



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR – KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT : BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master Académique

FILIERE : Biologie

Option : Génétique

Thème

**Etude bibliographique des
métabolites secondaires du figuier
De barbarie (*optunia ficus indica*)**

Réalisé par

Reghioua Ines

Boufekren Linda

Jury de soutenance

Président : Mr Abaidia Abdelghafour MAA Université Abbès Laghrou khenchela

Promoteur : Mr Fellous Samir MAA Université Abbès Laghrou khenchela

Examineur : Mr Rahal Khaled MAA Université Abbès Laghrou khenchela

Année Universitaire 2019 / 2020



Remerciements



Nous remercions avant tout Allah tout puissant de nous avoir guidé et nous aidé durant toutes nos années d'étude et de nous avoir donné la volonté, le courage et la patience pour atteindre cette étape.

Nous remercions profondément notre encadreur monsieur

***Samir Fellous** Maître de conférences à l'Université*

Abbès Laghrour -K henchela- qui n'a jamais cessé de nous conseiller, orienté et nous encourager, Merci pour votre disponibilité votre patience et votre coopération remarquable.

Nous remercions profondément également monsieur

***Abaidia Abdelghafour** Maître-assistant à l'Université*

Abbès Laghrour - K henchela - d'avoir accepté de présider ce jury.

Nos sincères remerciements vont droit éventuellement à monsieur

***Rahal khaled** Maître-assistant à l'Université*

Abbès Laghrour - K henchela-, d'avoir accepté de juger et d'enrichir notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, pour leurs efforts tout au long des années d'études passés à l'université.

Nous adressons nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

Dédicace

*Nous tenons tout d'abord à remercier le Dieu tout puissant de nous
Avoir donné le courage et la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste
travail :*

*A mon très cher père, Si on devait décerner le diplôme du meilleur père du
monde, tu serais sans nul doute le premier car nous tes enfants ont été
vraiment privilégiés par le bon dieu en t'ayant comme père .ta droiture et
ta conscience professionnelle et ton devoir paternel me serviront d'exemple
dans la vie. Merci pour ce que tu as fait et tout ce que tu fais encore pour
nous*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur,
ma vie et mon bonheur,*

*ma très chère mère, la personne la plus courageuse que je n'ai jamais
connu, la source de tendresse, grâce à elle j'ai pu m'épanouir et m'ouvrir à
la vie,, Je ne peux que prier afin que le Bon Dieu te maintienne très
longtemps parmi nous et en bonne santé.*

A mes chers frères : Abd Elatif et Ahmed amine

A mon adorable sœur : khaoula

A toute ma grande famille

Reghioua et bouali

A mes Sœurs de toujours : Sara, Soumia, ,Amira, Aicha

*A mon binôme et ma sœur : Linda, en souvenir des moments heureux
passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de
prospérité.*

R. INES

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma mère : qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, ses prières et sa bénédiction ainsi que tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A mon père : si on devait décerner le diplôme du meilleur père du monde, tu serais sans nul doute le premier car nous tes enfants ont été vraiment privilégiés par le bon dieu en t'ayant comme père. ta droiture et ta conscience professionnelle et ton devoir paternel me serviront d'exemple dans la vie. Merci pour ce que tu as fait et tout ce que tu fais encore pour nous.

A mes sœurs : SAIDA ET DJENA

A mon frère : SALAH

A toute ma grande famille

BOUFEKREN ET DIBE

Au symbole d'amitié mes chères sœurs : FAIZA, AMEL

ET AFAF et Sara

A ma sœur et ma binôme : REGHIOUA INES

B.LINDA

Liste des figures:

Figure 01 :	Distribution géographique du figuier de Barbarie	04
Figure 02 :	Aspect général d'Opuntia ficus-indica	05
Figure 03 :	Le figuier de barbarie avec ses cladodes(a), fleure(b), fruits(c) et graines(d)..	06
Figure 04 :	Les différentes classes des composés phénoliques.....	15
Figure 05 :	Exemple de phénol de la série benzoïque.....	16
Figure 06 :	Exemple de phénol de la série cinnamique.....	16
Figure 07 :	Structure d'un flavonoïde.....	17
Figure 08 :	Structure des coumarines.....	18
Figure 09 :	Structure de 1,4-benzoquinone (A) et 9,10-antraquinone.....	19
Figure 10 :	Structure de base d'un anthocyane.....	19
Figure 11 :	structure de l'isoprène.....	20
Figure 12 :	Structures chimiques de quelques stilbènes.....	21
Figure 13 :	Structures chimiques des lignanes et des entérolignanes.....	21
Figure 14 :	Structure de la molécule d'isoprène.....	23
Figure 15 :	Structure de quelques sesquiterpènes.....	23
Figure 16 :	Structure de quelques trapézoïdes.....	24
Figure 17 :	Structure de quelques composés aromatiques.....	24
Figure 18 :	Principales opérations industrielles d'extraction.....	28
Figure 19 :	Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet.....	30
Figure 20 :	Principe d'une extraction par pression à froid.....	30
Figure 21 :	Principe d'une extraction par CO ₂ supercritique.....	31

Liste des Tableaux:

Tableau I : La classification botanique *Opuntia ficus indica* L..... 07

Tableau II : La composition moyenne de la figue de barbarie.....09

Résumés

Résumé

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une espèce très abondante en Algérie. Ses fruits sont consommés par la population locale. Cette plante reste encore mal exploitée. Beaucoup de recherches ont été lancées pour explorer ce vaste domaine d'intérêt primordial pour la santé notamment médicinal, cosmétique, pharmaceutique...

L'objectif de notre étude bibliographique est une description détaillée des caractéristiques botanique génétique ainsi que l'intérêt pharmacologique, cosmétique et médical, dans un autre volet nous avons parlé des métabolites secondaires et des huiles essentielles aussi bien des méthodes d'extraction telles que l'extraction par Soxhlet et par pression à froid.

Mot clé :

Opuntia ficus-indica , métabolites secondaires , Soxhlet, extraction , Pression à froid.

Abstract

The prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) is very abundant on the Algerian territory. Its fruits are consumed by the local population. This plant remains poorly exploited. Much research has been launched to explore this vast area of primary interest for health, particularly medicinal, cosmetic, pharmaceutical, etc.

The objective of our bibliographic study is a detailed description of the genetic botanical characteristics as well as the pharmacological, cosmetic and medical interest, in another section we have talked about secondary metabolites and essential oils as well as extraction methods such as the soxhlet and cold pressure extraction.

Keyword:

Opuntia ficus-indica, secondary metabolites, soxhlet, extraction, cold pressing.

ملخص

يعتبر التين ألسوكي (بتونيا فيكوس انديكا) من الأنواع المتوافرة بكثرة في الجزائر. يؤكل السكان المحليون ثمارها. لا يزال هذا النبات يستغل بشكل سيئ. تم إطلاق الكثير من الأبحاث لاستكشاف هذا المجال الواسع ذي الاهتمام الأساسي بالصحة ، وخاصة الطب ، ومستحضرات التجميل ، والأدوية ، إلخ .

الهدف من دراستنا الببليوغرافية هو وصف تفصيلي للخصائص النباتية الجينية بالإضافة إلى الفائدة الدوائية والتجميلية والطبية ، في قسم آخر تحدثنا عن المستقبلات الثانوية والزيوت الأساسية وكذلك طرق الاستخراج مثل: الاستخراج بالضغط على البارد و سكهلات .

الكلمات المفتاحية

المستقبلات الثانوية ،سكهلات ، الاستخراج ، الضغط على البارد..بتونيا فيكوس انديكا



Table des matières

Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Résumé	
Introduction	01

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :

Chapitre I : Généralité sur le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)

I.1. L'origine du le Fiquier de barbarie.....	03
I.2. Appellations locales.....	03
I.3. Distribution géographique.....	03
I.3.1. Dans le monde.....	03
I.3.2. En Algérie.....	04
I.4. Description botanique	05
I.4.1 Système racinaire	05
I.4.2. Les cladodes (raquettes)	05
I.4.3. Les fleure.....	06
I.4.4. Les fruits	06
I.4.5. Les graines	06
I.5. Taxonomie	07
I.6. Génétique de genre <i>Opuntia</i>	07
I.7. Composition de la figue de barbarie	08
I.8. Mode d'Utilisations	09
I.8.1. Applications pharmaceutiques.....	09
I.8.2. Application médicinale.....	10
I.8.3. Applications industrielles.....	12

I.8.4.	Utilisations cosmétique	13
Chapitre II. Les Métabolites Secondaires :		
II.1.	Métabolites secondaires.....	14
II.1.1.	introduction.....	14
II.1.2.	Classification des métabolites secondaires.....	14
II.1.2.1	Composes phénoliques.....	14
1.	Généralités.....	14
2.	Différentes classes de composes phénoliques.....	15
a)	Les acides phénoliques	15
b)	Flavonoïdes.....	16
c)	Les tanins	18
d)	Les coumarines	18
e)	Les quinones.....	19
f)	Les anthocyanes.....	19
II.1.2.2	Saponines.....	20
II.1.2.3.	Les terpénoïdes.....	20
II.1.2.4.	Les stilbènes.....	20
II.1.2.5.	Lignanes.....	21
II.1.2.6.	Les alcaloïdes.....	21
II.2.	Les huiles essentielles	22
II.2.1.	Définition.....	22
II.2.2.	Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	22
II.2.3.	La composition chimique des huiles essentielles	23
II.2.4.	Localisation.....	24
II.2.5.	La toxicité.....	25
Chapitre III. Les Méthodes :		
III. 1.	Les méthodes d'extraction.....	26

III.1.1.	Choix de la méthode d'extraction.....	26
III.1.2.	Principaux paramètres d'extraction	26
III.1.3.	Paramètres influençant l'extraction	26
	III.1.3.1. Matière végétale.....	26
	III.1.3.2. Nature et état du solide et du soluté.....	27
	III.1.3.3. Nature, concentration et volume du solvant.....	27
	III.1.3.4. Méthode, durée, température et pression.....	28
III.1.4.	Extraction de l'huile de la figue de barbarie	29
	III.1.4.1. Procédés d'extraction.....	29
	a) Extraction par soxhlet.....	29
	b) Extraction par pression à froid.....	30
	c) Extraction par fluide supercritique	31
	Conclusion	
	La bibliographie	



Introduction

Introduction

La plante est indispensable pour l'homme depuis son apparition. Elle a été trop bénéfique en matière de son utilisation nutritionnelle vestimentaire et surtout médicale. Jusqu'au début du XX^{ème} siècle, Presque tous les médicaments étaient d'origine végétale, a travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales afin d'améliorer la santé des hommes (**Iseran, 2001**).

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances naturelles bioactives. Les diverses propriétés connues des plantes sont liées à la grande source de molécules chimiques complexes qu'elles représentent et que l'homme exploite dans les domaines alimentaire, cosmétique, médicinal et pharmaceutique. Ces molécules sont stockées dans des huiles qui se trouvent dans différentes parties de la plante: les fruits, les feuilles, la pulpe, les racines et les graines (**Mouden, et al 2016**).

Certaines plantes médicinales notamment les espèces de cactus ont fait l'objet de nombreuses recherches scientifiques depuis plusieurs décennies. C'est le cas du figuier de Barbarie objet de notre étude, appartenant au genre *Opuntia* (**Benattia,2017**).

Le figuier de barbarie, connue sous le nom botanique *Opuntia ficus-indica*, est une plante originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Elle a été introduite en Afrique de Nord vers le 16^{ème} siècle (**Belmiloud,2013**). C'est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à cinq mètre de hauteur et avec un tronc épais et ligneux (**Habibi, 2004**).

Le figuier de barbarie se trouve dans toutes les régions d'Algérie, à l'exception du sud. Initialement utilisé pour limiter la sécheresse et lutter contre l'érosion, il est employé à la consommation de ses fruits ou comme aliment de bétail. (**Belmiloud,2013**).

L'Opuntia ficus indica (le figuier de Barbarie). Selon les pays, il est utilisé dans divers domaines. On le trouve aussi bien dans le domaine de l'industrie et dans le domaine de l'alimentation, ou bien encore dans le domaine pharmaceutique, cosmétologique, ornemental, médicinal,...(**Aitougueni et Ben hamma .,2015**).

Les propriétés médicinales des plantes sont dues à des produits synthétisés par les plantes elles-mêmes appelés métabolites secondaires(**Buchanan et al., 2000**).

En effet, les métabolites secondaires de plantes font l'objet de nombreuses recherches in vivo comme in vitro, notamment la recherche de nouveaux constituants naturels tels les composés phénoliques (tanins, flavonoïdes,...), les saponosides, les alcaloïdes, les huiles essentielles(**Bahrin, 1997**).

Les poly phénols sont aussi connus pour leurs activités biologiques qui sont en relation directe avec la santé de l'être humain. Ils sont utilisés dans la chimiothérapie et dans le traitement de plusieurs types de cancer (**Manach et al. 1996**)

A l'heure actuelle, le figuier de barbarie longtemps délaissé, présente le sujet de plusieurs recherches scientifiques dans le monde entier. A part son huile qui est jusqu'à présent l'huile la plus cher au monde, à cause de sa richesse en oligo-éléments, acides aminés, ainsi que la régénération des cellules, et la lutte contre le vieillissement, ce nopal semble posséder plusieurs propriétés pharmacologiques qui sont toujours en court d'exploitation et d'étude(**Benattia,2017**).

Les plantes possèdent des milliers de substances actives à l'intérieur de leurs organes (Feuilles, fleurs, racines...) et peuvent, selon des techniques chimiques (extraction,distillation...), permettre l'isolation du principe actif pour son utilisation en pharmacie (**Benmiloud,2014**).

Les objectifs assignés à notre travail sont :

- Ü La détermination de la teneur en métabolites secondaires (polyphénols et flavonoïdes) présentes au niveau de la plante étudiée.
- Ü la détermination de différentes méthodes utilisées pour l'extraction des huiles essentielles du figuier de barbarie.

Chapitre 01 :

Généralité sur le figuier de barbarie

I. Généralité sur le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)

I.1. L'origine du le Fiquier de barbarie

Le Fiquier de barbarie (*Opuntia ficus indica*), son appellation scientifique vient du latin *Opuntius* d'Oponthe; nom de la ville grecque (Schweizer , 1997). Le genre *Opuntia* est originaire du Mexique (Nobel , 2002) de la famille des Cactacées.

C'est une plante tropicale ou subtropicale cultivée dans les climats arides, comme l'Amérique centrale (Ginestra et Coll, 2009). Les régions semi-arides du Mexique renferment la plus grande diversité de cactus dans le monde (Pimienta-Barríos , 1994), elle se caractérise par une remarquable adaptation à la sécheresse obtenue au fil du temps par la fantastique évolution de la structure de son organisme (Schweizer , 1997).

I.2. Appellations locales

La plante peut porter un nom différent selon l'idiome local. En Espagne, outre Nopal, on l'appelle familièrement Tuna. Dans les pays francophones du bassin méditerranéen, où il est très populaire, l'*Opuntia* est surnommé Fiquier de Barbarie.

En Angleterre Pricklypear (poire à épines). Au Maghreb, suite au reflux des Maures chassés d'Espagne, les Arabes apprécièrent ce figuier d'un nouveau genre à la mode chez les Chrétiens, ils lui donnèrent le nom de Karmous N'sarra. En Égypte c'est l'El-tin-el-Choki(Schweizer , 1997).

En Algérie, Hendi et KarmousNssara. Au Tunisie et Libye le Suruit(Lim, 2012). Au Maroc, le figuier de barbarie possède plusieurs noms vernaculaires : « zaâboul » et « aknari » (Arba ,2009).

I.3. Distribution géographique

Dans le Monde

Sa distribution géographique est localisée principalement dans: le Mexique, la Sicile, le Chili, le Brésil, la Turquie, la Corée, l'Argentine et l'Afrique du Nord (Kabas et Coll, 2006). Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard, au 16ème siècle, au Nord et au Sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen (Habibi , 2004). Il est développé sur la partie Ouest de la Méditerranée: Sud de l'Espagne, le Portugal et l'Afrique du Nord (la Tunisie, l'Algérie et le Maroc) (Arba , 2009).

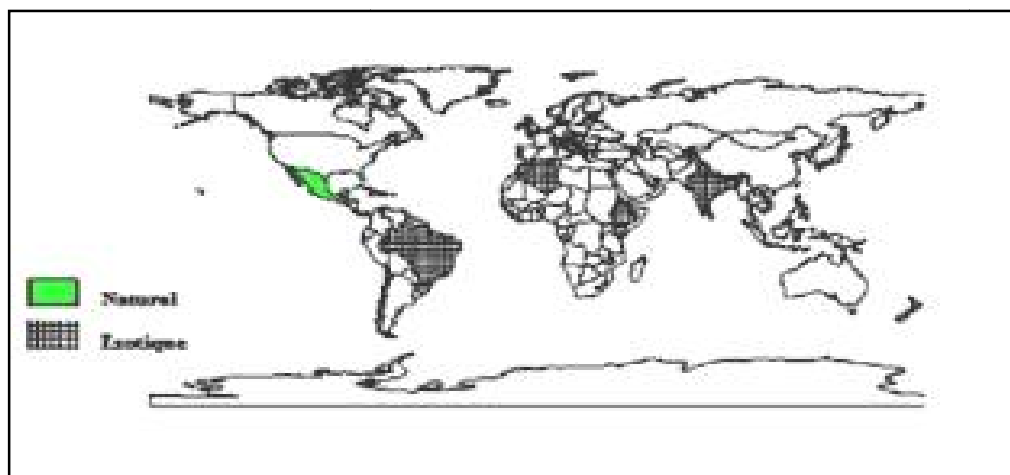


Figure 01 : Distribution géographique du figuier de Barbarie (Orwaet al. 2009).

La figure distingue l'aire d'origine, le Mexique (en vert) et les nouvelles aires de distribution (en noir) : Brésil, Chili, Etats Unies, Inde, Israël, Italie, Espagne, Erythrée, Portugal, Algérie, Tunisie, Libye, Maroc, Afrique du Sud, Ethiopie, Soudan, Tanzanie, Kenya, Uganda.

En Algérie

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra, Bordj-bou-Arrerij et Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à Msila, Laghouat et même à 1100 mètres à Ain-Sefra (Piédallu ,1990). Du centre à l'ouest, l'Opuntia occupe une superficie dépassant les 25.000 hectares. On le trouve sur les hauteurs de Chréa, Bouarfa (wilaya de Blida), Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, Ain-Témouchent ,Oran,Mascara, Sidi-bel Abbès, Tlemcen dont la meilleure cueillette des figues de barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux A l'exception des montagnes et des zones sahariennes (Benattia ,2017).

La culture algérienne du cactus est largement représentée dans le paysage rural en plantation plus au moins régulières, autour des villages, en haies limitant les parcelles de culture ou de vergers. La culture de cactus se trouve parfaitement intégrée dans le système d'exploitation traditionnel (Arbaet al., 2000). L'Algérie déploie ces dernières années un effort important pour encourager la culture de la figue de Barbarie, pour son importance socioéconomique et écologique (Temagoult, 2017).

I.4. Description botanique

Le figuier de barbarie est une plante arborescente robuste de 3 à 5 m de haut, possède un tronc épais et ligneux. Ses articles aplatis en forme de raquettes (cladodes) de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glochides blancs. Ses fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. Ses fruits sont de baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines (Neffar , 2012). Ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines (Bhira, 1956).

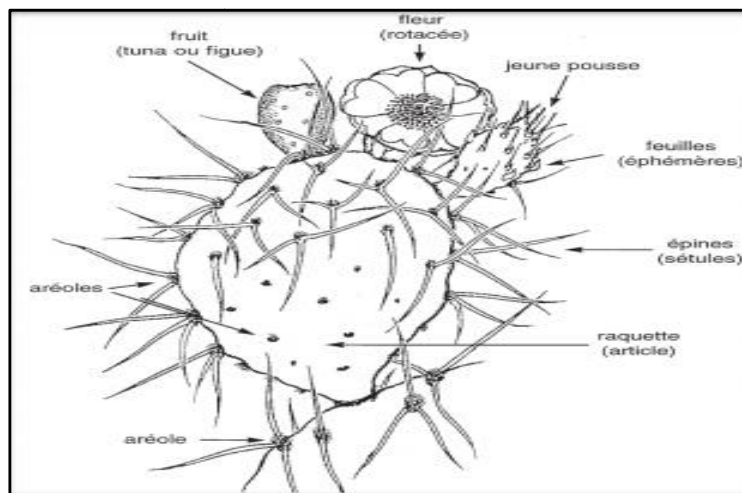


Figure 02 : Aspect général d'*Opuntia ficus-indica*(Schweizer, 1997).

I.4.1. Système racinaire

L'appareil racinaire est superficiel, se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol (Mulas et Mulas, 2004).

I.4.2. Les cladodes (raquettes)

Une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm (Neffar , 2012). Qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles (Boudjellaba et Yassa, 2012). Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs . Ils sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glochides blancs(Neffar , 2012).

1.4.3. Les fleurs

Les fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, larges de 4 à 10 cm de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (Mulas et Mulas , 2004). Un cladode fertile peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs (Reyes-aguero et Coll, 2006).

Les fleurs des cactus sont tout à fait variables, mais il y a quelques dispositifs généraux qui sont partagés par la famille entière. L'ovaire de la fleur (la pièce d'ovule roulement du pistil) est complètement inclus dans la tige (Rebmenm et Pinkava, 2001).

1.4.4. Les fruits

Les fleurs donnent naissance aux fruits ; une grosse baie (100 à 150g), ovale ou allongée et charnue, avec une pulpe juteuse, en générale contenant de nombreuses graines (polysémique). La couleur et la forme du fruit sont variables selon les variétés : jaune, rouge, blanche (Feu gang et Coll., 2006). Les composés rouges sont les bétacyanines et les jaunes sont les béta xanthines (Gibson et Nobel, 1986).

1.4.5. Les graines

Les graines sont dures, indigestes, mais riches en vitamines. On en obtient, après préparation, une huile très recherchée et une farine nourrissante (Schweizer, 1997).

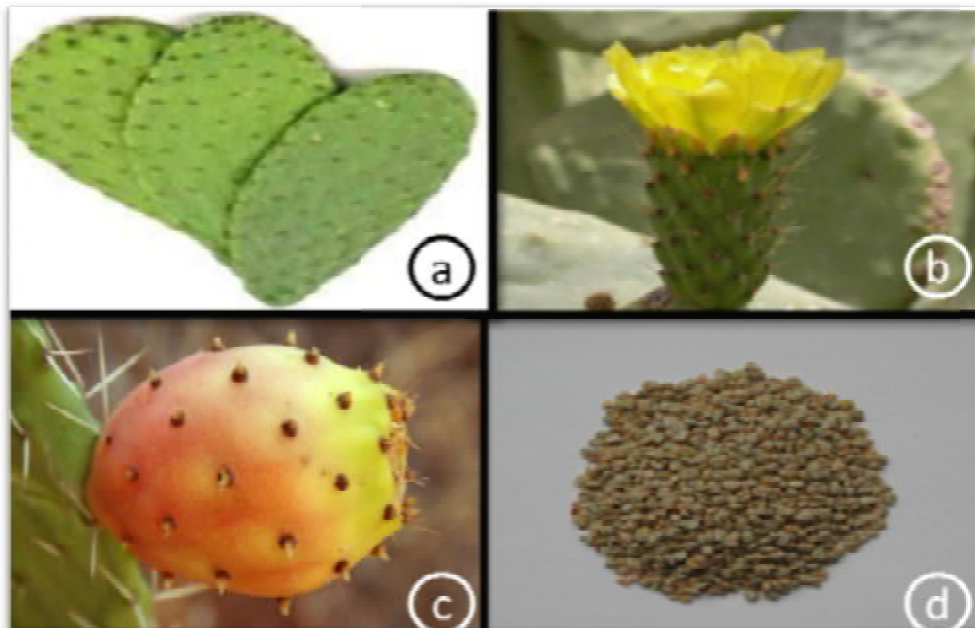


Figure 03 : Le figuier de barbarie avec ses cladodes(a), fleur(b), fruits(c) et graines(d) (Habibi, 2004).

I.5. Taxonomie

Les cactacées ou cactées sont des végétaux phanérogames, angiospermes, dicotylédones (**Schweizer, 1997**). D'après Wallace et Gibson (2002), leur classification botanique est rappelée ci-dessous :

Tableau I : La classification botanique *Opuntia ficus indica* L. (**Wallace et Gibson 2002**).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Caryophyllidae</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Cactacea</i>
Sous famille	<i>Opuntioideae</i>
Tribu	<i>Opuntieae</i>
Genre	<i>Opuntia</i>
Espèce	<i>Opuntia ficus indica</i> L.

La famille des Cactacées renferme 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces (**Neffar, 2012**).

Les espèces d'*Opuntia* les plus répandues en Algérie sont : *Opuntia cylindrica*, *Opuntia mieckleyi*, *Opuntia vulgares*, *Opuntia schumanni*, *Opuntia megacantha*, *Opuntia maxima* et *Opuntia ficus indica* (**Arba, 2000**).

Génétique de genre *Opuntia*

La détermination du nombre de chromosomes et du niveau de ploïdie est un outil utile en taxonomie des plantes. Le nombre basique de chromosomes dans la famille des cactus est $n = 11$, et le nombre dans les cellules somatiques est principalement $2n = 22$. Dans la sous-famille des Opuntioideae, 64.3% des taxons sont polyploïdes (**Pinkava et al., 1985**). Plusieurs

Études de caryotype montrent des tetra-, hexa- ou octoploïdes dans les relations putatives d'*O. ficus-indica* (*O. megacantha* en forme épineuse) $n = 44$ (Pinkavaet al., 1973); La polyploïdie est favorisée par l'hybridation.

L'hybridation naturelle interspécifique dans le genre *Opuntia* a été démontrée par plusieurs études (Griffith, 2003) et l'hybridation en culture est aussi commune. L'occurrence de niveaux de ploïdies plus élevés de cultivars en comparaison à des parents sauvages est de toute évidence vraie pour *O. ficus-indica* cultivé (Mondragón et Bordelon, 1996). Pour *O. ficus-indica* seul, plusieurs comptages de chromosomes montrent que les formes avec et sans épines sont toutes deux octoploïdes (Barbera et Ingleses, 1993). Cependant cette espèce est aussi rapportée comme étant hepta-, penta-, hexa- et diploïde, donc il existe une variation du nombre de chromosomes, dépendante de la provenance (Majureet al., 2012)– à moins que les nombres différents soient le résultat de matériel d'étude mal identifié ou d'anomalies dans la méiose.

Il suggère que les méioses anormales et l'existence de tétravalences montrent que *O. ficus-indica* est soit un allopolyploïde venant de deux espèces avec $2n = 44$ ou un autopolyploïde. L'allopolyploïdie de *O. ficus-indica* dans la famille des cactaceae, le nombre chromosomique de base est $X = 11$, tandis que le nombre de chromosomes somatiques est principalement égale à 22. pour ce qui concerne *O. ficus-indica*; de nombreuses indiquent que, tant la forme épineuse que la forme inerme ont $2n=88$, c'est à dire qu'elles sont toutes deux octoploïdes. D'autres auteurs considèrent en revanche cette espèce comme une diploïde, $2n=22$ même si probablement il s'agit d'erreurs d'indentification (Spencer, 1955).

I.7. Composition de la figue de barbarie

La figue de barbarie est un fruit succulent, peu acide et riche en sucres ; ce qui le rend délicieux et doux (Feuganget al., 2006). La composition moyenne de la figue de barbarie est résumée dans le tableau suivant:

Tableau II : La composition moyenne de la figue de barbarie (Piga, 2004).

Paramètres	Valeur	Paramètres	Valeur
Pulpe (%)	43-57	Mg (mg/100g)	16.1-98.4
Graines (%)	2-10	Na (mg/100g)	0.6-1.1
Epluchure (%)	33-55	K(mg/100g)	90-217
pH	5.3-7.1	P (mg/100g)	15-32.8
Acidité (% ac.citrique)	0.05-0.18	Proline (mg/L)	1768.7
Eau (%)	84-90	Glutamine (mg/L)	574.6
Protéines (%)	0.2 – 1.6	Taurine (mg/L)	572.1
Lipides (%)	0.09-0.7	Serine (mg/L)	217.5
Fibres (%)	0.02-3.1	Alanine (mg/L)	96.6
Sucres totaux (%)	10-17	acide Glutamique (mg/L)	83.0
Vitamine C (mg/100g)	1-41	Méthionine (mg/L)	76.9
Ca (mg/100g)	12.8-59	Lysine (mg/L)	53.3

I.8. Mode d'Utilisations

I.8.1. Applications pharmaceutiques

En médecine populaire, les cladodes sont considérablement utilisées pour le traitement de la gastrite, de la fatigue, de la dyspnée et des maladies du foie suite à l'abus d'alcool (Stintzing et al, 2005). Les cladodes chauffées ont été utilisées pour traiter le rhumatisme, les érythèmes et les infections chroniques de la peau, mais aussi pour améliorer la digestion et améliorer le processus général de désintoxication (Munoz de chavez et al., 1995).

Le rôle des polysaccharides des cladodes dans le secteur des médicaments est intéressant comme la réduction du cholestérol et son action préventive du diabète et les thérapies adipeuses. Depuis qu'il a été démontré que la fraction hydrocolloïdale est également riche en protéines, davantage de recherches doivent être effectuées pour prouver si les effets positifs sont dus à des substances pectiques ou plutôt aux protéines (Stintzing et al, 2005). Depuis que lutéoléine est connue pour réduire considérablement le cholestérol par inhibition indirecte de la 3-HMG-CoA réductase qui est l'enzyme clé de biosynthèse du cholestérol.

L'action des flavonoïdes sur le métabolisme du cholestérol serait intéressante à poursuivre (Gebhardt, 2003). Les hydrocolloïdes d'*Opuntia* pourraient être appliqués dans les crèmes similaires à l'*Aloe vera* (Eshun *et al.*, 2004).

I.8.2. Application médicinale

Le figuier de barbarie appartient depuis toujours aux plantes médicinales les plus utilisées. La recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses propriétés.

✓ Diététique

Le Nopal semble agir efficacement à la fois sur les graisses et sur les sucres. La racine d'*Opuntia ficus-indica* est également considérée comme un excellent diurétique (Schweizer, 1997). Les capsules des corolles des fleurs séchées sont utilisées comme remède contre le dysfonctionnement de la prostate (hypertrophie bénigne de la prostate), et aussi comme régulateur diurétique (Arba, 2009).

✓ Antidiabétique

Des études scientifiques démontrent qu'absorbé avant le repas, le Nopal est un antidiabétique efficace dans des cas d'hyperlipidémie (Schweizer, 1997).

En Australie et en Afrique du Sud, les « Nopalitos » sont utilisés dans le traitement du diabète non insulino-dépendant (Araba et Coll, 2000).

✓ Hyperglycémie (excès de sucre dans le sang)

Le bêta-carotène (vitamine A), la vitamine C et les vitamines B1, B2, B3 contenues par la plante, combattent souvent avec succès les dangereux effets secondaires d'un excès de sucre dans le sang tels que : la détérioration de la vision, des vaisseaux sanguins et des tissus nerveux (Hobschette, 1929).

✓ Cellulite

Les protéines végétales dont le Nopal est abondamment pourvu aident le corps à éliminer l'excès aqueux de certains tissus cellulaires, diminuant ainsi la rétention d'eau, dont la cellulite représente l'une des conséquences les plus fâcheuses (Schweizer, 1997).

✓ Artériosclérose (durcissement des artères)

Les acides aminés et les fibres, en particulier le principe antioxydant des vitamines A et C que contient le Nopal ont pour effet de diminuer le risque de détérioration des parois artérielles et la

formation de plaquettes graisseuses, des chercheurs indépendants spécialisés Enethnomédecine ont remarqué que des populations de la tiers-monde habituées à consommer des figues de barbarie semblaient préservées de l'artériosclérose et l'artérite (**Schweizer, 1997**).

✓ Digestion, fonction hépatique

La fonction hépatique des fibres du Nopal, comme la plupart des fibres végétales de qualité, régularisent le transit intestinal. Elles préviennent l'organisme de la constipation. Les vitamines A, B1, B2, B3 et C, présents naturellement dans le Nopal, ses sels minéraux (calcium, magnésium,etc) et ses fibres (**Schweizer, 1997**).

✓ Hyperlipidémie

Le Nopal (sa teneur élevée en fibres et en gommes) est réputé pour son action bénéfique d'interception des graisses dans l'estomac et dans l'intestin, abaissant ainsi les niveaux de Cholestérol et de lipides dans le sang à leurs proportions normales(**Schweizer, 1997**).

✓ Ulcères gastriques et désordres gastro-intestinaux

L'association des fibres végétales du Nopal et de l'effet protecteur de son mucilage parvient à brider la production excessive d'acidité et préserve la muqueuse gastro-intestinale. Cet effet tampon tempère la naissance des colites, ces douloureuses inflammations du colon éprouvées par les intestins fragiles, le Nopal agit comme un amortisseur du pH de l'estomac et de l'intestin (**Schweizer, 1997**).

Au Maroc les fruits sont connus pour le fait qu'ils arrêtent les coliques et les diarrhées (**Araba et Coll, 2000**).

✓ Anxiolytique

Le Nopal est un tranquillisant naturel, apportant calme et sérénité à un organisme stressé. Des chercheurs ont suggéré que ce serait à la berbérine et à un autre alcaloïde encore indéterminé dont on a découvert des traces dans la plante que l'on devrait cette action bienfaisante (**Schweizer, 1997**).

✓ Femmes enceintes

Chez les Aztèques, les femmes enceintes consommaient le Nopal sous toutes ses formes car il était considéré comme le meilleur des fortifiants et un excellent galactogène, durant le

temps de leur grossesse et lorsqu'elles allaitent leur enfant, il est une tradition bien établie chez les femmes de certaines tribus indiennes de boire du jus de figue ou, lorsque la saison de fructification est passée, une décoction de fleurs séchées ou de racines d'*Opuntia ficus indica*(Schweizer, 1997).

▼ Hémostatique

Excellent hémostatique car le pectate calcomagnésien qu'on extrait des tiges accélère nettement le temps de coagulation du sang et abrège les temps de saignement. Son action serait même supérieure à celle des pectines ayant servi de termes de comparaison dans les expériences, sans doute à cause de la teneur notable en Calcium et Magnésium(Diacono et Massa, 1948).

▼ Activité diurétique

En Sicile, le thé préparé avec les fleurs de cette plante est utilisé comme traitement contre les douleurs rénales (Araba et Coll, 2000).

I.8.3. Applications industrielles

Les propriétés ont été exploitées, et trouvent des applications dans de nombreux domaines industriels : en agroalimentaire, en cosmétique et dans l'industrie pharmaceutique. Grâce aux propriétés antimicrobiennes de certains polyphénols comme les flavan-3-ols, les flavanols et les tanins, il est désormais possible de développer des conservateurs alimentaires et des nouvelles thérapies dans de nombreuses maladies infectieuses en considérant la résistance microbienne face à certains traitements antibiotiques (Daglia, 2012).

La capacité antioxydante des polyphénols est utilisée dans l'alimentation pour lutter contre la peroxydation lipidique et ainsi permettre une meilleure stabilisation des denrées alimentaires. Ils sont également été préconisés pour améliorer la stabilité de pigments de jus colorés (comme le jus de betterave), d'arômes alimentaires, et rentrent dans la composition de produits pharmaceutiques pour des utilisations par voie orale et des produits cosmétiques pour des applications locales (Moure *et al.*, 2001).

Les cladodes du figuier de Barbarie sont riches en polyphénols et principalement les flavonoïdes et les acides phénoliques. L'analyse des polyphénols présents dans le jus de cladode et leurs quantifications nous donneront une approche globale sur la composition et la concentration en polyphénols (El-Mostafa *et al.*, 2014).

I.8.4. Utilisation cosmétique

Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants (**Arba, 2009**).

L'huile essentielle des graines des fruits du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, en stérols et en vitamines. Elle est utilisée comme antiride naturel et pour la fabrication des crèmes dermiques antirides, qui lui confère une aptitude à protéger la peau contre les radicaux libres (**Deters et Coll, 2012**).

Chapitre 02 :

Les Métabolites

Secondaires

II. Les Métabolites Secondaires

II .1. Métabolites secondaires

II.1.1. introduction

Une des originalités majeures des végétaux réside dans leur capacité à produire des substances naturelles très diversifiées. En effet, à côté des métabolites primaires classiques (glucides, protides et lipides), les végétaux accumulent fréquemment des métabolites dits « secondaires » dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente mais qui représente une source importante de molécules utilisables par l'homme dans des domaines aussi différents que la pharmacologie ou l'agroalimentaire. Les métabolites secondaires appartiennent à des groupes chimiques très variés tels que : les alcaloïdes, les terpènes, et les polyphénols (**Macheixet al. 2005**).

II.1.2. Classification des métabolites secondaires :

On trouve les métabolites secondaires dans toutes les parties de plantes, mais ils sont distribués différemment selon leurs rôles. Cette distribution varie d'une plante à l'autre. Parmi les principales familles de métabolites secondaires trouvées chez les plantes, on distingue :

II.1.2.1. Composés phénoliques :

1. Généralités

Les composants phénoliques sont des métabolismes secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec des glucides.

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieures (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, grains et bois) ; et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits(**Boizot et Charpentier, 2006**).

Les composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes simples et proanthocyanidins) forment le groupe des composés phytochimiques le plus important des plantes(**Beta et al., 2005**).

Les composants phénoliques sont des molécules biologiquement actives (**King, 1999**),ils sont largement utilisée en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et antiradicalaires, antimicrobiens (Figure 04)(**Bahorum, 1997**).

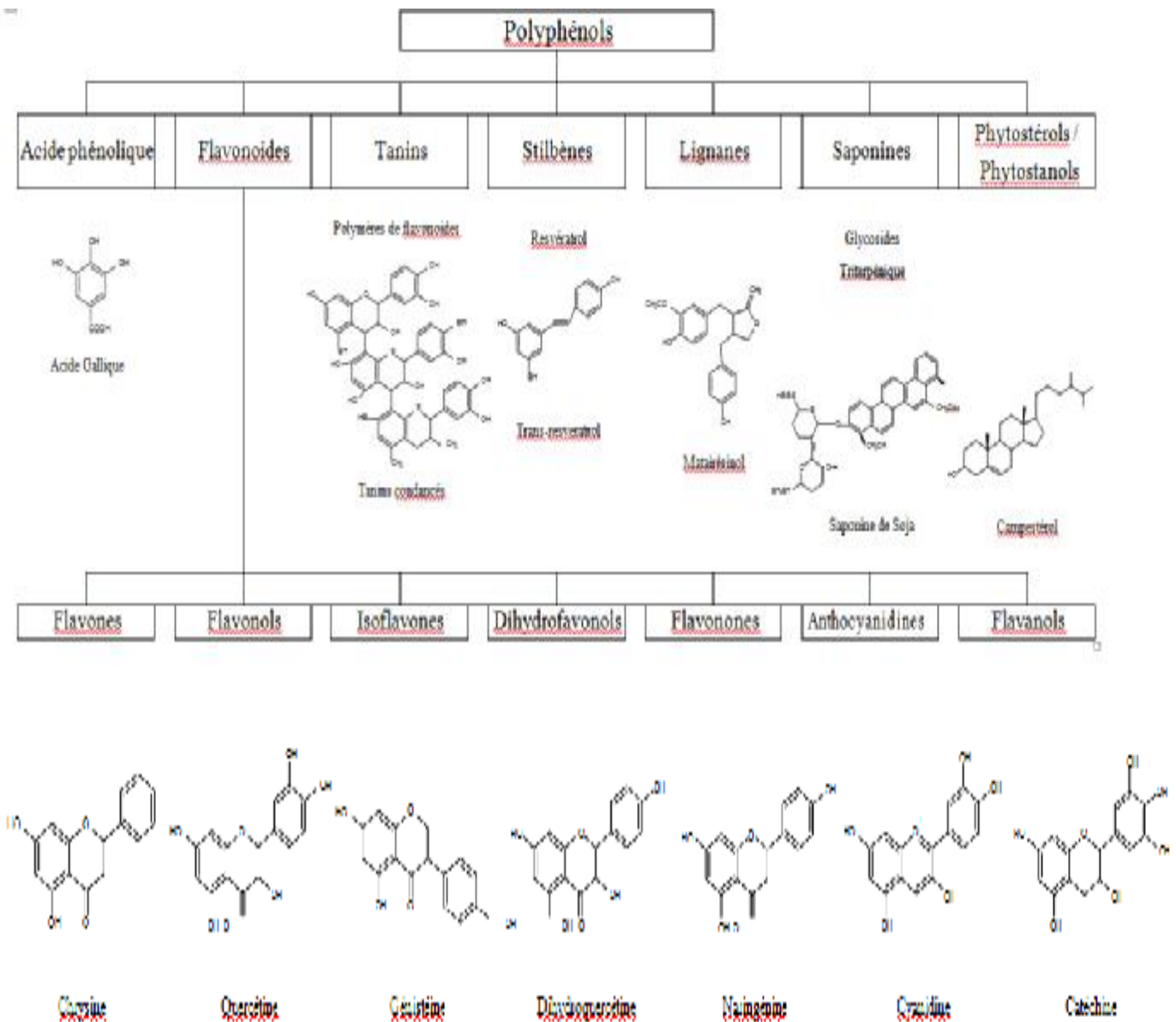


Figure 04 : Les différentes classes des composés phénoliques (Cetkovicet al., 2008).

2. Différentes classes de composés phénoliques

2.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques, ou acides phénols ont une fonction acide et plusieurs fonctions phénols, Ils sont incolores et plutôt rares dans la nature (Haslam , 1994). Ils se divisent en deux classes:

- è Les dérivés de l'acide benzoïque (les acides hydroxybenzoïques).
- è Les dérivés de l'acide cinnamique (les acides hydroxycinnamiques).
- è Les dérivés de l'acide benzoïque (les acides hydroxybenzoïques)

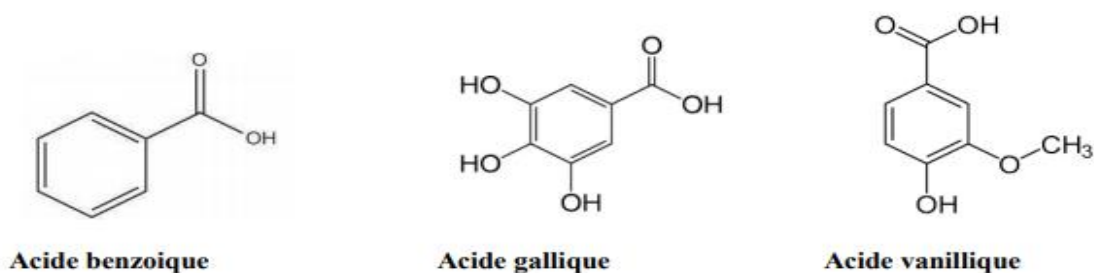


Figure 05 : Exemple de phénol de la série benzoïque (Sharma, 2011).

è Les dérivés de l'acide cinnamique (les acides hydrox cinnamiques).

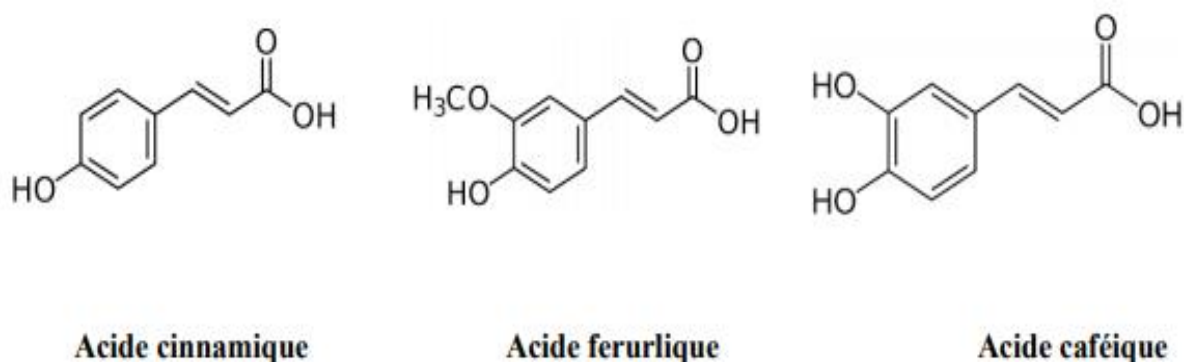


Figure 06 : Exemple de phénol de la série cinnamique (Sharma, 2011).

Les acides phénoliques possèdent des propriétés biologiques intéressantes : anti inflammatoires, Antiseptiques, anti radicalaires, hépato protecteurs, immunostimulants (Brune ton, 1999).

2.2. Flavonoïdes

2.2.1. Définition

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires des végétaux. Ils constituent un des plus vastes groupes de poly phénols naturels et présentent un large champ d'activité biologique aussi bien chez les animaux que chez les végétaux (Ritcher ,1993). Ce sont des substances colorées et sont responsables de la coloration de nombreux fruits, légumes, fleurs, (Adrian *et al.* 1995)... Biochimiquement, les flavonoïdes appartiennent à la famille des benzopyrones, la sousclasse des gamma-benzopyrones(figure 07) (Adrian *et al.* 1995).

Les flavonoïdes sont présents dans différentes parties des végétaux supérieurs, selon le type de l'espèce ils peuvent se trouver dans : les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs, le pollen, les fruits, les graines, le bois... (Adrian *et al.*, 1995).

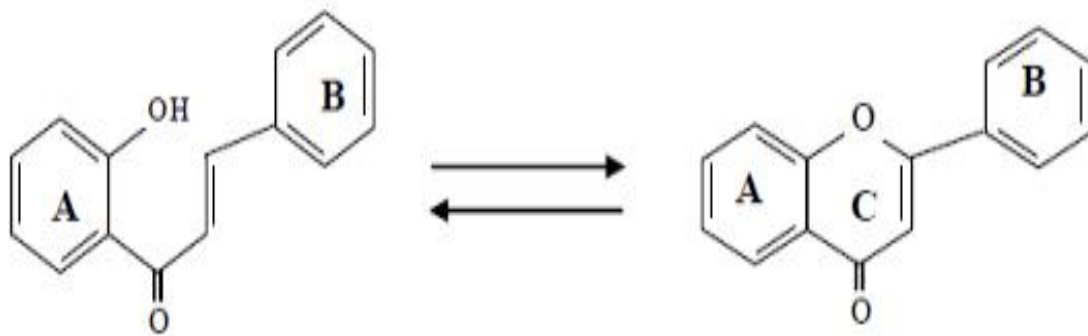


Figure 07 : Structure d'un flavonoïde (Souad, 2006)

2.2.2. Intérêt des flavonoïdes

Les flavonoïdes présentent de nombreuses activités : antioxydantes, anti-inflammatoires, inhibitrices d'enzymes, et prévention des maladies cardiovasculaires. Pharmacologiquement, les aglycones sont particulièrement efficaces. Certains ont des activités hépatoprotectrices, diurétiques, vasodilatatrices, antibactériennes, chimoprotectrices, anti-inflammatoires, antidiabétiques, inhibitrices de l'aldolase réductase et antiallergiques (Sharma *et al.*, 2008).

Ü Protection cardio-vasculaire :

Les flavonols et les flavonoïdes sont à l'origine d'un effet cardioprotecteur via leurs effets antioxydants (protection contre l'oxydation des LDL), l'inhibition de l'activité plaquettaire et leurs propriétés vasodilatatrices. L'action protectrice de l'acide gallique serait également due à son action antioxydante (piégeage des radicaux libres). Le trans-resvératrol agit sur l'agrégation plaquettaire et la vasodilatation. En jouant sur le statut antioxydant, il régule par ailleurs l'expression génétique et mène à une diminution de la concentration totale en lipides (cholestérol et triglycéride) (Delmi, 2018).

Ü Activité anti-cancérigène :

Le xanthotumol agit sur les trois stades de la cancérogenèse. Le trans-resvératrol inhibe l'initiation et la croissance des tumeurs. Les flavonoïdes pourraient réduire le risque de cancer, bien que certaines activités procarcinogènes aient également été signalées (Delmi, 2018).

Ü Activité anti-inflammatoire :

Les flavonoïdes altèrent la synthèse des eicosanoïdes (médiateurs de l'inflammation). Ils diminuent le rapport leucotriène/prostacycline en modifiant l'activité lipoxygénasique. Le trans-resvératrol montre des effets similaires (Delmi, 2008).

Ü Activité oestrogénique :

Les prénylflavanones ont surtout été étudiés pour leur activité oestrogénique. L'hopéine est un phyto-oestrogène très puissant. Il est recommandé dans la prévention ou le traitement des symptômes de la (post)ménopause et de l'ostéoporose. Une activité oestrogénique a récemment été signalée pour certains stilbènes, tel que l'isomère trans du resvératrol (**Delmi, 2018**).

2.3. Les tanins

2.3.1. Définition

Le terme tanin dérive de la capacité de tannage de la peau animale en la transformant en cuir. Les tanins représentent un groupe des polyphénols à haut poids moléculaire. Ils sont des molécules fortement hydroxylés et ils peuvent former des complexes insolubles en association avec les glucides et les protéines (**Alkurdet al., 2008**).

2.3.2. Intérêt des tanins

Antioxydants : les tanins ont de grandes capacité antioxydants dues à leurs noyaux phénol. l'efficacité antioxydative des polyphénols dépend de leur structure chimique les tanins hydrolysables et condensés sont 15 à 30 fois plus efficaces que les phénols simples (**Hagerman et al., 1998**).

2.4. Les coumarines

Présentes dans de nombreux végétaux, les coumarines sont des 2H-1-benzopyran-2-ones. Elles sont produites en grande quantité en réponse à une attaque biotique ou abiotique. Ces composés sont connus pour leurs propriétés anticoagulantes, antivirales, immunostimulantes, tranquillisantes, vasodilatatrices, anticoagulantes (au niveau du coeur), hypotensives ; elles sont également bénéfiques en cas d'affections cutanées (Figure 8) (**Bruneton, 2009**).

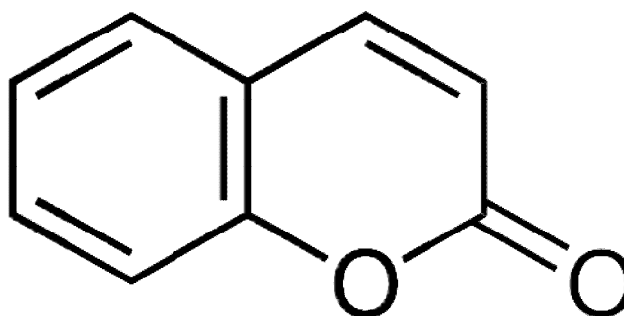


Figure 08 : Structure des coumarines (**Crozier et al., 2006**).

2.5. Les quinones

Les quinones sont des composés oxygénés qui résultent de l'oxydation de dérivés aromatiques caractérisées par un motif 1,4-dicétocyclohexa-2,5-diéniq (para-quinones) ou 1,2-dicétocyclohexa-3,5-diéniq (ortho-quinones) (Figure 9) (Bruneton, 2009). Elles sont ubiquitaires dans la nature, principalement dans le règne végétal et sont très réactives (Cowan, 1999).

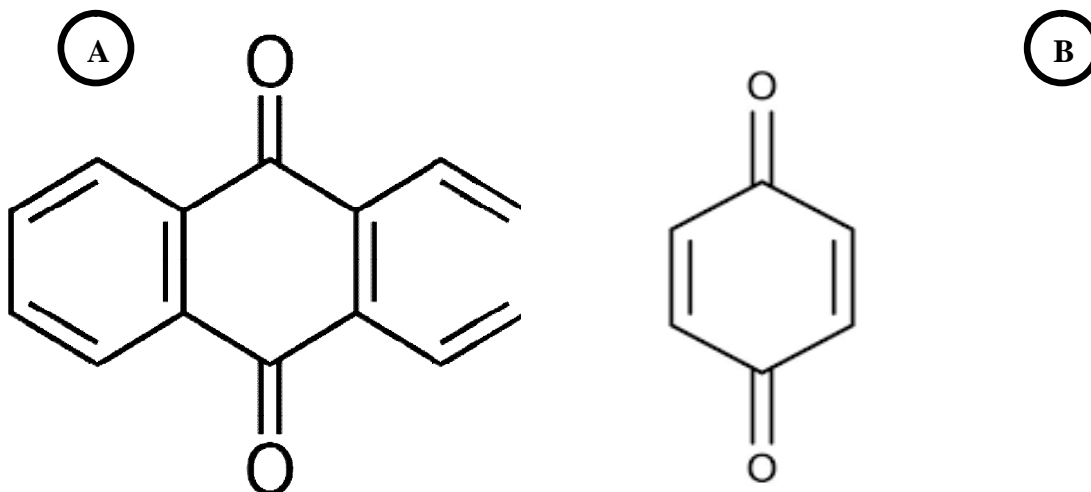


Figure 09 : Structure de 1,4-benzoquinone (A) et 9,10-antraquinone (B) (Socaciu, 2007).

2.6. Les anthocyanes

Les anthocyanes sont les colorants hydrosolubles responsables de la couleur rouge à la couleur pourpre des plantes (Figure 10).

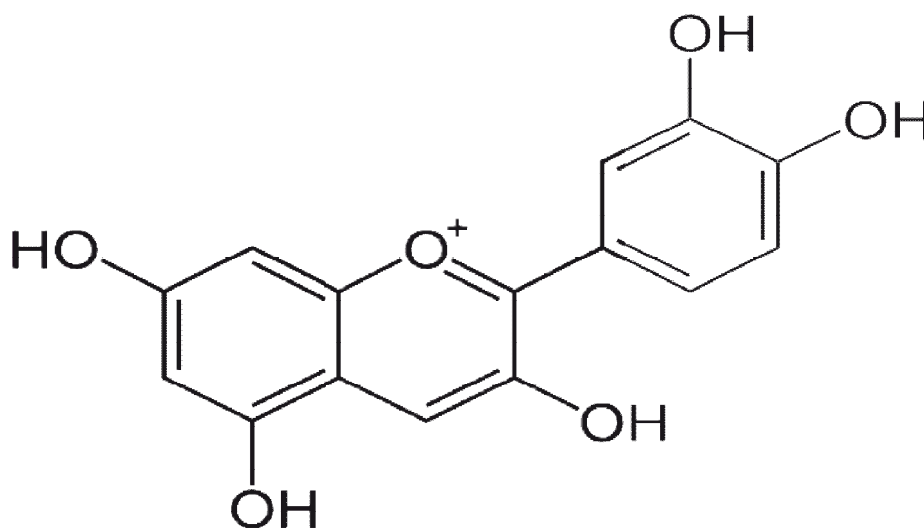


Figure 10 : Structure de base d'une anthocyanine (Samouelianet al., 2009).

2.6.1. Les intérêts des anthocyanes

Ayant un potentiel considérable dans l'industrie alimentaire en tant qu'additifs sûrs et efficaces (**Bagchiet al., 2004**). Ils sont utilisés comme diurétiques, antiseptiques urinaires et dans les troubles de la fragilité capillaire. Leur plus grande spécificité reste cependant leur propriété d'améliorer la vision nocturne en facilitant la régénération du pourpre rétinien (**Hennebelleet al., 2004**).

II.1.2.2. Saponines

Les saponines constituent un vaste groupe d'hétérosides très fréquents chez les végétaux, caractérisés par leurs propriétés tensioactives grâce à leur composition d'aglycones non polaires qui est lié à un ou à plusieurs sucres. Cette combinaison d'éléments structuraux polaires et non polaires explique leur comportement moussant en solution aqueuse (**Bruneton, 2009**).

II.1.2.3. Les terpénoïdes

L'unité de base de leur biosynthèse est l'isopentényldiphosphate (IPP = isopentényl pyrophosphate) et son isomère le diméthylalyl-diphosphate. En effet, les terpènes possèdent d'importantes propriétés thérapeutiques, notamment en cancérologie, dans le traitement de l'inflammation ou encore des infections bactériennes (**Christianson, 2008**).

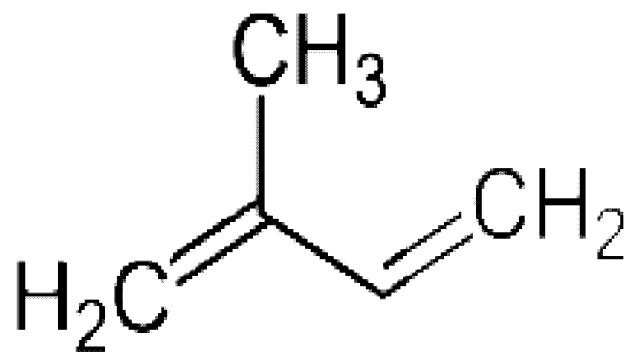
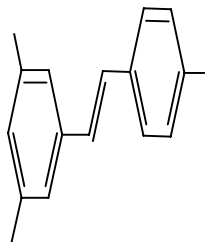


Figure 11 : structure de l'isoprène (**Morot-Gaudry, 2016**).

II.1.2.4. Les stilbènes

Les stilbènes sont des composés phénoliques contenant au minimum deux noyaux aromatiques reliés par une double liaison, formant un système conjugué. Cette particularité leur confère une grande réactivité due à la résonance des électrons sur la totalité de la molécule (**Nacefet al., 2008**).



Stilbènes	R1	R 2
Pterostilbène	OCH3	OCH
Resvératrol	OH	OH
Picéide	OGlc	OH

Figure 12 : Structures chimiques de quelques stilbènes (Nacefet *al.*, 2008).

II.1.2.5. Lignanes

Les lignanes sont caractérisés par une structure C6-C3-C3-C6. Le matairesinol et le sécoisolaricirésinol sont les lignanes les plus étudiés. Ces deux molécules ne possèdent pas d'activité œstrogénique, mais peuvent être converties par la flore intestinale en entérodiol et entérolactone (figure13), appelés entérolignanes, qui eux possèdent une activité œstrogénique. (Setchellet *al.*, 1981).

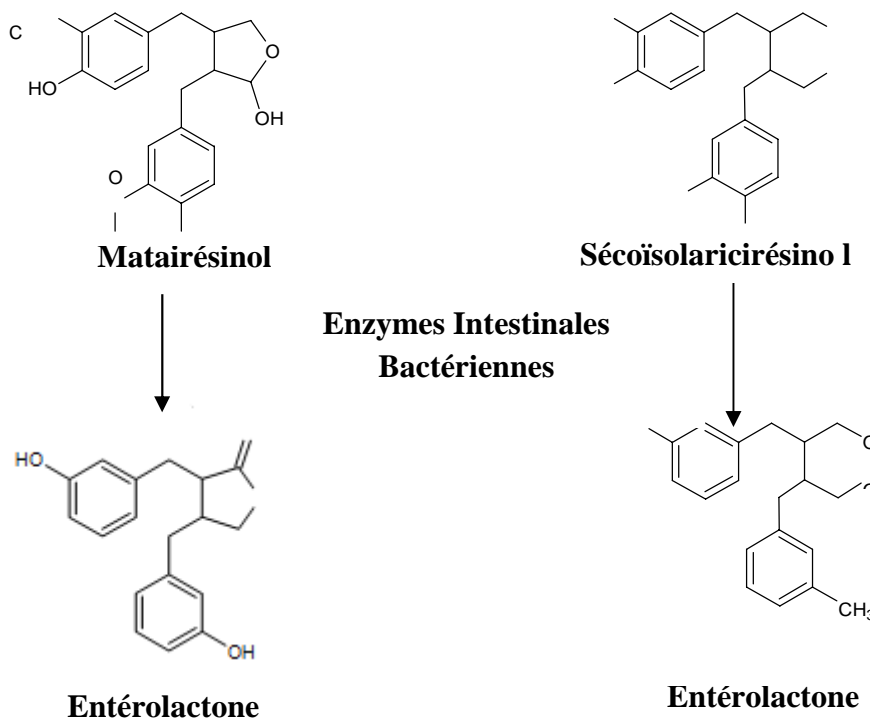


Figure 13 : Structures chimiques des lignanes et des entérolignanes(Duncan *et al.* ,2003)

II.1.2.6. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques hétérocycliques azotées, basiques et d'origine végétale. Bien que beaucoup d'entre eux soient toxiques (comme la strychnine ou

l'aconitine), certains sont employés dans la médecine pour leurs propriétés analgésiques (comme la morphine et la codéine), dans le cadre de protocoles de sédation (anesthésie, atropine) souvent accompagnés des hypnotiques, ou comme agents antipaludéens (quinine, chloroquinine) ou agents anticancéreux (taxol, vinblastine, vincristine) (**François, 2010**).

Les alcaloïdes peuvent se trouver dans toutes les parties de la plante, mais selon l'espèce de la plante, ils s'accumulent uniquement dans les écorces, les racines, les feuilles ou les fruits (**Harborne et Herbert, 1995**).

En générale, les alcaloïdes sont insolubles ou très peu solubles dans l'eau, ils sont solubles dans les solvants organiques apolaires ou peu polaires (**Mamadou, 2011**).

II.2. Les huiles essentielles

II.2.1. Définition

Les huiles essentielles (HE), connues aussi sous le nom de huiles éthérées ou essences aromatiques, sont des substances liquides ou, plus rarement, semi solides, ayant des odeurs aromatiques et parfumées, parfois aussi de saveur agréable (**Fabrocini, 1999**).

En général, le principe aromatique des plantes est des gouttes minuscules qui se forment dans les chloroplastes des feuilles, c'est à dire les organites dans lesquelles s'effectue la photosynthèse. Elle se combine par la suite avec du glucose et sont transportées dans toutes les parties de la plante. Une HE est donc une sécrétion naturelle qui s'effectue dans une partie du corps végétal : feuilles, écorce, fruits, graines, racines ou fleurs (**Moro Buronzo, 2008**).

II.2.2. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles (HE)

Les HE sont généralement incolores ou jaune pâle, liquide à température ordinaire, volatiles, odorantes et inflammables. Leur densité est le plus souvent inférieure à 1, seules trois HE ont une densité supérieure à celle de l'eau, ce sont les HE de cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*), de girofle (*Syzygium aromaticum*) et de saffran (*Saffron albidum*). Elles sont solubles dans les solvants ainsi que dans les huiles et la vaseline, mais pas dans l'eau, très altérables, elles s'oxydent au contact de l'air et de la lumière (**Charpentier et al., 2008**).

II.2.3. La composition chimique des huiles essentielles

Les HE sont des mélanges complexes pouvant contenir plus de 300 composés différents. Ces composés sont des molécules volatiles appartenant pour la grande majorité à la famille des terpènes (Sell, 2006).

II.2.3.1. Les terpènes

Les terpènes sont des hydrocarbures naturels, de structure cyclique ou de chaîne ouverte. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette des unités isoprène à 5 atomes de carbone (C_5H_8) (Charpentier *et al.*, 2008).

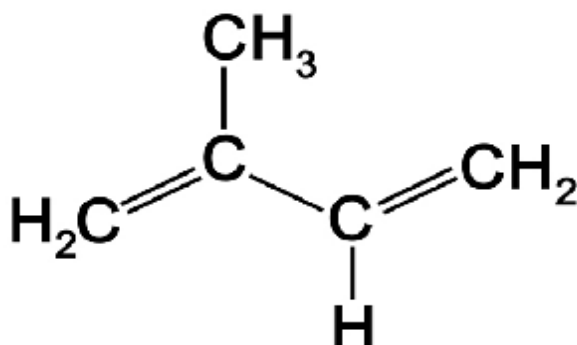


Figure 14 : Structure de la molécule d'isoprène (Calsamiglia *et al.*, 2007).

Ils sont subdivisés selon le nombre d'entités isoprènes en : mono terpènes formés de deux isoprènes ($C_{10}H_{16}$), sesquiterpènes formés de trois isoprènes ($C_{15}H_{24}$) (figure 15), diterpènes formés de quatre isoprènes ($C_{20}H_{32}$), tétra terpènes formés de huit isoprènes et polyterpènes (C_5H_8)ⁿ avec n situé entre 9 et 30 (Charpentier *et al.*, 2008).

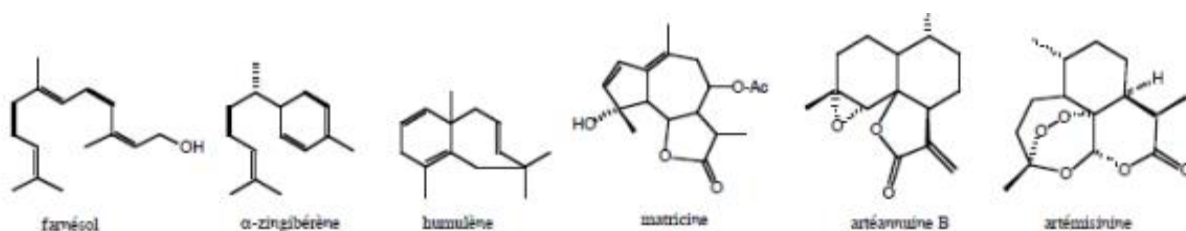


Figure 15 : Structure de quelques sesquiterpènes (Vercauteren, 2007).

Les trapézoïdes représentent un groupe des terpènes, en plus de l'unité de base d'isoprène, ils contiennent une ou plusieurs fonctions chimiques (alcool, aldéhyde, cétone, acide,...) (figure 16) (Charpentier *et al.*, 2008).

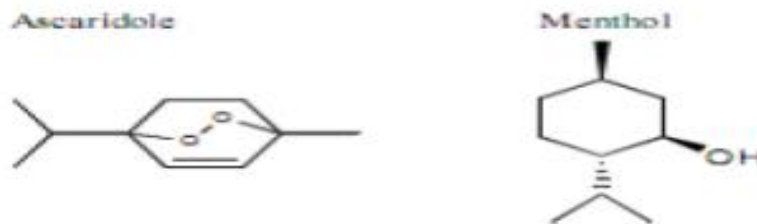


Figure 16 : Structure de quelques trapézoïdes (Charpentier *et al.*, 2008).

II.2.3.2. Composés aromatiques

Les dérivés du phenylpropane sont moins abondants que les terpénoïdes (Charpentier, 2008), cette classe comporte des composés odorants bien connus comme la vanilline, l'eugénol, l'anéthol, et d'autre. Ils sont plus fréquents dans les HE d'Apiaceae (le persil, l'anis, le fenouil, etc.), ils sont caractéristiques de celles du clou de girofle, la vanille, la cannelle, le basilic, l'estragon, etc (figure 17) (Sell, 2006).

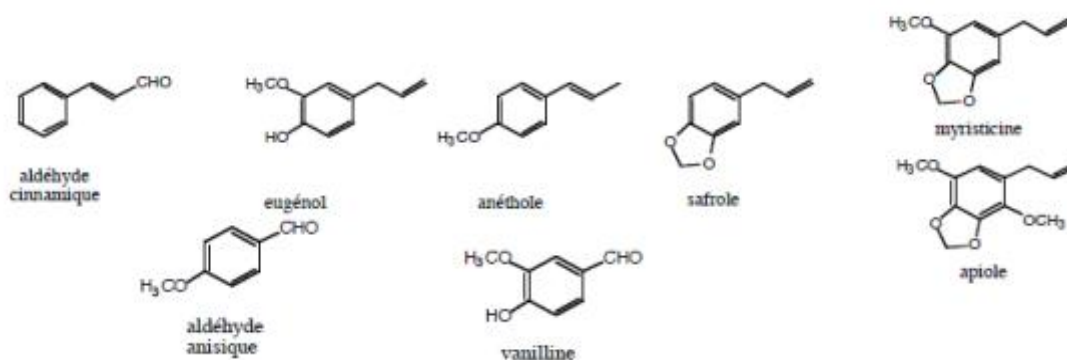


Figure 17: Structure de quelques composés aromatiques (Sell, 2006).

II.2.4. Localisation

Les huiles essentielles se trouvent dans des glandes minuscules situées dans des différentes parties de la plante.

Elles sont souvent plus concentrées dans les fleurs et les graines. Dans une même plante, ces huiles peuvent exister à la fois dans différents organes. La composition chimique pouvant varier d'un organe à un autre (Bernard, 1995).

Les trichomes glandulaires sont les sites primaires de la biosynthèse d'huile essentielle, et les plantes qui manquent de telles structures spécialisées synthétisent et amassent seulement des traces de monoterpènes. En conséquence, la dynamique du développement de ces

structures ainsi que le processus sécréteur d'huile et le mécanisme ont une incidence directe avec la production de l'huile le potentiel du système producteur(**Sharma et al., 2003**).

II.2.5. La toxicité

Les huiles essentielles sont des médicaments. Elles sont toxiques à fortes doses et peuvent induire des troubles très graves (coma, cirrhose hépatique, épilepsie...). La toxicité des huiles essentielles est assez mal connue. Il manque des données sur leurs éventuelles propriétés mutagènes et cancérigènes (**Rahili, 2002**).

Certains constituants des huiles essentielles administrés à fortes doses comme les cétones provoquent des crises épileptiques et des effets secondaires tels que les nausées, céphalées...etc.(**Rahili, 2002**).



Chapitre 03 :

Les Méthodes

III. Les Méthodes

De manière générale, l'extraction des huiles essentielles préalable à l'analyse chimique se compose de deux étapes : l'extraction et l'analyse. Alors que l'étape analytique requiert en général quelques minutes, l'étape d'extraction nécessite plusieurs heures (Bousbia, 2011).

III. 1. Les méthodes d'extraction

III.1.1. Choix de la méthode d'extraction

La diversité et la complexité des huiles essentielles rendent le choix des processus d'obtention délicat. La méthode choisie ne doit pas conduire à la discrimination entre les composés polaires et apolaires, ni induire de réactions biochimiques, de dégradations thermiques, d'oxydation, de réduction, d'hydrolyse, de changement de pH ou entraîner une perte de composés volatils. Pour cela, différents paramètres et propriétés sont à prendre en compte (Fernandez et Cabrol-Bass, 2007).

III.1.2. Principaux paramètres d'extraction

Les principaux paramètres à prendre en compte dans les opérations fondamentales d'extraction de matières premières naturelles aromatiques sont :

- ü La volatilité.
- ü La solubilité.
- ü La taille et la forme des molécules constitutives.
- ü L'adsorption (Peyron, 1992).

III.1.3. Paramètres influençant l'extraction

III.1.3.1. Matière végétale

- ✓ **Choix des plantes** : Seules les plantes saines de l'espèce recherchée doivent être récoltées.
- ✓ **Mode de cueillette** : On peut cueillir les fleurs, feuilles, bourgeons et petites baies en les arrachant simplement de la plante à la main. Puis on récolte les tiges, les racines et écorces de préférence avec un petit couteau ou un sécateur. Cette méthode est plus écologique et permet d'obtenir des huiles essentielles de meilleure qualité (Möller, 2008).
- ✓ **Provenance (région d'origine)** : Le sol dans lequel pousse la plante et le climat qui règne dans une région donnée déterminent et différencient en grande partie la qualité de l'essence que produit cette région par rapport à l'essence de la même plante provenant d'une autre région (Möller, 2008).
- ✓ **Stade végétatif** : La récolte doit avoir lieu pendant le stade végétatif quand la plante est plus riche en essence. Ce moment varie d'une plante à une autre (Möller, 2008).

- ✓ **Période de la journée** : La qualité de l'essence d'une plante varie en fonction de la période de la journée où elle est récoltée. C'est dès l'aube, lorsque la rosée s'évapore, que la concentration des huiles essentielles est la plus élevée dans les plantes, car les gouttelettes de rosée empêchent encore l'évaporation des huiles. A défaut, on peut récolter en fin d'après-midi ou en début de soirée, au moment où les plantes exhale le moins leur parfum (Möller, 2008).
- ✓ **Partie de la plante distillée** : Les diverses parties d'une même plante (fleur, feuille, tige, écorce, racine, etc.) peuvent produire des essences différentes (Möller, 2008).

III.1.3.2. Nature et état du solide et du soluté

La nature et l'état physique du soluté ont une importance primordiale et déterminent le mécanisme de transfert de matière. Le soluté contenu dans ces corps est soit un solide, soit un liquide, stable ou non à la chaleur ou à l'atmosphère. Il est réparti uniformément en des teneurs variables dans le solide (Leybros et Frémeaux, 1990).

Si le soluté est dispersé uniformément dans le solide, les parties superficielles sont dissoutes en laissant derrière elles un solide poreux. Le solvant doit ensuite pénétrer cette couche extérieure avant d'atteindre le soluté situé en profondeur. Le chemin du solvant est rendu de plus en plus difficile, traduisant ainsi une diminution de la vitesse superficielle (Leybros et Frémeaux, 1990).

Lorsque la teneur en soluté est importante dans le solide, la structure poreuse peut être détruite par broyage. La dissolution ultérieure du soluté devient plus facile. Dans les matières végétales, le soluté est généralement occlus dans des cellules d'où il est extrait par un mécanisme de dialyse ou de diffusion capillaire à travers des parois cellulaires. L'ordre de grandeur expérimentale de la diffusivité d'une huile est de 10^{-9} m²/s dans le solvant libre et de 10^{-14} m²/s dans le tissu cellulaire intact (Leybros et Frémeaux, 1990).

III.1.3.3. Nature, concentration et volume du solvant

Le choix du ou des solvants est très important. Il doit être d'une grande pureté et avoir un faible point d'ébullition pour pouvoir être éliminé facilement en limitant la perte de composés volatils. Il ne doit pas interférer avec la méthode d'analyse utilisée. Il doit pouvoir extraire les composés polaires et apolaires ou bien être sélectif. Le choix est fonction de la matrice et des composés à étudier. Il faut tenir compte de la polarité des composés, de leurs températures d'ébullition et de la miscibilité avec les autres solvants (Cicile, 2002).

III.1.3.4. Méthode, durée, température et pression

La réduction de la pression de marche provoque un abaissement des températures d'ébullition et de condensation. Inversement, toute augmentation de pression entraîne une élévation de ces températures (**Cicile, 2002**).

L'élévation de la température permet l'accroissement de la solubilité et de la diffusivité du soluté et la diminution de la viscosité. Elle doit être limitée pour éviter les risques d'extraction des composés nuisibles et la dégradation thermique du soluté (**Leybros et Fremeaux, 1990**).

La durée de l'extraction (longue ou prolongée) permet de recueillir l'ensemble des fractions «de tête» et «de queue» dans le cas de la distillation. Elle dépend du procédé d'extraction utilisé et de l'objectif de l'extraction (**Leybros et Fremeaux, 1990**).

Les techniques les plus souvent utilisées dans les opérations industrielles d'extraction des huiles essentielles on les résume dans le schéma ci-dessous.

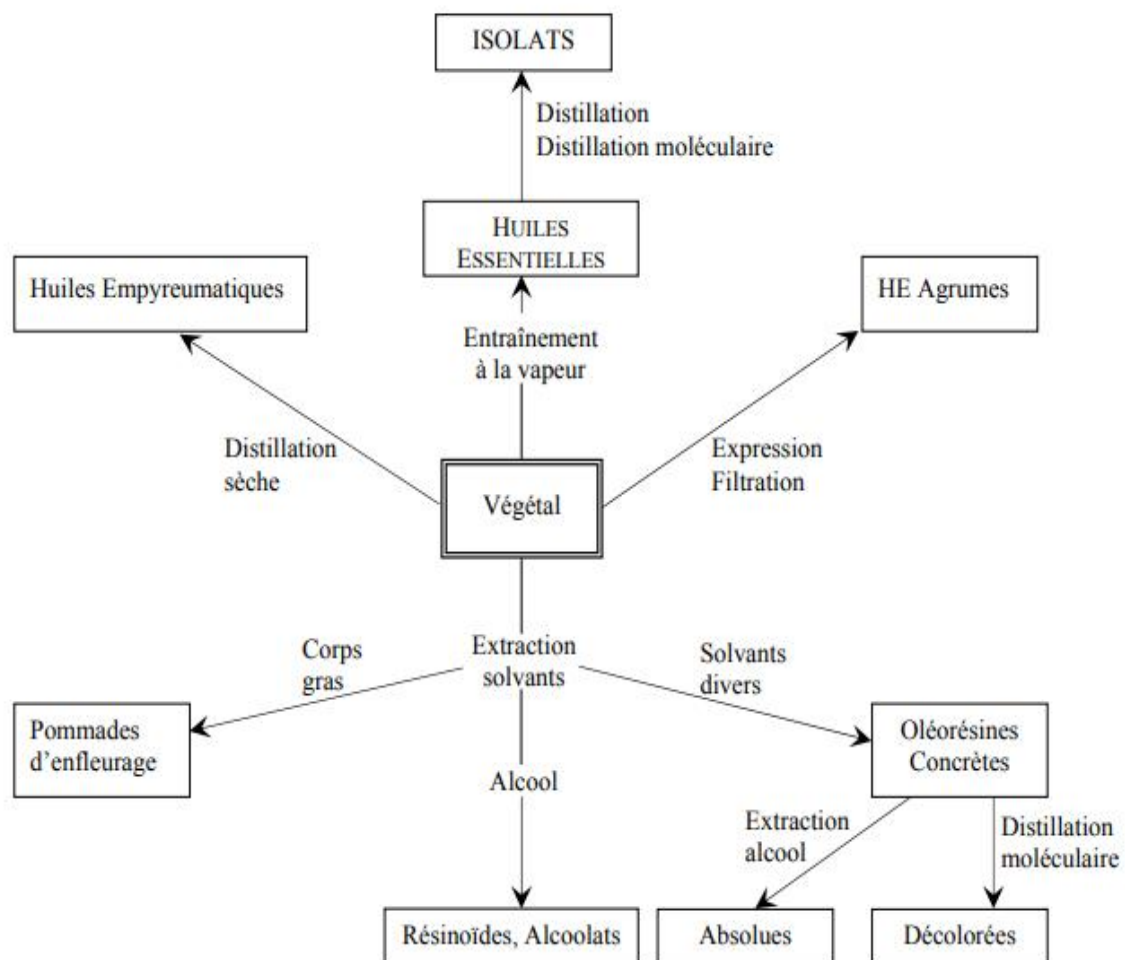


Figure 18 : Principales opérations industrielles d'extraction (**Peyron, 1992**).

III.1.4. Extraction de l'huile de la figue de barbarie

Il existe plusieurs techniques d'extraction des produits à haute valeur ajoutée présents dans les plantes. Ces techniques peuvent être dites conventionnelles (utilisées depuis longtemps) et nouvelles (développées plus récemment) (**Luque et Garcia-Ayuso , 1998**).

L'huile de Figue de Barbarie est une huile très précieuse et très rare, son coût vient du rendement très faible il n'y a que 6% d'huile dans la petite graine d'*Opuntia ficus-indica* obtenue par pression à froid, il faut donc traiter environ 800 kg de figues pour obtenir 1 litre d'huile, un chiffre toutefois variable en fonction des paramètres précités mais aussi de la performance des équipements mis en œuvre et du traitement réservé aux graines (**Benattia, 2017**).

III.1.4.1. Procédés d'extraction

L'obtention des huiles à partir des substances naturelles se fait par différentes techniques d'extraction, qui consistent à retirer une ou plusieurs espèces chimiques d'un milieu solide ou liquide. Le procédé d'extraction repose sur les différences de solubilité des composés d'un mélange dans un solvant, il existe plusieurs techniques d'extraction, parmi ces dernières nous pouvons mentionner les méthodes suivantes :

a) Extraction par soxhlet

L'extraction par soxhlet est une méthode classique pour l'extraction solide-liquide, simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec un solvant frais jusqu'à épuisement complet du soluté dans la matière première (**Wang et Waller, 2006**).

L'avantage de cette technique est que l'échantillon entre rapidement en contact avec une portion fraîche de solvant, ce qui l'aide à déplacer l'équilibre de transfert vers le solvant. Cette méthode ne nécessite pas de filtration après extraction. L'appareil soxhlet est composé d'une colonne en verre, dans laquelle est placée une cartouche en papier-filtre épais ou en cellulose, d'une matière pénétrable pour le solvant, d'un tube siphon et un autre de distillation. Dans le montage, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction surmonter par un réfrigérant. Le ballon est chauffé, provoquant l'évaporation du solvant qui passe dans le tube adducteur, puis se condense grâce au réfrigérant, et retombe dans le corps de l'extracteur (**Wang et Waller, 2006**).

Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon et retourne dans le ballon, accompagné des substances extraites. Ainsi, le solvant contenu dans le ballon s'enrichit progressivement de composés solubles, principalement l'huile (**Benattia, 2017**).

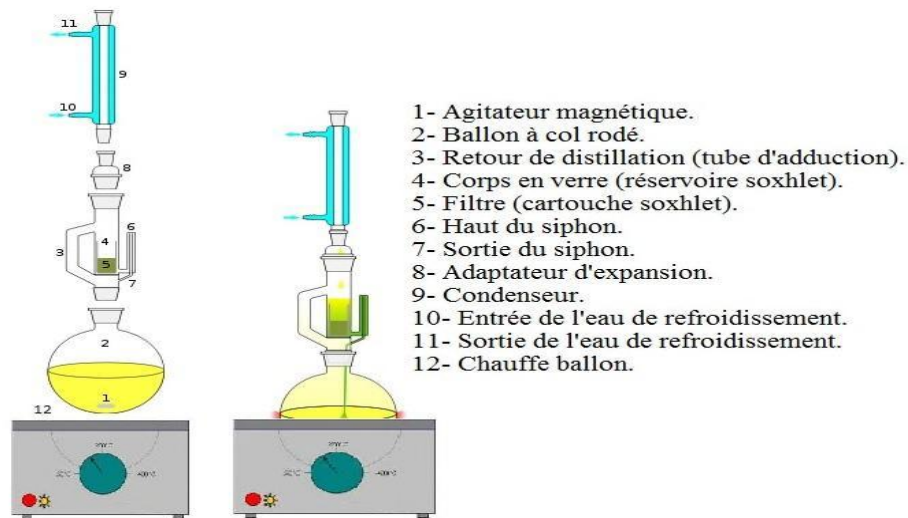


Figure 19: Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet(Belmiloud ,2003).

b) Extraction par pression à froid

L'extraction par pression à froid sert à un passage des graines dans une presse à huile à vis qui provoque une pression croissante à environ 60°C ; l'huile récupérée a été décantée, pesée puis conservée à -20°C (Benattia ,2017).

Cette technique permet la préservation de la teneur en acides gras essentiels et en anti-oxydants naturels, et par conséquent évite une altération des propriétés de l'huile. Le processus d'écrasement des graines oléagineuses pour en extraire l'huile qu'elles contiennent est divisé en deux types de pressage mécanique (continu et discontinu)(Benattia ,2017).

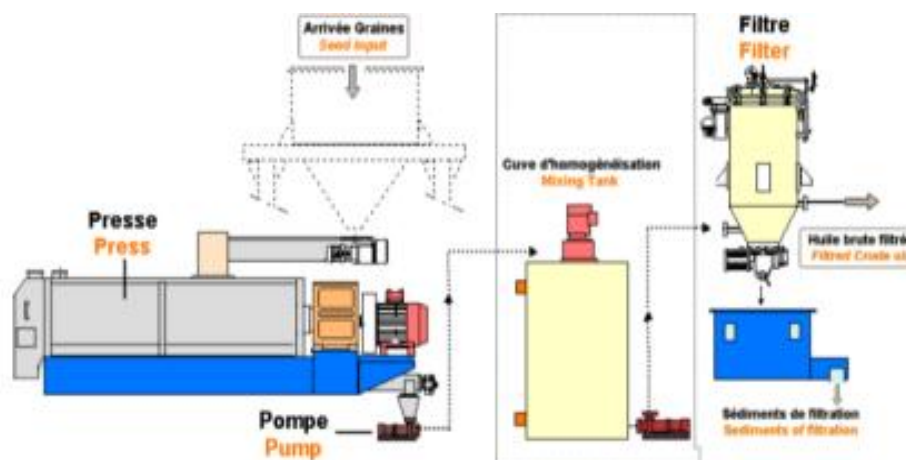


Figure 20 : Principe d'une extraction par pression à froid (Benattia ,2017)

c) Extraction par fluide supercritique

L'extraction par fluide supercritique et plus particulièrement par le CO₂ supercritique a été introduite comme alternative à ces procédés d'extraction par solvants (Danielskiet al ., 2006).

Il s'agit d'une technique sans résidu, qui utilise le CO₂, présentant les propriétés les plus satisfaisantes il est peu couteux et disponible à une pureté élevée, sa pression (74 bar) et sa température (31°C) critiques sont relativement faciles à atteindre, il est inerte, non inflammable et non-toxique, et en dehors des applications radioactives il est chimiquement stable (Bocevskaa et Sovova ,2007).

Elle permet également de récupérer un extrait le plus naturel possible, sans solvant, garantissant la préservation de tous les principes actifs avec une durée d'extraction plus courte, une sélectivité élevée et la facilité d'éliminer le solvant après l'extraction par simple décompression (Rozzi, 2002).

La méthode repose sur les propriétés particulières des fluides dans des conditions de température et de pression données, telles qu'ils aient à la fois des propriétés de gaz (pénétration dans la matière à extraire) et des propriétés liquides (dissolution de ce qui est à extraire, et notamment des molécules liposolubles). De plus, elle permet d'éviter toute dégradation de la molécule recherchée (les températures de travail sont basses), la sélectivité est meilleure, mais le coût est généralement très important (Wang et Waller ,2006).

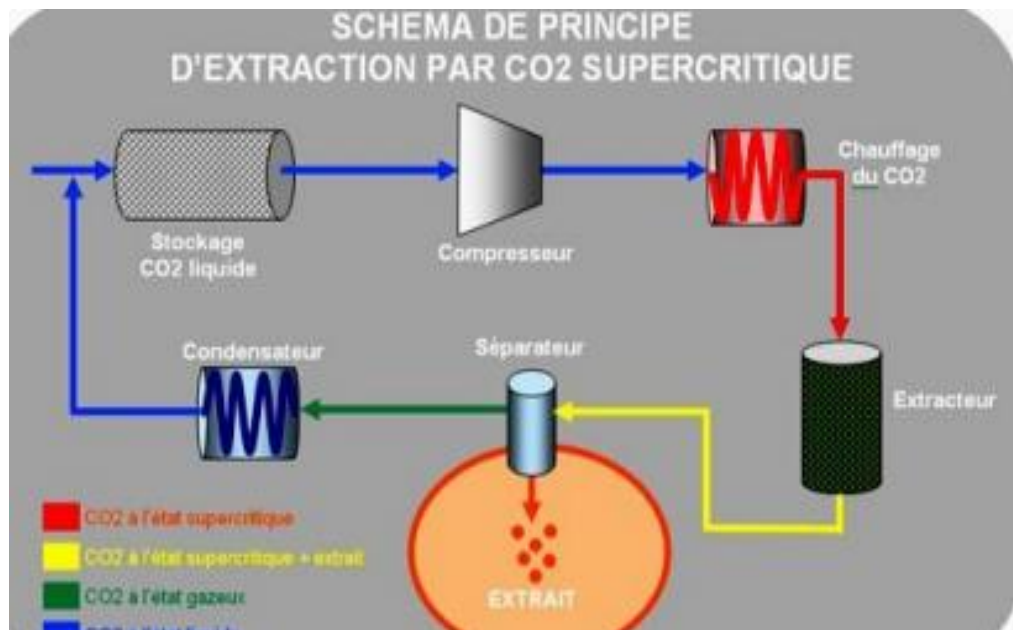


Figure 21 : Principe d'une extraction par CO₂ supercritique (Benattia, 2017).



Conclusion

Conclusion

L'extraction des huiles essentielles est très importante dans les domaines de la santé, cosmétique, industrielles. Elles présentent environ 60% des matières premières de l'industrie des parfums, du parfumage des savons et des cosmétiques. Plus de 40% des médicaments sont à base de composants actifs issus des plantes. De nombreuses huiles se trouvent dans la formule d'un très grand nombre de produits pharmaceutiques : sirops, gouttes, gélules...

En Algérie ce nopal(figuier de barbarie) est pratiquement délaissé pourtant, c'est une source de richesse a une véritable valeur ajoutée qui peut constituer un créneau d'investissement à part entier.

Noter synthèse bibliographique met la lumière sur la valeur des huiles essentielles de figuier de barbarie et sont intérêt dans le domaine pharmaceutique, cosmétique et industrielle, au future nous souhaitons réaliser un travail pratique pour mieux explorer secondaire des différentes produits cosmétiques, notamment la crème de peau, gel de nettoyage, masque pour visage



Bibliographie



A

Adrian J., Potus J., Frangne R., (1995). La science alimentaire de A à Z . Edition Lavoisier, Paris. P.166.

Aitougueni S., Ben hammaK ., (2015). Optimisation de l'extraction comportement de gélification des pectines hydrosolubles issues des raquettes de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica*). Mémoire de master .Université de Bejaia. P 49.

Alkurd A., Hamed T R., Al-SayyedH.,(2008).Tannin Contents of Selected Plants Used in Jordan. *Journal of Agricultural Sciences.* 4, 265 – 274.

Araba A, El Aich A. et Sarti B.,(2000).«Valorisation du figuier de Barbarie en élevage», Bultten Mensuelle d'Information et de Liaison du PNTT N° 68, 1- 4.

Arba M., (2009). Le cactus, *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. Symposium International « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) », Rabat, Maroc.

Arba M., El aich A., Sarti B., Belbahri L.L., Boubekraoui A., Zemmouri A., Sbaa H., (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull.Mens.Inf.et de liaison du PNTTA.* 68 ,1-4.



B

Bagchi D., Sen C. K., Bagchi M., Atalay M., (2004). Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. *Biochemistry (Moscow).*69, 75-80.

Bahrin T., (1997). Substances NaturellesActives : La FloreMauricienne, Une Source D'approvisionnementPotentielle .*Food and Agricultural Research Council.*16,10-12

Barbera G., et Inglese P., (1995).Research strategies for the improvement of cactuspear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *Journal of Arid Environments.*29,455-468.

Belmiloud M ., (2013) . Extraction et caractérisation physico-chimique des huiles des graines de figue de barbarie. Thèse de master en chimie .Université Mouloud Mammerie de Tizi-ouzou .P.41.

Buchanan C., Regeat F., Texier O., Agullo G., Demigne C., Remesy C., (2000). Bioavailability, metabolism and physiological impact of 4-oxo-flavonoids. *Nutrition recherche*. 16, 517-544.

Benattia F k., (2017) . Analyse et application des extrait de pépins de figes de barbarie. Thèse de doctorat en chimie . Université AboubekrBelkaid- Tlemcen .P. 152.

Benmiloud K., (2014). Criblage phytochimique, activités anti oxydantes et anticandidose des extraits de *Nepetaamethystina* (Gouzeia). Mémoire Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Chimie. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. P111.

Bernard B., (1995). La nature des arômes et des parfums, Edition Estem ,Paris. P.42.

Beta T., Nam S., Dexter J. E., SapirsteinH.D.,(2005). Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pearled Wheat and Roller-Milled Fractions. *Cereal Chemistry*. 82,390–393.

Bocevaska M., Sovova H., (2007). Supercritical CO₂ extraction of essential oil from yarrow. *Journal of Super Fluids*. 40 ,360–367.

Boizot N., Charpentier J.P., (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier, INRA-Amélioration génétique et physiologie Forestières, Laboratoire d'analyses biochimiques, le cahier des techniques de l'INRA. P.80.

Boudjellaba S., Yassa A., (2012). Activité antioxydante des graine de quelque variée de figuier de barbarie (*Opuntia ficus –indica L.*) de la région de Bédjaia. Université de Bédjaia .P.58 .

Bousbia N., (2011). Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de doctorat. Université d'Avignon. P.78.

Bruneton J., (1999). Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. Edition Lavoisier Tec & Doc, Paris. P. 571.



Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P., Castillejos L., Ferret A., (2007). Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 90,2580– 2595.

Cetkovic G., Canadanovic B. J., Djilas S., Savatovic S., Mandic A., Tumbas V., (2008).Assessment of polyphenolic content and in vitro antiradical characteristics of apple pomace. *Food Chemistry*.109 , 340-347.

Charpentier B., Hamon-Loreleac F., Halay A., Huard A. et Ridoux L., (2008) .Guide du préparateur en pharmacie. Edition Elsevier Masson, France. P.1358.

Christianson D.W., (2008). Unearthing the roots of the terpenome. *Current Opinion in Chemical Biology*.12, 141-150.

Cicile J.C., (2002). Distillation. Absorption Etude pratique. Techniques de l'ingénieur .P. 20.

Cowan M. M., (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*. 12, 564-582.

Crouzet J., (1998). Arômes alimentaires. Techniques de l'ingénieur. P.18.



Daglia M., (2012).Polyphenols as antimicrobial agents. *Curent Opinion in Biotechnology*.23, 174- 181.

Danielski L., Campos L., Hense H., Yunes R. A., (2006). Ferreira SRS. Marigold (*Calendula officinalis* L.) oleoresin: Solubility in SC-CO₂ and composition profile. *Chemical. Engin Proce* . 46 ,99–106.

Del Vall V., Hernandez Munoz P., Guarda A., Galotto M.J., (2005).Development of a cactus mucilage edible coating (*Opuntia ficusindica*) and its application to extend strawberry (*Fragaraananassa*) shelf-life. *Food chemistry*.91, 571-756.

Delmi M S ., (2018). Effet antimicrobien d'extrait d'*Opuntia ficus-indica* sur certain bactérie pathogène. Master enAgronomie .Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. P.59.

Deters, A. M., Meyer U., Stintzing F. C., (2012). Time-dependent bioactivity of preparations from cactus pear (*Opuntia ficusindica*) and ice plant (*Mesembryanthemumcrystallinum*) on human skin fibroblasts and keratinocytes. *Journal of Ethnopharmacology*. 142, 438-444.

Di Giacomo A., (2002) .Citrus, the Genus Citrus. Edition Taylor and Francis, France .P.642.

Dubos C., (2001). Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponiquell. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré. P.125.

Duncan A.M., Phipps., W.R., et Kurzer., M.S., (2003).Phyto-oestrogens. *Best Practice & Research: Clinical Endocrinology & Metabolism*.17, 253-71.



E

Epifano F., Genovese S., Menghini L., Curini M., (2007). Chemistry and pharmacology of oxyprenylated secondary plant metabolites.*Phytochemistry*. 68, 939-953.



F

Fabrocini V., (1999). Comment se soigner avec l'aromathérapie. Editions de vecchi, paris .P.56.

Fernandez M.L., Trejo A., et Mcnamara D.J., (1990).Pectin isolated From Prickly pear (Opuntia sp) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *The Journal of Nutrition*.120, 1283-1290.

Feugang J. M., Konarski P., Zou D., Stintzing F. C., et Zou C., (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (Opuntia spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*.11, 2574-2589.

François N.M., (2010) .Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydant et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine de Metz .P.49.



G

Garnero J., (1996) .Huiles essentielles. Techniques de l'ingénieur .P. 45.

Gibson A. C., Nobel P., (1986).The Cactus primer. Thèse de doctorat. Université Press Cambridge. P.286.

Ginestra G., Parker M. L., Bennett R. N., Robertson J., Mandalar G., Narbad A.,



H

Habibi Y., (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultra structurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat en chimie Organique .Université Joseph Fourier- Grenoble. P.98.

Hagerman A., Riedl K. M., Jones G. A., Sovik K.N., Ritchard N.T., Hartzfeld P.W., Riechel T.L., (1998). High molecular weight plant phenolics (tannins) as biological antioxidants . Journal of food and chemistry. 46 , 1887-1892.

Hanson J. R., (2003). Natural products: the secondary metabolites . *Royal Society of Chemistry*.17,12-20.

Harborne J.B., et Herbert B., (1995). Phytochemical Dictionary: Ahand book of bioactive compounds from plants. Edition Tayloret, France.P.992.

Haslam E., (1994). Natural polyphenols (vegatable tannins): Gallic Acid metabolism. *Natural Product*. 11, 41-66.

Hennebelle T., Sahpaz S., Bailleul F., (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*. 2, 3-6.



Iserin P., (2001). Larousse des plantes médicinales, identification, préparation, soins. *Larousse*. 15,16-68.



Judd W. S., Campbell C. S., Kellogg E. A., Stevens P., (2002). Botanique systématique : une perspective phylogénétique. Edition De Boeck Supérieur, Belgique .P.30.



Kabas O., Ormerzi A., Akinci I., (2006). Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficusindica L.*) grown wild in Turkey, *Journal of Food Engineering*. 73, 198-202.

King A., et Young G., (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals .*Journal of the American dietetic association*. 99,213-218.



Lambdin P. L., Aquino G. P, Green, M. J.F., (2002). Synopsis of carmine acid biosyntheses. *Cactus network*. 7,11-15.

Leybros J., et Fremeaux P., (1990). Extraction solide-liquide, aspect théorique. *Techniques de l'ingénieur* .P.8.

Luque de Castro M.D., Garcia-Ayuso L .E., (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*. 369, 1-10.



Macheix J.J., Fleriet A., Christian A., (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolite secondaire d'importance économique. Edition PPTUR Lausanne.France. P.216.

Majure L.C., Puente R. et Pinkava D.J., (2012). Miscellaneous chromosome numbers in *Opuntia* DC. (Cactaceae) with a compilation of counts for the group. *Haseltonia*. 18,67–78.

Mamadou B., (2011). Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologique de *Nauclea laetifolia* Smith une plante médicinales africaine récoltée au Mali .Thèse de doctorat. Université de Bamako. P.80.

Manach C., Regeat F., Texier O., Agullo G., Demigne C., Remesy C., (1996). Bioavailability, metabolism and physiological impact of 4-oxo-flavonoids. *Nutrition research*. 16, 517-544.

Möller K., (2008). La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous. Editorial UNICO.P. 152 .

Mondragón Jacobo C., et Bordelon B. B., (1996). Cactus pear (*Opuntia spp.* Cactaceae) breeding for fruit production. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 1,19–35.

Moro Buronzo A., (2008). Grand guide de l'huile essentielle .Edition hachette pratique, France. P. 60.

Morot-Gaudry J. F., (2016). Les végétaux, un nouveau pétrole. Éditions Quae, France. P.154.

Mouden M., Boujnah M., Salmaoui S., Zantar S., Douira A., (2016).Effect of two Extraction Methods and Harvest Period and Performance there Statement of Fatty Oils of Figs Pear Seed. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences* .4,1-8.

Mulas M. et Mulas J. (2004).potentialités d'utilisation stratégique des plants des genres Artiplex et Opuntia dans la lutte contre la désertification, Short and medium – term priority environmental action programme (SMAP).Thèse de doctorat. Université des études de Sassari. P.112.



Nacef S., Tekaya-karoui A., Ben Jannet H., Mighri Z., (2008).Identification de phytosterols, d'un acide triterpenique, d'un O-heteroside et une coumarine dans la partie aerienne de la plante convolvulus dorycnium L. poussant en Tunisie *Journal de la Société Algérienne de Chimie* .18, 159-171.

Narayana K. R., Reddy M. S., Chaluvadi M. R. et Krishna D. R. (2001). Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian journal of pharmacology*.33 , 2-16.

Neffar S., (2012). Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk- ahras et Tébessa .Thèse de doctorat en biologie végétale. Université Badji Mokhtar. Annaba. P.236.



Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. et Simons A., (2009).Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>.



Pierre T., (1935). Les cactacées médicinales. Edition pierre Thiébaud, Paris. P.60.

Piga A., (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Developmen*. 6, 9- 22.

Pimienta-Barrios E., (1994). Prickly pear (*Opuntia spp.*): a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*. 28,1-1.

Pinkava D.J., McLeod M.G., McGill L.A. et Brown R.C., (1973). Chromosome numbers in some cacti of Western North America II. *Brittonia*. 25, 2–9.

Pinkava, D.J., Baker, M.A., Parfitt, B.D., Mohlenbrock, M.W. & Worthington, R.D., (1985). Chromosome numbers in some cacti of North America V. *Systematic Botany*.10, 471-483.



Rahili G., (2002). La forêt algérienne. Institut national de la recherche forestière, Alger. Pp : 29-31.

Rebmenm J.P et Pinkava D.J., (2001).«Opuntiacacti of North America—an overview Cactus d’Opuntia de l’Amérique du Nord». *FlorideEntomologiste* .84, 474-483.

Reyes-Agüero J., Valiente-Banuet A., (2006). Reproductive biology of Opuntia: a review. *Journal of arid environments*.64,549-585.

.

Ritcher G., (1993).Metabolisme des végétaux physiologies et biochimie. Thèse de doctorat.Université Romandes .P. 339.

Rozzi N.L., Phippen W., Simon J.E., Singh R.K., (2002).Supercritical Fluid Extraction of Essential Oil Components from Lemon-Scented Botanicals. *LebensmTechnology* .35,319-324.



Samouelian F., Gaudin V., Boccara M., (2009). Génétique moléculaire des plantes. Editions Quae,France.P.125.

Sartori-thiel A., (2003). Activités anti microbiennne d'extraits végétaux enrichis enpolyphénols. Thèse de doctorat .Université de Toulous. P.177.

Schweizer M.,(1997). Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu. Edition Imprimerie LaballeryClamecy ,France. P.81.

Sell S., (2006).The Chemistry of Fragrance From Perfumer to Consumer. Edition The Royal Society of Chemistry, Cambridge. P. 329.

Setchell K. D. R., Lawson A. M., Borriello S.P., Harkness R., Gordon H., Morgan., D. M. L., Kirk D. N., Adlercreutz H., Anderson L.C. et Axelson M., (1981). Lignan

formation in man --microbial involvement and possible roles in relation to cancer. *The lancet*. 318,4-7.

Sharma B., Viswanath G., Salunke R., Roy P.,(2008). Effects of flavonoid-rich extract from seeds of *Eugenia jambolana* (L.) on carbohydrate and lipid metabolism in diabetic mice. *Food Chemistry* .110,697-705.

Sharma S., Sangwan N. S., Sangwan R. S., (2003). Developmental process of essential oil glandular trichome collapsing in menthol mint. *Current Science*. 84 ,544-550.

Souad A., (2006). Etude des propriétés biochimiques des polyphénols et tannins issus de *Rosmarinus officinalis* et *Vicia faba L.* Thèse de doctorat .Université Mentouri de Constantine. Pp.12-13.

Spencer J.L., (1955). A cytological study of the Cactaceae of Puerto Rico. *Botanical Gazette* .117,33-37.

Stintzing F.C., Schieber A., Carle R., (2005). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*. 212, 396-407.



Temagoult A., (2017). Caractérisation et Transformation de la Figue de Barbarie (*Opuntia Ficus Indica L.*), Elaboration d'une Confiture et d'une Gelée Extra. Mémoire de magister Génie des Procédés Alimentaires. Thèse de doctorat. Université Hadj elkhdr Batna. P.117.



Vercauteren J., (2007). Plan, Schéma, Formules du cours pharmacognosie. Thèse de doctorat. Université de Montpellier 1.P.187.



Walali L., (1998). «Bultten de liaison du Programme National de transfert de technologie (PNTTA)».Thèse de doctorat agronomique et vétérinaire. Université Hassan II, Rabat (Maroc).Pp.5- 10.

Waldron K. W.,(2009). Anatomical chemical and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.)Mill.]. *Journal of agricultural and food chemistry*.57,23-30

Wang L., Waller C.L., (2006).Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trend. Food. Science.Technology*.17 ,300 - 312.