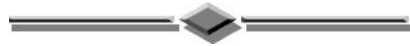




**U**niversité **A**bderrahmane **M**ira de **B**ejaia  
**F**aculté des **S**ciences de la **N**ature et de la **V**ie  
**D**épartement des **S**ciences **A**limentaires



## *Mémoire de fin de cycle*

*En Vue de l'Obtention du diplôme*

*D'Ingénieur d'Etat en Contrôle de Qualité et Analyses*

## *Thème*

**Activité antioxydante des graines de  
quelques variétés de figue de barbarie  
(*Opuntia ficus-indica* L.) de la région de  
Béjaia**

*Présenté par:*

*Melle BOUDJELLABA Siham  
Melle YASSA Assia*

*Devant le jury :*

*Président : M<sup>me</sup> LEHOUCHE R.  
Promotrice : M<sup>me</sup> CHOUGUI N.  
Examineur 1: M<sup>lle</sup> MINDJOU S.  
Examineur 2: M<sup>me</sup> ADRAR S.*



# REMERCIEMENTS

☞ *Au terme de notre travail nous remercions **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience de le réaliser.*

☞ *Nous tenons tous particulièrement à adresser nos remerciements les plus vifs d'abord à notre promotrice M<sup>me</sup> CHOUGUI N., qui nous a fait l'honneur de nous inspirer ce sujet et nous guider tout au long de son élaboration, nous lui sommes très reconnaissantes, pour ses conseils, sa disponibilité, et surtout sa patience.*

☞ *Nos sincères considérations et remerciements sont également exprimés aux membres du jury : M<sup>me</sup> LEHOUCHE R., qui nous fait honneur par sa présence en qualité de présidente du jury ainsi que M<sup>lle</sup> MINDJOU S. et M<sup>me</sup> ADRAR S., qui ont accepté d'examiner ce travail et consacré de leur temps pour son évaluation.*

☞ *Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



figue  
de barbarie

# DÉDICACES

*En signe de respect et de reconnaissance*

*Je dédie ce modeste travail :*

*✎ A celle qui est mon exemple de la réussite, que j'ai tant aimée et respectée, qui m'a donné de l'amour ; de la tendresse et de la force, ma très chère mère ; que Dieu te protège et te prête une longue et heureuse vie.*

*✎ A la mémoire de ceux qui me sont très chers au monde ; mon père et mes très chers frères que j'aimerai à tout jamais pour leur amour, et leur  
Tendresse.*

*✎ A ma chère sœurs et pour son soutien, sa patience et surtout pour son amour, qui m'a toujours encouragés et souhaités la réussite*

*✎ A mon marie Ahmed et sa famille.*

*✎ A mes cousins et cousines et à toute ma famille sans exception.*

*✎ A tous mes amis (es) pour leur soutien, leur aide et leur présence et qui sont nombreux.*

*✎ A ma très chère collègue Assia, ainsi que sa famille, A mes camarades de promotion 2011-2012 .*

*✎ Une mention particulière va à mon oncle « idole » Haje sadeke . Je veux lui témoigner toute gratitude et ma reconnaissance pour son soutien constant, ses conseils et ses marques d'encouragements pour lesquels il a été bien plus qu'un oncle.*

*✎ SIHAM ✎*

# *DÉDICACES*

*Je saisis cette occasion qui m'est offerte aujourd'hui pour dédier ce travail d'abord à la mémoire de mon oncle Hocine dit Tarzan ravi à la fine fleur de l'âge, qui a consacré sa vie à l'éducation et la formation des enfants.*

*Ce travail je le dédie aussi à mes parents, qui, sans leurs sacrifices, cette occasion de dédier un travail aujourd'hui ne me serait pas offerte.*

*Ce travail je le dédie aussi à :*

*Ma sœur Lyna et mon frère Azzedine;*

*Mes grands parents ;*

*Mes oncles et mes tantes en particulier Tata Kouka ;*

*Mes cousins et mes cousines ;*

*Mes professeurs et enseignants de tout mon cursus d'étude ;*

*Ma camarade Siham ainsi que sa famille ;*

*Mahmoud et Yasmine ;*

*Les membres du club scientifique CSSA ;*

*Mes camarades de promotion.*

*Je clos cette dédienne avec une pensée particulière à mes amis pour leur soutien et accompagnement.*

ASSIA

## *Sommaire*

<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>iii</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b><u>Synthèse bibliographique</u></b>	
<b>Chapitre I : Généralités</b>	
<b>1. Figuier de barbarie.....</b>	<b>2</b>
1.1. Origine et distribution .....	2
1.2. Classification .....	2
1.3. Espèces et variétés de figuier de Barbarie .....	3
1.4. Description de la plante.....	3
1.5. Composition de la figue de barbarie .....	5
1.6. Intérêts .....	6
<b>2. Graine de la figue de barbarie.....</b>	<b>7</b>
2.1. Description morphologique .....	7
2.2. Composition chimique de la graine.....	8
2.3. Intérêts de la graine .....	11
<b>Chapitre II : Système antioxydant</b>	
<b>1. Antioxydants.....</b>	<b>13</b>
1.1. Composés phénoliques .....	13
1.1.1. Flavonoïdes .....	14
1.1.2. Tannins .....	15
1.2. Caroténoïdes .....	16
1.3. Vitamine E.....	17
<b>2. Propriétés biologiques des antioxydants.....</b>	<b>18</b>

## Partie Expérimentale

### **Chapitre I : Matériel et méthodes**

<b>1. Préparation du matériel végétal.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Analyses .....</b>	<b>20</b>
2.1. Test d'humidité.....	20
2.2. Extraction et dosage des composés phénoliques.....	21
2.2.1. Dosages des composés phénoliques totaux.....	22
2.2.2. Dosage des flavonoïdes.....	22
2.2.3. Dosage des tannins.....	23
<b>3. Etude des activités antioxydante et antiradicalaire.....</b>	<b>23</b>
3.1. Pouvoir réducteur.....	23
3.2. Activité antiradicalaire sur le DPPH*.....	24
<b>4. Analyse statistique .....</b>	<b>25</b>

### **Chapitre II : Discussion des résultats**

<b>1. Humidité .....</b>	<b>26</b>
<b>2. Dosage des antioxydants.....</b>	<b>26</b>
2.1. Les composés phénoliques totaux.....	27
2.2. Les flavonoïdes .....	28
2.3. Les tannins .....	28
<b>3. Les activités antioxydantes et antiradicalires .....</b>	<b>29</b>
3.1. Pouvoir réducteur.....	29
3.2. Activité antiradicalaire sur le DPPH.....	30

<b>Conclusion .....</b>	<b>34</b>
-------------------------	-----------

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## *Liste des abréviations*

<b>Abs:</b>	Absorbance.
<b>ANOVA:</b>	Analysis Of Variance.
<b>Ara :</b>	Arabinose
<b>DPPH :</b>	Radical 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl.
<b>CPT:</b>	Composé phénoliques totaux
<b>EAA :</b>	Equivalent en acide ascorbique.
<b>EAG:</b>	Equivalent en Acide Gallique.
<b>EC :</b>	Equivalent en cyanidine
<b>ECA :</b>	Equivalent en catéchine
<b>EQ :</b>	Equivalent en quercétine.
<b>ERU :</b>	Equivalent en rutine
<b>ERO :</b>	Espèces réactives de l'oxygène.
<b>FAO :</b>	Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation de l'agriculture).
<b>Gal :</b>	Galactose
<b>Glu :</b>	Glucose
<b>HCl :</b>	Acide chlorhydrique
<b>LDL :</b>	Low density lipoprotein.
<b>Man :</b>	Mannose
<b>MS :</b>	Matière sèche.
<b>OMS :</b>	Organisation Mondiale de la Santé.
<b>Rha :</b>	Rhamnose
<b>Xyl :</b>	Xylose

### *Liste des figures*

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes, fleure, fruits et graines.	04
<b>Figure 2</b>	Photographie d'une coupe transversale de la graine de la figue de barbarie	07
<b>Figure 3</b>	Structure de base des flavonoïdes	14
<b>Figure 4</b>	Structures des acides gallique et éllagique	15
<b>Figure 5</b>	Structure chimique de tannin condensé	16
<b>Figure 6</b>	Structure du $\beta$ -carotène	17
<b>Figure 7</b>	Protocole d'extraction des composés phénoliques	21
<b>Figure 8</b>	Structure chimique du radical DPPH• (2-2 diphenyl 1-picryl hydrazyl)	24
<b>Figure 9</b>	Pouvoir réducteur des extraits de graines des trois variétés de figue de barbarie.	29
<b>Figure 10</b>	Pourcentage d'inhibition du DPPH des extraits des graines des trois variétés de figue de barbarie.	31



### *Liste des tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I</b>	Composition de la figue de barbarie	05
<b>Tableau II</b>	Composition chimique des graines de la figue de barbarie	08
<b>Tableau III</b>	Composition en sucres des graines de la figue de barbarie	09
<b>Tableau IV</b>	Composition en minéraux de la graine de la figue de barbarie	09
<b>Tableau V</b>	Composition en fibres de la graine de la figue de barbarie (%)	10
<b>Tableau VI</b>	Composition en vitamines de la graine de la figue de barbarie	11
<b>Tableau VII</b>	Teneurs en composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tanins des graines des trois variétés de figues de barbarie.	27
<b>Tableau VIII</b>	Pouvoir réducteur (EC <sub>50</sub> et EA) des extraits des graines des trois variétés de figue de barbarie	30
<b>Tableau IX</b>	Activité antiradicalaire sur le DPPH (EC <sub>50</sub> et EA) des différentes variétés de graines de figue de barbarie.	31
<b>Tableau X</b>	Corrélation entre les antioxydants dosés et les activités antioxydante et antiradicalaire testées.	32

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances naturelles bioactives. En effet, les métabolites secondaires ont l'avantage d'être d'une grande diversité de structures chimiques qui fait qu'elles trouvent application dans divers domaines à savoir en médecine, pharmacie, cosmétique et agroalimentaire.

*Opuntia ficu-indica* communément appelée, figuier de barbarie, est originaire du Mexique, bien adaptée au climat du bassin méditerranéen (**Butera et al., 2002**). Cette plante, a longtemps, été marginalisée mais sa culture est en nette progression, vue son importance socio-économique et environnementale (**Maataoui et al., 2006**).

En effet, la recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses propriétés. Elle étudie les molécules actives qui la composent et lui permettent de lutter efficacement contre quelques-unes des affections les plus graves de notre temps telles que l'artériosclérose, le cholestérol et le diabète (**Schweizer, 1997 ; Lee et al., 2002**).

Malgré son abondance particulièrement dans la région de la Kabylie, la figue de barbarie suscite peu d'intérêts; elle n'est pas valorisée et sa consommation reste saisonnière. Les graines le sont, encore moins, puisque jusqu'à présent elles sont considérées comme un déchet et donc rejetées. Et pourtant leur importance ne cesse de prendre de l'ampleur dans d'autres pays comme les Mexique, l'Argentine, l'Espagne...et même dans les pays voisins (Maroc et Tunisie). La richesse de leur huile en matières insaponifiables et acides gras essentielles ont en fait un bon atout pour son exploitation en cosmétologie et sa consommation comme huile de table (**Habibi, 2004 ; Habibi et al., 2005**). Par ailleurs, les graines renferment divers composés phytochimiques tels que les métabolites secondaires (polyphénol, flavonoides et tannis) qui pourrait justifier leur exploitation industrielle comme antioxydant naturel (**El Kossori et al., 1998 ; Cardador-Martinez et al., 2011**). Trop peu d'études ont été rapportées par la littérature sur cette composition phénolique ainsi que sur son activité antioxydante. En Algérie, très peu d'information existe sur, que ce soit, le fruit ou la graine.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des graines de figues de barbarie d'origine locale et a pour objectif de combler les lacunes sur la composition de celles-ci en composés phénoliques ainsi que sur leur activité antioxydante. Il s'agit d'une étude comparative réalisée sur trois variétés (orange, verte et jaune) récoltées de différentes régions de Béjaïa (Aokas, Sidi Aich et Seddouk respectivement).

## 1. Le figuier de barbarie

### 1.1. Origine et distribution

Le figuier de barbarie est un Cactacée originaire des régions arides et semi-arides du Mexique, il a été introduit en Afrique du Nord vers le 16<sup>ième</sup> siècle (El Kossori et al., 1998 ; Araba et al., 2000 ; El Mannoubi et al., 2008).

On compte, de nos jours, 1500 espèces de cactus appartenant au genre *Opuntia* ; et sont cultivées dans de nombreux pays, notamment: le Mexique, les États-Unis, la Chine, l'Afrique et l'Italie ainsi que dans d'autres aires géographiques (El kossori et al., 1998; Feugang et al., 2006).

### 1.2. Classification

De nombreux auteurs ont élaboré des classifications du genre *Opuntia*. Wallace et Gibson (2002) ont rapporté celle qui suit :

<b>Règne :</b>	Plantae
<b>Sous-règne :</b>	Spermaphyte
<b>Division :</b>	Angiosperme
<b>Classe :</b>	Dicotylédones
<b>Sous- classe :</b>	Caryophyllale
<b>Famille:</b>	Cactaceae
<b>Sous-famille:</b>	Opuntioideae
<b>Genre:</b>	<i>Opuntia</i>
<b>Espèce:</b>	<i>Opuntia ficus indica</i> .

L'espèce peut porter un nom différent selon l'idiome local. En Espagne, outre Nopal, on l'appelle familièrement Tuna, dans les pays francophones du bassin méditerranéen, l'*Opuntia* est surnommé figuier de barbarie; en Angleterre : Prickly pear (poire à épines) (Schweizer, 1997), en Egypte : El-Tin-el-choki et en Algérie, plus précisément en Kabylie, elle est surnommée Akermousse.

### 1.3. Espèces et variétés de figuier de Barbarie

Les espèces les plus connues du figuier de barbarie sont l'*Opuntia inermis* (*Opuntia vulgaris*), très prisée en Espagne, en Afrique du Nord et dans bien d'autres pays, *O. monacantha* et *O. dillenii* privilégiées en Chine et enfin, *Opuntia ficus-indica* (figuier de barbarie) espèce comestible et médicinale qui est largement distribuée (Schweizer, 1997).

La distinction entre les différents cultivars est basée sur la forme et la qualité des fruits et sur la période de floraison et de la maturité des fruits (Schweizer, 1997; Araba et al., 2000) :

- Les variétés inertes : souvent domestiquées et cultivées sur des surfaces limitées. Les plants issus de semis sont épineux la première année et les aiguillons disparaissent à partir de la deuxième année.
- Les variétés épineuses : caractérisées par des épines longues. Il paraît que c'est une variété qui entre en production tardivement après la 6<sup>ème</sup> ou la 7<sup>ème</sup> année de plantation.

Il semble qu'il n'y ait pas de variétés absolument inermes, mais à aiguillons plus ou moins rares (Schweizer, 1997; Araba et al., 2000).

### 1.4. Description

Le figuier de barbarie est une plante arborescente qui peut atteindre de 3 à 5 mètres de haut. Son organisation en cladodes, couramment appelés « raquettes », est particulière.

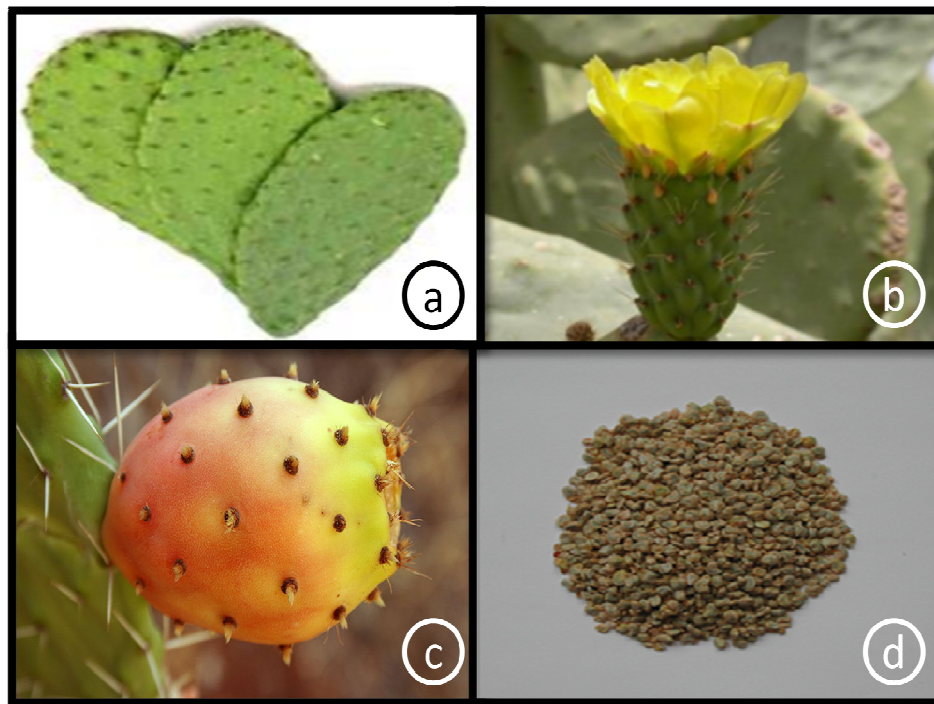
Les cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long, qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles (Schweizer, 1997; Stintzing et al., 2005 ; Feugang et al., 2006) (figure N°01).

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

Les fleurs sont à ovaire infère, avec de grandes corolles latérales jaunes, orange ou rouges (Schweizer, 1997 ; Reyes-aguero et al., 2006). Un cladode fertile peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs. Ce nombre varie selon la position du cladode sur la plante et les facteurs physiologiques (Reyes-aguero et al., 2006) (figure N°01).

Ces fleurs donnent naissance aux fruits ; une grosse baie (100 à 150g) ovale ou allongée et charnue, avec une pulpe juteuse, en générale contenant de nombreuses graines (polysémique). La couleur et la forme du fruit sont variables selon les variétés : jaune, rouge, blanche (Schweizer, 1997 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006 ; Reyes-aguero et al., 2006).

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



**Figure N°01:** Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes(a), fleur(b), fruits(c) et graines(d) (Habibi, 2004 ; Anonyme, 2007).

### 1.5. Composition de la figue de barbarie

La figue de barbarie est un fruit succulent, peu acide et riche en sucres ; ce qui le rend délicieux et doux (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang *et al.*, 2006).

La composition moyenne de la figue de barbarie est résumée dans le tableau suivant:

**Tableau I** : Composition de la figue de barbarie (Piga, 2004).

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

*L'Opuntia ficus-indica* est caractérisée par un pH relativement élevé (5.3-7.1) comparé à celui d'autres fruits, et une acidité relativement faibles (0.05-0.18%) (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang *et al.*, 2006).

En raison de sa haute teneur en eau, sa valeur calorique totale est faible, elle est de 50 Kcal/100g comparable à celle d'autres fruits tels que les poires, les abricots et les oranges (Feugang *et al.*, 2006).

Le fruit est riche en sucres, majoritairement représentés par le glucose et le fructose. Le glucose, dominant, est une source d'énergie immédiatement disponible pour le cerveau, tandis que le fructose permet une amélioration de la saveur du fruit (Schweizer, 1997; Russel et Felker, 1987; El Kossori *et al.*, 1998 ; Feugang *et al.*, 2006). Une teneur plus élevée en vitamine C, comparée à d'autres fruits tels que la pomme, la poire, les raisins et la banane, a été notée (Piga, 2004).

Seules des traces de vitamines B1, B6, niacine, riboflavine et acide pantothénique ont été trouvées (**Stintzing et al., 2000 ; Stintzing et al., 2001 in Feugang et al., 2006**).

La figue de barbarie montre une composition intéressante en minéraux, particulièrement, le potassium (90-217 mg/100g), le calcium (12.8-59 mg/100g) et le magnésium (16.1-98.4 mg/100g) (**Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006**) ; des niveaux élevés d'acides aminés libres, dont la proline (1768.7mg/L), glutamine (574.6 mg/L) et la taurine (572.1 mg/L) ont été également rapportés (**Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006**).

### 1.6. Intérêts

Toutes les composantes du cactus (fleurs, raquettes, fruits) présentent de multiples intérêts (économique, écologique, médicinal, cosmétologique) :

Le figuier de barbarie est utilisé pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne, il résiste au feu et peut être utilisé comme obstacle à la propagation des incendies (**Araba et al., 2000**). Par sa présence, l'*Opuntia* aide à la régénération des sols épuisés par l'agriculture intensive, et chaque partie de la plante constitue un excellent fertilisant (**Schweizer, 1997**). En plus le cactus est considéré comme une réserve fourragère, et un apport alimentaire pour les périodes de transition (automne) et lors des années de sécheresse (**Habibi, 2004**).

Aussi, une intensification d'élevage des cochenilles sur les raquettes d'*Opuntia* peut être faite sous tunnels pour la production d'une teinte rouge (le Carmin). Cette dernière est très demandée en industrie alimentaire, médicinale et cosmétique comme colorant naturel (**Araba et al., 2000**). Les raquettes sont, en outre, exploitées en cosmétologie, dans la fabrication de shampoings assouplissants pour cheveux, de crèmes et de laits hydratants pour le visage (**Araba et al., 2000**).

Récemment dans certains pays (Italie, Mexique, Chili,...), le fruit est conditionné industriellement et stabilisé par différentes méthodes (froids, séchage, chaleur) ou transformé en jus, miel (miel de tuna), boissons alcoolisées (Colanche, Téquila), confiture et colorant alimentaire (**Habibi, 2004**).

L'usage médical des opuntias se traduit par l'utilisation des différentes parties de la plante. Au Maroc les fruits sont connus pour le fait qu'ils arrêtent les coliques et les diarrhées. En Sicile, le thé préparé des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, est utilisé comme traitement contre les maux de reins. Et en Israël, les capsules des corolles de fleurs séchées sont utilisées comme remède au dysfonctionnement de la prostate (**Araba et al., 2000**).

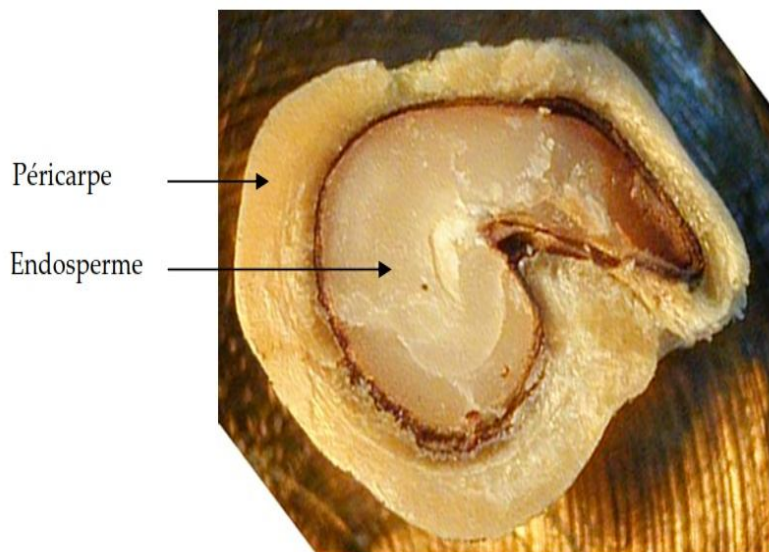
Selon des études cliniques récentes, cette même espèce élimine l'excès d'ammoniaque accumulé dans certains organes, combat avec succès les radicaux libres, neutralise les toxines qui affaiblissent le système immunitaire suite à une surconsommation d'alcool ou de tabac (Schweizer, 1997). D'autres propriétés ont été, également, attribuées à cette espèce, il s'agit des effets hypoglycémiant, anxiolytiques, anti diarrhéiques, et galactogènes et fortifiants chez les femmes allaitant leur enfants (Schweizer, 1997).

## 2. La graine de la figue de barbarie

### 2.1. Description morphologique

Les graines de figue de barbarie sont caractérisées par leur dureté due à la présence de fibres dures et de formes plates, plus au moins réniformes ou lenticulaires. Le pourcentage et le nombre de graines par fruit varie en fonction de plusieurs facteurs dont la variété, la physiologie et l'environnement de culture (Habibi, 2004 ; Reyes-Aguero *et al.*, 2005).

L'étude morphologique de la graine réalisée par microscopie électronique à balayage et à transmission, permet de préciser l'organisation des tissus en deux parties : le péricarpe et l'endosperme (figure N°02) (Ennouri *et al.*, 2006 ; Habibi *et al.*, 2008).



**Figure N°02:** Photographie d'une coupe transversale de la graine de la figue de barbarie (Habibi, 2004).



❖ **Péricarpe**

Le péricarpe de la graine de la figue de barbarie représente jusqu'à 90% du poids total de la graine ; il est constitué de deux types de cellules: en majorité des cellules longues très compactes en forme de fibres fusiformes (sclérenchyme) dont les microfibrilles de cellulose sont disposées en couches successives concentriques. Et celles constituant des vaisseaux conducteurs spiralés en simple hélice (**Habibi, 2004**).

❖ **L'endosperme**

Représentent jusqu'à 10% du poids total de la graine ; il est constitué de cellules de parenchyme de réserve à paroi très fine renfermant de nombreux leucoplastes qui forment de petits grains d'amidon. Entre les tissus riches en amidon s'intercale une couche de gluten (couche à aleurone) qui donne au noyau son aspect visqueux. L'ensemble de ces cellules est enrobé dans une paroi cellulaire épaisse en forme de tuile inverse (**Habibi, 2004**).

**2.2. Composition chimique de la graine**

La teneur des différents constituants des graines de la figue de barbarie est consignée dans le tableau II.

**Tableau II:** Composition chimique des graines de la figue de barbarie (**Habibi, 2004**).

<b>Constituants</b>	<b>Teneur</b>	<b>Constituants</b>	<b>Teneur</b>
Eau	5-6 %	Lignine	18 %
Huile	7-8.5 %	Protéines	11-12%
Minéraux (cendres)	1.3 %	Cellulose	30 %

L'analyse préliminaire des graines de figue de barbarie montre qu'elle est lignifiée et renferme en quantité considérable des protéines et des huiles (**Schweizer, 1997 ; Habibi , 2004**).

### 2.2.1. Sucre

La graine de figue de barbarie contient une quantité importante de polysaccharides ; majoritairement du glucose et du xylose provenant de la cellulose et des hémicelluloses comme le montre le tableau III (**Habibi, 2004**).

**Tableau III:** Composition en sucres des graines de la figue de barbarie (**Habibi, 2004**).

Composant	Acides Uroniques	Sucres					
		Rha	Ara	Xyl	Man	Gal	Glu
Teneur (%)	1.1	0.6	3.1	23.8	1.0	1.0	35.6

### 2.2.2. Acides aminés et minéraux

Les protéines de la graine sont riches en acides aminés soufrés, dont la quantité de méthionine et de cystine représentent près de deux fois la quantité recommandée par la FAO/OMS (**Ennouri et al., 2006**).

La graine est, également, riche en éléments minéraux, en quantité relativement, importantes, notamment le potassium (275 mg/100g), le calcium (258 mg/100g) et le magnésium (208 mg/100g) (**Feugang et al., 2006**).

Le tableau suivant résume la composition des graines en minéraux :

**Tableau IV:** Composition en minéraux de la graine de la figue de barbarie (**El Kossori et al., 1998**).

Les minéraux	Teneur (mg/100g)	Les minéraux	Teneur (mg/100g)
<b>Ca</b>	258	<b>Fe</b>	12.1
<b>Mg</b>	208	<b>Cu</b>	0.83
<b>Na</b>	0.83	<b>Zn</b>	4.16
<b>K</b>	275	<b>Mn</b>	0.83
<b>P</b>	110	<b>Mb</b>	0.33

### 2.2.3. Fibres

La graine constitue la principale source de fibres dans la figue de barbarie comme le montre le tableau V. Elle est caractérisée par la présence de deux types de fibres : Les fibres solubles comprennent les : mucilage, pectine et hémicellulose. Les fibres insolubles composées, principalement, de cellulose (Schweizer, 1997 ; El Kossori et al., 1998).

**Tableau V:** Composition en fibre de la graine de la figue de barbarie (%) (El Kossori et al., 1998).

Les fibres	Teneur (%)
Hemicellulose	9.95
Cellulose	83.2
Pectin	6.69
Lignine	0.19

### 2.2.4. Lipides et les protéines

Les graines sont la partie du fruit la plus riche en protéines (Nebbache et al., 2009). Cependant, l'attention s'est surtout focalisée sur l'huile contenue dans ces graines depuis qu'on a montré que cette huile est riche en acides gras insaturés et stérols (Feugang et al., 2006). Ces principaux acides gras sont l'acide palmitique, stéarique, oléique et linoléique avec une teneur plus importante en acide linoléique (70%) (Ramadan et Morsel, 2003 a ; Ennouri et al., 2005 ; Feugang et al., 2006). Le  $\beta$ -sitostérol et le compestérol sont les constituants les plus importants de la fraction des stérols représentant 90% des stérols totaux (Ramadan et Morsel, 2003 a ; Feugang et al., 2006).

### 2.2.5. Vitamines et caroténoïdes

Le tocophérol (vitamine E) et le  $\beta$ -carotène sont retrouvés dans la fraction lipidique de la graine de la figue de barbarie (**Ramadan et Morsel, 2003 a,b**).

L'isomorphe  $\gamma$ -tocophérol homologue de la vitamine E est le principal composant de l'huile de la graine représentant 80% du contenu total en vitamine E ; le  $\alpha$ -tocophérol est le second avec 14 à 16% (tableau VI) (**Ramadan et Morsel, 2003 a**).

**Tableau VI:** Composition en vitamines de la graine de la figue de barbarie (**Ramadan et Morsel, 2003**).

Composant	Teneur (g/kg)
$\alpha$ -tocophérol	0.056±0.003
$\beta$ -tocophérol	0.012±0.002
$\gamma$ -tocophérol	0.330±0.03
$\delta$ -tocophérol	0.005±0.001
Vitamine E	0.403±0.04
Vitamine K <sub>1</sub>	0.525±0.06
$\beta$ -carotène	0.047±0.008

### 2.3. Intérêts de la graine

Il y a eu un réveil vers un intérêt progressif dans l'utilisation de la graine de figue de barbarie dans les pays développés. Les substances naturelles issues de cette graine ont des intérêts multiples. En effet, la graine est une partie riche en matière grasse, elle peut être exploitée pour l'extraction des huiles à usage alimentaire, pharmaceutique, médical et cosmétique (**Fadili, 2000**).

Elles sont caractérisées par leur richesse en xylanes qui est doué d'applications très diverses, pouvant aller de l'industrie plastique, de la papeterie à des applications médicales. Les dérivés alkyles amphiphiles de xylanes possèdent des propriétés émulsifiantes excellentes, et sont largement utilisés dans le domaine agroalimentaire (**Habibi, 2004**).

Les graines de la figue de barbarie peuvent être utilisées comme source d'huiles comestibles vue leur richesse en acides gras essentiels (**Ramadan et Morsel, 2003 b ; Ennouri et al., 2005**).

Récemment, il a été montré que l'addition de la poudre de graines dans l'alimentation diminue la concentration en glucose sérique, augmente le glycogène dans le foie et le muscle squelettique et augmente significativement le taux de cholestérol LDL ce qui suggère une application potentielle pour le diabète et l'athérosclérose (**Ennouri et al., 2006**).

Aussi l'augmentation de leur apport réduit les risques de maladies cardio-vasculaires et maladies coronariennes (**Ennouri et al., 2006**).

La richesse de ces graines en matière insaponifiables (stérols et tocophérols) en fait un bon atout pour leur exploitation en cosmétologie, étant donné les effets bénéfiques de ces substances sur l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée (**Habibi, 2004**).

## 1. Antioxydants

Les antioxydants sont des substances capables de retarder et d'empêcher l'oxydation des substrats (**Pincemail et al., 1998 ; Gramza et Korczak, 2005**).

Il existe deux sources d'antioxydants ; la première est endogène qui se compose d'enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase et catalase) et de protéines (ferritine, transferrine, céruloplasmine et albumine). La seconde est exogène apportée par l'alimentation avec des produits végétaux riches en vitamines E et C, caroténoïdes et composés phénoliques (**Rock, 2003 ; Pincemail et Defraigne, 2004**).

Les cellules utilisent de nombreuses stratégies antioxydantes. Certains composés antioxydants, agissent en piégeant les radicaux libres et en captant l'électron célibataire, les transformant en molécules ou ions stables (**Favier, 2003**).

### 1.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des produits du métabolisme secondaire des végétaux et présents dans tous les organes de la plante (**Gulcin, 2006**).

Les composés phénoliques désignent un vaste groupe de molécules à large panel structural (**Cheyrier, 2005**) ; largement rependus dans le règne végétal, et font partie intégrante de notre alimentation (**Gulcin, 2006**).

Ce sont des substances qui possèdent un ou plusieurs cycles aromatiques avec au moins une fonction hydroxyle libre ou engagée dans une autre fonction chimique (éther méthylique, ester, osidique...) (**Middleton et al., 2000 ; Bennick, 2002 ; Marouf et Reynaud, 2007**). C'est une classe constituée d'environ 8 000 composés (**Bennick, 2002**) (annexe I).

Concernant les graines d'*Opuntia ficus-indica*, la teneur est intéressante et varie en fonction du cultivar et du stade de maturité ; des valeurs allant de 337 à 460 mg EAG/100g MS ont été détectées (**Cardador-Martínez et al., 2011**).

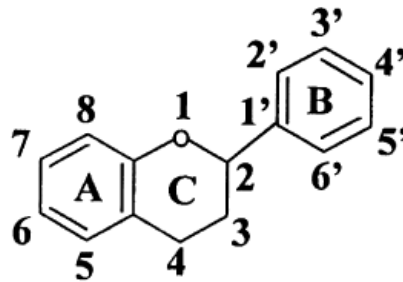
### 1.1.1. Flavonoïdes

Le terme flavonoïdes désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (**Bennick, 2002**).

Ces substances à faible poids moléculaire se trouvent, d'une manière générale, dans toutes les plantes vasculaires, où ils peuvent être localisés dans divers organes : racines, tiges, feuilles, fleurs, fruits et graines (**Middleton et al., 2000**).

Ils sont considérés comme des pigments universels dans le règne végétal : ce sont les pigments les plus courants à côté de la chlorophylle et des caroténoïdes (**Staliskas, 2007**).

Ce sont des composés phénoliques complexes dont la structure est constituée de deux noyaux aromatiques (noyaux A et B) et d'un hétérocycle oxygéné (cycle C) (**Middleton et al., 2000 ; Bennick, 2002**) Comme c'est illustré dans la figure N°03.



**Figure N°03:** Structure de base des flavonoïdes (**Chabaane et al., 2011**).

De nos jours plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés ; et la liste ne cesse de croître dont les trois classes les plus importantes sont : les flavones, les flavonols, les flavanones, les et les anthocyanes (**Middleton et al., 2000 ; Cheynier, 2005**).

Les flavonoïdes, détectés dans les graines de la figue de barbarie, représentent approximativement 12 % des polyphénols totaux des graines. Les teneurs trouvées vont de 46 à 50 mg ERu / 100g MS (**Cardador-Martínez et al., 2011**).

### 1.1.2. Tannins

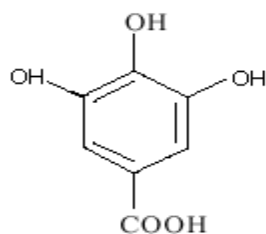
Les tannins sont des composés phénoliques polaires d'origines végétales (**Berthod et al., 1999**) ; ils existent presque dans chaque partie de la plante (écorce, bois, feuilles, fruits et racines) avec des poids moléculaires très élevés (500-3000 Daltons) (**Cowan, 1999 ; Zimmer et Cordesse, 2004**).

La caractéristique la plus déterminante des tannins est leur capacité à former des complexes (par précipitation) avec les polymères naturels comme les protéines, les polysaccharides (la pectine, la cellulose, l'hémicellulose...), les alcaloïdes, les acides nucléiques et les minéraux (**Frutos et al., 2004**).

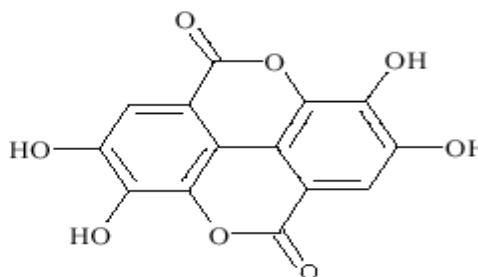
Sur le plan structural, les tannins sont divisés en deux groupes :

#### ❖ Tannins hydrolysables

Les tannins hydrolysables sont des molécules complexes qui font intervenir des liaisons de type ester. Ils se caractérisent par leur hydrolyse en conditions chimiques ou enzymatiques avec libération d'une fraction glucidique et d'une fraction phénolique dont les éléments constitutifs sont l'acide gallique ou l'acide éllagique (figure N°04) (**Ribereau-Gayon, 1968 ; Bennick, 2002**).



Acide gallique



Acide éllagique

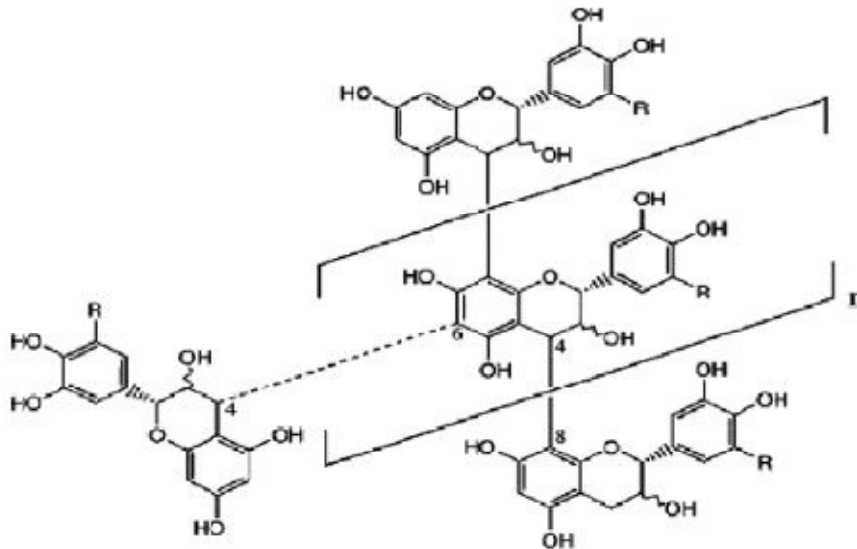
**Figure N° 04:** Structures des acides gallique et éllagique (**Chabaane et al., 2011**).

#### ❖ Tannins condensés

Ils sont, également, appelés les proanthocyanidines car les tannins condensés produisent les anthocyanidines quand ils sont chauffés dans des conditions acides. Ce sont des polymères de flavan-3-ols (appelés aussi catéchines) et de flavan-3,4-diols (appelés leucoanthocyanidines), ou un mélange des deux.



Les tannins condensés sont des polymères de très fort poids moléculaires, les plus couramment décrits faisant 5000 Da, mais on en a découvert de plus de 30 000 Da. Plus le poids moléculaire des tannins condensés augmente plus ces derniers deviennent insolubles dans les solutions physiologiques et perdent leur capacité à précipiter les protéines (**Bennick, 2002**) (figure N°05).

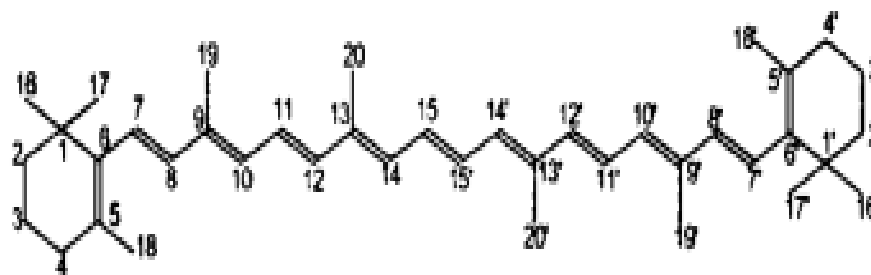


**Figure N°05** : Structure chimique de tannin condensé (**Schofield et al., 2001**).

Les tannins sont les composés phénoliques majeurs des graines de la figue de barbarie et représentent près de 50%. Leur teneur varie entre 137 à 205 mg ECa / 100g MS ; ces valeurs dépendent du type de cultivar et des différents stades de maturités, (**Cardador-Martínez et al., 2011**).

## 1.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles, de couleur jaune à rouge, présents dans les chloroplastes et dans certains plastes qui colorent les fleurs, les fruits ou les racines (**Rodriguez-Amaya, 2001**). Les caroténoïdes dérivent d'une structure linéaire (C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>) avec de nombreuses doubles liaisons (**Haleng et al., 2007**) (figure N°06).



**Figure N°06:** Structure du  $\beta$  carotène (Rodriguez-Amaya, 2001).

Plus de 600 caroténoïdes différents ont été isolés à partir de sources naturelles (Rodriguez-Amaya, 2001 ; Rao *et al.*, 2006), dont quarante d'entre eux sont retrouvés dans notre alimentation, et seulement une quinzaine d'entre eux ont été identifiés dans le sang et les tissus humains (Rock, 2003).

La partie lipidique de la graine en contient une bonne quantité et le plus répandu est le  $\beta$ -carotène avec une teneur de 0.047 g/kg (Ramadan et Mörsel, 2003 a).

### 1.3. Vitamine E

Les vitamines sont des molécules indispensables au bon fonctionnement de l'organisme humain, mais le fait que celui-ci n'étant pas capable d'en synthétiser en quantité suffisante, doit en puiser dans l'alimentation.

La vitamine E désigne un groupe de nombreux composants lipophyles présents dans la nature appelés tocophérols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  et  $\gamma$ ) (Szymanska et Kruk, 2008).

Son caractère hydrophobe lui permet de s'insérer au sein de la membrane biologique riche en acide gras polyinsaturés ou elle joue un rôle protecteur efficace en empêchant la propagation de chaînes radicalaires d'origine lipidique (Pincemail *et al.*, 1998 a).

Elle est présente en quantité importante dans la fraction lipidique de la graine de figue de barbarie (Cuvelier *et al.*, 2003). En effet l'huile de graine est riche en cette vitamine avec une teneur de 0.403 g/kg dont les isomorphes  $\gamma$  et  $\alpha$ -tocophérol sont les principaux composants des huiles des graines avec des teneurs de 0.330 et 0.056 g/kg respectivement (Ramadan et Mörsel, 2003 a).

## 2. Propriétés biologiques des antioxydants

### 2.1. Composés phénoliques

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes qui dépendent essentiellement du nombre et de la position de leurs groupements fonctionnels (El kossori *et al.*, 2006), et sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par l'organisme (Edeas, 2007). Ces composés possèdent la structure chimique idéale pour exercer une activité scavenger sur les radicaux libres (Madhan *et al.*, 2007).

Les flavonoïdes interviennent dans la prévention de nombreuses maladies telles que les cancers et les maladies cardiovasculaires (Ko *et al.*, 2000 ; Manach *et al.*, 2004 ; Scalbert, 2004 ; Tripoli *et al.*, 2007). Leurs effets sur la santé dépendent de la quantité consommée et de leur disponibilité biologique (Manach *et al.*, 2004). Ces activités sont attribuées en partie aux propriétés antioxydantes de ces composés naturels.

Ils possèdent aussi des propriétés antimicrobiennes ; à titre d'exemple les acides cinnamiques et caféïques sont les représentants majeurs des composés phénoliques et présentent l'état d'oxydation le plus élevé. Le thym, herbe aromatique et médicinale, qui contient des teneurs appréciables en acide caféïque montre une efficacité contre les virus, les bactéries et les Mycètes (Cowan, 1999).

Des études récentes ont montré que l'administration orale des flavonoïdes avec des quantités bien suffisantes protège contre des infections causées par *Shigella*, *Salmonella typhimurium* et *Staphylococcus aureus* (Hadi, 2004).

Les composés phénoliques manifestent des activités contre un spectre de parasites : tel que le genre *Leishmania* et *plasmodium* (Nowakowska, 2007).

### 2.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les ERO. Ce sont essentiellement des piègeurs d'oxygène singulet ( $^1O_2$ ) en la transformant en oxygène moléculaire triplet ( $^3O_2$ ) plus stable, mais ils peuvent également neutraliser les radicaux libres (ROO•) par transfert d'hydrogène (Stahl *et al.*, 2000 ; Rock, 2003).

Leur activité antioxydante est meilleure avec l'augmentation des doubles liaisons, à titre d'exemple le lycopène piège les radicaux libres et l'oxygène singulet avec une efficacité supérieure à celle du  $\beta$ -carotène (Stahl *et al.*, 2000 ; Rodriguez-Amaya, 2001 ; Rock, 2003).

Ils protègent contre les radiation solaires par absorption de leur énergie tout en protégeant la peau des dommages oxydatifs (**Stahl et al., 2000**).

Bien que les caroténoïdes ne soit pas essentiels pour la santé humaine, ils présentent des propriétés biologiques qui peuvent être importantes pour le maintien de la santé et la prévention de maladies graves tel que les cancers, les troubles pulmonaires ou encore la cataracte (**Voutilainen et al., 2006**).

### **2.3. Vitamine E**

La vitamine E participe à la dégradation des radicaux libres oxygénés et qui assure une protection contre les agents toxiques pour la cellule. Par conséquent, elle est capable de réduire les maladies cardio-vasculaires et plusieurs types de cancer (**Pincemail et al., 1998 a,b ; Fain, 2004**).

Le caractère hydrophobe de la vitamine E lui permet de jouer un rôle protecteur efficace en empêchant la propagation de la peroxydation lipidique induite par les ERO (**Pincemail et al., 1998 a**).

La régénération de la vitamine E est possible par la vitamine C, à partir de sa forme radicalaire tocophéryle issue de sa réaction avec des radicaux lipidiques (**Pincemail et al., 1998 a,b ; Haleng et al., 2007**).

## 1. Préparation du matériel végétal

L'étude a été réalisée sur les graines de trois variétés de figues de barbarie récoltées en août 2008 de différentes régions de Béjaia (Aokas, Sidi Aich et Seddouk) et choisies selon la présence ou l'absence d'épines, la couleur et la forme du fruit (Annexe II).

Les figues de barbarie ont été rincées abondamment à l'eau courante, puis séchées et épiluchées. Les graines ont été ensuite séparées de la pulpe, rincées puis séchées à température ambiante pendant 24h. Les graines séchées ont été broyées utilisant le broyeur électrique A<sub>11</sub> basic (IKA, Allemagne) jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière a été conservée dans des bocaux à l'abri de la lumière et de l'humidité.

## 2. Analyses

### 2.1. Test d'humidité

Le taux humidité dans la poudre de graines de chaque variété a été déterminé selon le procédé de séchage à l'étuve ; il consiste à sécher la poudre à 105°C jusqu'à un poids stable. Le taux d'humidité (TH) a été calculé par la formule suivante :

$$TH (\%) = (P_f - P_s) / P_f \times 100$$

**P<sub>f</sub>**: poids de l'échantillon frais (g).

**P<sub>s</sub>** : poids de l'échantillon sec (g).

## 2.2. Extraction et dosage des composés phénoliques

La méthode utilisée a été une extraction solide-liquide ; la poudre de graines de figues de barbarie a été extraite avec 30 ml d'éthanol 70%. Le mélange a été soumis à une agitation pendant 2h à l'abri de la lumière puis filtré. Une deuxième extraction a été effectuée en suivant le même protocole afin d'obtenir un meilleur taux de matière extraite. Le filtrat, récupéré, a été concentré par évaporation rotative à 40°C jusqu'à élimination complète du solvant, puis reconstitué dans du méthanol et conservé au congélateur selon le protocole illustré dans la figure N°07.

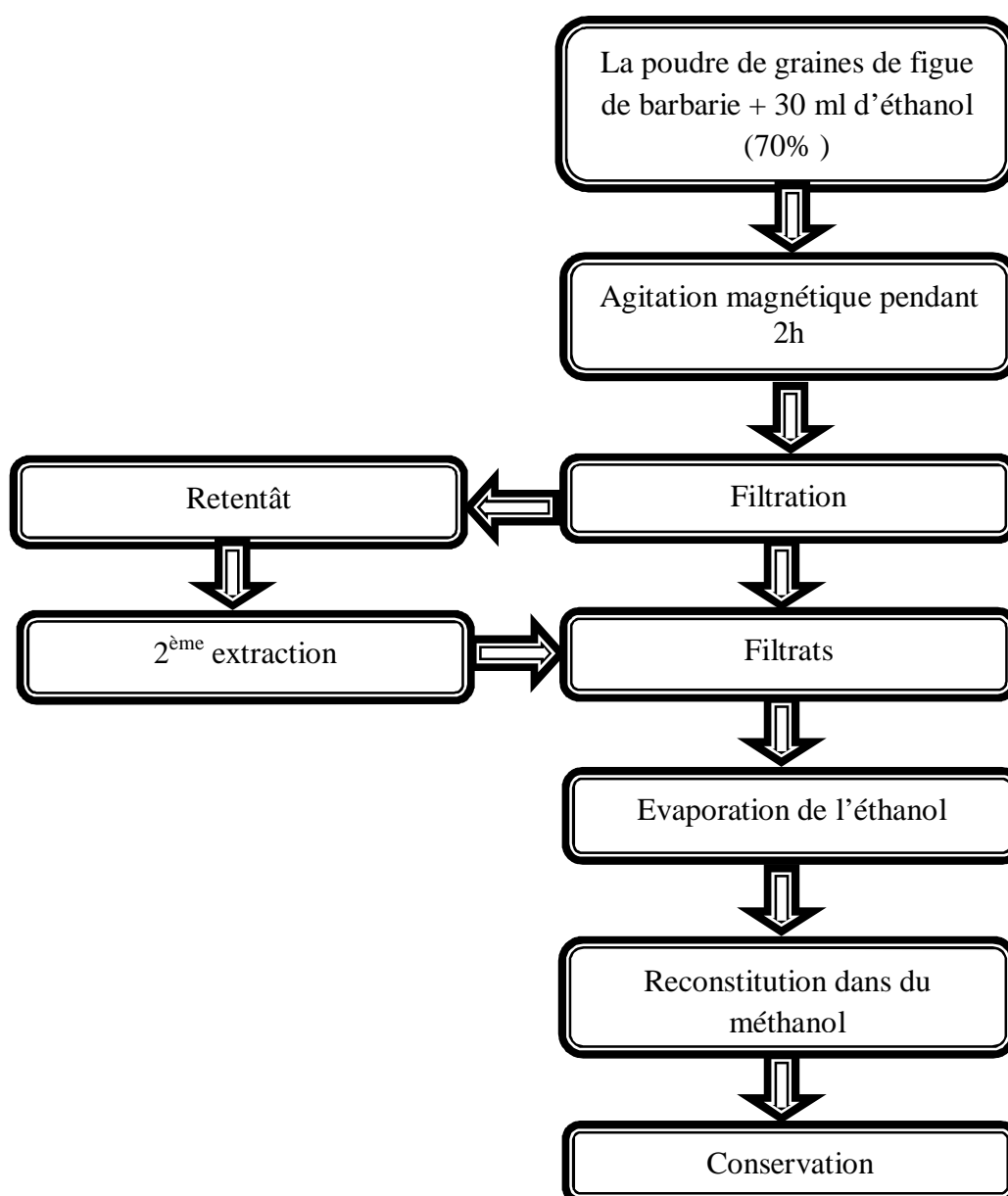


Figure N°07 : Protocole d'extraction des composés phénoliques.

### 2.2.1. Dosages des composés phénols totaux

Le réactif du Folin-Ciocalteu, constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ), est réduit en présence des composés phénoliques en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration est proportionnelle à la quantité de poly phénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

La teneur en composés phénoliques a été estimée selon la méthode de **Ghasemzadeh et al. (2010)** ; elle consiste à mélanger 250µl d'extrait de poudre de graines de figes de barbarie et 1.5ml de réactif de Folin-Ciocalteu. Après 5min, 1.5ml de carbonate de sodium  $Na_2CO_3$  (6%) ont été additionnés. L'absorbance a été mesurée à 760nm après 1h d'incubation à l'obscurité, contre un blanc.

La concentration des composés phénoliques est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe III) réalisé avec différentes concentrations d'acide gallique. Les résultats sont exprimés en équivalent mg d'acide gallique /100mg de matière sèche (mg EAG/100g MS). Tous les essais ont été effectués en triple exemplaires.

### 2.2.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïde a été déterminée sur la base de la formation d'un complexe flavonoides-d'aluminium qui absorbe à 430 nm (**Djeridane et al., 2006**). Selon le protocole décrit, l'extrait de poudre de graines a été additionné de 1.5ml de trichlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ : 2%). Après 30 min d'incubation à température ambiante, l'absorbance du mélange réactionnel a été lue à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes dans les extraits a été calculée par référence à une courbe d'étalonnage établie avec de la quercétine (Annexe III). Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine /100mg de matière sèche (mg EQ/100g MS).

### 2.2.3. Dosage des tannins

Les tanins condensés ont été dosés suivant la méthode du Butanol-HCl, développée par **Iqbal et al. (2011)** ; elle est basée sur la réaction de dépolymérisation des tanins condensés en milieu acide. Cette réaction conduit à la libération des anthocyanidines (molécules colorées) correspondants aux monomères clivés.

Le milieu réactionnel composé d'un volume connu de chaque extrait de poudre de graines de figes de barbarie avec 2.5 ml du réactif [n-butanol : HCl, 3 :2 (v :v) et 0.385mg de sulfate d'ammonium ferrique] a été placé à l'étuve à 95°C pendant 15 min. L'absorbance a été, ensuite, mesurée à 530 nm, et les résultats ont été déterminés par la formule suivante :

$$CT = A \times FD \times PM \times 1000 / \epsilon$$

**CT** : la concentration du tannin en mg/l.

**A** : absorbance enregistrée à 530 nm.

**FD** : facteur de dilution.

**PM** : la masse molaire de la cyanidine (287.24 g/mol).

**$\epsilon$**  : le coefficient d'extinction molaire (34700 l/mol).

## 3. Etude des activités antioxydante et antiradicalaire

### 3.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir au ferrocyanure de potassium est l'aptitude en présence d'antioxydants dans les extraits à réduire le fer ferrique ( $Fe^{+3}$ ) en fer ferreux ( $Fe^{+2}$ ) (**Gulçin et al., 2005 ; Köksal et al., 2011**).

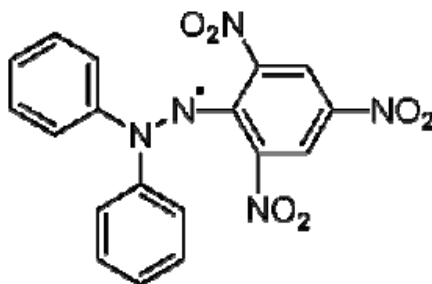
Le pouvoir réducteur des extraits de poudre de figes de barbarie a été déterminé selon la méthode de **Nagulendran et al. (2007)** avec quelques modifications. Différentes concentrations de chaque extrait ont été d'abord préparées (allant de 0.027 à 0.1 g /ml). 0.5ml de chaque concentration ont été mélangés avec 1.25ml de tampon phosphate (0.2M et pH 6.6) et 1.25ml de ferricyanure de potassium [ $k_3Fe (CN)_6$ ] à 1%. Après 20 min d'incubation à 50°C, la réaction a été arrêtée par addition de 1.25 ml d'acide trichloracétique (TCA à 10%). 1.25ml du mélange a été prélevé et ajouté à 1.25ml d'eau distillée et 0.25ml de chlorure ferrique ( $FeCl_3$ ) à 0.1%. Après incubation pendant 30min, l'absorbance a été mesurée à 700nm contre un blanc.



Une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique à différentes concentrations a servi à la quantification du pouvoir réducteur des composés phénoliques des extraits (Annexe III). Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide ascorbique /100mg de matière sèche (mg EAA/100g MS).

### 3.2. Activité antiradicalaire sur le DPPH•

La méthode utilise le radical DPPH (2-2 diphenyl 1-picryl hydrazyl) qui est une molécule qui possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote (Figure N°08). Du fait de cette délocalisation, les molécules du radical ne forment pas des dimères, donc le DPPH• reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire. La délocalisation provoque aussi la formation de la couleur bleue à violette, qui vire au jaune, en présence de capteurs de radicaux libres, et se réduit en 2-2 diphenyl 1-picryl hydrazine avec un maximum d'absorption entre 515 et 518 nm (Huang *et al.*, 2005 ; Maataoui *et al.*, 2006 ; Popovici *et al.*, 2009).



**Figure N°08 :** Structure chimique du radical DPPH• (2-2 diphenyl 1-picryl hydrazyl) (Popovici *et al.*, 2009).

L'activité de balayage du radical DPPH a été estimée selon le protocole décrit par Lopes-Lutz *et al.* (2008). Différentes concentrations d'extrait ont été d'abord préparées (allant de 0.08 à 0.33 g/ml). Chaque solution à tester a été mélangé avec 2.44 ml de solution DPPH ( $6 \times 10^{-5}$  M). Les échantillons ont été placés à l'obscurité et à température ambiante pendant 1h. La lecture des absorbances a été effectuée à 517nm contre un blanc.

L'activité anti radicalaire, qui exprime la capacité de piéger des radicaux libres, a été estimée par le pourcentage d'inhibition du DPPH selon la formule suivante (**Wang et al., 2002**)

$$I \% = A_C - A_E / A_C \times 100$$

**I %** : pourcentage d'inhibition

**A<sub>C</sub>** : l'absorbance de la solution DPPH.

**A<sub>E</sub>** : l'absorbance de l'échantillon.

Le pourcentage d'inhibition permet de calculer le paramètre EC<sub>50</sub>, défini comme étant la concentration efficace de l'extrait nécessaire pour réduire de 50% la concentration de DPPH initiale. Ces EC<sub>50</sub> sont déterminées graphiquement par la droite de régression dont l'abscisse représente la concentration des échantillons et l'ordonnée l'activité antiradicalaire en pourcentage. La capacité antioxydante d'un composé est d'autant plus élevée que sa EC<sub>50</sub> est petite (**Molyneux, 2004 ; Huang et al., 2005**).

Un autre paramètre qui est souvent déterminé, en plus de l'EC<sub>50</sub>, il s'agit de l'indice de l'efficacité antiradicalaire. Ce dernier est inversement proportionnel à l'EC<sub>50</sub> (EA = 1/EC<sub>50</sub>).

#### **4. Analyse statistique**

Les résultats obtenus ont été analysés en utilisant le logiciel STATISTICA 5.5 pour l'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA), dont le degré de signification des données est pris à la probabilité de P≤0,05. Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents (a>b).

## 1. Humidité

Ce paramètre a une importance majeure pour l'extraction des polyphénols car l'eau est une source de dégradation des antioxydants (**Ribereau-Gayon, 1968**), et sur lequel une activité enzymatique, en particulier des polyphénols-oxydases, peut rapidement entraîner des changements irréversibles après collecte du matériel végétal, telle que l'oxydation et par conséquent une polymérisation ou décomposition.

Le séchage et le broyage des graines semblent entraîner l'inhibition de ces enzymes et permettent aussi de conserver les poudres pendant longtemps sans modifications néfastes (**Ribereau-Gayon, 1968 ; Owen et Johns, 1999**).

D'après les résultats obtenus, le taux d'humidité des graines des différentes variétés d'*opuntia ficus-indica* varie de  $8,1 \pm 2.04\%$  à  $8,96 \pm 0.06\%$ , le taux le plus élevé est enregistré pour l'extrait de la variété jaune alors que le plus faible est celui de l'extrait de la variété verte. L'analyse statistique révèle l'absence de différence significative ( $p \leq 0,05$ ) entre les trois échantillons. Ces résultats sont quelque peu différents de ceux rapportés par d'autres auteurs. En effet, **Nebbache et al. (2009)** ont obtenu 18.05%, alors que **Habibi (2004)** a enregistré des valeurs plus faibles allant de 5 à 6%. Cette différence est, probablement, due au degré de séchage des graines ou à l'origine géographique et au degré de maturité.

## 2. Dosage des antioxydants

Il existe différents composants antioxydants dans les graines de figue de barbarie tels que les flavonoïdes et les tanins qui représentent plus de la moitié des composés phénoliques (**Cardador-Martínez et al., 2011**).

Cependant, l'intérêt s'est plus focalisé sur leur composition et leur teneur en huile, et très peu de travaux ont été réalisés sur leurs composition et activité antioxydante ce qui rend la comparaison difficile.

Les résultats des dosages de l'ensemble des antioxydants (composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tannins) dans les extraits de graines des trois variétés de figues de barbarie, déterminé spectrophotométriquement selon plusieurs procédés, sont résumés dans le tableau suivant.

**Tableau VII:** Teneurs en composés phénoliques totaux, flavonoïdes, tannins des graines des trois variétés de figes de barbarie.

Echantillon	Composés phénoliques totaux (mg EAG/100g)	Flavonoïdes (mg EQ/100g)	Tannins (mg EC/100g)
Orange	76,06±1,69 <sup>b</sup>	2,64±0,21 <sup>a</sup>	6,61±0,06 <sup>a</sup>
Jaune	92,83±1,07 <sup>a</sup>	1,55±0,00 <sup>b</sup>	4,79±0,00 <sup>b</sup>
Verte	74,07±2,94 <sup>b</sup>	1,55±0,04 <sup>b</sup>	4,5±0,36 <sup>b</sup>

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative. a>b

### 2.1. Les composés phénoliques totaux (CPT)

Les CPT ont été déterminés spectrophotométriquement par la méthode de Folin Ciocalt ; basée sur l'oxydation des phénolates et la réduction des polyhétérocycles, suivi par la formation du complexe molybdène-tungstène bleu qui proportionnelle à la concentration en ces composés (Vermerris et Nicholson, 2007; Norshazila et al., 2010).

Les résultats des teneurs des extraits éthanoliques de graines des trois variétés de figes de barbarie en CPT sont présentés dans le tableau VII. Les concentrations varient de 74,07mg à 92,83mg EAG/100g. La valeur la plus élevée a été enregistrée dans l'extrait de la variété jaune suivi, à niveau égale, par celles des extraits des variétés orange et verte. L'étude statistique a révélé un effet variété au seuil  $p \leq 0,05$ . Cependant, il n'est observé qu'une différence entre les teneurs en CPT de la variété jaune et de celles des autres variétés qui semblent, être très proches.

Les teneurs rapportées par Cardador-Martínez et al. (2011), pour la même espèce, dans les cultivars d'origine mexicaine només, Montesa (jaune-brun), Cristalina (vert-clair) et Pelón-liso (rouge-violet), sont plus élevées par rapport aux résultats obtenus dans cette étude et elles vont de 337 à 460 mg EAG/100g MS. Cette différence peut être attribuée soit aux méthodes d'extractions et d'analyses, l'origine géographique de l'échantillon, degré de maturité ou aux conditions de stockage. En effet, les graines utilisées dans cette étude dérivent des fruits qui ont été récoltés en août 2008 et il est probable que pendant leur conservation, il y ai eu dégradation des certains composés.

Comparées aux graines d'autres espèces, ces teneurs obtenues dans les graines de fige de barbarie sont supérieures, par exemple, à celles dans les graines de quelques variétés de tomates qui sont comprises entre 16,66 et 31mg EAG /100g MS (Toor et Savage, 2005).

## 2.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle libre en position 5, susceptible de donner en présence du trichlorure d'aluminium un complexe jaunâtre, par chélation de l'ion aluminium ( $Al^{3+}$ ), qui est proportionnel à la concentration en flavonoïdes présente dans l'extrait (**Bahorun, 1997 ; Djeridane et al., 2006**).

Les résultats du dosage des flavonoïdes obtenus pour les graines des trois variétés étudiées de *Opuntia ficus-indica* (tableau VII) montrent que la concentration est significativement plus élevée dans l'extrait de graines de la variété orange ; elle est de 2,64 mg EQ/100g contre 1,55 mg pour les extraits des variétés verte et jaune. Ces valeurs sont, aussi, inférieures à celles rapportées par **Cardador-Martínez et al. (2011)** et qui sont comprises entre 46 et 50 mg ECa/100g MS. La même observation a été notée avec les teneurs des graines d'autres espèces telles que la tomate (10,33-14,65mg ERu /100g) (**Toor et Savage, 2005**).

Il est à noter que, la teneur en flavonoïdes est souvent exprimée en différents standards équivalents (quercétine, rutine, catéchine) et la nature du standard utilisé pourrait donc, en plus des facteurs, cités plus haut, influencer le résultat final.

## 2.3. Les tannins

L'astringence des fruits et des boissons provient souvent de l'interaction des polyphénols avec des protéines salivaires (**Pascale et al., 2006**).

La méthode utilisant le n-butanol est une méthode colorimétrique qui consiste en un clivage oxydant de proanthocyanidines avec du sulfate ferreux pour permettre la détermination de la teneur en tannins condensés (**Vermeris et Nicholson, 2007**).

Les teneurs en tannins des échantillons de graines des variétés étudiées (tableau VII) présentent des concentrations variant entre 4,5 et 6,61mg EC /100g. Les graines de la variété orange constituent, encore une fois, l'extrait le plus riche suivi, par celui de la variété jaune avec une valeur égale à 4.79mg qui n'est pas, statiquement, différent de celui de la variété verte. Ces teneurs sont, également, très faibles comparées à celles enregistrées par **Cardador-Martínez et al. (2011)** et dont l'intervalle est compris entre 137 et 205mg ECa/100g MS. Le type de cultivar ainsi que les facteurs sus-cités pourraient être liés à ces différences.

### 3. Les activités antioxydante et antiradicalaire

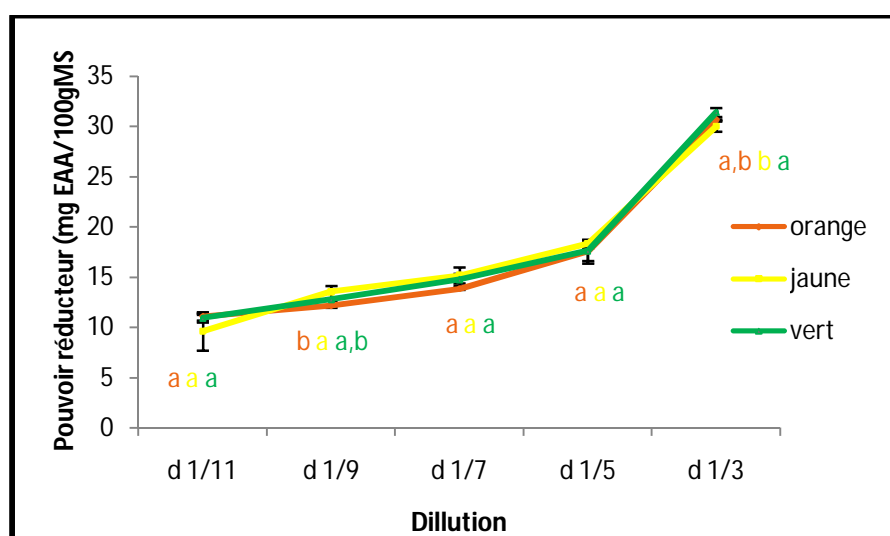
#### 3.1. Le pouvoir réducteur (PR)

Ce test mesure la capacité des extraits à réduire les ions métalliques, le fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) du ferrocyanure de potassium pour donner du fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Hinneburg et al., 2006 ; Sahgal et al., 2009).

De nombreux auteurs considèrent la capacité réductrice d'un composé comme indicateur significatif de son pouvoir antioxydant (Gulçin et al., 2005 ; Huang et al., 2005 ; Hinneburg et al., 2006).

La réduction provoque le changement de couleur, il y a virage de la couleur jaune du ferricyanure de potassium au bleu vert dont l'intensité dépend du pouvoir réducteur de chaque extrait. L'augmentation de l'absorbance indique une augmentation du pouvoir réducteur (Ozsoy et al., 2008).

Les résultats de l'évaluation du pouvoir réducteur des extraits de graines des trois variétés d'*Opuntia ficus-indica* étudiées, sont illustrés par la figure suivante.



**Figure N° 09:** Pouvoir réducteur des extraits de graines des trois variétés de figue de barbarie.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative ( $a > b$ ).  
Les barres verticales représentent les écartypes.

D'après les résultats obtenus, le pouvoir réducteur augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits de graines des trois variétés (figure N°09). Cette observation a été confirmée par plusieurs auteurs (Nagulendran et al., 2007 ; Ozsoy et al., 2008 ; Lee et al., 2011). Les courbes tracées évoluent de la même manière et les valeurs obtenues oscillent entre 10 et 32mg EAA/100g pour l'ensemble des échantillons.

Sur l'ensemble des concentrations testées, des différences significatives ont été notées,

uniquement, aux dilutions D1/9 et D1/3 et il apparaît que, l'extrait des graines de la variété verte est celui qui possède le meilleur potentiel réducteur.

A partir des différentes mesures effectuées, les paramètres  $EC_{50}$  et EA ont été déduits pour chaque échantillon et sont présentés dans le tableau VIII.

**Tableau VIII:** Pouvoir réducteur ( $EC_{50}$  et EA) des extraits des graines des trois variétés de figue de barbarie.

Echantillon	$EC_{50}$ (g/ml)	EA
Orange	0,053±0,000 <sup>a</sup>	19,016±0,169 <sup>b</sup>
Jaune	0,052±0,001 <sup>a</sup>	19,339±0,482 <sup>a,b</sup>
Verte	0,050±0,000 <sup>a</sup>	19,989±0,057 <sup>a</sup>

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative. a>b

L' $EC_{50}$  a été la même pour l'ensemble des extraits de graines et qui est égale à 0,05 g/ml, alors que, l'EA varie selon la variété, de 19,02 à 19,99 et les plus effectives sont représentées par les variétés verte et jaune.

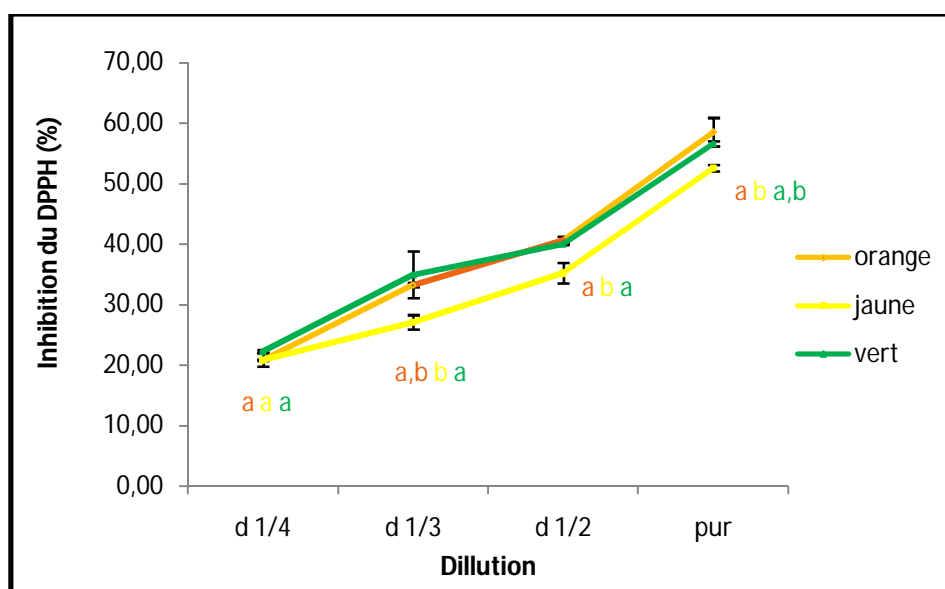
### 3.2. Activité antiradicalaire sur le DPPH

Ce test n'est pas quantitatif, il permet de comparer différents extraits entre eux selon leur capacité à piéger le radical DPPH et ainsi apprécier les variations qualitatives des composés phénoliques.

L'activité antiradicalaire des extraits d'*Opuntia ficus-indica* a été testé en utilisant une solution méthanolique stable par radical libre Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Suhaj, 2006 ; Mohsen et Ammar, 2009) et comparé à la quercétine utilisée en tant que standard.

La méthode de DPPH est basée sur la capacité des composés à agir en tant que piégeurs de radicaux en donnant un atome d'hydrogène (Leong et al., 2009).

Les résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire des extraits de graines des trois variétés d'*Opuntia ficus indica* étudiées, sont illustrés par la figure suivante :



**Figure N° 10:** Pourcentage d'inhibition du DPPH des extraits des graines des trois variétés de figue de barbarie.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative (a>b).  
Les bares verticales représentent les écarts types.

D'après les résultats obtenus, le pouvoir anti-radicalaire des extraits de graines des trois variétés augmente de manière dose-dépendante (**Ozsoy et al., 2008**) (figure N° 10). le pourcentage d'inhibition du radical DPPH pour les variété orange, jaune et verte augmente, pour des concentrations varions entre 0,075 et 0,3 g/ml, de 20,74 à 58,51%, 20,82 à 52,58% et 22,19 à 56,61% respectivement avec la prédominance des variétés orange et verte.

Les EC<sub>50</sub> et EA ont été, aussi, déterminées pour chaque échantillon afin de s'affranchir des différentes concentrations testées. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau IX:** Activité antiradicalaire sur le DPPH (EC<sub>50</sub> et EA) des différentes variétés de graines de figue de barbarie.

Variété	EC <sub>50</sub> (g/ml)	EA
Orange	0,26±0,01 <sup>a</sup>	3,91±0,17 <sup>a</sup>
Jaune	0,3±0,00 <sup>b</sup>	3,31 ±0,03 <sup>b</sup>
Verte	0,26±0,00 <sup>a</sup>	3,80±0,01 <sup>a</sup>

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative (a>b)



Comme figurant dans le tableau IX, l'EC<sub>50</sub> nécessaire pour réduire le DPPH de 50% est de 0.26 g/ml pour les extraits de graines des deux variétés orange et verte ; pour la variété jaune, il a fallu une quantité plus élevée (0.3g/ml). Les EA correspondent oscillent entre 3,31 et 3,91 et confirment le même ordre.

#### 4. Etude des corrélations

Pour obtenir une vue d'ensemble sur les propriétés antioxydantes et les différents antioxydants dosés, des corrélations entre toutes ces variables ont été réalisées. Les coefficients de corrélation « r » sont rassemblées dans le tableau qui suit :

**Tableau X:** Les coefficients de corrélation entre les antioxydants dosés et les activités antioxydante et antiradicalaire testées.

Antioxydants	Activités antioxydantes	
	EC <sub>50</sub> PR	EC <sub>50</sub> DPPH
CPT	0,277	0,970*
Flavonoïdes	-0,757*	-0,624
Tannins	0,834*	-0,520
EC <sub>50</sub> PR	-	0,032

Les corrélations portant la lettre « \* » sont significative à  $p \leq 0.05$ .

PR : pouvoir reducteur

CPT : composés phénoliques totaux

Les résultats obtenus indiquent une absence de corrélation significative entre la teneur en composés phénoliques des graines et le pouvoir réducteur ( $r=0,277$ ). Il faut rappeler que, dans ce cas, l'EC<sub>50</sub> trouvée pour les trois échantillons est le même ce qui pourrait indiquer que le type de molécules effectives contre le fer ferrique est identiques dans ces derniers, ce qui expliquerait l'absence de relation linéaire entre ces deux paramètres. Contrairement, un très bon coefficient de corrélation égale à 0,970 a été observé entre la teneur de ces composés et l'activité antiradicalaire.

A l'inverse, les résultats révèlent de bonnes corrélations linéaires et significatives entre les taux de flavonoïdes et de tannins et le pouvoir réducteur et dont les coefficients de corrélations sont de 0,757 et 0,834 respectivement.

Le niveau de corrélation entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante est un aspect intéressant, mais il faut prendre en considération que ces composés répondent différemment dans l'analyse, selon le nombre de groupes phénoliques et que les composés phénoliques totaux n'incorporent pas nécessairement tous les antioxydants qui peuvent être présents dans un extrait (**Athamena et al., 2010**).

L'étude de corrélation entre les deux méthodes testées (pouvoir réducteur et effet scavenger sur le DPPH•) n'a révélé aucun effet linéaire ce qui pourrait suggérer que les agents réducteurs ne présentent pas forcément une bonne activité anti radicalaire et vice versa (**Goh et al., 2010**).

Dans un contexte général de valorisation alimentaire et non alimentaire du figuier de barbarie, nous nous sommes intéressés aux graines de la figue de barbarie.

L'étude consistait à doser différentes classes d'antioxydants dont les composés phénoliques totaux, les flavonoïdes et les tannins présents dans les graines de quelques variétés de figues de barbarie, et aussi à déterminer leurs activités antioxydante et antiradicalaire.

Les résultats obtenus ont révélé d'intéressantes teneurs en antioxydants avec un effet varié. En effet, la concentration en composés phénoliques totaux est supérieure dans la variété jaune, les teneurs en flavonoïdes et en tannins sont plus importantes dans la variété orange.

L'activité antioxydante varie, aussi, selon la variété ; la variété verte présente un meilleur pouvoir réducteur, et la variété orange présente une meilleure activité antiradicalaire.

Des corrélations positives et négatives ont été observées entre les différentes activités et les concentrations en antioxydants dosés, ceci indique que ces composés participent, selon la concentration, dans les effets antioxydants et antiradicalaire mais, également, que le facteur concentration, à lui seul, n'explique pas les résultats obtenus.

Par conséquent, il serait souhaitable de purifier et d'identifier les composés présents dans les extraits de graines, appliquer des protocoles expérimentaux plus élaborés, réaliser le test sur d'autres variétés et sur un nombre d'échantillons plus important en appliquant des protocoles expérimentaux plus élaborés. Et pourquoi ne pas compléter cette étude par des analyses sur d'autres parties du figuier qui sont considérés encore comme déchet sans valeur, tester l'effet de ces agents bioactifs *in vitro*, étape clé dans la recherche de substances de source naturelle biologiquement actives afin de prévoir leur effet sur la santé humaine.

Les graines constituent une bonne source d'huile de haute qualité mais elles renferment, aussi, d'autres composés bioactifs qu'il faudra prendre en considération et qui pourraient être exploités dans différents secteurs.

### A

**Anonyme** (2007). <http://www.cactustunisie.com>. Consulté le 19/05/2012.

**Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbahri, L., Boubekraoui, A., Ait Hammou, A., Zemmouri, A., and Sbaa, A.** (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Transfert de technologie en agriculture*, 1-4.

**Athamena, S., Chalghem, I., Kassah-Laouar, A., Laroui, S. and Khebri, S.** (2010). Activite anti-oxydante et antimicrobienne d'extraits de Cuminum Cyminum L. *Lebanese Science Journal*, 11, 69-81.

### B

**Bahorun, T.** (1997). Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *Food and Agricultural Research Conseil, Mauritius, Amas*, 83-94.

**Bennick, A.** (2002). Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13, 184-196.

**Berthod, A., Billardello, B., and Geoffroy, S.** (1999). Polyphenols in countercurrent chromatography. An example of large scale separation. *Analisis*, 27, 750-757.

**Boizot, N., and Charpentier, J. P.** (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l'INRA, Numéro spécial*, 79-82.

**Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., Kohen, R., and Livrea, M. A.** (2002). Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, 6895-6901.

### C

**Cardador-Martínez, A., Jiménez-Martínez, C., and Sandoval, G.** (2011). Revalorization of cactus pear (*Opuntia spp.*) wastes as a source of antioxidants. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31, 782-788.

**Chabaane, L., Tahiri, S., Albizane, A., Krati, M. E., Cervera, M. L., and de la Guardia, M.** (2011). Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 174, 310-317.

**Cheyrier, V.** (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American journal of clinical nutrition*, 81, 223S-229S.

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

**Cuvelier, C., Dotreppe, O., and Istasse, L.** (2003). Chimie, sources alimentaires et dosage de la vitamine E. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 147, 315-324.

### D

**Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., and Vidal, N.** (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97, 654-660.

### E

**Edeas, M.** (2007). Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie* 5, 264-270.

**El Kossori, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., and Méjean, L.** (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica sp.*). *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 52, 263-270.

**El Mannoubi, I., Barrek, S., Skanji, T., and Zarrouk, H.** (2008). Étude de la composition de la fraction volatile des graines du figuier de barbarie (*Opuntia Ficus Indica*). *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 10, 61-67.

**Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., and Hamadi, A.** (2005). Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chemistry*, 93, 431-437.

**Ennouri, M., Fetoui, H., Bourret, E., Zeghal, N., and Attia, H.** (2006). Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*, 97, 1382-1386.

### F

**Fadili, M.** (2000). Étude des caractéristiques physico-chimiques des figues de barbarie de la variété Moussa et Clone Rehamna. *Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El KELAA DES SRAGHNA*

**Fain, O.** (2004). Carences en vitamine C. *La Revue de médecine interne*, 25, 872-880.

**Favier, A.** (2003). Le stress oxydant. *L'actualité chimique*, 108-115.

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

**Frutos, P., Hervás, G., Giráldez García, F., and Mantecón, A.** (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish journal of agricultural research*, 2, 191-202.

### G

**Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., and Rahmat, A.** (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). *Molecules*, 15, 4324-4333.

**Goh, S. H., Yusoff, F. M., and Loh, S. P.** (2010). A Comparison of the Antioxidant Properties and Total Phenolic Content in a Diatom, *Chaetoceros sp.* and a Green Microalga, *Nannochloropsis sp.* *Journal of Agricultural Science*, 2, P123.

**Gramza, A., and Korczak, J.** (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis* L.) as antioxidants in lipid systems. *Trends in food science & technology*, 16, 351-358.

**Gülçin, İ.** (2006). Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217, 213-220.

**Gülçin, I., Alici, H. A., and Cesur, M.** (2005). Determination of in vitro antioxidant and radical scavenging activities of propofol. *Chemical & pharmaceutical bulletin*, 53, 281.

### *H*

**Habibi, Y.** (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique, Thèse soutenue en vue d'obtention du grade de Docteur de l'université Josef Fourier et l'université Cadi Ayyad.

**Habibi, Y., Heux, L., Mahrouz, M., and Vignon, M. R.** (2008). Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 72, 102-112.

**Habibi, Y., Mahrouz, M., and Vignon, M. R.** (2005). Arabinan-rich polysaccharides isolated and characterized from the endosperm of the seed of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 60, 319-329.

**Hadi, M.** (2004). La quercétine et ses dérivés: molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques, Thèse soutenue en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences de l'Université Louis Pasteur.

**Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., and Chapelle, J. P.** (2007). Le stress oxydant. *Revue Medicale de Liege*, 62.

**Hinneburg, I., Damien Dorman, H. J., and Hiltunen, R.** (2006). Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chemistry*, 97, 122-129.

**Huang, D., Ou, B., and Ronald, L.** (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53, 1841-1856.

### I

**Iqbal, Z., Sajid, M. S., Abbas, R. A. O. Z., and Sindhu, Z.** Determination of Condensed Tannin Contents from Different Plants of Kherimurat Rangeland (Attock, Pakistan). *Journal of agriculture and social sciences*, 7, 114–116.

### J

**Jayaprakasha, G., Singh, R., and Sakariah, K.** (2001). Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro. *Food Chemistry*, 73, 285-290.

### K

**kaanane, A.** (2000). Techniques de valorisation industrielle les figues de barbarie. *Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El KELAA DES SRAGHNA*.

**Ko, W., Kang, T., Lee, S., Kim, N., Kim, Y., Sohn, D., and Lee, B.** (2000). Polymethoxyflavonoids from *Vitex rotundifolia* inhibit proliferation by inducing apoptosis in human myeloid leukemia cells. *Food and Chemical Toxicology*, 38, 861-865.

**Koksal, E., Bursal, E., Dikici, E., Tozoglu, F., and Gulçin, I.** (2011). Antioxidant activity of Melissa officinalis leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 217-222.

### L

**Lee, J. C., Kim, H. R., Kim, J., and Jang, Y. S.** (2002). Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. saboten. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, 6490-6496.

**Lee, S. H., Sancheti, S. A., Bafna, M. R., Sancheti, S. S., and Seo, S. Y.** (2011). Acetylcholinesterase inhibitory and antioxidant properties of *Rhododendron yedoense* var. Poukhanense bark. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 248-254.

**Leong, L. P., and Shui, G.** (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry*, 76, 69-75.



**Lopes-Lutz, D., Alviano, D. S., Alviano, C. S., and Kolodziejczyk, P. P.** (2008). Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. *Phytochemistry*, 69, 1732-1738.

**Lugasi, A., Hóvári, J., Sági, K. V., and Bíró, L.** (2003). The role of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta Biologica Szegediensis*, 47, 119-125.

### M

**Maataoui, B., Hmyene, A., and Hilali, S.** (2006). Activites anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie. *Lebanese Science Journal*, 7, 3-8.

**Madhan, B., Krishnamoorthy, G., Rao, J. R., and Nair, B. U.** (2007). Role of green tea polyphenols in the inhibition of collagenolytic activity by collagenase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 41, 16-22.

**Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., and Jiménez, L.** (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79, 727-747.

**Marouf, A., and Raynaud, J.** (2007). La botanique de A à Z: 1662 définitions. *Recherche*, 67.

**Middleton Jr, E., Kandaswami, C., and Theoharides, T. C.** (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological reviews*, 52, 673-751.

**Mohsen, S. M., and Ammar, A. S. M.** (2009). Total phenolic contents and antioxidant activity of corn tassel extracts. *Food Chemistry*, 112, 595-598.

**Molyneux, P.** (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26, 211-219.

**Mulas, M., and Mulas, G.** (2004). Potentialites d'utilisation strategique des plantes des genres atriplex et opuntia dans la lutte contre la desertification.

### N

- Nagulendran, K., Velavan, S., Mahesh, R., and Begum, V. H.** (2007). In vitro antioxidant activity and total polyphenolic content of *Cyperus rotundus* rhizomes. *E-Journal of Chemistry*, 4, 440-449.
- Nebbache, S., Chibani, A., Chadli, R., and Bouznad, A.** (2010). Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8.
- Norshazila, S., Zahir, I., Suleiman, K., Aisyah, M., and Rahim, K.** (2010). Antioxidant levels and activities of selected seeds of Malaysian tropical fruits. *Malaysian Journal of Nutrition*, 16, 149-159.
- Nowakowska, Z.** (2007). A review of anti-infective and anti-inflammatory chalcones. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 42, 125-137.

### O

- Owen, P. L., and Johns, T.** (1999). Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, 64, 149-160.
- Ozsoy, N., Can, A., Yanardag, R., and Akev, N.** (2008). Antioxidant activity of *Smilax excelsa* L. leaf extracts. *Food Chemistry*, 110, 571-583.

### P

- Pascal, C., Bigey, F., Ratomahenina, R., Boze, H., Moulin, G., and Sarni-Manchado, P.** (2006). Overexpression and characterization of two human salivary proline rich proteins. *Protein expression and purification*, 47, 524-532.
- Piga, A.** (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6, 9-22.
- Pincemail, J., and Defraigne, J. O.** (2004). Les antioxydants : un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène.

**Pincemail, J., Defraigne, J. O., Meurisse, M., and Limet, R.** (1998a). Antioxydants et prévention des maladies cardiovasculaires 2ème partie: la vitamine E. *Medi sphere*, 90.

**Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., and Defraigne, J.** (1998b). Mesure et utilisation des antioxydants en médecine humaine. *Médi Sphères*.

**Popovici, C., Saykova, I., and Tylkowski, B.** (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel*, 4, 25-39.

### R

**Ramadan, M. F., and Mörsel, J. T.** (2003a). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chemistry*, 82, 339-345.

**Ramadan, M. F., and Mörsel, J. T.** (2003b). Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83, 447-456.

**Rao, Y. K., Fang, S.-H., Hsieh, S.-C., Yeh, T.-H., and Tzeng, Y.-M.** (2009). The constituents of *Anisomeles indica* and their anti-inflammatory activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 121, 292-296.

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

**Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., and Hernández, H. M.** (2005). Systematic notes and a Detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.(Cactaceae). *Agrociencia*, 395-408.

**Ribéreau-Gayon, P.** (1968). "Les Composés phénoliques des végétaux," Dunod.

**Rock, E.** (2003). Stress oxydant, micronutriments et sante. *Université d'été de Nutrition Clermont-Ferrand*, 37-42.

**Rodriguez-Amaya, D. B.** (2001). "A guide to carotenoid analysis in foods," International Life Sciences Institute Press.

**Russell, C., and Felker, P.** (1987). The prickly-pears (*Opuntia spp.*, Cactaceae): A Source of Human and Animal Food in Semiarid Regions. *Economic Botany*, 41, 433-445.

### S

**Sahgal, G., Ramanathan, S., Sasidharan, S., Mordi, M. N., Ismail, S., and Mansor, S. M.** (2009). In vitro antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of methanolic *Swietenia mahagoni* seed extracts. *Molecules* **14**, 4476-4485.

**Schofield, P., Mbugua, D. M., and Pell, A. N.** (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology* **91**, 21-40.

**Schweizer, M.** (1997). "Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu," Aloe Plantes et Beauté.

**Stahl, W., and Sies, H.** (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 345-351.

**Stalikas, C. D.** (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, 30, 3268-3295.

**Stintzing, F. C., and Carle, R.** (2005). Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research*, 49, 175-194.

**Suhaj, M.** (2006). Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 531-537.

**Szymanska, R., and Kruk, J.** (2008). Tocopherol content and isomers' composition in selected plant species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46, 29-33.

### T

**Toor, R. K., and Savage, G. P.** (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38, 487-494.

**Tripoli, E., Guardia, M. L., Giammanco, S., Majo, D. D., and Giammanco, M.** (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food Chemistry*, 104, 466-479.

### V

**Vermerris, W., and Nicholson, R.** (2007). "Phenolic Compound Biochemistry," Springer.

**Voutilainen, S., Nurmi, T., Mursu, J., and Rissanen, T. H.** (2006). Carotenoids and cardiovascular health. *The American journal of clinical nutrition*, 83, 1265-1271.

### W

**Wallace, R. S., and Gibson, A. C.** (2002). Evolution and systematics. *Cacti biology and uses, PS Nobel (ed.)*. University of California Press, Berkeley, CA, 1-21.

### Z

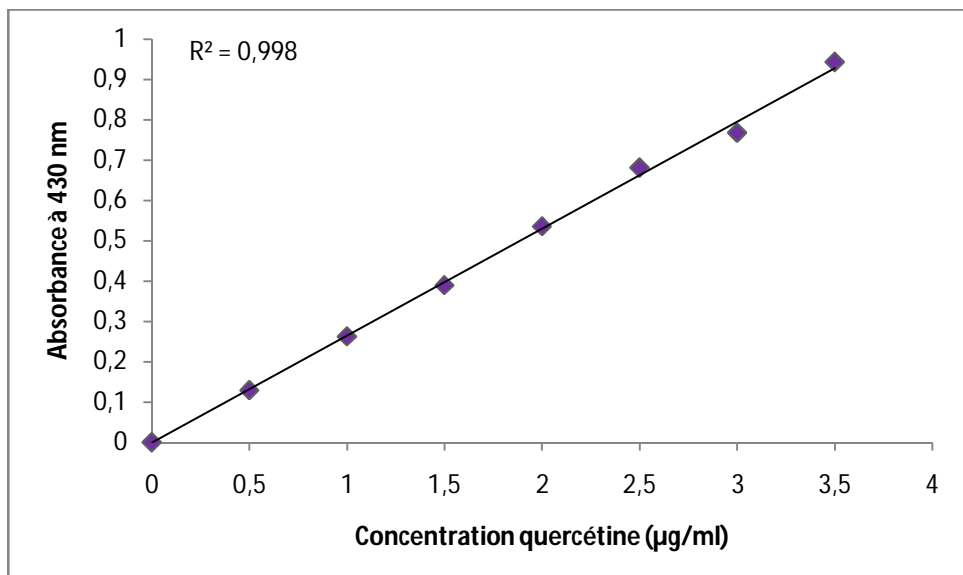
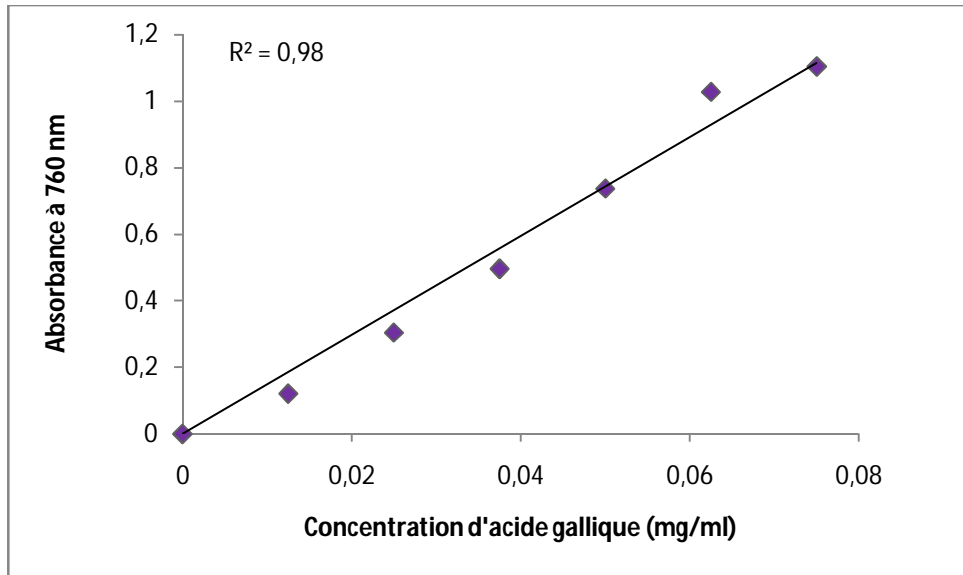
**Zimmer, N., and Cordesse, R.** (1996). Influence of tannins on the nutritive value of ruminant feed. *INRA Production Animale*, 9, 167-179.

**Annexe I : Les principales classes de composés phénoliques rencontrés chez les plantes (Marouf et Reynaud, 2007).**

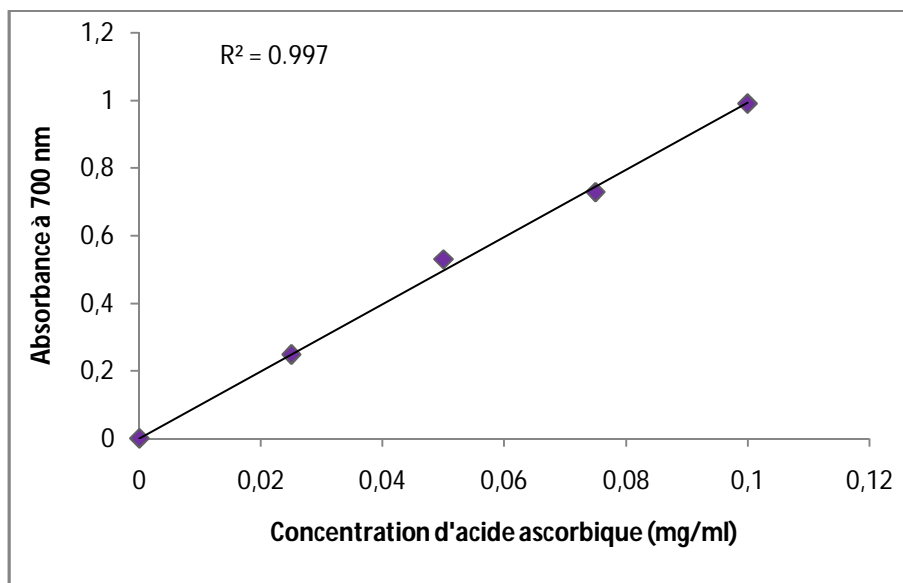
Nombre d'atomes de carbone	Structure	Classe
6	C6	Phénols Simples
7	C6-C1	Acides phénoliques
9	C6-C3	Acide Hydroxycinnamique Coumarines
10	C6-C4	Naphthoquinones
13	C6-C1-C6	Xanthones
14	C6-C2-C6	Stilbenes Anthraquinones
15	C6-C3-C6	Flavonoïdes Isoflavonoïdes
18	(C6-C3) <sub>2</sub>	Lignans
30	(C6-C3-C6) <sub>2</sub>	Biflavonoïdes
N	(C6-C3) <sub>n</sub>	Lignines
	(C6-C3-C6) <sub>n</sub>	Tannins condensés

**Annexe II: Caractéristiques physiques des trois variétés de figue de barbarie**

<b>Variétés</b>	<b>Orange</b>	<b>Verte</b>	<b>Jaune</b>
<b>Epines</b>	sans épines	sans épines	avec épines
<b>Forme</b>	Ovoïde	ovoïde	allongée
<b>Couleur</b>	Orange	vert pistache	jaune
<b>Longueur (cm)</b>	6,98±0,674	6,68±0,343	6,68±0,300
<b>Diamètre (cm)</b>	5,42 ±579	5,29±0,244	4,45±0,232
<b>Poids fruit complet (g)</b>	108,54±32,091	106,30±15,650	64,50±7,867
<b>Poids pulpe + graines (g)</b>	61,21±16,149	57,49±9,4289	37,67±5,168
<b>Taux de graines (%)</b>	5,301±0,985	4,951±0,495	7,241±1,023

**Annexe III : Les courbes d'étalonnage**





C

- A** : Courbe d'étalonnage des composés phénoliques totaux.  
**B** : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.  
**C** : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

## ***Résumé***

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des extraits des graines d'*Opuntia ficus indica*. L'étude a été réalisée sur les graines de trois variétés de la dite espèce, récoltées dans différentes régions de Bejaia. L'analyse, visait à extraire les antioxydants, suivant l'extraction solide-liquide par l'éthanol 70% (v/v), à doser ces derniers et à déterminer leurs activités antioxydante et antiradicalaire par deux méthodes (pouvoir réducteur et effet scavenger sur le DPPH•).

Les résultats des dosages des antioxydants montrent que les teneurs en composés phénoliques totaux varient de 74,07mg à 92,83mg d'EAG/100g. La variété jaune présente le meilleur rendement suivi, à niveau égal, par les deux autres orange et verte. Concernant les flavonoïdes et les tanins, la variété orange renferme des concentrations plus élevées qui sont, respectivement, 2,64mg EQ/100g et 6,61mg EC/100g. L'évaluation des activités antioxydante et antiradicalaire des extraits des trois variétés révèle des performances proches ; l'EC<sub>50</sub> pour réduire le fer ferrique est de 0.05g/ml pour l'ensemble des extraits alors que l'EA montre un effet légèrement plus important de la part des variétés jaune et verte. En ce qui concerne le piégeage du DPPH•, les variétés verte et jaune ont manifesté la plus forte capacité qui correspond à 0.26g/ml. Des corrélations linéaires entre les différentes activités étudiées et les taux de certains antioxydants (flavonoïdes, tanins) ont été notées, indiquent la participation de ces composés sur l'effet obtenu.

Les extraits de graines présentent donc un effet variété avec des propriétés qu'il faudrait prendre en considération pour d'autres éventuelles exploitations en plus de celle de l'huile.

**Mots clés :** *Opuntia ficus-indica*, graines, antioxydants, activités antioxydante et antiradicalaire.

## ***Abstract***

This work falls within the framework of the *Opuntia ficus indica* seeds valorization. The study was conducted on seeds of three varieties of the same specie, harvested from different regions of Bejaia. The analysis consisted in antioxidants extraction, following the solid-liquid extraction with ethanol 70% (v/v), their quantification and in the determination of their antioxidant and antiradical activities by two methods (reducing power and scavenger effect on DPPH•).

Results shows that total phenolic content ranged from 74.07mg to 92.83mg GAE/100g. The yellow variety has the best rate followed, at the same level, by the orange and green ones. Concerning, flavonoids and tannins, the orange variety contains higher concentrations corresponding to, respectively, 2.64mg QE/100g and 6.61mg CE/100g. Evaluation of antioxidant and antiradical activities of extracts of three varieties shows similar performance; the EC<sub>50</sub> for the reduction of ferric iron is 0.05g/ml for all extracts, whereas the EA is, slightly, more important in yellow and green seeds extracts. Regarding the scavenging of DPPH •, green and yellow varieties show the highest capacity equals to 0.26g/ml. Linear correlations between the different studied activities and some antioxidants (flavonoids, tannins) rates were noticed; indicating their participation on the obtained effect.

The seeds extracts present therefore a variety effect with properties that should be taken into consideration for possible other exploitation in addition to the oil one.

**Keywords:** *Opuntia ficus-indica*, seeds, antioxidants, antioxidant and antiradical activities.