

الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun-Tiaret
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de
la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière : "Sciences biologiques"

Spécialité : "Génétique

Moléculaire et Amélioration

Des Plantes "

Présenté et soutenu publiquement par

SMAILI Farouk Abd el rezak

TALAH Mohamed

MEDJDOUB Khadidja

Thème

**Etude de l'activité anti-oxydante et anti inflammatoire des
jeunes cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*)**

JURY:

- **Président** : M. MELIANI Kaddour MAA
- **Examineur** : Dr. MOKHFI Fatima Zohra MAA
- **Promoteur** : M. MOUSSAOUI Badr-eddine MAA

Année universitaire : 2017 - 2018



Remerciements



Tout d'abord, nous remercions "ALLAH" le tout puissant d'avoir nous donné la force, le courage et la persistance afin d'accomplir ce modeste travail.

*Nous exprimons nos profonds remerciements et nos vives reconnaissances à **M. Moussaoui Badr-eddine** pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. La qualité de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il nous a accordé, nous ont permis de réaliser le présent travail dans les meilleures conditions et de nous avoir responsabilisé du début jusqu'à la fin de notre travail.*

*Nous remercions l'ensemble des membres du jury le **Dr Mokhfi Fatima. Dr Meliani Kadour**, pour avoir accepté de juger et d'examiner ce travail.*

Nous tenons à remercier toutes les laborantins pour leur aide, leur gentillesse au quotidien et leur soutien dans les moments difficiles.

*Nos vifs remerciements s'adressent à toute l'équipe de la santé au centre algérien de cardiologie et diabétologie du **Dr Bouhaous Mohamed lamine**, et spécialement au service des analyses médicales.*

*Nos plus sincères remerciements au **Melle. Assia**, pour sa gentillesse et son aide très précieux.*

Un grand merci pour toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, essentiellement Fatima, Ikram et Nihel.

Merci infiniment.

Dédicace

Au terme de toutes ces années d'étude je dédie ce travail à :

Mes parents

A ce qui ont donnée un sens pour mon existence, qui mon soutenu jours et nuits durant tout mon parcours, a ce qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui A vous mes très chère et adorable parents.

Mes sœurs, Mes frères

Qui m'ont toujours encouragés et souhaités la réussite.

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

Tous mes amis (es) pour leur soutien, leur aide, leur présence et qui m'ont donné de la force (Farouk, Madjid, Ikram, Aicha, Fatima, Khadidja, Nihel).

Tous mes collègues de travail les biologistes (Messaouda, Nassima, Zohra), les médecines (Dr Amine Bouhaous, Dr Badaoui Soumia), les infirmières (Nawel et autres sans exception).

Talah Mohamed.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, Toute la famille SMAILLI et ABD EL HAMID,

Tous mes frères ABD ERRAHMEN, KADER et à tous Mes Sœurs.

Tous mes amis, ABDOU, MOHAMAD, OUSSAMA,

*SIDAHMAD, MAHFOUD, OMAR, Fayçal, YACINE, KHALED, et tous
mes amis sans exception.*

Tous mes enseignants durant mon cycle d'étude universitaire.

*Tous mes collègues de promotion de génétique moléculaire et amélioration des
plantes*

Sans exception.

Smaili Farouk,



Dédicace

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

*Je dédie cette mémoire à mon père, ma mère et mes frères, mes sœurs (ASSMA et
HADJIRA), A toute ma famille,*

à toutes les personnes qui ont montré de l'intérêt pour mon travail.

A celle qui est mon exemple de la réussite, que j'ai tant aimée et Respectée

FATIMA RASSLMA

Une mention particulière va à Ms MOUSSAOUI BADRALDIN,

*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 enseignant*

*A tous mes amis (es) pour leur soutien, leur aide et leur présence et qui sont
nombreux, Sans oublier IKRAM RASSLMA ma petite sœurs nous avons
partagé d'agréables moments inoubliables tout au long de notre cursus
universitaire.*

*Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants (ASSIA BOUZID)
et à toutes les Personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
travail.*

Medjdoub Khadidja



Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Table des matières	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	V
Liste des abréviations	V V
Introduction	1

Partie I : Revue bibliographique

I. Généralités sur le figuier de Barbarie	2
I.1. les cactées	2
I.2. Fiquier de Barbarie	2
I.2.1. Définition	2
I.2.2. Description morphologique	3
I.2.3. Utilisation	3
I.2.4. La culture et la récolte	5
I.3. Les cladodes du figuier de Barbarie	6
I.3.1. Morphologie	6
I.3.2. Composition chimique	6
I.3.3. Utilisations pharmaceutiques et cosmétiques	9
II. Les composés phénoliques	10
II.1. Généralités	10
II.2. Biosynthèse des composés phénoliques	10
II.3. Structure et classification	11
II.4. Effets biologiques des polyphénols	15
III. L'oxydation et l'inflammation	15
III.1. L'oxydation	15
III.1.1. Le stress oxydatif	15
III.1.2. Les radicaux libres	16
III.1.3. Les conséquences du stress oxydant	16
III.1.4. Les antioxydants	18
III.1.4.1. Les antioxydants enzymatiques	19
III.1.4.2. Les antioxydants non enzymatiques	19
III.2. L'inflammation	21
III.2.1. Définition	21
III.2.2. Les causes de l'inflammation	21
III.2.3. Les deux types de la réponse inflammatoire	21
III.2.4. Les pathologies inflammatoires et les médiateurs inflammatoires	23
III.2.5. Les anti-inflammatoires	23
III.2.5.1. Anti-inflammatoire non stéroïdiens AINS	23
III.2.5.2. Anti-inflammatoire stéroïdiens (Glucocorticoïdes) AIS	25
III.2.5.3. Anti-inflammatoires d'origine végétale	27

Partie II : Expérimentale

IV. Matériel et méthodes	28
IV.1. Objectif	28
IV.2. Lieu et durée d'étude	28
IV.3. Matériel	28
IV.3.1. Matériel végétal	28
IV.3.2. Matériel du laboratoire	28
IV.4. Méthodes	28
IV.4.1. Protocole expérimental	29
IV.4.2. Préparation et caractérisation de l'extrait des jeunes cladodes d'<i>Opuntia ficus indica</i>	30
IV.4.2.1. Extraction des polyphénols	30
IV.4.2.2. Caractérisation phytochimique de l'extrait de polyphénols	30
IV.4.2.2.A) Polyphénols totaux	30
IV.4.2.2.B) Dosage des flavonoïdes totaux	32
IV.4.2.2.C) Tanins condensés	33
IV.4.2.2.D) Dosage des flavones et flavonols	34
IV.4.2.2.E) Tanins hydrosolubles	34
IV.4.3. L'activité anti-oxydante	35
IV.4.3.1. Test DPPH	35
IV.4.3.2. Dosage du pouvoir réducteur « FRAP »	36
IV.4.3.3. Test de blanchissement de la β -carotène	37
IV.4.4. Activité anti-inflammatoire	38
IV.4.4.1. Inhibition de la dénaturation des protéines	38
IV.4.4.2. Inhibition de l'effet hémolytique sur les globules rouges	39
IV.5. Analyse statistique	40

Partie III : Résultats et discussion

V.1. Caractérisation de l'extrait polyphénoliques des jeunes cladodes du figuier de barbarie	41
V.1.1. Rendement d'extraction	41
V.1.2. Teneur en polyphénols totaux	41
V.1.3. Teneur en flavonoïdes	42
V.1.4. Teneurs en flavones et flavonols	42
V.1.5. Teneur en tanins condensés et en tanins hydrosolubles	44
V.2. L'activité antioxydante	44
V.2.1. Test anti-radicalaire (Test DPPH)	44
V.2.2. Pouvoir réducteur du fer (Test FRAP: Ferric Reducing Antioxydant Power)	46
V.2.3. Test de blanchissement de la β -carotène	49
V.3. L'activité anti inflammatoire in vitro	50
V.3.1. Activité sur la dénaturation des protéines	50
V.3.2. Evaluation de l'activité anti-hémolytique	52
Conclusion	55
Références bibliographiques	56
Résumé	66

Liste des figures

Figure 01: Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie.

Figure 02: *Opuntia ficus indica* (figuier de Barbarie).

Figure 03: La plantation du figuier de barbarie.

Figure 04: la forme Ovoïdes aplatis et les différentes longueurs des cladodes du figuier de Barbarie.

Figure 05 : Structure de base des flavonoïdes.

Figure 06 : Structures des acides A) gallique et B) éllagique.

Figure 07 : La classification des flavonoïdes.

Figure 08: Les structures des différentes classes des flavonoïdes.

Figure 09 : Schéma illustrant les molécules intervenant dans les protections cellulaires.

Figure 10: mécanisme d'action des AINS.

Figure 11 : Lieu d'échantillonnage (Theniet el had – Tissemsilet).

Figure 11: Mécanisme d'action des glucocorticoïdes.

Figure 12: Diagramme du protocole expérimental suivi.

Figure 13 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH).

Figure 14 : Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

Figure 15 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux.

Figure 16 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavones et flavonoles.

Figure 17 : Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage tanins hydrosolubles.

Figure 18 : Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage tanins condensés.

Figure 19 : La courbe de l'inhibition du DPPH en fonction de la concentration de l'extrait méthanolique des cladodes d'*Opuntia*.

Figure 20 : La courbe de l'inhibition du DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique.

Figure 21 : Evaluation de l'activité antioxydante d'extraits et acide ascorbique par la méthode FRAP.

Figure 22 : Cinétique de blanchissement du β -carotène à 490 nm.

Figure 23 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de BSA à la concentration de 250 μ g/ml.

Figure 24 : La comparaison entre effet de l'extrait méthanolique des raquettes *d'OFI*, et diclofenac sur l'inhibition de l'hémolyse des globules rouges.

Liste des tableaux

Tableau 01: classification botanique du Figuier de barbarie.

Tableau 02: Composition chimique des cladodes.

Tableau 03 : Composition en polyphénols des cladodes de l'Opuntia ficus-indica.

Tableau 04: Exemples de maladies liées à l'inflammation.

Tableau 05: Origines cellulaires et effets des principaux médiateurs impliqués dans le développement de la réaction inflammatoire.

Tableau 06: Exemples de plantes médicinales douées d'activités anti-inflammatoires.

Tableau 07: les résultats de la quantification des principaux métabolites secondaires de l'extrait des cladodes.

Tableau 08: Activité antioxydante de l'extrait d'Opuntia et de l'acide ascorbique vis à vis le radical DPPH.

Liste des abréviations

- AINS** : Anti-inflammatoire non stéroïdiens.
- AIS** : Les anti-inflammatoires stéroïdiens.
- BHT**: Butylhydroxytoluene.
- BSA**: Bovine sérum albumine.
- CAM**: Crassulacean Acid Metabolism.
- CI50** : Concentration inhibitrice 50 %.
- DPPH** : 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.
- EAT** : Equivalent Acide Tannique.
- EMeht** : Extrait méthanolique.
- ER** : Equivalent Rutine.
- FRAP**: Ferric Reducing Antioxidant Power.
- OFI**: *Opuntia ficusindica*.
- PBS** : La solution phosphate buffer saline.
- ROS** : Reactiveoxygenspecies = Espèces réactifs de l'oxygène.
- rpm** : Rotation par minute.
- SBA**: Serum Bovine Albumin.
- UV** : Ultraviolet.
- V/V** : Volume par volume.

INTRODUCTION

Introduction

Le secteur agricole joue un rôle important dans l'économie nationale. Il est constitué essentiellement de cultures vivrières comme les céréales et les légumineuses. Cependant, l'agriculture des zones arides est basée notamment sur des espèces qui résistent à la sécheresse tel le cactus.

De part son aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse, le cactus est une espèce économiquement importante qui peut être valorisée en produits agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, et peut contribuer au développement durable en milieu rural (**Arba M 2006**). La demande en consommation des produits du terroir; voir les produits susvisés, est croissante sur les marchés nationaux et internationaux, ce qui offre d'importantes opportunités pour leur commercialisation. (**Arba M 2006**).

Les jeunes cladodes "nopalitos" sont consommés en tant que légume car ils sont tendres et fibreux, riches en eau, en hydrates de carbone, en protéines, en vitamine C et en β -carotène, le précurseur de la vitamine. Leur valeur nutritive est similaire à celle d'un grand nombre de légumes feuilles, ils sont moins nutritifs que les épinards et plus nutritifs que la laitue. (**Rodriguez Felix et Cantwell, 1988; Cantwell, 1991**).

Afin de mettre en valeur le Figuier de Barbarie, nous sommes orientés vers sa partie la plus méconnue localement, les cladodes au stade jeune consommées largement comme légume au Mexique. De ce fait, cette étude a été initiée sur l'extrait des jeunes cladodes de la variété inerme de la région de Tissemsilt, dans un but de constituer une solide base scientifique aux industriels qui veulent investir dans ce domaine et fera l'objet de création d'entreprises et d'emplois.

Ce présent travail est composé de deux grandes parties :

- La première partie recueille les données théoriques sur *l'Opuntia Ficus indica*, les polyphénols et le phénomène d'oxydation.
- La deuxième partie, la partie pratique, s'intéresse à l'extraction et la caractérisation des polyphénols des jeunes nopales; suivie d'une série d'analyses sur leurs activités anti-oxydantes et anti-inflammatoires.

I. Généralités sur le figuier de Barbarie

I.1. les cactées:

La famille des cactées appartient aux plantes grasses, capables de survivre sur leurs réserves durant une période de sécheresse temporaire, grâce à un système de stockage de l'eau dans leurs tiges, leurs feuilles ou leurs racines qui sont très charnues. D'autres évolutions plus importantes ont permis d'augmenter les réserves d'eau en réduisant l'évaporation d'eau (**Mace, 2003**).

Selon les botanistes, toutes les cactées seraient originaires D'Amérique. Ils affirment qu'avant Christophe Colomb, on n'en connaissait aucune dans l'Ancien Monde mais que ces singuliers végétaux aux formes bizarres furent parmi les toutes premières plantes que les explorateurs rapportèrent du Nouveau Monde. L'hypothèse des auteurs grecs et romains, qui prétend que notre cactus était connu dès l'antiquité est aujourd'hui totalement rejetée (**Schweizer, 1997**).

Les cactées ont des formes diverses, allant de plantes miniatures jusqu'à de grands arbres atteignant près de 25 m de hauteur. Cependant à l'exception du genre *Preskia* et des genres proches qui ont des feuilles normales, des aiguillons et une structure un peu élémentaire pour les fleurs et les fruits, tous les autres genres sont très similaires. Ces autres genres sont pratiquement dépourvus de feuilles, les processus de photosynthèse se produisant en revanche dans des tiges vertes charnues (**Lamb, 1991**).

I.2. Figuier de Barbarie

I.2.1. Définition:

La figuier de barbarie est un cactacée originaire des régions arides et semi-aride du Mexique, il a été introduit en Afrique du nord vers le 16ème siècle (**EL Kossori et al., 1998**).

Nopal est le nom mexicain, d'origine aztèque de notre Figuier de Barbarie. La plante peut porter un nom différent selon l'idiome local: (Nopallito ,Tuna , Higos de pala),(Ficodeindia) et (Barbaryfig , Devil tongue) en Espagne, Italie et Angleterre; (Chardon des indes , figuier de francs) chez les grecs, et (Karrous en N'sarra , El-tin-el-choki) est la baptismation des arabes (**Schweizer, 1997**).

De nombreux auteurs ont élaboré la Classification botanique d'*Opuntia ficus indica* (**Wallace et Gibson, 2002**).

Tableau 01: classification botanique du Figuier de barbarie.

Règne	Végétal (plantes vasculaire)
Embranchement	Phanérogames
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Dialypétales
Ordre	Caryophyllacées
Famille	Cactacées
Genre	Opuntia
Espèce	Opuntia ficus indica

I.2.2. Description morphologique

C'est une plante arborescente, érigée, rameuse et xérophile, haute de 2 à 6 m, son tronc ligneux, est formé par les vieux articles (raquettes) qui en se desséchant, perdent peu à peu leur forme ovale pour devenir cylindriques. L'Opuntia se plaît dans les sols calcaires et les climats semi-arides avec des températures de 18 à 30 °C (**Schweizer, 1997**).

La tige de l'Opuntia est formée d'articles ovales, charnus et aplatis, de couleur verte, communément appelés "raquettes" dont la surface est parsemée d'alvéoles (**Schweizer, 1997**).

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

Le figuier de Barbarie donne des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs apparaissent sur le dessus des raquettes, larges de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Ces fleurs sont comestibles (**Revue nature et santé, 2011**).

Ce fruit a une chair d'une couleur variant du jaune clair au rouge violacé et dont le goût se révèle délicieux et subtil, ses graines (**Revue nature et santé, 2011**).

I.2.3. Utilisation

On assiste actuellement à un intérêt croissant pour l'exploitation de l'Opuntia ficus indica dans le domaine alimentaires, et médical:

I.2.3.A. Médicales

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

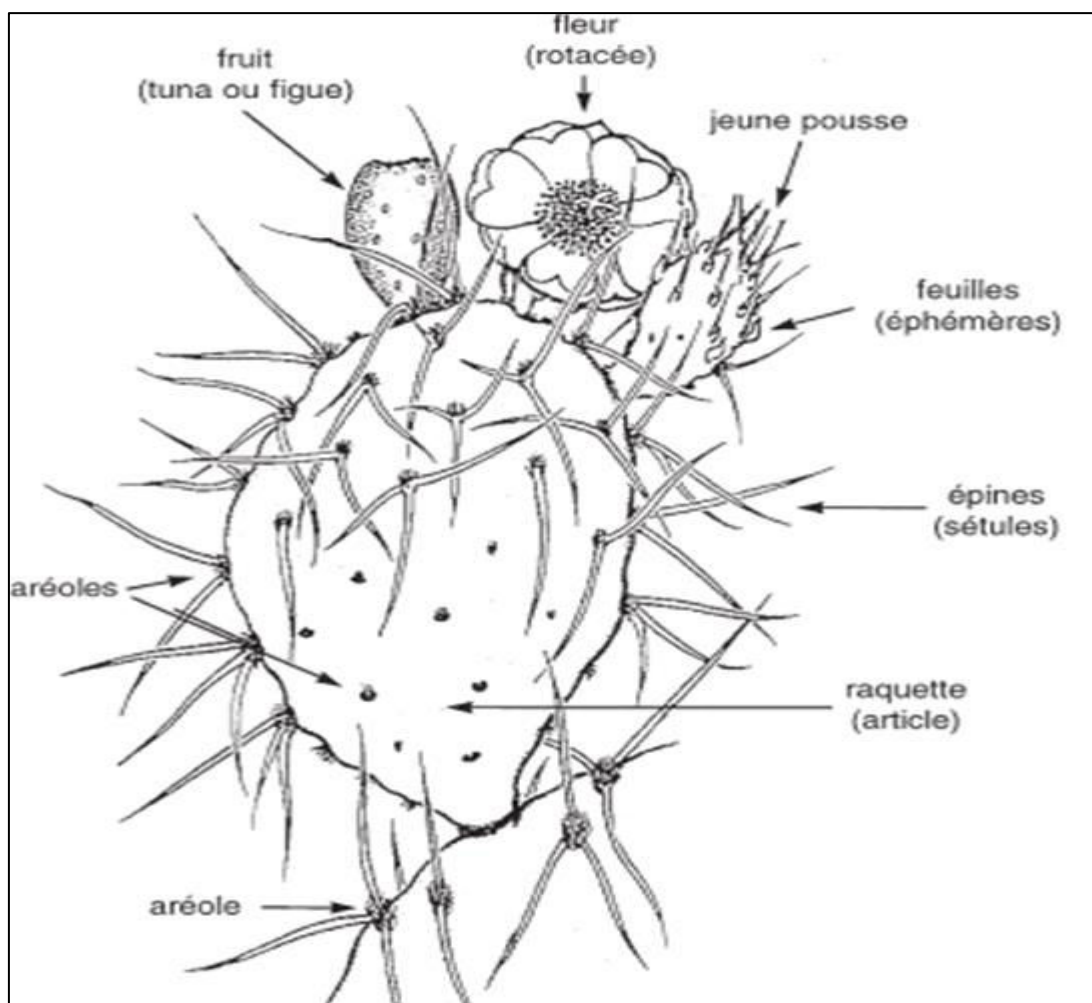


Figure 01: Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie (Schweizer, 1997).



Figure 02: *Opuntia ficus indica* (figuier de Barbarie) (Collin *et al.*, 2011).

efficacement contre quelques-unes des affections les plus graves de notre temps : l'angoisse, l'artériosclérose, le cholestérol, le diabète, l'obésité, la spasmophilie, le stress (**Schweizer, 1997**).

Donc, il est utilisé en tant que anti-inflammatoire, antiviral, antibactérien, antioxydant, anti-ulcère, cicatrisant (**Brahmi et al., 2011**).

I.2.3.B. Alimentaire

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**).

Par ailleurs, l'introduction des cladodes de l'OFI dans un régime alimentaire présente des effets bénéfiques sur le taux de cholestérol, sur la glycémie et les lipoprotéines dans le sang. L'extrait alcoolique et aqueux de cladodes de figuier de Barbarie présente des propriétés antioxydants et anti-inflammatoires (**Park et al., 1998**).

I.2.4. La culture et la récolte:

La période de plantation du cactus varie avec la latitude et les conditions environnementales. Deux époques sont considérées:

- L'automne : de septembre à novembre pour les régions à hivers doux et de septembre à octobre dans les régions à hivers frais.
- Le printemps : pendant les mois de février, mars et avril dans les zones à hivers doux et pendant le mois d'avril et mai dans les régions à hivers frais.

La plantation se fait soit par des raquettes simples (une seule raquette) ou doubles (raquette terminale fixée sur une raquette subterminale). Cette dernière présente l'avantage d'assurer une entrée plus rapide en production de ces raquettes par rapport aux raquettes simples. Néanmoins, la multiplication du figuier de barbarie par bouturage est le mode le plus simple et le plus courant.

La saison de récolte des figues de barbarie varie selon le cultivar et le lieu de production. Afin d'avoir l'optimum de la qualité du fruit, les fruits colorés nécessitent d'être récoltés quand elles atteignent au moins 50% de leur couleur finale. La récolte est manuelle, en faisant attentivement une rotation du fruit permettant de séparer ce dernier du cladode, ou en coupant au niveau de l'articulation.

I.3. Les cladodes du figuier de Barbarie:

I.3.1. Morphologie

Les raquettes (tiges modifiées) de cactus ou cladodes, sont les termes corrects, synonyme de «Nopales ».À une forme Ovoïdes aplatis avec une couleur verte mate, la longueur entre 15 et 25 cm et la largeur entre 9 et 13 cm. Ce dernier est recouvert d'épines (feuilles modifiées) et poils ou trichomes multicellulaires, qui forment l'aréole et qui est une caractéristique des membres de la famille des cactacées (Anderson, 2001).

Les épines mesurent 1 à 3 cm de longueur et forment 8,4% du poids total de la cladode. Leurs fonctions comprennent la protection mécanique face aux herbivores, la réflexion de la lumière, l'ombre pour la tige, et donc permettent la réduction de la perte en eau ainsi que la condensation du brouillard (Anderson, 2001).

I.3.2. Composition chimique

La composition chimique des cladodes est reportée dans le **Tableau 02**. Ils contiennent une quantité importante de matière minérale (19,6%), principalement constituée d'oxalate de calcium, ainsi que de graisses et de cires (7,2%). Le taux de lignine est faible (3,6%) et les polysaccharides sont les constituants majoritaires (46,1%), la cellulose représentant à elle seule 17,5%.

Les épines sont constituées majoritairement de polysaccharides (96%), la cellulose représentant à elle seule 61,8% (Malainine *et al.*, 2001).

Tableau 02: Composition chimique des cladodes (Malainine *et al.*, 2001).

Constituant	Cladodes (% en poids sec)
Cendres	19,6
Graisses et cires	7,2
Lignine Klason	3,6
Cellulose	17,5
Autres polysaccharides	28,6



Figure 03: La plantation du figuier de barbarie (J. Pacd, 2003).

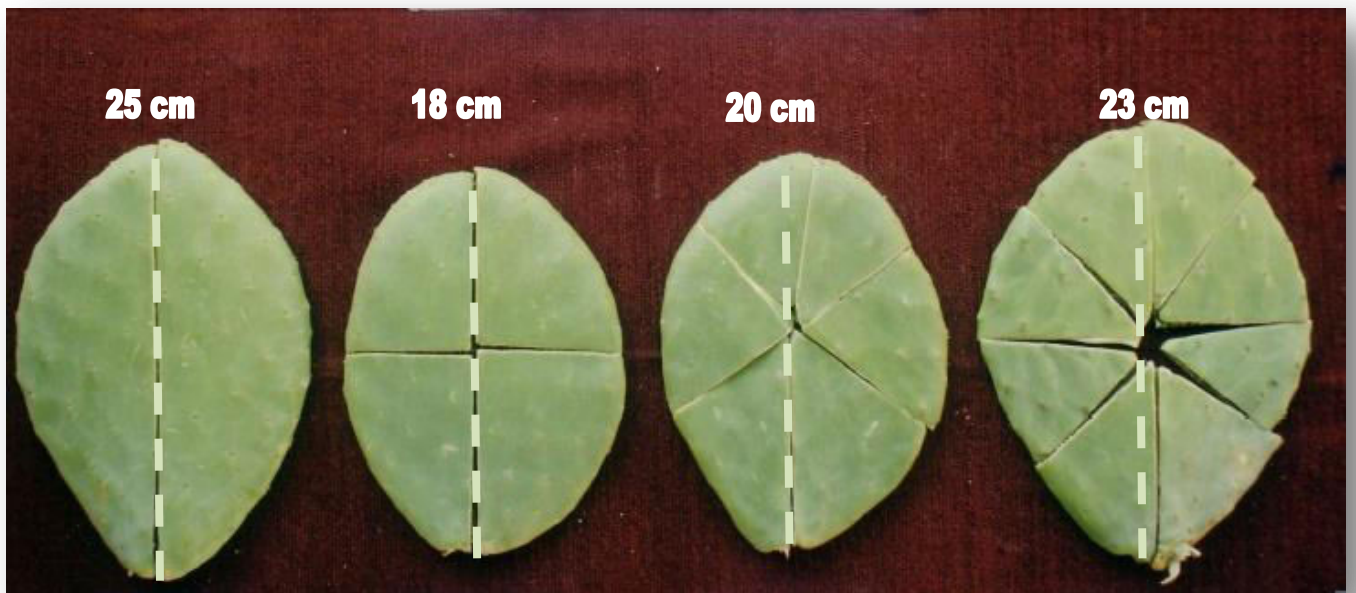


Figure 04: la forme Ovoïdes aplatisetles différentes longueurs des cladodes du figuier de Barbarie (J. Pacd, 2003).

I.3.2.a) Minéraux

Le potassium est le principal minéral, suivie par le calcium, sodium et le fer tandis que le magnésium n'a pas été détecté (**Munoz de chaves *et al.*, 1995**). Ces composants doivent être considérées comme approximatifs puisque les teneurs en minéraux varient avec les espèces, le site de culture et l'état physiologique du tissu de cladode (**Stintzing and Carle, 2005**).

I.3.2.b) Glucides

Les jeunes cladodes sont plus riches en glucides dont constitue un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes, avec une prédominance du glucose, galactose et arabinose. Ces variations sont attribuées à l'âge de la cladode et les facteurs agronomiques et environnementaux (**Ginestra *et al.*, 2009**).

I.3.2.c) Acides organiques

L'acide malique et l'acide citrique représentent respectivement 985 et 178 mg /100g de poids frais, alors que l'acide tartrique et succinique ont été trouvés seulement en état de traces. Les cladodes âgées ne contiennent plus d'acide malonique. (**Teles *et al.*, 1984**).

Les deux acides horbique et piscidique sont rarement rencontrés dans la nature et restent limités aux plantes présentant un métabolisme acide succulent (CAM) (**Teles *et al.*, 1984**).

I.3.2.d) Acides aminés:

Les cladodes du figuier de Barbarie contiennent 18 acides aminés, dont les proportions les plus élevées sont notées pour la glutamine et la sérine avec 17,3 et 3,2 mg/100g (**Bruckner *et al.*, 2003**).

I.3.2.e) Acides gras

Les analyses chromatographiques des lipides totaux des extraits de cladodes, montrent que quatre acides gras représentent plus de 90% des acides gras totaux : linoléique, oléique, linoléique et l'acide palmitique (**Abidi *et al.*, 2009**).

I.3.2.f) Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles

La vitamine C (acide ascorbique), β -carotène, thiamine, riboflavine et niacine sont retrouvés dans la fraction lipidique de cladode de la figue de barbarie (**Stintzing and Carle, 2005**).

En ce qui concerne le profil des caroténoïdes, il y'a présence d' α -cryptoxanthine (20%), du β -carotène (36%) et de la lutéine (44%) sachant que le tout englobe une somme de 229 $\mu\text{g/g}$ de poids sec total (Jaramillo Flores *et al.*, 2003).

I.3.2.g) Composés phénoliques:

Les acides phénoliques détectés dans les raquettes sont (acide ferulique, acide p-Coumarique, acide 4-Hydroxybenzoïque, acide caféique, acide salicylique, acide gallique), quant aux flavonoïdes présents, on cite (rutine, iso-quercitrine, nicotiflorine, narcissine) (Guevara Figueroa *et al.*, 2010).

Tableau 03 : Composition en polyphénols des cladodes de *Opuntia ficus-indica* (El Mostafa *et al.*, 2014).

Polyphénols	Matière sèche (mg / 100 mg)
Acide gallique	0,64-2,37
Coumarique	14,08-16,18
3,4- dihydroxybenzoïque	0,06-5,02
4-hydroxybenzoïque	0,5-4,72
Acide ferulique	0.56-34,77
Isoquercetine	2,29-39,67
Isorhamnetin-3-O-glucoside	4,59-32,21
Nicotiflorine	2,89-146,5
Rutine	2,36-26,17
Narcissine	14,69-137,1

I.3.3. Utilisations pharmaceutiques et cosmétiques:

En plus de la valorisation des raquettes dans l'alimentation du bétail et des jeunes cladodes dans l'alimentation de l'homme, le mucilage des raquettes est utilisé dans la fabrication des champoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants (Pimienta Barrios, 1994).

La poudre séchée des raquettes ou poudre de nopal a également un effet sur le contrôle de la cholestérolémie, en plus d'un effet amincissant et anti-glycémique (**Fernandez *et al.*, 1994; Roman Ramos *et al.*, 1995**).

L'analyse texturale a prouvé que le mucilage du figuier de barbarie pourrait avoir un effet protecteur sur les fraises, reflétés par la grande fermeté des échantillons enduits pendant le stockage, qui pourrait réduire des pertes économiques dues à la détérioration produite à partir des dommages mécaniques pendant la manipulation et le transport (**Del Vall *et al.*, 2005**).

II. les composés phénoliques:

II.1. Généralités:

Le terme « polyphénols » est fréquemment utilisé pour désigner l'ensemble des composés phénolique des végétaux. En fait, il devrait être réservé aux seules molécules présentant plusieurs fonctions phénols (**Jean Jacques, 2005**).

La structure fondamentale comprend au moins un noyau benzénique auquel il est directement lié au moins à un groupe hydroxyle, libre ou lié à une autre fonction : éther, ester, hétéroside (**Bruneton, 2009**).

La structure des composés phénoliques naturels varie depuis les molécules simples (acides phénoliques simples) vers les molécules les plus hautement polymérisées (tanins condensés). Avec plus de 8000 structures phénoliques identifiées, Ils font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (**Urquiaga et Leighton, 2000; Martin et Andriantsitohaina, 2002; Macheix *et al.*, 2005**).

On trouve les polyphénols aujourd'hui aussi bien dans les aliments courants; type chocolat, vin, raisin, pomme, thé et légumes divers, que dans les compléments alimentaires ou les produits cosmétiques où ils sont utilisés pour leurs propriétés Physiologiques. Ils sont également employés pour conserver, aromatiser ou colorer les aliments.

II.2. Biosynthèse des composés phénoliques

Les polyphénols sont synthétisés par de deux voies biosynthétiques

- **La voie de shikimate** : C'est souvent la voie de biosynthèse des composés aromatiques à partir des acides aminés aromatiques : la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane, qui donnent le précurseur immédiat des phénols. Elle joue un rôle critique pour contrôler le

métabolisme de la voie de phénylpropanoïde (**Kening *et al.*, 1995 ; Richard *et al.*, 1995; Floss, 1997; Ghasemzadeh et Ghasemzadeh, 2001**).

- **La voie de phénylpropanoïde** : commence par la phénylalanine qui fournit en plus des principaux acides phénoliques simples, les isoflavonoïdes, les flavonoïdes, l'acide salicylique et des précurseurs de lignine (**Hoffmann *et al.*, 2004**).

II.3. Structure et classification

Les polyphénols regroupent une grande famille de composés élaborés à partir d'une unité de phénylpropanoïde, et représentent un des groupes les plus importants distribués dans les végétaux (**Collin *et al.*, 2011**).

Les polyphénols sont répartis en deux classes majeures: les flavonoïdes et les non flavonoïdes

II.3.1. Les flavonoïdes (C6-C3-C6):

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

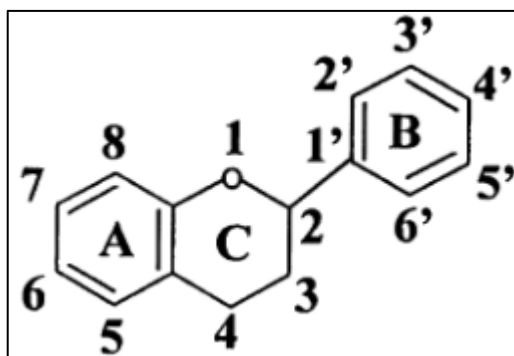


Figure 05 : Structure de base des flavonoïdes (**Chabaane *et al.*, 2011**).

Les flavonoïdes ont une structure générale en C₁₅(C₆-C₃-C₆), auquel 2 noyaux aromatiques sont reliés par un hétérocycle oxygéné. Ils comprennent plusieurs milliers de molécules regroupées en plus de dix classes ayant une très grande importance biologique et technologique, dont les anthocyanidines "pigments rouges ou bleus", flavonoles; isoflavonoles; flavones; isoflavones; flavanes "dont les produits de condensation sont à l'origine des tannins"; isoflavanes; flavanols ;isoflavanols; flavanones; isoflavanones; aurones et les tanins (**Havsteen, 2002 ; Edenharder et Grünhage, 2003; Jean Jacques, 2005**).

Les principales familles sont:

II.3.2. Flavonols:

Ce sont les flavonoïdes les plus abondants dans l'alimentation, ils sont formés par un hétérocycle saturé avec un groupe hydroxyle en position 4. Les composés les plus représentatifs de cette famille sont le kaempferol et la quercétine. Cette dernière est connue pour posséder un très fort pouvoir antioxydant en raison de sa structure chimique favorable au piégeage des radicaux libres (Manach *et al.*, 2004).

II.3.3. Les flavones:

Les flavones sont structurellement très proches des flavonols, la différence provenant de l'absence de l'hydroxyle en C3 (Chira *et al.*, 2008).

II.3.4. Les isoflavones:

Les isoflavones ont des similitudes structurales avec les oestrogènes, à savoir des groupes hydroxyles dans les positions C7 et C4, comme molécule d'oestradiol. Les isoflavones sont contenues presque exclusivement dans les légumineuses (Tapas *et al.*, 2008; D'Archivio *et al.*, 2007).

II.3.5. Flavanones

Les flavanones et les dihydroflavonols, moins fréquents que leurs homologues insaturés rassemblant les flavones et flavonols, sont caractérisés par l'absence de la double liaison C2-C3 et par la présence de centres d'asymétrie. Leurs variations structurales sont de même nature que celles décrites pour les flavones et les flavonols.

Les dihydroflavonols se distinguent des flavanones par l'hydroxylation de la position C-3.

II.3.6. Les anthocyanes:

Les anthocyanes sont des pigments colorés responsables de la pigmentation des fleurs, des fruits et des grains, possédant une structure de base à trois cycles aromatiques et qui porte plusieurs fonctions hydroxyles dont l'une est glycosylée par des différents oses. Ils jouent un rôle important dans la physiologie végétale comme attracteurs des insectes dans la dispersion des grains (Samouelian *et al.*, 2003; 2009; Valls *et al.*, 2009; Shipp *et al.*, 2010).

II.3.7. Les formes condensées:

Ces composés résultent généralement de condensation de certaines des formes simples précédemment évoquées, selon la nature des constituants impliqués et selon le type de condensation, on obtient des composés plus au moins complexes pouvant encore présenter une hydrosolubilité suffisante pour être présents dans la vacuole (tannins, certains produits de brunissement) ou au contraire acquérir un caractère lipophile marqué et s'accumuler alors dans les structures pariétales (lignine, forme présentes dans la cutine et la subérine ,,) (Jean Jacques, 2005).

II.3.7.A) Les tanins

On distingue deux grands groupes de tannins : les tannins hydrolysables et les tannins condensés (Jean Jacques, 2005):

✓ Les tannins hydrolysables

Ils sont abondants chez les dicotylédones et certains arbres en sont des sources industrielles (Jean Jacques, 2005). Les tannins hydrolysables sont des molécules complexes qui font intervenir des liaisons de type ester, qui 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 (Ribereau Gayon, 1968 ; Bennick, 2002).

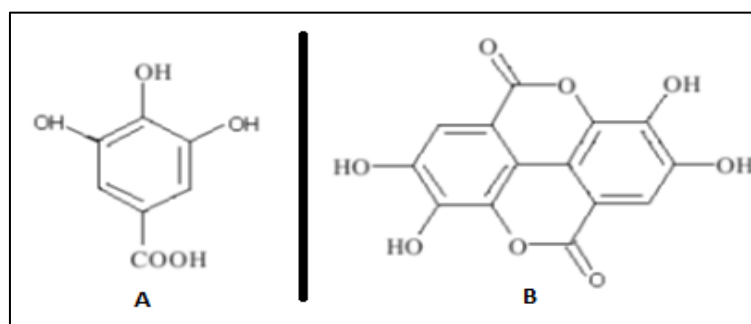


Figure 06 : Structures des acides A) gallique et B) éllagique (Chabaane *et al.*, 2011).

✓ Les tannins condensés

Ce sont les tanins catéchiques, oligomères et polymères d'aglycones polyphénols flavaniques (unités flavan-3-ols), non hydrolysables et de couleur rouge foncé. Ils sont encore appelés proanthocyanidols, car ils conduisent en milieu acide et à chaud à des anthocyanidols (Bruneton J, 2009).

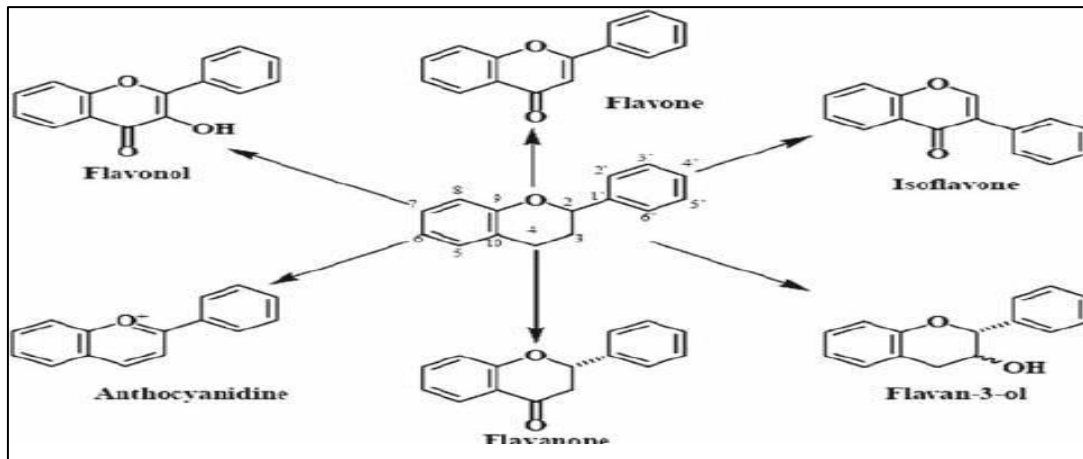


Figure 07 : La classification des flavonoïdes (Havsteen, 2002).

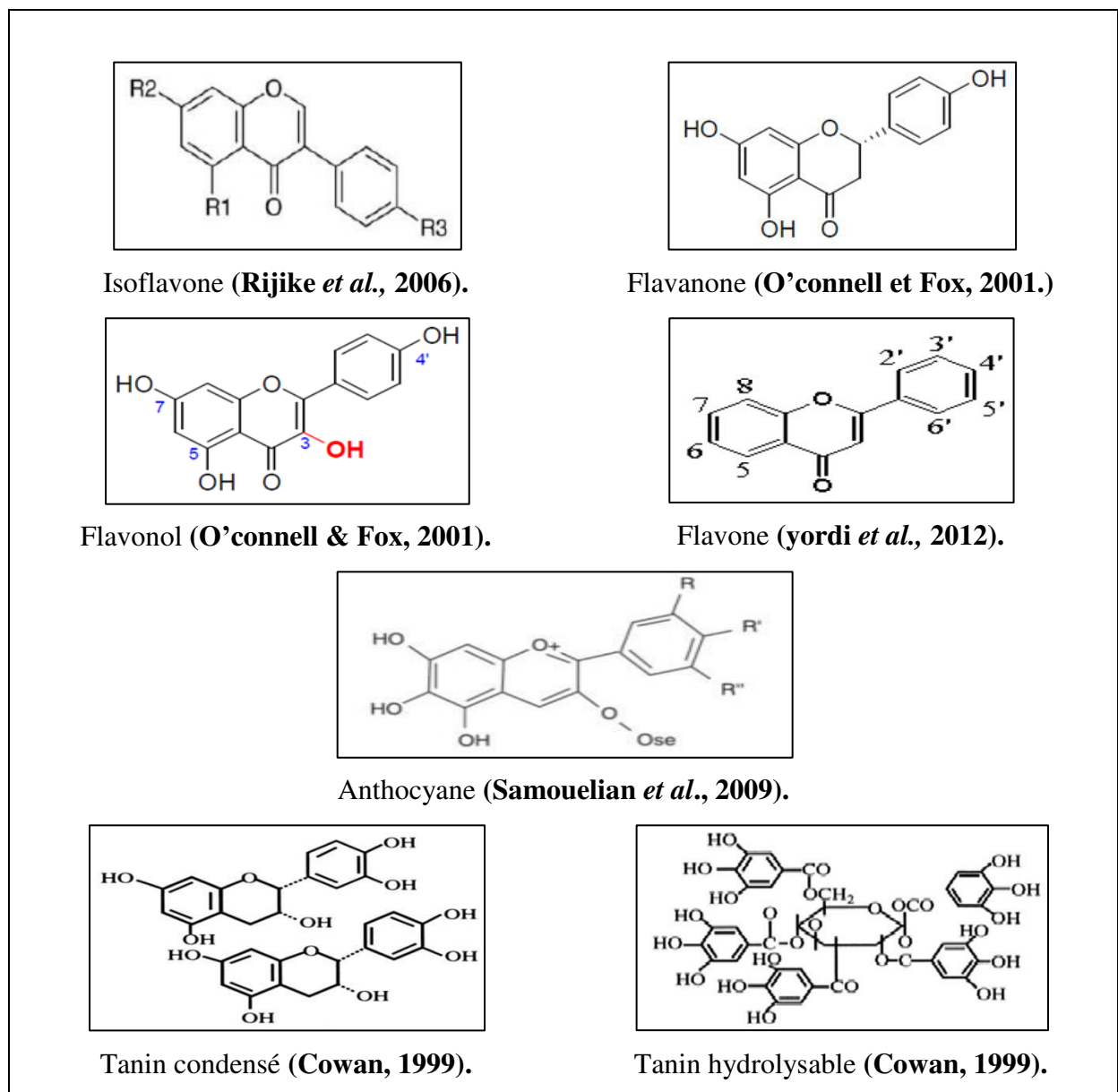


Figure 08: Les structures des différentes classes des flavonoïdes.

II.3.2. Les non flavonoïdes:

On cite les groupes suivants:

- Les phénols simples (C6): un seul noyau phénol comme pour les acides phénoliques (C6–C1).
- Les stilbènes (C6–C2–C6).
- Les lignanes, les lignines et les coumestanes : 2 unités de phénylpropane.

II.4. Effets biologiques des polyphénols

Les polyphénols sont associés à de nombreux processus physiologiques impliqués lorsque la plante est soumise à des blessures mécaniques, et corrélées à la capacité d'une espèce végétale à résister à l'attaque des insectes et des microorganismes (**Bahorun, 1997**).

Ces composés montrent des activités anti-carcinogènes, antioxydantes et anti-inflammatoires, antiathérogènes, anti-thrombotiques et vasodilatateurs, analgésiques, antibactériens, antiviraux et anti-allergènes (**Babar Ali et al., 2007**).

Les composés polyphénoliques sont d'ailleurs de plus en plus utilisés en thérapeutique. Ils sont regroupés dans la catégorie des veino-toniques et des vasculo-protecteurs (**Martin et Andriantsitohaina, 2002**)

III. L'oxydation et l'inflammation:

III.1. L'oxydation:

III.1.1. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif (ou stress oxydant) est un type d'agression des constituants de la cellule dû aux espèces réactives oxygénées "ERO" et aux espèces réactives azotées oxydantes qui vont s'attaquer aux membranes cellulaires, aux protéines et à l'ADN (**Peltier et al., 2004**).

Dans des conditions pathologiques ou provoquées par des facteurs exogènes, une surproduction de ces réactifs est possible. Les défenses antioxydantes, dont une partie est dépendante de l'alimentation, peuvent être insuffisantes pour empêcher les dégâts cellulaires que peuvent causer les radicaux libres de l'oxygène (**Valko et al., 2007**).

III.1.2. Les radicaux libres:

Un radical libre est une espèce chimique (atome ou molécule) contenant un électron non apparié. Ce déséquilibre n'est que transitoire et est comblé par l'acceptation d'un autre électron ou par le transfert de cet électron libre sur une autre molécule (**Afonso *et al.*, 2007**).

Les espèces réactives de l'oxygène (**ROS** en anglais) sont une famille d'entités chimiques regroupant les radicaux libres oxygénés [anion superoxyde ($O_2\bullet^-$), radical hydroxyle ($HO\bullet$), monoxyde d'azote ($NO\bullet$) ...] et les dérivés non radicalaires dont la toxicité est importante [anion peroxyde (O_2^{2-}), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), peroxydinitrite ($ONOO^-$)] (**Novelli, 1997**).

Par ailleurs, tous les radicaux libres ne sont pas des dérivés de l'oxygène, par exemple le monoxyde d'azote (NO) est un radical libre dérivé de l'azote (**Bonnefont *et al.*, 2003**).

Nos cellules et tissus peuvent être soumis à une grande variété d'agression physiques (traumatisme, irradiation, hyper ou hypothermie), chimiques (acidose, toxines) et métaboliques (exposition à des xénobiotiques, privation d'un facteur hormonal ou facteur de croissance). La plupart de ces agressions débouchent sur une expression commune appelée stress oxydant, dû à l'exagération d'un phénomène physiologique, normalement très contrôlé, la production de radicaux dérivés de l'oxygène (**Walker *et al.*, 1982**).

Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer un ensemble restreint de composés radicalaires qui jouent un rôle particulier en physiologie et que nous appellerons radicaux primaires. Les autres radicaux libres, dits radicaux secondaires, se forment par réaction de ces radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule tels que lipides, protéines, glucides... (**Favier, 2003**).

Selon **Belyagoubi, (2011)**, plusieurs mécanismes et systèmes responsables de la production de radicaux libre ont été identifiés jusqu'à présent, parmi ceux-ci nous citons:

- Des fuites d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie.
- Des processus inflammatoires produits par les cellules phagocytaires activées.
- Du système xanthine déshydrogénase/oxydase activée lors d'ischémie/perfusion.
- Exposition à des agressions de l'environnement, comme les agents infectieux, la pollution, les UV et la fumée de cigarette.

III.1.3. Les conséquences du stress oxydant:

A des concentrations élevées, les ROS peuvent être d'importants médiateurs de dommages aux structures cellulaires, lipides, protéines et acides nucléiques (**Valko *et al.*, 2007**).

III.1.3.A) Effet sur les acides nucléiques:

Les modifications permanentes du matériel génétique résultant de ces dommages oxydatifs représente la première étape impliquée dans la mutagenèse, la carcinogenèse et le vieillissement (Valko *et al.*, 2007).

III.1.3.B) Effet sur les lipides:

L'attaque des radicaux libres au sein des doubles liaisons lipidiques membranaires, induit des processus de peroxydations en cascade aboutissant à la désorganisation complète de la membrane, altérant de ce fait ses fonctions d'échange, de barrière et d'information (Koechlin Ramonatxo, 2006).

Les acides gras polyinsaturés sont les cibles privilégiées des ROS. Plus l'acide gras est insaturé et plus il est susceptible d'être peroxydé.

Il s'agit d'un enchaînement de réactions radicalaires organisées en trois phases successives (Halliwell et Gutteridge, 1990):

- **La phase d'initiation** consiste en la création d'un radical d'acide gras (L•) à partir d'un acide gras (LH) par soustraction d'un atome d'hydrogène.
- Il réagit avec une molécule d'O₂ pour former un radical peroxyde (LOO•), qui arrache à nouveau, un hydrogène à un acide gras polyinsaturé voisin, *c'est La propagation*. Chaque radical L• peut être à l'origine d'une centaine de molécules d'hydroperoxyde.
- **A la phase de terminaison**, l'hydroperoxyde lipidique (LOOH) formé peut être; soit oxydé en présence de métaux Fe²⁺ ou Cu²⁺ et entraîner la formation de composés toxiques, soit se transformer en composé stable par association à d'autres radicaux libres, ou avec une molécule antioxydante (Delattre *et al.*, 2005).

III.1.3.C) Effet sur les protéines:

Les modifications oxydatives des protéines par les ROS sont fréquemment influencées par les cations métalliques comme le Fe²⁺ ou le Cu²⁺, et provoquent d'une part, des coupures des liaisons peptidiques et modification de la chaîne peptidique, et d'autre part, les modifications des peptides par addition de produits issus de la peroxydation lipidique. De telles modifications conduisent généralement à une perte de fonction catalytique ou structurale des protéines affectées et

deviennent généralement plus sensibles à l'action des protéases et sont donc éliminées. (Valko *et al.*, 2007).

Le stress oxydant sera la principale cause initiale de plusieurs maladies : cancer, cataracte, sclérose latérale amyotrophique, syndrome de détresse respiratoire aigu, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré et aussi un des facteurs potentialisant l'apparition de maladies plurifactorielles tel que le diabète, la maladie d'Alzheimer, les rhumatismes et les maladies cardiovasculaires (Favier, 2003).

Mécanismes d'action des antioxydants

III.1.4. les antioxydants:

Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme et permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques de ROS. Notre organisme réagit donc de façon constante à cette production permanente de radicaux libres et on distingue au niveau des cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule (Favier, 2003).

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulier, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la chélation des métaux de transition (Favier, 2006).

III.1.4.1. Les antioxydants enzymatiques:

Les antioxydants enzymatiques constituent la première barrière de cette défense antioxydante, qui est constituée de trois métallo-enzymes essentielles: les supers oxydes dismutases, la catalase et les glutathions peroxydases. Leurs activités et leurs localisations dans la cellule sont complémentaires et assurent l'élimination des anions super oxydes et du peroxyde d'hydrogène dans tous les compartiments intracellulaires (Cano *et al.*, 2007).

A) Super oxyde dismutase (SOD):

C'est une métalloprotéine qui catalyse la dismutation du super oxyde en oxygène et peroxyde d'hydrogène. Ce dernier pourra être pris en charge par des enzymes à activité peroxydase (Valko *et al.*, 2007).

B) Catalase:

Elle catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en H₂O et O₂ empêchant ainsi la formation de radical hydroxyl (**Ferradji, 2011**).

C) Glutathions peroxydases (GSH):

Elle assure la transformation des hydroperoxydes organiques, lipidiques notamment, de type LOOH en LOH (**Ferradji, 2011**).

III.1.4.2. Les antioxydants non enzymatiques

A) Les antioxydants non-enzymatiques endogènes:

Cette classe regroupe des composés endogènes de faible poids moléculaire qui peuvent être soit des produit de synthèse (glutathion) ou issus du métabolisme cellulaire (acide urique) (**Kohen et Nyska, 2002**).

Des protéines telles que la ferritine, la ceruloplasmine et l'albumine contribuent à leur tour dans la défense antioxydante secondaire en chélatant les métaux de transition permettant ainsi de prévenir la formation du radical hydroxyle (**Martinez-Cayuela, 1995**).

A) Les antioxydants non-enzymatiques exogènes:

Ils sont apportés par l'alimentation avec les produits végétaux riches en vitamines E et C, caroténoïdes et composés phénoliques (**Rock, 2003 ; Pincemail et Defraïque, 2004**).

- **La vitamine E:**

l' α -tocophérol, connu comme inhibiteur de la propagation de la peroxydation lipidique, cède son hydrogène situé dans le noyau phénolique, réduisant ainsi le radical RO²⁻ (**Singh et al., 2005**).

- **La vitamine C:**

Elle empêche l'oxydation des LDL produites par divers systèmes générateurs d'espèces réactives de l'oxygène (**Singh et al., 2005**).

- **Antioxydants phénoliques:**

La propriété antioxydante des flavonoïdes la mieux décrite est leur capacité à piéger le

radical libres : radical hydroxyle, l'anion super oxyde et les radicaux peroxydes. Les flavonoïdes inactivent et stabilisent les radicaux libres grâce à leur groupement hydroxyle (C3OH) fortement réactif (Ghedira, 2005).

- **Sélénium:**

Le sélénium est un constituant de la glutathion peroxydase, enzyme qui joue un rôle intracellulaire antioxydant capital dans la détoxification des radicaux libres produits par le métabolisme cellulaire. Cet effet de détoxification serait responsable des effets anti-cancéreux et anti-âge, attribués au sélénium (Chia-Fung *et al.*, 1995).

- **Zinc:**

Cet oligo-élément est l'un des cofacteurs essentiels de la SOD. Le zinc conduit à l'induction de protéines antioxydantes, il protège les groupements thiols des protéines, et inhibe partiellement les réaction de formation des ROS induites par le fer ou le cuivre (Parma *et al.*, 2004).

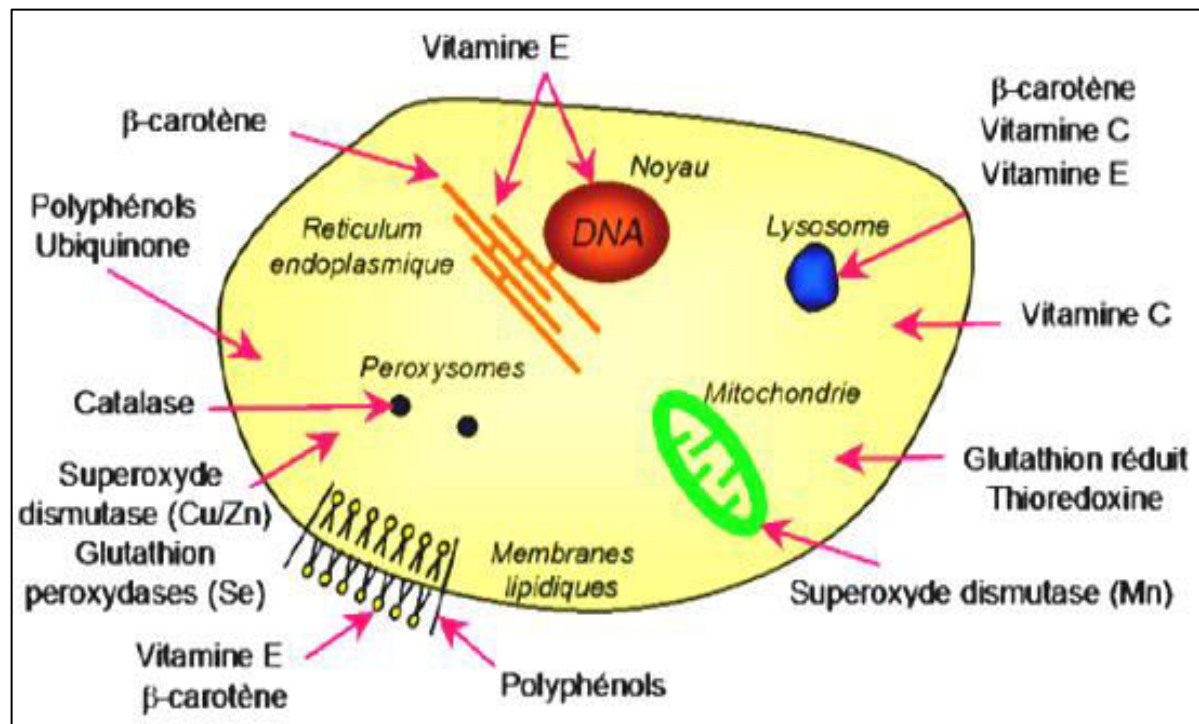


Figure 09 : Schéma illustrant les molécules intervenant dans les protections cellulaires (Virot, 2004).

III.2. L'inflammation

III.2.1. Définition:

L'inflammation est un processus tissulaire répondant à une agression dont la finalité est de rétablir l'homéostasie (**Généreau et al., 2006**). C'est un processus de défense immunitaire de l'organisme contre des agressions d'origine exogène (brûlure, infection, allergie, traumatisme) ou endogène (cellules cancéreuses ou pathologies auto-immunes), dont le but d'éliminer l'agent pathogène, réparer les lésions tissulaires et favoriser le retour à l'homéostasie (**Ryan et Majno, 1977 ; Iwalewa et al., 2007 ; Barton, 2008**).

La réponse inflammatoire se déroule en quatre étapes : la reconnaissance des signaux de danger, le recrutement de cellules sur le site d'infection, l'élimination du pathogène et la résolution de l'inflammation conduisant à un retour à l'homéostasie et à la cicatrisation du tissu lésé (**Barton, 2008**).

III.2.2. Les causes de l'inflammation:

L'inflammation peut être déclenchée par plusieurs causes :

- Celles qui dépendent d'une force physique ou d'une violence mécanique comme coups, blessures, fractures des os, luxation, ou lacération broiement et écrasement des membres ou des organes internes
- Celles qui dépendent d'une action chimique irritante ou destructive, par exemple de la chaleur sous toutes ses formes, les brûlures et les eschares formées acides énergique ou les alcalis caustique, l'action du froid, etc.
- Celles qui dépendent d'une infection toxique, par exemple du venin des insectes et des serpents, d'un virus comme celui de la morve ou de la syphilis, des miasmes dus à diffusion infinie des microorganismes ou de leurs germes (**John Ashhurst, 1883**).

III.2.3. Les deux types de la réponse inflammatoire:

III.2.3.1. La réponse aigue:

Il s'agit de la réponse immédiate à un agent agresseur, de courte durée (quelques jours ou semaines), d'installation souvent brutale et caractérisée par des phénomènes vasculo-exsudatifs intenses (**Nicolas Jean, 2001**).

Les inflammations aiguës guérissent spontanément ou avec un traitement, mais peuvent laisser des séquelles si la destruction tissulaire est importante (**Nourshargh et al., 2006**).

L'inflammation aigue se constitue en trois phases :

A) Phase vasculaire:

Il s'agit d'une vasoconstriction artériolaire, très brève de quelques secondes. Elle est douloureuse suite à l'excitabilité des terminaisons nerveuses par la libération d'histamine, de sérotonine et de kinine (**Ferradji, 2011**).

Cette constriction est succédée par une vasodilatation des vaisseaux sanguins responsable de l'augmentation de la perméabilité des capillaires, ce qui explique en partie la constitution de la chaleur et de la rougeur et la création de l'œdème (**Ferradji, 2011**).

B) Phase cellulaire (recrutement des leucocytes):

Ce phénomène vasculo-exsudatif initial permet l'arrivée dans le foyer inflammatoire des leucocytes. Les polynucléaires sont les premiers arrivés sur le site inflammatoire, mais ils sont progressivement remplacés par les cellules monocytes; dont les macrophages doués de capacité de phagocytose, et les lymphocytes et plasmocytes qui participent à la réponse immune spécifique de l'antigène (**Nathan, 2002**).

C) Phase de résolution:

Cette phase, dite de réparation, dépend du degré des lésions tissulaires (**Weill et al., 2003**):

- Dans les conditions les plus favorables, les agents agresseurs sont éliminés, les produits de dégradation ainsi que les débris cellulaire sont phagocytés et la cicatrisation et la régénération tissulaire sont induites.
- Si l'atteinte est plus sérieuse et entraîne une destruction du tissu atteint, c'est le phénomène de l'angiogenèse qui s'installe. A la fin, le système de l'angiogenèse est ainsi remis au repos et la réaction inflammatoire peut s'éteindre.

III.2.3.2. La réponse chronique:

L'inflammation chronique est définie par la présence de lymphocytes, macrophages, et plasmocytes dans les tissus. Dans de nombreux cas, la réponse inflammatoire chronique peut

persister pendant de longues périodes (plusieurs mois ou années). Elle est considérée comme être causé par l'engagement persistant des réponses de l'immunité innée et acquise, comme dans la polyarthrite rhumatoïde, rejet de l'allogreffe chronique, dans la béryllose, et dans l'inflammation granulomateuse (Charles *et al.*, 2010).

III.2.4. Les pathologies inflammatoires et les médiateurs inflammatoires:

Nous citons dans le **Tableau05**, quelques exemples de pathologies dont l'inflammation est plus ou moins impliquée. Par ailleurs, les principaux médiateurs de l'inflammation, ainsi que leurs origines et effets sont résumés dans le **Tableau 04**:

Tableau 04: Exemples de maladies liées à l'inflammation (Nathan, 2002).

Désordres dans les quelles le rôle pathogénique principal revient à l'inflammation	
Asthme	Polyarthrite rhumatoïde
Artériosclérose	Arthrose
Goutte	Thyroïdite d'Hashimoto
Maladie d'Alzheimer	Lupus érythémateux disséminé
Eczéma	Maladie de Crohn
Maladies d'origine infectieux dans les quelle l'inflammation contribue dans la pathologie	
Hépatite C	Tuberculose
Tuberculose	Dysenterie bactérienne
Maladies d'origines divers dans les quelles la fibrose poste inflammatoire est la cause principale de la pathologie	
Fibrose pulmonaire idiopathique	Bilharziose
Cirrhose hépatique poste virale ou alcoolique	

III.2.5. Les anti-inflammatoires :

III.2.5.1. Anti-inflammatoire non stéroïdiens AINS :

Les anti-inflammatoire non stéroïdiens (AINS) sont une des classes thérapeutiques les plus utilisées dans le monde en raison de leurs propriétés anti-inflammatoires, anti-pyrétique et antalgiques. (Ferradji, 2011).

Le mécanisme d'action des AINS repose sur l'inhibition compétitive, réversible ou non, de l'enzyme "la cyclooxygénase", qui permet la production du médiateur de l'inflammation; la prostaglandine. (Ferradji, 2011).

En contrepartie, cette activité explique leurs effets secondaires en raison du rôle ubiquitaire et des fonctions physiologiques des prostaglandines (Nicolas *et al.*, 2001).

Tableau 05: Origines cellulaires et effets des principaux médiateurs impliqués dans le développement de la réaction inflammatoire (Rankin, 2004).

Médiateurs	Origine cellulaire	Effets
Histamine	Mastocytes, basophiles, éosinophiles et plaquettes.	Assure la vasodilatation, augmente la perméabilité vasculaire, induit l'expression des molécules d'adhésion sur l'endothélium vasculaire.
Sérotonine	Mastocytes et plaquettes.	Augmente la perméabilité vasculaire, dilate les capillaires et stimule la contraction des muscles lisses.
Platelet activating factor (PAF)	Plaquette, neutrophiles, monocytes et cellules endothéliales.	Vasodilatation, augmente l'adhésivité de la paroi vasculaire, stimule la bronchoconstriction, l'aggrégation des plaquettes et la libération des médiateurs qu'elles renferment, induit la production des ROS et la libération des enzymes lysosomiales par les neutrophiles, les éosinophiles et les macrophages.
Kalicroïne	Présente dans le plasma	Transforme et active le système des Kinines
Plasmine	Présente dans le plasma	Clive le composant du complément C ₃ pour générer le C3a et le C3b
Leucotriènes : -LTC ₄ , LTD ₄ , LTE ₄	Essentiellement par les leucocytes	Augmente la perméabilité des micro- vaisseaux.
-LTB ₄	Essentiellement par les leucocytes	Augmente la perméabilité vasculaire et le flux sanguin local, induit la libération des enzymes lysosomiales et la production des ROS et attire et active les cellules inflammatoires.
Prostaglandines	Essentiellement par les leucocytes	Provoquent la vasodilatation, renforce l'action de l'histamine, de la bradykinine et des leucotriènes, augmente la sensibilité des neurones et est responsable de la douleur.
Bradykinine	Présente dans le plasma sous forme de kininogènes.	Accroît la vasodilatation, la perméabilité vasculaire et stimule la contraction des muscles lisses.
Facteur de Hageman (XII)	Présent dans le plasma et est activé par l'adhésion des plaquettes.	Impliqué dans la cascade de coagulation.
Thrombine	Présente dans le plasma	Catalyse la transformation du fibrinogène en fibrine et induit la libération de la sérotonine des plaquette.
Fibrine	Présente dans le plasma, formée à partir du fibrinogène	Intervient dans la formation du caillot sanguin.
L'IL-8	Monocytes, macrophages, plaquettes et lymphocytes.	Chimiotactisme des neutrophiles, des monocytes et des macrophages. Induit la libération des enzymes lysosomiales et la production des ROS. Intervient dans la réparation tissulaire
C3a	Fraction C3 du complément inactif.	Provoque la dégranulation des mastocytes.
C5a	Fraction C5 du complément inactif	Provoque la dégranulation des mastocytes et des neutrophile, exerce un effet chimiotactique en vers les phagocytes et stimule la contraction du muscle lisse.

Ainsi, la production exagérée de prostaglandines en situation pathologique participe à l'inflammation (vasodilatation, augmentation de la perméabilité capillaire) et à la douleur (sensibilisation des nocicepteurs), alors que sa production basale permet l'homéostasie tissulaire (production de mucus, de bicarbonates et maintien du flux sanguin sous muqueux gastrique...) (**Ferradji, 2011**).

L'inhibition de la synthèse des prostaglandines par les AINS semblait donc, jusqu'à récemment, devoir obligatoirement s'accompagner d'effets favorables et délétères (**Blain et al., 2000**).

III.2.5.2. Anti-inflammatoire stéroïdiens (Glucocorticoïdes) AIS:

Les anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS) constituent une vaste famille de médicaments dérivés du cortisol, principal glucocorticoïde surrénalien, et représentent le traitement le plus efficace utilisé pour les maladies inflammatoires chroniques tel que l'arthrite rhumatoïde et les maladies auto-immune (**Kessel et al., 2014**).

Dans les tissus cibles, les glucocorticoïdes se fixent à leurs récepteurs des du cytoplasme de la cellule. Ce récepteur hormonal activé empêche la transcription des gènes- immuns cibles (**Barnes, 1998**).

Quoique, les glucocorticoïdes ordinaires ne font pas de différence entre les gènes immuns "voulus" et ceux "non voulus" régulant les fonctions métaboliques et cardiovasculaires, d'où leurs effets secondaires tels que l'hypertension artérielle et l'ulcères gastroduodénaux (**Henzen, 2003 ; Chung, 2014**). (**Henzen, 2003**).

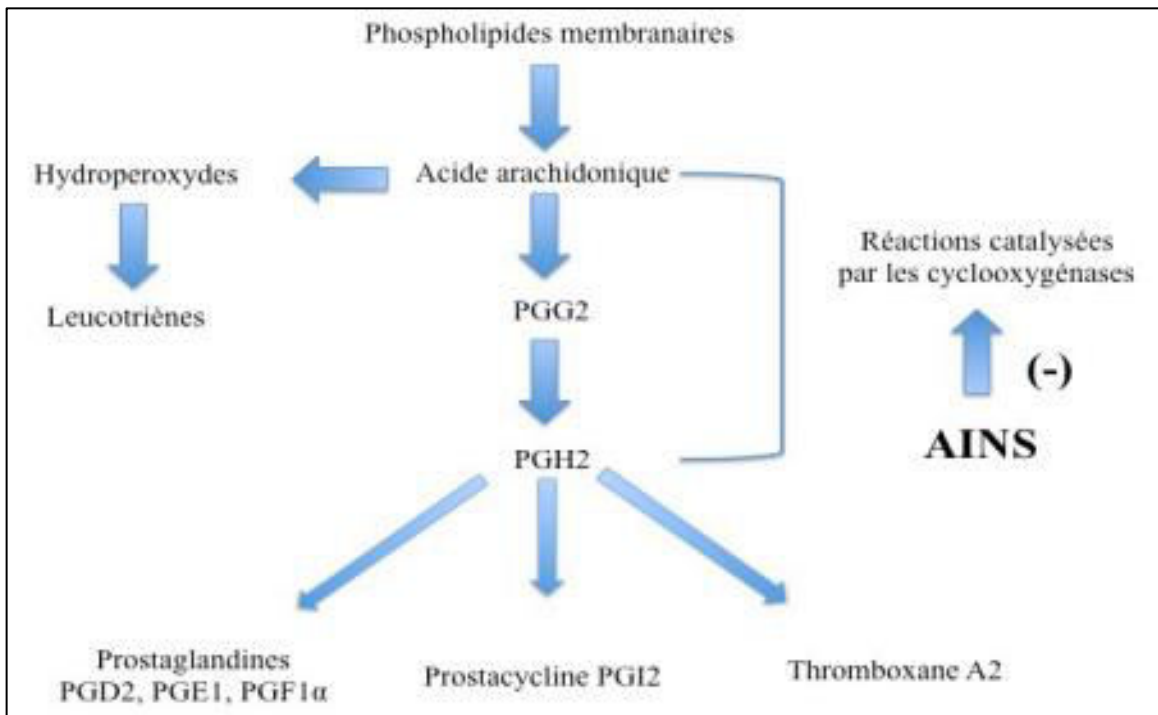


Figure 10: mécanisme d'action des AINS (Nicolas, 2001).

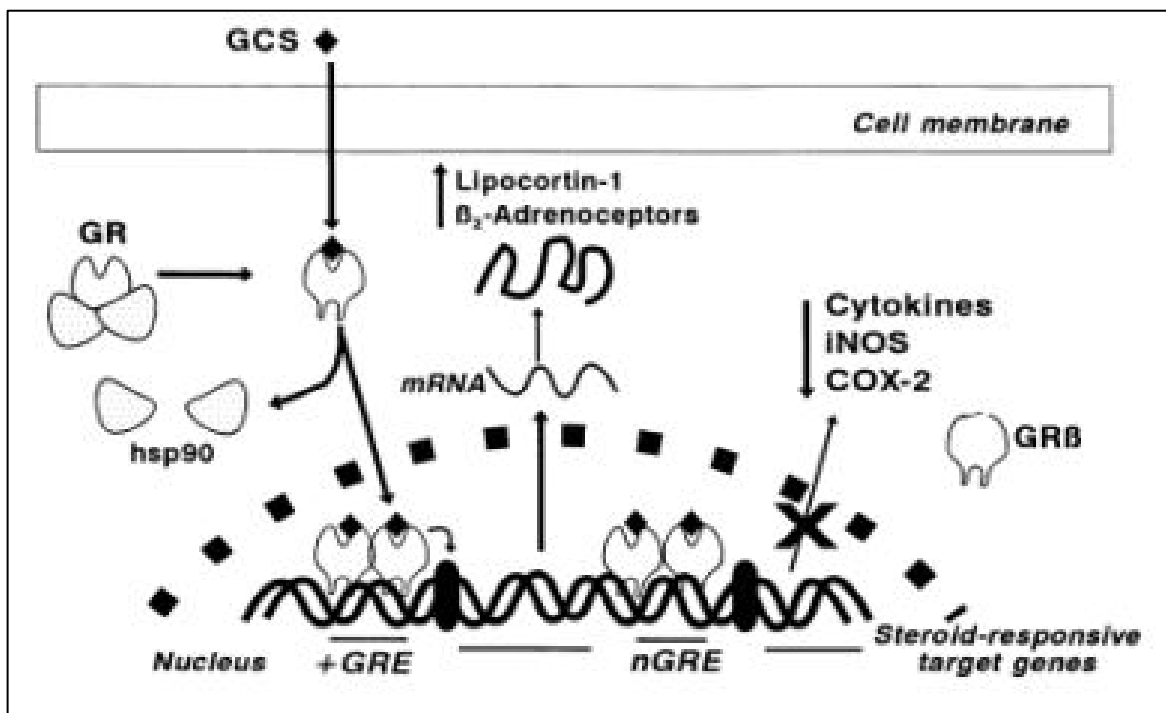


Figure 11: Mécanisme d'action des glucocorticoïdes (Barnes, 1998).

III.2.5.3. Anti-inflammatoires d'origine végétale:

Le nombre de composés phytochimiques, trouvé dans le règne végétal est très vaste, et leur spectre d'activité est tout aussi grand. Certains de ces composés phytochimiques ont des propriétés anti inflammatoire. Beaucoup sont présumés agir en bloquant les voies de la cyclooxygénase et la lipoxygénase ainsi que par d'autres mécanismes (Ferradji, 2011). On réunit dans le **Tableau06** quelques exemples des plantes douées d'activités anti-inflammatoires :

Tableau 06: Exemples de plantes médicinales douées d'activités anti-inflammatoires (Barnes, 1998).

<i>Nom scientifique</i>	<i>Famille</i>	<i>Partie utilisée</i>	<i>Nom commun</i>	<i>Utilisation</i>
<i>Zingiber officinale</i>	<i>zingiberaceae</i>	Rhizome	Gingembre	Arthrose, migraine Douleurs rhumatismales
<i>Helleborus orientalis</i>	<i>Ranunculaceae</i>	racines	Lenten-rose	Oedemes, douleurs rhumatismales
<i>Urticadioica</i>	<i>Urticaceae</i>	Feuilles, racines	Ortie	Rhinite allergique, eczéma goutte, douleurs rhumatismales
<i>Laurocerasusofficinalis</i> R	<i>Rosaceae</i>	Feuilles	Laurier	Fièvre, pharyngite, douleurs d'estomac, hémorroïdes
<i>Curcuma longa</i>	<i>Zingiberaceae</i>	Rhizome	Curcuma	Douleurs rhumatismales, lupus systématique, psoriasis, infections rénales
<i>Neriumoleander L</i>	<i>Apocynaceae</i>	Fleurs	Laurier rose	Douleur, maux de tête
<i>Rhododendron ponticum L</i>	<i>Ericaceae</i>	Feuilles	Rhododendron pontique	Oedèmes, états grippaux, mal de dents
<i>Juglansregia L</i>	<i>Juglandaceae</i>	Feuilles, fruits	Noyer commun	Douleurs rhumatismales, fièvre, eczéma. Malaria
<i>Oenotherabiennis</i>	<i>Onagraceae</i>	Graines	Onagre bisannuelle	Douleurs rhumatismales

MATÉRIELS ET
MÉTHODES

IV. Matériel et méthodes

IV.1. Objectif:

Ce travail a pour but de:

- Extraire et de caractériser quantitativement le profil phytochimiques des jeunes cladodes du Figuier de barbarie de la région de **Theniet el had – Tissemsilet**.
- Explorer les propriétés anti-oxydantes et anti-inflammatoires de cet extrait polyphénolique.

IV. 2. Lieu et durée d'étude:

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau des laboratoires de "Technologie Alimentaire" et "Biochimie" de la faculté des Sciences de la nature et de la vie, à l'université IBN KHALDOUN de Tiaret, ainsi qu'au sein du laboratoire d'analyses médicales du Dr Bouhaous-Tiaret. La période du travail pratique qui s'étend du 22/04/2018 au 03/06/2018.



Figure 11 : Lieu d'échantillonnage (Theniet el had – Tissemsilet).

IV.3. Matériel:

IV.3.1. Matériel végétal:

Les jeunes cladodes (raquettes) âgés de moins de 03 mois, et d'une longueur allant 12 - 20 cm et d'une largeur située entre 6 – 9 cm, ont été cueillis le 17 février 2018, à partir de plusieurs sujets vivants inermes des figuiers de barbarie de la région de **Theniet el had-Tissemsilet**.

Les échantillons sont ensuite nettoyés et débarrassés de leurs épines, désinfectés à l'eau salée 10%, puis lavées à l'eau distillée avant d'être séchés et congelés jusqu'à leur utilisation.

IV.3.2. Matériel du laboratoire:

IV.3.2.A) Appareillage:

Balance de précision, bain marie, étuve, agitateur magnétique, rotavapeur, centrifugeuse, spectrophotomètre UV-VIS, micro pipette (50,100, 1000µl).

IV.3.2.B) Produits utilisés:

✓ **Réactifs:**

Folin-Ciocalteu, acide linoléique, β – carotène, DPPH, Tween 40, SBA (sérum bovine albumine), acide ascorbique, acide gallique.

✓ **Produits chimiques:**

acide trichloracétique, iodate de potassium, chlorure d'aluminium, carbonate de sodium, FeCl_3 , HCl, NaCl, diclofénac, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, tampon phosphate (ph =6,6 & 6.3 &7.4), potassium hexacyanoferrate ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$), éthanol, méthanol, chloroforme, eau physiologie, eau saturée en oxygène.

IV.4. Méthodes:

IV.4.1. Protocole expérimental:

Le protocole expérimental comportant les différentes expériences effectuées dans cette étude, est présenté dans le diagramme de la **Figure 12**. Il comporte trois parties essentielles:

- Un dosage des majeures classes de polyphénols de l'extrait alcoolique préparé préalablement à partir des jeunes cladodes du figuier de barbarie.
- Une estimation de l'activité antioxydante et antiradicalaire de cet extrait.
- Une évaluation de l'effet anti inflammatoire de l'extrait sus cité.

IV.4.2. Préparation et caractérisation de l'extrait des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica*:

IV.4.2.1. Extraction des polyphénols:

Les jeunes raquettes prélevées sont séchées dans l'étuve à température 45°C pendant 6 jours, où elles subissent à la fin de séchage, un broyage/tamissage afin d'obtenir une poudre fine avec une granulométrie homogène, propre au procédé ultérieur d'extraction.

Le protocole d'extraction décrit par **Merghem et al.,(2009)** est suivi dans cette étape. 10g de poudre sont macérés par un mélange méthanol (87%), à un rapport de 1/10 (m/v) pendant 72 heures avec renouvellement de solvant chaque 24 heures et agitation de temps en temps. Les macéras sont réunis puis filtrés sur un papier filtre, pour aboutir à un filtrat qui sera débarrassé de solvant par évaporation à 40°C sous pression réduite au moyen d'un évaporateur rotatif.

L'extrait sec obtenu est ensuite pesé et reconstituer dans de l'eau distillée, puis conservé à l'abri de l'air, de la lumière et de la chaleur. Le rendement d'extraction est calculé comme suit (**Bruneton, 1999**):

$$R\% = \frac{P2 - P1}{M}$$

Dont :

P1: Poids du ballon vide.

P2 : Poids du ballon et de l'échantillon après l'évaporation.

M : la masse initiale d'échantillon.

IV.4.2.2. Caractérisation phytochimique de l'extrait de polyphénols :

IV.4.2.2.A) Polyphénols totaux:

Le dosage des Polyphénols totaux est fait selon la méthode du Folin-ciocalteu; un réactif constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$).

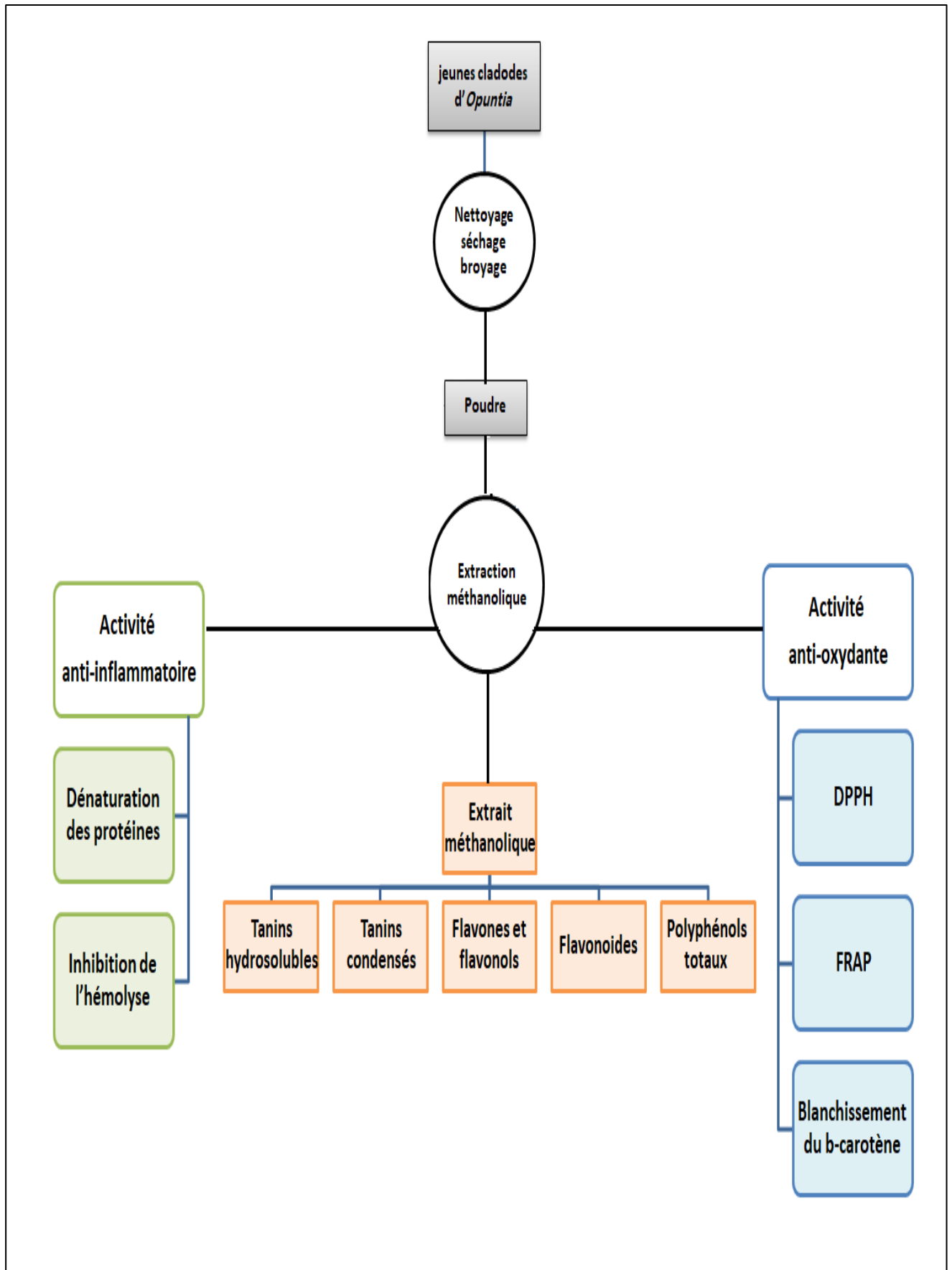


Figure 12: Diagramme du protocole expérimental suivi.

Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène, dont l'intensité de la coloration produite, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Ribéreau Gayon, 1968; Kanoun et al., 2014**).

A. Mode opératoire:

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué avec le réactif colorimétrique Folin-Ciocalteu selon la méthode citée par **Rsaissi et al., (2013)**.

Brièvement 1ml de chaque extrait a été ajouté à 1ml du réactif de Folin-Ciocalteu 10 fois dilué. Les solutions ont été mélangées et incubées pendant 4 minutes. Après l'incubation 8ml de la solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (75g /l) a été ajoutée. Le mélange final a été secoué et puis incubé pendant 2h dans l'obscurité à température ambiante. L'absorbance de tous les extraits a été mesurée par un spectrophotomètre à 765 nm.

B. Expression des résultats:

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon l'acide gallique (5-200 $\mu\text{g/ml}$) et exprimée en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait (mg EAG/g).

IV.4.2.2.B) Dosage des flavonoïdes totaux:

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les extraits de cladode du figuier de Barbarie est réalisée par l' AlCl_3 selon la méthode de **Bahorun et al., (1996)**. En principe, les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe jaunâtre par chélation des métaux (fer et aluminium).

Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau Gayon et al., 1972**).

A. Mode opératoire:

- Mettre 1 ml d'extrait dans un tube à essai ; ajouter 1 ml de solution méthanolique de chlorure d'aluminium à 2 %, laisser incuber 15 min à température ambiante.

- Lire les absorbances à partir du spectrophotomètre UV-visible (Spectronic 20 Genysis TM) à 430 nm.
- Effectuer la même opération pour la quercétine à différentes concentrations en introduisant 1 ml de ces dernières dans une série de tubes et ajout de 1 ml d'AlCl₃ à 2%.
- Le blanc est représenté par l'éthanol additionné à l'AlCl₃, toutes les opérations sont réalisées en triplicata.

B. Expression des résultats

Les concentrations des flavonoïdes contenus dans les extraits sont calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard, les résultats sont exprimés en mg équivalent en quercétine / g d'extrait.

IV.4.2.2.C) Tanins condensés:

Ce dosage a été réalisé selon la méthode colorimétrique de **Joslyn (1970)**, elle est basée sur la réduction de l'acide phosphomolybdique et tungstique en milieu alcalin, en présence de tanins pour donner une coloration bleue dont l'intensité est mesurée à 760nm.

A. Mode opératoire:

Il contient les étapes ci-dessous:

- Dans une cuve, déposer 0,5 ml de l'extrait ou de l'acide tannique + 2,5 ml de la solution de Folin-Ciocalteu + 5 ml de carbonate de sodium à 7,5 %.
- Laisser le mélange reposer pendant 30 min à température ambiante dans l'obscurité.
- La solution est incubée pendant 5 min à 55 °C, ensuite elle est refroidie dans de l'eau froide pendant 30 min.
- Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 760 nm.

B. Expression des résultats:

Les résultats sont exprimés selon une courbe d'étalonnage de l'acide tannique allant de 100 à 1000 mg/l et ils sont exprimés en mg EAT (Equivalent Acide Tannique) / g d'extrait.

IV.4.2.2.D) Tanins hydrosolubles:

Les tanins hydrosolubles sont déterminés par la méthode de **Willis et Allen (1998)**.

A. Mode opératoire

Dans une cuve, déposer 0,5 ml de l'extrait dilué (1/10) ou de l'acide tannique + 2,5 ml de la solution d'iodate de potassium à 2,5%. Laisser le mélange reposer pendant 4 min à température ambiante dans l'obscurité.

La mesure des tanins hydrosolubles des solutions se fait par mesure de l'absorbance de la solution à 550 nm.

B. Expression des résultats

Le changement de l'absorbance entre la lecture de l'échantillon et la lecture du blanc a été calculé pour chaque échantillon. Les résultats sont exprimés selon la courbe d'étalonnage de l'acide tannique (de 100 à 1000 mg/l), et ils sont exprimés en mg EAT (Equivalent Acide Tannique) / g d'extrait.

IV.4.2.2.D) Dosage des flavones et flavonols:

La méthode utilisée pour l'estimation de ces deux flavonoïdes est celle décrite par **Kosalec et al., (2004)**.

A. Mode opératoire

Mettre 0.50 ml d'extrait dans un tube à essai, ajouter 1.5 ml d'éthanol, 0.1 ml de solution méthanolique de chlorure d'aluminium à 10 % puis 0.1 ml (1mol/l) d'acétate de sodium et 2.8 ml d'eau, laisser incuber 30 min à température ambiante.

Lire les absorbances à partir du spectrophotomètre UV-visible à 415 nm.

B. Expression des résultats

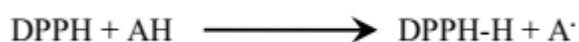
La concentration des flavones et flavonols contenus dans les extraits de cladode du figuier de barbarie est calculée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard. Les résultats sont exprimés en mg équivalent en quercétine / g d'extrait.

IV.4.3.L'activité anti-oxydante

Afin d'entamer ces analyses, nous établissons une série de dilution comprise entre 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 et 1/32 d'un extrait mère concentré à 250mg/ml.

IV.4.3.1. Test DPPH:

Le test au 2,2-diphényl-2-picryl-hydrazyle (DPPH) est réalisé par la méthode décrite par (Ammar *et al.*, 2009) qui permet de mesurer le pouvoir réducteur par le calcul de la CI50 des substances antioxydantes contenues dans un extrait. Le DPPH est un radical libre de couleur violette qui devient jaune quand il est réduit par un donneur de proton H⁺.



Où AH est un composé capable de céder un H⁺ au radical DPPH.

A. Mode opératoire

1ml de de la solution éthanolique de 0,06 mM de DPPH, est mélangée dans un tube à essai avec 1ml de de chaque concentration de l'extrait. Laisser incuber 30 min à l'abri de la lumière à température ambiante, puis lire l'absorbance à 517 nm contre un blanc qui contient de l'éthanol pur.

Répéter les mêmes opérations, en remplaçant l'extrait par l'acide ascorbique (control positif) et l'éthanol pur (control négatif).

B. Expression des résultats

Toutes les opérations sont réalisées en triplicata L'évaluation de l'activité anti-oxydante en utilisant la méthode DPPH est exprimée en pourcentage selon la relation suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{(\text{Abs Control} - \text{Abs Extrait})}{\text{Abs Extrait}}$$

Le pourcentage d'inhibition est exprimé ensuite, par la valeur de la CI50, sachant que l'IC50 est la concentration d'extrait nécessaire pour l'obtention de 50% de la forme réduite du radical DPPH.

Les valeurs d'IC50 (concentration inhibitrice à 50%) sont calculées par la méthode de régression linéaire à partir de la courbe [% inhibition = f (concentrations)].

IV.4.3.2. Dosage du pouvoir réducteur « FRAP »:

La méthode FRAP est basée sur la réduction de l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}). Cette méthode évalue le pouvoir réducteur des composés (Ou *et al.*, 2001).

La présence des réducteurs (AH) dans les extraits des plantes provoque la réduction de Fe^{3+} / complexe ferricyanide à la forme ferreux. Par conséquent, le Fe^{2+} peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu cyanée dans le milieu réactionnel à 700 nm (Chung *et al.*, 2002).

En effet, le système $\text{FeCl}_3/\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ confère à la méthode la sensibilité pour la détermination «semi quantitative» des concentrations des antioxydants, qui participent à la réaction redox (Amarowicz *et al.*, 2004).

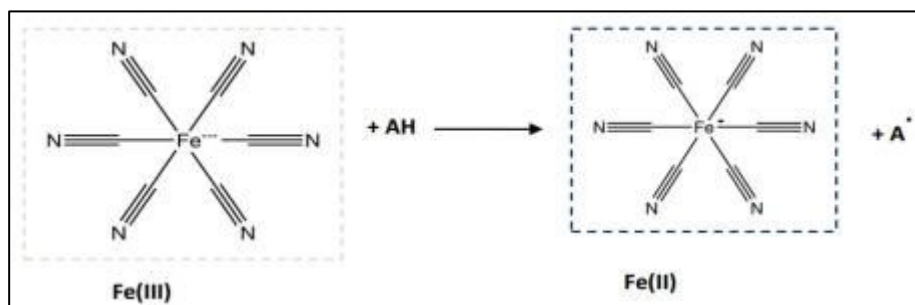


Figure 13 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique $\text{Fe}(\text{III})$ et un antioxydant (AH).

A. Méthode de dosage

Le protocole utilisé est basé sur celui décrit par Oyaizu (1986).

Dans un tube à essai contenant 200 μl de solution d'échantillon à différentes concentrations, ont été ajoutés 500 μl de tampon phosphate (0,2M : pH 6,6) puis 500 μl de potassium hexacyanoferrate [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$] 1% dans l'eau distillée. L'ensemble est chauffé à 50°C au bain marie pendant 20 minutes.

Un volume de 500 μl d'acide trichloracétique (10%) est ensuite ajouté et le mélange est centrifugé à 3000 rpm pendant 10 minutes. Un aliquote de 500 μl de surnageant est transféré dans un autre tube auquel ont été ajoutés 500 μl d'eau distillée et 100 μl de FeCl_3 1% fraîchement préparé dans de l'eau distillée.

Un blanc sans échantillon est préparé dans les mêmes conditions en remplaçant l'extrait par méthanol.

B. Expression des résultats

La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par le méthanol qui permet de calibrer l'appareil (UV-VIS spectrophotomètre).

Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

IV.4.3.3. Test de blanchissement de la β -carotène:

Dans ce test, la capacité anti-oxydante de l'extrait est déterminée en mesurant l'inhibition de la dégradation oxydative du β -carotène (sa décoloration) par les produits d'oxydation de l'acide linoléique selon la méthode décrite par **Kartal et ses collaborateurs (2007)**.

A. Méthode de dosage

L'émulsion de β -carotène /acide linoléique est préparée par solubilisation de 0,5 mg de β -carotène dans 1 ml du chloroforme, 25 μ l de l'acide linoléique et 200 mg de Tween 40 sont additionnés, le chloroforme est complètement évaporé à 40°C avec le rotavapor, par la suite 100 ml d'eau distillée saturée en oxygène sont ajoutés, l'émulsion résultante est agitée vigoureusement.

Un volume de 100 ou 150 μ l de solution de l'extrait à 100 μ g/ml, ou d'antioxydant de référence (acide ascorbique) à 1mg/ml sont additionnés à 2,5 ml de l'émulsion précédente. Les tubes sont chauffés à 50°C dans un bain-marie.

Le contrôle négatif contient tous les réactifs à l'exception de l'échantillon à tester qui est remplacé par un volume égal de méthanol.

B. Expression des résultats

La cinétique de décoloration de l'émulsion en présence et en absence d'antioxydant est suivie à 490 nm à des intervalles de 15 minutes pendant 2 heures, jusqu'à ce que la couleur du β -carotène disparaisse.

L'activité anti-oxydante des extraits est calculée selon l'équation suivante :

$$AA = 100 \times [1 - (AE_0 - AE_{120}) / (AC_0 - AC_{120})]$$

Avec:

AE₀ : Absorbance à 490 nm d'échantillons testés à t = 0 min.

AE₁₂₀ : Absorbance à 490 nm d'échantillons testés à t = 120 min.

AC₀ : Absorbance à 490 nm du contrôle à t = 0 min.

AC₁₂₀ : Absorbance à 490 nm du contrôle à t = 120 min.

IV.4.4. Activité anti-inflammatoire

IV.4.4.1. Inhibition de la dénaturation des protéines:

L'activité anti-inflammatoire in vitro d'extrait des cladodes du figuier de barbarie a été effectuée selon la méthode d'inhibition de la dénaturation des protéines.

A. Méthode de dosage:

La technique suivie consiste à préparer les solutions suivantes:

- **La solution d'essai (0,5 ml)**; composé de 0,45 ml de la solution aqueuse de sérum bovine albumine (SBA) 5 % et 0,05 ml de notre extrait avec une concentration de 250 µg/ml.
- **La solution control test (0,5 ml)**; composé de 0,45 ml de la solution aqueuse de BSA 5 % et 0,05 ml d'eau distille.
- **La solution standard test (0,5 ml)**; composé de 0,45 ml de la solution aqueuse de BSA 5 % et 0,05 ml de la solution de standard diclofenac sodium avec une concentration de 250 µg/ml.

Toutes les solutions au-dessus ont été ajustées à pH 6,3 par une solution d'HCl (1N), les échantillons ont été incubées à 37°C/20 min, ensuite la température était augmentée pour garder les échantillons à 57°C/3 min.

Après refroidissement des tubes, 2,5ml de la solution phosphate buffer saline (Ph=6,3) a été ajouté aux solutions ci-dessus.

B. Expression des résultats

L'absorbance a été lue par le spectrophotomètre UV visible à 416 nm, et le pourcentage d'inhibition de la dénaturation des protéines a été calculé comme suit:

$$\% \text{ d'inhibition} = 100 - \frac{\text{D.O solution d'essai} - \text{D.O control}}{\text{D.O control}} \times 100$$

D.O: la densité optique.

Le contrôle représente 100% des protéines dénaturées ; et les résultats sont comparés avec le diclofenac sodium (250µg/ml).

IV.4.4.2. inhibition de l'effet hémolytique sur les globules rouges:**IV.4.4.2.1. Prélèvement du sang humain:**

Des échantillons de sang frais (environ 6 mL) ont été récupérés dans des tubes héparinisés, à partir du laboratoire d'analyses médicales du Dr Bouhaous de la région de Tiaret, où la prise de sang a été effectuée, sur des volontaires (20-45 ans) n'ayant pas pris de médicaments anti-inflammatoires, durant les deux dernières semaines avant le prélèvement.

IV.4.4.2.2. Préparation de la suspension des globules rouges humains:

Les échantillons de sang récupérés ont été centrifugés à 3000 rpm, pendant 10 min. Le surnageant est par la suite éliminé et le culot de globules rouges a été lavé trois fois avec de l'eau physiologique, jusqu'à l'obtention d'un surnageant clair, en centrifugeant à chaque fois à la vitesse 3000 rpm, pendant 5 min.

Le volume de globules rouges a été mesuré afin de préparer une suspension de 10 % (v/v) de globules rouges humains, avec de l'eau physiologique.

IV.4.4.2.3. Evaluation de l'effet de l'extrait des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la stabilisation de la membrane des globules rouges:

Le test se base sur l'effet des extraits de la plante étudiée sur la stabilisation des érythrocytes, après induction de l'hémolyse par une solution hypotonique associée à une température élevée, selon le protocole de **Ganesh Gadamsetty et al., (2013)**.

A. Méthode de dosage:

Dans des tubes à hémolyse, 0.5 ml d'extrait méthanolique mère des cladodes du figuier de barbarie concentré à 260µg/ml ou de ses dilutions (130, 60, 30, 16 et 8), 1.5 ml du tampon phosphate (0.15 M, pH 7.4) et 2 ml de la solution hyposaline (NaCl à 0.36 %) ont été mélangés et incubés, à 37 °C pendant 20 min.

Par la suite, un volume de 0.5 ml de la suspension des érythrocytes (10 %) a été rajouté pour chaque tube, enchainé d'une incubation, à 56 °C pendant 30 min.

Les tubes ont été mis dans l'eau froide pendant 20 min, afin d'arrêter la réaction ensuite centrifugé, à 3000 rpm pendant 5 min.

B. Expression des résultats:

La lecture d'absorbance du surnageant est faite à 560 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre, le contrôle consiste en un mélange de 2 ml de la solution hyposaline, 2ml du tampon PBS, 0.5 ml de la suspension de globules rouges et 0.5 ml d'eau physiologique.

Le diclofenac est utilisé comme molécule de traitement anti-inflammatoire, avec les mêmes concentrations que l'extrait. Le pourcentage d'hémolyse a été calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition de l'hémolyse} = \frac{(A_c - A_t)}{A_c} \cdot 100$$

A_c: absorbance de control.

A_t : absorbance de l'échantillon (test).

IV.5. Analyse statistique

Les courbes et les histogrammes sont tracés par le Microsoft Excel 2007. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne arithmétique (M) des n valeurs obtenues ± l'écart moyen (SEM) [M ± SEM], n = 3.

Le test est utilisé pour évaluer la signification des effets des différentes concentrations de l'extrait testé *in vitro*. La différence est considérée statistiquement significative au risque 5% (p<0.05).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

V. Résultats et discussion

V.1. Caractérisation de l'extrait polyphénoliques des jeunes cladodes du figuier de barbarie:

La totalité de résultats enregistrés pour les dosages phytochimiques est exprimée dans le **Tableau 07**:

Tableau 07: les résultats de la quantification des principaux métabolites secondaires de l'extrait des cladodes.

Paramètre	Teneur	Paramètre	Teneur
Rendement d'extraction (%MS)	10,02 ± 0,5	Polyphénol totaux (mg EAG /g)	64±1,12
		Flavonoïdes (mg EQ /g)	3,27±0,77
		Tanins condensés (mg EAT/g)	0,185±0,21
		Tanins hydrosolubles (mg EAT /g)	0.096±0,31
		flavones et flavonols (mg EQ/g)	2.20±0,07

V.1.1. Rendement d'extraction:

Le rendement d'extraction des polyphénols à partir des nopales de la variété inerme du figuier de barbarie de Theniet lhad- Tissemsilt, atteint (**10,02 ± 0,5 % (m/m)**), une teneur supérieure à celle enregistrée par **Amara et al., (2016) (0,821 ± 0,167%)**, ou par **Bari et al., (2012) (4.60 ± 0.23%)**.

C'est la différence entre les matériels végétaux utilisés, leurs origines et leurs stade de croissance, à coté de la variation conditions d'extraction, qui peuvent probablement modifie le rendement d'extraction des polyphénols des cladodes.

V.1.2. Teneur en polyphénols totaux

Le taux des polyphénols totaux d'extrait de cladode a été estimé par l'équation : $y = 0,003x - 0,088$ avec $R^2 = 0,989$ en équivalent d'un milligramme d'acide gallique/g d'extrait.

Nous avons noté une teneur de l'ordre de **64±1,12 mg EAG/ g** de matière sèche, cette valeur est supérieure à celle trouvée par **Dhaouadi *et al.*, (2013)** qui a trouvé 35.20 mg EAG/g de matière sèche.

Il faut prendre en compte que les facteurs géographiques, climatiques et génétiques, ainsi que l'étape de maturation et le degré de stockage avant l'utilisation, influencent le taux de polyphénols synthétisés par la plante (**Giddey, 1982; Pedneault *et al.*, 2001; Aganga *et Mosase*, 2003**).

V.1.3. Teneur en flavonoïdes

Les résultats du dosage des flavonoïdes sont obtenus à partir de l'équation de la droite d'étalonnage de la rutine $y = 0,034 x + 0,034$, sachant que $R^2 = 0,999$. Ils sont exprimés en mg ER (Equivalent Rutine) /g d'extrait.

Les concentrations des flavonoïdes, sont relativement importants dans les extraits dans leur majorité, les teneurs en flavonoïdes sont de **3,27±0,77 mg /g** d'extrait sec.

Ce résultat obtenu est nettement inférieur au résultat trouvé par **Amara *et al.*, (2016)** **4,93 ± 0,224 mg EQ/g** d'extrait, mais, il surpasse la valeur trouvée par **Boutakiout (2015)** qui est de $1,36±0,04$ mg/100 ml pour un l'extrait méthanolique de la même partie étudiée mais pour une autre région (Maroc).

Selon **Maataoui *et al.*, (2006)**, la teneur en flavonoïde est corrélée au type de cultivar, aux conditions environnementales et aux méthodes d'extraction et de dosage.

V.1.4. Teneurs en flavones et flavonols:

Le taux des flavones et flavonols extrait ont été obtenus à partir d'une courbe d'étalonnage (**Figure 16**), qui suit une équation de type :

La teneur en flavones et flavonols de l'extrait méthanolique est de **2.20±0,07 mg EQ/g** d'extrait selon l'équation: $y = 0,006 x + 0,005$, avec $R^2 = 0,998$. Ce résultat est inférieur aux 7 mg EQ/g, affichés dans le travail de **Harrar, (2012)**.

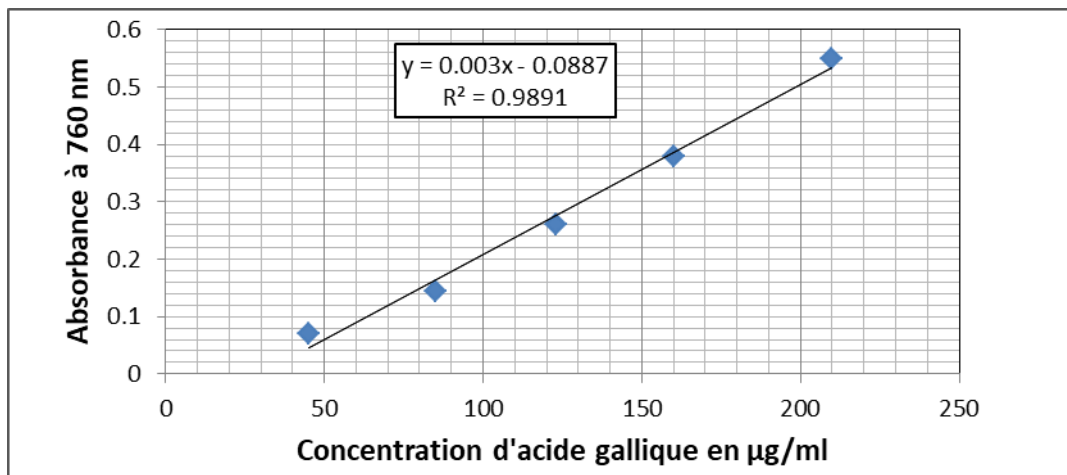


Figure 14 : Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

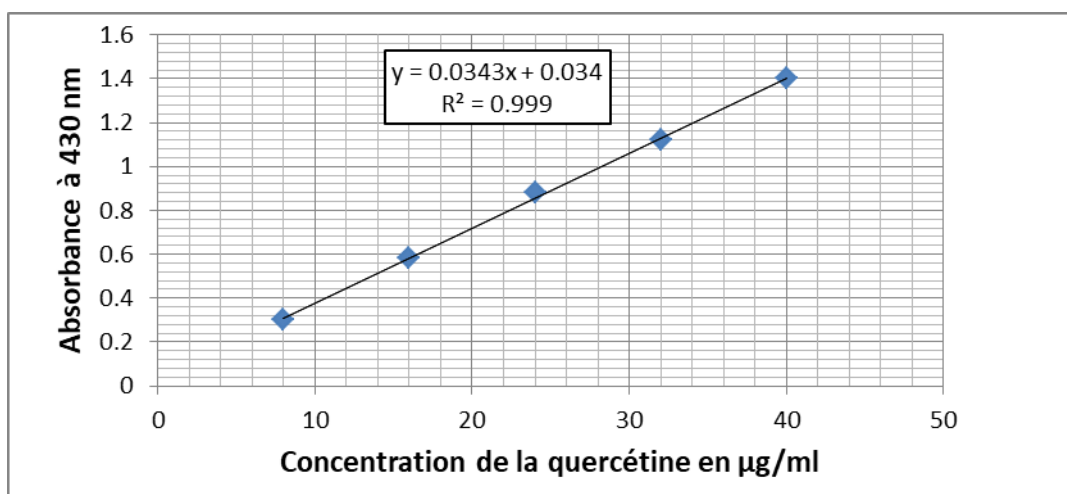


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux.

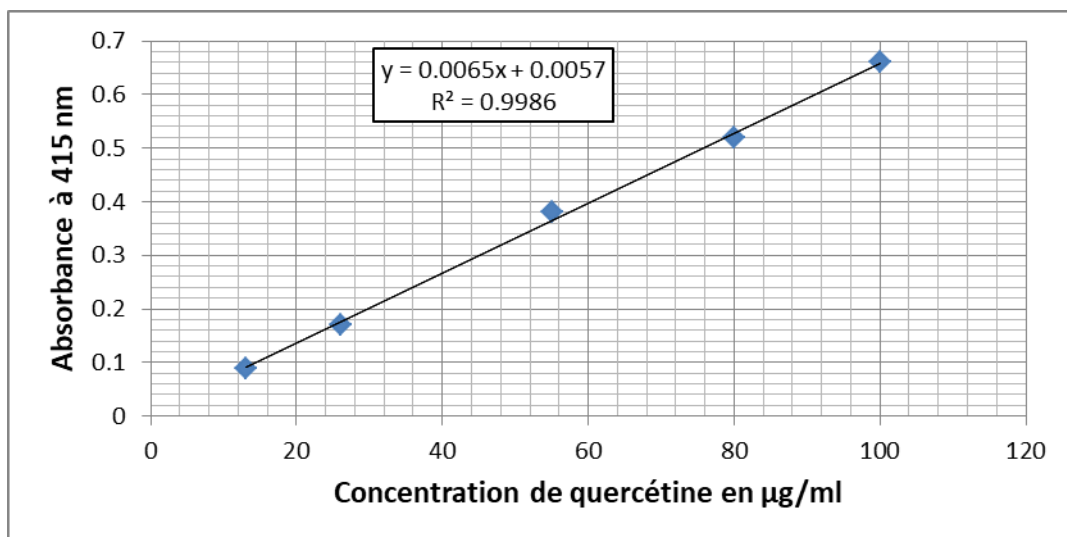


Figure 16 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavones et flavonoles.

V.1.5. Teneur en tanins condensés et en tanins hydrosolubles:

Les tanins hydrosolubles sont évalués par la droite d'étalonnage ayant comme équation: $y = 0,218x$, avec $R^2 = 0,998$ à un taux égale à **0.096±0,31 mg/g** extrait sec. Un résultat différent de celui donné par **Boutakiout (2015)**; $1,36 \pm 0,15$ mg /100 ml.

Nous apprécions une valeur de **(0,185±0,21mg EAT/g)** pour les tanins condensés suivant l'équation $y = 0.2234x$ auquel le $R^2 = 0.9961$. Ces métabolites représentent 0,0645 à 0,0693 mg/g de matières fraîches selon **Hadj Sadok, (2008)**.

La prédominance des tanins condensés par rapport aux tanins hydrosolubles est aussi signalé par **Boutakiout, (2015)** où le jus des cladodes est plus riche en tanins condensés ($18,23 \pm 0,36$ mg / 100 ml) qu'aux tanins hydrosolubles ($1,36 \pm 0,15$ mg /100 ml).

La concentration des tanins varie considérablement entre les différentes espèces végétales, comme elle dépend du stade de développement végétatif, du degré de maturité, de l'âge des feuilles, des fleurs et de la saison pour la même espèce. Les conditions environnementales présentent elles aussi l'un des principaux facteurs de variation (**Skadhauge B et al., 1997**).

V.2. L'activité antioxydante:

V.2.1. Test anti-radicalaire (Test DPPH):

L'inhibition de la décoloration du radical DPPH obtenue, révèle que l'extrait étudié, mais aussi le témoin utilisé (acide ascorbique), possèdent une activité antiradicalaire concentration dépendante.

Les polyphénols contenus dans nos extraits sont probablement responsables de l'activité antioxydante. Il a été démontré que les molécules antioxydantes telles que l'acide ascorbique, flavonoïdes et les tanins réduisent et décolorent le DPPH en raison de leur capacité à céder l'hydrogène (**Bougandoura et Bendimerad, 2012**).

L'activité antioxydante d'extrait des cladodes du figuier de barbarie, et de l'acide ascorbique est exprimée en CI50, qui définit la concentration efficace du substrat qui cause la perte de 50% de l'activité (Couleur) du radical DPPH. Ces CI50 sont déterminées à partir des graphes (Figures 19 et 20), dont l'abscisse représente la concentration de l'extrait et l'ordonnée l'activité antioxydante en pourcentage.

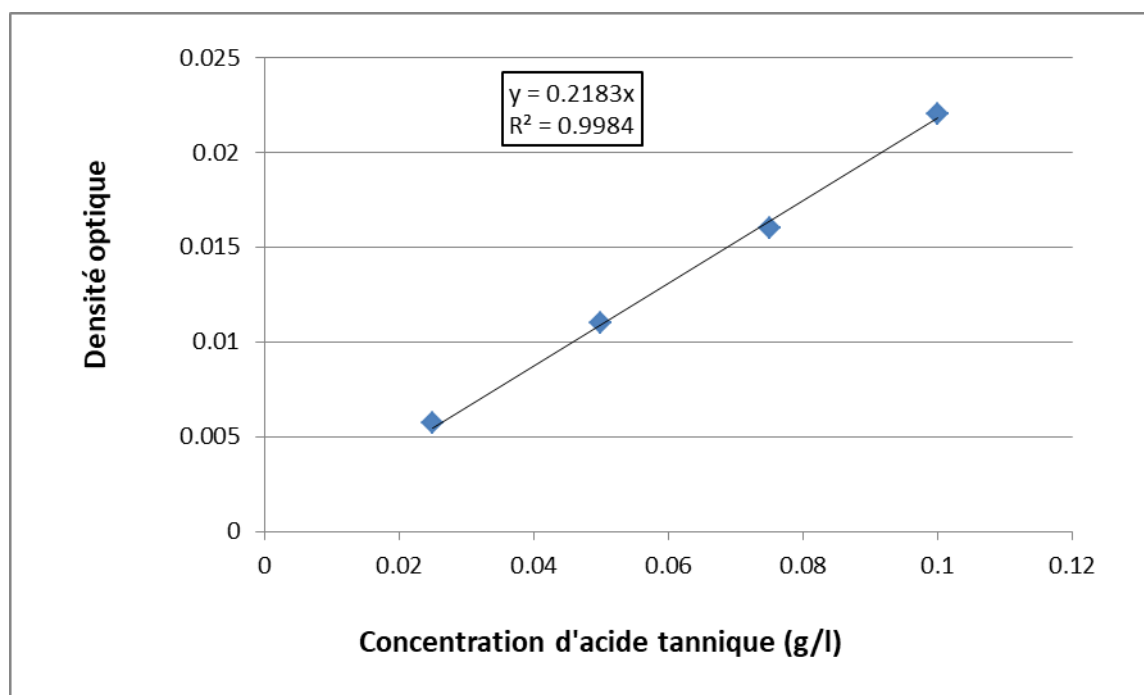


Figure 17 : Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage tanins hydrosolubles.

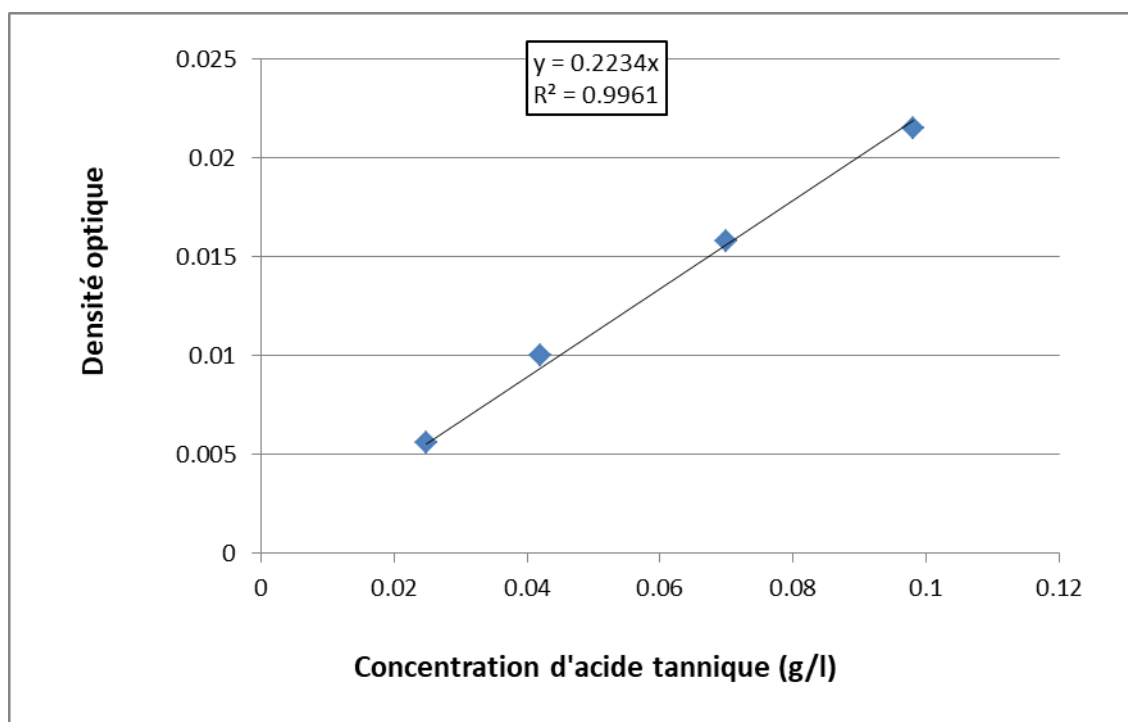


Figure 18 : Courbe d'étalonnage d'acide tannique pour le dosage tanins condensés.

Elle est égale à 14.8 µg/ml pour l'extrait méthanolique et significativement ($p < 0.05$) inférieure à celle de l'acide ascorbique à 120 µg/ml. Plus la valeur de l'IC50 est petite plus l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant (**Harrar, 2012**). Certains travaux ont montré une bonne corrélation entre les CI50 et la teneur en polyphénols et en flavonoïdes (**Athamena et al., 2010 ; Mariod et al., 2010**).

Par ailleurs, il est bien établi que l'activité antioxydante est corrélée positivement avec la structure des polyphénols où ceux avec un nombre élevé en groupements hydroxyles présentent l'activité antioxydante la plus élevée due à leur pouvoir de donner plus d'atomes pour stabiliser les radicaux libres (**Heim et al., 2002; Torres de pinedo et al., 2007**)

L'activité anti-radicalaire est dépendante du nombre, de la position et de la nature des substituant (exp: groupements hydroxyles) sur les cycles B et C, et le degré de polymérisation (**Popovici et al., 2010**).

Ainsi, l'effet antioxydant n'est pas seulement dose-dépendant mais également structure-dépendant (**Rodriguez-Bernaldo et al., 2010**).

Tableau 08: Activité antioxydante de l'extrait d'*Opuntia* et de l'acide ascorbique vis à vis le radical DPPH.

	IC50 (µg/ml)
Acide ascorbique	120,11±1,23
Extrait méthanolique des cladodes	14.8±0,94

V.2.2. Pouvoir réducteur du fer (Test FRAP: Ferric Reducing Antioxydant Power):

La présence des réducteurs dans les extraits des plantes provoque la réduction du Fe^{3+} / complexe ferricyanide à la forme ferreux. Par conséquent, Fe^{2+} peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu dans le milieu réactionnel à 700 nm (**Bougandoura et Bendimerad, 2012**).

A partir des résultats obtenu, on remarque que le pouvoir réducteur de l'extrait des jeunes raquettes du figuier de barbarie est dose dépendant (concentration dépendant), c'est-à-dire que la capacité de réduction de fer est proportionnelle à l'augmentation de la concentration des d'extraits.

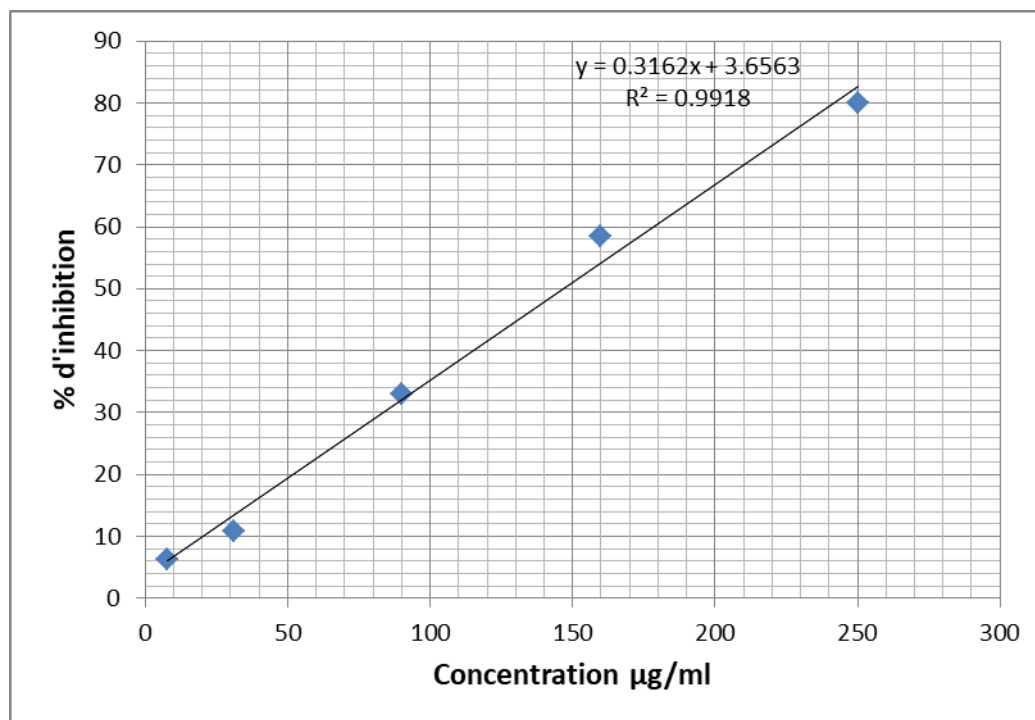


Figure 19 : La courbe de l'inhibition du DPPH en fonction de la concentration de l'extrait méthanolique des cladodes d'*Opuntia*.

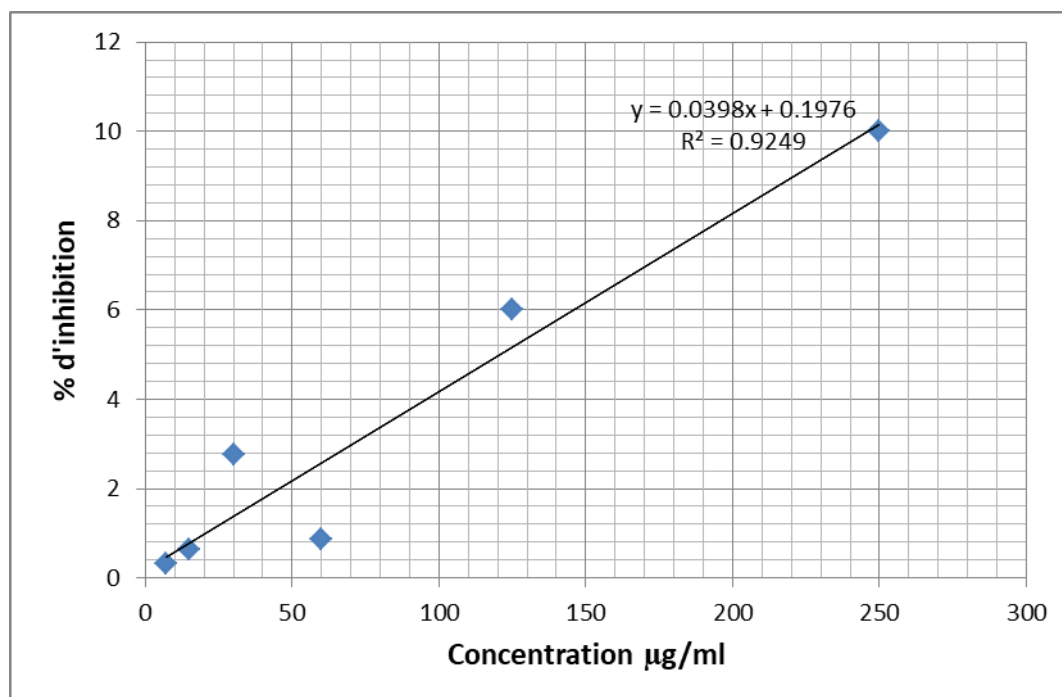


Figure 20 : La courbe de l'inhibition du DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique.

Beaucoup de publications actuelles ont indiqué qu'il y a une relation directe entre les activités antioxydantes et la puissance de réduction des composants de quelques plantes (Bentabet *et al.*, 2014).

Les résultats obtenus montrent que la capacité d'extrait à réduire le Fer est largement inférieure à celle de l'acide ascorbique. A la concentration de 50 µg/ml par exemple, l'absorbance est de (D.O= 0,122±0,06) pour l'extrait contre (D.O=0,635±0,51).

Le pouvoir réducteur d'extrait de la plante est probablement dû à la présence de groupement hydroxyle dans les composés phénoliques qui peuvent servir comme donneur d'électron. Par conséquent, les antioxydants sont considérés comme des réducteurs et inactivateurs des oxydants (Bougandoura et Bendimerad, 2012).

Les études menées par Van Acker et al sur la chélation des ions du fer par certains flavonoïdes "la quercétine" ont mis en évidence des sites essentiels de complexation des ions métalliques. Ce processus dépend de multiples paramètres tels que la concentration de l'ion métallique et du polyphénol, la température, le pH, la présence d'agents complexants (Ghedadba *et al.*, 2015).

Quelques études antérieures ont également montré que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle (Bougandoura et Bendimerad, 2012).

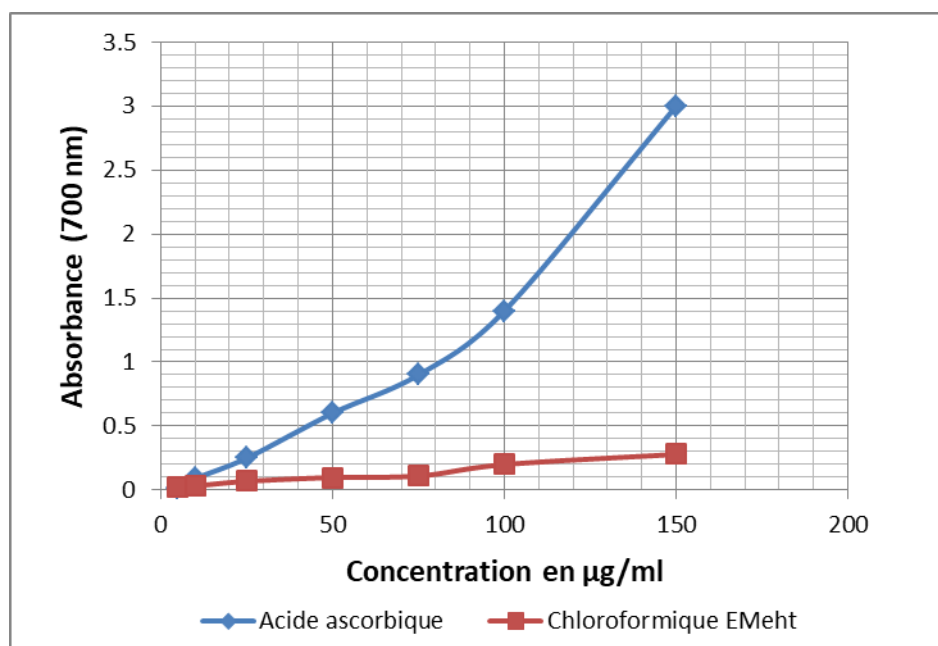


Figure 21 : Evaluation de l'activité antioxydante d'extraits et d'acide ascorbique par la méthode FRAP.

V.2.3. Test de blanchissement de la β -carotène:

Dans ce test, l'oxydation de l'acide linoléique génère des radicaux peroxydes libres qui oxydent le β - carotène hautement insaturé entraînant ainsi la disparition de sa couleur rouge, qui est suivie spectrophotométriquement à 470 nm. Cependant, la présence d'un antioxydant pourrait neutraliser les radicaux libres dérivés de l'acide linoléique et donc prévenir l'oxydation et le blanchissement du β - carotène.

La cinétique de blanchissement du β - carotène en absence et en présence de l'extrait des cladodes et d'antioxydant standard (acide ascorbique), est représentée dans la **Figure 22**.

L'acide ascorbique montre une courbe sous forme d'un plateau, ce qui signifie que le pouvoir antioxydant est très efficace. Il est suivi de façon moins importante par l'extrait méthanolique des cladodes dans l'ordre. En absence d'antioxydant (acide ascorbique ou extrait) le déclin est très remarqué.

Cependant, il est évident que le standard et l'extrait testé inhibent significativement ($p < 0.05$) l'oxydation couplée de l'acide linoléique et du β -carotène par rapport au contrôle négatif.

Avec des concentrations de 100 $\mu\text{g/ml}$ d'extrait méthanolique des jeunes cladodes du figuier de barbarie, l'activité antioxydante calculée entre t_0 et t_{120} est estimée à un taux 85 % d'inhibition de blanchissement du β -carotène.

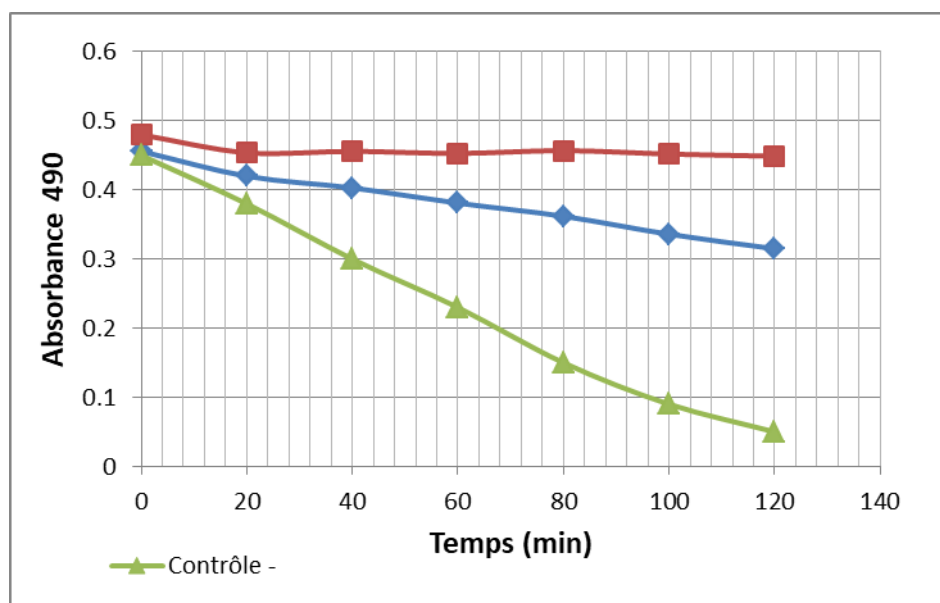


Figure 22 : Cinétique de blanchissement du β -carotène à 490 nm en absence (contrôle -) et en présence de l'extrait méthanolique (EMet), et de l'acide ascorbique (contrôle +).

Un extrait qui retarde ou inhibe le blanchissement du β -carotène peut être décrit comme un piègeur de radicaux libres et comme un antioxydant primaire (**Liyana Pathirana et al., 2006**). **Takahama, (1983)** a montré que les flavonoïdes ont la capacité de terminer la réaction en chaîne de la peroxydation des lipides par le piégeage du radical peroxyde LOH.

Le test d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique couplée à celle du β -carotène, paraît très utile comme un modèle mimétique de la peroxydation des lipides dans les membranes biologiques (**Ferreria et al., 2006**).

Or, Etant donné que le test de blanchissement du β -carotène est similaire à un système d'émulsion des lipides dans l'eau, **Frankel et Meyer (2000)** ont proposé que les antioxydants apolaires exposent des propriétés antioxydantes plus importantes car ils sont concentrés au sein de l'interface lipide-eau, permettant ainsi de prévenir la formation de radicaux lipidiques et l'oxydation du β -carotène. Alors que les antioxydants polaires restent dilués dans la phase aqueuse et sont ainsi moins efficaces dans la protection des lipides.

Selon **Haddadi (2005)**, plusieurs facteurs semblent moduler les résultats d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique à savoir la nature liposoluble ou hydrosoluble des antioxydants et leur concentration.

Généralement, les polyphénols et plus particulièrement les flavonoïdes, sont connus par leur activité antioxydante grâce à leurs groupements hydroxyles fortement réactifs, en piégeant, inactivant et stabilisant les radicaux libres (radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$), anions superoxydes ($\text{O}\cdot$) et radicaux peroxylipidiques), formant ainsi des espèces radicalaires intermédiaires peu réactives. Ils sont également capables de chélater les ions métalliques qui peuvent renforcer les effets délétères, par la production des radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) (**Ghedira, 2005 ; Chaudhuri et al., 2007 ; Mladěnka et al., 2011**).

V.3. L'activité anti inflammatoire in vitro:

V.3.1. Activité sur la dénaturation des protéines:

La **Figure 23** montre les résultats de l'activité anti-inflammatoire in vitro, de l'extrait des polyphénols des jeunes cladodes d'Opuntia et du diclofénac, par évaluation des pourcentages d'inhibition de la dénaturation de Bovine sérum albumine (BSA).

D'après les résultats de la **Figure 23**, l'extrait étudié inhibent la dénaturation de BSA à la concentration de 250 µg/ml. De même, le diclofenac sodium est un médicament anti inflammatoire utilisé comme standard, exerce un effet comparable à la même concentration.

On note un pourcentage d'inhibition égale à **84,4±0,7%** pour notre extrait, comparé à **36,91±0,88%** pour le diclofenac à la même concentration. Ceci dévoile que notre extrait est plus efficace d'un taux de 47,49% à ce médicament pour une dose de 250 µg/ml ($P < 0,05\%$).

Cet effet positif dépassant celui du diclofenac est aussi remarqué par **Haioun et Hamoudi, (2015)** pour une autre plante médicinale.

La production d'auto-antigènes dans les maladies inflammatoires peut être due à la dénaturation des protéines in vivo. Le mécanisme possible de la dénaturation consiste à l'altération des liaisons électrostatique, hydrogène, hydrophobe et disulfure qui maintien la structure tridimensionnelle des protéines (**Mizushima et Kobayashi, 1968; Sangeetha et al., 2011**).

Il est prouvé que les anti-inflammatoires non stéroïdiens comme le phenylbutazone et l'indomethazine inhibent pas seulement la synthèse des prostaglandines pro-inflammatoires, mais inhibent aussi la dénaturation des protéines (**Sangeetha et al., 2011**).

D'après les résultats, on constate que notre extrait est capable de contrôler la production d'auto-antigène par l'inhibition de la dénaturation des protéines.

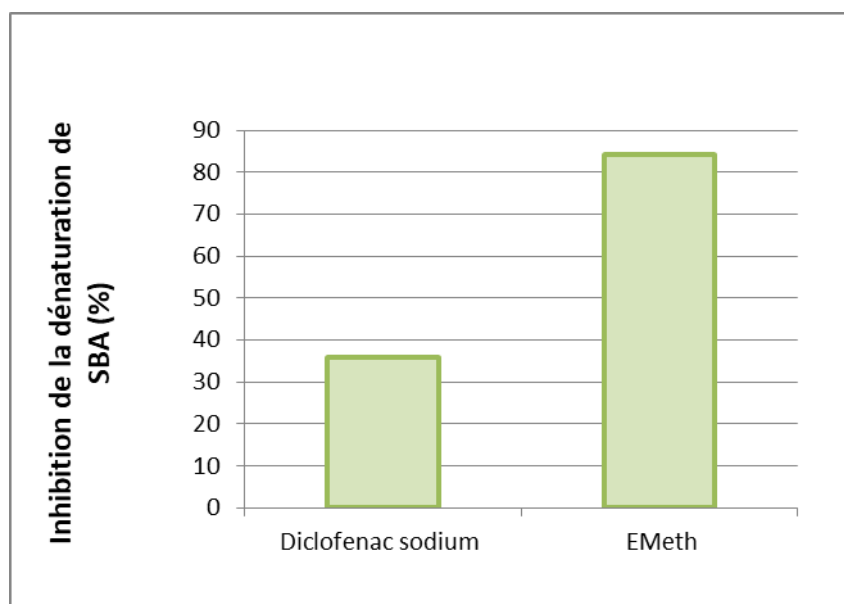


Figure 23 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de BSA à la concentration de 250 µg/ml.

L'activité inhibitrice de la dénaturation de BSA est peut être attribuée à la présence de différents composés bioactifs tels que les flavonoïdes et les tannins, trouvés dans l'extrait lors des criblages phytochimiques.

De nombreuses études ont évalué l'effet inhibiteur de différents extraits de plantes sur l'activité anti-inflammatoire in vitro par la méthode de la dénaturation des protéines (Sangeetha *et al.*, 2011; Adarsh *et al.*, 2011).

V.3.2. Evaluation de l'activité anti-hémolytique:

Afin d'évaluer l'effet anti-inflammatoire d'extrait méthanoliques des raquettes *d'OFI*, un test de stabilisation membranaire de globules rouges humains a été réalisé. Ce test consiste à incuber une suspension de globules rouges humains, traitée avec une solution hypotonique associée à une température élevée, avec les extraits ou les molécules de références; le diclofenac comme anti-inflammatoire.

L'effet protecteur de l'extrait méthanoliques des raquettes *d'OFI*, contre l'hémolyse des globules rouges, provoqué par hypotonie et chaleur, est significatif à la concentration de 16 $\mu\text{g/ml}$ ($25.84\pm 0,49$ %) et atteint un pourcentage maximum de $36.14\pm 0,97$ % à une concentration de 60 $\mu\text{g/ml}$. Toutefois, l'effet de cet extrait commence à diminuer significativement à partir de 260 $\mu\text{g/ml}$ (Figure 24).

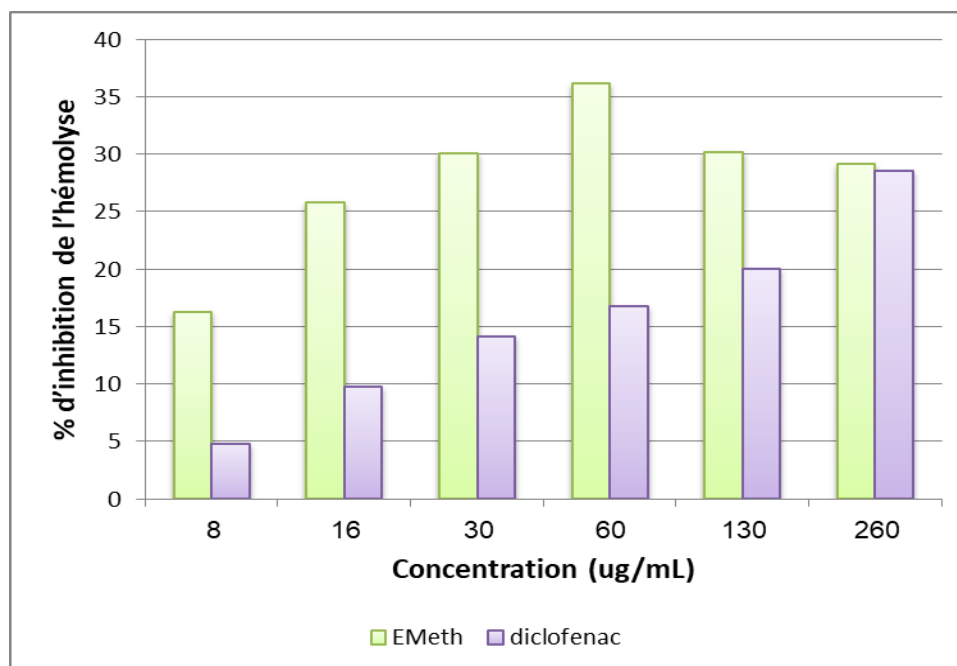


Figure 24 : La comparaison entre effet de l'extrait méthanolique des raquettes *d'OFI*, et diclofenac sur l'inhibition de l'hémolyse des globules rouges.

Mesuré par rapport à l'extrait, le diclofenac ne présente aucun effet inhibiteur significatif aux concentrations inférieures à 60 µg/ml. L'activité anti-hémolytique croissante dose dépendante de ce médicament, s'est révélée significative à partir de 60 µg/ml ($16,9 \pm 0,45\%$), et il se montre efficace à partir de 130 µg/ml avec un pourcentage de protection de 20.01%, pour arriver à un maximum de $28,31 \pm 0,62\%$ pour 260 µg/ml (**Figure 24**).

Aux doses utilisées, l'extrait méthanolique donne un effet inhibiteur plus efficace que celui du diclofenac. Des résultats similaires ont été observés par **Ait Idir et Bouyoucef, en (2017)** pour les extraits des racines et des feuilles de la plante *Pistacia lentiscus L.*

En soustrayant les valeurs des deux substances testées, la différence d'inhibition à 60 µg/ml était significative avec un avantage de 19,24% pour l'extrait de cladodes.

De nombreux rapports précédents prouvent que des enzymes lysosomiales s'échappent de l'intérieure de leurs limites et pénètrent dans l'environnement extracellulaire pendant l'inflammation aiguë et chronique. L'interruption du processus inflammatoire pourrait se fonder sur l'utilisation des agents stabilisant la membrane du lysosome pour empêcher la libération des enzymes hydrolytiques, qui causent la dégradation tissulaire et l'augmentation du stress oxydatif au sein des tissus et des organes (**Ignarro, 1974 ; Vadivu et Lakshmi, 2008 ; Oyedapo et al., 2015**)

Ces enzymes endommagent les macromolécules des membranes cellulaires et induisent la peroxydation lipidique, aboutissant à la destruction de ces membranes, menant ainsi à l'activation de protéines responsables de l'inflammation, provoquant alors la production des espèces oxydatives (**Ignarro, 1974 ; Vadivu et Lakshmi, 2008 ; Oyedapo et al., 2015**).

En raison de la ressemblance de la membrane de lysosome avec celle du globule rouge, le test de stabilisation de la membrane de ces derniers a été employé comme modèle pour examiner l'efficacité anti-inflammatoire des extraits de plantes, via l'exposition des érythrocytes à une solution hypotonique, ainsi qu'à une température élevée, (**Reshma et al., 2014 ; Oyedapo et al., 2015**).

La richesse de l'extrait en composés phénoliques; notamment flavonoïdiques, pourrait contribuer à l'effet anti-inflammatoire prouvé dans cette étude. Plusieurs recherches ont rapporté l'effet de quelques molécules appartenant à la famille des flavonoïdes sur l'inhibition de la cyclooxygénase (COX) et la lipooxygénase (LOX), et l'inhibition de TNF- α et de NF- κ B (luteolin) (**Xagorari et al., 2001 ; Hämäläinen et al., 2007 ; Hwang et al., 2009**).

Ces antioxydants naturels possèdent aussi un effet anti-hémolytique, en stabilisant la membrane des globules rouges contre la lyse hypotonique, maintenant ainsi leur intégrité membranaire (la distribution asymétrique des phospholipides) (**Chaudhuri *et al.*, 2007**).

De plus ils pourraient agir en chélatant les métaux de transition tels que le cuivre et le fer (**Mladěnka *et al.*, 2011**).

CONCLUSION

Conclusion générale

Les plantes médicinales restent toujours une source fiable des molécules bioactives, ayant montré leurs efficacités dans le traitement de diverses pathologies, tout en prévenant l'apparition des effets secondaires observés, lors de l'utilisation des médicaments de synthèse chimique.

Les jeunes cladodes de la plante "*Opuntia ficus indica*" d'appellation vernaculaire "Figuier de Barbarie", possède un pouvoir pharmacologique, dont les indications thérapeutiques sont nombreuses.

Se fouiller dans la composition phytochimique de l'extrait alcoolique de ces raquettes à leur jeune stade de croissance, s'est avéré très intéressant en dévoilant l'existence en quantité très appréciable de ces métabolites bioactifs polyphénoliques dans les parties végétatives testées.

L'engagement dans les analyses d'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait, nous a permis de discerner son influence assez remarquable sur le réajustement de l'équilibre oxydatif. En agissant par une multitude de mécanismes, à plusieurs niveaux du phénomène en question, à savoir la chélation des métaux pro-oxydants, le piégeage des radicaux libres ou même l'entrave de la peroxydation lipidique; ces principes actifs de nature phénoliques peuvent se concourir sérieusement pour présenter un remède prometteur contre les maladies nouées au stress oxydatif.

La 3^{ème} série d'analyses anti-inflammatoires, a conduit vers une vision plus claire sur l'effet de l'extrait des jeunes raquettes du Figuier de barbarie sur ce mécanisme immunitaire. On aperçoit une emprise de l'extrait, à des doses faibles, sur la dénaturation des protéines, avec un bon maintien de la stabilité des membranes des érythrocytes dans des conditions d'hémolyse provoqués.

On peut conclure que l'*Opuntia*, sont dignes de prétendre le label "plante médicinale" vu son énorme potentiel médical, mais elle nécessite malgré tous, de parcourir un long chemin pour convaincre la communauté Algérienne locale par son utilisation comme aliment fonctionnel à effet prophylactique et thérapeutique.

En perspective, on recommande de poursuivre cette étude par:

- Des analyses plus modernes et si sophistiquées qu'ils mènent vers une détermination précise de la composition moléculaires des principes actifs des jeunes cladodes du figuier de barbarie Algérien.
- Des tests in vivo, sur les propriétés biologiques, éventuellement inhumés dans l'ignorance, de ces nopales locales toujours sous exploités.

Références bibliographiques

- Abidi. S, Ben salem. H, Vasta. V, Priolo.A ., (2009):** Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving goat hay. *Small Rumin. Res.*, 87, 9–1.
- Actualités pharmaceutiques ., (2009) :** (pharmaco thérapeutique pratique –p 51) And ischemic tissues. *Journal of Leukocyte Biology*, 80, 714-718.
- Afonso. V, Champy. R, Mitrovic. D , Collin. P, & Lomri. A., (2007):** Radicaux libre dérivés de l’oxygène et superoxydes dismutases : role dans les maladies rhumatismales. *Revue du Rhumatisme*, 74, 636 – 643.
- Amarowicz. R, Pegg. R, B. Rahimi-Moghaddam, P. Barl, B. & Weil . J. A.,(2004) :** Free radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food Chemistry*, 84, 551 – 562.
- Ammar. R.B, Bhourri .W, Sghaier. M. B, Boubaker . J, Skandrani .I, Neffati .A, Bouhlel I, Kilani. S, Mariotte .A. M, Chekir-Ghedira .L, Dijoux-Franca .M. G. D. , and Ghedira .K .,(2009):** Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (*Rhamnaceae*) : A structure-activity relationship study. *Food Chem.* 116: 258-264.
- Anderson. E. F., (2001):** The Cactus Family, Timber Press, Portland, p. 15–72.
- Arba. M., (2006):** ‘Dellahia’ a cactus pear cultivar from the Mediterranean coast of Northern Morocco. *Acta Horticulture.* 728, 37-41.
- Babar. M. A., Hahn. E. J., & Paek. K. Y., (2007):** Methyl jasmonate and salicylic acid induced oxidative stress and accumulation of phenolics in panax ginseng bioreactor root suspension cultures. *Molecules*, 12, 607 – 621.
- Bahorun. T, Gressier.B , Troitin .F, Brunet .C, Dine .T, Luyckx .M, Vasseur J., Cazin M., Cazin J. C. and Pinkas M.,(1996):** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arznei. Forschung.*46: 1086-1089.

- Bahorun. T., (1997) :** Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *Food and Agricultural Research Conseil, Mauritius, Amas*, 83-94.
- Barnes. P.J.,(1998):** Anti-inflammatory actions of glucocorticoids : molecular mechanisms. *Clinical Science*, 94, 557-572.
- Barton. G. M., (2008):** A calculated response: control of inflammation by the innate immune system. *The Journal of clinical investigation*, 118(2), 413-420.
- Bennick. A., (2002):** Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13, 184-196.
- Bonnefont-Rousselot. D, Thérond. P, Delattre. J., (2003) :** Radicaux libre et antioxydant en : Delattre, J., Durand, G., Jardillier, J. C. *Biochimie pathologique. Flammarion, Pr*is, p, 317.
- Boutakiout. A, Elothamani. D, Mahrouz. M, Hanine, H., (2015):** hytochemicalconstituent and in vitro radical scavengingActivity of different cladode juice of cactacea cultivars from différent areas in Morocco.*International Journal Of Technology and EmerginEgineering Research Vol 3, Issue 01 Issn 2347-4289.*
- Brahmi. D, Bouaziz. I , C. Ayed, Y. Ben, Mansour. H , Zourgui .L, Bacha. H., (2011):** Chemopreventiveeffect of *Opuntia ficus indica* on oxidative stress and genotoxicity of aflatoxin B1.*Nutrition & Metabolism.*, 8 :73.
- Bruckner. H, Westhauser. T., (2003):** Chromatographic determination of L- and Daminoacids in plants. *Amino Acids*, 24, 43–55.
- Bruneton. J., (2009) :** Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 4^{ème} édition. Edition Lavoisier Tec & Doc. Médicales Internationales, Paris, p 261 , 308 , 571.
- Bruneton. J., (1999) :** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. Paris : ed. Tec & doc-Lavoisier ; 1999. p 1120.
- Butera. D, Tesoriere. L, Di Gaudio. F, Bongiorno. A, Allegra. M, Pintaudi . A. M, Kohen. R, 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.

- Cano. N, Barnoud. D, Schneidre. S, Vasson. M. P, Hasselmann. M, Leverve. X., (2007) :**
Traité de nutrition artificielle de l'adulte. 3 émé édition. Edition springer- Verlag, p
254.
- 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.
- 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.
- Charles. N , Serhan. Peter, A. Ward, and Derek.W , Gilroy .,(2010):** Fundamentals of
Inflammation. Cambridge University Press, 2-3.
- Chia-Fung. K, Shun. C, and Burgess .J. R., (1995):** Deficiency of vitamin E and selenium
enhances calcium-independent phospholipase A2 activity in rat lung and liver. The
journal of nutrition, 125(6), 1419-1429.
- Chira. K, Suh. J. H, Saucier. C, & Teissédre. P. L., (2008) :**Les polyphénols du raisin.
Phytothérapie, 6 ,75 – 82.
- Chira. K, Suh. J. H, Saucier. C, & Teissédre. P. L., (2008) :** Les polyphénols du raisin.
Phytothérapie, 6, 75 – 82.
- Chung. W.J., (2014):** Management of portal hypertensive gastropathy and other bleeding.
Clinical and Molecular Hepatology, 20; 1-5.
- Chung. Y. C, Chang. C. T, Chao. W. W, Lin. C. F, & Chou. S. T., (2002):** Antioxidative
activity and safety of the 50% ethanolic extract from red bean fermented by *Bacillus*
subtilis IMR-NK1. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 50, 2454 – 2458.
- Colline. S, Crouet. J., (2011) :** Polyphénols et procédés: Transformation des polyphénols au
travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Agence universitaire de la
francophonie, Edition Lavoisier, 2011, p.1-300.
- Cowan. M. M., (1999) :** Plant Products as antimicrobial agents. Clinical Microbiology
Reviews, 12 (4), 564 – 582.

- D'Archivio. M, Filesi.C, Di Benedetto. R, Gargiulo. R, Giovannini. C, & Masella. R., (2007):** Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann. Ist. Super Sanità*, **43** (4), 348 – 361.
- Dacosta. E., (2003) :** Les phytonutriments bioactifs. Yves Dacosta (éd). Paris, p317.
- Del Vall. V. P, Hernandez Munoz. A, Guarda. M.J, Galotto., (2005):** Development of a cactus mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend straw berry (*Fragaraananassa*) shelf-life, *Food chemistry*; 91: 571-756.
- Delattre. J, Beaudeau. J. L, & Bonnefont-Rousselot., (2005) :** Radicaux libres et stress oxydant: aspects biologiques et pathologiques. Edition Lavoisier TEC & DOC éditions Médicales Internationales, Paris, p 14 , 93 , 94.
- 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-Mostafa. K, El Kharrassi. Y. A, Badreddine. P, Andreoletti. J, Vamecq. M.S, El Kebbaj. N, Latruffe. G, Lizard. B, Nasser .B, and M. Cherkaoui Malki ., (2014) :** “Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition”, *Health and Disease. Molecules*, 19, pp. 14879-14901.
- Elsevier. Masson., (2006):** The role of JAM-A and PECAM-1 in modulating leukocyte infiltration in inflamed Thierry généraleau , benoit de Wazières , olivier lortholary . *Médecine clinique* pour le removal of hexavalent chromium from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 174, 310-317.
- Favier. A., (2003) :** Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, 108 – 115.
- Food sources and bioavailability., (2004):** *American Journal of Clinical Nutrition*.
- Ganesh. G, Saurabh. M, & Sarada. N.C., (2013):** Antioxidant and Antiinflammatory Activities of the Methanolic Leaf Extract of Traditionally Used Medicinal Plant *Mimusops elengi* L. *Pharm. Sci. & Res. Vol.5(6)*, 2013, 125 – 130.
- Ghedira. K .,(2005):** Flavonoids: structure, biological activities, prophylactic function and therapeutic uses. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.

- Ginestra. G, Parker. M.L, Bennett. R.N, Robertson. J, Mandalari. G, Nnarbard. A, Locurto. R.B, Bisignano. G, Faulds. C.B, Waldron. K.W., (2009):** Anatomical, chemical, and biochemical Characterization of cladodes from Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *J. Agric. Food. Chem.*, 57, 10323-10330.
- Guevara Figueroa. T, Jimenez Islas. H, Reyes Escogido. O. M.L, Mortensen. A. G, Laurrsenc. B.B, Lin. L, Leon Rodrigues. A, Fomsgard. I.S, Barbadela Rosa. A.P., (2010):** Proximate composition, phenolicacids, and flavonoid scharacterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 525–532.
- Gutteridge. J. M, & Halliwell. B., (1990):** The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends Biol Sci*, 15, 129 – 135.
- Habbi. Y., (2004) :** Contribution à l'étude Morphologique, ultra structurale et chimique de la figue de barbarie : les polysaccharides pariétaux caractérisation et modification chimique. Thèse Doctorat : Marrakech : Université Josep Fourier., 1, pp4-5.
- Havsteen. B.H., (2002):** the biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmaco. Thérapeute*, 96: 67– 202
- Helmuth. G.Z, Granata. G., (1997):** Insect Pests and diseases. *Cacti Biology and uses*: 235-254.
- Henzen. C., (2003) :** Traitement aux glucocorticoïdes: risques et effets secondaires. *Forum médical suisse*, 19; 442-446.
- Hoffmann. L, Besseau. S, Geoffroy. P, Ritzenthaler. C, Meyer. D , Lapierre. C, Pollet. B, et Legrand. M ., (2004):** Silencing of hydroxycinnamoyl coenzyme A shikimate quinate hydroxycinnamoyltransferase affects phenylpropanoidbiosynthesis. *Plant cell.*, 16 (6) : 1446- 1465.
- Iwalewa. E. O, Mc Gaw. L.J, Naidoo. V, & Eloff. J. N., (2007):** Inflammation: the foundation of diseases and disorders. A review of phytomedicines of South Africanoriginused to treat pain and inflammatory conditions. *African Journal of Biotechnology*, 6(25). 304-315.
- Jaramillo Flores. M.E , Gonzeles Cruz. L, Cornrjo Mazon. M, Dorantes Alvarez. L , Gutierrez Lopez. G. F, Hernandez Sanchez. H., (2003) :** Effect of thermal treatment

- on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Sci. Technol. Int.* 9, 271–278.
- Jean Jacques. M., (2005)** : livre « les composés phénoliques des végétaux.
- John. A , Baillièrè ., (1883)** : « Encyclopédie internationale de chirurgie, Volume 1 » .
- John. Libbey., (2003)** : Euro texte Polyarthrite rhumatoïde de l'adulte: conception actuelle.
- Joslyn. J. M. A.,(1970)**: “Tannins and related Phenolics”. In *Methods in food analysis*, p. 701-725.
- Kartal. N, Sokmen. M, Tepe. B, Daferera. D, Polissiou. M, and Sokmen. A., (2007)** :Investigation of the antioxidant properties of *Ferula orientalis* L. using a suitable extraction procedure. *Food Chemistry*, 100, 584–589.
- Kening. Y, Vincenzo. D. L, et Normand. B., (1995)**: Creation of a metabolic sink for tryptophan alters the phenylpropanoid pathway and the susceptibility of potato to *hypophthora infestans*. *The plant cell.* 7 : 1787-1799.
- Kessel. L , Tendal. B, Jorgensen. K.J, Erngaard. D, Flesner. P, Andresen. J.L, and Hjortdal. J., (2014)**: Post-cataract prevention of inflammation and macular edema by steroid and nonsteroidal anti-inflammatory eye drops. *Ophthalmology*, 121(10); 1915-1924.
- Koehlin-Ramonatxo . C., (2006)** : Oxygène, stress oxydant et supplémentation antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans la maladie respiratoire. *Nutrition Clinique & Métabolisme*, 20, 165 – 177.
- Kosalec. I, Bakmaz. M, Pepeljnjak. S, and Vladimir-Knezevic S., (2004)**; Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta. Pharm.* 54: 65-72.
- Kosalec. I, Bakmaz. M, Pepeljnjak. S, and Vladimir-Knezevic. S.,(2004)**: Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta. Pharm.* 54: 65-72.
- Lamb. B., (1991)** : Le guide des cactus dans le monde. Delachaux et Niestlé, 2-144.
- Mace. T, Mace. S., (2003)** : Cactées et succulentes. Hachette livre, p.12-20.

- Macheix. J. J, Fleuriet. A. et Jay-Allemand. C., (2005) :** Les composés phénoliques des végétaux un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed Presses.
- Malainine. M. E, et al ., (2001) :** Phys. Chem. News 4 126-130.
- Manach. C, Scalbert. A, Morand. C, Remesy. C, Jimenz. L ., (2001):** Polyphenols: M-E. Malainine, A. Dufresne, D. Dupeyre, M. Mahrouz, R. Vuong, M. R. Vignon, Grenoble Workshop on Advanced Methods for Lignocellulosics and paper Products Characterization, 163-166.
- Marc Schweizer., (1997) :** Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu.
- Martin. S, & Andriantsitohaina. R ., (2002) :** Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de Cardiologie*, **51**, 304 – 315.
- Martin. S, Andriantsitohaina. R., (2002) :** polytechnologiques et universitaires romandes. p4-5. Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de cardiologie et d'angéiologie*. 51.
- Martínez-Cayuela. M., (1995):** Oxygen free radicals and human disease. *Biochimie*.77: 147-161.
- Medellin. M. L. C, Salvidar. S. O. S, De la Garza. J. V :** Arch. Latinoam. Nutr., 48.
- Merghem. R ., (2009) :** Eléments de biochimie végétale. Editions Bahaeddine Algérie, p 111, 123.
- Mohsen. S. M, and Ammar. A. S. M., (2009):** Total phenolic contents and antioxidant activity of corn tassel extracts. *Food Chemistry*, 112, 595-598.
- Mulas. M, and Mulas. G., (2004):** Potentialites d'utilisation strategique des plantes des genres atriplex et opuntia dans la lutte contre la desertification.
- Munoz de Chavez. M, Chavez. A, Valles. V, Roldani. J. A., (1995):** The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev. Nutr. Dietetics*, 77, 109–134.
- Nathan. C ., (2002):** Points of control in inflammation. *Nature*, 420, 846-852.
- Nicolas. J.F, Florence. C, and Jean. T., (2001) :** Immunologie clinique et allergologie. Aspirine et AINS : intolérance et allergie. *John* 79(5), 727-747.
- Nourshargh. S, Fritz. K, and Elisabetta. D., (2006).**

- Novelli. G. P.,** (1997) :Role of free radicals in septic shock. *J. Physiol. Pharmacol.*; 48: 517-527.
- O'connell. J. E , & Fox. P. F.,** (2001) : Significance and application of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review .*international Dairy journal*, **11**, 103 – 120.
- Ou. B, Hampsch-Woodill. M , & Prior. R. L.,** (2001): Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **49**, 4619 – 4626.
- Pacd. J.,** (2003): General Review of Opuntias in India p 41 .*journal of pathology*, 86(1), 183.
- Paraskevi. M.,** (2007): The spectrum of phytoestrogens in nature : ourknowledge isexpanding. *Hormones*, 6 (3) : 173-193.
- Park. E.H. J. H, Kahng. E. A, Paek. A. P.,** (1998): *Res.*, 21 30-34.
- Pimienta. B.E, Prickly. p.,** (1994): (Opuntia spp.): avaluable fruit crop for the semiarid land of Mexico. *J. Arid Environ.*, 28,1–11.
- Pincemail. J, and Defraigne. J. O.,** (2004): Les antioxydants : un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène.
- Pottier. A. G.,** (1979) : Flore de la Tunisie Angiospermes Dicotyledones, Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, Tunis, p 543.
- Ribéreau. G. P.,** (1968) : "Les Composés phénoliques des végétaux," Dunod.
- Ribéreau-Gayon. J, Peynaud. E, Sudraud. P, & Ribéreau-Gayon. P.,** (1968) : Sciences et techniques du vin. Tome 1. Edition. Dunod, Pari, p 671.
- Rijke. E , Out. P, Niessen. W. M. A, Ariese. F, Gooijer. C , & Brinkman. U. A. T.,**(2006): Analytical separation and detection methods for flavonoids. *Journal of Chromatography A*, **1112**, 31 – 63.
- Rock. E.,** (2003) : Stress oxydant, micronutriments et sante. Université d'été de Nutrition Clermont-Ferrand, 37-42.
- Rodriguez. F.A et Cantwell. M.,** (1988): Developmental changes in composition and quality of pricklypear cactus cladodes (Cactus pearitos). *Plant Food Human Nutrition*, 38, 83-93.

- Roman. R.R , Flores. S.J L, Alarcon. A. F/ J., (1995):** Anti-hyperglycemic effect of some edible plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 48, 25-32.
- Rsaissi. N, Bouhache. M et Bencharki. B ., (2013) :** Potentiel allélopathique du figuier de barbarie « *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill » sur la germination et la croissance du jujubier « *Ziziphus lotus* (L.) Desf.» *International Journal of Innovation and Applied Studies*. pp. 205-214.
- Ryan. G. B , & Majno. G., (1977) :** Acute inflammation. A review. *The American*.
- Samouelian. F, Gaudin. V, & Boccara. M ., (2009) :** Génétique moléculaire des plantes. Edition Quae, p 21, 22.
- Samouelian. F, Gaudin. V, & Boccara. M., (2009) :** Génétique moléculaire des plantes. Edition Quae, p 21, 22.
- Shipp. J, & Abdel-Aal. E. S. M., (2010):** Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *The Open Food Science Journal*, 44, 7 – 22.
- Singh. U, Devaraj. S ,and Jialal. I., (2005):** VITAMIN E, OXIDATIVE STRESS, AND INFLAMMATION. *Annual Review of Nutrition*, 25, 151-175.
- Skadhauge. B, Gruber. M.Y, Thomsen. K.K, Von. Wettstein. D.,(1997):** Leucocyanidin reductase activity and accumulation of proanthocyanidins in developing legume tissue. *Am. J. Bot.* Pp494-503.
- Stintzing. F.C, Carle. R., (2005):** Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*, 2005, 49, 175-194.
- Tapas. A. R , Sakarkar. D.M, & Kakde. R.B., (2008) :** Flavonoids as nutraceuticals: A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3), 1089 – 1099.
- Teles. F.F. F, Stull. J.W, Brown. W. H, Whtinig. F.M .,(1984):** Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *J. Sci. Food Agric*, 35, 421–425.
- Valko. M, Leibfritz. D , Moncol. J, Cronin. M.T, Mazur. M , & Telser. J., (2007).** Free radicals and antioxidants in normal physiological function and human disease. *Int j Biochem Cell Biol*, 39, 44 – 84.

- Valls. J, Millan. S, Marti. M. P, Borrás. E , & Arola. L ., (2009) :** Advanced separation methods of food anthocyanins ,isoflavones and flavanols . *Journal of Chromatography A*, 1216 (43), 7143 – 7172.
- Viot. S., (2004) :** Les petites protéines de stress et leur rôle dans la mort cellulaire. Etude de leur fonction chaperon à travers l'exemple de la mutation R120G de l' α - β - cristalline. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon 1.
- 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.
- Weill B, Batteux F and Dhainaut J (2003) :** Immunopathologie et réactions inflammatoires. Eds, De Boeck Université (Paris), 12-23.
- Willis. R.B, and. Allen. P.R.N.,(1998):** Improved method for measuring hydrolysable tannins using potassium iodate”, *The analyst.*, 123, 435-439.
- Yordi. E. G , Pérez. E. M , Matos. M. J , & villares. E. U., (2012) :** Antioxidant and pro oxidant effects of polyphenolic compounds and structure- activity relationship evidence, 23 –48.

Résumé

Le figuier de Barbarie est une plante adaptée au climat aride et semi-aride. Ses cladodes largement consommés au Mexique, sont pleins de composants bioactifs à effets bénéfiques pour la santé. L'extrait des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* a fait l'objet de ce travail.

La quantification des métabolites secondaires a mis en évidence l'existence, en quantité considérable, des polyphénols totaux $64 \pm 1,12 \text{ mg EAG /g}$ y compris les flavonoïdes $3,27 \pm 0,77 \text{ mg EQ/g}$, les tanins condensés $0,185 \pm 0,21 \text{ mg EAT/g}$ et hydrosolubles $0,096 \pm 0,3 \text{ mg EAT/g}$, ainsi que les flavones et flavonols $2,20 \pm 0,07 \text{ mg EQ/g}$.

L'analyse des propriétés antioxydantes a donné un **IC50 de 14.8 µg/ml** pour le test DPPH, une absorbance de $0,122 \pm 0,06$ pour le test FRAP et une inhibition de **85%** du blanchissement du b-carotène, tandis que les tests anti-inflammatoires aboutissent à une inhibition de $84,4 \pm 0,7\%$ concernant la dénaturation des protéines et un effet protecteur de $36.14 \pm 0,97\%$ des hématies contre l'hémolyse induite.

L'activité anti radicalaire et anti-inflammatoire de l'extrait polyphénolique des jeunes cladodes a montré que ce cactus mérite d'attirer mieux l'intention des investisseurs et des chercheurs.

ملخص

التين الشوكي هو نبات متكيف بامتياز مع المناخ الجاف وشبه الجاف، كما تعتبر فروع هذا الصبار المستعملة كخضار في المكسيك، غنية بالمواد البيولوجية الفعالة ذات الأثر الصحي المفيد للمستهلك. مثلت دراسة مستخلصة هذه الفروع هدفا هذه الدراسة.

سمحت الدراسة الكمية تحديد نسبة لعديد الفينولات $64 \pm 1,12 \text{ mg EAG /g}$ بما فيها الفلافونويدات $3,27 \pm 0,77 \text{ mg EQ/g}$ ومشتقات حمض التانيك الذوابة $0,096 \pm 0,3 \text{ mg EAT/g}$ والكثيفة $0,185 \pm 0,21 \text{ mg EAT/g}$ ، إضافة إلى الفلافونات والفلافونولات $2,20 \pm 0,07 \text{ mg EQ/g}$.

من جهة أخرى أظهرت التحاليل القدرة المضادة للأكسدة نسبة **IC50 de 14.8 µg/ml** لـ DPPH، نسبة امتصاص $0,122 \pm 0,06$ لـ FRAP مع تثبيط قدره $84,4 \pm 0,7\%$ فيما يخص تبييض البيتاكاروتين. أما بالنسبة للالتهاب فان تعطيل عملية هدم البروتينات كانت $84,4 \pm 0,7\%$ مع امكانية للحفاظ على الكريات الحمراء بلغت $36.14 \pm 0,97\%$ ضد عملية تحليلها.

نستنتج من هذه النتائج ان القدرة المضادة للالتهاب والاكسدة لهذه الفروع تجعلها تستحق التفاتة من الباحثين والمستثمرين على حد سواء.

الكلمات الأساسية: فروع التين الشوكي، مضاد للأكسدة، مضاد للالتهاب، عديدات الفينول.