sont capables d'interagir avec les acides nucléiques et les protéines. Ces résultats sont controversés, car il existe des différences chez l'homme dans le processus de métabolisation de ces composés. Le safrole par exemple est métabolisé en dihydroxysafrole et trihydroxysafrole non cancérigène (GUBA, 2001).

I.12. Activité biologique des huiles essentielles :

I.12.1. introduction:

Les huiles essentielles sont des produits à forte valeur, utilisées dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et agroalimentaires. L'étude des activités biologiques et biotechnologique des extraits de plantes est d'un grand intérêt. Les activités antimicrobiennes des huiles essentielles ont été rapportées dans plusieurs travaux (BOUZOUITA et *al.*, 2005). Dans la plupart des cas ces activités sont attribuées aux monoterpènes oxygénés . L'utilisation des molécules naturelles pour remédier au phénomène d'oxydation des corps gras, ses conséquences sur la santé et ses répercussions économiques ont fait l'objet de plusieurs recherches.

De nombreux travaux sur les activités antioxydantes des huiles essentielles d'une grande variété de plantes aromatiques montrent que ces propriétés sont en relation avec la composition chimique. ont rapporté que les activités antioxydantes sont dues à la présence de composés qui comportent le groupement hydroxyle. D'autre part nous savons que la conservation des denrées entreposées est généralement assurée par des insecticides de synthèse qui peuvent être le moyen le plus efficace et le moins coûteux pour contrôler les insectes. Cependant l'utilisation abusive des insecticides chimiques a des effets négatifs. Des travaux sont effectués dans ce contexte et ont montré une efficacité des extraits des plantes. En effet les plantes constituent une source de substances naturelles qui présente un grand potentiel d'application contre les insectes et d'autres parasites des plantes et du monde animal (BOUZOUITA, et *al.*, 2008).

I.12.2. Activité antimicrobienne:

De nombreux auteurs ont rapporté que les extraits d'herbes ont des composés chimiques capables d'avoir une activité antimicrobienne. Les constituants des huiles essentielles sont actifs contre une large gamme de bactéries, levures et champignons (HELLEL, 2011).

I.12.2.1. Historique:

Empiriquement reconnues depuis des siècles, la confirmation scientifique de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est récente. Elle ne date que du début du siècle dernier avec les travaux du Dr Gattefossé, le père de l'aromathérapie en France. Depuis ce temps, l'utilisation des huiles essentielles s'est développée jusqu'à devenir depuis plus d'une vingtaine d'années, une sérieuse alternative à la médecine des antibiotiques dans les pathologies infectieuses (DE BILLERBECK, 2000).

L'objectif principal de cette partie est la présentation de l'action antimicrobienne des huiles essentielles, des mécanismes d'action de ces composés sur les microorganismes.

I.12.2.2. Activité antibactérienne:

Les huiles essentielles les plus étudiées pour leurs propriétés antibactériennes appartiennent aux Labiatae : origan, thym, sauge, romarin, clou de girofle sont d'autant de plantes aromatiques à huiles essentielles riches en composés phénoliques comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés possèdent une forte activité antibactérienne. Le carvacrol est le plus actif de tous, reconnu pour être non toxique, il est utilisé comme agent de conservation et arôme alimentaire dans les boissons, friandises et autres préparations. Le thymol et eugénol sont utilisés dans les produits cosmétiques et, alimentaires. Ces composés ont un effet antimicrobien contre un large spectre de bactéries : *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium spp*, *Helicobacter pylori* les huiles essentielles de Citrus sont efficaces contre les bactéries pathogènes, les spores bactériennes, mais également sur certaines bactéries responsables de toxi-infection alimentaire telles que : *Mycobacterium jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli O157:H7*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Thyphimurium*, et *Acrobacter butzleri* (HELLEL, 2011).

I.12.2.3. Activité antifongique:

Le pouvoir antifongique des huiles essentielles. des plantes aromatiques a été mis en évidence par de nombreux auteurs contre les moisissures allergisantes et contre les dermatophytes et les champignons pathogènes et opportunistes tels que *Candida albicans* (levure), *Cryptococcus neoformans* et *aspergillus fumigatushe*. Des travaux similaires ont été réalisés par MOHAMMEDI, 2006, sur l'huile essentielle de *Cistus ladaniferus* contre sept moisissures : *Rhizopus*, *Mucor*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma* et

Aspergillus; OMIDBEYGI et al., 2007, ont démontré que les huiles essentielles de thym, de la sarriette et du clou de girofle présentent une activité antifongique « in vitro » contre *Aspergillus flavus*.

Les huiles essentielles d'*Eucalyptus saligna* et d'*Eucalyptus camalduiensis* ont montré un effet fongistatique vis-à-vis de *Phaeoramularia angolensis*.

Les huiles essentielles de Citrus : d'orange douce, de citron, de mandarine et, pamplemousse montrent une activité antifongique contre *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Penicillium chrysogenum* et *P. Verrucosum* (HELLEL, 2011).

Il a été établi d'après COX et al., 2000, que généralement les champignons sont plus sensibles que les bactéries (HELLEL, 2011).

I.12.2.4. Activité antivirale:

Les virus sont généralement fortement sensibles aux molécules aromatiques des huiles essentielles telles que les monoterpénols et les monoterpénals. De nombreuses pathologies virales sévères traitées avec des huiles essentielles ont montrées des améliorations importantes. L'effet antiviral de l'huile essentielle de *Mentha piperita* a été étudié « in vitro » contre les virus de Herpes Simplex (HSV-1 et HSV-2), une inhibition de 50% est obtenue avec des concentrations entre 0,002% et 0,008% (HELLEL, 2011).

I.12.2.5. Les facteurs déterminant le degré d'activité antimicrobienne des huiles essentielles:

Plusieurs paramètres influencent la détermination de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles ou de leurs composants actifs, tels que la méthode d'évaluation d'activité antimicrobienne, l'effet de la matrice biologique, le type et la structure moléculaire des composants actifs, la dose ajoutée, le type des microorganismes ciblés et leur éventuelle adaptation aux huiles essentielles (MALECKY, 2007).

I.12.2.5.1. Les méthodes d'évaluation d'activité antimicrobienne:

Les méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles les plus couramment utilisées sont la méthode de diffusion dans l'Agar et la méthode de dilution. Dans la première méthode, les huiles essentielles sont ajoutées sur des disques ou dans des puits

creusés dans l'Agar : les composants actifs des huiles essentielles peuvent diffuser dans l'Agar et agir sur les microorganismes.

Dans la seconde méthode, les huiles essentielles sont ajoutées dans des bouillons d'Agar ou d'autres liquides dans lesquelles les bactéries sont présentes (HAMMER *et al.*, 1999).

I.12.2.5.2. L'effet de la matrice biologique:

Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles différentes en fonction de la matrice à laquelle elles sont ajoutées, ou du fait du contact avec les macromolécules comme les lipides ou les protéines qui protègent les bactéries de l'action des huiles essentielles. Ainsi les huiles essentielles diluées dans la phase lipidique des aliments seront moins efficaces sur les bactéries de la phase aqueuse (MALECKY, 2007). Les aliments à faible teneur en eau empêchent également l'accès des huiles essentielles aux sites cible sur la membrane des cellules bactériennes. Par ailleurs, une réaction chimique entre les protéines et les groupes fonctionnels des huiles essentielles réduit la disponibilité des molécules actives : ceci a été observé pour le carvacrole, conduisant à une protection relative de *B. cereus* contre les huiles essentielles dans le lait (POL *et al.*, 2001).

De plus, certains solvants ou détergents peuvent influencer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles. C'était le cas pour le Tween-80, solvant qui neutralise les groupes fonctionnels phénoliques et réduit leur activité antimicrobienne (MALECKY, 2007).

I.12.2.5.3. Le type et la structure moléculaire des terpénoïdes:

Le principal facteur modifiant l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est le type et la structure moléculaire des composants actifs présents dans les huiles essentielles. Ainsi *in vitro*, une activité antimicrobienne plus élevée des terpènes oxygénés en comparaison des terpènes hydrocarbures a été observée (COX *et al.*, 2001).

Les composants oxygénés purs ont aussi montré une activité supérieure par rapport aux huiles essentielles dans lesquelles ils se trouvent. Ceci a été observé pour la géraniol et citronellol de l'huile de géranium et également pour le thymol et le carvacrol des huiles essentielles du poivron.

La structure moléculaire semble présenter un rôle aussi important que la présence d'oxygène dans la molécule de terpène: la caractéristique lipophile du squelette hydrocarboné ainsi que la propriété hydrophile des groupes fonctionnels sont déterminants vis-à-vis de l'activité antimicrobienne des tetrpénoïdes . Sur cette base, l'ordre d'activité antimicrobienne de ces composés est le suivant:

Phénols>aldéhydes>cétones>alcools>éthers>hydrocarbones

De façon plus précise, dans les phénols, la présence de groupe hydroxyle apparaît déterminante (MOHAMMEDI, 2006); dans les composés non phénoliques, le type de groupe alkyl (alkenyl>alkyl) influence l'activité antimicrobienne. Enfin, dans les hydrocarbones, la structure cyclique semble avoir un rôle important sur leur activité antimicrobienne (MALECKY, 2007).

I.12.2.5.4. Le type des microorganismes cible :

Un autre paramètre important déterminant l'activité antimicrobienne des huiles essentielles est le type des microorganismes ciblés. En général, les différents microorganismes n'ont pas une sensibilité similaire vis à vis des huiles essentielles. Parmi les microorganismes, *Bacillus subtilis* et *Staphylocoque aureus* (Gram+), *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Gram -), *Candida albicans* (Levures) et *Aspergillus niger* (champignons) ont été les plus étudiés (MALECKY, 2007).

Les champignons montrent généralement une sensibilité supérieure par rapport aux bactéries et parmi les bactéries, les Gram – apparaissent plus résistants que les Gram + vis-à-vis des HES (COX et al., 2000; AMARAL et al., 1998). Inversement, *E.coli* est plus sensible vis à vis de l'huile de l'arbre à thé que *S.aureus*. De même, certains champignons sont plus résistants vis-à-vis de l'huile de genévrier que les bactéries.

Enfin, une sensibilité supérieure des bactéries anaérobies a été observée quelles que soient les huiles essentielles par rapport à celles vivant en aérobiose (AMARAL et al. 1998).

I.12.2.6. Mode d'action des huiles essentielles :

Plusieurs théories sont proposées pour expliquer le mécanisme par lequel les huiles essentielles exercent leur activité antimicrobienne. La composition complexe des huiles

essentielles tend à prouver que cette activité serait due à plusieurs mécanismes d'action différents, liés à la nature chimique de ces composés (BURT, 2004).

La plupart des mécanismes d'action sont attribués à l'interaction des composants des huiles essentielles avec la membrane cellulaire. Les huiles essentielles sont constituées de molécules lipophiles capables de pénétrer la double couche phospholipidique, leur accumulation entre les phospholipides entraîne alors un changement de conformation et un mauvais fonctionnement de la membrane cellulaire, perturbant ainsi le transport membranaires des substances nutritives (KHENAKA, 2011).

Les huiles essentielles peuvent aussi perturber le gradient ionique de part et d'autre de la membrane cytoplasmique ce qui diminue la stabilité membranaire et perturbe aussi le transport membranaire. Mais certaines bactéries sont capables de contrebalancer cet effet par l'utilisation de la pompe ionique, dans ce cas la croissance ralentit grâce à l'épuisement de l'énergie de la pompe. Un mécanisme d'action proposé implique le groupement hydroxyle des phénols, comme le carvacrol, qui agirait comme un transporteur transmembranaire des cations et des protons monovalents, cet effet perturbe le gradient ionique et le fonctionnement membranaire des cellules microbiennes (MALECKY, 2007).

D'autres mécanismes d'action sont liés à la coagulation des constituants cellulaires par la dénaturation des protéines (KHENAKA, 2011). Certain huiles essentielles inhibent la croissance microbienne par l'inactivation des acides nucléiques.

L'action des huiles essentielles dépend aussi de la nature des microorganismes ciblés. Les bactéries à Gram positif sont plus sensibles à l'action des huiles essentielles, par rapport aux bactéries à Gram négatif. Cela peut être expliqué par la présence de la membrane externe chez les bactéries à Gram négatif, elle représente en effet une barrière capable de diminuer la perméabilité des composés hydrophobes. Cependant, les molécules à faible poids moléculaire comme le thymol et le carvacrol peuvent traverser cette barrière (Figure28) (MALECKY, 2007).

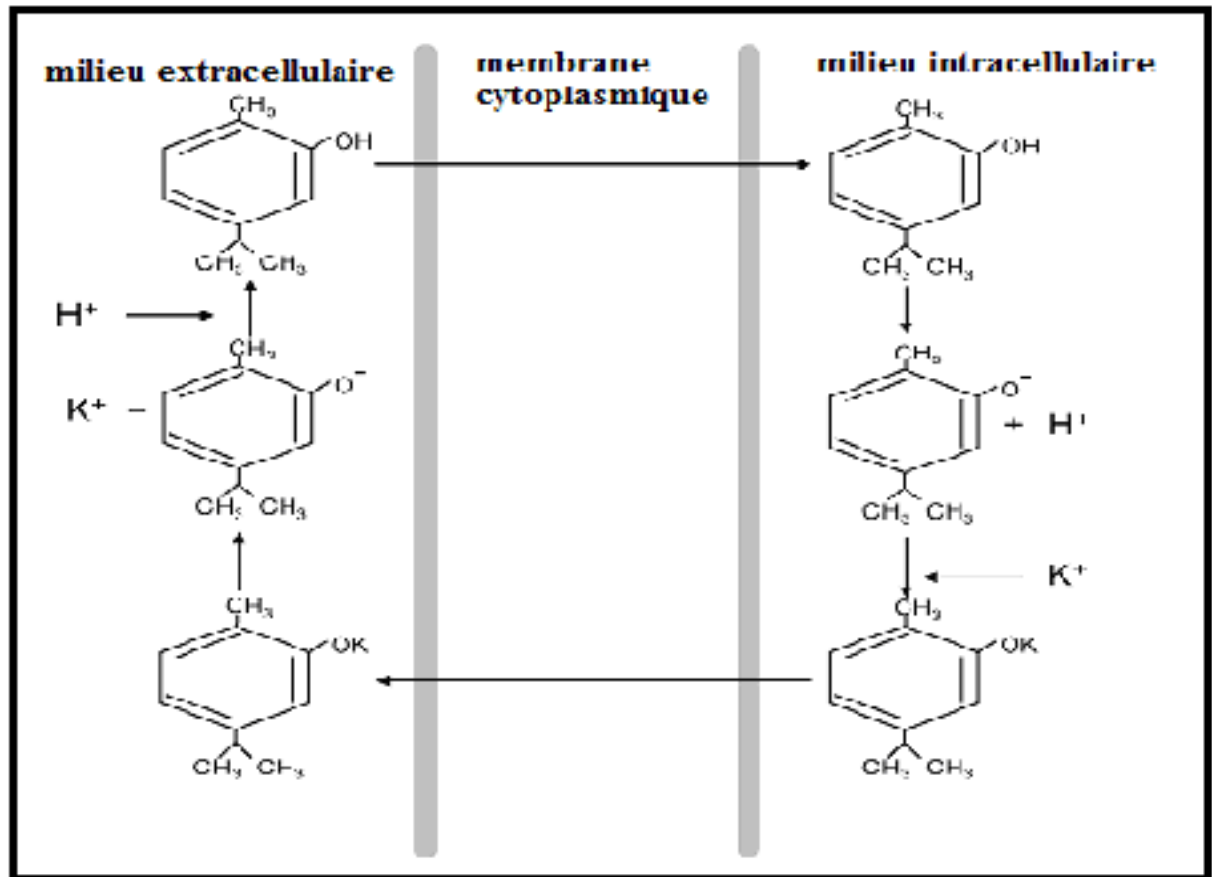


Figure28 : Mécanisme d'action de carvacrol sur la membrane cellulaire(KHENAKA, 2011).

Exemple :

L'effet antimicrobien d'huile essentielle de *Juniperus phoenicea* est testé sur quatre microorganismes :

- Une bactérie Gram - : *Klebsiella oxytoca* isolée à partir du sol et conservée sur milieu gélosé PCA à 4°C
- Une bactérie Gram + : *Lactobacillus plantarum*, isolé à partir des olives fermentées et conservée sur milieu gélosé MRS à 4°C.
- Une levure : *Saccharomyces cerevisiae* isolée à partir de la levure boulangère et conservée sur milieu gélosé Sabouraud à 4°C.
- Une moisissure : *Geotrichum candidum* isolée à partir des margines et conservée sur milieu gélosé Sabouraud à 4°C.

L'huile essentielle de *Juniperus phoenicea* exhibe une activité antimicrobienne contre toutes les souches testées en dépit de leur morphologie et de leur Gram. Les résultats montrent que la bactérie Gram négative est plus résistante que la bactérie Gram positive. En effet, *Klebsiella oxytoca* a été inhibée à partir de la concentration 2,5% (V/V), *Lactobacillus plantarum* est inhibée à partir de 0,075% (V/V). Il a été montré que les bactéries Gram+ sont plus sensibles que les bactéries Gram- .. L'inhibition de la levure *Sacchromyces cerevisiae* a lieu à partir de la concentration de 0,75% (V/V),

Geotrichum candidum est totalement inhibé à partir de la concentration 0,75% (V/V). L'activité antimicrobienne de certaines huiles essentielles peut être due à une perturbation de la structure membranaire des microorganismes (BOUZOUITA et al., 2008).

I.12.3. Activité insecticide :

L'utilisation des extraits de plantes comme insecticides est connue depuis longtemps. Dans certaines régions d'Afrique noire, les feuilles de tabac malaxées dans l'eau étaient utilisées pour lutter contre les moustiques. Les huiles essentielles représentent une piste d'avenir et les recherches sur ce sujet sont nombreuses. Toute fois, la grande majorité de ces études portaient sur les moustiques, que ce soit sur l'effet répulsif des huiles essentielles ou sur leur effet larvicide (BASTIEN, 2008).

I.12.3.1. Mécanismes d'action :

Le mode d'action des huiles essentielles est relativement peu connu chez les insectes (BASTIEN, 2008).

I.12.3.1.1.Effets physiques et physiologiques des huiles essentielles :

I.12.3.1.1.1. Effets physiologiques :

Les huiles essentielles ont des effets anti-appétant, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et acariens. Des travaux récents montrent que les monoterpènes inhibent la cholinestérase (BASTIEN, 2008).

I.12.3.1.1.2. Effets sur l'octopamine :

L'octopamine est un neuromodulateur spécifique des invertébrés : Cette molécule a un effet régulateur sur les battements de cœur, la motricité, la ventilation, le vol et le métabolisme des invertébrés. ENAN, 2000 et ISMAN, 2000 font le lien entre l'application de l'eugénol, de l'alpha-terpinéol et de l'alcool cinnamique, et le blocage des sites accepteurs de l'octopamine. ENAN, 2005 a également démontré un effet sur la Tyramine, autre neurotransmetteur des insectes.

En général, les huiles essentielles sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus interférant avec les transmetteurs octopaminergiques des Arthropodes. Ces huiles sont donc peu toxiques pour les animaux à sang chaud (ISMAN, 2000).

I.12.3.1.1.3. Effets physiques :

Les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous. ISMAN, 2000 fait cette hypothèse car plusieurs huiles essentielles semblent plus efficaces sur les arthropodes à corps mou.

I.12.4. Activité antioxydante :

I.12.4.1. Définition :

Les antioxydants sont des composés chimiques capables de minimiser efficacement les rancissements, retarder la peroxydation lipidique, sans effet sur les propriétés sensorielle et nutritionnelle du produit alimentaire. Ils permettent le maintien de la qualité et d'augmenter la durée de conservation du produit en outre, l'antioxydant alimentaire idéal, doit être soluble dans les graisses, efficace à faible dose, et non toxique, n'entraîne ni coloration, ni d'odeur, ni saveur indésirable, résistant aux processus technologiques, il est stable dans le produit fini (POKORNY et al., 2001).

I.12.4.2. Mécanisme d'action :

D'une manière générale, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électrons souvent aromatiques cas de dérivés du phénol. En plus leurs radicaux intermédiaires sont relativement stables du fait de la délocalisation par

résonance et par manque de positions appropriées pour être attaqué par l'oxygène moléculaire (HELLEL, 2011).

Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puissent réagir avec un nouvel acide gras. Tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène singulet pour la transformer en chaleur (HELLEL, 2011).

I.12.4.3. Différents types d'antioxydants :

- **Antioxydants de type I:**

Il s'agit de substances capables d'interrompre la chaîne radicalaire en cédant un radical d'hydrogène (H°) à un radical libre lipidique présent.



AH : antioxydant et **A[°]** : radical de l'antioxydant.

Les radicaux **A[°]** qui se forment sont relativement stables et ne possèdent pas d'énergie suffisante pour arracher un hydrogène aux lipides. Ils subissent une réaction d'arrêt aboutissant à la formation de produits non radicalaires (HELLEL, 2011).

- **Antioxydants de type II :**

Les antioxydants de cette catégorie sont les composés qui agissent en empêchant ou en diminuant la formation de radicaux libres. Les plus utilisés sont des agents complexant les ions métalliques réduisant l'effet prooxydant des ions, c'est le cas des acides phosphorique, citrique et les ascorbates. Ils agissent en stabilisant la forme bivalente du métal dont l'action catalysante est plus faible que celle de la forme trivalent (HELLEL, 2011).

- **Antioxydants de type III :**

Ils regroupent les facteurs de l'environnement qui ont une action antioxydante, en agissant sur le potentiel redox du milieu, la température, la pression en oxygène, la lumière. L'emballage des produits permet ainsi de minimiser l'exposition à l'air et à la lumière. La mise sous vide permet de limiter les réactions de l'oxydation et de prolonger la durée de vie des produits. L'emballage peut également être réalisé sous atmosphère modifiée (N₂, O₂, CO₂) (HELLEL, 2011).

- **Antioxydants synthétiques:**

Parmi les antioxydants phénoliques de synthèse qui sont autorisés dans certains aliments : le BHT 321 (3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène), BHA 320 (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole), sont l'un et l'autre soluble dans les lipides et résistent bien à la chaleur. Ils ont une action synergique, ils présentent l'inconvénient d'avoir une odeur désagréable et s'évapore rapidement. Le TBHQ (tertiobutyl-hydroxyquinone) est moins soluble dans les graisses et le PG (gallate de propyle) a l'avantage d'être relativement soluble dans l'eau, mais l'inconvénient d'être peu soluble dans les lipides, peu résistant à la chaleur et de donner avec le fer des sels de couleur foncée. Le nitrite présente des propriétés antioxydantes, il peut aussi former des nitrosamines cancérigènes. Les chélateurs de métaux utilisés et plus efficaces sont les polyphosphates et les dérivés d'acide citrique (PIBIRI, 2005).