



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم: الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département : Biochimie et Biologie Moléculaire et Cellulaire

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Biochimie de la Nutrition

Intitulé :

Valorisation d'un produit du régime Méditerranéen : Opuntia ficus-indica utilisations nutritionnelles et thérapeutiques.

Réalisé par : BELLEL Nibel

Le : 29/06/2020

CHERTOUT Lina Kamar

Jury d'évaluation :

Président du jury : DAFRI Amel (MCB – UFM Constantine1)

Rapporteur : MOUAS T.Nardjes (MCA – UFM constantine1)

Examineur : DJEDOUANI Amel (Pr – ENS)

Année universitaire

2019-2020

Remerciement

*Au bon **Dieu** le tout puissant et miséricordieux,
qui nous a éclairé notre chemin tout au long de nos études, qui
nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste
travail,*

*On tient également à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice le
Docteur **MOUAS Toma Nardjes**, Maitre de Conférences « A », Université
Frères Mentouri Constantine1, Pour avoir acceptée de nous encadrer et qui a
toujours été disponible malgré ses nombreuses occupations, et dont les
encouragements et les conseils judicieux nous furent d'une très grande
utilité.*

*Nos profonds remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont
porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir
par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs
qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans
la poursuite de nos études.*

*Enfin, on remercie tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont
contribué à la réussite de ce travail.*



Dédicaces

On dédie ce modeste travail à :

*Nos chers parents qui nous ont toujours soutenus,
encouragés et aidés tout au long de notre cursus.*

*Zu'ils trouvent, dans la réalisation de ce
travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que
l'expression de nos affectueuses gratitudee.*

*Nos frères et sœurs, nos amis et collègues qui nous
ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au
long de notre démarche.*

Et à tous ceux qui nous sont chers

♥ Lina & Nibel ♥

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	01
<i>Chapitre I : Généralités sur l'Opuntia ficus-indica</i>	
1. Le figuier de Barbarie dans le règne végétal	06
1.1. Description morphologique	06
1.2. Classification systématique	07
1.3. Nomenclatures et appellations	07
2. Origine géographique et aire de répartition du figuier de Barbarie	08
2.1. Origine.....	08
2.2. Aire de répartition géographique.....	08
2.2.1. Le figuier de Barbarie dans le monde	08
2.2.2. L'introduction du figuier de Barbarie dans la culture méditerranéenne.....	09
2.2.3. Le figuier de Barbarie en Algérie.....	09
2.3. Variation de la figue de barbarie	10
3. Culture du figuier de Barbarie.....	11
4. Exigences de milieu	11
5. Utilisation de la figue de Barbarie	14
5.1. Usages traditionnels	14
5.1.1. En médecine	14
5.1.2. Usage culinaire	15
5.2. Usages courants	15

Chapitre II : Opuntia ficus indica d'un point de vue nutritionnel

1. Valeur nutritionnelle	19
2. Composition biochimique	19
2.1.Composition en métabolites primaires, eau et substances organiques	19
2.2. Composition en métabolites secondaires	28
3. Changement de la composition chimique des raquettes	36
3.1.Minéraux.....	36
3.2.Composés phénoliques	36
3.3.Acides aminés	37
3.4.Fibres	37
4. Changement de la composition chimique du fruit.....	38

Chapitre III : Activités biologiques d'Opuntia ficus indica

1. Activité antioxydante	41
1.1.Activité antioxydante de l'extrait de jus du figuier de barbarie	42
1.2.Activité antioxydante de l'huile de graine du figuier de barbarie	43
1.3.Activité antioxydante de l'extrait de tige du figuier de barbarie	43
2. Activité antibactérienne	44
3. Activité antiulcéreuse	44
4. Activité anti-inflammatoire	46
5. Activité diététique	47
6. Activité anticancéreuse	48
7. Activité antidiabétique	49
I. Conclusion	51
Références bibliographiques	
Résumés	

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Quelques variétés de la figue de barbarie cultivées dans le monde.	10
2	Exigences écologiques du figuier de Barbarie.	12
3	Exigences biotiques du figuier de Barbarie.	13
4	Utilisations du figuier de Barbarie.	14
5	Usage cosmétique et pharmaceutique des différentes parties de figuier de barbarie.	17
6	Composition chimique de la figue de Barbarie.	19
7	Teneur en eau de différentes variétés de la figue de barbarie.	20
8	Composition de la figue de Barbarie en glucides.	21
9	Composition de la figue de Barbarie en acides gras.	22
10	Composition de la figue de Barbarie en Acides aminés.	24
11	Composition minérale de la figue de Barbarie.	26
12	Composition en fibres alimentaires de la figue de Barbarie.	27
13	Composition de la figue de Barbarie (<i>O. ficus-indica</i>) en composés phénoliques.	29
14	Composition de la pulpe de figue de Barbarie (<i>O. ficus-indica</i>) en Bétalaines.	30
15	Structure de quelques caroténoïdes du figuier de barbarie.	31
16	Composition de la figue de Barbarie (<i>O. ficus-indica</i>) en β - carotène.	32
17	Composition de la figue de Barbarie (<i>O. ficus-indica</i>) en vitamines.	33
18	Composition de la figue de Barbarie (<i>O. ficus-indica</i>) en phytostérols.	35
19	Résumé des expériences et les effets sur la santé d' <i>O. Ficus-indica</i> .	40

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Histogramme de l'évolution du nombre de recherches scientifiques sur <i>O. ficus-indica</i> dans le temps.	05
2	Aspect général d' <i>Opuntia ficus-indica</i> .	06
3	Position d' <i>Opuntica ficus-indica</i> .	07
4	Répartition mondiale d' <i>Opuntia ficus-indica</i> .	08
5	Structure chimique du radical libre DPPH •.	42
6	Observations microscopiques de la muqueuse gastrique des rats.	46

Liste des abréviations

ABTS	2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique).
Fe³⁺	Fer ferreux.
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power.
ORAC	Acronyme pour Oxygen Radical Absorbance Capacity.
HPLC	High performance liquid chromatography.
HDL	Lipoprotéine de haute densité.
LDL	Lipoprotéine de basse densité.

Introduction

|

« La nutrition » est un déterminant majeur de la santé, outil de prévention et arme thérapeutique. Les liens entre nutrition et santé sont de mieux en mieux connus, ainsi suivre les recommandations nutritionnelles nationales en établissant un régime alimentaire équilibré, peut largement réduire le risque de développer de nombreuses maladies et allonger l'espérance de vie.

Depuis quelques décennies, les diététiciens s'intéressent de plus en plus à l'établissement de divers régimes alimentaires diététiques, équilibrés, amaigrissants... , dans le but d'améliorer notre santé et bien-être. Le régime méditerranéen ou Crétois défini comme un « art de manger », est le seul qui a prouvé scientifiquement et de manière rigoureuse son efficacité à prévenir l'infarctus, l'accident vasculaire cérébral, le diabète, les cancers, et les maladies dégénératives (**De Lorgeril et Salen., 2015 ; Nissensohn et al., 2016 ; Estruch et al., 2013 ; Tektonidis et al., 2015 ; Nissensohn et al., 2016 ; Knight et al., 2016 ; Parisi et al., 2014**).

Ce n'est pas un régime spécifique, mais plutôt un ensemble d'habitudes alimentaires traditionnellement suivi par des personnes dans le rivage de la méditerranée qui comprend 22 pays, situé sur trois continents (Europe, Afrique et Asie).

Ce régime fait référence à un profil alimentaire communément disponibles au début des années 60 dans les régions méditerranéennes et caractérisé par :

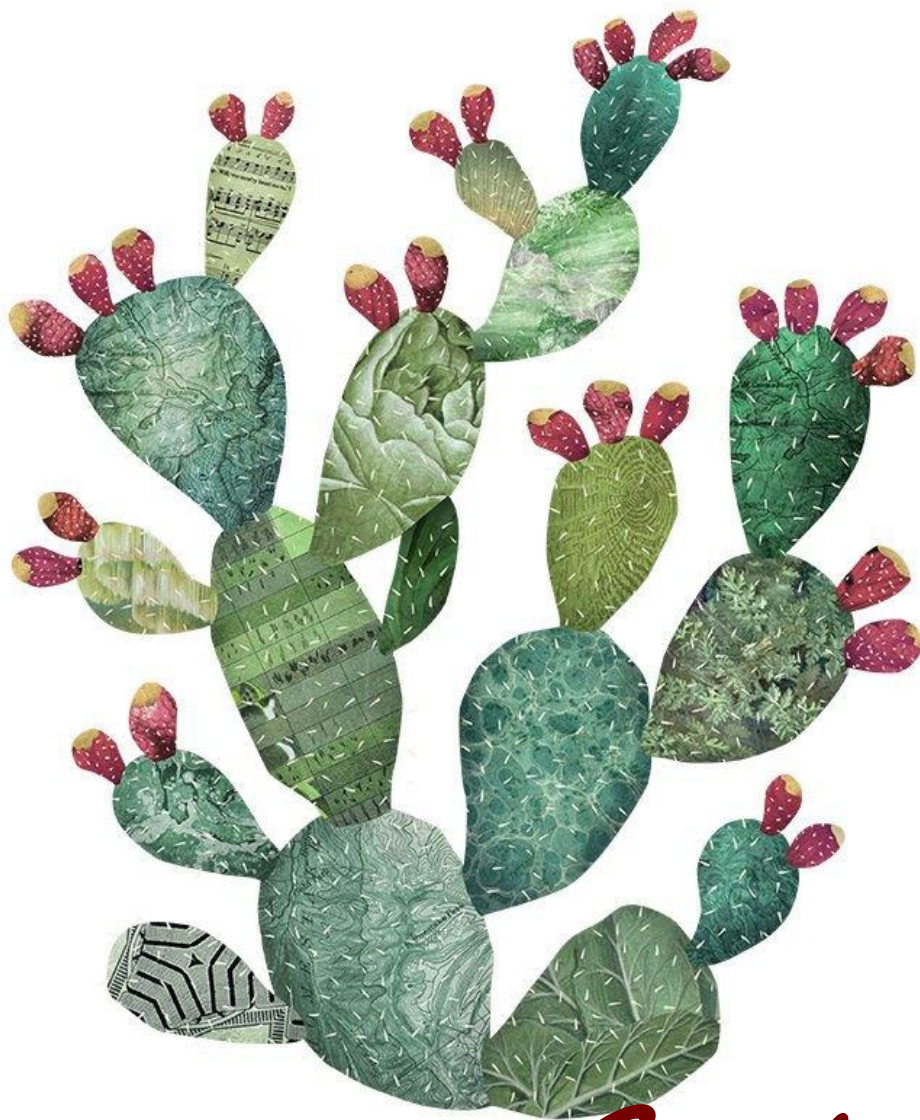
- ❖ **Une forte consommation de fruits, légumes, légumineuses et les céréales, comme principale source de fibres et antioxydants.**
- ❖ **Une consommation modérée de poisson, les noix, et huile d'olive comme principales sources de graisses (riche en AGMI et AGP)].**
- ❖ **Une faible consommation de la viande rouge et de confiserie, comme sources de sucre et d'acides gras saturés.**

Ainsi, les fruits et légumes de saison sont des éléments de base dans le régime méditerranéen, où les produits ruraux et locaux retrouvent toute leur place, à l'instar de la figue de Barbarie implantée au moyen âge dans la région, elle est devenue un de ses produits phares. C'est une espèce spontanée, envahissante et s'adaptant aux conditions climatiques les plus dures, elle est utilisée le plus souvent comme fruit, fourrage ou encore pour ses vertus médicinales. C'est ainsi que la recherche médicale redécouvre avec intérêt grandissant la plante et ses propriétés.

La présente étude s'inscrit dans ce cadre de la promotion des bio-ressources renouvelables locales pour une agriculture et une Eco-économie durables et responsables.

Le présent manuscrit est scindé en trois parties :

- ✚ La première partie présente des généralités sur ***Opuntia ficus-indica*** : classification systématique, origine, répartition géographique et usages communs.
- ✚ La seconde partie énumérant la composition des diverses parties de la plante en métabolites primaires et secondaires ainsi que sa valeur nutritionnelle.
- ✚ Une troisième partie regroupant les activités biologiques attribuées à *Opuntia ficus-indica*.
- ✚ Enfin, une conclusion générale et des perspectives de recherche viendront clôturer cette revue.



*Synthese
bibliographique*

Chapitre 1

*Généralités sur *Opartria ficus indica*.*

|

Des recherches intensives ont été conduites depuis 1981 jusqu'à nos jours dans des sites et bases de recherche : Sciences directe, Springler, ACS, RS, Google Scholar, Pub Med, Pub chem,... afin de voir l'évolution des recherches scientifiques sur *Opuntia ficus-indica* dans le temps.

Les résultats de ces investigations sont présentés sous forme d'histogramme (**figure 1**).

Il en ressort, que d'après l'allure générale de l'histogramme la tendance est à l'augmentation des recherches scientifiques sur l'arbre étudié, ce qui dénote un essor considérable et un intérêt croissant dans ce domaine, et prouve de même que le choix du thème est pertinent et d'actualité.

Au terme de cette recherche, une sélection d'articles, revues et livres scientifiques ayant traité un de ces domaines : ethnobotanie, ethnopharmacologie, composition chimique, valeur nutritionnelle, applications biologiques et biotechnologiques, a été minutieusement étudiée afin d'en tirer le maximum d'informations et mettre en exergues les acquis ainsi que les manques qu'il serait intéressant d'investir dans de futures recherches.

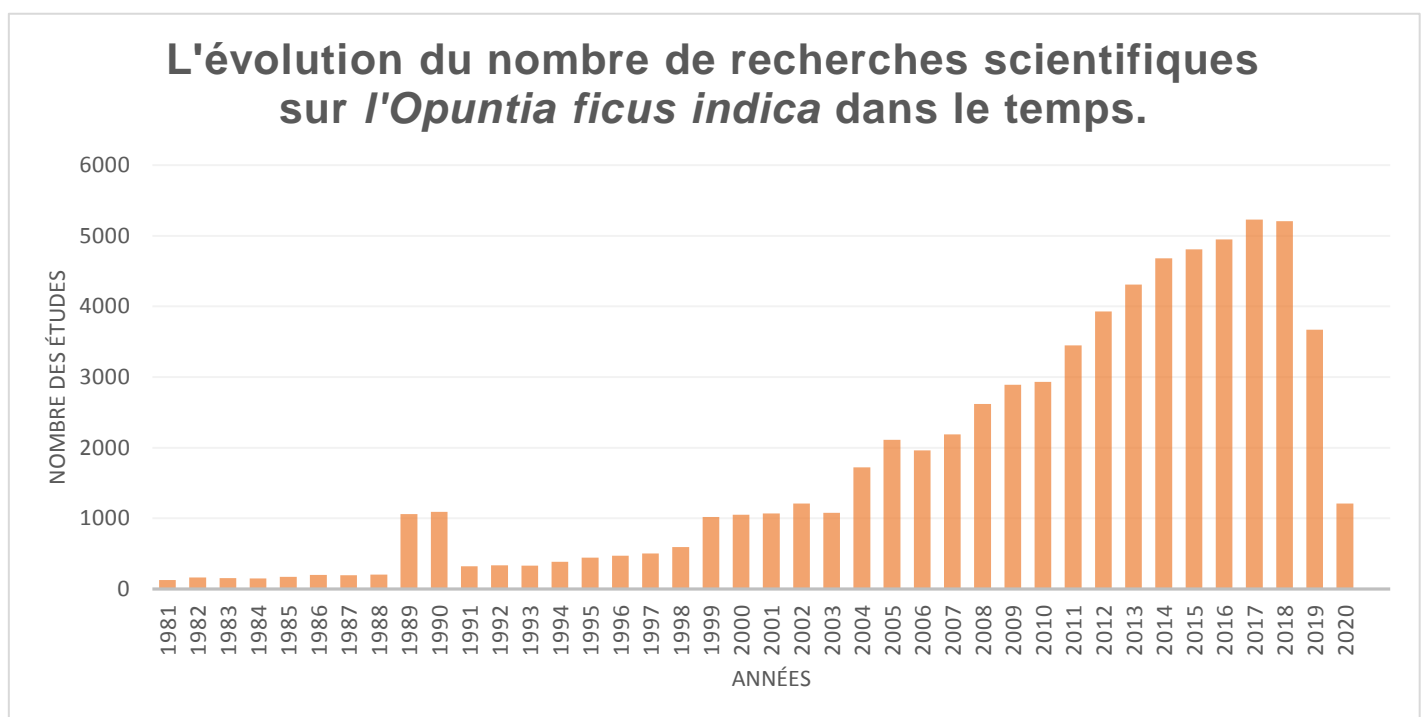


Figure 1 : Histogramme de l'évolution du nombre de recherches scientifiques sur *O. ficus-indica* dans le temps.

1. Le figuier de Barbarie dans le règne végétal

1.1. Description morphologique

Le figuier de Barbarie est une plante grasse et arborescente, donnant des fleurs et des fruits en abondance, possède des tiges sous forme de raquettes (segments plats) qui mesurent de 30 à 40 centimètres de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur, surmontées au printemps de fleurs de couleur jaune vif et à fruits violets de forme arrondie, la floraison a lieu en avril,-mai et les fruits sont cueillis en fin juillet à septembre, dès qu'ils deviennent un peu mous. (Revue nature et santé, 2011).

○ Les tiges (raquettes)

De couleur verte, recouvertes d'une cutine qui limite la transpiration de la plante et assure la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles. Elles portent de redoutables épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base.

○ Les fleurs

Hermaphrodites avec une corolle apparaissent sur le dessus des raquettes, de couleur jaune, orange ou rouge.

○ Les fruits

- **La baie** : c'est le fruit ovoïde et charnu.
- **La peau** : verte jaunâtre, ornée de petites épines.

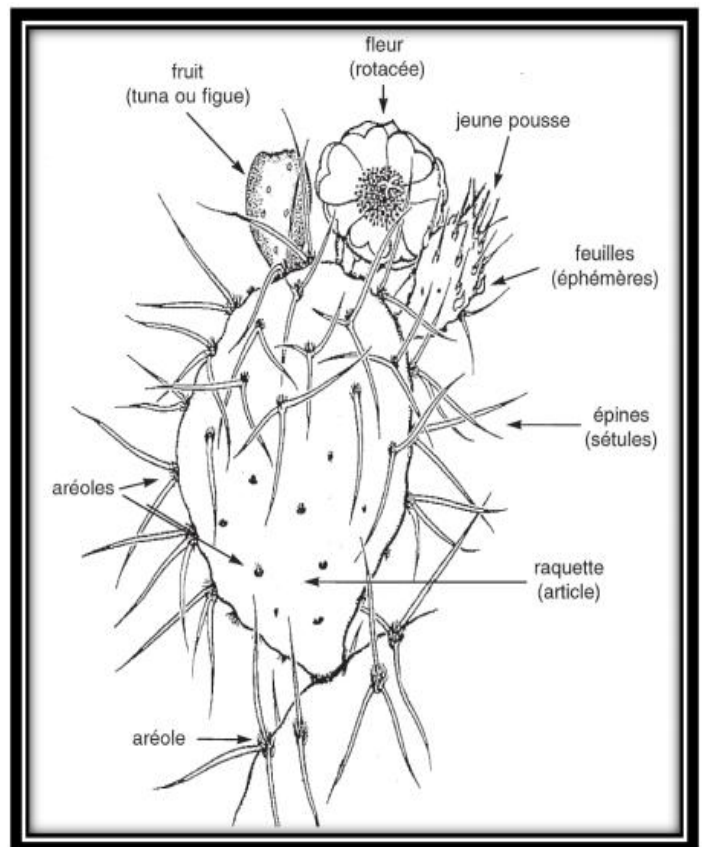


Figure 2 : Aspect général d'*Opuntia ficus-indica* (Revue nature et santé, 2011)

1.2. Classification systématique

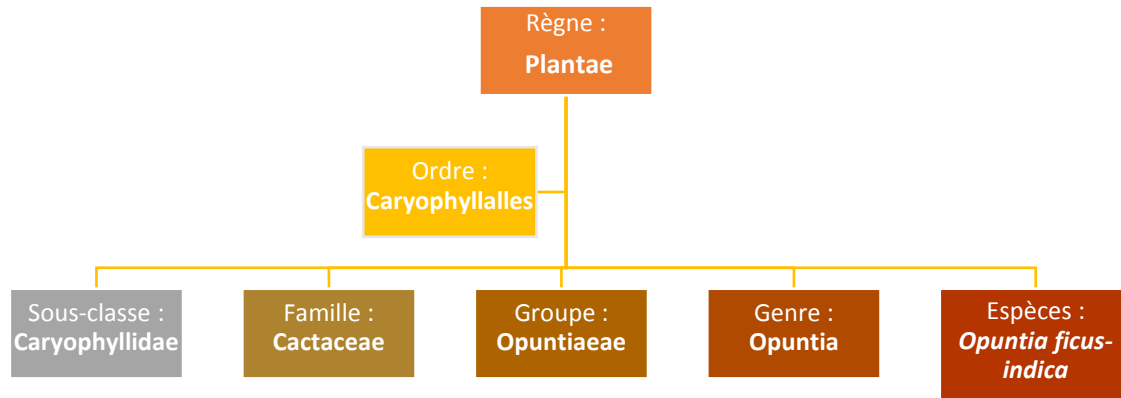


Figure 3 : Position de l'*Opuntia ficus-indica* (Britton et al., 1963).

1.3. Nomenclatures et appellations :

- **Au Mexique** : Nopal
- **En Espagne** : outre Nopal, Nopallito, Nopalcito, Tuna, Ensada, Higos de Pala, Higos de Mauro.
- **En Andalousie** : Chumbera ou HigueraChumbra.
- **En Italie** : Fico de India.
- **En Angleterre** : Barbaryfig, Devilstongue (langue du diable), Pricklypear (poire à épines), Indianfigtree.
- **En Allemagne** : Feigenkaktus, Feigendistel, IndischeFeige, Opuntie.
- **En Grèce** : Chardon des Indes, Figuier des Francs.
- **En Hollande** : Gewconeveyg, Indiannschewyg.
- **Au Portugal** : Opuncia.
- **En Égypte** c'est l'El-tin-el-Choki
- **Au Maroc** : Karmous en sarra (chardon des Nazaréens) ou Figuier des Chrétiens, zaâboul et aknari.
- **En Tunisie et en Algérie** : « hendi » où « hindia ».

2. Origine géographique et aire de répartition du figuier de Barbarie

2.1. Origine

Il a été reporté que le figuier de Barbarie est originaire du Mexique, s'adapte et pousse à l'état sauvage dans les régions arides et semi-arides de l'Amérique du Sud, l'Afrique et la région méditerranéenne (Reynolds et al., 2003).

2.2. Aire de répartition géographique

2.2.1. Le figuier de Barbarie dans le monde

La distribution géographique de *Opuntia ficus-indica* est très large, se trouve au Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine et Afrique du Nord (Berbera et al., 1992).

De même sa culture est largement rependue dans le bassin Méditerranéen (Italie, Espagne, Grèce, Algérie, Tunisie et Marocetc.), On le trouve également au Canada, en Argentine et au Pérou à une altitude élevée.

De nos jours, le figuier de Barbarie est introduit et cultivé dans plus de 30 pays comme plante cosmopolite servant de fourrage et de production de fruits. (Rapport du ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2010)

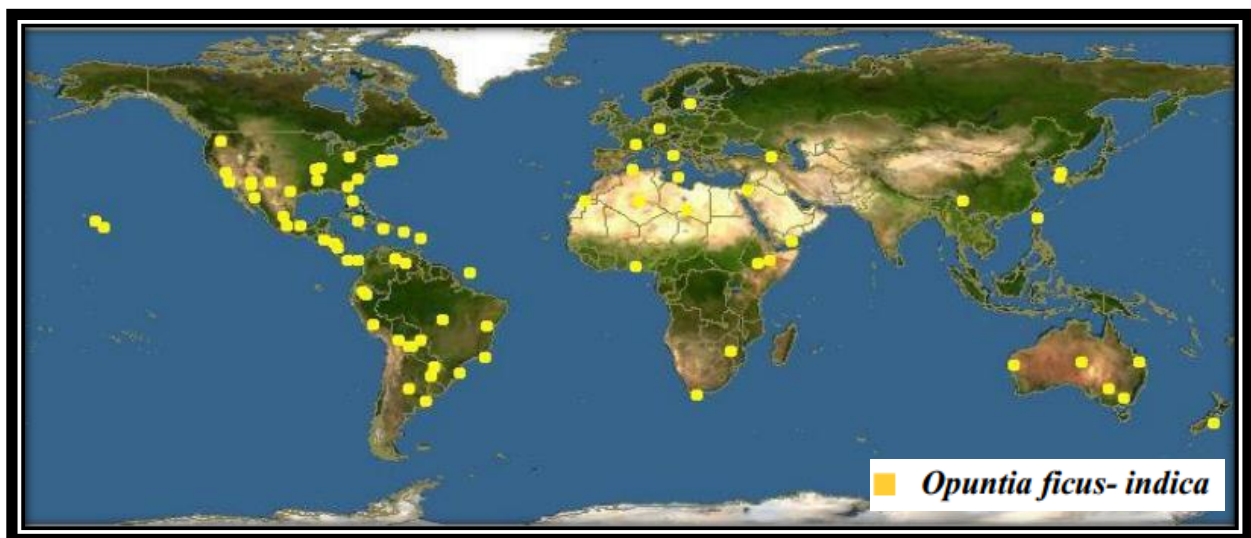


Figure 4 : Répartition mondiale d'*Opuntia ficus-indica* (Bennatia F, 2017).

2.2.2. L'introduction du figuier de Barbarie dans la culture méditerranéenne

Les Espagnols étaient les premiers à l'introduire en Europe, plus tard au 16^e siècle il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen notamment la partie Ouest de la Méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc).

En Italie, en Espagne et au Maroc le figuier de Barbarie est cultivé d'une façon intensive et développée dans le but de la production des fruits, du fourrage et même dans des usages industriels. Par contre en Australie et en Afrique du Sud il est considéré comme une mauvaise herbe à cause de la facilité avec laquelle elle se propage.

2.2.3. Le figuier de Barbarie en Algérie

Il est répandu dans toute l'Algérie souvent dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-bou-Arrerij, Constantine, Alger (à 550 mètres), M'sila (à 750 mètres) ; Laghouat et même à Ain-Sefra. Les plantes de clôture sont également utilisées pour la production de fruits et en saison sèche comme source de fourrage. Les fruits sont récoltés dans des plantations sauvages et sont utilisés pour la consommation humaine.

Il occupe notamment du centre à l'ouest une superficie dépassant les 25.000 hectares dans les wilayas de Blida, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, Ain-Témouchent, Oran, Mascara et Tlemcen.

Dans le sud, les cladodes sont utilisés comme aliments émergents pour les petits ruminants et les chameaux.

2.3. Variation de la figue de barbarie

Tableau 1 : Quelques variétés de la figue de barbarie cultivées dans le monde.

Sources : (Arba., 2009 ; Saenz., 2013 ; Ayele., 2010 ; Keitum et Mashope., 2007)

<i>Pays</i>	<i>Variété</i>	<i>Caractères</i>
<i>Maroc</i>	Aissa	Pulpe jaune orangé, maturité précoce, plus sucrée et juteuse.
	Moussa	Pulpe jaune orangé à maturité tardive, plus sucrée et juteuse
	El Bayda	Pulpe verte clair.
	El Akria	Pulpe rouge carmin.
	Dellahia	Pulpe verte, plus sucrée et juteuse, Maturité tardive
	Essaouira	Forme de petite poire à pulpe rouge pourpre, plus acide
<i>Italie</i>	Gialla	-
	Rossa	
	Bianca	
<i>Argentine</i>	Criollas	Pulpe jaune et cladode sans épines.
<i>Ethiopie</i>	Limo	Pulpe rose et cladode sans épines.
	Morado	Pulpe blanche
<i>Afrique du Sud</i>	Algerian	Pulpe rose foncé
	Santa Rosa	-

3. Culture du figuier de Barbarie

Opuntia ficus-indica est généralement cultivé pour ses fruits comestibles, et appartient aux plantes les plus utilisées dans différents domaines notamment en médecine traditionnelle (**Manpreet Ket *al.*, 2012**), utilisé également comme fourrage pour le bétail.

4. Exigences de milieu

Le figuier de Barbarie est une plante résistante qui se développe dans des conditions climatiques sévères et extrêmes (**Hernández-Urbiola *et al.*, 2011**), c'est une espèce des zones arides et désertiques. Il s'adapte morphologiquement et physiologiquement aux caractéristiques du milieu d'origine (**Mulas *et al.*, 2004**). Ces caractéristiques englobent principalement des facteurs climatiques qui contrôlent sa croissance et sa distribution.

Tableau 2 : Les exigences écologique du figuier de Barbarie, **source** :(**Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010**)

Conditions Ecologiques	✓ Climat	Aride et semi –aride
	✓ Température	Résistant aux basses températures jusqu'à -5 °C et aux fortes chaleurs qui dépassent 50 °C. Nécessite des chaleurs situées entre 15 et 25 °C durant la phase de croissance du fruit.
	✓ Sol	Large faculté d'adaptation dans les sols perméables, sableux ou caillouteux, acides et à faible taux d'argiles (< 20%). Les sols argileux peuvent être saturés et mal drainés.
	✓ Précipitations	Variet selon la nature des sols ; - Sols sableux → faibles précipitations. - Sols vaseux → moyennes précipitations.
	✓ Techniques de plantaton	Dans les régions du sud elle est effectuée à partir de Février ou en fin printemps dans d'autres régions. Des grandes boutures de tiges constituées de 4 à 5 cladodes sont récoltées et séchées et sont l'origine de chaque nouvelles plantation.
	✓ Drainage	Très sensible au manque d'oxygène au niveau des racines.

Tableau 3 : Les exigences biotiques du figuier de Barbarie, **source** : (WalaliLoudyi., 1995).

facteurs biotiques	✓ Mildiou des cactus	Une maladie caractérisée par des taches brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes. → Une coupure des parties atteintes lutte contre cette maladie.
	✓ Cératite	Une mouche méditerranéenne des fruits qui peut provoquer des dégâts dans les plantations mal entretenues. → Un traitement par des insecticides débarrasse facilement ces insectes.
	✓ Cochenilles	Un parasite qui attaque certaines espèces de cactées. → Des traitements aux huiles blanches ou au parathion permettent à la plante de résister contre cette espèce.

5. Utilisation de la figue de Barbarie

Tableau 3 : Les utilisations du figuier de Barbarie (Inglese et al., 1995).

Aires commerciales	Usages spécifiques
Production alimentaire	Fruits, Nopalitos, jus de fruits, extraction de l'huile des graines, Confiture.
Aliment de bétail	Fourrage, déchets de fruits.
Usage médical	Fleurs pour les diurétiques, cladodes pour diabètes, mucilages.
Usage agronomique	Fixation du sol, source d'eau complémentaire
Colorants	Bétalaines dans les fruits, acide carminique.

5.1. Usages traditionnels :

Le Nopal, depuis les racines jusqu'à ses épines, appartient aux plantes les plus utilisées dans différents domaines notamment en médecine traditionnelle (Bennatia., 2017).

5.1.1. En médecine :

Le figuier de Barbarie appartient depuis toujours aux plantes médicinales les plus utilisées. En médecine traditionnelle Il a été utilisé en raison de son rôle dans le traitement d'un certain nombre de maladies, y compris les effets anti-inflammatoires, antioxydants, hypoglycémiques et les effets neuroprotecteurs ainsi que l'inhibition des ulcérations gastriques (Manpreet et al., 2012)

Les propriétés anti-oxydantes de la figue de Barbarie sont dues à sa teneur en polyphénols, flavonoïdes, pigments (bétalains), la taurine et l'acide ascorbique

(Martínez et al., 2011). Ces propriétés anti-oxydantes réduisent le risque de cancer, des maladies cardiovasculaires et des maladies neuro-dégénératives comme l'Alzheimer (Feugang et al., 2006), cette plante a aussi un effet comme remède aux douleurs gastro-intestinales, l'angoisse et le stress.

Au Mexique, l'*Opuntia ficus-indica* a toujours été considéré comme un remède populaire efficace contre les brûlures, les plaies, les œdèmes et les indigestions. De plus, son extrait alcoolique possède des activités hypoglycémiques et antivirales, ainsi que ses tiges qui ont été utilisées traditionnellement pour traiter le diabète (Saenz., 2000).

5.1.2. Usage culinaire

Les fruits d'*Opuntia ficus indica* sont riches en sucre, minéraux et vitamines et sont consommés à l'état frais ou transformé (séchés, congelés, confits ou sous forme de jus d'alcool)

Chez les mexicains les jeunes cladodes « Napolitos » sont considérés comme un légume traditionnel riche en eau, en hydrate de carbone, ils sont consommés soit en état frais ou après cuisson et même en tant que confiture. Les jeunes cladodes servent de repas semblable à des haricots verts, conseillés pour les diabétiques de type2 (Stintzing et Carle., 2005).

5.2. Usages courants

5.2.1. En industrie alimentaire et agro-alimentaire

La figue de Barbarie, plus particulièrement la pulpe est utilisée dans le domaine alimentaire pour la production des jus et des confitures, Elle peut être aussi présentée sous forme d'un fruit déshydraté (Saenz., 2000).

En ce qui concerne La production des colorants alimentaires, le bétalaine (de couleur jaune) et le carmin (de couleur rouge) Sont des pigments azotés qui peuvent être extraite du Nopal et utilisés comme substituants des teintures rouges synthétiques dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique et fournissent des substances supplémentaires nécessaires à l'augmentation de la valeur nutritionnelle du produit (Amale., 2017).

5.2.2. Usage fourrager :

D'une façon générale, les tissus des *Opuntia* ont une faible teneur en protéines et en phosphore, ils sont moyennement riches en énergie et très riches en eau (85-90%) et en vitamine A. Ils sont recommandés comme complément de fourrage, surtout en été, ils facilitent la digestion et améliorent la production de viande (**Stintzing et Carle., 2005**).

5.2.3. Usage agronomique et écologique :

Le Nopal aide à la régénération des sols épuisés par la culture. Il fixe les terrains ravinés par les pluies ou sujets aux éboulements, il stabilise les terres sablonneuses et les dunes des rivages maritimes. Le cactus est utilisé pour lutter contre l'érosion et comme obstacle contre les incendies car il est résistant au feu (**Chougui et al., 2013**).

5.2.4. Production d'alicaments :

Une substance dite « Alicament » est n'importe quelle substance que ça soit un aliment où un composant d'un aliment qui fournit un bénéfice médical comme la prévention où le traitement des maladies (**Luc., 2008**).

A partir du Nopal, des gélules et des capsules peuvent être produites, elles régulent le transit de l'intestin et traitent des maladies comme l'obésité, le cholestérol, la constipation et les coliques (**Amale., 2017**).

5.2.5. Industrie cosmétique et pharmaceutique :

Tableau 5 : Usage cosmétique et pharmaceutique des différentes parties du figuier de barbarie
(Amale., 2017).

Le cladodes	-Le mucilage : fabrication des shampoings des crèmes dermiques et des laits hydratants. -La poudre : contrôle du sucre et du cholestérol dans le sang.
Les fleurs séchées	-Thé : remède aux maux des reins. -Capsules : régulant diurétique. -Bouilli : remède aux douleurs gastro intestinales et aux brulures et coups de soleil.
L'huile essentielle des graines des fruits	-Fabrication des crèmes dermiques antirides. - Commercialisation directe après l'extraction.

Chapitre 2

Opartia ficus indica d'un point de vue nutritionnel

|

1. Valeur nutritionnelle

Le figuier de Barbarie constitue une plante providentielle. Ses fruits sont riches en vitamine C, les jeunes raquettes sont consommées en salade, elles contiennent du cuivre, du magnésium et du fer.

Les glucides représentent l'essentiel de l'apport énergétique de la figue de Barbarie (44 kcal pour chaque 100g) donc elle est considérée comme un fruit modérément énergétique (piga., 2004).

2. Composition biochimique

Ainsi que la variété de la plante, la composition biochimique dépend de plusieurs facteurs écologiques : le sol, la saison et l'âge de la plante, les teneurs en éléments nutritifs ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues (Stintzing et Carle., 2005).

Tableau 6 : Composition chimique de la figue de Barbarie (g/100 g de matière sèche), source : (Jiménez-Aguilar et i., 2014).

Constituants	Pulpe	Écorce	Graines
Protéines	0.5-5.3	8.30	11.8
Lipides	0.7-1	2.40	6.77
Fibres total	20.50	40.8	54.2
Cendres	0.4-8.5	12.10	5.90
Sucres	11-16	-	-

2.1. Composition en métabolites primaires, eau et substances organiques

2.1.1. Eau

La nature succulente du péricarpe des fruits d'*Opuntia ficus indica* est causée par une teneur élevée en eau qui varie entre (81 et 90 %) (JiménezAguilar et al., 2014).

Le « **Tableau 7** » montre que cette valeur n'est pas constante, mais varie en fonction du climat et de l'humidité de la saison.

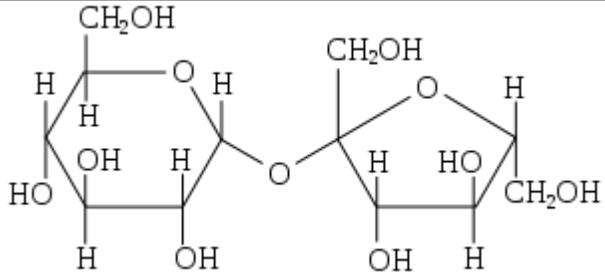
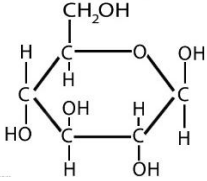
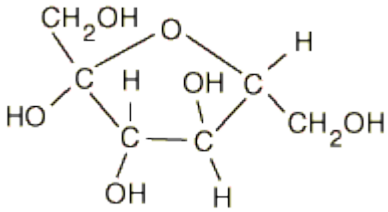
Tableau 7 : Teneur en eau de différentes variétés de la figue de barbarie
(g/100 g de matière fraîche) (Temagoult, 2016).

Variété	Teneur en eau (%)
Variété Marocaine	80.34
Variété Egyptienne « Al Sharqiyah »	86-90
Variété Mexicaine	82.27
Variété Kenyane	87.07

2.1.2. Glucides :

Avec une valeur énergétique de 4Kcal par gramme, Environ 40 à 50 % des calories apportées par l'alimentation humaine sont des glucides, ce sont des molécules organiques dont les carbones sont porteurs : d'une fonction alcool, d'une fonction aldéhyde ou cétonique (fonction carbonyle) et parfois d'une fonction acide ou aminée (Touitou., 2006).

Tableau 8 : Composition de la figue de Barbarie en glucides (% de matière sèche), **source :**
(Nebbache *et al.*, 2009 ; Jiménez-Aguilar *et al.*, 2014).

Sucres	Pulpe	Ecorce	Structures
Saccharose	0.19	2.25 – 2.3	
Glucose	29-35	14– 21	
Fructose	24 – 29.6	2.29 – 2.9	

D'autres monosaccharides non cellulosiques sont aussi présents :

- **Le galactose** (39,64- 1,96 µg / mg),
- **Le rhamnose**(7,13 - 1,28µg / mg),
- **L'arabinose** (39,64- 1,96 µg / mg),
- **Le xylose** (18,64- 0,84µg / mg)
- **Lemannose**13,64 - 0,81µg / mg)

Le glucose et le fructose sont les deux monosaccharides les plus importants dans la pulpe de la figue de barbarie (Jiménez-Aguilar *et al.*, 2014).

Leur répartition est contrôlée par des facteurs agronomiques et environnementaux ainsi que les différents stades de maturité. Les fruits les plus matures sont les plus riches en glucides (ElGharras *et al.*, 2006).

2.1.3. Acides gras

Les acides gras (AG) sont des molécules communes à l'ensemble des lipides vrais. Un acide gras est un acide carboxylique à chaîne aliphatique ou ramifiée, présentant des chaînes d'au moins 4 carbones jusqu'à généralement 28 avec ou sans double liaison (Thi., 2014).

Plusieurs études et analyses chromatographiques ont indiqué que l'*Opuntia ficus-indica* est une excellente source d'acides gras dont les fruits, la pulpe, les graines sont riche en acides linoléique, oléique et palmitique, Un niveau élevé d'acide linoléique oméga-6 était rapportée dans l'huile de graines (El-Moustafa et al., 2014).

Tableau 9 : Composition de la figue de Barbarie en acides gras, en mg/100 g de matière sèche (El-Moustafa et al., 2014).

Acide gras	C12 :0	C14 :0	C16 :0	C16 :1	C18 :0	C18 :1	C18 :2	C18 :3
Huile des graines	-	-	20.1	1.80	2.72	18.3	53.5	2.58
Huile de pulpe	-	1.13	34.4	1.62	2.37	10.8	37	12.68
Ecorce	0.71	1.95	23.1	2.48	2.67	24.1	32.2	9.27
Cladodes	1.33	1.96	13.87	0.24	3.33	11.16	34.87	33.23

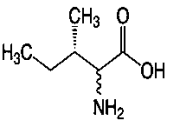
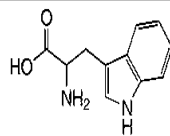
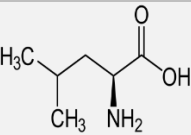
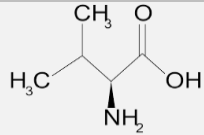
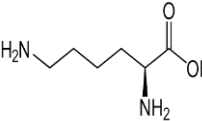
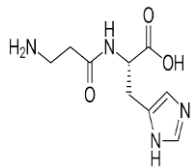
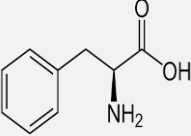
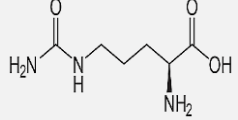
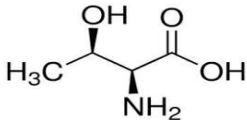
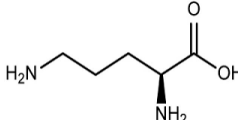
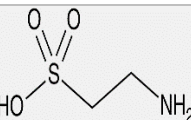
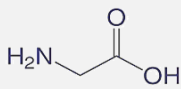
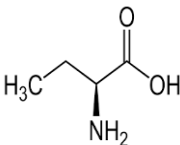
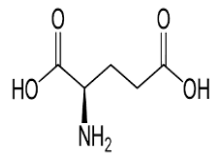
2.1.4. Acides aminés

L'acide aminé qui se trouve en grande quantité au niveau des cladodes du figuier de barbarie, est la glutamine suivie de la leucine, lysine, valine, arginine, phénylalanine et l'isoleucine. Par conséquent, dans la graine du fruit, l'acide aminé prédominant est l'acide glutamique à un pourcentage qui varie de 15,73% à 20,27%, suivi de l'arginine (4,81% à 14,62%) « **Tableau 10** ». Au niveau de la pulpe de la figue, les deux acides aminés majoritairement présents sont la proline et la taurine, qui représentent respectivement 46% et 15,78% de la teneur totale en acides aminés. Le taux de protéines des graines (13,62%)

est plus élevé que celui des cladodes (4% –10%) « **Tableau 10** ». Ainsi, les graines et la pulpe d'*opuntia ficus indica* peuvent être considérées comme une très bonne source d'acides aminés et de protéines (El-Mostafa et al., 2014).

Tableau 10 : Composition de la figue de Barbarie en Acides aminés, en mg/100 de matière sèche, **source : (El-Moustafa et al., 2014)**

Acides Aminés	Pulpe	Graines	Cladodes	Structures	Acides Aminés	Pulpe	Graines	Cladodes	Structures
Alanine	3.17	4.75	1.25	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ ^+\text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	Histidine	1.64	3.11	4.18	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ ^+\text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{NH}^+ \\ // \quad \backslash \\ \text{C} \quad \quad \text{CH} \\ \quad \quad / \\ \text{C}-\text{N} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $
Asparagine	1.51	-	3.13	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ ^+\text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{N} \quad \text{O} \end{array} $	Glutamine	12.59	-	36.12	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ ^+\text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{N} \quad \text{O} \end{array} $
Arginine	1.11	6.63	5.01	$ \begin{array}{c} \text{NH} \\ // \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C} \\ \\ \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array} $	Méthionine	2.01	0.70	2.92	$ \begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array} $
Serine	6.34	8.46	6.68	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ ^+\text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $	Cystéine	0.41	0.37	1.04	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{HS} \end{array} $
Proline	46.00	-	4.18	$ \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{HN}-\text{C}-\text{H} \\ // \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \backslash \quad / \\ \text{CH}_2 \end{array} $	Tyrosine	0.45	3.09	1.46	$ \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array} $

Isoleucine	1.13	6.20	3.97		Tryptophane	0.46	-	1.04	
Leucine	0.75	9.94	2.71		Valine	1.43	6.02	7.72	
Lysine	0.63	6.79	5.22		Carnosine	0.21	-	-	
Phénylalanine	0.85	5.25	3.55		Citrulline	0.59	-	-	
Thréonine	0.48	1.53	4.18		Ornithine	-	-	-	
Taurine	15.79	-	-		Glycine	-	5.06	-	
Acide α-Aminobutyrique	0.04	-	-		Acide glutamique	2.40	21.68	5.43	

2.1.5. Minéraux

Ce sont des substances non-énergétiques avec une très grande diversité, pondérale et fonctionnelle, ils participent soit à la formation de certains tissus où jouent en très faible quantité le rôle d'oligoéléments nécessaires dans plusieurs réactions biochimiques.

Le Nopal est riche en minéraux avec une teneur de (0.28 -0.39 %) et une prédominance du Potassium, Calcium et du Magnésium (El-Gharras et al., 2006 ; Medina et al., 2007).

Tableau 11 : Composition minérale de la figue de Barbarie en mg /100 g de matière sèche) (Jiménez-Aguilar et al., 2014).

Élément minéraux	Pulpe	Cladodes	Graines
Ca	163	2090	92-258
Mg	76	322	79-208
Na	7,8	<0,8	<0,8-12
K	559	3430	122-275
P	0.1	0.1	110-124
Fe	16.5	8.3	1.2-12.1
Cu	<0,8	0.9	<0,8-0.23
Zn	1.5	1.7	1.4-4.2
Mn	07	73	<0,8-2.3
Mb	<0,3	<0,3	<0,3

2.1.6. Fibres Alimentaires

Les fibres alimentaires sont reconnues comme des constituants polysaccharidiques non-digestibles des parois cellulaires végétales, aux propriétés bénéfiques pour la régulation du transit intestinal mais sans aucun rapport calorique (J-Chr Boclé et al., 2005).

Les polysaccharides tels que la cellulose, l'hémicellulose et la lignine sont appelés fibres insolubles ; elles peuvent constituer une barrière qui limite l'attaque des micro-organismes pathogènes en raison de l'épaisseur de la cuticule et de la faible digestibilité. Tandis que les fibres situées dans la cellule qui ne fait pas partie de la paroi cellulaire comme la pectine sont appelées fibres solubles, elles permettent de mettre en place un système colloïdal entre l'eau et la pectine, en évitant la déshydratation des tissus (**Rani et Kawatra., 1994**).

Selon **Rodríguez et al., (1996)**, la teneur en fibres est entre (0.02–3.15 g /100 g de matière sèche), et d'une façon générale les propriétés fonctionnelles principales de cette teneur en fibres comprennent la capacité de la rétention d'eau et l'adsorption des composés organiques.

La pectine partiellement responsable de la viscosité de la pulpe est un élément positif pour la production de jus, marmelades et confitures. Sa teneur dans la pulpe de la figue de barbarie est entre (0,17-0,21%) mais n'est pas suffisante pour produire des gels (**Saenz., 2000**).

Tableau 12 : Composition en fibres alimentaires de la figue de Barbarie en mg /100 g de matière sèche (**Pena-Valdivia et al., 2012 ; Jiménez-Aguilar et al., 2014**)

	Pulpe	Ecorce	Graine
Hémicellulose	2.5 - 6.4	20.8	9.9
Cellulose	14.2- 2.24	71.4	83.2
Pectine	0.21 - 1.45	7.7	6.69
Lignine	0.01	0.06	0.19

2.2. Composition en métabolites secondaires :

2.2.1. Composés phénoliques :

Le terme « Composé phénolique » englobe environ 8000 métabolites secondaires, qui possèdent un ou plusieurs cycles aromatiques et présents dans tous les organes de la plante.

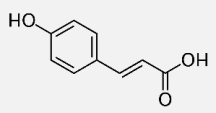
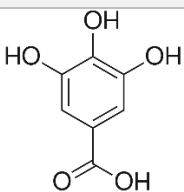
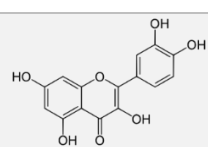
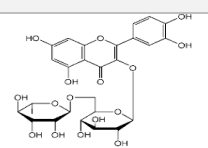
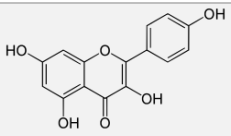
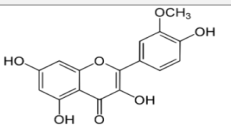
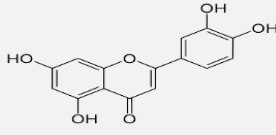
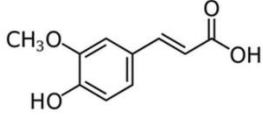
Les polyphénols sont des métabolites secondaires des plantes situées au niveau de la vacuole cellulaire (**Strack., 1997**). Ces composés agissent comme antioxydants, neutralisant le stress oxydatif et modulant l'activité d'une large gamme d'enzymes et de cellules réceptrices.

Toutes les différentes parties du figuier de barbarie (fleurs, pulpes, gaines, peau et cladodes) sont riches en composés phénoliques tels que les flavols, les flavones et les acides phénoliques ; la pulpe d'*O.ficus indica* est la partie la plus nutritive avec un contenu phénolique de 218mg/100g de matière sèche, suivie de la graine du fruit avec un contenu pouvant atteindre jusqu'à 89mg/100g (**El- Moustafa et al., 2014**).

Au niveau des fleurs l'acide gallique est le composant majeur avec une teneur de 1630 à 4900mg/100g de matière sèche (**De Leo et al., 2010 ; Ahmed et al., 2005 ; Clark et al., 1980 ; El- Moustafa et al., 2014**).

L'isorhamnétine est le principal flavonoïde présent dans ce cactus, suivi de la quercétine, du kaempférol, de la rutine, et de la lutéoline. Au niveau des cladodes se trouvent des polyphénols qui sont uniquement produits dans cette partie de la plante, tels que la nicotiflorine qui est prédominante (146.5mg/100g) « **tableau 13** ».

Tableau 13 : Composition de la figue de Barbarie (*O. ficus-indica*) en composés phénoliques, en mg/100 g de matière sèche (El- Moustafa et al., 2014).

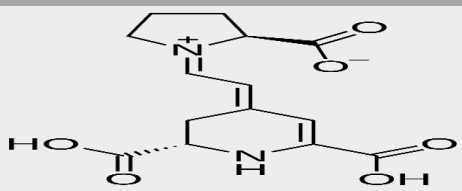
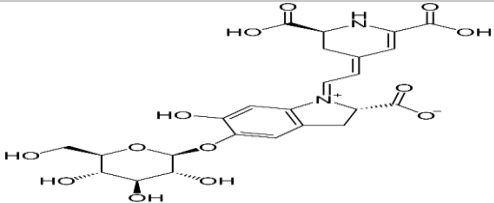
Classe	Composés	Fleurs	Pulpes	Graines	Peau	Cladodes	Structure
Acides hydroxycinnamiques	Acide P-Coumarique	-	-	-	-	14.08-16.18	
	Acide gallique	1630-4900	-	-	-	0.64-2.37	
Flavonols	Quercétine	447-709	9	-	4.32	-	
	Rutine	-	-	-	-	2.36-26.17	
	Kaempferol	324-400	0.78	-	0.22	-	
	Isorhamnétine	724-4269	4.94	-	2.41-91	4.59-32.21	
Flavone	Luteoline	-	0.84	-	-	-	
	Acide férulique	-	-	-	-	0.56-34.77	

	Nicotiflorine	-	-	-	-	2.89-146.5	
--	---------------	---	---	---	---	------------	---

2.2.2. Les bétalaines

En plus des composés phénoliques, le fruit d'*Opuntia ficus indica* contient des bétalaines, qui sont des pigments azotés (hydrosolubles), responsable de la coloration des différentes parties du figuier de barbarie en couleur rouge ou jaune. La diversification colorimétrique de la figue de barbarie est due à l'association de deux pigments bétalaines ; la bétanine violet-rouge et l'indicaxanthine jaune-orange (Butera et al., 2002 ; El- Moustafa et al, 2014 ; García et al., 2020), conférant ainsi au fruit de fortes propriétés antioxydantes (Barba et al., 2020).

Tableau 14 : Composition de la pulpe de figue de Barbarie (*O. ficus-indica*) en Bétalaines, en mg/100 g de poids frais (Albanoet al., 2015 ; Butera et al., 2002 ; García et al., 2020).

Les bétalaines	Pulpe	Structure
Indicaxanthine	2.61–39.6	
Bétanine	0.10–1.04	

2.2.3. Les caroténoïdes

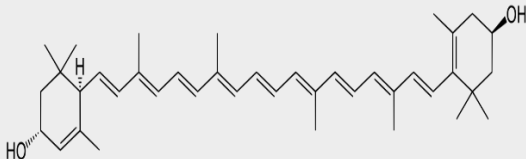
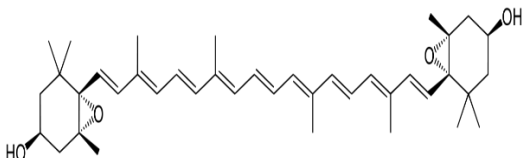
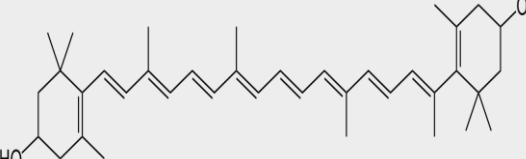
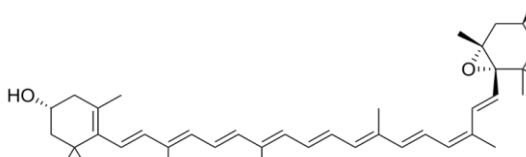
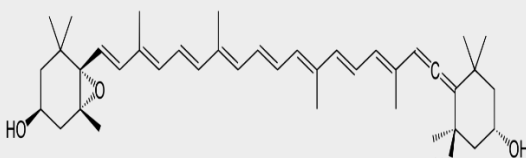
Les caroténoïdes représentent un groupe de micronutriments principalement synthétisé par les végétaux comme métabolites secondaires. Ils sont à l'origine de leur coloration qui varie du jaune au rouge violacé (Maiani et al., 2009).

Une couleur bleue ou verte peut être causée par l'association d'un caroténoïde à une substance protéique (Reynaud., 2009).

Au niveau de la figue de barbarie, la concentration des caroténoïdes est significativement plus élevée dans la pelure que dans la pulpe. La teneur en caroténoïdes varie de 2,58 à 6,68 µg / 100 g de poids frais dans les fruits entiers espagnols à chair orange et rouge (Kuti., 2004 ; Fernández-Lopez et al., 2010 ; Cano et al., 2017 ; Barba., et al 2020). L'analyse HPLC a montré neuf xanthophylles, contribuant à environ 84–86% du total des caroténoïdes, et quatre carotènes.

Les composés prédominants sont représentés dans « Tableau 15 ».

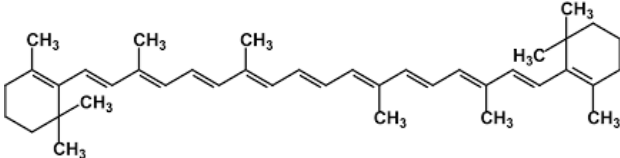
Tableau 15 : Structure de quelques caroténoïdes du figuier de barbarie (en % de la teneur totale en caroténoïdes dans le fruit entier) (Barba., et al 2020).

Caroténoïdes	Structures	Concentration
Lutéine		69–72
Violaxanthine		5
Zéaxanthine		-
Antéroxanthine		-
Néoxanthine		-

Le β - carotène, est un pigment liposoluble présent dans les chloroplastes des cellules du figuier de barbarie notamment dans le fruit en très faibles quantités.

Le **Tableau 16** démontre la répartition du β - carotène dans les cladodes et l'écorce de l'*Opuntia ficus indica* (Tahir et al., 2019).

Tableau 16 : Composition de la figue de Barbarie (*O. ficus-indica*) en β - carotène, en $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de poids frais. (Tahir et al., 2019).

	Cladodes	Ecorce	Fruit	Structure
β - carotène	11.3-1787	254	2.6-478	

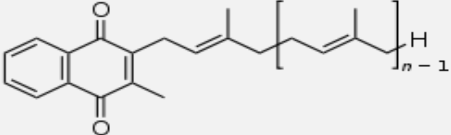
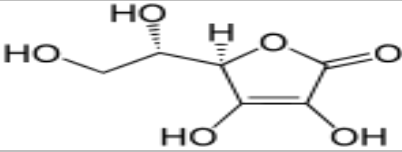
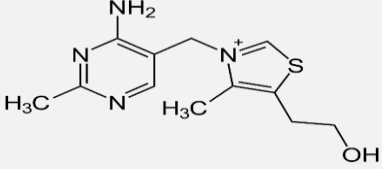
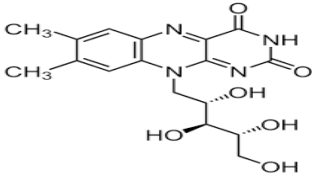
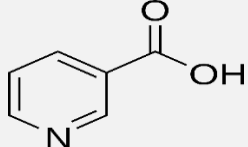
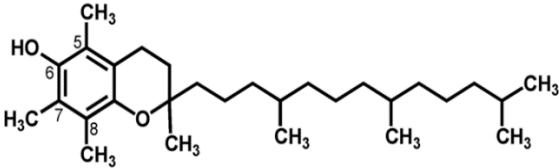
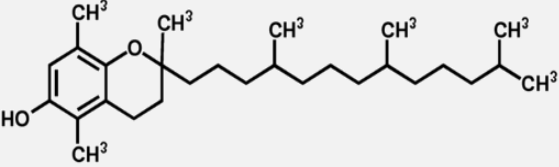
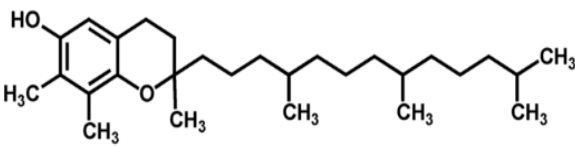
2.2.4. Vitamines

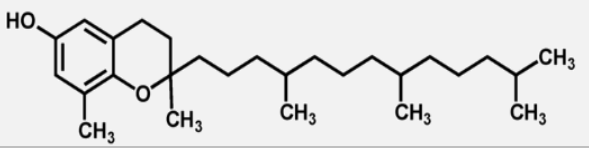
Les vitamines sont des substances organiques, indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, car elles interviennent dans de nombreux métabolismes. Ces substances n'ont pas de valeur énergétique propre. De très petites quantités sont en général suffisantes, mais doivent être apportées par l'alimentation, car le corps humain est incapable de les synthétiser.

La vitamine E est un terme qui englobe un groupe de molécules naturelles lipophiles appelées tocophérols, L'huile de la graine de la figue de barbarie est riche en cette vitamine plus particulièrement les isomorphes γ et α -tocophérol (Ramadan et Mörsel., 2003).

La teneur en vitamine C de la figue de barbarie est plus élevée que celle trouvée dans d'autres fruits communs comme la pomme, la banane, ou raisin (El- Moustafa et al., 2014 ; Piga., 2004).

Tableau 17 : Composition de la figue de Barbarie en vitamines en /100 g de MS (El- Moustafa et al., 2014).

	Pulpe	Graines	Ecorce	Cladodes	Structures
Vitamine K1	53.2	52.5	109	-	
Vitamine C	34-40	-	-	7-22	
Vitamine B1 (Thiamine)	-	-	-	0.14	
Vitamine B2 (Riboflavine)	-	-	-	0.60	
Vitamine B3 (Nicotinamide)	-	-	-	0.46	
α-Tocophérol	84.9	56	1760	-	
β-Tocophérol	12.6	12	222	-	
γ-Tocophérol	7.9	33	174	-	

σ-Tocophérol	422	5	26	-	
Vitamine E totale	527.4	106	2182	-	

2.2.5. Phytostérols

Les phytostérols ou les stérols d'origines végétales sont des métabolites secondaires qui appartiennent à la même famille que le cholestérol ; ils sont présents en petite quantité au niveau de la partie lipidique des plantes (Yahi et al., 2007).

Les principaux phytostérols sont : le sitostérol, le stigmastérols et le *Campestérol*, ces substances lipidiques diminuent significativement l'absorption intestinale du cholestérol et contribuent à son élimination (Rivard-Gervais., 2001).

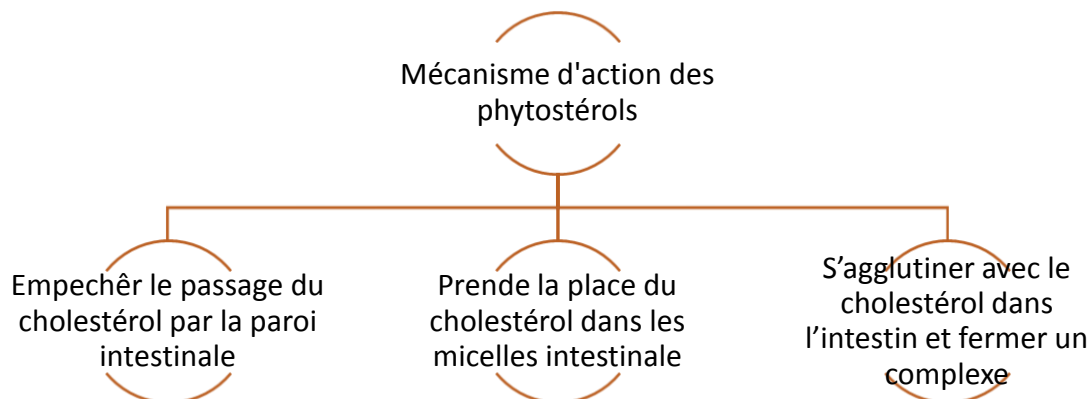
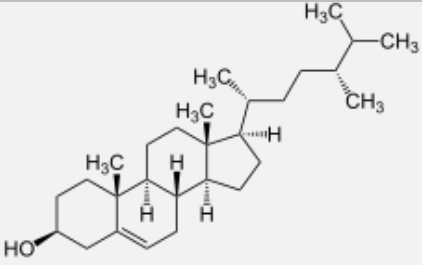
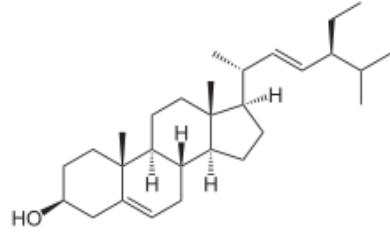
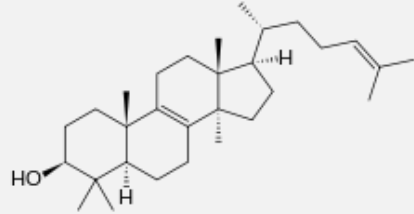
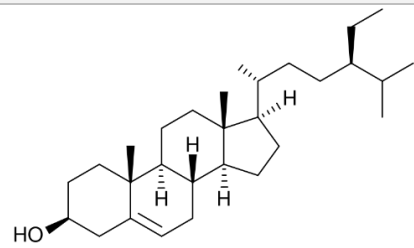
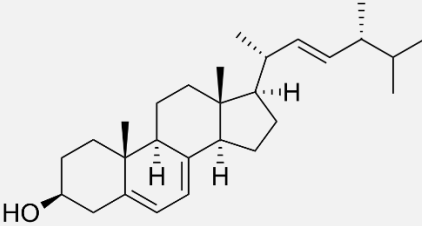


Tableau 18 : Composition de la figue de Barbarie (*O. ficus-indica*) en phytostérols, en g/Kg de matière sèche (El- Moustafa et al., 2014).

	Pulpe	Graine	Peau	Structure
<i>Campestérol</i>	8.74	1.66	8.76	
<i>Stigmastérol</i>	0.73	0.30	2.12	
<i>Lanostérols</i>	0.76	0.28	1.66	
<i>β-Sitostérol</i>	11.2	6.75	21.1	
<i>Ergostérol</i>	-	-	0.68	

3. Changement de la composition chimique des raquettes

Les raquettes de l'*Opuntia ficus indica*, notamment appelés « Cladodes » sont une source importante de diverses substances organiques et chimiques qui sont à l'origine des propriétés nutritionnelles et médicinales attribuées à cette plante, plusieurs facteurs peuvent également changer ces substances qualitativement et quantitativement et donc altérer la valeur de cette plante à l'échelle médicale et nutritionnelle.

3.1. Minéraux

La teneur en minéraux change durant les différents stades de développement de l'*Opuntia ficus indica*. Durant les premiers 40 à 135 jours, les raquettes du Nopal augmentent continuellement leur taux de calcium à fin de former des cristaux d'oxalate de calcium qui sont abondants au stade de développement avancé et fournissent une structure rigide au produit. Tandis que le phosphore, le manganèse et le zinc ne montrent aucun changement lié à l'âge (**Hernández-Urbiola et al., 2011**).

3.2. Composés phénoliques

Le contenu phénolique diffère également selon le type de tissu, le stade de développement, les procédures de manipulation après récolte et les méthodes de cuisson avant consommation.

Concernant le stade de développement, la teneur en phénol trouvée dans la jeune tige de cactus tendre est également plus élevée que celle trouvée dans la tige de cactus de taille commerciale et cela peut être expliquée par le fait que les niveaux élevés de métabolites secondaires dans la croissance précoce peuvent servir de mécanisme de défense, car le produit n'a pas développé un autre mécanisme défensif, comme les épines (**González-Montero et al., 2009**).

Parfois, les cladodes sont cuits pour la consommation humaine, ce traitement thermique modifie et réduit leur contenu phénolique, Mais le contraire est vrai concernant le traitement post-récolte, car ces composés ne sont pas affectés par le stockage à froid ou l'emballage sous atmosphère modifiée, vu que les deux étant appropriés pour la rétention de ces composés phytochimiques **(Manach et al., 2004)**.

3.3. Acides aminés

Les raquettes du figuier de barbarie âgées de 40 à 135 jours de croissance contiennent 17 différents acides aminés, qui sont modifiés avec le stade de développement. Les acides aminés majeurs sont la phénylalanine, la thréonine et l'isoleucine, qui ont montré une réduction le long des âges étudiés. Ce comportement peut être dû au fait que ces acides aminés sont impliqués dans les réactions métaboliques associées à la sénescence où le processus de vieillissement biologique ; c'est-à-dire que la phénylalanine est impliqué dans le brunissement enzymatique ; d'autre part, la thréonine et l'isoleucine sont impliqués dans l'oxydation des acides gras **(Hernández-Urbiola et al., 2010)**.

3.4. Fibres

La teneur en fibres de cactus diffère en raison de plusieurs facteurs tels que le cultivar, le stade de développement et la zone de croissance géographique. Lors d'une comparaison entre des cactus d'*Opuntia humifusa* proviennent de Corée et d'autres d'*Opuntia ficus-indica* du Mexique, il a été signalé que les premiers ont une teneur plus élevée en fibres alimentaires totales (503,3 g kg poids sec) que ceux d' *Opuntia ficus-indica* du Mexique dont les valeurs varient entre 330-450 g kg de poids sec.

Cette différence s'explique par les conditions climatiques; c'est-à-dire que l'*Opuntia humifusa* contient une teneur en eau d'environ 80 et 90% au printemps et en été à cause de l'humidité élevée , cependant, il est considérablement déshydraté en hiver lorsque les températures varient entre 0 et 16 ° C, alors qu'au Mexique, la température ambiante est plus élevée (11-31 ° C) avec une humidité relative plus faible (30-50%) et des changements de température minimaux la nuit et de l'été à l'hiver, il est possible donc de dire que ces deux facteurs environnementaux (température et humidité) peuvent augmenter la teneur

en fibres insolubles, contribuant ainsi à la protection des tissus qui composent la paroi cellulaire (Jun et al., 2013).

En ce qui concerne les différents stades de développement, il a été constaté que la teneur totale en fibres est plus élevée dans les tiges de cactus de 12 jours par rapport à ceux de 30 jours dont 77,8% et 81,9% sont des fibres insolubles, respectivement. Ainsi, il est recommandé de consommer des tiges de cactus plus jeunes afin d'aider à réguler la glycémie et à accélérer.

4. Changement de la composition chimique du fruit

Une étude réalisée par Hernández-Urbiola et al., (2010), analysant le changement de la composition chimique du fruit d'*Opuntia ficus indica* en phase de maturation notamment la concentration en corps gras, fibres, minéraux et protéines ; cette étude a montré que la teneur en fibres alimentaires insolubles possède une relation positive liée à la maturité du fruit, contrairement aux fibres alimentaires solubles, ce qui signifie qu'une figue de barbarie bien mûre est une meilleure source de fibres insolubles.

En ce qui concerne les protéines, la figue de barbarie contient 24 différents acides aminés, dont neuf sont considérés comme essentiels et présentent différents niveaux de teneur liés aux stades de maturité, la teneur en acides aminés totaux augmente en fonction de la maturité ce qui signifie que les échantillons les plus mûres sont une meilleure source pour ces acides aminés. Plusieurs autres facteurs sont impliqués dans la synthèse protéique telle que la disponibilité de l'eau, la température et l'obscurité. Les protéines sont aussi synthétisées comme protection cellulaire lorsque le sol est trop acide ou salin.

Des données munies par la même étude ont montré que la teneur en matière grasse des poudres du fruit présente des différences minimales, qui a tendance à diminuer au cours de la maturation. Contrairement à la teneur en cendres qui présente un accroissement au cours du développement du fruit. Au 135^{ème} jour la figue de barbarie présente une teneur très élevée en calcium, de ce fait le meilleur stade de maturité pour récolter et consommer la figue de barbarie est le 135^{ème} jour.

Chapitre 3

Activités biologiques d'Opuntia ficus indica.

Opuntia ficus indica est une plante médicinale qui représente une source inépuisable de substances bioactives naturelles. En effet, la recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses effets thérapeutiques. Il a été démontré scientifiquement que les différents constituants du figuier de Barbarie possédaient des activités biologiques distinctes.

Tableau 19 : Résumé des expériences et les effets sur la santé d'*O. Ficus-indica* (Aragona et al., 2017).

Expérience	Effets sur la santé	Références
Extraction chimique des composés antioxydants.	Les antioxydants jouent un rôle primordial contre l'ulcère induit par l'éthanol.	Galati et al., (2003)
Contenu phénolique, phytochimique et minéral de la décoction et infusion d' <i>Opuntia ficus-indica</i> .	Effets dépuratifs et diurétiques.	Ammar et al., (2012)
Propriétés physiques et chimiques d'huile des graines du figuier de barbarie.	Propriétés nutraceutiques.	Özcan & Al Juhaimi (2011)
Effets de l'extrait de fruit d' <i>Opuntia</i> sur la formation des calculs rénaux et des lésions rénales chez le rat.	Diminue les dépôts d'oxalate de calcium, favorise le malondialdéhyde et l'activité de la superoxyde dismutase.	Partovi et al., (2017)
Effets des polysaccharides des cladodes d' <i>O. ficus-indica</i> .	Guérison des lésions cutanées.	Trombetta et al., (2006)
Effets de l'extrait éthanolique d' <i>O.ficus-indica</i> .	Effet antistress.	Oh et al., (2015)
Effets de la quercétine chez <i>Paralichthys olivaceus</i> .	Diminue le stress oxydatif par conditions hypo-osmotiques.	Shin et al., (2010)
Effets de la quercétine alimentaire chez <i>Oreochromis Niloticus</i> .	Potentiel antioxydant dans l'hépatopancréas.	Zhai & Liu (2013)
Etude analytique sur les extraits du figuier de barbarie.	Activité antioxydante.	Fernández López et al., (2010)
Activités des extraits de fleurs d' <i>O. ficus indica</i> .	Activité anti-inflammatoire et antioxydante.	Benayad et al., (2014)
Évaluation in vitro de la synergie antibactérienne entre la quercétine et les acides polyphénoliques sur des bactéries pathogènes chez les poissons	Activité antibactérienne.	Prasad et al., (2014)
Effets in vitro des extraits de plantes comestibles et plantes médicinales sur <i>Vibrio cholerae</i> .	Inhibition de <i>Vibrio cholerae</i> .	Sanchez et al., (2010)
Composition chimique et activités biologiques Des extraits de fleurs.	Activité antibactérienne et antifongique.	Ammar et al., (2012) ; Ennouri et al., (2014)
Effets biologiques des cladodes d' <i>Opuntia</i> sur le foie de <i>Carassius auratus</i> .	Effets hypoglycémiques.	Aragona et al., (2016)
Action insulino-gène des extraits de cladodes et des pelures de fruit d' <i>O. ficus indica</i> .	Réduction du glucose dans le sang.	Deldicque et al., (2013)

1. Activité antioxydante :

L'activité antioxydante est l'un des principaux mécanismes par lesquels les fruits et légumes permettent un bon fonctionnement de notre organisme. L'activité antioxydante d'un composé est définie par son pouvoir à résister à l'oxydation en l'empêchant ou la ralentissant en neutralisant les radicaux libres, ainsi que les espèces génératrices (**Jimenez-Aguilar et al., 2014**).

✿ Radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, molécule, morceau de molécule ou simple atome, capable d'avoir une existence indépendante en contenant un ou plusieurs électrons célibataires. Cela lui confère une grande réactivité. En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable, sa réduction entraîne l'oxydation d'un autre composé (**Halliwell., 1996**). Ainsi Les radicaux libres sont à l'origine du stress oxydatif et de nombreuses maladies dégénératives.

✿ Antioxydants

Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres. Les antioxydants végétaux les plus connus sont :

- Vitamine C (acide ascorbique),
- Vitamine E (α -tocophérol),
- Polyphénols,
- β -carotène (provitamine A).

L'activité antioxydante peut être mesurée par différentes méthodes en fonction des différents mécanismes d'action antioxydante. Par exemple, certains chercheurs (**Kuti JO., 2004 ; Feugang., 2007 ; Fernández et al., 2010 ; Andreu et al., 2017 ; Cano et al., 2017 ; Nabil et al., 2020**) ont étudié l'activité antioxydante par les méthodes DPPH, ABTS, FRAP et ORAC. La méthode DPPH consiste à éliminer le radical DPPH par les composés antioxydants présents dans les extraits, ce qui détermine sa capacité à capter les radicaux libres. La méthode ABTS capture le radical cationique ABTS. La méthode FRAP mesure la capacité de réduire le Fe^{3+} dans l'échantillon. La méthode ORAC mesure la capacité de l'échantillon à piéger les radicaux peroxy (**García et al., 2020**).

Plusieurs études phytochimiques, ont été réalisées sur les différentes parties du figuier de barbarie, montrant sa composition phénolique, cette composition lui confère une activité antioxydante cruciale. (**Maataoui et al., 2006**).

1.1. Activité antioxydante de l'extrait de jus du figuier de Barbarie :

Une étude marocaine a été réalisée sur un extrait de jus du figuier de Barbarie en se basant sur le test DPPH.

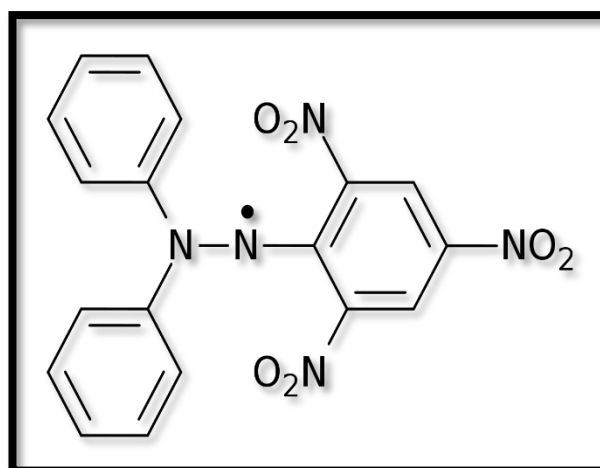


Figure 5 : Structure chimique du radical libre DPPH •

Cette étude a montré que les composés phénoliques, flavonoïdes et pigments de types bétalaïnes, possèdent des activités anti-radicalaires plus importantes que celle de la vitamine C. Les jus bruts présentent des activités plus élevées que celles des composés qui les constituent. Les jus issus de couleur pourpre possèdent des activités anti-oxydantes plus élevées que ceux issus des fruits de couleur jaune orange (**Sharma et al., 2009**).

1.2. Activité antioxydante de l'huile de graine du figuier de barbarie :

L'activité antioxydante présente dans l'huile de graine a été démontrée en utilisant deux méthodes, l'analyse de radical-balayage du DPPH et l'essai de blanchissement de β -carotène. Ces méthodes ont démontré l'activité anti-oxydante dose-dépendante notable d'huile de graines du figuier de Barbarie, comparable à l'acide ascorbique (**Wei et al., 2009**).

1.3. Activité antioxydante de l'extrait de tige du figuier de barbarie :

L'extrait éthanolique de la tige d'*Opuntia ficus indica*, a été évalué pour déterminer le mécanisme de son activité antioxydante. L'extrait présentait une concentration dépendante de l'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique dans un système de dosage par le thiocyanate. De plus, l'extrait a montré une dose-dépendante de l'activité d'élimination des radicaux libres, y compris les radicaux DPPH, anions superoxydes ($O_2^{\cdot -}$) et les radicaux hydroxyles ($OH^{\cdot -}$), en utilisant différents systèmes de dosage.

L'extrait d'éthanol s'est également avéré être efficace pour protéger l'ADN plasmique contre la rupture d'un brin induite par les radicaux hydroxyles dans un mélange réactionnel de Fenton. Enfin, la caractérisation de l'extrait de la tige du figuier de Barbarie a montré une grande quantité de composés phénoliques, qui lui confèrent des propriétés anti oxydantes (**Lee et al., 2002**).

2. Activité antibactérienne :

Une étude sur les extraits méthanoliques des fruits d'*Opuntia ficus indica* par la méthode de diffusion de disques sur milieu gélosé révèle l'effet inhibiteur sur trois souches bactériennes Gram-négatif (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecium*), et sur un seul champignon nommé *Candida albicans* (Somaie et al., 2013 ; Rabhi et al., 2013 ; Aragona et al., 2017).

Les extraits méthanolique, éthanolique et aqueux de la raquette, ainsi que l'extrait hexanique de la fleur ont présenté un pouvoir antimicrobien in vivo et in vitro sur des modèles de bactérie comme *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, *Vibrio cholerae*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis* (Castillo et al., 2011 ; Sanchez et al., 2010) ; Yasmeen et al., 2012 ; El- Mostafa et al., 2014 ; Aragona et al., 2017 ; Ammar et al., 2012 ; Ennouri et al., 2014).

L'action antibactérienne de la quercétine associée à l'acide gallique et cinnamique sur les bactéries Gram-négatives communes des poissons : *Aeromonas hydrophyla*, *Aeromonas salmonicida*, *Edwardsiella tarda* a été mise en évidence par Prasad et al.,(2014). (Aragona et al., 2017).

3. Activité antiulcéreuse :

En Sicile les cladodes d'*Opuntia ficus indica*, sont utilisés pour le traitement de l'ulcère gastrique (Galati et al., 2001 ; Kauret al., 2012). Un traitement préventif sur les rats rendus ulcéreux par l'éthanol, a révélé une action protectrice contre l'ulcère (Galati et al., 2003), il a été démontré que l'administration des cladodes lyophilisés d'*O. ficus indica* maintient la cytoarchitecture de l'estomac, le mucilage peut empêcher la pénétration de l'agent nécosant dans la muqueuse de l'estomac. De plus, il forme une couche protectrice et empêche les lésions nécrotiques induites par l'éthanol (Trachtenberg et Mayer., 1981).

Les principaux composants des cladodes d'*O. ficus indica* sont constitués d'un mélange de mucilage et de pectine. Les polysaccharides de pectine provenant des cladodes d'*O. ficus indica* peuvent probablement influencer la régénération des muqueuses gastro-intestinales.

Les cladodes d'*O. Ficus indica* ont pour effet d'accélérer les phénomènes de cytoprotection en brisant les cellules de l'épithélium et stimulant une augmentation de la production du mucus. Les résultats de l'étude décèlent la formation d'une couche gélatineuse composée du mucus qui fournit un environnement favorable pour une restitution épithéliale rapide. Par ailleurs, chez les rats traités par les cladodes lyophilisés, les espaces glandulaires et l'épithélium superficiel montrent une sécrétion normale du mucus (figure A), tandis que chez les rats traités par l'éthanol, les espaces interglandulaires sont élargis. (figure B)

L'éthanol induit un ulcère qui a tendance à dissoudre les composants des muqueuses membranaires de l'estomac et abaisse le niveau de protéines tissulaires, cependant un traitement préventif avec des cladodes *O. ficus indica* peut arrêter l'agent ulcérogène afin de prévenir les dommages (**Galati et al., 2002**).

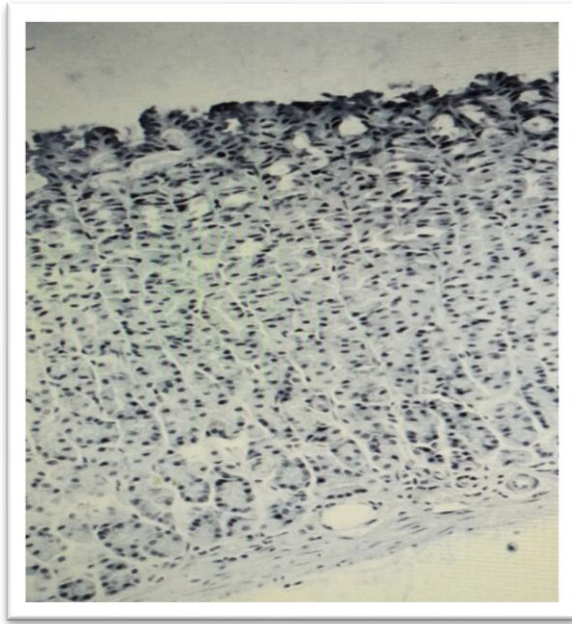


Figure (A)

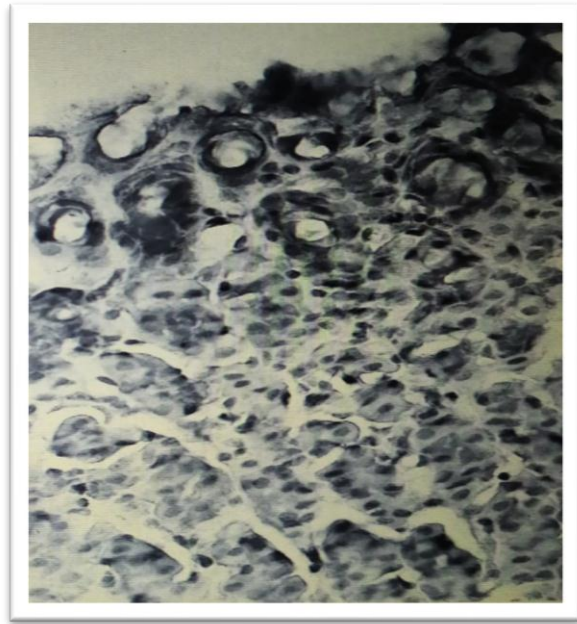


Figure (B)

Figure 6 : Observations microscopiques de la muqueuse gastrique des rats. (A) rats traités par les cladodes lyophilisés d'*Opuntia ficus indica* (20 X). (B) rats traités à l'éthanol 40X (Galati et al., 2002).

4. Activité anti-inflammatoire :

De nombreuses études ont évoqué les actions analgésiques et anti-inflammatoires du genre *Opuntia* en utilisant soit les cladodes lyophilisés ou les phytostérols extraits de tiges du figuier de Barbarie (park et al., 1998 ; El-Mostafa et al., 2014).

Opuntia ficus indica a révélé qu'il possédait une activité anti-inflammatoire. Le β -sitostérol a été identifié comme principe actif de l'activité anti-inflammatoire de l'extrait de tige, bien que son activité semble être relativement plus faible par rapport à celle de l'hydrocortisone (park et al., 2001 ; Kauret al., 2012) . Ceci est la première étude qui a dévoilé l'activité anti-inflammatoire du β -sitostérol.

L'extrait aqueux lyophilisé du fruit d'*Opuntia dillenii* été étudié pour démontrer son activité analgésique en utilisant le test de torsion et de plaques chauffantes chez la souris et le rat, ainsi que son activité anti-inflammatoire (**Loro et al., 1999**).

5. Activité diététique :

Des études tunisiennes sur le figuier de Barbarie, ont prouvé qu'un ajout de l'huile d'*Opuntia ficus-indica* dans l'alimentation des rats, diminue significativement le taux de la glycémie. En revanche, une élévation de la concentration du glycogène au niveau hépatique et musculaire a été remarquée.

Une régression du taux du cholestérol sanguin et de la lipoprotéine de faible densité (LDL) a été notée chez le groupe de rats traités, hors que la lipoprotéine de haute densité (HDL) est restée presque stable au cours du traitement. Cette action est due à la richesse de l'huile de graines en phytostérols, particulièrement en β -sitostérol (**Ramadan et al., 2003**).

Les recherches ont montré que les phytostérols provoquent une régression au niveau du cholestérol de lipoprotéine dans le plasma total, par contre leur fonctionnement n'a pas été entièrement élucidé (**Moghadasian et al., 1999**).

Heinemann et col ont prouvé que ces composés provoquent une diminution de la solubilité de cholestérol et de son absorption à travers la barrière intestinale (**Heinemann et al., 1993**).

Spécifiquement, les phytostérols ont provoqué une diminution des niveaux de (LDL) chez les modèles animaux et chez l'homme. Il a été démontré que ces composés empêchent ou retardent le développement des lésions athérosclérotiques (**WeststrateJAet al., 1998**).

D'autres composés, tels que les bêta-carotènes et la vitamine E, sont présents dans l'huile de graines de figue de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), et pourraient empêcher le changement structural de lipoprotéines (**Belhadj et al., 2016**).

Le rôle protecteur de ces vitamines est aujourd'hui discuté, quelques études indiquent un rôle protecteur de la vitamine E dans le développement de l'athérosclérose (**Moghadasian et al., 1997 ; Ennouri et al., 2006**).

Dans une étude ultérieure réalisée par les mêmes chercheurs, il a été démontré que l'enrichissement du régime avec les graines du figuier de Barbarie a un effet hypolipidémique très prononcé par rapport au régime enrichi en huile de cactus.

L'administration des graines pourrait de manière significative diminuer les niveaux des triglycérides et celui des lipides totaux dans le foie. Il n'y a eu aucune variation significative de la composition en acides gras des extraits de foie et de sérum.

Plus d'études sont nécessaires pour expliquer les effets hypocholestérolémiques et hypolipidémiques potentiels des extraits de graine et de l'huile de *Opuntia ficus-indica* sur les pathologies hypercholestérolémiques (**Ennouri et al., 2007**).

6. Activité anticancéreuse :

Le figuier de Barbarie renferme des molécules bioactives appelées bétanines (pigment de couleur rouge du groupe des bétacyanines) qui possèdent des propriétés antioxydantes et anticancéreuses et peuvent par conséquent être employée dans le cadre des traitements alternatifs (**Boutakiout., 2015**).

Une recherche égyptienne a été effectuée sur des extraits d'*Opuntia ficus indica*, ainsi que sur des fractions dérivées d'éthanol 80% extrait du figuier de Barbarie pour étudier l'activité anticancéreuse d'*O.ficus indica*, en utilisant le test bleu de trypan. Les résultats ont montré la présence d'une action anticancéreuse dépendante de la dose par tous les extraits, en revanche un pourcentage élevé de l'activité a été observé par les extraits de chloroforme et d'éthanol en raison de la présence de pigments de bétanine qui ont été identifiés dans les fractions éthanoliques (**Abou-Ellella et al., 2014**).

D'autres études ont montré que l'extrait de fruit de cactus inhibe la prolifération du cancer de la peau et des poumons (**Kapadia et al., 1996**).

7. Activité antidiabétique :

Le diabète sucré est connu depuis l'antiquité, le recours à la médecine traditionnelle dans le traitement remonte à très loin à titre d'exemple des tribus mexicaines antiques utilisaient *Opuntia ficus indica* comme traitement. Suite aux effets secondaires indésirables du traitement par thérapie médicamenteuse, plusieurs études ont été élaborées sur des plantes médicinales connues pour leur effet antidiabétique.

Une étude portant sur l'évaluation de l'activité hypoglycémiante d'un extrait épuré des cladodes d'*Opuntia fuliginosa* sur des rats rendus diabétiques, a montré que la glycémie et l'hémoglobine glycosylée ont été réduites aux valeurs normales par un traitement combiné d'insuline et d'extrait d'*Opuntia fuliginosa* (Trejo-González et al., 1996 ; Jimenez-Aguilar et al., 2014).

Quand l'insuline a été retirée du traitement combiné, seul l'extrait de la figue de Barbarie a maintenu la glycémie chez les rats diabétiques.

La réponse de la glycémie au glucose administré a également prouvé que les rats recevant le traitement de combinaison de l'insuline et de l'extrait des cladodes d'*Opuntia* pendant sept semaines suivies de l'extrait seul étaient capables d'ajuster rapidement la glycémie au niveau des rats non diabétiques (Augusto et al., 1996).

Conclusion générale



Opuntia ficus indica est une plante très répandue sur le pourtour méditerranéen qui se caractérise par sa remarquable adaptation aux climats arides et semi-arides des régions tropicales et subtropicales.

Avec ses grands rameaux aplatis appelés "raquettes", il fait partie du paysage aride des campagnes algériennes, à l'état sauvage ou planté comme haie naturelle. Ce cactus connu sous le nom de « el Hendi » en Algérie est consommé uniquement en tant que fruit rafraichissant tout en ignorant et négligeant sa valeur thérapeutique.

Une revue bibliographique intensive sur le figuier de barbarie rapporte :

- Son utilisation en médecine traditionnelle comme remède d'un grand nombre de maladies.

- Une teneur en polyphénols, flavonoïdes, pigments (bétalaines), taurine et acide ascorbique présents dans les différentes parties de cette plante (tige, huile des graines, jus du fruit...), ce qui lui confère un rôle d'antioxydant qui peut réduire le risque de cancer, maladies cardiovasculaires et des maladies neuro-dégénératives.

- Une consommation modérée de ce fruit favorise chez l'être humain la baisse des taux de glucose sanguin, de cholestérol et des triglycérides sanguins, en raison de sa composition riche en vitamines et phytostérols, reconnus pour leur rôle prépondérant dans notre métabolisme.

- Les extraits des raquettes, ou des cladodes, possèdent une activité anti inflammatoire grâce au principe actif β -sitostérol, antibactérienne, anti ulcéreuse et semblent avoir une action antidiabétique.

- L'Huile des graines de figue de Barbarie est rare et précieuse elle est utilisée comme un anti-âge idéal pour les peaux sensibles ainsi qu'un très bon ingrédient pour des soins réparateurs –tenseurs intensifs.

- La composition de ce cactus riche en bétalaines, acides aminés, sucres, protéines et vitamines qui ont une forte valeur nutritive, lui permet d'être utilisé comme source

alternative d'additifs et compléments alimentaires naturels, notamment pour ses aptitudes à brûler la graisse et aider à lutter contre la fatigue.

Ajouter à cela que la culture du figuier de Barbarie est peu exigeante et nécessite moins d'investissement que la céréaliculture, il est parfaitement adapté aux conditions arides, capable de végéter et fructifier normalement avec une faible pluviosité ; ainsi que sur le plan environnemental sa culture est d'une grande utilité pour la lutte contre l'érosion et permet de corriger à long terme la fertilité des sols.

Et comme perspectives de recherches il faut prévoir de :

- ✿ Réserver plus de surfaces cultivables à ce fruit et organiser des coopératives pour bien exploiter sa production et baisser le coût de revient à l'instar de ce qui se fait en Tunisie et au Maroc.
- ✿ Valoriser et utiliser l'huile des graines d'*opuntia ficus indica* pour produire des soins dermatologiques.
- ✿ Élaborer des procédés de fabrication de produits cosmétiques à base d'huile des graines de la figue de barbarie.
- ✿ Utiliser les résidus d'*opuntia ficus indica* comme engrais pour l'agriculture.
- ✿ Déterminer des procédés pour l'utilisation des cladodes comme complément alimentaire pour les diabétiques.
- ✿ Valoriser les sous-produits du fruit comme aliment pour le bétail.
- ✿ Réaliser des tests biologiques sur plusieurs cultivars et les comparer avec d'autres dans le monde.
- ✿ Confirmer scientifiquement les connaissances traditionnelles.

Références

bibliographiques

|

-
- **Ahmed, M.S., Tanbouly, N.D.E., Islam, W.T., Sleem, A.A., Senousy, A.S.E. (2005).** Antiinflammatory flavonoids from *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw. flowers growing in Egypt. *Phytother. Res.* 19 : 807–809.

 - **Albano, C., Negro, C., Tommasi, N., Gerardi, C., Mita, G., Miceli, A., et al. (2015).** Betalains, phenols and antioxidant capacity in cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) mill.] fruits from Apulia (South Italy) genotypes. *Antioxidants.* 4(2) : 269-280

 - **Amale, B. (2015).** Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*). Thèse de doctorat. Université d' Angers.

 - **Ammar, I., Ennouri, M., Khemakhem, B., Yangui, T., Attia, H. (2012).** Variation in chemical composition and biological activities of two species of *Opuntia* flowers at four stages of flowering. *Ind Crop Prod.* 37 : 34–40.

 - **Andreu, L., Nuncio-Jáuregui, N., Carbonell-Barrachina, ÁA., Legua, P., Hernández, F. (2017).** Antioxidant properties and chemical characterization of Spanish *Opuntia ficus-indica* Mill. cladodes and fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 98 : 1566-1573.

 - **Aoudia, S. (2016).** Le régime méditerranéen au Maghreb et la prévalence des maladies Chroniques, Mémoire de Fin d'études, Université A. MIRA, Bejaia.

 - **Apak, R., Guclu, K., Ozyurek, M., Karademir, S.E. (2004).** Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, Using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 52 : 7970–7981.

 - **Aragona, M., Gangemi, J., Alesci, A. (2016).** Biological effect of *Opuntia*'s cladode on the liver of goldfish *Carassius auratus* fed with a hyperglycemic diet. *J Biol Res.* 89:9.

 - **Aragona, M., Lauriano, E. R., Pergolizzi, S., & Faggio, C. (2017).** *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research,* 32(17) : 2037–2049.

-
- **Arba, M. (2009).** Le cactus, *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. *Symposium International. Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)* : 215-222.

 - **Augusto, TG., Genaro, GO., Puebla-Pdrez, AM., Huizar-Contreras, MD., Munguia-Mazariegos-Mdel, R., Mejia-Arreguin, S., Calva, E. (1996).** A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *J. Ethnopharmac*, 55 : 27- 33.

 - **Ayele, A. (2010).** Chromosome Study of Local Farmer's Varieties of *Opuntia ficus-indica*. Cactaceae from Tigaray, Northern Ethiopia. Mémoire de fin d'études. Université Addis Ababa. Ethiopie.

 - **Barba, F. J., Garcia, C., Fessard, A., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Aboudia, A., ... Remize, F. (2020).** *Opuntia Ficus Indica* Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. *Food Reviews International*. 1–23.

 - **Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. (1992).** Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus (L.) Miller*. *J. Hortic. Sci.* 3 : 307-312.

 - **BelhadjSlimen, I., Najar, T., Abderrabba, M. (2016)** *Opuntia ficus-indica* as a Source of Bioactive and Nutritional Phytochemicals. *J. Food. Nut .Sci.* 4 : 162-169.

 - **Benattia, FK. (2017).** Analyse et Application des Extraits de Pépins de Figes de Barbarie. Thèse de doctorat en chimie, université abiubeker belkaid tlemcen, Tlemcen.

 - **Bensalem, H., Nefzaoui, A., Bensalem, L. (2002).** Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. *Animal Feed. Scienc. Techno.* 96 : 15- 30.

 - **Benayad, Z., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Gomez-Cordoves, C., Es-Safi, NE. (2014).** Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan *Opuntia ficus-indica* flowers obtained by different extraction methods. *Ind Crop Prod.* 62 : 412–420.

-
- **Blois MS. (1958).** Antioxidant determinations by the use of stable free radical. *Nature*, 181 : 1199-1200.
 - **Boutakiout, A. (2015),** Etude Physicochimique, Biochimique et stabilité d'un nouveau produit : Jus de cladode du figuier de barbarie marocain (*Opuntia ficus indica* et *Opuntia megacantha*), thèse de doctorat en sciences agronomiques, université d'Angers, Angers.
 - **Britton,NL.; Rose,JN.** The Cactaceae, (1963). Vol. 1 & 2.
 - **Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, AM., et al. (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 (23) : 6895-6901.
 - **Cano, MP., Gómez-Maqueo, A., García-Cayuela, T., Welti-Chanes, J. (2017).** Characterization of carotenoid profile of Spanish Sanguinos and Verdal prickly pear (*Opuntia ficus-indica*, spp.) tissues. *Food Chemistry*. 237: 612-622.
 - **Castillo, S.L., Heredia,N., Contreras, J.F., García S. (2011).** Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. *Journal . Food Sci*. 76 : 421–426.
 - **Chougui, N., Louaileche, H., Mohedeb, S., Mouloudj, Y., Hammoui, Y., Tamendjari, A. (2013).** Physico-chemical characterization and antioxidant activity of some *Opuntia ficusindica* varieties grown in North Algeria. *African Journal of Biotechnology*. 12 : 299-307.
 - **Clark, W.D., Brown, G.K., Mays, R.L. (1980).** Flower flavonoids of *Opuntia* subgenus *Cylindropuntia*. *Phytochemistry*. 19 : 2042–2043.
 - **De Lorgeril, M., Salen, P. (2015).** Régime méditerranéen et maladies cardiovasculaires. *Phytothérapie*. 13 : 91-95.

-
- **De Leo, M.; Abreu, M.B.D.; Pawlowska, A.M.; Cioni, P.L.; Braca, A.(2010).** Profiling the chemical content of *Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC–PDA-ESI-MS and GC/EIMS analyses. *Phytochem. Lett.* 3 : 48–52.

 - **Deldicque, L., Van Proeyen, K., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H., Hespel, P. (2013).** Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *J Int Soc Sport Nutr.* 10:1.

 - **Espirad, E. (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits: 160 -161.

 - **Estruch, R., Ros, E., Salas-Salvadó, J., Covas, MI. (2013).** Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *N Engl J Med.* 14: 1279-90.

 - **El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P. (2014).** Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition. *Health and Disease review, Molecules*, 19: 14879-14901.

 - **Ennouri, M., Hamadi, F., Bourret, E., Zeghal N., Attia H. (2006).** Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus-indica*, Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Biores.Techn.* 97 : 1382-1386.

 - **Ennouri, M., Hamadi, F., Bourret, E., Zeghal, N., Attia, H., Hammami M. (2007).** Effects of diet supplementation with cactus pear seeds and oil on serum and liver lipid parameters in rats. *Food .Chem.* 101 : 248-253.

 - **Faten, M., Abou, E., Rehab, FMA. (2014).** Antioxidant and Anticancer Activities of Different Constituents Extracted from Egyptian Prickly Pear Cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) Peel. *Biochemistry & Analytical Biochemistry.* 3 : 2.

 - **Fernandez-Lopez, JA., Castellar, R., Obon, JM., Alméla, L. (2002).** Screening and mass-spectral confirmation of betalains in cactus pear. *Chromatographia.* 56 : 591-595.

-
- **Fernández-Lopez, JA., Almela, L., Obón, JM., Castellar, R. (2010).** Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*. 65(3):253-259.
 - **Feugang, MJ., Konarsk, P., Zou, D., Stintzing, FC., Zou, C. (2006).** Nutritional and Medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11: 2574-2589.
 - **Feugang, JM. (2007).** Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11(1): 2574
 - **Francesco, S., Rosanna, A., Gian, FG., Alessandro, C. (2010).** Accruing evidence on benefits of adherence to the Mediterranean diet on health: an updated systematic review and meta-analysis. *American Society for Nutrition*. 92 : 1189–96.
 - **Galati, EM., Monforte, MT., Tripodo, MM., d'Aquino, A., Mondello, MR. (2001).** Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae):ultrastructural study. *Journal of Ethnopharmacology*. 76 : 1–9.
 - **Galati, EM., S., Pergolizzi, N., Miceli, MT., Monforte, MM, Tripodo. (2002).** Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Cladodes. *Journal of Ethnopharmacology*. 83 : 229-233.
 - **Galati, EM., Mondello, MR., Giufferida, D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi, S., Taviano, MF. (2003).** Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity. *J. Agric. Food Chem*. 51: 4903–4908.
 - **García, FH., Coll, LA., Cano-Lamadrid, M., Lluch, DL., Carbonell Barrachina, A., Murcia PL. (2020).** Valorization of Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill]. Nutritional Composition, Functional Properties and Economic Aspects.
 - **Georgé, S., Brat, P., Alter, P., Amiot, JM. (2005).** Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *J. Agric. and Food Chemist*. 53 : 1370-137.
 - **Ginestra, G., Parker, ML., Bennett, RN., Roberston, J., Mandalari, G., Narbard, A., Lo Curto R.B., Bisignano G., Faulds C.B., Waldron, KW(2009) .** Anatomical, chemical, and

biochemical Characterization of cladodes from Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*). (L.Mill) J. Agric. Food. Chem. 57 : 10323-10330.

- **González-Montero, J., Bosquez-Molina, E., Pelayo-Zaldívar, C., Rodríguez-Huezo, E., Bautista-Baños, S. (2009).** Determinación del contenido total de compuestos fenólicos en nopal(*Opuntia ficus-indica*) var. Milpa Alta, fresco y procesado. These de doctorat, Université d'Autónoma Metropolitana, Mexique.

- **Halliwell, B. (1996).** Mechanisms involved in the generation of free radicals. *Pathologie Biologie.* 44 : 6-13.

- **Heinemann, T., Axtmann, G., Von Bergmann, K. (1993).** Comparison of intestinal absorption of cholesterol with different plant sterols in man. *Eur. J. Clin. Invest.* 23 : 827-831.

- **Hernández-Urbiola, M., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J., Cortes M., Rodríguez-García, M. (2010).** Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at Different Maturity Stages. *The Open Nutrition Journal.* 4 : 11-16.

- **Hernández-Urbiola, M., Pérez-Torrero, E., Rodríguez-García, M. (2011).** Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 8 : 1287-1295.

- **Hubert, A.J. (2006).** Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de Soja. Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaine. Thèse de doctorat en qualité et sécurité des aliments, l'institut national polytechnique de Toulouse, école doctoral des sciences écologiques, vétérinaires, agronomiques et bioingénieries, France.

- **Inglese, P., Barbera, G., La-Manti, T. (1995).** Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *J.Arid. Envir.* 29 : 455-468.

- **Jiménez-Aguilar, DM., Mújica-Paz, H., Welti-Chanes, J. (2014).** Phytochemical Characterization of Prickly Pear (*Opuntia* spp.) and of its Nutritional and Functional Properties: A Review. *Current Nutrition & Food Science.* 10 : 57-69.

-
- **Jun, H., Cha, M., Yang E-I., Choi, DG., Kim, Y-S. (2013).** Physicochemical properties and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) cladodes. *Hort Environ Biotechnol.* 54: 288-295.

 - **Kapadia, GJ., Tokuda, H., Konoshima, T., Nishino H (1996).** Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. *Cancer Lett.* 100 : 211-214.

 - **Kaur, M., Kaur, A.; Sharma, R. (2012).** Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A review. *J. Appl. Pharm. Sci.* 2 : 15–18.

 - **Keitum, B., Mashope, B. (2007).** Characterization of cactus pear germ plasm in South Africa. *Philosophiae Doctor. Department of Plant Sciences (Plant Breeding Division). University of the Free State.*

 - **Knight, A., Bryana; C., Murphyb, K. (2016).** Is the Mediterranean diet a feasible approach to preserving cognitive function and reducing risk of dementia for older adults in Western countries; *New insights and future directions.*

 - **Kuti, JO. (2004).** Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry.* 85(4) : 527-533

 - **Lagnika, L. (2005).** Etude Phytochimique et Activité Antipaludique de Substances Naturelles issues de Plantes Béninoises. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

 - **Lahlou, N. (2015).** L'alimentation méditerranéenne, une grande diversité. *Phytothérapie.* 13 : 71-75.

 - **Lee, JC., Kim, HR., Kim, J., Jang, YS. (2002).** Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus indica* var. *Saboten*. *J. Agric. Food Chem.* 50 : 6490-6496.

 - **Li, HB., Cheng, KW., Wong, CC., Fan, KW., Chen, F., Jiang, Y. (2007).** Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food chemistry.* 102 : 771-776.

 - **Loro, JF., Rio, I., Perez-Santana, L. (1999).** Preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of *Opuntia dillenii* aqueous extract. *J Ethnopharmacol.* 67 : 213-8.
-

-
- **Luc, C. (2008).** Complément alimentaire, aliment, médicament: Qui est qui ? ou faut-il le réviser. *Cah. Nutr. Diét.* 43 : 15-21.

 - **Maataoui, BS., Hmyene, A., Hilali, S. (2006).** Activités anti-radicales d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*). *Leban. Scien. J.* 7 : 3-8.

 - **Maiani, G., Caston, M.J.P., Catasta, G., Toti, E., Cambrodon, I.G., Bysted, A., Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Bohm, V., Mayer-Miebach, E. (2009).** Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research.* 53: 194-218.

 - **Majhenic, L., Kerget, MS., Knez, Z. (2007).** Antioxydant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemist.* 104 :1258–1268.

 - **Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémés, C., Jiménez, L. (2004).** Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 79 : 727-747.

 - **Miguel, MG. (2010).** Antioxydant and Anti-Inflammatoire Activités of Essential Oils: A Short Review. *Ivolecules.* 15 : 9252-9287.

 - **Manpreet, K., Amandeep, K., Ramica, S. (2012).** Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A Review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science.* 07: 15-18.

 - **Medina, EM., Rodriguez, EM., Romero, C. (2007).** Chemical characterization of *Opuntia adenocarpa* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemistry.* 103: 38–45.

 - **Moghadasian, MH., McManus, BM, Pritchard, PH, Frohlich, JJ. (1997).** Tall oil derived phytosterols reduce atherosclerosis in Apo-E-deficient mice. *Arterioscler. Throm. Vasc. Biol.* 17 : 119-126.

-
- **Moghadasian, MH., McManus, BM., Godin, DV., Rodrigues, B., Frohlich, JJ. (1999).** Proatherogenic and antiatherogenic effects of probucol and phytosterols in apolipoprotein E-deficient mice: possible mechanisms of action. *Circulation*. 13 :1733-173.

 - **Mulas, M., Mulas, G. (2004).** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. (SMAP). Environmental Action Programme, Université des études de Sassari, Sardaigne.

 - **Nabil, B., Ouaabou, R., Ouhammou, M., Saadouni L., Mahrouz M. (2020).** Impact of particle size on functional, physicochemical properties and antioxidant activity of cladode powder (*Opuntia ficus-indica*). *J Food Sci Technol*. 57 : 943–954

 - **Nadal, B. (2010).** Synthèse et évaluation de nouveaux agents de protection contre les rayonnements ionisants. Thèse de doctorat. Université Paris Sud XI, Paris.

 - **Nebbache, S., Chibani, A., Chadli, R., Bouznad, A. (2009).** Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*. 8 : 1623-1624.

 - **Oh, WB., Oh, JY., Kim, DH., Jung, JW., Lee, SH. (2015).** Effect of the ethanolic extract of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit on net handling stress in zebrafish. *Korea J Herbol*. 30 : 43–49.

 - **Özcan, MM., Al Juhaimi FY. (2011).** Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus-indica* L.) growing in Turkey. *Int J Food Sci Nutr*. 62 : 533–536.

 - **Özyürek, M., Güçlü, K., Tütem, E., Başkan, K. S., Erçağ, E., Esin Çelik, S., Apak, R. (2011).** *A comprehensive review of CUPRAC methodology. Analytical Methods*. 3(11): 2439.

 - **Parisi, OI., Casaburi, I., Sinicropi, MS., Avena, P., Caruso, A.; Givigliano, F.; Pezzi, V.; Puoci, F. (2014).** Chapter 101.

 - **Park, EH., Kahng, JH., Paek, EA. (1998).** Studies on the pharmacological actions of cactus: identification of its anti-inflammatory effect. *Arch. Pharm. Res*. 21: 30–34.
-

-
- **Park, EH., Kahng, JH., Lee, SH., Shin, KH.(2001)**. An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia*. 72 : 288-290.

 - **Partovi, N., Ebadzadeh, MR., Fatemi, SJ., Khaksari, M. (2017)**. Effect of fruit extract on renal stone formation and kidney injury in rats. *Nat Prod Res*. In press.

 - **Pena-Valdivia, CB., Trejo, C., Arroyo-Pena, VB., Sanchez-Urdaneta, AB., Morales, RB.(2012)** .Diversity of Unavailable Polysaccharides and Dietary Fiber in Domesticated Nopalito and Cactus Pear Fruit. *Chemistry & Biodiversity*. 9 : 1599-1609.

 - **Prasad, VGNV., Swamy, PL., Rao, TS., Rao, GS. (2014)**. Antibacterial synergy between quercetin and polyphenolic acids against bacterial pathogens of fish. *Asian Pacific J Trop Dis*. 4: S326–S329.

 - **Piédallu, A. (1990)**. Le figuier de barbarie sans épines (*Opuntia ficus-indica* Miller var. *Inermis* Weber) en Algérie. 128-145

 - **Piga, A. (2004)**. Cactus pear: A fruit of Nutraceutical and Functional Importance. *J.PACD* 9-22.

 - **Rabhi, A., Falleh, H., Limam, F., Ksouri, R., Abdelly, C., Raies, A. (2013)**. Upshot of the ripening time on biological activities, phenol content and fatty acid composition of Tunisian *Opuntia ficus-indica* fruit. *Afr J Biotechnol*. 12 : 5875–5885

 - **Ramadan, MF., Morsel, JT. (2003)**. Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food.Chem.* 82 : 339-345.

 - **Rani, B., Kawatra, A. (1994)**. Fibre constituents of some foods. *Plant Foods for Human Nutrition*. 45: 343-347 .

 - **Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999)**.Antioxidant activity applying an improved ABTS - radical cation decolorization assay. *Free Radical Biological Medicine*. 26 : 1231-1237.

-
- **Reynolds, SG., Arias-Jimenez, E., Mondrago, C.; Perezgonzales, S. (2003).** El nopal (Opuntia spp.) como forraje. *Estudio FAO Produccion y Proteccion Vegetal*. 169 : 344–345.
 - **Rivard-Gervais, N. (2001).** Aliment fonctionnels et produit nutraceutiques. *Le medecin du Quebec*. 36 : 04.
 - **Rodriguez, EM., Romero, C. (2007).** Chemical characterization of Opuntia dillenii and Opuntia ficus indica fruits. *Food Chemistry*. 103 : 38–45.
 - **Saenz, C. (1995).** Food Manufacture and by-products. In: Barbera, G., Inglese, P. & Pimienta- Barrios, E. (Eds), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear: *FAO Plant Production and Protection Paper*. 137-143.
 - **Saenz, C. (2000).** processing technologies: an alternative for cactus pear (Opuntia spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*. 46: 209-225.
 - **Sáenz, C. (2013).** Agro-industrial utilization of cactus pear. FAO. Agricultural Services of FAO. Roma. 162 : 4-30.
 - **Schwartz, E., Tzulker, R., Glazer, I., Bar-Ya'akov, I Wiesman, Z., Tripler, E., Bar Ilan, I., Fromm, H., Borochoy-Neori, H., Holland, D., Amir, R. (2009).** "Environmental conditions affect the color, taste, and antioxidant capacity of 11 pomegranate accessions' fruits." *J Agric Food Che*. 57(19) : 9197-9209.
 - **Sharma Om, P., Bhat,TK. (2009).** DPPH antioxidant assay revisited. *Food. Chem*. 113: 1202-1205.
 - **Shi, H., Noguchi, N., Niki, E. (2001).** Galvinoxyl method for standardizing electron and proton donation activity. *Methods Enzymol*. 335 : 157-166.
 - **Shin, HS., Yoo, JH., Min, TH., Lee, KH., Choi, CY. (2010).** The effects of quercetin on physiological characteristics and oxidative stress resistance in olive flounder, Paralichthys olivaceus. *Asi Austra J Animal Sci*. 23 : 588.
 - **Somaie, S., Kariminik, A., Hasanabadi, Z. (2013).** Antimicrobial activity of methanol extract of *Opuntia stricta* F. *Intern. Rese. J. Appl. Bas. Scien*. 7 : 907-910.

-
- **Sánchez E., García S., Heredia N. (2010).** Extracts of Edible and Medicinal Plants Damage Membranes of *Vibrio cholerae*, *Appl. Environ. Microbiol.* 76 : 6888–6894.
 - **Strack, D. (1997).** Phenolic metabolism, in *Plant Biochemistry*, ed. by Dey P, Harborne Academic Press Ltd., Great Britain. 387-415 .
 - **Stintzing, FC., Carle,R. (2005).** Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49: 175-194
 - **Sumaya-Martínez, M., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillán, E., García-Paredes, D., Cariño-Cortés, R., Cruz-Cansino,N., et al. (2011)** . Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *International journal of Molecular Science.* 12 : 6452–6468.
 - **Tabart, J., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J., Dommès, J. (2009).**Evaluation of spectrophotometric methods for antioxidant compound measurement in relation to total antioxidant capacity in beverages. *Food Chemistry.* 120 : 607-614.
 - **Tahir, HE., Xiaobo, Z., Komla, MG.,Mariod, A.. (2019).**Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products. 333-358.
 - **Talbi, H., Boumaza, A., El-mostafa, K., Talbi, J., Hilali, A. (2015).**Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique et aqueux de la *Nigella sativa* L. (Evaluation of antioxidant activity and physico-chemical composition of methanolic and aqueous extracts of *Nigella sativa* L.). *JMESCN.* 6 (4) : 1111-1117.
 - **Tektonidis, TG.. Åkesson, A.. Gigante, B. Wolk, A.. Larsson, SC. (2015).** A Mediterranean diet and risk of myocardial infarction, heart failure and stroke:population-based cohort study. *Atherosclerosis.* 243 : 93-98.
 - **Temagoult, A. (2017).** Caractérisation et Transformation de la Figue de Barbarie (*Opuntia Ficus Indica* L.), Elaboration d'une Confiture et d'une Gelée Extra. . Mémoire de fin d'études. Université Hadj Lakhdar- Batna 1. Batna.
 - **Touitou, Y. (2005).** Biochimie : structure des glucides et lipides, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

-
- **Trachtenberg, S., Mayer, AM. (1981).** Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry*. 20: 2665–2668.
 - **Trejo-González, A., Gabriel-Ortiz, G., Puebla-Pérez, AM., et al. (1996).** A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) con-trols experimentally induced diabetes in rats. *J Ethnopharmacol* . 55: 27-33.
 - **Trombetta, D., Puglia, C., Perri, D., Licata, A., Pergolizzi, S., Lauriano, ER., De Pasquale, A., Saija, A., Bonina, F. (2006).** Effect of polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the healing of dermal wounds in the rat. *Phytomedicine*. 13 : 352–358.
 - **Wallali-loudyi, D. (1995).** Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*. 48-62.
 - **Wei, L., Yu-Jie, F., Yuan-Gang Z, Mei-Hong, T., Nan, W., Xiao-Lei, L., Su, Z. (2009).** Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw and its antioxidant activity. *Food. Chem*. 114 : 334–339.
 - **Weststrate, JA., Meijer., GW. (1998).** Plant sterol-enriched margarines and reduction of plasma total and LDL-cholesterol concentrations in normocholesterolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 52 : 334-343.
 - **Yahi, A., Rahmani, Z., Meghiche, W. (2007).** Rôle des plantes médicinales dans la lutte contre les maladies du cholestérol. Mémoire de fin d'études en Biochimie. Université Mohamed Boudiaf. M'sila.
 - **Yasmeen, R., Hashmi, A.S., Anjum, A.A., Saeed, S., Muhammad, K. (2012).** Antibacterial activity of indigenous herbal extracts against urease producing bacteria. *Journal. Anim. Plant. Sci.* 22 : 416–419.
 - **Zhai, S-W., Liu, S-L. (2013).** Effects of dietary quercetin on growth performance, serum lipids level and body composition of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Ital J Animal Sci.* 12 : e85.

Rapports

- **Rapport du Ministère De L'agriculture Et De La Pêche Maritime. (2010).** Etude du marché national et international des produits issus du cactus (fruits frais, raquettes pour aliments de bétail, huiles) et l'exploration des opportunités offertes pour l'exportation. Midfac, p. 6-53.

Résumés



Résumé

De nombreuses recherches ont été conduites sur le fruit « *Opuntia ficus indica* » notamment appelé figuier de barbarie valorisant ses qualités nutritionnelles, dont sa composition riche en polyphénols, vitamines, acides gras polyinsaturés et acides aminés qui ont été mis en évidence grâce à de nombreuses techniques d'extraction et d'analyse.

Le présent travail vise à souligner l'emploi du figuier de barbarie dans différents domaines tels que ; le domaine médicale à travers les composés et les dérivés naturels identifiés qui se sont révélés être dotés d'activités biologiquement pertinentes, y compris l'activité anti-inflammatoire, antioxydante, antibactérienne, antiulcéreuse, diététique, anticancéreuse et antidiabétique. *Opuntia ficus indica* peut être utilisé aussi dans le domaine culinaire en tant que colorant alimentaire et confiture ; ainsi que dans le domaine agronomique et écologique comme régénérateur des sols épuisés ; comme complément en usage fourrager ; Et en industrie cosmétique et parapharmaceutique où il entre dans la composition des shampoings et des crèmes dermiques antirides.

Toutefois son utilisation reste limitée, ouvrant ainsi le champ à d'autres investigations plus ciblées notamment en Biotechnologie.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*, composition chimique, valeur nutritionnelle, activités biologiques.

Abstract

A multitude of researches , scientific studies were conducted on the « *Opuntia ficus indica* » fruit commonly known as prickly pear promoting its nutritional qualities, due to its rich composition in polyphenols, polyunsaturated fatty acids, vitamins and amino acids which were discovered due to numerous extraction and analysis technics .

The current work intends to highlight the usage of the fruit in different fields such as; the medical field due to its identified compounds and natural derivative known for their biologically relevant activities, including anti-inflammatory, antioxidant, antibacterial, antiulcer, dietetic, anticancer and antidiabetic activities. *Opuntia ficus indica* can be used in the culinary field as jam and food coloring; and also employed in the agronomic and ecological field as regenerator of exhausted soils; as supplement in fodder use. And in the cosmetic and parapharmaceutical industry which they are integrated in the composition of shampoo and anti-wrinkle skin creams.

However, the use of this plant remains very limited. Consequently, this work came to open the way for other more targeted investigations, particularly in Biotechnology.

Key words : *Opuntia ficus indica*, chemical composition, nutritional value, biological activities.

ملخص

عدة أبحاث ودراسات علمية قد أجريت حول فاكهة *Opuntia ficus-indica* أو كما تعرف على وجه العموم بالتين الشوكي بهدف تقييم صفاتها الغذائية وتركيبها الغنية بالبولىفينول، الفيتامينات، الأحماض الدهنية الغير مشبعة والأحماض الأمينية والتي تم تسليط الضوء عليها بفضل العديد من تقنيات الاستخراج والتحليل.

يهدف هذا العمل إلى توضيح استخدامات التين الشوكي في مختلف المجالات مثل المجال الطبي بفضل المركبات والمشتقات الطبيعية التي تم التعرف عليها وتأكيد امتلاكها لعدة وظائف وأنشطة ذات علاقة بالوسط البيولوجي والطبي بما في ذلك النشاط المضاد للالتهابات، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، النشاط المضاد للقرحة والنشاط مجال الطبخ يمكن استعمال التين الشوكي لتحضير المربى ولصنع الملونات الغذائية؛ كما المضاد لمرض السكري. وفي أنه يستخدم كمجدد للتربة المستعملة وكمكمل لعلف المواشي في المجال الزراعة، أما في مجال صناعة مستحضرات التجميل والمواد الشبه-صيدلانية فيدخل في تركيبة غسولات الشعر والكريمات المضادة للتجاعيد بالرغم من كل ذلك فإن استخدامات هذه النبتة تبقى جد محدودة، و بالتالي جاء هذا العمل بهدف فتح المجال لاستثمارات أخرى محددة لا سيما في مجال البيو تكنولوجيا.

الكلمات المفتاحية: *Opuntia ficus indica*، التركيبة الكيميائية، القيمة الغذائية، الأنشطة البيولوجية.

Année universitaire : 2019/2020.

Présenté par : BELLEL Nibel.

CHERTOUT Lina Kamar.

Valorisation d'un produit du régime Méditerranéen : *Opuntia ficus-indica* utilisation nutritionnelle VS utilisations thérapeutiques.

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master 2 en Biochimie de la Nutrition.

De nombreuses recherches ont été conduites sur le fruit « *Opuntia ficus indica* » notamment appelé figuier de barbarie valorisant ses qualités nutritionnelles, dont sa composition riche en polyphénols, vitamines, acides gras polyinsaturés et acides aminés qui ont été mis en évidence grâce à de nombreuses techniques d'extraction et d'analyse.

Le présent travail vise à souligner l'emploi du figuier de barbarie dans différents domaines tels que ; le domaine médicale à travers les composés et les dérivés naturels identifiés qui se sont révélés être dotés d'activités biologiquement pertinentes, y compris l'activité anti-inflammatoire, antioxydante, antibactérienne, antiulcéreuse, diététique, anticancéreuse et antidiabétique. *Opuntia ficus indica* peut être utilisé aussi dans le domaine culinaire en tant que colorant alimentaire et confiture ; ainsi que dans le domaine agronomique et écologique comme régénérateur des sols épuisés ; comme complément en usage fourrager ; Et en industrie cosmétique et parapharmaceutique où il entre dans la composition des shampoings et des crèmes dermiques antirides.

Toutefois son utilisation reste limitée, ouvrant ainsi le champ à d'autres investigations plus ciblées notamment en Biotechnologie.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*, composition chimique, valeur nutritionnelle, activités biologiques.

Laboratoire de recherche : Laboratoire d'Obtention de Substances Thérapeutiques LOST.

Jury d'évaluation :

Président du jury : DAFRI Amel (MCB – UFM Constantine1)

Rapporteur : MOUAS T. Nardjes (MCA - UFM Constantine1),

Examineur : DJEDOUANI Amel (Pr – ENS)

Date de soutenance : 29/06/2020.