

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A.MIRA-BEJAIA

Faculté de Technologie

Département Génie Des Procédés

## Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des procédés

**Option** : Génie Alimentaire

*Thème : Myrtus communis : Composition  
biochimique et effets thérapeutique*



**Soutenu le : 29/09/2020**

**Présenté par** : M<sup>elle</sup> BOUKHEDDAMI Samia

M<sup>elle</sup> BENYAHIA Mounia

**Membre de jury:**

**Présidente** : N.CHIBANI

**Promoteur:** A.MOKRANI

**Co-promoteur** : A.TAIBI

**Examinatrice** : O.SENHADJI

# Remerciement

*Avant tout nous remercions dieu le tout puissant qui nous a procuré de la volonté, de la santé et du courage pour achever ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre promoteur Monsieur Mokrani Abderrahmane qui nous a accompagné tout au long de la réalisation de ce mémoire, puis sa disponibilité, ses remarques et ses conseils.*

*Un remerciement particulier va à Monsieur Taïbi Abdeslem pour sa bienveillance et ses conseils.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les membres de jurys pour l'honneur qu'elles nous ont fait pour juger ce travail : M<sup>me</sup> N. CHIBANI qui nous a fait l'honneur de présider ce jury, M<sup>me</sup> O. SENHADJI qu'elle a acceptée d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier, tous les enseignants qui nous ont suivis durant notre formation et pour leurs valeureux conseils.*

*Nous remercions tous ceux qui nous ont toujours encouragé et que toutes fête ou réussite reste incomplète sans eux nos chers Oncles, Tantes, Cousins et Cousines.*

*Nos derniers remerciements, de loin les plus intenses, s'adressent à nos plus proches amis.*

# *Dédicace*

Après avoir rendu grâce au bon dieu le tout puissant qui nous a donné la force de résister et la volonté de travailler et la puissance pour accomplir ce modeste travail que je dédie :

- ❖ A mon grand-père : puisse ton âme repose en paix. Que dieu, le tout puissant te couvre de sa sainte miséricorde et t'accueille dans son éternel paradis.
- ❖ A la chandelle de ma vie, à la lumière de mon univers, à la source de tendresse, A la femme qui m'a mise au monde ma mère Nora.
  
- ❖ A l'être le plus cher de ma vie, mon père qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donnée confiance, courage et sécurité.
  
- ❖ A mon cher et agréable frère Sameh pour son aide valeureux, ses conseils. Il a su me soutenir par sa gentillesse et son dévouement tout au long de ce projet.
  
- ❖ A ma sœur Lamia qui a toujours fait preuve de bravoure, courage et de patience. A mon cher et agréable neveu Malek.
  
- ❖ A mon cher amour Yanis qui a su m'épauler, me pousser dans mes choix, et qui m'encourage toujours à aller plus loin, quoique cela nous coûte. Ta patience m'a toujours égayé même dans les moments les plus durs. Sans toi je ne serai pas arrivée jusque-là.
  
- ❖ A ma binôme Samia, ma copine et toute sa famille.
  
- ❖ A toute ma famille et mes chers amis.

*Mounia.*

# *Dédicace*

Après avoir rendu grâce au bon dieu le tout puissant qui nous a donné la force de résister et la volonté de travailler et la puissance pour accomplir ce modeste travail que je dédie :

- ❖ A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère Karima qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'études, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donnée confiance, courage et sécurité. A mon père Hocine qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice, ses conseils et ses encouragements. Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma profonde reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi. Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma reconnaissance et tout l'amour que je vous porte, ce travail représente le fruit de votre soutien. Jamais il n'aurait vu le jour sans les conseils que vous avez consentis pour mon éducation. Que dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.
- ❖ Aux bougies qui illuminent ma vie avec leurs beaux rires à mes chères sœurs, adorable Lydia, et la petite Lilia.
- ❖ Mon très cher frère Sofiane qui a toujours été là pour moi, qui m'a épaulé et soutenu durant tout mon cursus universitaire, et à mon cher et agréable neveu Bilal.
  - ❖ A ma binôme, ma copine Mounia et toute sa famille.
  - ❖ A toute ma famille et mes amis.

*Samia.*

## Liste des abréviations

### Liste des tableaux

### Liste des figures

<b>Introduction</b> .....	1
<b><i>Chapitre I : Présentation de la plante <i>Myrtus communis</i></i></b>	
1. Historique .....	3
2. Étude botanique de <i>Myrtus communis</i> .....	3
2.1. La famille des Myrtacées .....	3
2.2. Position systématique .....	4
2.3. Description botanique de la plante.....	4
2.3.1. La différence entre le myrte commun et le myrte nivelle.....	5
3. Localisation et répartition géographique .....	5
3.1. Dans le monde.....	5
3.2. En Algérie.....	6
4. Composition biochimique de <i>myrtus communis</i> .....	7
4.1. Les huiles essentielles.....	7
4.2. Les composés organiques .....	8
4.3. Les composés phénoliques .....	9
4.3.1. Les baies.....	9
4.3.2. Les feuilles.....	10
4.3.3. Les graines.....	10
4.4. Les minéraux .....	10
<b><i>Chapitre II : Radicaux libres et stress oxydatif</i></b>	
1. Les radicaux libres.....	12
1.1. Histoire des radicaux libres .....	12
1.2. Définition des radicaux libres.....	12
1.3. Les différentes espèces radicalaires.....	13
1.4. Production et origine des radicaux libres.....	14
2. Le stress oxydatif.....	16
2.1. Définition du stress oxydatif.....	16
2.2. Conséquences biochimiques du stress oxydatif.....	16
2.2.1. Effets sur les protéines.....	17

2.2.2. Effets sur les acides gras .....	18
2.2.3. Effets sur les glucides .....	18
2.2.4. Effets sur l'ADN .....	19
2.3. Moyens de défense contre le stress oxydatif.....	19
2.3.1. Moyens de défense endogènes .....	20
2.3.1.1. Superoxydedismutases (SOD).....	20
2.3.1.2. Les glutathion peroxydases (GPxs).....	20
2.3.1.3. Le cuivre .....	20
2.3.1.4. Le zinc .....	21
2.3.1.5. Le sélénium.....	21
2.3.2. Moyens de défense exogènes.....	21
2.3.2.1. Vitamine C .....	21
2.3.2.2. Vitamine E .....	22
2.4. Conséquences pathologiques du stress oxydatif.....	22

### ***Chapitre III : Les antioxydants***

1. Définition.....	23
2. Les caroténoïdes .....	23
2.1. Définition.....	23
2.2. Structure et classification des caroténoïdes.....	24
2.3. Localisation des caroténoïdes.....	25
2.4. Mécanisme d'action ou rôle physiologique des caroténoïdes.....	26
2.4.1. Mécanisme d'action des caroténoïdes.....	26
2.4.2. Rôle physiologique des caroténoïdes .....	26
3. Les composés phénoliques .....	29
3.1. Définition.....	29
3.2. Mécanisme d'action des polyphénols.....	29
3.2.1. Piégeage des radicaux libres.....	29
3.2.2. Chélation des ions métalliques .....	30
3.2.3. Inhibition d'enzymes .....	31
3.3. Structure et classification des composés phénoliques.....	31
3.3.1. Les acides phénoliques .....	31
3.3.2. Les flavonoïdes.....	32
3.3.3. Les flavonols.....	33
3.3.4. Les anthocyanines.....	34

3.3.5. Les stilbènes.....	35
---------------------------	----

## ***Chapitre IV : Propriétés biologiques, effets bénéfiques et utilisations de Myrtus Communis***

1- Propriétés biologiques et effets bénéfiques.....	36
1.1. Propriétés antimicrobiennes.....	36
1.1.1. Propriétés antibactériennes.....	36
1.1.2. Propriétés antifongiques.....	37
1.2. Propriétés antioxydantes.....	37
1.3. Propriétés anti-inflammatoires.....	38
1.4. Propriétés anticancéreuses.....	39
1.5. Effet sur le système cardiovasculaire.....	40
1.6. Autres propriétés biologiques (effet sur le diabète, effet sur les maladies neurodégénératives).....	40
1.6.1. Propriétés neurodégénératives.....	40
1.6.2. Effet sur le diabète.....	40
1.6.3. Effet sur le système digestif.....	41
2. Utilisations de <i>Myrtus Communis</i> .....	42
2.1. Utilisation en traditionnelle.....	42
2.2. Utilisation médicinale.....	43
2.3. Utilisation alimentaire.....	43
2.4. Autres utilisations.....	44
<b>Conclusion</b> .....	45

### **Références bibliographiques.**

### **Résumé.**

### **Abstract**

## *Liste des abréviations*

### Caractère:

**%:** Pourcentage.

**ABA :** Acide abscisique.

**ADN :** Acide désoxyribonucléique.

**ADP :** Adénosine diphosphate.

**ATP :** Adénosine triphosphate.

**CBM :** Concentration bactéricide minimale.

**ClO<sup>-</sup> :** Anion hypochlorite.

**CMI :** Concentration minimale inhibitrice.

**CML :** Carboxyméthylllysine.

**EOA :** Espèces oxygénées activées.

**GAE :** Equivalent d'acide gallique.

**GAPDH :** Glycéraldéhyde 3-phosphate déshydrogénase.

**Gpx<sub>s</sub> :** Glutathion peroxydase.

**GSH :** Glutathion réduit.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> :** Peroxyde d'hydrogène.

**HO<sub>2</sub><sup>·</sup> :** Hydroperoxyde.

**HOCl:** Acide hypochloreux.

**LDL :** Lipoprotéines de basse densité.

**MDA :** Malondialdéhyde.

**NADPH :** Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

**NO:** Monoxyde d'azote.

**NO<sub>2</sub>:** Dioxyde d'azote.

**O<sub>2</sub><sup>1</sup>:** Oxygène singulet.

**O<sub>2</sub><sup>·-</sup> :** Radical superoxide.

**O<sub>3</sub>:** Ozone.

**OH:** Hydroxyle.

**OH·** : Radical hydroxyle.

**ONOO·**: Peroxynitrite.

**PH**: Potentiel hydrogène.

**ROO·** : Radical peroxy.

**RO<sub>2</sub>·** : Peroxyle.

**RO·** : Alkoxy.

**SOD**: Superoxyde dismutase.

**TAC**: Capacité antioxydante totale.

**TBARS**: Substances réactives à l'acide Thio barbiturique.

**YALTA**: Young adult longitudinal trends in antioxydants.

### Unités

**Cm**: centimètre.

**G**: gramme.

**H**: heure.

**J**: jour.

**Kg**: kilogramme.

**Km**: kilomètre.

**L**: litre

**M**: mètre.

**Mg**: milligramme.

**ml**: millilitre.

**mm**: millimètre.

**µg**: microgramme.

### Divers

**UV**: Radiation ultraviolette.

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I</b> : Les divisions des myrtacées du point de vu botanique.....	4
<b>Tableau II</b> : Principales ERO radicalaire et non radicalaire.....	14
<b>Tableau III</b> : Principaux systèmes de production des EOA.....	15
<b>Tableau IV</b> : Carotènes et xanthophylles communs dans les aliments et les sources Naturelles.....	27

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Caractéristiques botaniques de <i>Myrtus communis</i> .....	5
<b>Figure 2 :</b> Distribution du genre Myrte dans le monde et en Algérie .....	6
<b>Figure 3 :</b> Les monoterpènes et sesquiterpénoïdes les plus courants trouvés dans les huiles essentielles dérivées de myrte.....	8
<b>Figure 4 :</b> Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant .....	13
<b>Figure 5 :</b> Origine et cibles des principaux dérivés réactifs de l'oxygène.....	16
<b>Figure 6 :</b> Spectre de différentes pathologies touchant divers organes dans lesquelles le stress oxydant est impliqué .....	22
<b>Figure 7 :</b> Caractéristiques structurales des caroténoïdes. <b>A</b> , numérotation des atomes de carbone dans un acyclique (lycopène) et un caroténoïde cyclique ( $\beta$ -carotène). <b>B</b> , groupes terminaux présents dans les molécules de caroténoïdes....	25
<b>Figure 8 :</b> Structure chimiques de certains caroténoïdes.....	25
<b>Figure 9 :</b> Piégeage des ERO par un noyau catéchol.....	29
<b>Figure 10 :</b> Chélation des ions métalliques par les sites potentiels des flavonoïdes . .....	30
<b>Figure 11 :</b> Structure des acides phénoliques .....	32
<b>Figure 12 :</b> Structure de base des flavonoïdes .....	33
<b>Figure 13 :</b> Structure des flavonols.....	33
<b>Figure 14 :</b> Structure des anthocyanes.....	34
<b>Figure 15 :</b> Structure des stilbènes.....	35

# *Introduction générale*

Les plantes médicinales constituent un patrimoine précieux pour l'humanité et plus particulièrement pour la majorité des communautés démunies des pays en voie de développement qui en dépendent pour assurer leurs soins de santé primaires et leurs subsistances. Elles utilisent la plupart des espèces végétales, tant ligneuses qu'herbacées, comme médicaments. Une croyance bien répandue est que toute plante soigne. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, plus de 80% des populations africaines ont recours à la médecine et à la pharmacopée traditionnelle pour faire face aux problèmes de santé **(Sofowora., A., 1993)**. Les plantes médicinales demeurent encore une source de soins médicaux dans les pays en voie de développement en l'absence d'un système médical moderne **(Tabuti., J.R.S et al., 2003)**.

Radicaux libres, stress oxydatif, espèces oxygénées activées, antioxydants sont devenus des termes de plus en plus familiers aux professionnels de la santé et même au grand public. La communauté médicale se rend compte qu'une augmentation du stress oxydatif chez un individu est potentiellement une cause de l'apparition de diverses pathologies telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer ou le diabète sucré. Pour se prémunir contre ces pathologies, il est important de disposer de défenses antioxydantes adéquates qui doivent nous être fournies par une alimentation saine, particulièrement riche en fruits et légumes **(Pincemail., J et al., 2007)**. Récemment, il existe un réel consensus scientifique selon lequel plus le statut antioxydant d'un individu est bas, plus le risque de développer ces pathologies est élevé **(Rabovsky., A et al., 2006)**.

Les composés phénoliques peuvent jouer un rôle important dans la protection des cellules de l'organisme contre les dommages causés par le peroxyde d'hydrogène et contre les dommages causés par les acides gras insaturés et les peroxydes lipidiques, absorbant et neutralisant les radicaux libres **(Sroka., Z et al., 2003)**. La présence de composés phénoliques (acides phénoliques, polyphénols et flavonoïdes) dans les herbes et épices, ainsi que les huiles essentielles, retient de plus en plus l'attention en raison de leurs diverses fonctions telles que l'activité antioxydante et les propriétés aromatisantes **(Issa., A.Y et al., 2006; Lagouri., V et al., 1993; Lagouri., V et al., 1995; Sacchetti., G et al., 2005; Tsimidou., M et al., 1994)**. En fait, les composés phénoliques sont reconnus comme de puissants antioxydants en raison de leurs doubles liaisons et de leurs groupes hydroxyle, étant capables de prévenir l'oxydation des radicaux qui peuvent endommager les cellules des molécules physiologiques telles que les protéines lipidiques et l'ADN **(Dahmoune., F et al., 2013)**.

Le myrte (*Myrtus communis* L.) est une plante aromatique de la famille des Myrtaceae utilisée en médecine traditionnelle comme remède contre de nombreuses maladies courantes (agent antiseptique, anti-inflammatoire et dans le traitement du diabète). Ses fruits, feuilles, graines et huiles essentielles sont d'importantes sources de nutriments, composés phytochimiques, et antioxydants avec des bienfaits prometteurs pour la santé (**Bravo., L ., 1998, Francesca., G et al., 2020**). Le myrte est largement utilisé dans les industries pharmaceutiques principalement pour la qualité de leurs huiles essentielles (**Chokri., M et al., 2012**).

C'est pour cette raison que nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'étude phytochimique de *Myrtus communis* L. Notre étude est scindée en plusieurs parties ; tout d'abord un premier chapitre sur la présentation de la plante *Myrtus communis* (étude botanique, localisation, répartition géographique et composition biochimique). Ensuite un deuxième chapitre consacré aux radicaux libres et stress oxydatif. Puis un troisième chapitre décrivant les antioxydants plus particulièrement les caroténoïdes et les composés phénoliques. Enfin un quatrième chapitre portant sur les différentes propriétés biologiques, effets bénéfiques et utilisations de *Myrtus communis*.

*Chapitre I : Présentation de la  
plante Myrtus communis*

## 1. Historique

Les plantes médicinales revêtent actuellement une importance considérable en raison de leurs attributs particuliers en tant que source importante de composés phytochimiques thérapeutiques pouvant conduire au développement de nouveaux médicaments. La plupart des composés phytochimiques d'origine végétale tels que les phénols et les flavonoïdes auraient un impact positif sur la santé et la prévention du cancer (**Venugopal., R et al., 2012**).

Parmi ces plantes médicinales, le myrte commun qui est une plante annuelle appartenant à la famille des Myrtacées qui regroupe environ 5500 espèces classées en 144 genres et 17 tribus (**Migliore., J et al., 2012**). Originnaire d'Europe du sud, d'Afrique du nord et d'Asie occidentale, le myrte est très connu dans le bassin méditerranéen (**Sumbul., S et al., 2012**).

Toutes les parties du myrte (feuilles, fruits, fleurs et racines) sont recommandées en médecine traditionnelle (**Farah A., et al., 2006**). Le myrte est surtout connu comme plante médicinale pour son activité anti-hyperglycémique (**Sepici A., et al., 2004**), analgésique (**Twaij HAA., et al., 1989**), antigénotoxique (**Hayder N., et al. 2004**) et antibactérienne (**Bonjar., SGH., 2004**). Différentes parties de la plante trouvent également diverses utilisations dans les industries alimentaires et cosmétiques (**Chalchat J., et al., 1998**). Le myrte est une plante très aromatique en raison de la forte teneur en huile essentielle de ses feuilles, fleurs et glandes fruitières (**Aidi Wannes W., et al., 2009**).

En Algérie, cet arbuste sauvage connu sous le nom de « Chelmoune » en Kabylie ou « Rihane » dans certaines régions, est commode pour abaisser la glycémie, utile pour améliorer la digestion ainsi que pour le traitement des problèmes respiratoires (**berka-Zougali., B et al., 2012**).

## 2. Étude botanique de *Myrtus communis*

### 2.1. La famille des Myrtacées

Les myrtacées sont une famille de plantes à fleurs qui regroupe environ 5500 espèces, classées en 144 genres et 17 tribus. La tribu Myrteae représente la moitié de la biodiversité de la famille avec 51 genres et environ 2500 espèces pour la plupart restreintes aux Néotropiques, bien que 15 genres et environ 450 espèces se trouvent dans d'autres continents (**Migliore., J et al., 2012**). Les myrtacées sont classées au sein des clades suivants : les Angiospermes, les Eudicotyledoneae, les Rosidae, les Malvidae et enfin l'ordre des Myrtales.

Elles sont largement utilisées en industrie agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (APG III. 2009 ; Soltis, D., 2011).

## 2.2. Position systématique

Selon Grété (Grété., P., 1965), la famille des Myrtacées est définie du point de vue botanique selon les divisions suivantes :

**Tableau I :** Les divisions des myrtacées du point de vu botanique

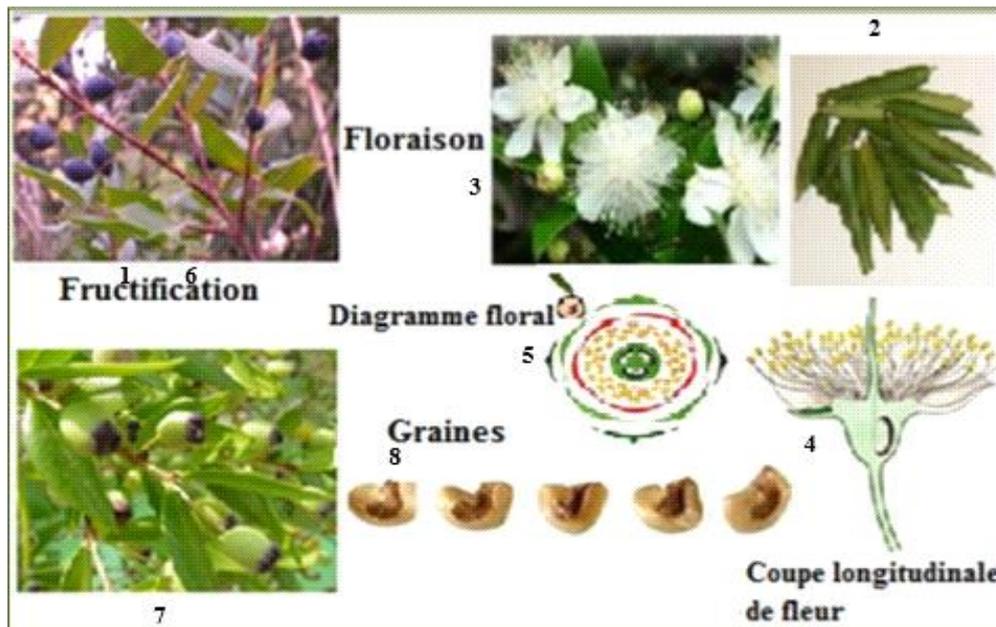
Règne	Plantae
Sous-règne	Eucaryotae
Embranchement	Spermaphytae
Sous-embranchement	Angiospermae
Classe	Dicotylédonae
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae

## 2.3. Description botanique de la plante

Le myrte commun est un phanérophyte sempervirent qui peut vivre plus de 300 ans (Rameau., J. C., et al., 2008). Le myrte se caractérise par des branches (des tiges) de couleur rouge (**Figure 1**) qui sont très ramifiées. Les feuilles sont opposées, très rapprochées, de forme ovale à extrémités aiguës, entières, persistantes, luisantes et d'une couleur vert brillan.

La floraison commence en été en formant des fleurs blanches ou tachées de rose, très odorantes, solitaires à 3 cm de diamètre. Les fleurs sont isolées à l'aisselle des feuilles et portées par de longs pédoncules (Migliore., J., 2011).

Le fruit de *Myrtus communis* est une baie ovale de couleur bleu-noir. La pleine maturité de ce fruit est atteinte au mois de novembre Ce fruit est de saveur âpre et résineuse (Migliore., J., 2011). Les graines sont de tailles et de formes différentes, réniformes, couleur ivoire et de saveur résineuse (Boullard., B., 1988).



**Figure 1 :** Caractéristiques botaniques de *Myrtus communis*  
(Migliore., J., 2011 ; Khadidja., K., 2011).

### 2.3.1. La différence entre le myrte commun et le myrte nivelle

Le myrte commun et le myrte nivelle sont des arbustes à écorce rugueuse, à feuilles opposées, à fleurs blanches en forme d'étoile (5 à 9 pétales) et à baies blanches, violettes, bleues ou même noires. Ils se différencient par les caractéristiques morphologiques suivantes : les feuilles de Myrte nivelle sont linéaires lancéolées (4-5 cm de longueur) et plus étroites (6–8 mm) que celles de Myrte commun qui sont ovales-lancéolées (2–5 cm de long) et plus larges (10–20 mm). Les fruits de Myrte commun sont ellipsoïdes à sous-globuleux, pyriformes, allongés ou plats (7–9 mm de longueur), tandis que ceux de Myrte nivelle sont globuleux et plus petits (4–5 mm) (Migliore., Jet al., 2012 ; Alipour., G et al., 2014 ; Melito., S et al., 2016). Le Myrte commun atteint 0,5–3 m de hauteur, tandis que le Myrte nivelle atteint 1–2 m de hauteur (Migliore., J et al., 2012).

## 3. Localisation et répartition géographique

### 3.1. Dans le monde

- **Le Myrte commun**

Le myrte commun est une plante méditerranéenne qui pousse dans plusieurs régions telles que la Macaronésie (Madère et les Açores), l'Iran et l'Afghanistan à 500 m d'altitude. Plus de 15 genres et 450 espèces environ se trouvent dans les régions suivantes : l'Asie du

Sud-Est, l'Australie du Nord-Est, les îles du pacifique, la Nouvelle-Calédonie et enfin la Nouvelle-Zélande (Migliore., J et al., 2012 ; Vasconcelos, T.N.C et al., 2017).

Le myrte commun évolue dans des climats subhumides, humides et perhumides sur un substrat le plus souvent siliceux et calcaire, à variante chaude à tempérée. Il est la seule espèce de la famille des myrtacées qui existe à l'état naturel (Wahid., N., 2013). Le myrte pousse généralement dans les zones situées entre 500 et 600 m au-dessus du niveau de la mer, en particulier dans les forêts de pins et les berges des montagnes du Taurus en Turquie (Aydm., C et al., 2007).

- **Le myrte nivelle**

Le myrte nivelle pousse dans les montagnes du sud du Sahara sur les gorges rocheuses et sablonneuses à haute altitude au-dessus de 1400 m (Migliore., J et al., 2012).

### 3.2. En Algérie

- Le Myrte commun s'accroît sur l'Atlas tellien et les régions côtières d'Alger et de Constantine (Quézel., P et al., 1962) mais également dans les maquis et les forêts du littoral (Kaddem., S.E., 1990).
- Le myrte nivelle (*Myrtus nivellei*) qui est une espèce qui pousse au désert (Sahara). On le retrouve dans le Hoggar et le Tassili (Tassili N'Ajjer, Tassili N'Immidir et Tefedest) ainsi et qu'au Tchad (Tibesti) en s'éloignant à 1000 km d'altitude des rives de la méditerranée (Migliore J., 2011).

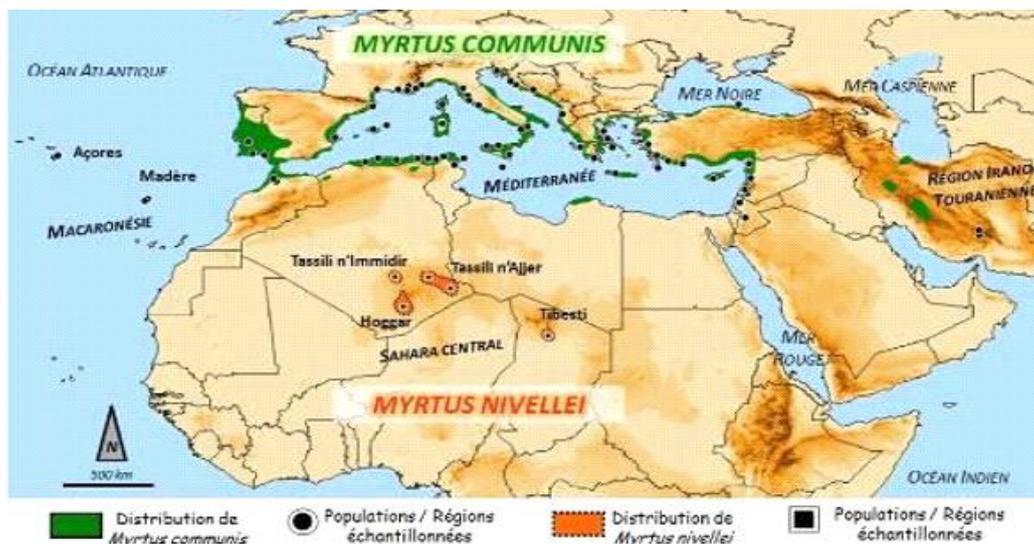


Figure 2 : Distribution du genre Myrte dans le monde et en Algérie (Migliore., J. 2011)

#### 4. Composition biochimique de *Myrtus communis*

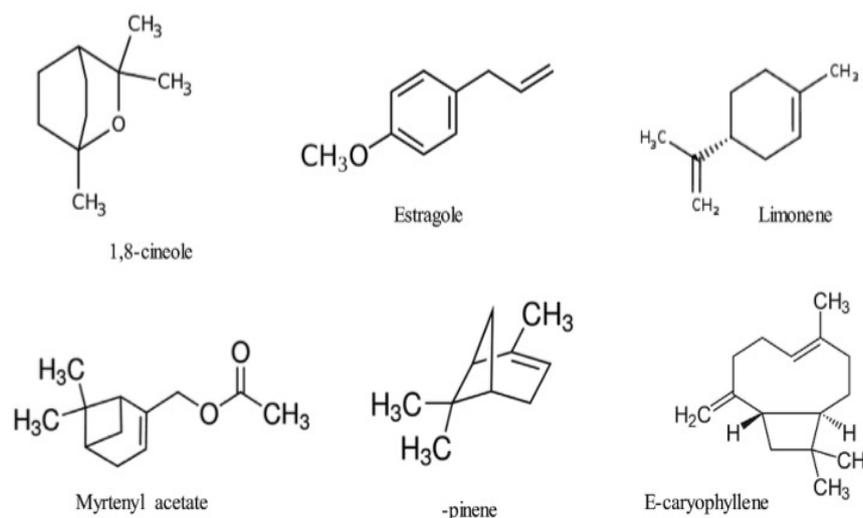
Le *Myrtus* est une plante aromatique et médicinale, une source d'antioxydants naturels. Il contient des métabolites secondaires tels que les composés phénoliques et les huiles essentielles (Singer., A.C et al., 2003).

Concernant la composition chimique de cette plante, des recherches précédentes ont révélé sur les différentes parties de la plante la présence de divers composés chimiques. Les feuilles contiennent des huiles essentielles, des tanins, des acides phénoliques et des flavonoïdes tels que la quercétine, la catéchine et des dérivés de myricétine (Romani., A et al., 1999 ; Baytop., T., 1999).

##### 4.1. Les huiles essentielles

Les huiles essentielles également appelées huiles volatiles ou étherées sont des liquides huileux aromatiques obtenus à partir de différentes parties de plantes et largement utilisés comme arômes alimentaires (Burt., S., 2004). Les huiles essentielles sont des mélanges complexes comprenant de nombreux composés uniques. Chimiquement, ils sont dérivés de terpènes et de leurs composés oxygénés. Chacun de ces constituants contribue aux effets bénéfiques ou indésirables (Prabuseenivasan., S et al., 2006). Il a également été rapporté que les huiles essentielles sont utiles dans les industries de la conservation des aliments (Sandri., G et al., 2007) et en parfumerie (Buttner.,M.P et al., 1996). Les huiles essentielles et leurs composants suscitent un intérêt croissant en raison de leur statut relativement sûr, de leur large acceptation par les consommateurs et de leur exploitation pour une utilisation fonctionnelle (Ormancey., X et al., 2001 ; Sawamura., M., 2000).

En général, les monoterpènes hydrocarbonés, les monoterpènes oxygénés et les sesquiterpénoïdes sont les classes les plus courantes des composés trouvés dans les huiles essentielles extraites des baies et des feuilles de myrte. Le 1,8-cinéole, l' $\alpha$ -pinène, le limonène, l'acétate de géranyl, le linalol, l'estragole, l' $\alpha$ -acétate de terpinyle, l'acétate de myrtényle, le bergamotène et l'E-caryophyllène sont les plus représentatifs (Figure 3 ) (Brada., M et al., 2012; Henna., A et al., 2019; Kordali., S et al., 2016; Mahmoudvand., H et al., 2015; Messaoud., C et al., 2011; Pereira., P. C et al., 2009; Petretto., G.L et al., 2016; Rahimmalek., M et al., 2013; Tuberoso., C.I.G et al., 2007; Usai., M et al., 2018; Viuda-Martos., M et al., 2011).



**Figure 3** : Les monoterpènes et sesquiterpénoïdes les plus courants trouvés dans les huiles essentielles dérivées de myrte (Snoussi., A et al., 2012; Tuberoso., C.I.G et al., 2010).

#### 4.2. Les composés organiques

Les teneurs totales en solides solubles des fruits varient de 15,5 à 24% tandis que les valeurs de pH se situent entre 4,39 et 5,64 (Fadda., A et al., 2016; Haciseferogullari., H et al., 2012; San., B et al., 2015).

De même, la teneur en protéines des baies varie entre 4,17 et 9,02%, celles des glucides et composés cellulosiques autour de 79,78 et 23,49%, les cendres entre 0,73 et 3,47%, la concentration d'huile entre 2,37 et 3,48%, la matière sèche entre 24,28 et 89,73%, et les fibres brutes autour de 17,41%, et cela selon le génotype étudié (Aydin., C et al., 2007; Correddu.,F et al., 2019; Haciseferoğullari., H et al., 2012).

En outre, les acides organiques les plus courants présents dans le myrte sont les acides citrique, ascorbique, tartrique, tannique et malique dont la concentration est très variable (Haciseferoğullari., H et al., 2012; Fadda., A et al., 2016 San, B et al., 2015).

Comme indiqué par AidiWannes., W et al., (2010), la teneur en lipides totaux est d'environ 28,97 mg/g dans les baies entières, 4,14 mg/g dans le péricarpe et 61,26 mg/g dans les graines. Dans ces dernières, la concentration de neutralglycérolipides est de 58,45 mg/g dont le triacylglycérol (57,47 mg/g), le diacylglycérol (0,51 mg/g), les acides gras libres (0,32 mg/g) et le monoacylglycérol (0,15 mg/g). Les glycérolipides polaires ne représentent que 2,81 mg/g des glycérolipides totaux (AidiWannes., W et al., 2010).

En plus des graines, les baies et les huiles essentielles sont particulièrement riches en acides gras dont les acides gras non saturés sont les plus représentatifs, en particulier les acides linoléique (18 : 2n6c) et oléique (18 : 1n9c). Tandis que les acides palmitique (16: 0) et

stéarique (18:0) sont les acides les plus abondants de la fraction saturée (Aidi Wannas., W et al., 2010; Correddu., F et al., 2019; Jabri.,M.A et al., 2017, 2018a; Messaoud., C et al., 2011; ,San., B et al., 2015; Serce., S et al., 2010; Sumbul., S et al., 2011). La présence de ces acides gras polyinsaturés n-3 est très importante car ils confèrent au myrte son potentiel anti-inflammatoire (Jabri., M.A. et al., 2018b).

La composition proximale du myrte est fortement influencée par plusieurs facteurs dont le génotype de la plante, la zone géographique, les conditions climatiques, la pratique culturelle, le stade de maturation et la période de macération des fruits (Hacisefero~gullari H et al., 2012; ,San., B et al., 2015; Tuberoso.,C.I.G et al., 2007).

### 4.3. Composés phénoliques

En ce qui concerne la composition phytochimique, les fruits et les feuilles sont de loin les parties les plus étudiées du myrte. Dans les deux cas, les polyphénols sont les composés les plus représentatifs, extrêmement importants non seulement pour les fonctions morphologiques et physiologiques de la plante mais également essentiels pour la santé humaine en raison de leurs multiples activités biologiques (Afrin., S et al., 2020; Battino., M et al., 2019; Forbes-Hernandez, T.Y et al., 2020; Sieniawska., E et al., 2020; Sun., C et al., 2020).

Selon les écotypes de myrte, la zone géographique et les méthodes d'extraction, la quantité de polyphénols, flavonoïdes et anthocyanes totaux dans les baies varie de 14,68 à 138,21 mg d'équivalents d'acide gallique (GAE)/g, de 52,03 à 158,94 mg/g, et de 5,355 à 60,252 mg/g, respectivement (Amensour., M et al., 2010; Fadda., A et al., 2010; González de Peredo., A.V et al., 2018, 2019; Messaoud., C et al., 2011; Özcan., M.M., et al., 2020).

#### 4.3.1. Les baies

Plus précisément, la composition phytochimique des baies de myrte est caractérisée par la présence dominante d'anthocyanes qui confèrent la couleur violet-foncé aux fruits et contribuent aux effets sur la santé du myrte, grâce à des effets anti-inflammatoires, antioxydants, antitumoraux et hypolipidémiant (Afrin., S et al., 2020; Battino., M et al., 2019; Forbes-Hernandez, T.Y et al., 2020).

Dans la baie de myrte, ces composés bioactifs sont principalement représentés par la delphinidine 3-O-glucoside, la pétunidine 3-O-glucoside, la malvidine 3-O-glucoside et la peonidine 3-O-glucoside, suivies par la cyanidine 3-O-glucoside, la delphinidine-pentose et

pétunidine-pentose (Maldini., M et al., 2016; Montoro., P et al., 2006; Pereira., P et al., 2016, 2017; Sarais., G et al., 2016; Scorrano., S et al., 2017; Siracusa., L et al., 2019).

En outre, des acides phénoliques (acide gallique et ses dérivés, acide caféique et acide syringique), des flavanons (naringine), des flavonols (myricétine, myricétine 3-O-galactoside, myricétine 3-O-rhamnoside, quercétine 3-glucoside et quercétine 3-rhamnoside), parmi d'autres ont été identifiés dans des extraits de baies (Barboni., T et al., 2010; San., B et al., 2015; Sarais., G et al., 2016 ; Tuberoso., C.I.G et al., 2010; Viuda-Martos., M et al., 2011).

#### 4.3.2. Les feuilles

Concernant la composition des feuilles, la concentration en polyphénols et flavonoïdes totaux varie de 31,25 à 298,63 mg GAE/g et de 129,96 à 376,82 mg / g, respectivement, selon la variété de myrte et les méthodes utilisées pour l'extraction et l'analyse (Amensour., M et al., 2010; Özcan., M.M et al., 2020).

#### 4.3.3. Les graines

Enfin, seules quelques études ont été réalisées pour évaluer la composition phytochimique des graines de myrte. La concentration en polyphénols et flavonoïdes totaux est comprise entre 25,25 et 147,56 mg de GAE/g poids sec et entre 0,75 et 85,06 mg/g poids sec, respectivement. Ces valeurs sont fonction de la variété et des méthodes utilisées pour l'extraction et l'analyse (AidiWannes., W et al., 2016; Jabri., M.A et al., 2017; Jabri., M. A et al., 2016).

Les graines de baies sont très riches en tanins totaux (environ 18,01 mg GAE/g poids sec) qui contribuent au goût astringent de la baie de myrte et qui peuvent même être deux fois plus élevées que celles présentes dans le fruit entier (9,11 mg GAE/g poids sec) (AidiWannes., W., 2013, 2016).

#### 4.4. Les Minéraux

Les types et les quantités de minéraux du myrte dépendent de plusieurs aspects tels que les parties de la plante, le génotype, la maturation du fruit, les conditions environnementales (type de sol, fertilité, l'humidité) et l'âge de la plante (Haciseferoğulları., H et al., 2012; Özcan., M.M et al., 2020; Yildirim., F et al., 2015).

En général, le Ca, K, P, Mg, Na, S et Mn sont les minéraux les plus représentatifs, tandis que le Se et le P ont été signalés à des concentrations plus faibles. Les feuilles et les fruits sont les parties du myrte avec les concentrations de minéraux les plus élevées par rapport aux tiges (**Özcan., M.M et al., 2020; Yildirim., F et al., 2015**).

*Chapitre II : Radicaux libres et  
stress oxydatif*

Les espèces oxygénées activées (EOA), les radicaux libres, le stress oxydatif et les antioxydants sont devenus des termes familiers à la fois dans le monde médical et dans le grand public. Au début des années 2000, ces notions n'étaient généralement discutées que lors de conférences scientifiques **(Defraigne., J.O et al., 2008)**

## 1. Les radicaux libres

### 1.1. Histoire des radicaux libres

**Gerschman et al.** indiquaient Au milieu des années 50 que l'oxygène est indispensable à la vie, il est aussi toxique pour l'organisme **(Gerschman R., et al., 1954)**. S'inspirant de ses travaux, Harman propose la «théorie radicale du vieillissement» **(Harman., D., 1956)** via la production de radicaux libres (entités chimiques très instables et réactives suite à la présence d'un électron libre dans leur structure). L'oxygène est à l'origine du processus de vieillissement cellulaire.

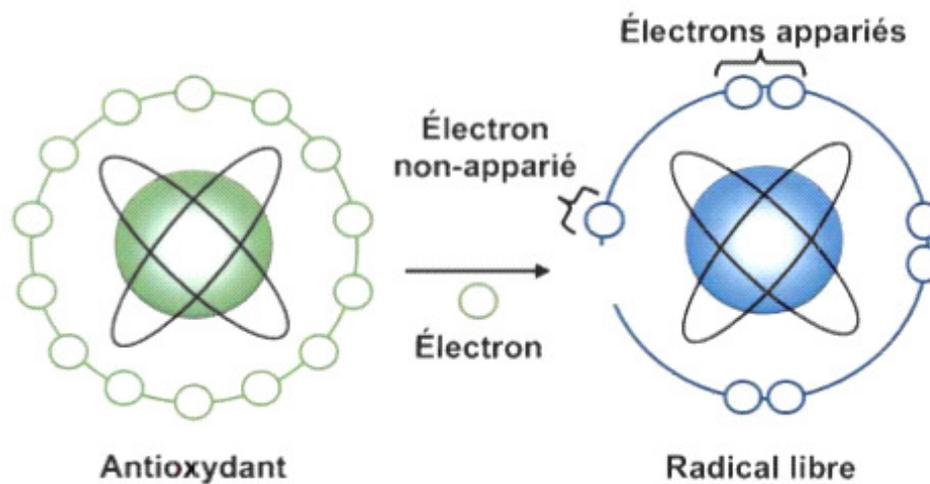
Pour l'histoire du stress oxydant, les Américains McCord et Fridovich séparaient, en 1969, à partir des globules rouges humains un système enzymatique antioxydant : le superoxyde dismutase (SOD) qui élimine le radical libre anion superoxyde produit par réduction univalente de l'oxygène. Cette découverte fondamentale montre indirectement que les radicaux libres sont produits dans notre corps. Ceci est donc le point de départ de recherches sur les sources de production de l'anion superoxyde et sur ses rôles pathologique et physiologique **(McCord., J.M et al., 1969)**.

Vers la fin des années 1980, d'autres méthodes plus nécessaires pour l'évaluation des dommages oxydatifs sont apparues au niveau des lipides, de l'ADN ou des protéines. En utilisant toutes ces méthodes, l'efficacité scientifique des molécules antioxydantes peut ensuite être testée *in vivo* dans divers modèles de stress oxydatif chez l'animal et chez l'homme. **(Haleng.,J et al., 2007)**

### 1.2.Définition des radicaux libres

L'oxygène est une molécule essentielle à la vie. En tant que source d'énergie, les organismes dits aérobies utilisent des réactions redox (chimiotrophes) basées sur des interactions entre donneurs d'électrons (agents réducteurs) et accepteurs d'électrons (oxydants) **(Koppenol.,W.H.,2001)**.

En chimie, un radical libre est un atome ou une molécule contenant un électron non apparié. Ce déséquilibre n'est que transitoire car il est comblé soit par l'acceptation d'un autre électron, soit par le transfert de cet électron libre vers une autre molécule (**figure 5**). Ce déséquilibre dépend principalement de l'instabilité du radical libre considéré. Si cette instabilité est modérée, la probabilité d'accepter un deuxième électron est élevée et dans ce cas, le radical libre ne représente qu'une étape transitoire dans une réaction d'oxydo-réduction classique. Si, au contraire, cette instabilité est élevée, l'électron libre est rapidement transféré vers une autre molécule. Plus l'instabilité n'est importante, moins la réaction est spécifique. En d'autres termes, l'électron passe sur une molécule non destinée à cet effet (**Oldham., K.M et al., 1998 ; Goode., H.F et al., 1993**).



**Figure 4 :** Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant

(Gilgun-Sherki., Y et al., 2001).

### 1.3. Les différentes espèces radicalaires

La chaîne respiratoire mitochondriale, dans laquelle les êtres aérobies puisent leur énergie, joue un rôle capital dans la cellule en couplant l'oxydation de coenzymes transporteurs d'hydrogène ou d'électrons avec la phosphorylation de l'ADP (Adenosine DiPhosphate) en ATP (Adenosine TriPhosphate). Les conséquences de cette activité mitochondriale sont doubles et paradoxales :

- En premier lieu, 36 molécules d'adénosine triphosphate (ATP) à fort potentiel énergétique seront générées lors de la réduction de l'oxygène. C'est la mitochondrie qui donne à la cellule une source considérable d'énergie.

- En revanche, approximativement 0,4 à 4% de l'oxygène ne sera pas correctement transféré en eau en raison de fuites électronique aboutissant à des imperfections de la chaîne respiratoire mitochondriale. L'oxygène donne naissance à des espèces oxygénées activées (EOA) par réduction monoélectronique (Knight., J.A., 2001).

Le radical anion superoxyde se forme, ce qui conduit ensuite à la production d'autres EOA tels que le peroxyde d'hydrogène, l'oxygène singulet, le radical hydroxyle, l'acide hypochloreux et le monoxyde d'azote (NO) , (Coyle.,P et al., 2002) mais aussi certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires dont la toxicité est importante comme le peroxyde l'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) et le peroxy-nitrite (ONOO<sup>-</sup>) (Novelli., G.P., 1997 ; Oldham., K.M et al., 1998).

**Tableau II** : Principales ERO radicalaire et non radicalaire (halliwell., B., 2007)

Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	
Radicalaire	Non Radicalaire
Radical superoxyde O <sub>2</sub> <sup>·-</sup>	Peroxyde dihydrogène : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Radical hydroxyle: OH <sup>·</sup>	Ion hypochlorite : HOCl
Peroxyde: RO <sub>2</sub> <sup>·</sup>	Ozone : O <sub>3</sub>
Alkoxyde: RO <sup>·</sup>	Oxygène singulet: O <sub>2</sub> <sup>1</sup>
Hydroperoxyde: HO <sub>2</sub> <sup>·</sup>	Peroxy-nitrite: ONOO <sup>-</sup>

Plusieurs mécanismes biochimiques peuvent s'activer (**tableau III**) dans l'organisme, mais aussi sous l'action d'éléments environnementaux, en produisant des quantités excessives d'EOA, qui vont donc très vite submerger toutes nos défenses antioxydantes (Hayflick., L., 1985).

#### 1.4. Production et origine des radicaux libres

Lors du transfert d'électron dans la chaîne respiratoire, le radical superoxyde ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) est produit par réaction de l'oxygène avec un radical semi-ubiquinone dans les mitochondries. Cependant, il est probable qu'au cours d'une agression cellulaire, les mitochondries seront

secondairement endommagées et produiront ensuite des quantités considérables de superoxyde. Les cellules phagocytaires comportent une enzyme membranaire appelée NADPH oxydase qui est responsable dans la production du radical superoxyde ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), elle est activée quand la cellule phagocytaire est stimulée. Cette production de superoxyde est à l'origine de la production de molécules telles que le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ou l'hypochlorite ( $\text{ClO}^-$ ) indispensables à la destruction du matériel phagocyté.

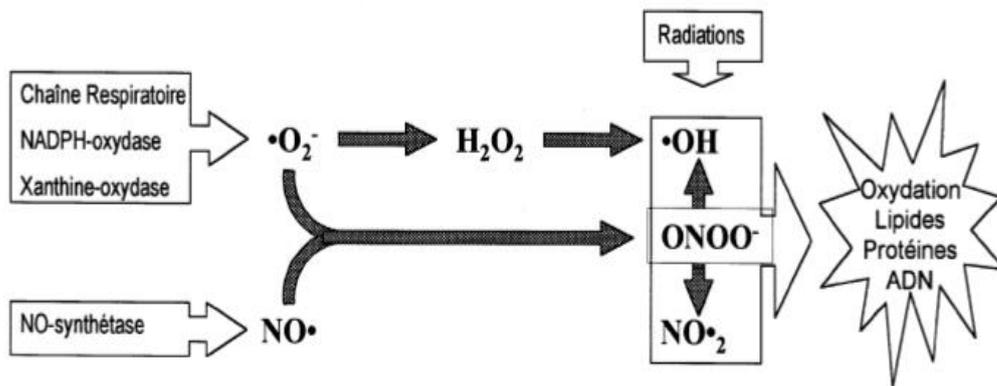
Une enzyme ubiquitaire appelée la xanthine-deshydrogénase est impliquée dans le catabolisme de l'ATP. Cette enzyme sera modifiée en xanthine-oxydase au cours des phénomènes d'ischémie-reperfusion qui produit du superoxyde en présence d'oxygène et de xanthine ou d'hypoxanthine.

**Tableau III** : Principaux systèmes de production des EOA (Hayflick., L., 1985).

Dans l'organisme	Extérieurs à l'organisme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altération du transport des électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale (ischémie-reperfusion).</li> <li>• Biosynthèse des prostaglandines (prostanoides et leucotriènes inflammatoires).</li> <li>• Oxydation de l'hémoglobine.</li> <li>• Oxydation du glucose.</li> <li>• Libération du fer de ses protéines de transport.</li> <li>• Agrégation des plaquettes.</li> <li>• Activation des cellules endothéliales.</li> <li>• Activation des globules blancs.</li> <li>• Cythochrome p 450.</li> <li>• Fumée de cigarette.</li> <li>• Alcool.</li> <li>• Médicaments.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposition au soleil (UV).</li> <li>• Exposition aux irradiations (rayon <math>\gamma</math>).</li> <li>• Amiante.</li> <li>• Pollution.</li> <li>• Ozone.</li> <li>• Alimentation.</li> </ul>

Le fer et le cuivre sont des ions métalliques qui transforment le  $\text{H}_2\text{O}_2$  en radical hydroxyl ( $\text{OH}\cdot$ ). De nombreuses cellules sont capables de produire du monoxyde d'azote (NO) à partir

d'arginine et d'oxygène dans une réaction catalysée par la NO synthétase. Il existe une deuxième forme de NO-synthétase qui produit de grandes quantités de  $\text{NO}\cdot$ . A des concentrations élevées, le  $\text{NO}\cdot$  devient délétère pour les cellules, notamment en réagissant avec un radical superoxyde ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) pour former un oxydant puissant : le peroxy-nitrite ( $\text{ONOO}^-$ ). De plus, le peroxy-nitrite peut se décomposer secondairement en d'autres oxydants ( $\text{NO}\cdot_2$ ,  $\text{OH}\cdot$ , etc.) (Oldham., K.M et al., 1998 ;Halliwell., B., 1994).



**Figure 5 :** Origine et cibles des principaux dérivés réactifs de l'oxygène (Fontaine., E et al., 2002).

## 2. Le stress oxydatif

### 2.1. Définition du stress oxydatif

De petites quantités de dérivés réactifs de l'oxygène seront produites par le métabolisme cellulaire en continu. Cette production est fortement élevée dans certaines situations entraînant un stress oxydatif qui sera défini comme un déséquilibre entre la production et la destruction de ces molécules. A cause de leur capacité à endommager presque tous les types de molécules dans l'organisme, les dérivés réactifs de l'oxygène ont été impliqués dans un nombre important de pathologies. La production de dérivés réactifs de l'oxygène augmente en réponse à toute attaque infectieuse, le développement d'un stress oxydatif incontrôlé a été proposé comme l'un des facteurs secondaires contribuant au mauvais pronostic de ces pathologies (Gutteridge., J.M., 1993).

### 2.2. Conséquences biochimiques du stress oxydatif

Les EOA qui interagissent avec une variété de substrats biologiques importants sont toxiques. Des dénaturations de protéines, des inactivations d'enzymes, une oxydation du

glucose, des ruptures d'ADN et des processus de peroxydation lipidiques peuvent alors apparaître avec des conséquences souvent irréversibles pour la cellule (Coyle., P et al., 2002).

### 2.2.1. Effets sur les protéines

L'oxydation des protéines est une conséquence naturelle de la vie aérobie. Cependant, la plupart des protéines oxydées seront dégradées par protéolyse sous l'action du protéasome (protéases 20S et 26S) qui joue un rôle clé dans le maintien des fonctions physiologiques de la cellule (Friguet., B et al., 2000). Les activités protéolytiques diminuent fortement sous l'effet du stress oxydant (Naskalski., J.W et al., 2000).

Les dommages oxydatifs aux protéines peuvent être importants *in vivo* à la fois en eux-mêmes (affectant la fonction des récepteurs, des enzymes, des protéines de transport, etc.) et éventuellement en générant de nouveaux antigènes susceptibles de provoquer des réponses immunitaires (Halliwell., B., 1978; Casciola-Rosen., L et al., 1997) et parce qu'ils peuvent contribuer à des dommages secondaires à d'autres biomolécules, par exemple l'inactivation des enzymes de réparation de l'ADN (Wiseman., H et al., 1996).

L'attaque des radicaux libres sur les protéines peut générer des radicaux d'acides aminés, qui peuvent se réticuler ou réagir avec l'O<sub>2</sub> pour donner des radicaux peroxy. Ceux-ci peuvent faire abstraction de H·, déclenchant plus de radicaux libres et formant des peroxydes de protéines, qui peuvent se décomposer de manière complexe, accélérée par des ions de métaux de transition, pour générer encore plus de radicaux (Headlam., H.A et al., 2003). Les protéines peuvent également être attaquées par des espèces réactives de chlore, de brome et d'azote, donnant des produits tels que la 3-chlorotyrosine, la 3-bromotyrosine et la 3-nitrotyrosine (Hazen., S.L et al., 1997; Wu., W et al., 1999 ; 2000; Winterbourn., C.C et al., 2000; Greenacre., S. A et al., 2001; Himmelfarb., J et al., 2001; Aldridge., R.E et al., 2002; Gaut., J.P et al., 2002a). On pense souvent que la 3-nitrotyrosine est un marqueur spécifique de l'attaque de l'ONOO- sur les protéines, mais en fait, elle peut être formée à partir de la tyrosine par une gamme d'espèces azotées réactives et sa production *in vivo* dépend souvent de la production d'espèces telles que le radical de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) par la myéloperoxydase ou d'autres peroxydases (Halliwell., B et al., 1999; Greenacre., S. A et al., 2001; Macpherson., J.C et al., 2001; Gaut., J.P et al., 2002b).

### 2.2.2. Effets sur les acides gras

Les scientifiques développent de multiples expériences *in vitro* dans le sillage de la découverte de la SOD, qui montrent la toxicité des radicaux libres responsables de dommages cellulaires importants via le déclenchement de ruptures et de mutations au sein de l'ADN, l'inactivation de diverses enzymes, la modification des structures protéiques, l'oxydation des sucres et induction de la peroxydation lipidique (Haleng., J et al., 2007).

Le test TBARS ("thiobarbituric reactive substances") a été développé au milieu des années 70 pour la détection du processus de peroxydation lipidique (Haleng., J et al., 2007) qui est un processus complexe et une large gamme de produits formée en quantités variables (Halliwell., B et al., 1999). Les cibles préférées des EOA sont les lipides et, plus spécifiquement, les acides gras polyinsaturés. Une fois formés, les lipides oxydés donnent naissance à des sous-produits tels que le malonaldéhyde, le 4-hydroxynonéal, les lipofuschines («pigment d'âge») ou le pentane (Knight., J.A., 2001). La méthode TBARS mesure par colorimétrie le produit de la réaction de l'acide thiobarbiturique avec le malondialdéhyde (MDA), un sous-produit des lipides oxydés. Cependant, le grand nombre d'artefacts associés à la technique la rend peu fiable (Haleng., J et al., 2007).

### 2.2.3. Effets sur les glucides

L'excès de glucose et d'acides gras libres induit une production mitochondriale accrue d'EOA (en particulier l'anion superoxyde) au niveau cellulaire en plus des dommages mitochondriaux et une altération de la chaîne de transport d'électrons. La production d'anion superoxyde et d'oxyde nitrique (NO) est augmentée et ils réagissent l'un avec l'autre pour former des peroxynitrites. En raison de leur caractère particulièrement oxydant, ils altèrent l'ADN, un processus important dans l'activation de la poly (ADP-ribose) polymérase (PARP). Cette enzyme permet une fois activée, de réduire l'activité du glycéraldéhyde 3-phosphate déshydrogénase (GAPDH), indispensable à la glycolyse, notamment au niveau des muscles.

En présence de fer, le glucose sera facilement oxydable. Il est également une source importante de stress oxydatif. Des EOA seront formés par cette oxydation en produisant la forme aldéhyde du glucose, le glyoxal qui se fixe rapidement sur les protéines, dans lesquelles un groupement qui capte facilement le cuivre apparaît appelé : résidu carboxyméthyllysine (CML) ce qui déclenche des réactions produisant des radicaux libres (réaction de Fenton) : il en résulte une augmentation accrue de la peroxydation lipidique (Wautier., M.P et al., 2003)

Des «produits Amadori» se forment lorsque le glucose réagit avec les groupes amines libres dans les protéines. Ces produits sont relativement instables et se dégradent en produits de glycation avancés (AGE). Ces derniers jouent un rôle important dans le développement des complications du diabète (Hudson., B. I et al., 2005).

#### 2.2.4. Effets sur l'ADN

L'ADN est une cible de choix pour les EOA. La 8-hydroxy-2'-désoxyguanosine (8-OH-dG) sera formée lorsque la guanine, par exemple, réagit avec l' $\text{OH}\cdot$ . (8-OH-dG) qui, au lieu de s'associer avec la cytosine, s'associera à l'adénine, entraînant des mutations dans l'ADN et entraînant des altérations du message génétique impliquées dans le développement du cancer et le vieillissement (Atkin., M. A et al., 2005).

Les dommages oxydatifs de l'ADN semblent être liés à un risque accru de développement de cancer plus tard dans la vie (Halliwell., B., 2002). L'ADN soumis à une attaque par un radical hydroxyle génère une vaste gamme de produits de modification de bases et de sucre (Dizdaroglu., M et al., 2002).

Les produits initiaux de l'attaque radicalaire des purines, des pyrimidines et du désoxyribose subissent une transformation en produits finaux stables dont les quantités relatives dépendent des conditions de réaction (Dizdaroglu., M., 1992; Alam., Z.I et al., 1997; Halliwell., B. 1999b; Dizdaroglu., M et al., 2002).

### 2.3. Moyens de défense contre le stress oxydatif

Le corps dispose d'un ensemble complexe de défenses antioxydantes pour se protéger des effets nocifs de l'EOA. Il existe deux sources d'antioxydants: l'une est apportée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en vitamines C, E, caroténoïdes, ubiquinone, flavonoïdes, glutathion ou acide lipoïque, l'autre est endogène comprend des enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase, catalase), des protéines (ferritine, transferrine, céruléoplasmine, albumine) et des systèmes de réparation des dommages oxydatifs tels que les endonucléases. A cela s'additionnent des oligo-éléments tels que le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs d'enzymes antioxydantes (Hozawa., A et al., 2007).

### 2.3.1. Moyens de défense endogènes

#### 2.3.1.1. Superoxyde dismutases (SOD)

Ces métalloprotéines, qui représentent l'une des premières lignes de défense contre le stress oxydatif, assurent l'élimination de l'anion superoxyde  $O_2^{\bullet-}$  par une réaction de dismutation qui sera transformé en peroxyde d'hydrogène et en oxygène. Chez l'homme, 3 isoenzymes sont décrites : Cu/Zn-SOD1 cytosolique, Mn-SOD2 mitochondriale et Cu/Zn-SOD3, qui diffèrent par la localisation chromosomique du gène, leur teneur en métal, leur structure quaternaire et leur localisation cellulaire.

La SOD3 est sécrétée par les cellules musculaires lisses et constitue le principal système antioxydant de la paroi artérielle : son expression et sa sécrétion sont augmentées par des facteurs vasoactifs (histamine, endothéline 1, angiotensine II) et diminuées par l'homocystéine (Hozawa., A et al., 2007).

#### 2.3.1.2. Les glutathion peroxydases (GPxs)

La GPx est une sélénoprotéine (cinq isoformes) qui réduit les peroxydes au détriment de son substrat spécifique, le glutathion réduit (GSH). Son rôle majeur est l'élimination des peroxydes lipidiques résultant de l'action du stress oxydatif sur les acides gras polyinsaturés. Le GPx s'effondre en cas de carence majeure en sélénium, c'est donc un bon reflet de cette carence. Cependant, pour un approvisionnement adéquat en sélénium, les niveaux de GPx atteignent un plateau. Le test GPx ne peut donc pas être utilisé comme marqueur d'intoxication au sélénium. Toutefois, sa synthèse étant rénale et hépatique, d'autres facteurs comme l'insuffisance rénale ou la cytolyse hépatique peuvent modifier sa concentration (Hozawa., A et al., 2007).

#### 2.3.1.3. Le cuivre

A concentration physiologique, le cuivre est un cofacteur d'enzymes telles que la SOD, le cytochrome C oxydase, la dopamine  $\beta$ -hydroxylase. Cependant, en tant que métal de transition, il joue un rôle essentiel dans le déclenchement des réactions pour produire les EOA (réactions de Fenton) et peut lorsqu'il est à haute concentration de devenir pro-oxydant. L'apport journalier recommandé est d'environ 2,5 mg. Il est présent dans le son, l'avoine, le seigle, le foie de veau (Defraigne., J. O., 2005 ; Vincent., H. K et al., 2006).

#### 2.3.1.4. Le zinc

Le zinc joue un rôle de cofacteur pour de nombreuses enzymes et est donc impliqué dans de nombreuses fonctions telles que le métabolisme des nucléotides, la synthèse des prostaglandines et le fonctionnement de l'anhydrase carbonique. Tout comme le cuivre, le zinc est l'un des cofacteurs essentiels de la SOD. Il protège aussi les groupements thiols des protéines et il peut stopper les réactions de formation des EOA induites par des métaux de transition comme le fer ou le cuivre. Le rapport Cu/Zn, (normalement inférieur à 1,5) sera un meilleur indicateur de l'état de stress oxydant d'un individu. Les viandes, les poissons, les céréales complètes et les légumes secs sont les aliments les plus riches en zinc (**Defraigne., J. O., 2005 ; Vincent., H. K et al., 2006**).

#### 2.3.1.5. Le sélénium

Le sélénium n'est pas un antioxydant en soi, car il ne peut pas piéger les radicaux libres, mais il joue un rôle clé en tant que cofacteur du GPx. Dans l'alimentation, on trouvera principalement du sélénium organique, lié à un acide aminé, la cystéine. Le sélénium organique est mieux absorbé, il subit un métabolisme hépatique qui conduit à des intermédiaires nécessaires à la synthèse de dérivés physiologiquement actifs tels que le GPx.

La dose journalière recommandée est de 5070 µg/jour. Les noix de Brésil, les brocolis, l'ail... sont les aliments les plus riches en sélénium (**Defraigne., J. O., 2005 ; Vincent., H. K et al., 2006**).

### 2.3.2. Moyens de défense exogène

#### 2.3.2.1. La vitamine C

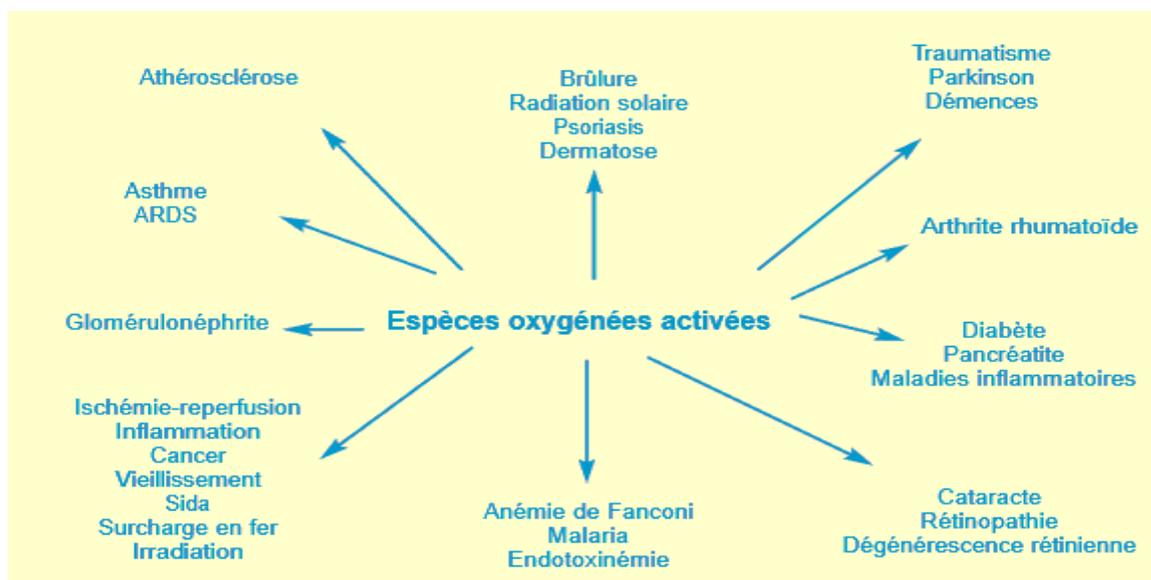
La plupart des mammifères sont capables de synthétiser la vitamine C dans leur foie ou dans leurs reins. Ce n'est pas le cas pour l'homme qui doit assurer un apport quotidien d'environ 100 mg à partir d'une alimentation riche en fruits. La vitamine C est avant tout un piègeur fondamental d'EOA (OH• ou O<sub>2</sub>•-). Elle arrête également la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire résultant de sa réaction avec les radicaux lipidiques. Ses fonctions sont multiples : contribution au bon fonctionnement du système immunitaire, implication dans la synthèse du collagène et des globules rouges ainsi que dans les mécanismes du métabolisme du fer (**Hozawa., A et al., 2007**).

### 2.3.2.2. Vitamine E

Ce terme comprend un ensemble d'isomères, des tocophérols (composés d'un noyau chromanol et d'une chaîne latérale saturée à 16 atomes de carbone) et des tocotriénols (qui diffèrent des tocols par la présence de 3 doubles liaisons sur cette chaîne latérale). D'un point de vue biologique, deux isomères présentent un intérêt particulier, l' $\alpha$ - et le  $\gamma$ -tocophérol permet de s'insérer dans des membranes riches en acides gras polyinsaturés grâce à leur caractère hydrophobe, où ils jouent un rôle protecteur en réagissant avec les radicaux peroxydes ( $\text{ROO} \bullet$ ) pour former un radical tocophéryle, évitant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique (Hozawa., A et al., 2007).

### 2.4. Conséquences pathologiques du stress oxydatif

Le stress oxydant est impliqué dans le développement de plus de 200 pathologies telles que : les maladies cardiovasculaires, dégénératives et inflammatoires, cancer, diabète, ... etc., (Hayflick., L., 1985). Par exemple, l'oxydation des lipides est un facteur favorisant l'apparition de maladies cardiovasculaires, alors que celle de l'ADN se retrouve à différents stades qui conduisent au développement de cancers (Magder., S., 2006).



**Figure 6 :** Spectre de différentes pathologies touchant divers organes dans lesquelles le stress oxydant est impliqué (Hayflick., L., 1985).



## *Chapitre III : Les antioxydants*

## 1. Définition

Les antioxydants peuvent être définis comme toute substance qui, présente à une concentration basse par rapport au substrat oxydable, est capable de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat. Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, y compris des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques, mais aussi de petites molécules hydrosolubles ou liposolubles. Cette grande variété physico-chimique permet la présence d'antioxydants dans tous les compartiments du corps, qu'ils soient intracellulaires, membranaires ou extracellulaire. Quelle que soit leur localisation, les antioxydants peuvent agir à deux niveaux : en prévenant la formation de ROS (antioxydants primaires) ou en épurant les ROS (antioxydants secondaires) ( **Buettner., G.R et al., 1996 ; Herbert., V et al., 1996**).

## 2. Les caroténoïdes

### 2.1. Définition

Les recommandations diététiques pour une alimentation saine incluent la consommation de jus de fruits (**Williams., C., 1995**) dont les effets bénéfiques sur la santé sont attribués, en partie, à la vitamine C, un antioxydant naturel qui peut inhiber le développement de pathologies cliniques majeures. (**Diplock., A. T., 1994**). Cependant, de nombreux jus de fruits contiennent également des composés phénoliques et des caroténoïdes (**Hertog., G. L et al., 1993; Reeder., S. K et al., 1975**).

Les caroténoïdes sont des métabolites isoprénoïdes synthétisés par tous les organismes photosynthétiques (y compris les plantes, les algues et les cyanobactéries) et certaines archées non photosynthétiques, bactéries et les champignons. Dans les systèmes photosynthétiques, les caroténoïdes participent à la récolte de la lumière et ils sont indispensables pour la photoprotection. En revanche, les caroténoïdes des tissus non photosynthétiques et les organismes jouent un rôle de pigments dans la gamme allant du jaune au rouge. Les caroténoïdes fournissent l'automne couleurs de nombreuses feuilles (démasquées lorsque les chlorophylles sont dégradées) et elles sont responsables de la couleur jaune du maïs, la couleur orange des carottes, de la citrouille et des oranges et la couleur rouge de tomate et pastèque, entre autres. De plus, les caroténoïdes peuvent être clivés pour produire des composés ayant des rôles de régulateurs de croissance, tels que l'acide abscisique (ABA) et les strigolactones ainsi que des molécules bioactives. La plupart des animaux (y compris les humains) ne synthétisent pas les caroténoïdes de novo mais prennent-les dans l'alimentation et

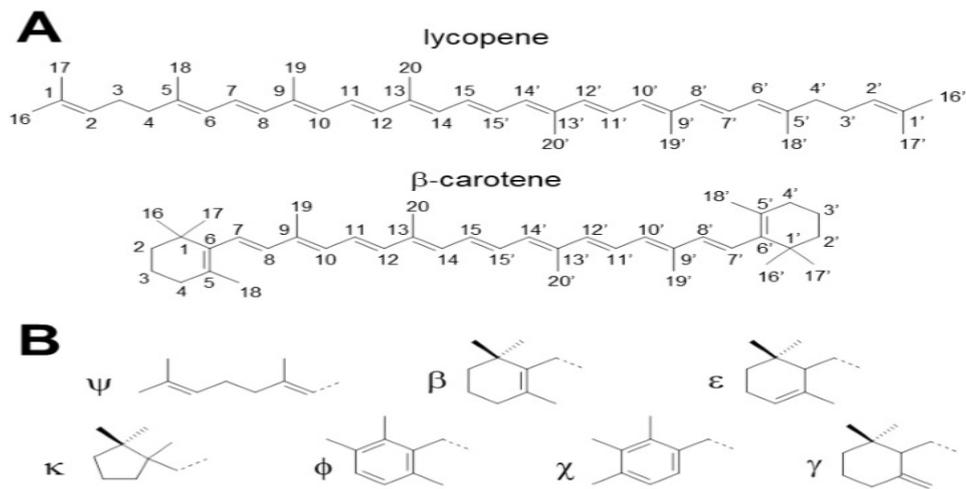
utilisent-les comme précurseurs essentiels pour la production des rétinoïdes tels que la vitamine A. Additionnellement, les caroténoïdes possèdent d'autres effets bénéfiques dont la découverte stimule leur utilisation dans les produits alimentaires fonctionnels (**Yabuzaki, J., 2017**).

## 2.2. Structure et classification des caroténoïdes

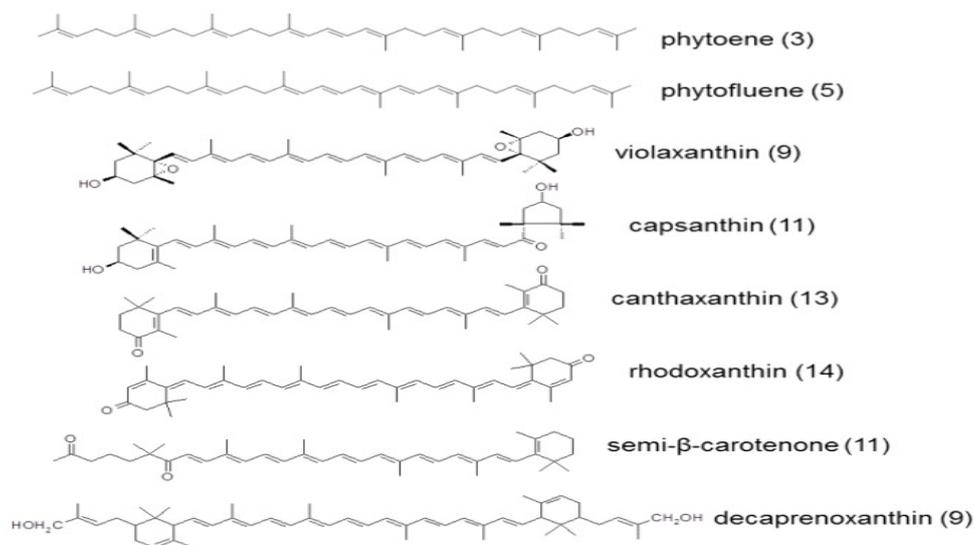
De façon formelle, tous les caroténoïdes dérivent d'une structure linéaire ( $C_{40}H_{56}$ ) avec de nombreuses doubles liaisons (**Hozawa., A et al., 2007**).

Les caroténoïdes sont des composés isoprénoïdes avec un squelette polyène, une caractéristique qui confère aux caroténoïdes la propriété d'absorber la lumière visible, ce qui leur confère une coloration caractéristique allant du jaune au rouge (**Yabuzaki, J., 2017**). Une autre classification de caroténoïdes est basée sur leur composition chimique. Ceux formés exclusivement de carbone et d'atomes d'hydrogène sont appelés carotènes (**figure 7**), tandis que les caroténoïdes contenant de l'oxygène sont appelés xanthophylles. Les radicaux oxygénés communs dans les xanthophylles alimentaires sont l'hydroxyle (lutéine, zéaxanthine), l'époxyde (violaxanthine, néoxanthine) ou le carbonyl (canthaxanthine, capsanthine). Cependant, d'autres groupements oxygénés peuvent être trouvés dans les caroténoïdes naturels, y compris les groupements carboxyliques, acétate, lactone ou sulfate (**Britton., G., et al., 1995 ; Britton., G., et al., 2004**).

Les caroténoïdes typiques contiennent 40 atomes de carbone ( $C_{40}$ ) et sont formés par la condensation de huit unités isoprénoïdes  $C_5$ . Alors que les caroténoïdes  $C_{40}$  sont les plus abondants dans la nature, certains caroténoïdes sont plus courts ( $C_{30}$ ) ou plus longs ( $C_{45}$  ou  $C_{50}$ ). Les caroténoïdes  $C_{30}$  ne contiennent que six unités isoprénoïdes  $C_5$ , tandis que les  $C_{45}$  et les caroténoïdes  $C_{50}$  contiennent respectivement neuf ou dix unités isoprénoïdes. Un exemple est la décaprénoxanthine, un caroténoïde  $C_{50}$  (**Figure 8**) (**Weedon., B.C.L., et al., 1995**).



**Figure 7 :** Caractéristiques structurelles des caroténoïdes. **A**, numérotation des atomes de carbone dans un acyclique (lycopène) et un caroténoïde cyclique ( $\beta$ -carotène). **B**, groupes terminaux présents dans les molécules de caroténoïdes (Yabuzaki, J., 2017).



**Figure 8 :** Structures chimiques de certains caroténoïdes (Weedon, B.C.L., et al., 1995).

### 2.3. Localisation des caroténoïdes

Les caroténoïdes présents dans l'alimentation humaine sont principalement dérivés de plantes et se trouvent dans les racines, les feuilles, les pousses, les graines, les fruits et les fleurs. Plus de 600 composés caroténoïdes ont été caractérisés; 50 d'entre eux sont consommés dans l'alimentation humaine (**tableau 4**) (Hare., J., 2004 ; Atkin., M.A., et al., 2005). Environ 12 caroténoïdes représentent la majeure partie de l'apport alimentaire, et ils se trouvent à des concentrations mesurables dans le sang et les tissus humains (Atkin., M.A., et

**al., 2005 ;Nakajima., k et al., 2006**). Les plus courants sont le lycopène pigment rouge présent dans la tomate et le pamplemousse, la lutéine, le  $\alpha$ -carotène et le  $\beta$ -carotène se retrouvent dans l'abricot, le melon, la carotte et les légumes verts (épinards, laitue...) ( **Hozawa., A et al., 2007**), la  $\beta$ -cryptoxanthine et la zéaxanthine (**Stahl., W et al., 1996**). Les caroténoïdes peuvent également être présents, dans une moindre mesure, dans les œufs, la volaille et le poisson parce que les animaux sont généralement nourris avec des produits végétaux et algaux; par exemple, la zéaxanthine du poulet provient du maïs dans l'alimentation de la volaille (**Bendich., A et al., 1989**). Les propriétés antioxydantes de l'astaxanthine caroténoïde sont étudiées par **Focsan., A et al., 2017**. Ce pigment est lié au muscle blanc des salmonidés, lui conférant la coloration rose caractéristique du poisson, et se trouve dans les complexes pigment-protéine de la carapace d'un certain nombre de crustacés (**Focsan., A et al., 2017**).

## 2.4. Mécanisme d'action et rôle physiologique des caroténoïdes

### 2.4.1. Mécanisme d'action des caroténoïdes

Le groupe de pigments caroténoïdes est de nature omniprésente et plus de 600 caroténoïdes différents ont été identifiés et caractérisés (**Britton., S et al., 2004**). Ils sont responsables de la pigmentation chez les animaux, les plantes et les micro-organismes, mais jouent également un rôle crucial, souvent critique, dans les systèmes biologiques (**Phillip., D et al., 2002**). En effet, un mécanisme d'action possible des caroténoïdes via leur activité antioxydante, mais d'autres mécanismes peuvent également contribuer à leurs effets bénéfiques (**Saad., A et al., 2006**). Les concentrations plasmatiques de caroténoïdes sont considérées comme de bons biomarqueurs pour une absorption alimentaire totale de légumes et de fruits (**Hozawa., A et al., 2007**).

### 2.4.2. Rôle physiologique des caroténoïdes

La plupart des caroténoïdes, tels que l' $\alpha$ -carotène, le  $\beta$ -carotène, et la  $\beta$ -cryptoxanthine ont une activité provitamine A. En plus de leur activité provitamine A, les caroténoïdes ont été considérés comme ayant de nombreuses autres fonctions biologiques (**Langsjoen., P.H et al., 2003 ;Defraigne., J.O., 2005**). Ils sont proposés pour être des piègeurs efficaces de radicaux libres (**Langsjoen., P.H et al., 2003**), et il a également été démontré qu'ils protègent les lipoprotéines de basse densité (LDL) contre l'oxydation *in vitro*.

**Tableau IV** : Carotènes et xanthophylles communs dans les aliments et les sources naturelles (Britton., G et al., 2009 ; Dias., M.G et al., 2017).

Type	Caroténoïdes	Source Naturelle
Carotènes	$\alpha$ -carotène, $\beta$ -carotène, $\delta$ -carotène, $\gamma$ -carotène, $\varepsilon$ -carotène, $\zeta$ -carotène	Fruits et légumes, en particulier dans les carottes, pomme de terre sucrés, fruit de palmier.  Les cynorrhodons sont une bonne source de $\gamma$ -carotène.
	lycopène, neurosporène	Tomate, melon et églantier.
	phytofluène, phytoène	Fruits, fleurs et carottes riches en caroténoïdes.
Xanthophylles	anthéroxanthine	Fruits et légumes verts.  Anthères et pétales de nombreuses fleurs jaunes.
	astaxanthine	Poissons (saumon) et crustacés
	bixine, norbixine	Graines d'annatto ( <i>Bixa orellana</i> ).
	canthaxanthine	Champignons, cyanobactéries et algues vertes.
	capsanthine, capsorubine	Poivre et fruits mûrs
	crocétine	Stigmates de safran.
	cucurbitaxanthine A	Chair de citrouille.
	lactuaxanthine	Feuilles de laitue.
	Lutéine	Fruits verts, légumes, fleurs et céréales céréales (blé). Aussi en jaune d'œuf

violaxanthine, néoxanthine	Fruits verts, légumes et fleurs.
lutéoxanthine, auroxanthine, mutatoxanthine	Légumes et fruits traités sous acide conditions et fermentation.
rubixanthine	Églantier.
zéaxanthine	Maïs, pommes de terre, poivron rouge. Aussi en jaune d'œuf
$\beta$ -cryptoxanthine, $\alpha$ -cryptoxanthine	Graines (maïs), fleurs et fruits: orange douce, mandarine, mangue, papaye, kaki, poivre.

L'étude YALTA (Young Adult Longitudinal Trends in Antioxidants) a montré que l'effet bénéfique du  $\beta$ -carotène ne survenait qu'à des doses physiologiques ou alimentaires alors qu'il est plutôt délétère à des doses pharmacologiques, particulièrement chez le fumeur **(Hozawa., A et al., 2007)**.

D'autres fonctions sont attribuées aux caroténoïdes, par exemple, l'amélioration des jonctions lacunaires, l'activité de suppression des tumeurs, l'immunomodulation, la carcinogénèse et la protection de l'ADN contre la peroxydation ont été décrites **(Tapiero., H et al., 2004)**. À ce jour, la fonction provitamine A est la seule fonction physiologique des caroténoïdes clairement démontrée chez l'homme. La biodisponibilité des caroténoïdes semble dépendre de plusieurs facteurs **(Parker., R.S et al., 1999)**. En général, l'absorption des caroténoïdes dépend de leur biodisponibilité à partir de la matrice alimentaire et de leur solubilité dans les micelles **(Krinsky., N.I., 1993 ; Boileau., T.W et al., 2002)**. De nombreux caroténoïdes sont mieux absorbés en présence de graisses alimentaires et d'aliments transformés à la chaleur que de sources non transformées **(Stahl., W et al., 1992 ; Bohm., V et al., 1999)**.

D'autres facteurs influençant l'absorption des caroténoïdes comprennent la présence de fibres alimentaires, l'état de santé de la personne et la forme physique du caroténoïde **(van het Hof., K.H et al., 2000)**. Bien que les caroténoïdes ne soient pas essentiels pour la santé

humaine, ils ont des actions biologiques qui peuvent être importantes pour maintenir la santé et prévenir l'apparition de maladies graves telles que le cancer, les troubles pulmonaires et la cataracte (Tapiero., H et al., 2004).

### 3. Les composés phénoliques

#### 3.1. Définition

Les composés phénoliques sont un type de métabolites secondaires des plantes, ce sont des composés phytochimiques polyhydroxylés présents dans les plantes, les fruits, les légumes, les épices, les noix et les céréales (Mocanu., M.M et al., 2015). Ils constituent l'un des groupes de composés naturels les plus abondants et les plus largement distribués disponibles pour les êtres humains (Varoni., E.M et al., 2012).

#### 3.2. Mécanismes d'action des polyphénols

Les mécanismes de l'action antioxydante peuvent comprendre (1) la suppression de la formation d'espèces réactives oxygénées(ERO) soit par inhibition d'enzymes ou par chélation d'oligo-éléments impliqués dans la production de radicaux libres ; (2) le piégeage des espèces réactives oxygénées; et (3) l'augmentation ou la protection des défenses antioxydantes (Pietta., P.G., 2000).

##### 3.2.1. Piégeage des radicaux libres

De nombreuses études ont établi des relations entre la structure des polyphénols et leur capacité à piéger les radicaux libres (Goupy et al., 2003 ; Pietta, 2000). Afin de déterminer les éléments majeurs de l'activité antioxydante, la réduction de divers radicaux par les polyphénols a été beaucoup étudiée. A cause de leur faible potentiel redox (Jovanovic et al., 1994), les polyphénols (Ar-OH) ont la capacité de réduire rapidement les radicaux libres oxydants comme le superoxyde, les peroxydes (ROO•), les alkoxydes (RO•) et l'hydroxyle par transfert d'hydrogène (figure 9).

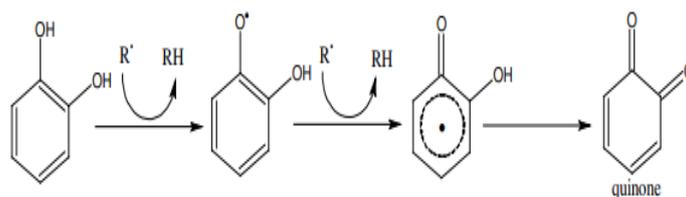


Figure 9: Piégeage des ERO par un noyau catéchol (Marfakt., A., 2003)

### 3.2.2. Chélation des ions métalliques

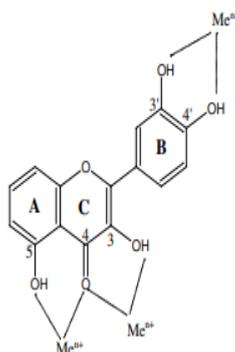
Les ions des métaux de transition dans leur état de faible oxydation ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^+$ ) peuvent catalyser des réactions qui impliquent la formation de radicaux libres.

Au cours de la réaction de Fenton par exemple, les radicaux hydroxyles sont produits à partir du peroxyde d'hydrogène en présence d'un métal à faible degré d'oxydation :



Cette réaction peut se produire dans les milieux biologiques, connu sous le nom « réaction de Fenton » où l'accumulation de l' $\text{H}_2\text{O}_2$  est importante, par exemple dans les neurones dopaminergiques du tissu nerveux. Ici, le catabolisme dopaminergique normal produit un certains niveaux de peroxyde d'hydrogène (**Brown et al., 1998 ; Palmer & Paulson, 1997 ; Schulz et al., 2000 ; van Acker et al., 1996**).

Les polyphénols peuvent offrir plusieurs sites de chélation, tels que les hydroxyles multiples et les groupes carbonyles. Dans les flavonoïdes possédant le groupe 4-carbonyle et les hydroxyles fixés à 3', 4', 3 et 5, il existe trois sites de chélation potentiels : Le noyau catéchol sur le cycle B, les groupes 4-oxo et 3-OH du cycle C, et les groupes 4-oxo et 5-OH entre les cycles A et C (**figure 10**). La quercétine et la rutine sont des chélateurs efficaces des métaux de transition (**Ghedira, 2005 ; Heim et al., 2002 ; Marfak, 2003**).



**Figure 10:** Chélation des ions métalliques par les sites potentiels des flavonoïdes (**Marfakt., A., 2003**)

### 3.2.3. Inhibition d'enzymes

L'inhibition des enzymes génératrices de radicaux libres dans les systèmes biologiques est un mécanisme important d'effet antioxydant pour les polyphénols. Plusieurs travaux ont rapporté que les flavonoïdes sont les molécules les plus susceptibles d'être impliquées dans cet effet (Nagao et al., 1999 ; Lin, 2002) par formation de complexe inhibiteur-enzyme et/ou par piégeage direct des ERO (Dangles & Dufour, 2006 ; Dangles & Dufour, 2008). Les flavonoïdes inhibent les enzymes responsables de la production d'anion superoxyde, telle que la xanthine oxydase et la protéine kinase C. Ils sont également capables d'inhiber la cyclo-oxygenase, la lipo-oxygenase, la mono-oxygenase microsomale, la glutathion S-transférase, la succinoxydase mitochondriale et la NADH oxydase toutes impliquées dans la génération des ERO.

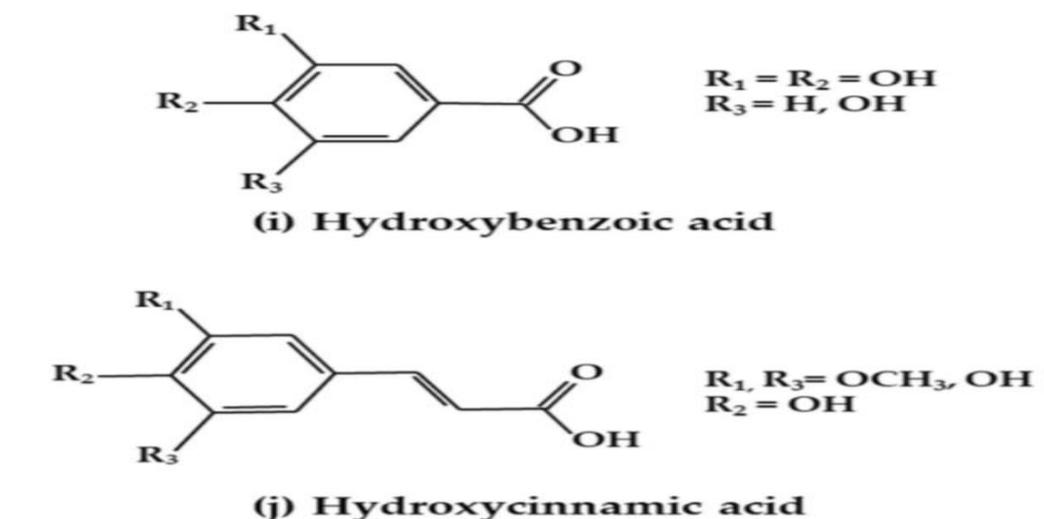
### 3.3. Structure et classification des composés phénoliques

Les structures des composés polyphénoliques sont caractérisées par au moins un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupes hydroxyle (Crozier, A et al., 2009). Ils sont classés par les composants structurels liant ces anneaux les uns aux autres et par le nombre de noyaux phénol qu'ils contiennent. On pense que les composés phénoliques ont une activité anticancéreuse et comprennent les flavonoïdes, les stilbènes et les acides phénoliques (Crozier, A et al., 2008).

#### 3.3.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des métabolites secondaires qui sont présents dans presque tous les aliments d'origine végétale, y compris les champignons, tels que les baies, le cassis, les kiwis, les prunes, les pommes, les poires, la chicorée et les pommes de terre (King, A et al., 1999 ; Heleno, S.A et al., 2015). Ces composés peuvent être classés en deux grands groupes, les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (figure 11) (Heleno, S.A et al., 2015). Les acides hydroxybenzoïques les plus courants sont les acides gallique, *p*-hydroxybenzoïque, syringique, vanillique et protocatéchuique tandis que les acides hydroxycinnamiques sont les acides caféique, chlorogénique, coumarique, férulique et sinapique (Manach, C et al., 2004). Ces composés sont présents à la fois sous forme libre et sous forme liée dans tous les aliments d'origine végétale. Les formes liées sont le plus souvent des esters, des glycosides et des complexes liés (Andjelkovic, M et al., 2006)

Il a été rapporté que les acides phénoliques ont de puissantes propriétés antioxydantes et des activités biologiques, notamment des propriétés cardioprotectrices, anticancérigènes, antimicrobiennes et hépatoprotectrices (Kaushik., P et al., 2015).



**Figure 11** : Structure des acides phénoliques.

i : acide hydroxybenzoïque, j : acide hydroxycinnamique (Mocanu., M.M et al., 2015).

### 3.3.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes (**figure 12**) constituent le sous-groupe le plus important et le plus diversifié de composés polyphénoliques produits sous forme de métabolites secondaires végétaux. Ces composés se trouvent dans divers fruits et légumes, y compris plusieurs plantes médicinales, et ils jouent également un rôle critique dans la croissance, le développement et la défense des plantes (Ravishankar., D et al., 2013). La structure de base des flavonoïdes est constituée de deux cycles benzéniques (A et B) liés par un cycle hétérocyclique (C) avec un pont carbone (Beecher., G.R., 2003).

Les 6 000 flavonoïdes qui ont été identifiés à partir d'une variété de plantes peuvent être classés dans les sous-classes de flavonols, flavone, flavanols, isoflavones, flavanones ou anthocyanidines selon leur structure (Xiao., J et al., 2009).

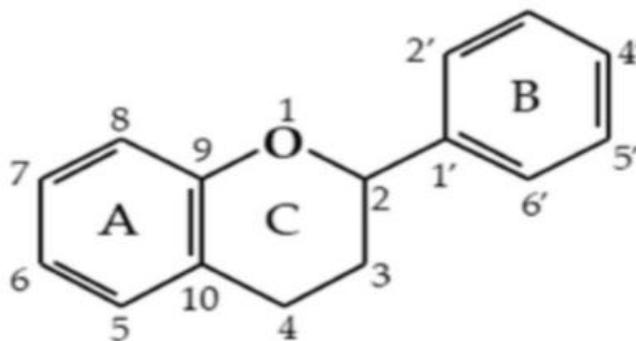


Figure 12 : Structure de base des flavonoïdes (Ravishankar., D et al., 2013).

### 3.3.3. Les flavonols

Les flavonols (**figure 13**) sont la sous-classe la plus omniprésente de flavonoïdes et se trouvent dans les plantes et les fruits tels que les olives, les oignons, le chou frisé, les pommes, les haricots et les feuilles vertes (Leo., C.H et al., 2015).

Les principaux composés de cette sous-classe sont la quercétine, le kaempférol, la myricétine, l'isorhamnetine et la rutine. Les flavonols ont un groupe hydroxyle (-OH) en position 3 du cycle C. Ces groupes hydroxyle sont présents sous une forme glycosylée dans les plantes en combinaison avec un sucre (généralement du glucose ou du rhamnose) (Fantini., M et al., 2015 ; Manach., C et al., 2004). Il a été rapporté que les activités biologiques des flavonols jouent un rôle important dans la prévention de la carcinogénèse grâce à une activité antiproliférative, antioxydante et pro-apoptoïque dans diverses lignées cellulaires cancéreuses (Lea., M.A., 2015).

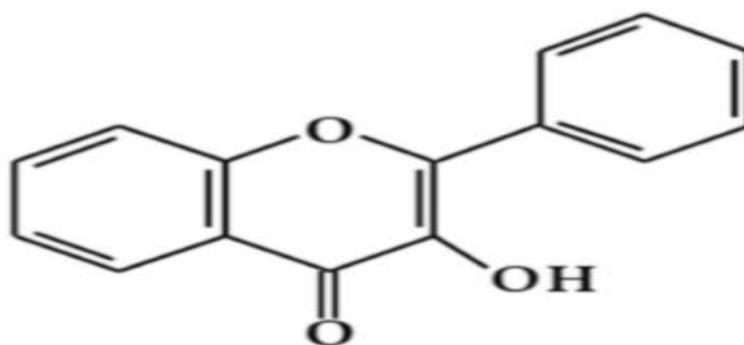


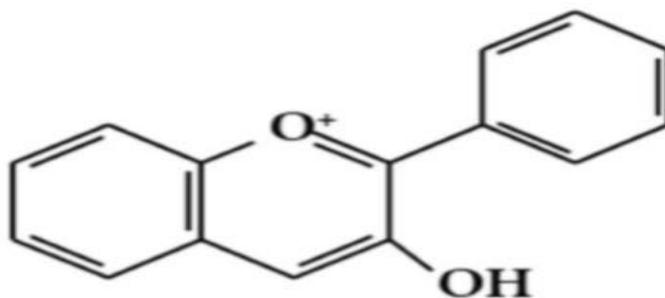
Figure 13 : Structure des flavonols (Leo., C.H et al., 2015).

### 3.3.4. Les anthocyanines

Les anthocyanes (formes glycosylées d'anthocyanidine (**figure 14**)) sont des pigments polyphénoliques qui appartiennent au groupe des flavonoïdes hydrosolubles et confèrent aux plantes la couleur rouge, bleue et violette de manière dépendant du pH (**Fang., J., 2014 ; Wang., L.S et al., 2008**). On les trouve dans les organes végétaux tels que les fruits, les fleurs et les feuilles, y compris ceux des raisins, des baies, de la grenade, du chou rouge, du maïs violet, des pommes, des radis, des tulipes, des roses et des orchidées (**Fang., J., 2014**).

Plus de 700 dérivés d'anthocyanine ont été identifiés dans la nature (**Wallace., T.C et al., 2015**). Les anthocyanines varient dans leur nombre de groupes hydroxyle et le degré de méthylation de la molécule d'aglycone. De plus, le nombre et l'emplacement des sucres liés à la molécule d'aglycone, ainsi que le nombre et le caractère des acides aliphatiques ou aromatiques liés à ces sucres, peuvent également varier (**Fantini., M et al., 2015 Marzocchella., L et al., 2011**). Les anthocyanes les plus abondantes sont la cyanidine, la péonidine, la pélargonidine, la delphinidine, la pétunidine et la malvidine (**Bellik., Y et al., 2012**).

Bien que les anthocyanes soient des nutriments non essentiels, elles peuvent favoriser le maintien de la santé et conférer une protection contre les maladies chroniques (**Wallace., T.C et al., 2015**). Récemment, la recherche sur les anthocyanes a été mise en évidence en raison de leurs effets préventifs et/ou thérapeutiques potentiels pour diverses maladies (**Wang., L.S et al., 2008**).



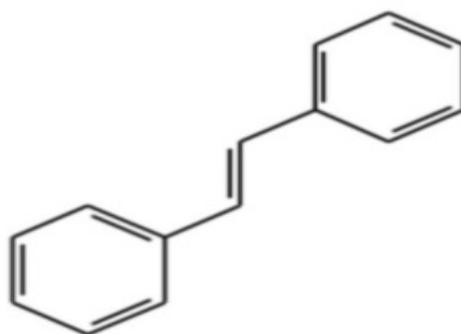
**Figure 14:** Structure des anthocyanes (**Fang., J., 2014 ; Wang., L.S et al., 2008**).

### 3.3.5. Les Stilbènes

Les stilbènes (**figure 15**) sont une classe de composés polyphénolique non flavonoïdique (**Crozier., A et al., 2008**). Leur squelette moléculaire est constitué d'unités 1,2-diphényléthylène. Les stilbènes peuvent être classés en stilbènes monomères et oligomères (**Shen., T et al., 2009**). Ces composés sont quelque peu limités chez les plantes, car l'enzyme de base de la biosynthèse du stilbène, la stilbène synthase, n'est pas universellement exprimée (**Riviere., C et al., 2012**). Cependant, en raison de leurs propriétés bioactives et de leur faible toxicité, les stilbènes ont un potentiel remarquable pour la prévention et le traitement de diverses maladies, y compris le cancer (**Sirerol., J.A et al., 2016 ; De Filippis., B et al., 2017**).

Les dérivés du stilbène les plus représentatifs sont les stilbénoloïdes, qui sont des dérivés hydroxylés du stilbène pouvant agir comme des phytoalexines. Ces composés comprennent le resvératrol, le ptérostilbène, le gnetol et le piceatannol et sont dérivés de raisins, de baies, d'arachides et d'autres sources végétales (**Riviere., C et al., 2012 ; Sirerol., J.A et al., 2016**).

Parmi ceux-ci, le resvératrol est le stilbénoloïde le plus étudié. Le resvératrol se trouve sous forme d'isomères *cis* et *trans*, ainsi que de dérivés conjugués (trans-resvératrol-3-O-glucoside) (**Crozier., A et al., 2008**). De plus, les resvératrols ont montré des propriétés chimiopréventives du cancer en bloquant la carcinogénèse (**Kundu., J.K et al., 2008 ; Jang., M et al., 1997**).



**Figure 15 :** Structure des stilbènes (**Crozier., A et al., 2008**).

*Chapitre IV : Propriétés  
biologiques, effets bénéfiques  
et utilisations de *Myrtus*  
*Communis**

## 1.1. Propriétés antimicrobiennes

### 1.1.1. Propriétés antibactériennes

Les extraits de myrte et les huiles essentielles exercent des activités antibactériennes en affectant la perméabilité de la paroi cellulaire bactérienne et de la membrane, favorisant la libération du contenu cellulaire à l'extérieur de la cellule et entraînant la perturbation de la fonction essentielle de la membrane y compris l'absorption des nutriments, l'activité enzymatique et le transfert d'électrons (**Amensour, M et al., 2010**).

Par exemple, les extraits de feuilles de myrte ont fortement inhibé la croissance des bactéries Gram-positives telles que *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* et *Mycobacterium smegmatis* avec une concentration minimale inhibitrice (CMI) et une concentration bactéricide minimale (CBM) d'environ 4,87 à 78 et 0,3 à 20 µg/ml, respectivement.

De plus, **Mansouri S. et al., (2001)** ont découvert que l'extrait méthanolique de feuilles de myrte inhibait la croissance de six bactéries Gram-positives (*S. aureus*, *Micrococcus luteus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae* et *Listia monocytogenes*) et de trois bactéries Gram-négatives. (*Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* et *P. aeruginosa*) avec une CMI comprise entre 0,1 (*M. luteus* et *S. aureus*) et 2 mg/ml (*E. coli*), mais n'a eu aucun effet contre *Campylobacter jejuni*. Des résultats similaires ont été trouvés par **Al-Saimary I. E et al., (2002)** qui ont mis en évidence un effet inhibiteur de l'extrait de feuille de myrte contre *P. aeruginosa* avec des valeurs CMI allant de 140 à 150 µg/ml.

Les extraits de feuilles de myrte et de baies ont montré un potentiel antibactérien pertinent contre différentes bactéries Gram-positives et Gram-négatives (*Bacillus subtilis*, *Listeria innocua*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa* et *P. fluorescens*) avec des CMI compris entre 0,075 (*S. aureus*) et 5 (*P. vulgaris*) mg/ml pour les deux extraits. Cependant, aucun effet n'a été observé contre *E. coli* K12 (**Amensour, M. et al., 2010**).

Enfin, il a été démontré que l'huile essentielle dérivée de la plante de myrte inhibe :

- ❖ La croissance de différentes souches de *Mycobacterium tuberculosis* et *Mycobacterium paratuberculosis* avec des valeurs de pourcentage d'inhibition de croissance allant de 0,17 à 2% (**Zanetti., S et al., 2010**).

- ❖ La croissance de *S.aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *Enterococcus durans*, *Salmonella Thypi*, *P. aeruginosa* et *B. subtilis* avec des valeurs de pourcentage d'inhibition de croissance comprises entre 0,5 et > 1% (*P. aeruginosa*) (Akin., M et al., 2010).
- ❖ La croissance de *S. aureus*, *P. mirabilis*, et la pneumonie à *Klebsiella* avec des valeurs de CMI comprises entre 0,12 et 4 µg/ml (Hennia., A et al., 2015).
- ❖ La croissance d'*E. coli*, *S. aureus* et *C. albicans* avec des valeurs de CMI et de CBM de 2 à 4 et de 4 à 8 µg/ml, respectivement (Yadegarinia., D et al., 2006).
- ❖ La croissance de 12 microorganismes pathologiques y compris des bactéries à Gram positif et à Gram négatif, champignons et levures (Berka-Zougali., B et al., 2012).

### 1.1.2. Propriétés antifongiques

Les activités antifongiques des huiles essentielles de myrte sont strictement liées à la présence de monoterpènes oxygénés et d'autres polyphénols capables d'affecter de manière irréversible les membranes cellulaires favorisant la libération de matériaux cellulaires et la mort du microorganisme, comme cela s'est produit avec les bactéries (Cox., S. D et al., 2001). Il a été rapporté que les huiles essentielles dérivées de myrte inhibent la croissance de 19 champignons phytopathogènes dont *Rhizoctonia solani*, *Fusarium tabacinum*, *Fusarium culmorum*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia minor*, *Cladosporium herbarum* et *Nigrospora oryzae* avec différents pourcentages d'inhibition (Kordali., S et al., 2016). Tandis que les huiles essentielles dérivées de feuilles de myrte ont exercé des effets antifongiques contre différentes souches de *Candida* avec des valeurs de CMI comprises entre 2 et 4 µg/ml (Cannas., S et al., 2013). Sur la base de ces résultats prometteurs, les activités antimicrobiennes du myrte devraient être profondément évaluées à l'avenir compte tenu également des graves problèmes liés à l'utilisation d'antibiotiques de synthèse et d'antifongiques tels que la résistance aux antimicrobiens, la rareté des traitements antifongiques, les problèmes environnementaux, les effets secondaires, la rechute des infections et la toxicité (Aleksic., V et al., 2014).

### 1.2. Propriétés antioxydantes

Des rapports récents ont montré que les extraits de feuilles de myrte ont la plus forte activité antioxydante et la plus forte teneur en phénols par rapport à d'autres parties de la plante de myrte (Chryssavgi., G et al., 2008; Wannas., W. A et al., 2010).

Les antioxydants sont des molécules capables de réagir et de neutraliser les radicaux libres prévenant et réduisant ainsi le stress oxydatif et ses effets néfastes sur les cellules du corps humain (Alvarez-Suarez, J. M et al., 2016). Au cours des dernières années, afin d'éviter l'utilisation d'antioxydants synthétiques, un intérêt croissant s'est manifesté pour la recherche et l'étude de nouveaux composés naturels à utiliser dans l'industrie alimentaire et cosmétique, en outre, les consommateurs du monde entier sont de plus en plus conscients de l'importance des antioxydants pour maintenir une bonne santé et prévenir l'apparition des maladies les plus courantes ( Augustin., M. A et al., 2015).

Avec plusieurs plantes médicinales et aromatiques, le myrte est une source riche d'antioxydants. En effet, les quantités élevées de composés bioactifs présents dans ses baies et ses feuilles contribuent de manière significative à une capacité antioxydante totale (TAC) élevée. Les polyphénols, en particulier, présentent une capacité antioxydante élevée car ils sont d'excellents donneurs d'hydrogène, agents réducteurs et désactivateurs d'oxygène singulet (Rice-Evans., C et al., 1997).

Des méthodes plus sophistiquées ont été appliquées pour évaluer le TAC de différentes parties de myrte (Romani., A et al., 2004; Rosa., A et al., 2015; Sanna., D et al., 2019; Tuberoso., C. I. G et al., 2010) . Par exemple, des extraits de baies à 150 et 300 g/L ont montré une forte activité de piégeage des radicaux hydroxyles (Sanna., D et al., 2019), alors que les extraits de feuilles et de baies de myrte, ainsi que les acylphloroglucinols les oligomériques extraits des feuilles, ont pu inhiber l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) (Romani., A et al., 2004; Rosa., A et al., 2008; Tuberoso., C. I. G et al., 2010). De même, il a été démontré que l'extrait de confiture de myrte réduisait la peroxydation des liposomes exposés au cuivre en piégeant les radicaux libres, en empêchant la dégradation des acides gras insaturés et en diminuant les niveaux de malondialdéhyde. Cependant, mais il n'a pas pu diminuer les niveaux d'espèces intracellulaires réactives de l'oxygène (EOA) (Rosa., A et al., 2015).

### **1.3. Propriétés anti-inflammatoires**

Avec le stress oxydatif, l'inflammation est la principale cause qui contribue à l'apparition et au développement des maladies humaines les plus courantes, telles que les troubles métaboliques, les maladies cardiovasculaires et le cancer (Joseph., S. V et al., 2014). En condition physiologique, l'inflammation représente la réponse normale et temporaire du système immunitaire à la présence d'antigènes pathogènes. Cependant, son hyperactivation

induit des lésions tissulaires et un stress oxydatif en raison d'une production excessive de radicaux libres (Schieber., M et al., 2014). Par conséquent, l'utilisation d'antioxydants naturels capables de contrer les niveaux de radicaux libres, réduisant ainsi à la fois l'inflammation et le stress oxydatif, pourrait représenter un outil stratégique pour prévenir plusieurs pathologies humaines (Al-Hindawi., M. K et al., 1989; Hosseinzadeh., H et al., 2011; Jabri., M. A et al., 2018b). D'un côté, les extraits de plantes de myrte (10 ml / kg correspondant à 1/10 de la dose létale) ont joué une activité anti-inflammatoire modeste par rapport à d'autres extraits de plantes chez le rat avec un œdème induit par la carraghénine (Al-Hindawi., M.K et al., 1989), de l'autre côté, des extraits de feuilles de myrte (différentes concentrations 2,5 h ou 7 jours) se sont avérés protéger les souris albinos stressées par le xylène contre les inflammation chronique (Hosseinzadeh., H et al., 2011).

Enfin, dans cette dernière étude, l'extrait de graines (25,50 et 100 mg / kg pendant 2 mois) a diminué les taux plasmatiques de cytokines inflammatoires, telles que le facteur de nécrose tumorale  $\alpha$  interleukine (IL) -8, l'IL-6 et l'IL-  $1\beta$ , et les concentrations érythrocytaires de ROS et de peroxydation lipidique, et ont augmenté l'activité des principales enzymes antioxydantes chez les rats intoxiqués à l'éthanol (Jabri., M.A et al., 2018b).

#### 1.4. Propriété anticancéreuse

Le cancer est l'une des principales causes de décès dans le monde avec 16,9 millions de personnes diagnostiquées en 2019 et 22,1 millions attendues en 2030 (Miller., K. D et al., 2019). Au cours des dernières années, de nombreuses études ont montré une forte corrélation entre une alimentation riche en aliments végétaux, y compris des baies, et un moindre risque de développer différents types de tumeurs (Battino., M et al., 2019; Chen., H et al., 2020; Grosso., G et al., 2013; Pan., P et al., 2020; Papandreou., C et al., 2019). Les huiles essentielles dérivées de feuilles de myrte ont montré des effets antimutagènes chez *E. coli*, réduisant le pourcentage de mutagenèse spontanée (Mimica-Dukić., N et al., 2010). Tandis que, dans la leucémie myéloïde chronique humaine, la myricétine 3-O-galactoside et la myricétine 3-O-rhamnoside (différentes concentrations), extraites de feuilles de myrte, ont montré des effets similaires, diminuant la mutagénicité induite par le peroxyde d'hydrogène par exemple (Hayder., N et al., 2008). De même, la myrtucommulone extraite des feuilles de myrte a favorisé la mort cellulaire apoptotique, en activant les caspases, en induisant la fragmentation de l'ADN et la perte potentielle de la membrane mitochondriale dans différents types de cellules cancéreuses (Tretiakova.I et al., 2008).

### 1.5. Effet sur le système cardiovasculaire

La contribution des composés bioactifs alimentaires à l'amélioration de la santé cardiovasculaire est un sujet de grand intérêt. La réduction de l'oxydation des LDL, la modulation de l'expression/activité de l'oxyde nitrique synthase et l'amélioration du profil lipidique plasmatique sont les principaux mécanismes par lequel les composés bioactifs exercent leurs effets sur le système cardiovasculaire (**Forbes-Hernandez, T. Y et al., 2016**). Des recherches précédentes sur les extraits de baies de myrte (50 mg/kg pendant 30 et 45 jours) ont montré des effets hypolipidémiques et antithrombotiques, en diminuant les taux de triglycérides sériques, de LDL et de cholestérol (**Khan., R. A et al., 2014**).

### 1.6. Autres propriétés biologiques

#### 1.6.1. Propriétés Neurodégénératives

Les extraits de baies de myrte étaient plus efficaces que les extraits de feuilles pour inhiber les activités *in vitro* de l'acétylcholinestérase, de la butyrylcholinestérase et de la tyrosinase, qui sont des enzymes corrélées à des maladies neurodégénératives, telles que les pathologies d'Alzheimer (**Tumen., I et al., 2012**).

#### 1.6.2. Effet sur le diabète

Le diabète est un trouble métabolique, causé par de graves anomalies du métabolisme glucidique et lipidique et caractérisé par une résistance chronique à l'insuline et une hyperglycémie. Au cours des dernières années, son incidence a augmenté de façon vertigineuse: 415 millions d'adultes étaient diabétiques en 2015 et il devrait atteindre 642 millions d'ici 2040 (**Herman., W.H., 2017**). En effet, plusieurs études ont montré que la consommation d'aliments végétaux, riches en antioxydants et composés bioactifs, exerce un rôle préventif, diminuant le risque de développer cette maladie (**Olfert., M. D et al., 2018**).

Dans le cas du myrte, quelques études ont évalué les effets antidiabétiques de ses baies, feuilles et huiles essentielles dans différents modèles animaux expérimentaux (**Elfellah., M. S et al., 1984**). Les huiles essentielles de myrte, après une consommation aiguë (50 et 100 mg/kg une fois par jour pendant 1 semaine) ou chronique (2,5-5 gouttes à 50-100 mg/kg pendant 4 h jusqu'à 21 jours), réduit de manière significative les niveaux de glucose sanguin, de triglycérides sériques, de nitrite hépatique ainsi que l'augmentation de l'activité hépatique de la glucokinase et de la concentration de glycogène, mais cela n'a pas affecté les niveaux d'insuline sérique (**Dineel., A. S et al., 2007; Sepici., A et al., 2004**).

### **1.6.3. Effet sur le système digestif**

Au cours des dernières années, les effets du myrte sur le tube digestif ont été largement évalués. Cinq essais cliniques ont évalué les effets de la consommation de myrte sur la santé humaine. Par exemple, les effets des gélules lyophilisées de baies de myrte (1000 mg/j pendant 4 semaines) ont été évalués chez des patients atteints de reflux gastro-œsophagien, soulignant que la consommation de myrte réduisait le reflux et les dyspeptiques par rapport aux valeurs de base et avait la même efficacité que l'oméprazole, le médicament couramment utilisé pour réduire l'acidité gastrique **(Zohalinezhad., M. E et al., 2016)**.

Le reflux gastro-œsophagien est le passage normal du contenu de l'estomac dans l'œsophage pendant la période postprandiale et il peut devenir pathologique s'il provoque une ulcération et détruit l'épithélium malpighien de l'œsophage normal **(Jabri., M.A et al., 2016)**. Même si les mécanismes biologiques sous-jacents à ce processus sont encore inconnus, il y a de plus en plus de preuves que les EOA, le stress oxydatif et la peroxydation lipidique sont fortement impliqués **(Singh., P et al., 2012)**. Pour ces raisons, l'utilisation d'extraits végétaux, particulièrement riches en antioxydants, a été étudiée pour produire de nouveaux médicaments contre cette pathologie **(Kawahara., H et al., 2007; Mahattanadul., S et al., 2011)**. Concernant le myrte, l'extrait de graines (25, 50 et 100 mg/kg) a pu améliorer les dommages macroscopiques et histopathologiques de l'œsophage, diminuer les taux de malondialdéhyde (MDA) et augmenter l'activité des principales enzymes antioxydantes (catalase) **(Jabri., M. A et al., 2016)**. Il a été démontré que les graines de myrte protègent également la muqueuse gastrique en exerçant des effets antiulcéreux **(Jabri., M. A et al., 2017; Sumbul., S et al., 2010)**.

Des expériences ont été faites sur les animaux ont montré que des extraits aqueux de graines (25,50 et 100 mg/kg) protégeaient contre les lésions gastriques et duodénales, en réduisant les dommages morphologiques et histopathologiques, diminuant le stress oxydatif, amélioreraient le système de défense antioxydant et activités de piégeage du plasma et rétablissant l'homéostasie du calcium et du fer **(Jabri., M. A et al., 2017)**.

Une autre maladie gastrique chronique courante est la colite ulcéreuse, causée par plusieurs facteurs, notamment les dérèglements du système immunitaire, la dysbiose intestinale, l'inflammation, la prédisposition génétique et le stress oxydatif. Grâce à sa teneur élevée en composés antioxydants et anti-inflammatoires, la plante de myrte est un candidat prometteur pour prévenir et traiter cette maladie. Enfin, l'extrait de graines de myrte a montré des propriétés antidiarrhéiques intéressantes. La diarrhée peut être due à une malabsorption,

un transit accéléré, une sécrétion intestinale excessive ou un effet osmotique provoquant un écoulement de liquide (Jabri., M. A et al., 2018a).

## 2. Utilisations de *Myrtus Communis*

### 2.1. Utilisation en traditionnelle

La plante est traditionnellement utilisée dans le traitement des problèmes digestifs, des pertes vaginales, de la congestion bronchique, de la sinusite et de la toux sèche (Bown., D., 1995; Genders., R., 1994). Les feuilles sont aromatiques, balsamiques, hémostatiques et toniques (Chiej., R., 1984) et sont utilisées dans des plats salés cuisinés comme aromatisants (Bown., D., 1995). Le fruit est carminatif et est utilisé dans le traitement de la dysenterie et des rhumatismes (Chopra., R. N et al., 1986. Le décocté des feuilles, mélangé ou non au henné, est largement utilisé pour noircir et adoucir les cheveux. Une infusion de feuilles est utilisée contre les maladies cardiaques et la constipation. Dans le pastoralisme, c'est une source de matière organique pour les animaux (Bouزيد., A et al., 2003).

Dans les anciennes traditions médicales, différentes parties du myrte (en particulier les baies, les feuilles, les fleurs et les huiles essentielles) ont été largement utilisées comme remèdes pour traiter les troubles gastro-intestinaux (les ulcères gastro-duodénaux, la diarrhée et les hémorroïdes), les maladies urinaires (urétrite) et les affections cutanées (peau rougie) ainsi que pour inactiver les micro-organismes et pour la cicatrisation des plaies (Aleksic., V et al., 2014; Alipour., G et al., 2014; Sumbul., S et al., 2011).

Le myrte est fréquemment consommé en infusion et en décoction (LeFloc'h., 1983). Une infusion des feuilles et des jeunes branches est stimulante, antiseptique, astringente et hypoglycémique, et a été considérée comme un remède pour la santé contre l'eczéma, le psoriasis, l'asthme (Ziyyat., A et al., 1997). La décoction de feuilles est encore utilisée pour le lavage vaginal, les lavements et contre les maladies respiratoires (Marchini., G et al., 1998). Une décoction de fruits a été utilisée pour traiter les maladies de la bouche et des yeux (Ziyyat., A et al., 1997). Les fleurs, traditionnellement utilisées contre les varices, ont été mélangées à d'autres herbes aromatiques pour préparer des lotions capillaires (Le Floc'h., 1983).

Bien que les décoctions de baies étaient utilisées pour baigner les nouveau-nés à la peau rougie et les décoctions de feuilles et de baies dans un lavage douloureux, la plus grande partie est utilisée pour produire la liqueur de myrte caractéristique obtenue par infusion hydro-

alcoolique des baies (Alipour., G et al., 2014 ; Fadda., A et al., 2017 ; Montoro., P et al., 2006).

Les feuilles de Myrte nivelle (myrte saharienne) en infusion sont aussi utilisées contre les maladies intestinales (diarrhée), la fièvre, le diabète et ajoutées aux gaufrettes d'orge contre la blennorrhée (Bouzabata., A et al., 2013 ; Sahki., A et al., 2004).

Les feuilles écrasées ajoutées à l'huile ou à la pommade au beurre ont été utilisées dans le traitement de la dermatose et pour les soins capillaires et corporels (Bouzabata., A et al., 2013 ; Hammiche., V et al., 2006 ; Touaibia., M et al., 2017). La décoction de feuilles mélangée à du lait de chèvre et chauffée au charbon de bois a été utilisée pour les troubles hépatiques par les Algériens nomades de la région du Tassili. L'infusion de feuilles est utilisée dans cette région comme boisson courante, au lieu du thé vert (Mansour., A et al., 2017). Les baies sont consommées fraîches ou séchées pour traiter les aphtes buccaux (Touaibia., M et al., 2017).

En Inde, il est considéré comme utile dans le traitement des affections cérébrales, en particulier l'épilepsie. L'huile essentielle est utilisée comme antiseptique, pour le traitement de l'acné, des plaies, des infections des gencives. Les feuilles sont toniques utilisées comme agents antihypertenseurs, anticarcinogènes, bain de bouche et pour les traitements de la candidose (Traboulsi., A.F et al., 2002).

## **2.2. Utilisation médicinale**

Chez les femmes atteintes d'hémorroïdes de grade I et II, une pommade à base de myrte, appliquée deux fois par jour pendant 4 et 8 semaines, a réduit tous les symptômes, en particulier la moyenne des démangeaisons anales et augmenter la satisfaction des patients (Malekuti., J et al., 2019).

En guise de cure, les différentes régions méditerranéennes utilisent les feuilles et les baies pour traiter la colite, la leucorrhée, les hémorragies, l'inflammation, les douleurs dentaires, les complications cardiaques et la constipation (Sabiha., S et al., 2011).

## **2.3. Utilisation alimentaire**

Différentes parties de la plante trouvent diverses utilisations dans l'industrie alimentaire, comme pour aromatiser la viande et les sauces (chalchat., J. C et al., 1998). Les baies mûres sont consommées crues. Les baies et les feuilles sont utilisées pour produire une liqueur aromatique, appelée Mirto en Corse et en Sardaigne. Le Mirto Ross (rouge) est produit en

faisant macérer les baies mûres dans de l'alcool et le Mirto Blanco (blanc) est également produit à partir des feuilles. Les feuilles fraîches ou séchées sont utilisées comme épice et peuvent être utilisées comme substitut aux feuilles de laurier. L'huile essentielle de feuille de myrte est utilisée dans les industries de la confiserie et des boissons (Aydm., C et al., 2007).

Le myrte fait un bois de feu parfait, transmettant un goût épicé et aromatique à toute viande grillée par la suite. Les aliments aromatisés à la fumée de myrte sont courants dans les zones rurales d'Italie ou de Sardaigne (Traboulsi., A.F et al., 2002).

#### **2.4. Autres Utilisations**

Les huiles essentielles de l'écorce, des feuilles et les fleurs de myrte sont utilisées en parfumerie, savons et soins de la peau, produits cosmétiques. Une eau parfumée, «eau d'ange», est obtenue à partir des fleurs. Son bois est utilisé pour fabriquer des cannes, des manches d'outils et des meubles (Traboulsi., A. F et al., 2002 ).

*Conclusion*

Les plantes aromatiques et médicinales sont la source de la majorité des antioxydants naturels et elles sont encore sous-exploitées dans le domaine médical. Dans l'industrie pharmaceutique, sachant le rôle déterminant des antioxydants dans la prévention des maladies, le développement de nouveaux médicaments à base d'antioxydants naturels doit être à l'ordre du jour.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressées à l'étude de la plante *Myrtus Communis* connu en Algérie sous le nom de « Chelmoune » plus précisément en Kabylie. Cette plante est très répandue en raison de sa tolérance à la sécheresse et sa capacité à se régénérer rapidement. Le myrte est traditionnellement utilisé pour abaisser la glycémie, utilisé pour la digestion ainsi que pour traiter les aphtes buccaux.

Dans ce contexte, nous avons essayé de relater les différents composés bioactifs de cette plante ainsi que ses diverses propriétés biologiques (antimicrobiennes, antioxydante, anti-inflammatoires, anticancéreuses,...). Bien sur tout en définissant les notions de radicaux libres, stress oxydatif et antioxydants.

La communauté médicale se rend compte qu'une augmentation du stress oxydatif chez un individu est potentiellement une cause de l'apparition de diverses pathologies telles que les maladies cardiovasculaires. En France, bien qu'ils aient une alimentation riche en graisses, ils ne souffrent pas de maladies cardiovasculaires et cela, revient à la consommation du vin qui contient la vitamine E et est riche en polyphénols. Les antioxydants naturels permettent notamment de prévenir les maladies inflammatoires.

Il est important de disposer de défenses antioxydantes adéquates qui doivent nous être fournies par une alimentation saine, En Belgique comme en France existent des Plans Nationaux Nutrition Santé qui préconisent de manger au moins 5 fruits et légumes par jour pour se prémunir contre les pathologies.

## *Références bibliographique*

### A

- Afrin, S., Haneefa, S. M., Fernandez-Cabezudo, M. J., Giampieri, F., al-Ramadi, B. K., & Battino, M. (2020). Therapeutic and preventive properties of honey and its bioactive compounds in cancer : An evidence-based review. *Nutrition Research Reviews*, 33, 50–76.
- Aidi Wannes W, Mhamdi B, Marzouk B. (2009) GC comparative analysis of leaf essential oils from two Myrtle varieties at different phenological stages. *Chromatographia*, 69, 145-150
- Aidi Wannes, W., Mhamdi, B., Sriti, J., & Marzouk, B. (2010). Glycerolipid and fatty acid distribution in pericarp, seed and whole fruit oils of *Myrtus communis* var. *italica*. *Industrial Crops and Products*, 31, 77–83.
- Aidi Wannes, W., & Marzouk, B. (2013). Differences between myrtle fruit parts (*Myrtus communis* var. *italica*) in phenolics and antioxidant contents. *Journal of Food Biochemistry*, 37, 585–594.
- Aidi Wannes, W., & Marzouk, B. (2016). Characterization of myrtle seed (*Myrtus communis* var. *baetica*) as source of lipids, phenolics, and antioxidant activities. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24, 316–323.
- Akin, M., Aktumsek, A., & Nostro, A. (2010). Antibacterial activity and composition of the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. and *Myrtus communis* L. growing in Northern Cyprus. *African Journal of Biotechnology*, 9, 531–535.
- Alam, Z.I., Jenner, A., Daniel, S.E., Lees, A.J., Cairns, N., Marsden, C.D., Jenner, P. & Halliwell, B. (1997). Oxidative DNA damage in the parkinsonian brain: an apparent selective increase in 8-hydroxyguanine levels in substantia nigra. *J. Neurochem.*, 69, 1196–1203.
- Aldridge, R.E., Chan, T., Van Dalen, C.J., Senthilmohan, R., Winn, M., Venge, P., Town, G.I. & Kettle, A.J. (2002). Eosinophil peroxidase produces hypobromous acid in the airways of stable asthmatics. *Free Radic. Biol. Med.*, 33, 847–856.
- Aleksic, V., & Knezevic, P. (2014). Antimicrobial and antioxidative activity of extracts and essential oils of *Myrtus communis* L. *Microbiological Research*, 169, 240–254.
- Al-Hindawi, M. K., Al-Deen, I. H., Nabi, M. H., & Ismail, M. A. (1989). Anti-inflammatory activity of some Iraqi plants using intact rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 26, 163–168.
- Alipour, G.; Dashti, S.; Hosseinzadeh, H. Review of pharmacological effects of *Myrtus communis* L. and its active constituents. *Phytother. Res.* 2014, 28, 1125–1136.
- Al-Saimary, I. E., Bakr, S. S., Jaffar, T., Al-Saimary, A. E., Salim, H., & AlMuosawi, R. (2002). Effects of some plant extracts and antibiotics on *Pseudomonas aeruginosa* isolated from various burn cases. *Saudi Medical Journal*, 23, 802–805.
- Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Cordero, M., Gasparrini, M., ForbesHernández, T. Y., Mazzoni, L., ... Battino, M. (2016). Activation of AMPK / Nrf2 signalling by Manuka honey protects human dermal fibroblasts against oxidative damage by improving antioxidant response and mitochondrial function promoting wound healing. *Journal of Functional Foods*, 25, 38–49.

## Références bibliographiques

---

- Amenour, M., Bouhdid, S., Fernandez-Lopez, J., Idaomar, M., Senhaji, N. S., & Abrini, J. (2010). Antibacterial activity of extracts of *Myrtus communis* against food-borne pathogenic and spoilage bacteria. *International Journal of Food Properties*, 13, 1215–1224.
- Amenour, M., Sendra, E., Abrini, J., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2010). Antioxidant activity and total phenolic compounds of myrtle extracts. *CyTA—Journal of Food*, 8, 95–101.
- Andjelkovic', M.; Van Camp, J.; De Meulenaer, B.; Depaemelaere, G.; Socaciu, C.; Verloo, M.; Verhe, R. Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. *FoodChem*. 2006, 98, 23–31.
- APG III. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105–121.
- Atkin MA, Gasper A, Ullegaddi R, et al.— Oxidative susceptibility of unfractionated serum or plasma : response to antioxidants in vitro and to antioxidants supplementation. *Clin Chem*, 2005, 51, 2138–2144.
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2015). Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 463–477.
- Aydın, C., & Özcan, M. M. (2007). Determination of nutritional and physical properties of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits growing wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79, 453–458.

## B

- Bahorun, T. Substances naturelles actives : La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentiel. Edition Mauritius. (1997). 133.
- Barboni, T., Cannac, M., Massi, L., Perez-Ramirez, Y., & Chiaramonti, N. (2010). Variability of polyphenol compounds in *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) berries from Corsica. *Molecules*, 15, 7849–7860.
- Battino, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparri, M., Afrin, S., Cianciosi, D., Zhang, J. J., ... Giampieri, F. (2019). Relevance of functional foods in the Mediterranean diet: The role of olive oil, berries and honey in the prevention of cancer and cardiovascular diseases . *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 893–920.
- Baytop T. (1999) Therapy with medicinal plant in Turkey (past and present). Nobel Tip Kitapevleri Press, Istanbul;
- B.C.L. Weedon, G.P. Moss, Structure and nomenclature, in: G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfänder (Eds.), *Carotenoids*, Birkhauser, Basel, Switzerland, 1995, pp. 27–44.
- Beecher, G.R. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake. *J Nutr* 2003, 133, 3248S–3254S.
- Bellik, Y.; Boukraa, L.; Alzahrani, H.A.; Bakhotmah, B.A.; Abdellah, F.; Hammoudi, S.M.; Iguer-Ouada, M. Molecular mechanism underlying anti-inflammatory and anti-allergic activities of phytochemicals: An update. *Molecules* 2012, 18, 322–353.
- Bendich A, Olson JA. Biological actions of carotenoids. *FASEB J* 1989; 3:1927–32.

## Références bibliographiques

---

Berka-Zougali B., Ferhat M.A., Hassani A., Chemat F., Allaf K.S. (2012) Comparative Study of Essential Oils Extracted from Algerian *Myrtus communis* L. Leaves Using Microwaves and Hydrodistillation. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 4673-4695.

Bohm V, Bitsch R. Intestinal absorption of lycopene from different matrices and interactions to other carotenoids, the lipid status, and the antioxidant capacity of human plasma. *Eur J Nutr* 1999;38:118–25.

Boileau TW, Boileau AC, Erdman JW Jr. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. *Exp Biol Med* 2002;227:914–9.

Bonjar SGH. (2004) Evaluation of antibacterial properties of Iranian medicinal-plants against *Micrococcus luteus*, *Serratia marcescens*, *Klebsiella pneumoniae* and *Bordetella bronchoseptica*. *Asian Journal of Plant Science*, 3, 82–86.

Boullard, B. (1988). *Dictionnaire de Botanique*. Marketing. 398 p.

Bouzabata, A.; Bazzali, O.; Cabral, C.; Gonçalves, M.J.; Cruz, M.T.; Bighelli, A.; Cavaleiro, C.; Casanova, J.; Salgueiro, L.; Tomi, F. New compounds, chemical composition, antifungal activity and cytotoxicity of the essential oil from *Myrtus nivellei* Batt. & Trab., an endemic species of Central Sahara. *J. Ethnopharmacol.* 2013, 149, 613–620.

Bouzig A, Helal S (2003) Study on the development of non-wood forest Products. In: *Harvesting of Non-wood Forest Products*, Seminar, Menemen-Izmir, Turkey.

Bown, D. (1995). *Encyclopaedia of herbs and their uses*. London: Dorling Kindersley.

Brada, M., Tabti, N., Boutoumi, H., Wathelet, J.P., & Lognay, G. (2012). Composition of the essential oil of leaves and berries of Algerian myrtle (*Myrtus communis* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 24, 1–3.

Bravo L (1998) Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev* 56:317–333.

Britton, G. Structure and properties of carotenoids in relation to function, *FASEB J* 9 (1995) 1551-8.

Britton, S.; Liaaen-Jensen, S.; Pfänder, H. (Eds.) *Carotenoids: Handbook*; Birkhäuser: Boston, MA, USA, 2004.

Brown, J. E., Khodr, H., Hider, R. C., & Rice-Evans, C. A. (1998). Structural dependence of flavonoid interactions with Cu<sup>2+</sup> ions: implications for their antioxidant properties. *Biochemical Journal*, 330(Pt 3), 1173–1178.

Buettner GR, Jurkiewicz BA. Catalytic metals, ascorbate and free radicals: combinations to avoid. *Radiat Res* 1996 ; 145 : 532-41.

Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *Int. J. Food Microbiol.* 94, 223-253.

Buttner, M.P., Willeke, K., Grinshpun, S.A., 1996. Sampling and analysis of airborne microorganisms. In: Hurst, C.J., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stezenbach, L.D., Walter, M.V. (Eds.), *Manual of Environmental Microbiology*. A.S.M. Press, Washington, DC, pp. 629-640.

## Références bibliographiques

---

- Cannas, S., Molicotti, P., Ruggeri, M., Cubeddu, M., Sanguinetti, M., Marongiu B. , & Zanetti,S.(2013).Antimycotic activity of *Myrtus communis* L. towards *Candida* spp. from clinical isolates. *The Journal of Infection in Developing Countries*,7,295–298.
- Casciola-Rosen, L., Wigley, F. & Rosen, A. (1997). Scleroderma autoantigens are uniquely fragmented by metal-catalyzed oxidation reactions: implications for pathogenesis. *J. Exp. Med.*, 185, 71–79.
- Chalchat J, Garry RP, Michet A. (1998) Essential oils of myrtle (*Myrtus communis* L.) of the Mediterranean littoral. *Journal of Essential Oil Research*, 10, 613-617.
- Chen, H., Yang, H., Fan, D., & Deng, J. (2020). The anticancer activity and mechanisms of ginsenosides: An updated review. *eFood*, 1, 226–241.
- Chiej, R. (1984). *Encyclopaedia of medicinal plants*. London: MacDonald Press.
- Chokri Messaoud ,Abdelmonoem Laabidi, Mohamed Boussaid (2012). *Myrtus communis* L .Infusions : The Effect of InfusionTime on Phytochemical Composition, Antioxidant,and Antimicrobial Activities.
- Chopra, R.N., Nayar, S.L., & Chopra, I.C. (1986). *Glossary of Indian medicinal plants*. New Delhi: Council of Scientific and Industrial Research.
- Chryssavgi G, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Michael K. 2008. Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. *Food Chem* 107:1120–30.
- Correddu, F., Maldini, M., Addis, R., Petretto, G. L., Palomba, M., Battacone, G., ... Pintore, G. (2019). *Myrtus communis* liquor byproduct as a source of bioactive compounds. *Foods*,8,237.
- Cox,S.D.,Mann,C.M.,&Markham,J.L.(2001).Interactionsbetweencomponents of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Microbiology*,91,492–497.
- Coyle P, Philcox JC, Carey LC, Rofe AM. Metallothionein: the multipurpose protein. *Cell Mol Life Sci* 2002;59:627–47.
- Crozier, A.; Clifford, M.N.; Ashihara, H. *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*; John Wiley & Sons: Oxford, UK, 2008.
- Crozier, A.; Jaganath, I.B.; Clifford, M.N. *Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health*. *Nat. Prod. Rep.* 2009, 26, 1001–1043.

## D

- Dahmoune, F.; Boulekbache, L.; Moussi, K.; Aoun, O.; Spigno, G.; Madani, K. Valorization of Citruslimon residues for the recovery of antioxidants: Evaluation and optimization of microwave and ultrasound application to solvent extraction. *Ind. Crops Prod.* 2013, 50, 77–87.
- Dangles O., Dufour C. (2006). *Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications*. Eds Andersen O. and Markham K. CRC Press, Boca Raton. Chapter 9: p 443-469
- Dangles O., Dufour C. (2008). *Recent advances in Polyphenol Research*. Chapter 3: 67-87
- De Filippis, B.; Ammazalorso, A.; Fantacuzzi, M.; Giampietro, L.; Maccallini, C.; Amoroso, R. Anticancer activity of stilbene-based derivatives. *ChemMedChem*. 2017, 12, 558–570.

## Références bibliographiques

---

Defraigne J-O.— Un mécanisme physiopathologique central à l'origine des complications du diabète ? Rev Med Liege, 2005, 60, 472-478.

Defraigne, J.O., Pincemail, J. (2008). Stress oxydant et antioxydants : mythes et réalités.10-19.

Derbel, S., Ghedira, K., 2005. Les phytonutriments et leur impact sur la santé. Phytothérapie 3(1), 28-34

Dineel,A.S.,Acikgoz,S.,Cevik,C.,Sengelen,M.,&Yesilada,E.(2007).Effects of in vivo antioxidant enzyme activities of myrtle oil in normoglycemic and alloxan diabetic rabbits. Journal of Ethnopharmacology, 110, 498– 503.

Diplock, A. T. (1994). Antioxidants and disease prevention. Molecular Aspects of Medicine, 15, 293±376.

Dizdaroglu, M. (1992). Oxidative damage to DNA in mammalian chromatin. Mutat. Res., 275, 331–342.

Dizdaroglu, M., Jaruga, P., Birincioglu, M. & Rodriguez, H. (2002). Free radical-induced damage to DNA: mechanisms and measurement. Free Radic. Biol. Med., 32, 1102–1115.

### *E*

E.Fontaine, D.Barnoud, C.Schwebel, X.Leverve. Place des anti-oxydants dans la nutrition du patient septique(2002).

Elfellah,M.S.,Akhter,M.H.,&Khan,M.T.(1984).Antihyperglycaemic effect of an extract of *Myrtus communis* in streptozotocin-induced diabetes in mice . Journal of Ethnopharmacology ,11,275–281.

### *F*

Fadda,A.,&Mulas,M.(2010).Chemical changes during myrtle (*Myrtus communis* L.) fruit development and ripening.Scientia Horticulturae,125,477– 485.

Fadda, A., Palma, A., d'Aquino, S., & Mulas, M. (2016). Effects of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruit cold storage under modified atmosphere on liqueur quality. Journal of Food Processing and Preservation, 41,e12776.

Fadda, A.; Palma, A.; d'Aquino, S.; Mulas, M. Effects of myrtle (*Myrtus communis* L.) fruit cold storage under modified atmosphere on liqueur quality. J. Food Process. Preserv. 2017, 41, e12776.

Fang, J. Bioavailability of anthocyanins. Drug Metab. Rev. 2014, 46, 508–520

Fantini, M.; Benvenuto, M.; Masuelli, L.; Frajese, G.V.; Tresoldi, I.; Modesti, A.; Bei, R. In vitro and in vivo antitumoral effects of combinations of polyphenols, or polyphenols and anticancer drugs: Perspectives on cancer treatment. Int. J. Mol. Sci. 2015, 16, 9236–9282.

Farah A, Afifi A, Fechtal M, Chhen A, Satrani B, Talbi M, Chaouch A. (2006) Fractional distillation effect on the chemical composition of Moroccan myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oils. Flavour and Fragrance Journal, 21, 351-354.

Focsan,A.;Polyakov,N.;Kispert,L.Photo protection of *Haematococcus pluvialis* algae by astaxanthin: Unique properties of astaxanthin deduced by EPR, optical and electrochemical studies. Antioxidants 2017, 6, 80.

## Références bibliographiques

---

Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Afrin, S., Bompadre, S., Mezzetti, B., Quiles, J. L., ... Battino, M. (2016). The healthy effects of strawberry polyphenols: Which strategy behind antioxidant capacity? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, S46–S59.

Forbes-Hernandez, T. Y., Cianciosi, D., Ansary, J., Mezzetti, B., Bompadre, S., Quiles, J. L., ... Battino, M. (2020). Strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Romina) methanolic extract promotes browning in 3T3-L1 cells. *Food & Function*, 1, 297–304.

Francesca Giampieri, Danila Cianciosi, Tamara Y. Forbes-Hernández (2020). Myrtle (*Myrtus communis* L.) berries, seeds, leaves, and essential oils: New undiscovered sources of natural compounds with promising health benefits.

Friguet B, Bulteau AL, Chondrogianni N et al. Protein degradation by the proteasome and its implications in aging. *Ann NY Acad Sci USA* 2000 ; 908 : 143-54.

### G

Gaut, J.P., Byun, J., Tran, H.D. & Heinecke, J.W. (2002a). Artifact-free quantification of free 3-chlorotyrosine, 3-bromotyrosine, and 3-nitrotyrosine in human plasma by electron capture negative chemical ionization gas chromatography mass spectrometry and liquid chromatography–electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Anal. Biochem.*, 300, 252–259.

Gaut, J.P., Byun, J., Tran, H.D., Lauber, W.M., Carroll, J.A., Hotchkiss, R.S., Belaouaj, A. & Heinecke, J.W. (2002b). Myeloperoxidase produces nitrating oxidants in vivo. *J. Clin. Invest.*, 109, 1311–1319.

G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfänder, , , . *Carotenoids* Birkhäuser, Basel, Switzerland, 2004.

G. Britton, F. Khachik, *Carotenoids in Food*, in: G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfänder (Eds.), *Carotenoids Vol. 5: Nutrition and Health*, Birkhauser, Basel, Switzerland, 2009, pp. 4566.

Genders, R. (1994). *Scented flora of the world*. London: Robert Hale.

Gerschman R, Gilbert DL, Nye SW et al. — Oxygen poisoning and X – irradiation: a mechanism in common. *Science*, 1954, 119, 623-626. 2.

Ghedira, 2005. Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emploi en thérapeutique. *Phytothérapie* 3(4), 162-169.

Gilgun-Sherki, Y., Melamed, E., and Offen, D. 2001. Oxidative stress induced-neurodegenerative diseases: the need for antioxidants that penetrate the blood brain barrier. *Neuropharmacology* 40: 959-975.

González de Peredo, A. V., Vázquez-Espinosa, M., Espada-Bellido, E., Jiménez-Cantizano, A., Ferreira-González, M., Amores-Arocha, A., ... Barbero, G. F. (2018). Development of new analytical microwave-assisted extraction methods for bioactive compounds from myrtle (*Myrtus communis* L.). *Molecules*, 23, 2992.

González de Peredo, A. V., Vázquez-Espinosa, M., Espada-Bellido, E., Ferreira-González, M., Amores-Arocha, A., Palma, M., ... Jiménez-Cantizano, A. (2019). Alternative ultrasound-assisted method for the extraction of the bioactive compounds present in myrtle (*Myrtus communis* L.). *Molecules*, 24, 882.

## Références bibliographiques

---

Goode HF, Webster NR. Free radicals and antioxidants in sepsis. *Crit Care Med* 1993 ; 21 : 1770-6.

Goupy P., Dufour C., Loonis M., Dangles O. (2003). A quantitative kinetic analysis of hydrogen transfer reactions from dietary polyphenols to the DPPH radical. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 51(3): 615-622.

Greenacre, S.A. & Ischiropoulos, H. (2001). Tyrosine nitration: localisation, quantification, consequences for protein function and signal transduction. *Free Radic. Res.*, 34, 541–581.

Grêté, P. (1965). Précis de botanique, Systématique des angiospermes. Tome II ; 2ème édition révisée, Faculté de Pharmacie de Paris – Masson: 429.

Grosso, G., Buscemi, S., Galvano, F., Mistretta, A., Marventano, S., La Vela, V., ... Biondi, A. (2013). Mediterranean diet and cancer: Epidemiological evidence and mechanism of selected aspects. *BMC Surgery*,13,S2–S14.

Gutteridge JM. Free radicals in disease processes: a compilation of cause and consequence. *Free Radic Res Commun*1993;19: 141-58.

### *H*

Hacıseferoğulları, H., Özcan, M.M., Arslan, D., & Ünver, A. (2012). Biochemical compositional and technological characterizations of black and white myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 82–88.

Haleng J, Pincemail J, Defraigne JO, et al.— Le stress oxydant. *Rev Med Liège*, 2007, 62, 628-638.

Halliwell, B. (1978). Biochemical mechanisms accounting for the toxic action of oxygen on living organisms: the key role of superoxide dismutase. *Cell Biol. Int. Rep.*, 2, 113–128.

Halliwell B. Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *Lancet* 1994 ; 344 : 721-4.

Halliwell, B. & Gutteridge, J.M. (1999). *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford, U.K.: Oxford University Press.

Halliwell, B. (1999b). Oxygen and nitrogen are pro-carcinogens. Damage to DNA by reactive oxygen, chlorine and nitrogen species: measurement, mechanism and the effects of nutrition. *Mutat. Res.*, 443, 37–52.

Halliwell, B. (2002b). Effect of diet on cancer development: is oxidative DNA damage a biomarker? *Free Radic. Biol. Med.*, 32, 968–974.

Halliwell, B., and Gutteridge, J. M. C. (2007). *Free Radicals in Biology and Medicine*, (3rd éd., pp. 31-98). Oxford: Oxford University Press.

Hammiche, V.; Maiza, K. Traditional medicine in Central Sahara: Pharmacopoeia of Tassili N'ajjer. *J. Ethnopharmacol.* 2006, 105, 358–367.

Hare J.— Nitroso-redox balance in the cardiovascular system. *N Engl J Med*, 2004, 351, 2112-2114.

Harman D. — Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *J Geront*, 1956, 11, 298-300. 3.

## Références bibliographiques

---

- Hayder N, Abdelwahed A, Kilani S, Ammar RB, Mahnoud A, Ghedira K. (2004) Antigenotoxic and free-radical scavenging activities of extracts from (Tunisian) *Myrtus communis*. *Mutation Research*, 564, 89-95
- Hayder, N., Bouhlel, I., Skandrani, I., Kadri, M., Steiman, R., Guiraud, P., ... Chekir-Ghedira, L. (2008). In vitro antioxidant and antigenotoxic potentials of myricetin-3-O-galactoside and myricetin-3-O-rhamnoside from *Myrtus communis*: Modulation of expression of genes involved in cell defence system using cDNA microarray. *Toxicology In Vitro*, 22, 567–581.
- Hayflick L. Theories of biological aging. *Exp Gerontol*, 1985 ; 20 : 145-59.
- Hazen, S.L. & Heinecke, J.W. (1997). 3-Chlorotyrosine, a specific marker of myeloperoxidase-catalyzed oxidation, is markedly elevated in low density lipoprotein isolated from human atherosclerotic intima. *J. Clin. Invest.* 99, 2075–2081.
- Headlam, H.A. & Davies, M.J. (2003). Cell-mediated reduction of protein and peptide hydroperoxides to reactive free radicals. *Free Radic. Biol. Med.*, 34, 44–55.
- Heleno, S.A.; Martins, A.; Queiroz, M.J.; Ferreira, I.C. Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chem.* 2015, 173, 501–513.
- Hennia, A., Brada, M., Nemmiche, S., Fauconnier, M. L., & Lognay, G. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of Algerian *Myrtus communis* L. *Journal of Essential Oil Research*, 27, 324–328.
- Hennia, A., Nemmiche, S., Dandlen, S., & Miguel, M. G. (2019). *Myrtus communis* essential oils: Insecticidal, antioxidant and antimicrobial activities: A review. *Journal of Essential Oil Research*, 31, 487–545.
- Herbert V, Shaw S, Jayatilleke E. Vitamin C-driven free radical generation from iron . *J Nutr* 1996; 126(Supp4):1213S-20S.
- Herman, W. H. (2017). Ed The global burden of diabetes: An overview. In S. Dagogo-Jack, *Diabetes mellitus in developing countries and underserved communities* (pp. 1–5). Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41559-8>
- Hertog, G. L., Hollman, P. C. H., & van de Putte, B. (1993). Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusions, wine, and fruit juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1937±1941.
- Himmelfarb, J., Mcmenamin, M.E., Loseto, G. & Heinecke, J.W. (2001). Myeloperoxidase-catalyzed 3-chlorotyrosine formation in dialysis patients. *Free Radic. Biol. Med.*, 31, 1163–1169.
- Hosseinzadeh, H., Khoshdel, M., & Ghorbani, M. (2011). Antinociceptive, anti-inflammatory effects and acute toxicity of aqueous and ethanolic extracts of *Myrtus communis* L. aerial parts in mice. *Journal of Acupuncture & Meridian Studies*, 4, 242–247.
- Hozawa A, Jacobs D, Steffes M, et al.— Relationships of circulating carotenoid concentrations with several markers of inflammation, oxidative stress, and endothelial dysfunction : the Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA)/ Young Adult Longitudinal Trends in Antioxidants (YALTA) Study. *Clin Chem*, 2007, 53, 1-9.
- Hudson BI, Wendt T, Bucciarelli LG, et al.— Diabetic vascular disease : it's all the RAGE. *Antiox Rep Signal*, 2005, 7, 1588-1600.

### I

Issa, A. Y., Volate, S. R., & Wargovich, M. J. (2006). The role of phytochemicals in inhibition of cancer and inflammation: New directions and perspectives. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 405–419.

### J

Jabri, M. A., Rtibi, K., Ben-Saida, A., Aouadhi, C., Hosnid, K., Sakly, M., & Sebai, H. (2016). Antidiarrhoeal, antimicrobial and antioxidant effects of myrtle berries (*Myrtus communis* L.) seeds extract. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 68, 264–274.

Jabri, M. A., Tounsi, H., Rtibi, K., Marzouki, L., Sakly, M., & Sebai, H. (2016). Ameliorative and antioxidant effects of myrtle berry seed (*Myrtus communis*) extract during reflux-induced esophagitis in rats. *Pharmaceutical Biology*, 54, 1575–1585.

Jabri, M. A., Rtibi, K., Tounsi, H., Hosnid, K., Marzouki, L., Sakly, M., & Sebai, H. (2017). Fatty acids composition and mechanism of protective effects of myrtle berries seeds aqueous extract against alcohol induced peptic ulcer in rat. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 95, 510–521.

Jabri, M. A., Marzouki, L., & Sebai, H. (2018a). Ethnobotanical, phytochemical and therapeutic effects of *Myrtus communis* L. berries seeds on gastrointestinal tract diseases: A review. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 124(5), 390–396.

Jabri, M. A., Marzouki, L., & Sebai, H. (2018b). Myrtle berries seeds aqueous extract abrogates chronic alcohol consumption induced erythrocytes osmotic stability disturbance, haematological and biochemical toxicity. *Lipids in Health and Disease*, 17, 94.

Jang, M.; Cai, L.; Udeani, G.O.; Slowing, K.V.; Thomas, C.F.; Beecher, C.W.; Fong, H.H.; Farnsworth, N.R.; Kinghorn, A.D.; Mehta, R.G.; et al. Cancer chemopreventive activity of resveratrol, a natural product derived from grapes. *Science* 1997, 275, 218–220.

Joseph, S. V., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2014). Berries: Anti-inflammatory effects in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 3886–3903.

Jovanovic S.V., Steenken S., Tosic M., Marjanovic B., Simic M.G. (1994). Flavonoids as antioxidants. *Journal of the American Chemistry Society*. 116: 4846-4851.

### K

Kaddem, S-E. (1990). *Les plantes médicinales en Algérie*. Paris: Le monde pharmaciens. 113 p.

Kaushik, P.; Andujar, I.; Vilanova, S.; Plazas, M.; Gramazio, P.; Herraiz, F.J.; Brar, N.S.; Prohens, J. Breeding vegetables with increased content in bioactive phenolic acids. *Molecules* 2015, 20, 18464–18481.

Kawahara, H., Kubota, A., Hasegawa, T., Phdoongsombut, N., Ratanasuwon, P., & Kasiwong, S. (2007). Effects of rikkunshito on the clinical symptoms and esophageal acid exposure in children with symptomatic gastroesophageal reflux. *Pediatric Surgery International*, 23, 1001–1005.

Khadidja, K. (2011). Contribution à l'étude phytochimique et activité antioxydante des extraits de *Myrtus communis* L. (Rayhane) de la région de Tlemcen (Honaine). Mémoire de magister, Université Aboubekr Belkaid: Tlemcen. 48 p.

## Références bibliographiques

---

Khan, R. A., Feroz, Z., Jami, M., & Ahmed, M. (2014). Hypolipidemic and antithrombotic evaluation of *Myrtus communis* L. in cholesterol-fed rabbits. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 8, 235–239.

King, A.; Young, G. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *J. Am. Diet. Assoc.* 1999, 99, 213–218.

Knight JA. The biochemistry of aging. *Adv Clin Res* 2001 ; 35 : 1-62.

Koppenol WH. The Haber-Weiss cycle, 70 years later. *Redox Rep* 2001;6:229–34.

Kordali, S., Usanmaz, A., Cakir, A., Komaki, A., & Ercisli, S. (2016). Antifungal and herbicidal effects of fruit essential oils of four *Myrtus communis* genotypes. *Chemistry & Biodiversity*, 13, 77–84.

Krinsky NI. Actions of carotenoids in biological systems. *Annu Rev Nutr* 1993;13:561–87.

Kundu, J.K.; Surh, Y.J. Cancer chemopreventive and therapeutic potential of resveratrol: Mechanistic perspectives. *Cancer Lett.* 2008, 269, 243–261.

### L

Lagouri, V., Blekas, G., Tsimidou, M., Kokkini, S., & Boskou, D. (1993). Composition and anti-oxidant activity of essential oils from oregano plants grown wild in Greece. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 197(1), 20–23.

Lagouri, V., & Boskou, D. (1995). Screening for antioxidant activity of essential oils obtained from spices. In G. Charalampous (Ed.). *Food flavors: Generation, analysis and process influence* (Vol. 1, pp. 869–874). Amsterdam: Elsevier.

Langsjoen PH, Langsjoen AM.— The clinical use of HMG CoA – reductase inhibitors and the associated depletion of coenzyme Q10 - A review of animal and human publications. *Biofactors*, 2003, 18, 101-111.

Lea, M.A. Flavonol regulation in tumor cells. *J. Cell Biochem.* 2015, 116, 1190–1194.

Le Floch E. 1983. Contribution à une étude ethnobotanique de la Flore Tunisienne. Tunisia: Imprimerie Officielle de la République Tunisienne.

Leo, C.H.; Woodman, O.L. Flavonols in the prevention of diabetes-induced vascular dysfunction. *J. Cardiovasc. Pharmacol.* 2015, 65, 532–544.

Lin C., Chen C., Liang Y., Lin J. (2002). Molecular modeling of flavonoids that inhibits xanthine oxidase. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 294: 167-172

### M

Macpherson, J.C., Comhair, S.A., Erzurum, S.C., Klein, D.F., Lipscomb, M.F., Kavuru, M.S., Samoszuk, M.K. & Hazen, S.L. (2001). Eosinophils are a major source of nitric oxide-derived oxidants in severe asthma: characterization of pathways available to eosinophils for generating reactive nitrogen species. *J. Immunol.*, 166, 5763–5772.

Magder S. — Reactive oxygen species: toxic molecules or spark of life? *Crit Care*, 2006, 10, 208-216.

Mahattanadul, S., Ridditid, W., Nima, S., Phdoongsombut, N., Ratanasuwon, P . , & Kasiwong ,S.(2011).Effects of *Morinda citrifolia* aqueous fruit extract and its biomarker

## Références bibliographiques

---

- scopoletin on reflux esophagitis and gastric ulcer in rats. *Journal of Ethnopharmacology* , 134,243–250.
- Mahmoudvand, H., Ezzatkah, F., Shariffar, F., Sharifi, I., & Dezaki, E. S. (2015). Antileishmanial and cytotoxic effects of essential oil and methanolic extract of *Myrtus communis* L. *Korean Journal of Parasitology*, 53,21–27.
- Maldini, M., Chessa, M., Petretto, G. L., Montoro, P., Rourke, J. P., Foddai, M., ... Pintore, G. (2016). Profiling and simultaneous quantitative determination of anthocyanins in wild *Myrtus communis* L. berries from different geographical areas in Sardinia and their comparative evaluation. *Phytochemical Analysis*, 27,249–256.
- Malekutei, J., Mirghafourvand, M., Samadi, K., Abbasalizadeh, F., & Khodaei, L. (2019). Comparison of the effect of *Myrtus communis* herbal and antihemorrhoid ointments on the hemorrhoid symptoms and quality of life in postpartum women with grade I and II internal hemorrhoid: A triple blinded randomized controlled clinical trial. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 16, 20180147. <https://doi.org/10.1515/jcim-20180147>.
- Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Remesy, C.; Jimenez, L. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 2004, 79, 727–747.
- Mansour, A.; Celano, R.; Mencherini, T.; Picerno, P.; Piccinelli, A. L.; Foudil-Cherif, Y.; Csupor, D.; Rahili, G.; Yah, N.; Nabavi, S. M.; et al. A new cineol derivative, polyphenols and norterpeneoids from Saharan myrtle tea (*Myrtus nivellei*): Isolation, structure determination, quantitative determination and antioxidant activity. *Fitoterapia* 2017, 119, 32–39.
- Mansouri, S., Foroumadi, A., Ghaneie, T., & Najar, A. G. (2001). Antibacterial activity of the crude extracts and fractionated constituents of *Myrtus communis* . *Pharmaceutical Biology* , 39, 399–401.
- Marchini G, Maccioni S. 1998. Liguria in parole povere. La bassa Val di Magra. Genova: Sagep.
- Marfakt, A., 2003. Radiolyse gamma des flavonoides. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : Formation des depsides. CEA DES Saclay
- Marzocchella, L.; Fantini, M.; Benvenuto, M.; Masuelli, L.; Tresoldi, I.; Modesti, A.; Bei, R. Dietary flavonoids: Molecular mechanisms of action as anti-inflammatory agents. *Recent Pat. Inflamm. Allergy Drug Discov.* 2011, 5, 200–220.
- McCord JM, Fridovich I. — Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte hemocuprein (hemocuprein). *J Biol Chem*, 1969, 244, 6049–6055.
- Melito, S.; la Bella, S.; Martinelli, F.; Cammalleri, I.; Tuttolemondo, T.; Leto, C.; Fadda, A.; Molinu, M. G.; Mulas, M. Morphological, chemical, and genetic diversity of wild myrtle (*Myrtus communis* L.) populations in Sicily. *Turk. J. Agric. For.* 2016, 40, 249–261.
- Messaoud, C., & Boussaid, M. (2011). *Myrtus communis* berry color morphs: A comparative analysis of essential oils, fatty acids, phenolic compounds, and antioxidant activities. *Chemistry & Biodiversity*, 8, 300–310.
- M. G. Dias, B. Olmedilla-Alonso, D. Hornero-Méndez, A. Z. Mercadante, C. Osorio, L. VargasMurga, A. J. Meléndez-Martínez, Tabla de contenido en carotenoides de alimentos

## Références bibliographiques

---

iberoamericanos, in: A.J. Meléndez-Martínez (Ed.), *Carotenoides en Agroalimentación y Salud*, Terracota, , pp.. Ciudad de México, México, 2017, pp. 354-429.

Migliore, J. (2011). Empreintes des changements environnementaux sur la phylogéographie du genre *Myrtus* en méditerranée et au sahara. Thèse de doctorat, Université paul cézanne d'Aix-Marseille III. Pp.66-117.

Migliore, J.; Baumel, A.; Juin, M.; Médail, F. From Mediterranean shores to central Saharan mountains: Key phylogeographical insights from the genus *Myrtus*. *J. Biogeogr.* 2012, 39, 942–956.

Miller, K. D., Nogueira, L., Mariotto, A. B., Rowland, J. H., Yabroff, K. R., Alfano, C. M., ... Siegel, R. L. (2019). Cancer treatment and survivorship statistics . *CA : A Cancer Journal for Clinicians*,69,363–385.

Mimica-Dukić, N., Bugarin, D., Grbović, S., Mitić-Culafić, D., Vuković-Gaćić, B., Orcić, D., ... Couladis, M. (2010). Essential oil of *Myrtus communis* L. as a potential antioxidant and antimutagenic agents. *Molecules*, 15, 2759–2770.

Mocanu, M.M.; Nagy, P.; Szollosi, J. Chemoprevention of breast cancer by dietary polyphenols. *Molecules* 2015, 20, 22578–22620.

Montoro, P., Tuberoso, C. I. G., Perrone, A., Piacente, S., Cabras, P., & Pizza, C. (2006). Characterisation by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry of anthocyanins in extracts of *Myrtus communis* L. berries used for the preparation of myrtle liqueur. *Journal of Chromatography A*, 1112, 232–240.

Montoro, P.; Tuberoso, C.L.; Piacente, S.; Perrone, A. Stability and antioxidant activity of polyphenols in extracts of *Myrtus communis* L. berries used for the preparation of myrtle liqueur. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2006, 41, 1614–1619.

### N

Nagao A., Seki M., Kobayashi H. (1999). Inhibition of xanthine oxidase by flavonoids. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 63(10), 1787-1790.

Nakajima K., Nakano T., Tanaka A.— The oxidative modification hypothesis of atherosclerosis : The comparison of atherogenic effects on oxidized LDL and remnant lipoproteins in plasma. *Clin Chim Acta*, 2006, 367, 36-47.

Naskalski JW and Bartosz G. Oxidative modifications of protein structures. *Adv Clin Chem* 2000 ; 35 : 161-253.

Novelli GP. Role of free radicals in septic shock. *J Physiol Pharmacol* 1997 ; 48 : 517-27.

### O

Oldham KM, Bowen PE. Oxidative stress in critical care: is antioxidant supplementation beneficial? *J Am Diet Assoc* 1998; 98 : 1001-8.

Olfert, M. D., & Wattick, R. A. (2018). Vegetarian diets and the risk of diabetes . *Current Diabetes Reports*, 18, 101.

Ormancey, X., Sisalli, S., Coutier, P., 2001. Formulation of essential oils in functional perfumery. *Parfums, Cosmetiques, Actualites* 157, 30-40.

## Références bibliographiques

---

Owlia, P., Saderi, H., Rasooli, I., & Sefidkon, F. (2009). Antimicrobial characteristics of some herbal oils on *Pseudomonas aeruginosa* with special reference to their chemical compositions. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 8, 107–114.

Özcan, M. M., Al Juhaimi, F., Ahmed, I. A. M., Babiker, E. E., & Ghaffor, K. (2020). Antioxidant activity, fatty acid composition, phenolic compounds and mineral contents of stem, leaf and fruits of two morphs of wild myrtle plants. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1376–1382.

### P

Palmer, H. J., & Paulson, K. E. (1997). Reactive oxygen species and antioxidants in signal transduction and gene expression. *Nutrition Reviews*, 55(10), 353–361.

Pan, P., Zhu, Z., Oshima, K., Aldakkak, M., Tsai, S., Huang, Y. W., ... Wang, L. S. (2020). Black raspberries suppress pancreatic cancer through modulation of NKp46+, CD8+, and CD11b+ immune cells. *Food Frontiers*, 1, 70–82.

Papandreou, C., Becerra-Tomás, N., Bulló, M., Martínez-González, M. A., Corella, D., Estruch, R., ... Salas-Salvadó, J. (2019). Legume consumption and risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality in the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 38, 348–356.

Parker RS, Swanson JE, You CS, Edwards AJ, Huang T. Bioavailability of carotenoids in human subjects. *Proc Nutr Soc* 1999;58:155–62.

Pereira, P. C., Cebola, M. J., & Bernardo-Gil, M. G. (2009). Evolution of the yields and composition of essential oil from Portuguese myrtle (*Myrtus communis* L.) through the vegetative cycle. *Molecules*, 14, 3094–3105.

Pereira, P., Cebola, M. J., Oliveira, M. C., & Gil, M. G. B. (2016). Supercritical fluid extraction vs conventional extraction of myrtle leaves and berries: Comparison of antioxidant activity and identification of bioactive compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 113, 1–9.

Pereira, P., Cebola, M. J., Oliveira, M. C., & Gil, M. G. B. (2017). Antioxidant capacity and identification of bioactive compounds of *Myrtus communis* L. extract obtained by ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 4362–4369.

Petretto, G. L., Maldini, M., Addis, R., Chessa, M., Foddai, M., Rourke, J. P., & Pintore, G. (2016). Variability of chemical composition and antioxidant activity of essential oils between *Myrtus communis* var. *Leucocarpa* DC and var. *Melanocarpa* DC. *Food Chemistry*, 197, 124–131.

Phillip, D.; Hobe, S.; Paulsen, H.; Molnar, P.; Hashimoto, H.; Young, A.J. The Binding of Xanthophylls to the Bulk Light-harvesting Complex of Photosystem II of Higher Plants. A specific requirement for carotenoids with a 3-hydroxy- $\beta$ -end group. *J. Biol. Chem.* 2002, 28, 25160–25169.

Pietta P.G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Production*. 63: 1035- 1042

Pincemail J, Degrune F, Voussure S, et al.— Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs. *Nutrition Clin Metab*, 2007, 21, 66-75. .

Prabuseenivasan, S., Jayakumar, M., Ignacimuthu, S., 2006. In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC complement. Altern. Med.* 6, 39.

### Q

Quézel P. et Santa S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Ed CNRS, Paris, France, p. 636.

### R

Rabovsky A, Cuomo J, Eich N.— Measurement of plasma antioxidant reserve after supplementation with various antioxidants in healthy subjects. *Clin Chim Acta*, 2006, 371, 55-60.

Rahimmalek, M., Mirzakhani, M., & Pirbalouti, A.G. (2013). Essential oil variation among 21 wild myrtle (*Myrtus communis* L.) populations collected from different geographical regions in Iran. *Industrial Crops and Products*, 51, 328–333.

Rameau, J. C., Mansion, D., Dume, G. & Gauberville, C. (2008). Flore forestière française. Guide écologique illustré. Région méditerranéenne (Vol. 3) Paris: Institut pour le développement forestier. 771 p.

Ravishankar, D.; Rajora, A.K.; Greco, F.; Osborn, H.M. Flavonoids as prospective compounds for anti-cancer therapy. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 2013, 45, 2821–2831.

Reeder, S. K., & Park, G. L. (1975). A specific method for the determination of provitamin A carotenoids in orange juice. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 58, 595±598.

Rice-Evans, C., Miller, N.J., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2, 152–159.

Riviere, C.; Pawlus, A.D.; Merillon, J.M. Natural stilbenoids: Distribution in the plant kingdom and chemotaxonomic interest in vitaceae. *Nat. Prod. Rep.* 2012, 29, 1317–1333.

Romani A, Pinelli P, Mulinacci N, Vincieri FF, Tattini M. (1999) Identification and quantification of polyphenols in leaves of *Myrtus communis*. *Chromatographia*, 49, 17-20.

Romani, A., Coinu, R., Carta, S., Pinelli, P., Galardi, C., Vincieri, F. F., & Franconi, F. (2004). Evaluation of antioxidant effect of different extracts of *Myrtus communis* L. *Free Radical Research*, 38, 97–103.

Rosa, A., Atzeri, A., Deiana, M., Scano, P., Incani, A., Piras, C., & Marincola, F. C. (2015). Comparative antioxidant activity and 1H NMR profiling of Mediterranean fruit products. *Food Research International*, 69, 322–330.

### S

Saad A, Virella G, Chassereau Ch, et al.— OxLDL immune complexes activate complement and induce cytokine production by MonoMac 6 cells and human macrophages. *J Lipid Res*, 2006, 47, 1975-1983.

Sabiha S, Aftab MA, Asif M, Mohd A (2011) *Myrtus communis* Linn.: A review. *IJNPR* 2:395–402.

Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M., et al. (2005). Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry*, 91, 621–632.

## Références bibliographiques

---

- Sahki, A.; Boutamine Sahki, R. Le Hoggar: Promenade botanique; Editions Esope: Lyon, France, 2004.
- San, B., Yildirim, A. N., Polat, M., & Yildirim, F. (2015). Chemical compositions of myrtle (*Myrtus communis* L.) genotypes having bluish-black and yellowish-white fruits. *Erwerbs-Obstbau*, 57, 203–210.
- Sandri, G., Zakaria, J., Fracaro, F., Delamare, A.P.L., Echeverrigaray, S., 2007. Antimicrobial activity of the essential oils of Brazilian species of the genus *Cunila* against food born pathogens and spoiling bacteria. *Food Chem.* 103, 823-828.
- Sanna, D., Mulas, M., Molinu, M. G., & Fadda, A. (2019). Oxidative stability of plant hydroalcoholic extracts assessed by EPR spin trapping under forced ageing conditions: A myrtle case study. *Food Chemistry*, 271, 753– 761.
- Sarais, G., D'Urso, G., Lai, C., Pirisi, F.M., Pizza, C., & Montoro, P. (2016). Targeted and untargeted mass spectrometric approaches in discrimination between *Myrtus communis* cultivars from Sardinia region. *Journal of Mass Spectrometry*, 51, 704–715.
- Sawamura, M., 2000. Aroma and functional properties of Japanese yuzu (*Citrus junos* Tanaka) essential oil. *Aroma Res.* 1, 14-19.
- Schieber, M., & Chandel, N. S. (2014). ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current Biology*, 24, R453–R462.
- Schulz, J. B., Lindenau, J., Seyfried, J., & Dichganz, J. (2000). Glutathione, oxidative stress and neurodegeneration. *European Journal of Biochemistry*, 267(16), 4904–4911.
- Scorrano, S., Lazzoi, M. R., Mergola, L., Di Bello, M. P., Del Sole, R., & Vasapollo, G. (2017). Anthocyanins profile by Q-TOF LC/MS in *Myrtus communis* berries from Salento Area. *Food Analytical Methods*, 10, 2404– 2411.
- Sepici A, Gurbuz I, Cevik C, Yesilada E. (2004) Hypoglycaemic effects of myrtle oil in normal and alloxan-diabetic rabbits. *Journal of Ethnopharmacology*, 93, 311-318
- Serce, S., Ercisli, S., Sengul, M., Gunduz, K., & Orhan, E. (2010). Antioxidant activities and fatty acid composition of wild grown myrtle (*Myrtus communis* L.) fruits. *Pharmacognosy Magazine*, 6, 9–12.
- Shen, T.; Wang, X.N.; Lou, H.X. Natural stilbenes: An overview. *Nat. Prod. Rep.* 2009, 26, 916–935.
- Sieniawska, E., Maciejewska-Turska, M., Świątek, L., & Xiao, J. (2020). Plant-based food products for antimycobacterial therapy. *eFood*, 1, 199–216.
- Singer, A.C., Crowley, D., Thompson, I.P., 2003. Secondary plant metabolites in phytoremediation and biotransformation. *Trends Biotechnol.* 21, 123-130.
- Singh, P., Singh, N., Sengupta, S., & Palit, G. (2012). Ameliorative effects of *Panax quinquefolium* on experimentally induced reflux oesophagitis in rats. *The Indian Journal of Medical Research*, 135, 407–413.
- Siracusa, L., Napoli, E., Tuttolomondo, T., Licata, M., La Bella, S., Gennaro, M. C., ... Ruberto, G. (2019). A two-year bio-agronomic and chemotaxonomic evaluation of wild Sicilian myrtle (*Myrtus communis* L.) berries and leaves. *Chemistry & Biodiversity*, 16, e1800575.

## Références bibliographiques

---

Sirerol, J.A.; Rodriguez, M.L.; Mena, S.; Asensi, M.A.; Estrela, J.M.; Ortega, A.L. Role of natural stilbenes in the prevention of cancer. *Oxid. Med. Cell Longev.* 2016, 2016, 3128951.

Snoussi, A., Hayet, B.H.K., Essaidi, I., Zgoulli, S., Moncef, C.M., Thonart, P., & Bouzouita, N. (2012). Improvement of the composition of Tunisian myrtle berries (*Myrtus communis* L.) alcohol extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 608–614.

Sofowora, A. —1993— *Medicinal plants and traditional medicine in Africa*, 2 — Spectrum Books Limited, Ibadan, Nigeria, 289.

Soltis, D., Smith, S. A., Cellinese, N., Wirdack, K. J., Tank, D. C., Brockington, S. F., et al. (2011). Angiosperm phylogeny: 17 genes, 640 taxa. *American Journal of Botany*, 98, 704–730.

Sroka, Z., & Cisowski, W. (2003). Hydrogen peroxide scavenging, antioxidant and anti-radical activity of some phenolic acids. *Food and Chemical Toxicology*, 41, 753–758.

Stahl W, Schwarz W, Sundquist AR, Sies H. Cis-trans isomers of lycopene and beta-carotene in human serum and tissues. *Arch Biochem Biophys* 1992;294:173–7.

Stahl W, Sies H. Lycopene: a biologically important carotenoid for humans? *Arch Biochem Biophys* 1996;336:1–9.

Sumbul, S., Ahmad, M. A., Asif, M., Saud, I., & Akhtar, M. (2010). Evaluation of *Myrtus communis* Linn. berries (common myrtle) in experimental ulcer models in rats. *Human & Experimental Toxicology*, 29, 935–944.

Sumbul, S., Ahmad, M. A., Asif, M., & Akhtar, M. (2011). *Myrtus communis* Linn: A review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2, 395–402.

Sumbul, S.; Ahmad, M.A.; Asif, M.; Akhtar, M.; Saud, I. Physicochemical and phytochemical standardization of berries of *Myrtus communis* Linn. *J. Pharm. Bioall. Sci.* 2012, 4, 322–326.

Sun, C., Zhao, C., Capanoglu Guven, E., Paoli, P., Simal-Gandara, J., Ramkumar, K.M., ... Xiao, J. (2020). Dietary polyphenols as antidiabetic agents: Advances and opportunities. *Food Frontiers*, 1, 18–44.

## T

Tabuti, J.R.S., Lye, K.A. & Dhillon, S.S. —2003— *Traditional herbal drugs of Bulamogi, Uganda: plants, use and administration* — *J. Ethnopharmacol.* 88: 19-44.

Tapiero H, Townsend DM, Tew KD. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomed Pharmacother* 2004;58:100–10.

Touaibia, M.; Chaouch, F.Z. Propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de *Myrtus nivellei* Batt et Trab. obtenus in situ et in vitro. *Phytothér.* 2017, 15, 16–22.

Traboulsi AF, Taoubi K, el-Haj S, Bessiere JM, Rammal S (2002) Insecticidal properties of essential plant oils against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae). *Pest Manag Sci* 58(5):491–495.

Tretiakova, I., Blaesius, D., Maxia, L., Wesselborg, S., Schulze-Osthoff, K., Cinatl, J., Jr., ... Werz, O. (2008). Myrtucommulone from *Myrtus communis* induces apoptosis in cancer cells via the mitochondrial pathway involving caspase-9. *Apoptosis*, 13, 119–131.

## Références bibliographiques

---

Tsimidou, M., & Boskou, D. (1994). Antioxidant activity of essential oils from the plants of the Lamiaceae family. In G. Charalampous (Ed.), *Spices, herbs and edible fungi* (pp. 273–284). Amsterdam: Elsevier.

Tuberoso, C. I. G., Melis, M. P., Angioni, A., Pala, M., & Cabras, P. (2007). Myrtle hydroalcoholic extracts obtained from different selections of *Myrtus communis* L. *Food Chemistry*, 101, 806–811.

Tuberoso, C. I. G., Rosa, A., Bifulco, E., Melis, M. P., Atzeri, A., Pirisi, F. M., & Dessì, M. A. (2010). Chemical composition and antioxidant activities of *Myrtus communis* L. berries extracts. *Food Chemistry*, 123, 1242–1251.

Tumen, I., Senol, F. S., & Orhan, I. E. (2012). Inhibitory potential of the leaves and berries of *Myrtus communis* L. (myrtle) against enzymes linked to neurodegenerative diseases and their antioxidant actions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63, 387–392.

Twaij HAA, Elisha EE, Khalid RM. (1989) Analgesic studies on some Iraqi medicinal plants. *International Journal of Crude Drug Research*, 27, 109-112.

### U

Usai, M., Marchetti, M., Culeddu, N., & Mulas, M. (2018). Chemical composition of myrtle (*Myrtus communis* L.) berries essential oils as observed in a collection of genotypes. *Molecules*, 23, 2502.

### V

Van Acker, S. A., van den Berg, D. J., Tromp, M. N. J. L., Griffaen, D. H., van Bennekom, W. P., van Vlijgh, W. J. F., et al. (1996). Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(3), 331–342.

van het Hof KH, West CE, Weststrate JA, Hautvast JG. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *J Nutr* 2000;130:503–6.

Varoni, E.M.; Lodi, G.; Sardella, A.; Carrassi, A.; Iriti, M. Plant polyphenols and oral health: Old phytochemicals for new fields. *Curr. Med. Chem.* 2012, 19, 1706–1720.

Vasconcelos, T.N.C.; Proença, C.E.B.; Ahmad, B.; Aguilar, D.S.; Aguilar, R.; Amorim, B.S.; Campbell, K.; Costa, I.R.; de Carvalho, P.S.; Faria, J.E.Q.; et al. Myrteae phylogeny, calibration, biogeography and diversification patterns: Increased understanding in the most species rich tribe of Myrtaceae. *Mol. Phylogenet. Evol.* 2017, 109, 113–137.

Venugopal R, Liu RH (2012) Phytochemicals in diets for breast cancer prevention: The importance of resveratrol and ursolic acid. *Food Sci Hum Wellness* 1: 1-13.

Viuda-Martos, M., Sendra, E., Pérez-Alvarez, J. A., Fernández-López, J., Amensour, M., & Abrini, J. (2011). Identification of flavonoid content and chemical composition of the essential oils of Moroccan herbs: Myrtle (*Myrtus communis* L.), Rockrose (*Cistus ladanifer* L.) and Montpellier cistus (*Cistus monspeliensis* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 23, 1–9.

### W

Wahid, N., Perspectives de la valorisation de l'usage et de la culture de *Myrtus Communis* L. au Maroc. 2013.

## Références bibliographiques

---

Wallace, T.C.; Giusti, M.M. Anthocyanins. *Adv. Nutr.* 2015, 6, 620–622. Williams, C. (1995). Healthy eating: clarifying advice about fruit and vegetables. *British Medical Journal*, 310, 1453–1455.

Wang, L.S.; Stoner, G.D. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Lett.* 2008, 269, 281–290.

Wannes WA, Mhamdi B, Sriti J, Jemia MB, Ouchikh O, Hamdaoui G, Kchouk ME, Marzouk B. 2010. Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (*Myrtus communis* var. *italica* L.) leaf stem and flower. *Food Chem Toxicol* 48:1362–70.

Wautier MP, Massin P, Guillausseau PJ, et al.— N(carboxymethyl) lysine as a biomarker for microvascular complications in type 2 diabetic patients. *Diabetes Metab*, 2003, 29, 44–52.

Winterbourn, C.C. & Kettle, A.J. (2000). Biomarkers of myeloperoxidase-derived hypochlorous acid. *Free Radic. Biol. Med.*, 29, 403–409.

Wiseman, H. & Halliwell, B. (1996). Damage to DNA by reactive oxygen and nitrogen species: role in inflammatory disease and progression to cancer. *Biochem. J.*, 313, 17–29.

Wu, W., Chen, Y., D'avignon, A. & Hazen, S.L. (1999). 3Bromotyrosine and 3,5-dibromotyrosine are major products of protein oxidation by eosinophil peroxidase: potential markers for eosinophil-dependent tissue injury in vivo. *Biochemistry*, 38, 3538–3548.

Wu, W., Samoszuk, M.K., Comhair, S.A., Thomassen, M.J., Farver, C.F., Dweik, R.A., Kavuru, M.S., Erzurum, S.C. & Hazen, S.L. (2000). Eosinophils generate brominating oxidants in allergen-induced asthma. *J. Clin. Invest.*, 105, 1455–1463.

### X

Xiao, J.; Cao, H.; Wang, Y.; Zhao, J.; Wei, X. Glycosylation of dietary flavonoids decreases the affinities for plasma protein. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 6642–6648.

### Y

Yabuzaki, J. Carotenoids Database: structures, chemical fingerprints and distribution among organisms, Database (Oxford) 2017 (2017).

Yadegarinia, D., Gachkar, L., Rezaei, M. B., Taghizadeh, M., Astaneh, S. A., & Rasooli, I. (2006). Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. essential oils. *Phytochemistry*, 67, 1249–1255.

Yildirim, F., San, B., Yildirim, A.N., Polat, M., & Erci, S. (2015). Mineral composition of leaves and fruit in some myrtle (*Myrtus communis* L.) genotypes. *Erwerbs-Obstbau*, 57, 149–152.

### Z

Zanetti, S., Cannas, S., Molicotti, P., Bua, A., Cubeddu, M., Porcedda, S., & Sechi, L. A. (2010). Evaluation of the antimicrobial properties of the essential oil of *Myrtus communis* L. against clinical strains of *Mycobacterium* spp. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2010, 931530.

Ziyyat A, Legssyer A, Mekhfi H, Dassouli A, Serhrouchni M, Benjelloun W . 1997 . Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco. *J Ethnopharmacol* 58:45–54.

## *Références bibliographiques*

---

Zohalinezhad, M. E., Hosseini-Asl, M. K., Akrami, R., Nimrouzi, M., Salehi, A., & Zarshenas, M.M. (2016). Myrtus communis L. freeze-dried aqueous extract versus omeprazole in gastrointestinal reflux disease: A double blind randomized controlled clinical trial. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 21, 23–29.

### **Résumé :**

Le stress oxydatif correspond à une agression des cellules par des radicaux libres. Les radicaux libres sont produits en permanence par l'organisme, à partir d'oxygène dans la cellule, au niveau de la mitochondrie. Ce sont des substances réactives et très toxiques. L'alimentation peut influencer l'action des radicaux libres sur l'organisme. Les propriétés préventifs des fruits et légumes sont dues principalement à la présence des composés phénoliques qui leur attribuent leur pouvoir antioxydant. *Myrtus communis L.* (Myrtaceae) est une plante typique des côtes de la région méditerranéenne, qui pousse spontanément comme un arbuste. Les baies, les feuilles, les graines et les huiles essentielles de myrte sont des sources naturelles de plusieurs nutriments et composés bioactifs ayant des effets bénéfiques sur la santé. En médecine traditionnelle, le myrte a été utilisé pour traiter plusieurs maladies courantes, notamment gastro-intestinales, urinaires et les maladies cutanées. Actuellement, il est largement utilisé dans les industries alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. Cette étude vise à décrire le myrte, son utilisation en médecine traditionnelle, la composition biochimique des différentes parties de la plante ainsi que les différentes propriétés biologiques attribuées à cette plante.

**Mots clés :** *Myrtus communis*, stress oxydatif, radicaux libres, composés phénoliques, antioxyant, propriété biologique.

### **Abstract:**

Oxidative stress corresponds to an attack on cells by free radicals which are produced all the time by the body, from the oxygen in the cell which is situated in the mitochondria. Free radicals are reactive and very toxic substances. Food can influence the free radicals' action on the body. The preventive properties of fruits and vegetables are mainly due to the presence of phenolic compounds which give them their antioxidant power. *Myrtus communis L.* (Myrtaceae) is a plant typical for the Mediterranean coasts, which grows spontaneously as a shrub. The berries, leaves, seeds and essential oils of myrtle are natural sources of several nutrients and bioactive compounds with beneficial effects on health. In traditional medicine, myrtle has been used to treat several common illnesses, including gastrointestinal, urinary, and skin diseases. Currently, it is widely used in food, cosmetic and pharmaceutical industries. This study aims to describe myrtle, its use in traditional medicine, the biochemical composition of the different parts of the plant as well as the different biological properties attributed to it.

**Keywords:** *Myrtus communis* Oxidative stress, free radicals, phenolic compounds, antioxidant, biological property.