



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة ابي بكر بلقايد - تلمسان-

Université ABOU BEKR BELKAID

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

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

Filière : Science alimentaire

Spécialité : sécurité alimentaire et assurance de qualité

Thème

**Etude de la composition et Intérêt des Cladodes du Figuier de
Barbarie dans l'industrie agroalimentaire**

Présenté par : AHMED BEN YAHIA Asmaa

Soutenu le : 30 /06/2022

Présenté devant le jury composé de :

Qualité	Nom et Prénom	Grade	Université
Président	TEFIANI choukri	MCA	Université de Tlemcen
Examineur	ZENASNI Mohamed Amine	MCA	Université de Tlemcen
Encadrante	MEROUFEL Bahia	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ

قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا ۗ إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ
الْحَكِيمُ

سورة البقرة الآية 32

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma Famille : ma patiente mère, que nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments, pour sa patience illimitée, son encouragement continu, son aide, et respect pour ses grands sacrifices.

Mes deux perles sœur et frère, pour leur aide et encouragement,

A mes amies, à tous ceux qui sont chères, à tous ceux qui m'aiment, à tous ceux que j'aime,

Je dédie ce travail.

Asmaa

Remerciement

Avant tous, Je remercie « **ALLAH** » le tout puissant de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, le courage, la volonté et la patience d'aller jusqu'au bout et de mener à terme ce présent travail.

Je remercie le président de jury Dr. TEFIANI choukri, je remercie l'examineur Dr. ZENASNI, je remercie mon encadrante Dr. MEROUFEL Bahia d'avoir accepté de m'encadrer et m'orienter tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le Figuier de Barbarie, est un arbre originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Dans ce travail nous voulons valoriser la plante et ses composants (principalement les cladodes) en présentant sa composition et ses divers intérêts. Il existe plusieurs appellations selon les différentes régions dont le Nopal est le nom mexicain de la plante, d'autres noms ont été utilisés comme Figuier d'Indes, ou Karmouss n'ssara en Algérie. Son nom scientifique est *Opuntia ficus-indica*, il appartient à la famille des Cactacées, ordre Caryophyllales, et le genre *Opuntia* peut contenir jusqu'à 1600 espèces. Le figuier de Barbarie comprend les parties suivantes : fruit, fleur, graine, feuille (cladode), et appareil racinaire. Les cladodes sont réputés être riches en minéraux, glucides, Acides organiques, en mucilage, en eau, en composés phénoliques et en vitamine A et C. Outre les anciennes utilisations traditionnelles de par le monde, actuellement ils représentent de multiples intérêts : écologiques, économiques, pharmaceutiques, nutraceutiques, cosmétologiques, environnementaux, biotechnologiques et bien d'autres surprenantes utilisations (Combustible, Apicultures, Comme cellules solaires sensibilisées par colorants, Matériel holographique, Fabrication de nanoparticules). Ils sont aussi valorisés en produits agroalimentaires comme confitures, jus, arômes, et biscuits. Dans ce travail, nous donnons une étude détaillée pour l'intérêt de cette plante dans le domaine agroalimentaire.

Mots clés : Figuier de Barbarie, *Opuntia ficus-indica*, cladode, Cactacées, botanique, agroalimentation.

Summary

The prickly pear is a tree native to arid and semi-arid regions of Mexico. In this work, we want to enhance the plant and its components (mainly the cladodes) by presenting its composition and its various interests. There are several names according to the different regions of which Nopal is the Mexican name of the plant; other names have been used such as Fig tree of India, or Karmouss n'ssara in Algeria. Its scientific name is *Opuntia ficus-indica*, it belongs to the Cactaceae family, order Caryophyllales, and the genus *Opuntia* can contain up to 1600 species. The prickly pear consists of the following parts: fruit, flower, seed, leaf (cladode), and root apparatus. Cladodes are reputed to be rich in minerals, carbohydrates, organic acids, mucilage, water, phenolic compounds, vitamin A, and C. In addition to the ancient traditional uses around the world, they currently represent multiple interests: ecological, economic, pharmaceutical, nutraceutical, cosmetological, environmental, and biotechnological and many other surprising uses (fuel, beekeeping, as solar cells sensitized by dyes, holographic material, and manufacture of nanoparticles). They are also valued in agri-food products such as jams, juices, aromas, and biscuits. In this work, we give a detailed study for the interest of this plant in the food industry.

Keywords: Prickly pear, *Opuntia ficus-indica*, cladode, Cactaceae, Botany, Agri-food.

ملخص

الكمثرى الشائك هي شجرة موطنها المناطق القاحلة وشبه القاحلة في المكسيك. في هذا العمل نريد تبيين النبات ومكوناته (بشكل رئيسي الكلودات) من خلال عرض تكوينه واهتماماته المختلفة. هناك عدة أسماء حسب المناطق المختلفة منها "نوبال" هو الاسم المكسيكي للنبات، وقد تم استخدام أسماء أخرى مثل شجرة التين في الهند، أو "كرموس النصارى" في الجزائر. اسمها العلمي هو ابونتيا فيكوس انديكا، وهو ينتمي إلى عائلة الصبار، من رتبة كاريوفيل، ويمكن أن يحتوي جنس ابونتيا على ما يصل إلى 1600 نوع. يتكون التين الشوكي من الأجزاء التالية: الفاكهة، الزهرة، والبذور، والأوراق، والجهاز الجذري. تشتهر نوبال بأنها غنية بالمعادن والكربوهيدرات والأحماض العضوية والصمغ والماء والمركبات الفينولية والفيتامينات ا و ج. بالإضافة إلى الاستخدامات التقليدية القديمة في جميع أنحاء العالم، فهي تمثل حاليًا اهتمامات متعددة: بيئية واقتصادية وصيدلانية وغذائية، مستحضرات التجميل، البيئة، التكنولوجيا الحيوية والعديد من الاستخدامات المدهشة الأخرى (الوقود، تربية النحل، كخلايا شمسية حساسة بواسطة الأصباغ، المواد الثلاثية الأبعاد، تصنيع الجسيمات النانوية). يتم تقديرها أيضًا في المنتجات الغذائية الزراعية مثل المربي والعصائر والمنكهات والبسكويت. في هذا العمل، نقدم دراسة تفصيلية لمدى أهمية هذا النبات في المجال الغذائي.

الكلمات المفتاحية: الكمثرى الشائك، ابونتيا فيكوس انديكا، كلالود، الصبار، علم النبات، الغذاء الزراعي.

Liste des figures

- Figure 1 : Représentation de l’emblème de Tenochtitlan du Codex Mendoza, le Figuier de Barbarie comme centre de l’Univers.
- Figure 2 : Répartition géographique du Figuier de Barbarie.
- Figure 3 : figuiers de barbaries (*Opuntia ficus-indica*).
- Figure 4 : cladode (raquette) de figuier de barbarie.
- Figure 5 : schéma d’une coupe Transversale de la raquette D’opuntia.
- Figure 6 : fruit de figuier de barbarie.
- Figure 7 : fleur d’opuntia(A) et schéma descriptif avec leur détaille(B).
- Figure 8 : une coupe transversale des graines de figuier de barbarie.
- Figure 9 : les racines de figuier de barbarie.
- Figure 10 : Ecotypes du cactus *Opuntia ficus indica*.
- Figure 11 : plantation d’opuntia ficus-indica.
- Figure 12 : défèrent techniques pour un bonne récolte de figuier de barbarie.
- Figure 13 : Blessures dû au froid (A) et blessures dû aux grêles (B) de figuier de barbarie.
- Figure 14 : Moisissure et pourriture des cladodes.
- Figure 15 : la mouche *Ceratitis capitata* Wied.
- Figure 16 : pourriture noire sur les cladodes de barbarie.
- Figure 17 : quelque produit cosmétique à la base de cactus.
- Figure 18 : salade de figuier de barbarie.
- Figure 19 : Mucilage d’OFI.
- Figure 20 : cladode d’opuntia comme salade.
- Figure 21 : couscous avec cladode et jeunes fruit.
- Figure 22 : Jus et nectars de cladode.
- Figure 23 : confiture de barbarie.
- Figure 24 : les cochenilles *Dactylopius coccus* à un corps de couleur rouge à cause de la présence dans leur sang, dit hémolymphe, d’acide carminique.
- Figure 25 : les cladodes d’opuntia comme un fourrage pour le bétail.
- Figure 26 : Marques de vinaigre de figues de Barbarie.
- Figure 27 : l’eau de Nopal.

- Figure 28 : Purée de figues de barbarie.
- Figure 29 : quelques Marques de gelées de figue de Barbarie.
- Figure 30 : Arômes de figues de Barbarie.
- Figure 31 : Feuilles de cactus en lamelles conservé.
- Figure 33 : Formulaire d'enquête.
- Figure 34 : Nombre de participants selon le sexe.
- Figure 35 : Nombre de la population selon les catégories d'âge et socioprofessionnelle.
- Figure 36 : Pourcentage des participants qui connaissant le figuier de barbarie.
- Figure 37 : Pourcentage des participants qui connaissent les bienfaits et les utilisations de figuier de barbarie.

Liste des tableaux

- Tableaux 1 : Caractéristiques fonctionnelles et classes de sols adaptées à la Culture D'Opuntia ficus-indica.
- Tableaux 2. : Composition de la figue de barbarie Opuntia ficus-indica.
- Tableaux 3 : Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments.
- Tableau 4 : Composition chimique de raquettes.
- Tableau 5 : Principaux minéraux contenus dans les cladodes d'Opuntia ficus indica.
- Tableau 6 : Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte.
- Tableau 7 : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie.
- Tableau 8 : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie.
- Tableau 9 : Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie.
- Tableau 10 : Les composés phénoliques d'Opuntia ficus indica.

Liste des abréviations

- O. : Opuntia
- CAM : Métabolisme Acide des Crassulacées.
- FAO: Food and Agriculture Organization.
- OFI: opuntia ficus indica.
- LDL : Les lipoprotéines de faible densité.
- HDL : Les lipoprotéines de haute densité.
- PF : poids frais.
- PS : Poids sec.
- FDA: Food and Drug Administration.
- UE: union européenne.
- FDB: figues de Barbarie.
- CSSC : Des cellules solaires sensibilisées aux colorants.
- OH : Hydroxyle

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale	1
Chapitre I: Généralités sur le figuier de Barbarie	4
1. Introduction.....	5
2. Aspect historique.....	5
3. Origine et Répartition géographique	6
4. Dénomination de figuier de Barbarie.....	7
5. Taxonomie du figuier de Barbarie	8
6. Caractères Botaniques.....	9
7. Description morphologique des différentes parties de la plante	10
7.1. Raquette	10
7.2. Fruit	11
7.3. Fleur.....	12
7.4. Graine	14
7.5. Feuille	15
7.6. Appareil racinaire	15
8. Pratiques culturales de la plante	16
8.1. Conditions de plantations	16
8.2. Techniques de multiplication	22
9. Maladies et problèmes de rendement.....	24
9. 1. Les blessures dues au froid et de grêle	24
9. 2. Mildiou et pourriture.....	25
9. 3. La rouille	26
9. 4. La Cératite.....	26
9.5. Pourriture bactérienne molle noire	26
10. Utilisation de la figue de barbarie	27
10.1. Utilisation dans le domaine cosmétologique	27

10.2. Utilisation dans le domaine environnemental	28
11. Autres utilisations.....	29
11.1. Combustible.....	29
11.2. Apicultures.....	29
11.3. Comme cellules solaires sensibilisées par colorants	30
11.4. Matériel holographique.....	30
11.5. Fabrication de nanoparticules.....	30
12. Importances agro-économiques du figuier de Barbarie	30
12.1 .Utilisation des fruits	31
12.2. Utilisation des raquettes	31
12.3. Utilisation des fleurs.....	33
13. Importance biotechnologique	34
14. Conclusion	34
Chapite II: Cladode du figuier de Barbarie.....	36
1. Introduction.....	37
2. Composition chimique.....	37
3. Mucilage	43
4. polyphénols	44
5. travaux antérieure.....	45
5.1. Données chimique.....	45
5.2. Données pharmacologiques	45
6. conclusion.....	47
chapitre III: Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment	48
1. introduction.....	49
2. Cladodes du cactus comme légume	50
3. Jus et nectars de cladode	51
4. Confiture.....	52
5. Colorant	53
6. Utilisation en Industrie agroalimentaire	54
6.1. Élaboration du pain enrichie par la poudre de cladode	55
6.2. Élaboration des biscuits.....	55
6.3. Effet de l'enrichissement par les cladodes sur la qualité du pain et biscuits.....	56
7. Production de foin pour le bétail.....	56
8. Production d'emballage en industries agroalimentaires	57
9. Autres produits alimentaires.....	58
9.1. Vinaigre d'opuntia	58

9.2. Eau de cactus.....	59
10. Purée de figues de barbarie	59
11. Gelée de figues de Barbarie	60
12. Arômes de figues de Barbarie	60
13. Feuilles de cactus en lamelles conservé.....	61
14. Enquête sur l'utilisation de figuier de barbarie comme aliment	62
14. 1. Résultats	67
14. 2. Interprétation des résultats.....	71
15. Conclusion	72
Conclusion générale.....	71
Références.....	75

Introduction Générale

Introduction Générale

Le figuier de barbarie « l'Opuntia ficus-indica » est une plante xérophyte de la famille des Cactacées, cette plante largement connue et pourtant méconnue a fait l'objet de plusieurs études dans le monde entier qui lui ont conféré plusieurs potentialités intéressantes dans plusieurs domaines, appartient à la famille des angiospermes dicotylédones Cactaceae et comprend environ 1500 espèces de cactus. C'est une plante originaire des zones arides et semi arides du Mexique. Il a été introduit en Afrique du Nord vers le 16^{ème} siècle. La figue de barbarie algérienne est non seulement réputée par son goût succulent et sucré, mais contient une grande quantité de graines. Certains la classeraient parmi les meilleures de tout le bassin méditerranéen après celle de Sicile. C'est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à cinq mètres de hauteur et avec un tronc épais et ligneux (**Habibi, 2004**). L'agriculture des zones arides est basée essentiellement sur des espèces qui résistent à la sécheresse, notamment le cactus. C'est une plante qui a l'aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse (**Schweizer, 1997**). Était connue comme plante médicinale, en raison de sa riche composition en polyphénols, vitamines, acides gras polyinsaturés et acides aminés. Cela fait du figuier de Barbarie une culture prometteuse pour les applications alimentaires commerciales. Des recherches scientifiques récentes ont montré que les produits du cactus peuvent être utilisés efficacement comme source d'additifs alimentaires, principalement des fibres, des colorants et des antioxydants, antiathérogènes et anticancéreuses vu leur richesse en fibres, vitamine C et en polyphénols (**Schweizer, 1997**). Le cactus donne des fruits très rafraîchissants appelés tunas. Ces fruits sont consommés soit à l'état frais ou transformés (séchés, congelés, jus, fruits confits, sirop, alcool et confitures) (**Arba, 2009**). Les graines des fruits sont utilisées pour extraire de l'huile très précieuse et largement utilisée dans le domaine cosmétique. Les raquettes sont utilisées comme fourrage pour le bétail. En plus, sur le plan écologique, elle est d'une grande utilité pour la lutte contre l'érosion et la stabilité des sols. En plus, il a été rapporté que la poudre de cladodes du figuier de barbarie présente des propriétés technologiques intéressantes, C'est pour cette raison que les cladodes d'O. Ficus-indica ont été utilisés comme un nouvel ingrédient fonctionnel pour améliorer les propriétés nutraceutiques et technologiques du pain de blé et du biscuit.

Cet arbuste est miraculeux rien ne se jette, tout est utile, et le potentiel des cladodes en tant qu'ingrédient bénéfique dans les aliments fonctionnels reste l'un des domaines de recherche et d'innovation les plus importants et mérite une enquête plus approfondie, raison pour laquelle nous nous sommes intéressées à la valorisation du figuier de Barbarie, puisque cette plante est

abondante en Algérie particulièrement dans les régions de la Kabylie. Tout en étudiant sa composition et son intérêt dans l'industrie agroalimentaire et ceci à travers trois chapitres :

- Chapitre 01 : **Généralités sur le figuier de Barbarie**
- Chapitre 02 : **Cladode du figuier de Barbarie**
- Chapitre 03 : **Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment** avec une étude d'une enquête.

Ce travail est clôturé par une conclusion qui permet de dégager l'ensemble des résultats obtenus à travers différentes recherches sur le figuier de Barbarie et à travers une enquête que nous avons effectuée, et les perspectives qui pourraient contribuer à approfondir les connaissances en termes de recherche et à encourager l'industrie agroalimentaire à se servir de cette plante trop longtemps négligée dans notre pays.

Chapitre I

Généralités sur le figuier de Barbarie

1. Introduction

Un écrivain sicilien a un jour appelé le figuier de Barbarie « un trésor sous les épines » du fait de ses immenses bénéfices, dont certains étaient peu connus avant aujourd'hui.

Le figuier de barbarie ou figue de barbarie est une espèce de la famille des cactus, originaire du Mexique, plus connue sous le nom de nopal, qui s'est naturalisée sur d'autres continents. Elle est considérée comme une plante envahissante car elle concurrence la flore indigène, notamment dans les milieux rocheux, au détriment de certaines espèces rares. Le figuier de Barbarie a toujours été l'une des plantes médicinales les plus utilisées. Pour les foules précolombiennes, c'était une plante sacrée, comme l'agave, le chocolat et le maïs.

La plante de cactus n'est pas seulement indispensable à l'esthétique locale, c'est une des caractéristiques du territoire qui attire les voyageurs, elle sert à diviser, belles propriétés agricoles, les figues de Barbarie peuvent être utilisées dans de nombreuses cuisines, soins et petits conseils beauté, merci à leurs feuilles.

Comme d'autres cultures, les cactus souffrent de diverses maladies biotiques et abiotiques. Cependant, il est certain que la plupart des maladies infectieuses sont causées par des champignons, alors que très peu de bactéries, de phytoplasmes et de virus ont été signalés comme pathogènes. En raison des climats secs dans les régions du monde où les figues de barbarie sont cultivées, ces maladies ne sont un problème qu'à certaines périodes lorsque les conditions sont favorables. Nous décrivons brièvement les maladies les plus courantes affectant les figuiers de barbarie et leurs recommandations de gestion et la présentation historique du figuier de barbarie, sa distribution géographique dans le monde et ses appellations d'origines dans plusieurs pays.

Le genre Cactus contient environ 300 espèces, dont beaucoup produisent des tiges et des fruits très tendres et comestibles. Parmi ces espèces, le cactus (*Opuntia ficus-indica*) (commun ou sans épines) est appelé le figuier de barbarie et il fait l'objet de notre étude.

2. Aspect historique

Lorsque les Espagnols sont arrivés dans l'île antillaise d'Hispaniola (aujourd'hui Haïti et la République dominicaine) en 1492, les habitants leur ont présenté le fruit rouge du cactus, alors appelé "**thon**", du mot caribéen **tun**. Les premiers Européens à débarquer sur le continent américain ont réalisé le rôle culturel et économique important des cactus dans le monde préhispanique. Les figues de Barbarie faisaient partie de la culture aztèque. C'est une petite tribu vivant dans la nature, originaire des grands déserts du nord. Au 12ème siècle, un chef de

Tribu aztèque nommé « **Uitzilopochtli** » leur a dit d'agir et de s'arrêter là où ils ont trouvé un aigle accroché sur un nopal. C'est ici qu'un temple a été construit, puis une ville a été construite. Le drapeau de l'armée aztèque était un aigle sur un cactus mangeant un serpent, et la capitale de l'empire s'appelait Tenochtitlan, ce qui signifie "le cactus sur le rocher", et la légende raconte que c'est ce que la ville est devenue maintenant, C'est Mexico. En 1724, la ville de Mexico adopta la plante nopal, et en 1822, l'empereur Iturbide (descendant des Aztèques) fit de l'emblème le symbole de tout l'empire mexicain. Il reste à ce jour.

Les cactus ont été introduits en Europe méditerranéenne à la fin du XVe et au début du XVIe siècle comme nourriture pour les habitants locaux. En tant que culture, les cactus étaient inconnus en Europe avant les voyages de Christophe Colomb, et l'introduction du cactus en Algérie a été similaire à celle du Maroc et de la Tunisie.



Figure 1 : Représentation de l'emblème de Tenochtitlan du Codex Mendoza, le figuier de Barbarie comme centre de l'Univers. (source : <https://www.canstockphoto.fr/mexique-2885841.html>)

3. Origine et Répartition géographique

Le cactus est une plante originaire du Mexique. La culture du cactus est originaire des hautes terres mexicaines, où le climat est chaud et sec. L'alimentation de l'espèce remonte à la préhistoire grâce à la découverte de graines fossiles datant du septième millénaire av. Ces régions semi-arides du Mexique ont une énorme diversité génétique de cactus cultivés et sauvages. Certaines espèces ont été introduites dans d'autres régions semi-arides du monde, comme l'Australie, l'Afrique du Sud, Madagascar, et au début du XVIe siècle, avec l'expansion de l'Espagne, le cactus s'est répandu dans tout le bassin méditerranéen. Après avoir été chassés par Philippe III en 1610, les Arabes retournent dans leur pays d'Afrique du Nord. Les Arabes ont ramené les raquettes qu'ils avaient cultivées autour de leur village.

Actuellement, il est cultivé dans les régions arides et semi-arides de plusieurs pays comme sud de l'Afrique, l'Inde, les Philippines, la Chine et l'Indochine, ainsi que dans d'autres aires géographiques. Aujourd'hui en Algérie, les zones dédiées à la culture de l'Opuntia s'étendent sur plus de 30 000 ha dont 60% dans la municipalité de Sidi-Fredj (45 km au nord de Souk Ahras) et le reste à Ouled Mimoune, Taoura, Dréa et Ouilène (**HUF poste Algérie, 2015**). En Algérie, certaines nouvelles espèces ont été citées et identifiées du point de vue phénologique et morphologique, comme les espèces *Opuntia engelmannii* et *Opuntia scheerii* qui sont génétiquement très différents (**Hadjkouider et al. 2010**).

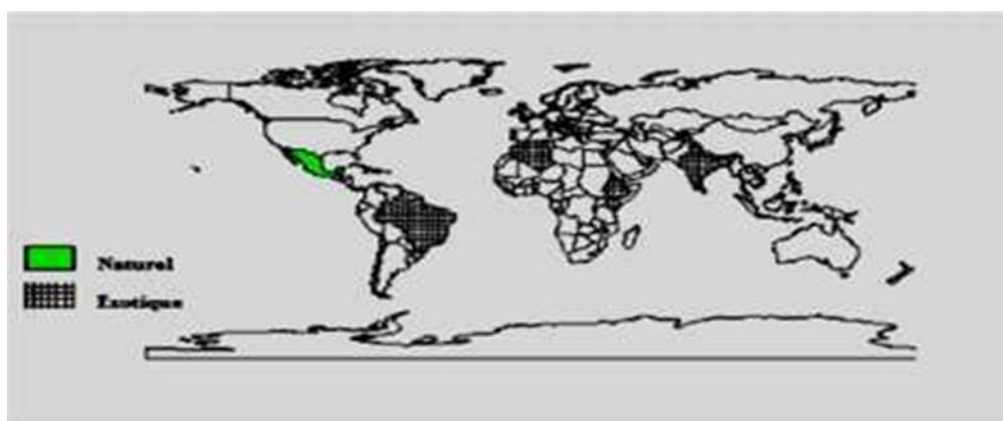


Figure 2 : Répartition géographique du Fiquier de Barbarie. (**Neffar, 2012**).

4. Dénomination de figuier de Barbarie

Etant donné l'importance d'*O. Ficus-indica* et ses nombreux avantages, on lui a attribué de nombreux noms dans son habitat d'origine et dans les régions où il a été introduit. Certains de ces noms sont une bonne illustration de l'origine de l'introduction et de la distribution. Tenochtli est le nom originel utilisé dans une grande partie du Mexique. Le premier nom espagnol est higo de las Indias, une référence à ses origines, les Nouvelles Indes ; il a donné lieu au premier nom scientifique : *Cactus ficus-indica* Linné.

Un autre nom très connu est tuna de Castilla (ou nopal de Castilla), est d'origine caribéenne et a été utilisé par les premiers Espagnols arrivant aux Amériques évidemment dérivé du nom de l'ancien royaume espagnol de Castille,

Aujourd'hui, Le nom commun est le cactus qui vient du mot grec « kaktos », il signifie : la plante épineuse. La plante peut porter un nom différent selon l'idiome local :

- ❖ En Mexique : Nopal.

- ❖ En arabe : El-tin-el-Choki, El-tin-el-Hindi, Karmouss n'ssara.
- ❖ En Espagne : outre Nopal, Tuna, Ensada, Higos de Pala, Higos de Mauro.
- ❖ En Brésil : palma de gado.
- ❖ En Portugais : palma forrageira, figo da India, figo de pitoira, figueira da India.
- ❖ En France : chardon d'Inde, figue de Barbarie, figuier à raquettes, figuier d'Inde, opunce, raquette.
- ❖ En Italie : Fichi d'India.
- ❖ En Allemand : frucht des feigenkactus.

5. Taxonomie du figuier de Barbarie

La taxonomie des opuntias est très difficile pour différentes raisons :

- ✓ leurs phénotypes varient largement selon les conditions écologiques.
- ✓ la polyploïdie existe chez de nombreuses populations qui se produisent végétativement et sexuellement.
- ✓ l'existence de nombreux hybrides.

Il a été constaté que dans les populations sauvages des opuntias, les plants localisés au milieu de la population présentent une faible variabilité phénotypique alors que les plants situés aux périphéries présentent une variabilité très élevée, ce phénomène est lié probablement à la possibilité d'inter change génétique. Les cactacées présentent une taxonomie très variée. On compte environ 2260 taxa acceptés qui sont répartis comme suit :

- 1306 espèces
- 301 sous espèces hétéro typiques acceptées
- 582 espèces et hybrides
- 71 sous espèces hétéro typiques acceptées provisoirement

De nombreux auteurs ont élaboré des classifications du Genre Opuntia. La classification considérée comme la plus valable à ce jour est sans doute celle établie par **Britton et Rose en 1963.**

- Règne : Plantes.
- Sous règne : tracheobionta.
- Division : magnoliophyta.
- Classe : magnoliopsida.

- Ordre : Caryophyllales.
- Sous-classe : Caryophyllidae.
- Famille : Cactaceae.
- Sous-famille : Opuntioïdées.
- Groupe : Opuntiaeae.
- Genre : Opuntia.
- Sous-genre : Platyopuntia.
- Espèces : *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*.

Opuntia ficus-indica et *Opuntia megacantha* comptent parmi les cactus les plus importants sur le plan agronomique, que ce soit comme fruit comestible ou comme fourrage ou légume. La domestication des cactus a commencé il y a environ 8 000 ans.

6. Caractères Botaniques

Selon la classification botanique, la famille des cactées ou cactus sont des plantes dominantes appartenant aux angiospermes, dicotylédones, pétales. Ils font partie de l'ordre opportuniste représenté par cette famille unique, l'une des plus jeunes du règne végétal. En fait, nous ne connaissons pas la date à laquelle le cactus était à l'état fossile. Les cactus varient considérablement en taille, des arbres aux plantes naines. Cette plante peut atteindre une hauteur de 3 à 5 mètres. Son organisation est particulière : des tiges plates modifiées forment ce qu'on appelle communément une « raquette ». Associés les uns aux autres, ils tendent à former des branches. Selon la variété, leurs surfaces sont parsemées de petits tapis ou d'anneaux, et les épines peuvent ou non pousser des épines. Le tronc est épais et ligneux, à tissu plat, ovale ou ovale, vert foncé, ayant une longueur de (30 à 50 cm), une largeur de (15 à 30 cm) et une épaisseur de (1.5 à 3 cm).

Les feuilles sont courtes et insignifiantes (3 mm). Le cactus a des fleurs jaunes d'avril à juin. Le fruit ou la figue de barbarie est une baie charnue avec de nombreuses graines, dont le poids varie de 150 grammes à 400 grammes. Sa couleur varie selon les variétés : jaune, rouge, blanc.

La plante se caractérise par une remarquable adaptation à la sécheresse qui s'est acquise au fil du temps grâce à la fantastique évolution de sa structure organique. Les cactus préfèrent les sols calcaires et les climats semi-arides entre 18 et 30°C. Ils font partie des xérophytes et des succulentes, qui sont ces plantes qui parviennent à développer la capacité de se contenter

D'un point de l'un ou l'autre, et ainsi de survivre à des périodes prolongées de sécheresse, comme celles rencontrées dans les régions arides et semi-désertiques de celles-ci.



Figure 3 : Figueurs de barbaries (*Opuntia ficus-indica*) (source : <https://palmieretcompagnie.fr/comment-cultiver-et-reussir-le-figuier-de-barbarie-opuntia-ficus-indica/>)

7. Description morphologique des différentes parties de la plante

7.1. Raquette

Le figuier de barbarie c'est une plante arborescente qui peut atteindre de 3 à 5 mètres de haut. Son organisation en cladodes, couramment appelés raquettes est particulière. les cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie de 30 à 40 cm de long sur 15 à 25 cm de large et de 1.5 à 3 cm d'épaisseur et couleur vert , avec un système racinaire charnu, superficiel et à dispersion horizontale et une tige charnue ou ligneuse couverte d'un épiderme .ceux de la base se lignifient pour former au-delà de la quatrième année de croissance un véritable tronc. Ces cladodes assurent la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles, et sont recouvertes d'une cuticule cireux (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs. Les feuilles ont une forme conique et ont seulement quelques millimètres de long. Elles apparaissent sur les cladodes jeunes et sont éphémères.



Figure 4 : Cladode (raquette) de figuier de barbarie. (source : <https://www.deco.fr/jardin-jardinage/arbre-a-fruits/figue-de-barbarie>)

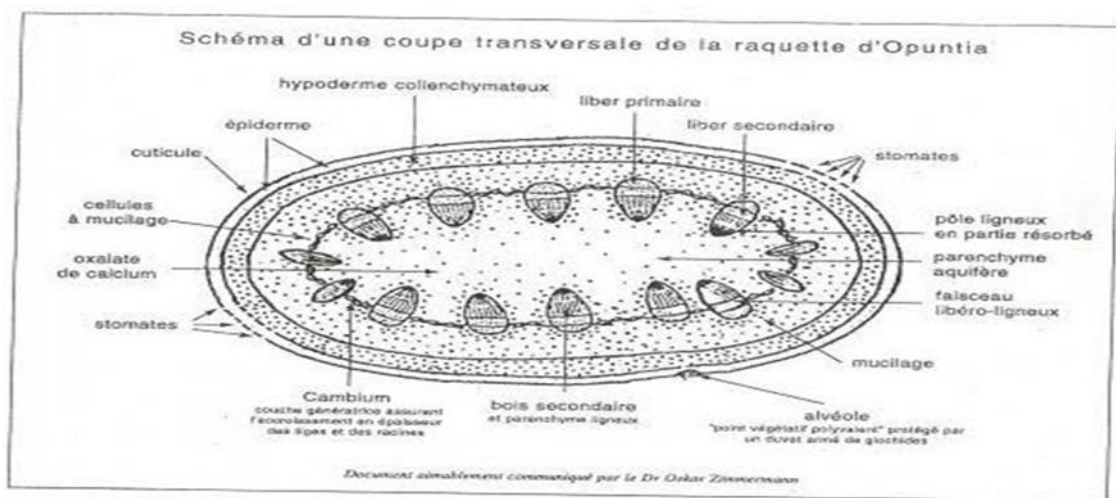


Figure 5 : Schéma d'une coupe Transversale de la raquette D'opuntia (source : docteur Nopal, la médecine du Bon Dieu)

7.2. Fruit

Le fruit d'O. Ficus-indica est une simple baie charnue et ovoïde ou piriformes, uniloculaires de 4 à 8 cm, à nombreuses graines dont le poids peut varier de 150 à 400 g. Formée par un ovaire infère enfoncé dans les tissus de tige du réceptacle, certains auteurs le considèrent comme un faux arille, et Un hypoderme mince et un cortex volumineux.

La pulpe est formée par le développement des trichomes qui viennent des cellules épidermiques du funicule et de l'enveloppe funiculaire. La taille du fruit dépend du nombre d'ovules fécondés et du nombre de graines qui avortent. On ne sait pas encore pourquoi des graines avortent. La pulpe est juteuse et sucrée, rouge ou jaune, qui contient de nombreuses petites graines.

Les fruits ont souvent deux sortes de graines stériles, dont l'une est quelquefois prédominante. Dans le second cas, le nucelle continué à croître, même après que l'embryon soit formé, et au moment où le funicule est formé, il se change en une couche dure lignifiée. Au Chili, de nombreux fruits d'O. Ficus-indica ont révélé un troisième type de graines non viables. Le poids de la baie varie de 67 à 216 g, offrant un large spectre de couleurs, blanche (muscarda), jaune (sulfarina) et rouge (sanguina). Les composés rouges sont les bétacyanines et les jaunes sont les bétaxanthines.



Figure 6 : Fruit de figuier de barbarie. (Source : <https://www.cuisineaz.com/articles/comment-manger-une-figue-de-barbarie-2073.aspx>)

7.3. Fleur

Les fleurs sont hermaphrodites, solitaires, est issue pour partie de la tige et pour partie de la feuille, larges de (4 à 10 cm) et de différentes couleurs selon les espèces avec des sépales, des pétales et des étamines, de couleur jaune à rouge et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. À la base des feuilles se trouvent les aréoles qui sont des bourgeons axillaires modifiés, typiques des cactacées. Leur méristème, selon les cas, produit des épines et des glochides, ou bien émet des racines adventives, de nouveaux cladodes ou des fleurs.

Chapitre I : Généralités sur le figuier de Barbarie

Les fleurs se différencient en général sur des cladodes âgés d'un an, le plus souvent sur les aréoles situées au sommet du cladode ou sur la face la plus exposée au soleil. En principe, une seule fleur apparaît dans chaque aréole. Les jeunes fleurs portent des feuilles éphémères caractéristiques de l'espèce. Un cladode fertile peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs, mais ce nombre varie énormément selon la position du cladode sur la plante, son exposition, et aussi selon des facteurs physiologiques (nutrition). Dans certaines contrées chaudes et arides la plante fleurit et porte des fruits deux fois dans l'année.

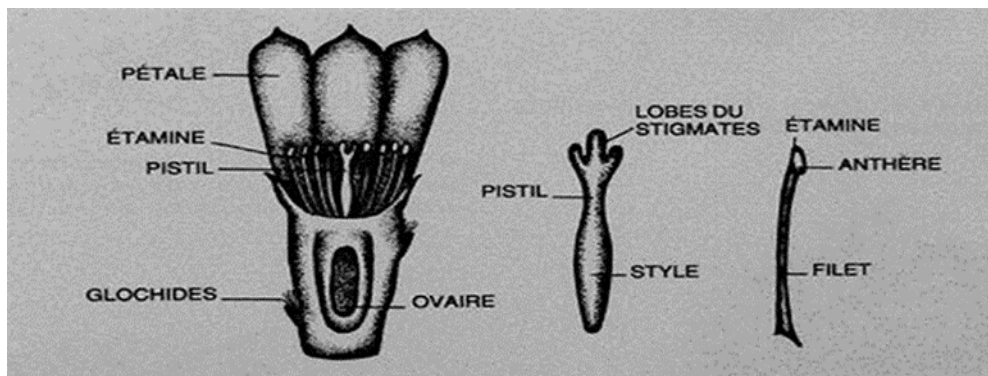
La fleur se compose en allant de l'extérieur vers l'intérieur :

- d'organes accessoires : pédoncules.
- d'organes protecteurs : sépales, pétales.
- d'organes reproducteurs : étamines, ovaires.

Les fleurs sont parfois utilisées comme produits alimentaire : les câpres dans du vinaigre, comme plantes médicinales en principe contre les rhumes : le coquelicot, la mauve, la violette et comme plante à parfum : la rose, le Jasmine et la violette.



(A)



(B)

Figure 7 : Fleur d'opuntia(A) et schéma descriptif avec leur détaille(B) (source :

<https://pxhere.com/fr/photo/688437>)

7.4. Graine

Les graines de figuier de barbarie sont des graines dicotylédones renfermées dans des fruits (Angiosperme). Elles sont dure et de diamètre de 5 millimètres (mm), osseuses et plates plus ou moins réniforme ou lenticulaire. Elles sont libres ou adhérentes à la pulpe, les graines de cactées sont de forme et de taille variable : plate discoïdales, arrondies ou bombées sur les côtés .composer en deux parties :

Le péricarpe : représente jusqu'à 90% du poids total de la graine ; il est constitué de deux types de cellules : en majorité des cellules longues très compactes en forme de fibres fusiformes (sclérenchyme), et celles constituant des vaisseaux conducteurs spiralés en simple hélice.

L'endosperme : qui représentent jusqu'à 10% du poids total de la graine ; il est constitué de cellules de parenchyme de réserve à paroi très fine renfermant de nombreux leucoblastes qui forment de petits grains d'amidon. Entre les tissus riches en amidon s'intercale une couche de gluten (couche à aleurone) qui donne au noyau son aspect visqueux. L'ensemble de ces cellules est enrobé dans une paroi cellulaire épaisse en forme de tuile inverse. Peuvent gardes leur aptitude à la germination pendant environ 20 ans.



Figure 8 : Une coupe transversale des graines de figuier de barbarie. (Source : <https://docplayer.fr/113446290-Etude-physico-chimique-de-la-pulpe-et-de-l-huile-extraite-a-partir-des-graines-de-figue-de-barbarie.html>)

(Habibi, 2004)

7.5. Feuille

Les feuilles sont de forme conique et ont quelques millimètres de long, éphémères, apparaissant sur les cladodes jeunes, à leur base, se trouvent les aréoles (environ 150 par cladodes) qui sont des bourgeons axillaires modifiés. Les feuilles des espèces d'Opuntia sont réduites en épines et il est parfois difficile de les identifier ou de retrouver leurs cicatrices, et on peut distinguer par leur déviation du limbe ou le contour général du limbe.

La feuille est le système rythmique de la plante, l'organe ou les dilatation-rétractions sont les plus apparentes dans les formes. La feuille est parfois appelée le poumon de la plante. En présence de lumière, l'air se dissout dans la feuille et l'assimilation du gaz carbonique permet le dégagement d'oxygène.

La feuille est généralement de couleur verte, du fait la présence de chlorophylle, celle-ci permet à la feuille de remplir sa fonction vitale de synthèse chlorophyllienne.

La feuille prés entre différentes portions :

- Le limbe : surface verte parcourue par les nervures,
- Le pétiole : qui est relié au limbe et la tige,
- La gaine ou base élargie de pétiole.

7.6. Appareil racinaire

La racine est la partie basale de l'axe de la plante, se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol. Dans une racine souterraine normalement, on distingue 4 zones qui sont la coiffe, la zone de croissance, la zone pilifère et la zone subéreuse. Le figuier de barbarie a un système racinaire superficiel et charnu, qui se répand horizontalement. La distribution racinaire peut dépendre du type de sol et de la gestion cultural, mais les racines sont différentes de celles des autres plantes, puisqu'elles développent des caractéristiques xéromorphiques qui permettent à la plante de survivre à des périodes prolongées de sécheresse, et Les racines peuvent contribuer à la tolérance de la sécheresse de différentes manières telles que celles rencontrées dans les régions arides et semi arides. Néanmoins, dans tous les types de sol, la majeure partie de la masse de racines absorbantes se trouve dans les centimètres superficiels, a une profondeur maximale de 30 cm, mais se répandant horizontalement sur 4 à 8 m. (**Mulas M, Mulas G. (2004).**)



Figure 9 : Les racines de figuier de barbarie. (source : <https://davesgarden.com/guides/pf/showimage/355002/>)

8. Pratiques culturales de la plante

8.1. Conditions de plantations

A. climat

Sec mais pas trop chaud : cela pourrait être la devise pour *O. ficus-indica*. Le métabolisme CAM permet à la plante d'atteindre une activité photosynthétique maximale à des températures diurnes de 25°C et des températures nocturnes de 15°C. Des températures diurnes plus élevées ou nocturnes plus basses produisent une diminution nette d'assimilation du carbone, menant à une faible croissance de la plante, une production réduite et finalement une faible valeur de récolte.

Les températures > 30°C entraînent jusqu'à 70% de réduction de l'activité photosynthétique ; elles affectent la forme du fruit quand elles se produisent durant les premiers stades de sa croissance. Des températures élevées pendant le développement du fruit augmente sa sensibilité aux basses températures (< 8°C) pendant le stockage post-récolte. Par contre, des températures journalières < 15°C ralentissent la croissance du fruit, retardent sa maturation et engendrent une pelure plus épaisse, une plus faible teneur en solides solubles et une mauvaise couleur de peau. Les températures < 0°C, même pendant 4 heures, produisent des dommages irréversibles sur les tissus des cladodes et des fruits. La plante est sensible à la température de congélation, mais extrêmement tolérante à la température élevée.

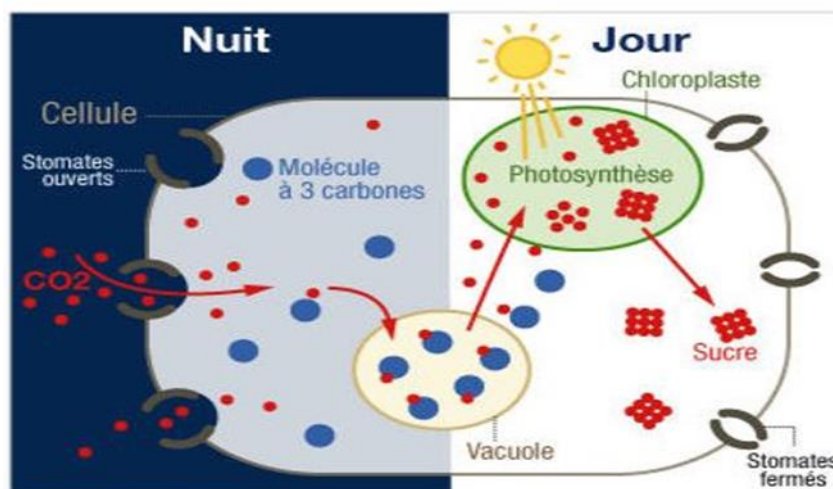


Figure 10 : Ecotypes du cactus *Opuntia ficus indica*. (source : <https://www.biotech-ecolo.net/cactus-opuntia.html>)

B. période de Plantation

L'époque de la plantation varie d'une région à une autre et elle dépend de la disponibilité du matériel végétal. Ont montré que, contrairement aux boutures plantées en hiver, les boutures plantées en automne présentent un faible pourcentage d'échecs, des racines plus nombreuses et plus lourdes par bouture. Cependant, le nombre de pousses par bouture est supérieur pour l'implantation printanière tandis que le nombre de fruits est meilleur à l'implantation hivernale. En tenant compte des températures et de la pluviosité des différentes périodes de l'année, ils concluent que l'automne est la meilleur période pour l'implantation du figuier de barbarie dans les conditions méditerranéennes.

En années pluvieuses ou sous irrigations le nombre de cladodes formé en une saison peut atteindre 40 à 60 cladodes selon le clone utilisé. Si l'année est " sèche " le nombre de cladodes émis quoique faible (3 à 10) selon la quantité de pluie reçue, est suffisant pour emmagasiner suffisamment d'eau et pouvoir résister aux fortes chaleurs estivales.

Cependant, dans les régions continentales, il faut éviter les mois les plus froids (décembre et janvier) et les mois les plus chauds (juillet et août) qui stresseraient les jeunes plants et causeraient les pourritures des plants.

En Algérie, particulièrement dans la région de Tébessa, les plantations sont effectuées durant deux époques :

- 20 Février à Mai, dans le Sud de la région,
- 20 Mars à Mai, dans les régions du Nord.

Jan.	Fév.	mar.
Avr.	Mai.	juin.
Juillet.	Aout.	Sep.
Oct.	Nov.	Déc.

C. Choix de l'espèce et de cultivar

Le choix de la variété prend une certaine importance :

* Ou cas où l'implantation serait destinée à la production de fruits, les espèces ou les variétés sélectionnées sont qu'elles aient à de gros fruits, contiennent moins de grains et de bonne qualité gustative.

* Mais si le but de l'implantation est l'utilisation fourragère, on choisit des variétés inermes. De manière à éviter l'opération d'élimination des épines avant la consommation par bétail.

Il existe, cependant, des facteurs importants qui sont pris en considération au moment du choix de la variété :

- Productivité élevée et de bonne qualité.
- Adaptation au climat et au sol.
- Grande rusticité.
- Résistance à l'agression des parasites et des insectes.

D. Préparation du sol

L'espèce croît dans tous les types de sols. Elle s'adapte fréquemment même aux sols limités par une roche dure. En général, *O. ficus-indica* est très adaptable, mais il est sensible à la salinité et à la saturation en eau puisque le système racinaire est très sensible à l'anoxie, et s'accommode mal des sols hydro morphes et asphyxiants. Concernant les besoins édaphiques, une ample disponibilité du calcium et du potassium est favorable pour une bonne récolte.

Les sols préférés sont les sols légers, sablonneux limoneux. Il s'agit de sols légèrement pauvres en matière organique (0.1-1.8 %), ayant des pH légèrement acides (5.1-6.7). Pour

Plusieurs espèces *Opuntia* le pH du sol est un facteur limitant, mais l'*Opuntia ficus-indica* est rencontré même sur des sols calcaires.

Il faut labourer le sol (60 à 80 cm de profondeur) et apporter des fertilisants au sol tout en veillant d'avoir un sol ameubli pour assurer un bon drainage. La profondeur des trous de plantation est de 10 à 20 cm et de 50cm de diamètre, il est préconisé d'épierrer le sol avant la plantation.

Tableaux 1 : Caractéristiques fonctionnelles et classes de sols adaptées à la Culture D'*Opuntia ficus-indica* (FAO, 2018)

Caractéristiques fonctionnelles		Classes			
		S1 Mieux adapté	S2 Adapté	S3 Moins adapté	N Non adapté
Température minimale	°C	> 3	> 3	> -3; < 3	< -5
Température moyenne	°C	18-23	15-18	10-15	< 10
Précipitations annuelles	mm	> 400	> 400	200-400	< 100
Texture		Sableux à mixte		Argilo-limoneux	Argilo-limoneux
Squelette		Indifférent	Indifférent	Indifférent	Abondant
Profondeur		Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Carbonates		Indifférent	Indifférent	Indifférent	Indifférent
Acidité	pH _{KCl}	5-8	5-8	5-8	< 5; > 8
Matière organique	%	< 0.5	< 0.5	> 0.5	> 0.5
Ca disponible		élevé	élevé	Moyen	Insuffisant
K disponible		élevé	élevé	Moyen	Insuffisant
CE _e ^a	dS m ⁻¹	< 2	2-4	4-7	> 7
Eaux souterraines sous-superficielles		Absentes	Absentes	Absentes	Présentes

^aEC_e = conductivité électrique de l'extrait de sol saturé

E. Fertilisation

L'objectif de la fertilisation est de maintenir ou d'améliorer le pouvoir nutritionnel d'un sol en vue de satisfaire les exigences des cultures et d'atteindre ou d'approcher le meilleur rendement avec une qualité tout en préservant l'environnement dans des conditions économiquement acceptables. La concentration d'éléments minéraux dans les cladodes de cactus varie en fonction du cultivar, des conditions environnementales et de la conduite. Les cactus répondent souvent mieux à la fertilisation organique qu'à la fertilisation minérale.

Afin d'éviter que les sols ne s'appauvrissent pas, il est nécessaire de compenser les éléments nutritifs par la récolte précédente. Les espèces du genre *Opuntia* présentent une productivité très basse souvent en raison des conditions environnementales dans lesquelles se développent ; sols pauvres en matières organiques et en éléments fertilisants, faibles

Précipitations, etc. en mode traditionnel, les cultures de cactus qui ne reçoivent habituellement aucun apport d'éléments fertilisants, on remarque une nette différence, En comparaison avec d'autres cultures.

L'application de fertilisants devrait être basée sur les résultats des analyses de sol, qui indiquent le niveau de nutriments pour les plantes dans le sol. La fertilisation porte non seulement à une augmentation de la production mais aussi à une augmentation de pourcentage de protéines .Cependant, il faut faire très attention à l'égard de la fertilisation azotée car les espèces du genre opuntia ont la particularité d'absorber et d'accumuler des nitrates facilement dans leurs cladodes ce qui peut les rendre toxiques pour les personnes et les animaux qui les consomment. Quant à l'effet du potassium et du phosphore les résultats obtenus ont été quelques peu contradictoires. Les doses et les sources du potassium et du phosphore ne présentent aucun effet sur la production de jeunes cladodes du figuier de barbarie.

F. Densité de plantation

Les distances de plantation les plus pratiquées pour la culture du cactus varient de 0.4 m à 6m voire 8m entre les lignes et 0.40 à 4m sur la ligne .Les implantions peuvent être réalisées suivant la nature et l'inclinaison du terrain et aussi en fonction de l'objectif principal, L'orientation Nord-Sud des lignes est importante pour assurer l'ensoleillement des plantes.

Les méthodes les plus utilisées sont les suivantes : Plantation en trous et Plantation en rangs.

L'espacement et la densité de peuplement dépendent des conditions édapho climatiques et les conditions de la culture. Les écartements varient de $0,55 \times 2$ m à 4×4 m. En Algérie, la densité dans les zones arides et semi-arides varie de 1000 à 4000 raquettes par ha et arrive jusqu'à 5500 raquettes par ha. Les plantations modernes, sont établies à des densités variant de 500 à 2000 plantes par ha et d'écartement de 5 à 7 m entre les rangées et 1 à 2 m entre les pieds. Dans les pays où l'irrigation goutte à goutte est couramment pratiquée l'espacement 1.5m entre les plants sur la ligne et 4m entre les lignes.

Si le but de plantation est la production de fourrage, on recommande d'intensifier la densité de plantation (40×80 cm).



Figure 11 : Plantation d'opuntia ficus-indica. (source : <https://docplayer.fr/81047906-Ecologie-culture-et-utilisations-du-figuier-de-barbarie.html>)

G. Récolte

La figue de Barbarie est un fruit assez difficile à cueillir à cause des épines qui sont présentes sur les cladodes. Le fruit est encore plus difficile à consommer, car sa peau est parsemée d'épines quasi-invisibles et sa récolte est une opération très importante pour préserver leur qualité durant le stockage et la commercialisation. Elle doit être effectuée très délicatement et avec beaucoup de soin pour éviter les pourritures des fruits qui peuvent survenir aussitôt après leur récolte. Les rendements dépendent de la variété du climat, de la richesse du sol et des conduites culturales et pays et notamment la pluviométrie.

Traditionnellement la récolte des fruits s'effectue manuellement, ou par un couteau, en se protégeant les doigts contre les glochides par un torchon, un morceau de tissu ou de carton ou une touffe d'herbe verte ou sèche à cause de la présence d'épines et de glochides qui peuvent percer la peau et rentrer dans les yeux et les voies respiratoires. Les fruits hors de portée de main sont récoltés en utilisant un bâton le plus souvent un roseau de 3 à 4m de long, et elles sont bon à récolter à partir de la fin août au plus tôt, souvent mi-septembre. Les fruits doivent être cueillis sur la plante car si vous attendez qu'ils tombent à terre, ils seront trop mûrs.



Figure 12 : Différentes techniques pour une bonne récolte de figuier de barbarie

8.2. Techniques de multiplication

Pratiquement tous les cactus ont des fleurs normalement hermaphrodites, c'est-à-dire que celles-ci possèdent des organes mâles (étamines) et femelles (carpelles). La partie réceptrice de l'organe femelle est le stigmate, à l'extrémité du pistil, et c'est cette surface qui reçoit le pollen pour qu'ait lieu la fécondation aboutissant finalement à la formation des graines.

A. Multiplication végétative (asexuée)

Les cladodes sont le moyen le plus commun de multiplication des espèces du genre *Opuntia*. Cette technique de propagation est simple, rapide, économique et donne la même plante uniforme que la plante mère, ce qui est particulièrement utile lorsque vous souhaitez conserver des caractéristiques favorables. Les pousses de deux ans et deux ou trois pousses d'un an sont les formes les plus courantes de reproduction asexuée chez les espèces de cactus.

Même les branches et les feuilles de moins de 15 cm peuvent régénérer les tiges et les racines. Les noyaux de fruits peuvent également être une source de nouvelles plantes, car ils sont capables de produire de nouvelles tiges, fleurs et racines. L'utilisation des boutures de cladode implantés au printemps permet de réduire le temps de séjour des plants en pépinière et les boutures plus petites permettent d'obtenir un grand nombre de plants.

B. Multiplication par graines

La multiplication des Opuntias par les graines est moins courante par rapport à d'autres espèces arborescentes. Les graines doivent provenir de fruits entiers, sains, mûrs ou sénescents, lavés et tamisés. Les graines ont ensuite été séchées pendant deux jours pour réduire l'humidité extérieure. Le résidu de pulpe supplémentaire adhérent aux graines est ensuite retiré à la main, et les graines sont traitées avec des pesticides et des fongicides pour lutter contre les organismes, en particulier ceux responsables de la micro-pourriture des racines. Les graines sont stockées dans des sacs en papier ou des récipients en plastique dans des conditions fraîches et sèches. Le stockage à long terme réduira lentement les taux de germination. La température optimale de germination se situe généralement entre 25 0C et 35 0C. La racine peut percer le tégument en trois à quatre jours.

En conclusion, la multiplication à partir des graines n'est pas courante, puisqu'elle présente plusieurs inconvénients :

- les plantules ne sont pas uniformes du point de vue génétique et Phénotypique.
- elles traversent une phase juvénile très longue et a germination est lente, peut prendre quelques semaines ou jusqu'à deux ans ! Alors soyez patient.

C. Culture in vitro

Si le matériel végétal est insuffisant pour la propagation, les bourgeons axillaires peuvent être utilisés pour la micro propagation, traités avec une solution de benziladénine, ce qui permet d'obtenir des milliers de plantes à partir d'un seul thalle. Une méthode de micro propagation très efficace a été développée pour les espèces de Cactus. Ils ont réussi à produire 25 000 plantes à partir d'un seul thalle de 5 centimètres en seulement 100 jours en utilisant différentes concentrations en les stérilisant avec de l'alcool à 70 % pendant quelques secondes après avoir soigneusement retiré les épines. Faire tremper dans de l'hypochlorite de calcium à 6 % pendant 10 minutes après la désinfection. Après plusieurs rinçages à l'eau distillée, les explants ont été cultivés en milieu de base additionné de différentes concentrations de

benzodiazépines. Par conséquent, nous améliorons considérablement le rapport de multiplication par rapport aux techniques de fractionnement habituelles.

La technique de propagation par culture des tissus est largement pratiquée.

9. Maladies et problèmes de rendement

Comme les autres cultures, le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) souffre de plusieurs maladies biotiques et abiotiques, leur impact dépend de l'utilisation de la culture.

Néanmoins, il est certain que la plupart des maladies infectieuses sont causées par des champignons, alors qu'un très petit nombre de bactéries, phytoplasmes et virus sont signalés comme pathogènes. Détection précoce, une identification précise et un suivi strict des maladies dans les champs et sur le matériel de multiplication sont essentiels pour éviter leur diffusion.

9. 1. Les blessures dues au froid et de grêle

Les dommages causés par des températures inférieures à -5°C peuvent avoir un effet dramatique sur toute la plante ou seulement sur une petite partie du tissu végétal, réduisant le rendement ou seulement la qualité du produit. La sensibilité au froid varie selon l'âge et le stade physiologique de la plante, ainsi que selon la variété. Les fruits mûrs sont les plus sensibles aux dommages causés par le froid.

Les dommages causés par la grêle peuvent causer des plaies au point d'impact ; même les jeunes dendrites et les fruits peuvent être percés par les impacts de grêle. Étant donné que les tissus lésés constituent un point d'entrée pour que les bactéries et les champignons pénètrent dans la plante, l'application d'un traitement protecteur au cuivre peu de temps après l'événement peut prévenir l'infection. Le feuillage et les fruits gravement endommagés doivent être enlevés dès que possible.



(A)

(B)

Figure 13 : Blessures dû au froid (A) et blessures dû aux grêles (B) de figuier de barbarie. (Source : <https://docplayer.fr/81047906-Ecologie-culture-et-utilisations-du-figuier-de-barbarie.html>) (FAO, 2018)

9. 2. Mildiou et pourriture

Elle est produite par un champignon (*Phytophthora cactorum*) qui se propage à une vitesse inquiétante. Les symptômes du mildiou apparaissent sur l'épiderme sous la forme de vésicules, d'un état chlorotique marqué et de taches brunes qui envahissent les fruits et les raquettes selon les variétés. Les contrôles préventifs comprennent la coupe et le brûlage des parties affectées de la plante.



Figure 14 : Moisissure et pourriture des cladodes

9. 3. La rouille

Connue sous le nom de «Roya » en Amérique du Sud, Pendant que les taches de rouille sèchent, un trou se développe sur le cladode.

Causée par *Phyllosticta opuntiae*, urédinée qui se manifeste par des petites taches de couleur jaune-rouille, circulaires, pouvant s'étendre en plaques irrégulières d'un blanc sale ou cendre. La gale causée par cette espèce qui est probablement l'ennemi le plus redoutable des *Opuntias*, est efficacement combattue par des traitements à base de cuivre et l'ablation des raquettes parasitées.

9. 4. La Cératite

Causée par « *Ceratitis capitata* Wied », c'est la mouche méditerranéenne des fruits qui peut occasionner des dégâts importants certaines années dans les plantations mal entretenues. L'infestation est visible sur le fruit par une petite tache entourant le point de piqûre, tâche qui s'agrandit par la suite.

Un insecticide de synthèse permet de se débarrasser facilement de cet insecte.



Figure 15 : La mouche *Ceratitis capitata* Wied. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ceratitis_capitata)

9.5. Pourriture bactérienne molle noire

Causé par la bactérie « *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora* », Bacille de gram-. Elle peut provoquer de graves dégâts à la fois aux champs et sous abri (en sol et hors sol). Au printemps, les cladodes montrent des taches aqueuses qui deviennent brunes et coalescentes. Les tissus externes sèchent et souvent se craquèlent ; les tissus internes deviennent bruns à presque noirs. Ces symptômes peuvent aussi être observés sur les fruits.



Figure 16 : Pourriture noire sur les cladodes de barbarie. (Source : <https://docplayer.fr/81047906-Ecologie-culture-et-utilisations-du-figuier-de-barbarie.html>)

10. Utilisation de la figue de barbarie

Le figuier de Barbarie est une plante très utile pour les régions arides. Ses utilisations sont multiples :

10.1. Utilisation dans le domaine cosmétologique

C'est la filière la plus exigeante pour les figues de barbarie. Avec l'essor de la culture des produits de consommation bio et un fort retour à la nature, l'huile de pépins de figue de barbarie est demandée par les grandes entreprises de beauté modernes. Recettes inspirées des femmes berbères du Maghreb. Les extraits de plantes se retrouvent dans de nombreux ingrédients cosmétiques. Les femmes berbères utilisent cette huile pour soigner et protéger leur peau de la chaleur du désert (**Benattia 2017**). Le mucilage des frondes est utilisé pour fabriquer des shampooings, des adoucissants pour les cheveux, des crèmes pour la peau et des hydratants. Les femmes rurales du Maroc l'utilisent aussi depuis longtemps pour adoucir leurs cheveux (**Fernandez et al, 1990**). L'huile essentielle contenue dans les graines du fruit du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, en stérols et en vitamines, et peut être utilisée comme agent anti-rides naturel et dans la fabrication de crèmes anti-rides pour la peau. L'huile de cactus est riche en vitamine E et en stérols, ce qui lui confère une extraordinaire capacité à protéger la peau des radicaux libres. Les pouvoirs de cette huile dépasseraient ceux de l'huile d'argan, il possède, entre autres, 65 % d'acides gras polyinsaturés (nourissants) - contre 33 % pour

l'argan, ainsi qu'un taux de vitamine E (anti-oxydante) supérieur à 100 mg / 100 g - contre 65 mg pour l'argan. Cependant, les femmes indiennes utilisent des savons et des onguents à base de mucus de raquette et de jus de cactus pour soigner leurs mains laborieuses. Ils préservent de la même manière les visages brûlés par le soleil. Utilisé Pour la préparation de fards à joues et de rouges à lèvres.

L'intérêt principal de ces derniers est leur effet anti-rides (Bhira, 2012)



Figure 17 : Quelque produit cosmétique à la base de cactus. (Source : <https://www.warelarr.xyz/products.aspx?cname=aloe+vera+miniso&cid=50>)

10.2. Utilisation dans le domaine environnemental

Les sociétés humaines profitent du bien et des services essentiels des écosystèmes naturels fournis par les figuiers de Barbarie comme le contrôle des sols et de l'érosion hydraulique et éolienne, Le figuier de barbarie est très souvent utilisé comme haies défensives dans sa région d'origine. Le cactus inerme *Opuntia Ficus indiça*, qui tolère la sécheresse et protège les sols contre l'érosion, est encore utilisé en Tunisie, en Algérie et au Maroc pour ralentir et diriger le mouvement des sables, augmenter le couvert végétal, et éviter la destruction des terrasses construites pour réduire de ruissellement. Son utilisation contre la propagation des incendies du fait de sa résistance au feu ; la régulation du climat via la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité des habitats pour la faune sauvage, en plus de leur beauté esthétique comme plante toujours verte. (Louhaichi et al, 2018). Au Maghreb, les vieilles raquettes d'*Opuntia* desséchées utilisées comme fumure des vergers, éloigne les parasites et

Empêche la prolifération des mauvaises herbes. Pour détruire les larves de moustiques, on utilise des raquettes de ce figuier, coupées en morceaux et jetées dans les eaux stagnantes, laissent exsuder un mucilage qui forme à la surface une couche isolante amenant la destruction des larves de moustiques. Les cladodes du figuier de Barbarie ont été impliqués, assez récemment, dans le traitement des eaux usées par rapport à une autre plante. Plusieurs auteurs ont reporté l'efficacité du mucilage d'*Opuntia ficus-indica* pour l'activité antimicrobienne, pour la réduction des métaux (As, Cd, Cu et Fe), pour l'élimination de colorants, ainsi que pour l'élimination de la turbidité (**Buttice et al, 2010 ; Fox et al, 2012 ; Torres-Bustillos et al, 2013**). Ces travaux considèrent que le mucilage d'OFI a le potentiel de remplacer le Fe ou l'Al dans le processus de coagulation–floculation, et donc peut être utilisé comme coagulant naturel afin de remplacer les flocculant chimiques conventionnellement utilisés en industries. Ce sont les polysaccharides qui composent le mucilage qui agissent comme adsorbants ou bio coagulants dans le traitement de l'eau (**Miller et al, 2008**), notamment par les groupes carboxyles, hydroxyles, sulfates, phosphates, aldéhydes, cétones et autres groupes chargés, comme l'acide carboxylique (**Barka et al. 2013**).

11. Autres utilisations

11.1. Combustible

C'est une plante qui fournit un bois de chauffage de qualité et une flamme éclairante. Les Indiens fabriquaient des torches pour leurs cérémonies religieuses. **Le major Oscar** raconte son choc lorsqu'il est arrivé la nuit dans un village déchirant de la haute vallée de Chihuahua, lorsqu'il a découvert que d'étranges rituels s'y déroulaient. "Devant chaque case, des cactus plantés dans le sol brûlent comme des bougies. Sur la place du village, entre les cases, des feux se répandent dégageant une lumière vive et dansante.

11.2. Apicultures

Le cactus est une plante à fleurs prolifique qui peut prolonger son cycle de floraison de 3 à 6 mois, selon la région et la variété. Les fleurs de cactus sont une source de nutrition très populaire pour les abeilles, et leurs fleurs attirent un grand nombre d'abeilles avec leurs grandes fleurs jaunes, leur riche pollen et leur nectar. Il est donc possible de développer l'apiculture en même temps. Il assure l'activité des abeilles sur les fleurs d'OFI pendant une certaine période (3 mois (avril à juin)) et dans les autres espèces mellifères assurent leur activité pendant sept mois (mars- septembre).

11.3. Comme cellules solaires sensibilisées par colorants

Les dispositifs de conversion photoélectriques les plus connus sont les photovoltaïques conventionnelles, qui sont remplacés maintenant par des cellules sensibilisées par colorant. Des cellules solaires sensibilisées aux colorants (CSSC) a été développé par **Ganta et al**, à partir de colorants végétaux naturels, extrait du cladode de l'OFI, le gel d'Aloe-Vera, et la combinaison des deux extraits. Ce procédé permet la conversion photoélectriques (cellules sensibilisées qui servent de conducteurs), il en ressort que l'utilisation de ces colorants naturels est prometteuse, en raison de leurs faibles coûts de production, méthodes d'assemblage simples et éco énergétiques et respectueuses de l'environnement.

11.4. Matériel holographique

L'OFI libère une substance à travers son mucilage, qui provient de la dégradation des substances pectiques et de la chlorophylle. Combinée dans une matrice d'alcool polyvinylique, cette substance peut être utilisée comme un milieu d'enregistrement. Le matériau résultant a

D'excellentes propriétés photo-sensibilisantes, et est facile à manier, à un faible coût et une faible toxicité (**Olivarez et al, 2012**).

11.5. Fabrication de nanoparticules

OFI a été utilisé dans la biosynthèse de nanoparticules à base d'argent colloïdal. La plante contient divers composés phénoliques sous forme de flavonoïdes et de terpénoïdes. De plus, la quercétine, généralement présente à des concentrations élevées, est responsable de la formation de ces nanoparticules. De plus, les nanoparticules ont montré une activité antibactérienne significative. Par conséquent, les nanoparticules se sont révélées être de meilleurs systèmes d'administration de médicaments en raison de leur biocompatibilité et de leur biogénicité (**Gade et al, 2010**).

12. Importances agro-économiques du figuier de Barbarie

L'adaptation de la figue de barbarie aux conditions désertiques et semi-désertiques en fait une culture aux avantages écologiques et socio-économiques indéniables. En effet, il constitue une barrière contre la désertification et l'érosion des sols. Il est également planté pour la régénération des terres. Il ne nécessite pas de pratiques culturales spécialisées ni l'ajout d'engrais. Avec le développement du marché des fruits exotiques dans certains pays, les efforts ont été redoublés pour en faire une culture de rente, soit comme culture fourragère, soit comme culture maraîchère. Cependant, la production de fruits reste l'aspect le plus étudié et le plus développé.

12.1 .Utilisation des fruits

Le fruit de la figue de barbarie est plus ou moins gros, de couleur verte, devenant jaune à rouge à maturité, la pulpe est molle, juteuse, sucrée, et contient de nombreuses petites graines dans le mucilage. Ils sont généralement consommés frais, très rafraîchissants et nutritifs. Ils se caractérisent par un pH relativement élevé ($\text{pH} \approx 5,6$) par rapport aux autres fruits. Les fruits sont connus pour leur teneur élevée en sucre, en minéraux et en vitamine C. Tous les sucres contenus dans les fruits sont constitués de glucose et de fructose. La teneur totale en acides aminés libres (257mg/100g) est très supérieure à la teneur moyenne des autres fruits, sont conditionnés industriellement et stabilisés par diverses méthodes (froid, sec, chaud) ou transformés en jus, miel (le miel provient du thon), Boissons alcoolisées, Confitures, Colorant Alimentaire (Savage Peuple).

Tableaux 2 : Composition de la figue de barbarie *Opuntia ficus-indica* (anonyme ,1993)

Constituants	Fruit (%)	pulpe et graine (%)	pulpe sans graine (%)
eau	80.0	84.5	83.6
protéines	1.0	1.3	0.8
lipides totaux	0.7	1.3	0.3
glucides disponibles	14.8	8.0	10.8
fibres brutes	2.3	4.4	3.6

12.2. Utilisation des raquettes

12.2.1. Production fourragère

Le cactus est considéré comme une réserve fourragère sur pied ; il peut constituer un appoint alimentaire pour les périodes de transition en été et en automne et lors des années de sécheresse. Avec le but d'assurer un stock alimentaire pour le bétail dans le cas d'une situation critique de sécheresse, de par sa grande utilisation efficiente de l'eau, en absorbant le maximum d'eau au moment de sa disponibilité et le stocker pour les périodes de son besoin.

Une fertilisation azotée et phosphorique améliore sa valeur nutritive et sa productivité en biomasse. Cependant ce fourrage est pauvre en protéines et en lipides. Il présente un rapport calcium/phosphore élevé et il est riche en glucides, en eau et en vitamines.

Chapitre I : Généralités sur le figuier de Barbarie

Des travaux récents ont montré que les fruits de cactus non commercialisables pour la consommation humaine (rebut) peuvent être utilisés dans l'alimentation des mammifères sous forme de blocs multi nutritionnels, ajoutant à son impact sur la qualité du lait ce qui fait nourrir les vaches avec du cactus permet d'améliorer la conservation et la couleur du beurre. Ils sont donc bon marché et disponibles, où les ressources alimentaires sont limitées ainsi qu'ils sont faciles à produire, à conserver et à transporter.

Tableaux 3 : Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments (**poupon, 1975**).

Nature du fourrage	Matière sèche (%)	Matière azotée (%)	Hydrate de carbone (%)	Matière grasse (%)
Foin de luzerne	91.4	10.6	39.0	0.9
Atiplex	23.3	2.8	5.9	0.1
Maïs ensilé	26.3	1.1	15.0	0.7
Pulpes de betterave sucrière	9.4	0.2	6.4	0.1
Cladodes de l'Opuntia	10.4	0.6	5.8	0.1

12.2.2. Production maraîchère

Par ailleurs, le cactus est exploité pour sa production maraîchère sous le nom de « Nopals » ou « Nopalitos ». Au Mexique, les raquettes du cactus sont consommées en salade en accompagnement d'une viande ou en dessert, en friture ou cuites qui sont conservées dans du vinaigre. Elles sont riches en vitamine C et en Calcium et leur valeur nutritive est proche de celle de la laitue et des épinards.



Figure 18 : Salade de figuier de barbarie. (source : <http://ririfleur.centerblog.net/6582620-Salade-de-Figuier-de-Barbarie-Nopal>)

12.2.3. Utilisation médicinale

Dans plusieurs pays les raquettes du cactus sont utilisées pour le traitement de plusieurs maladies. En effet, affirme que les « Nopalitos » sont utilisées pour le traitement du diabète. Le Mucilage isolé des raquettes permet de réduire le taux de cholestérol dans le sang, et l'acide carminique est très utilisé par les industries médicinales.

12.3. Utilisation des fleurs

Les fleurs séchées du Figuier de Barbarie sont utilisées dans la tradition berbère Comme infusion pour soulager les douleurs gastro-intestinales et prévenir les ulcères grâce à ses propriétés anti-inflammatoires. En effet, les capsules des corolles des fleurs séchées sont utilisées comme remède du dysfonctionnement de la prostate (hypertrophie bénigne de la prostate), et aussi comme régulant diurétique. En Sicile, le thé préparé avec les fleurs de l'*Opuntia ficus-indica* est utilisé comme traitement contre les douleurs rénales et dans les pays d'Afrique du Nord comme remède anti diarrhéique. Et un produit Cosmétique fabuleux. En macérât ou en lotion, elles seront un soin cosmétique anti-âge très riche en potassium, calcium, magnésium, fer et zinc. Nourrissantes, assouplit et protège la peau de la déshydratation.

Elle permet aussi de développer l'apiculture en parallèle. Ce qui donne un rendement des ruches de 1 à 4 litres de miel.

13. Importance biotechnologique

La plante du figuier de barbarie d'*Opuntia ficus indica* peut être valorisée en divers produits tels que la biomasse, les boissons alcooliques, le vinaigre balsamique et le biocarburant etc.

Les fruits et les cladodes d'*Opuntia ficus indica* sont utilisés pour la production de bioéthanol en utilisant différentes souches du genre *Saccharomyces*. Il existe aussi différentes applications biotechnologiques du genre *Opuntia*, y compris l'isolement enzymatique, la transformation génétique et les techniques de culture tissulaire *in vitro*. Les applications biotechnologiques des espèces de cactus se multiplient. Certaines d'entre elles incluent la mise en œuvre de techniques de culture *in vitro* adaptées à la propagation à grande échelle d'espèces rares ainsi que d'espèces commerciales et ornementales. Il a été démontré que la régénération des plantes *in vitro* se produit par deux voies principales : l'organogenèse *de novo* et l'embryogenèse somatique. Parmi les techniques courantes de culture *in vitro*, la micro propagation s'est avérée efficace dans différents genres de Cactus, à savoir *Cactus*, *Equinocereus*, *Ferocactus*, *Mammillaria* et *Cactus*, pour lesquels de nombreux systèmes de propagation ont été développés.

L'isolement ou la purification d'enzymes et leur caractérisation est l'une des applications les plus importantes. La cellulase, également connue sous le nom d'endoglucanase, est une enzyme multi-sous-unité contenant un noyau catalytique. Aujourd'hui, l'intérêt et la demande croissants pour les sources d'énergie renouvelables ont conduit au besoin d'enzymes dégradant la cellulose avec des applications potentielles dans la production d'éthanol ou dans diverses industries (café, détergents, textiles). Les auteurs suggèrent qu'ils peuvent être utilisés dans diverses applications industrielles.

14. Conclusion

Dans le cadre de la promotion du cactus, plusieurs chercheurs étaient intéressés au cactus, une plante trop longtemps délaissée dans notre pays, soit spontanément, soit dans le cadre d'un programme de plantation, et qui fait l'objet d'attention depuis quelques années, compte tenu des retombées économiques qu'elle peut générer. Son importance a suscité l'intérêt de nombreux agriculteurs, experts et chercheurs scientifiques. De plus, sa croissance rapide, ses faibles besoins en eau et son adaptabilité aux sols pauvres en nutriments ont fait du cactus une culture majeure dans le monde. Sur la base de notre tour d'horizon des cactus, plusieurs auteurs

Chapitre I : Généralités sur le figuier de Barbarie

ont décrit cet arbuste comme une merveille de tout, des racines aux épines, qui fonctionne pour cette plante. Cette recherche nous permet de mettre en évidence l'intérêt croissant et les domaines d'application des cactées.

Chapitre II

Cladode du figuier de Barbarie

1. Introduction

Un écrivain sicilien a un jour appelé le figuier de Barbarie « un trésor sous les épines » du fait de ses immenses bénéfices, dont certains étaient peu connus avant aujourd'hui, Dans de nombreux pays. De plus, les fruits et les cladodes contiennent de nombreux composants bioactifs qui doivent être préservés pendant la transformation. La figue de Barbarie est un fruit de multiples usages et une large gamme de produits et de sous-produits peuvent en être dérivée. Il en est de même pour les cladodes.

O. ficus-indica est une plante CAM (métabolisme acide des Crassulacées), communément considérée comme résistante à la sécheresse, car il stocke une quantité considérable d'eau dans ses rameaux. La morphologie et l'anatomie de ces rameaux ont évolué pour servir cette fonction. Chez *O. ficus-indica*, les organes tiges, connus sous le nom de cladodes, sont succulents et leur forme est typiquement oblongue à spatulée-oblongue, généralement 30-40 cm de long, quelques fois plus long (70-80 cm), et large de 18-25 cm. Anatomiquement le cladode en coupe transversale est une eustèle, formée par : la peau ; le cortex ; les tissus vasculaires, disposés en cercle et composés de faisceaux collatéraux séparés par du tissu parenchymateux ; et la moelle qui est le tissu succulent majeur. Ces cladodes assurent la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles, et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs. Les feuilles ont une forme conique et ont seulement quelques millimètres de long. Elles apparaissent sur les cladodes jeunes et sont éphémères.

Une révision des constituants bioactifs, tels que le mucilage, les fibres, les pigments et les antioxydants, a été effectuée, indiquant que les plantes de cactus peuvent être utilisées efficacement comme source de ces composés. Un examen des derniers rapports sur les propriétés médicinales des produits de cactus est inclus, montrant les avantages pour prévenir différentes maladies. Ce chapitre décrit les cactus comme des plantes multifonctionnelles qui offrent la possibilité de profiter de la plante entière.

2. Composition chimique

La composition chimique des cladodes varie en fonction des facteurs édaphique, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante et le niveau de production de biomasse, fertilité du sol et le climat. Par conséquent les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés. Les teneurs en eau des raquettes fraîches varient de 80 à 90% (**Benattia, 2017**), stocké dans un cylindre de globules blancs, appelé parenchyme. Au

Contraire, ils sont réputés être riches en minéraux essentiellement, et les oxalates et en mucilage, polysaccharides, En vitamines (riche en vit A), en stérols et une haute teneur en calcium et en fibres. Elles sont moins nutritives que les épinards et plus nutritives que la laitue. Et présente une forte teneur en composés phénoliques associés à la prévention des métastases du cancer. Que ce soit au niveau des cladodes qu'au niveau des fruits.

Les cladodes jeunes constituent une source importante de protéines, Fait intéressant, la fertilisation faible en azote conduit à une augmentation de la teneur en protéines brutes, Plusieurs études ont signalé des proportions élevées en acides aminés dans les cladodes, spécialement la proline, l'acide glutamique et l'acide aspartique. Cependant, l'acide ascorbique (vitamine C) est un important constituant du fruit du figuier de Barbarie sur le plan nutritionnel par rapport aux cladodes du figuier de Barbarie.

Tableau 4 : Composition chimique de raquettes. (**PRO VERA (Belgique)**)

Composants	%
Eau	92%
Glucides	4.3%
Cellulose	1.2%
Protéines	0.6%
Matière grasse	0.15%
Cendre	1.5%

A- Minéraux

La teneur en minéraux variait selon l'espèce, le site de culture et l'état physiologique du tissu foliaire. Le potassium était le minéral principal, représentant 60 % des cendres totales, suivi du calcium, du sodium et du fer, tandis que le magnésium n'a pas été détecté. Il est important de noter que le calcium joue un rôle vital dans la rétention d'eau des tissus succulents. (**Stintzing and Carle, 2005**).

Tableau 5 : Principaux minéraux contenus dans les cladodes d'*Opuntia ficus indica*. (Stintzing et al, 2001)

Minéraux	mg/100g du poids sec
Potassium	18-57
Calcium et Magnésium	11-17
Manganèse	62-103 µg
Fer	55-66 µg
Zinc	22-27 µg
Cuivre	8-9 µg

B- Glucides

Les glucides représentent 36 à 37 % du poids sec total du thalle. Teneur en glucides entre 64 et 71 g/100 g de poids sec. Les variations peuvent être dues à des facteurs agronomiques et environnementaux et à l'âge du thalle. Le jeune feuillage est plus riche en glucides.

C- Acides organiques

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg/100 g de poids frais. En revanche, les branches et les feuilles plus âgées ne contenaient plus d'acide malonique. L'augmentation de l'acide piscidique était due à une augmentation avec l'âge, tandis que celle de l'acide phorbique diminuait jusqu'à la moitié de la valeur initiale. De plus, l'acide malique varie de 95 à 985 mg/100 g de poids frais. Du fait du type de photosynthèse (CAM), elle est sujette à des variations diurnes : les plantes fixent le dioxyde de carbone sous forme d'acide malique et libèrent de l'oxygène la nuit pour éviter les pertes d'eau par transpiration. Pendant la journée, lorsque les stomates sont fermés, sous l'action de la photosynthèse, l'acide malique est décarboxylé en acide malonique, libérant du dioxyde de carbone et le convertissant en glucose. Cependant, l'acide principal était l'acide oxalique (0,61 mg/g de poids sec). Il joue un rôle intéressant dans le métabolisme du calcium et de la pectine.

Tableau 6 : Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte. (Stintzing et al, 2001)

Acides organiques	6h (matin)	18h (après-midi)
	Poids frais (mg/100g)	Poids frais (mg/100g)
Acide oxalique	35	35
Acide malique	985	95
Acide citrique	178	31
Acide malonique	36	Traces

D- Acides aminés

Il existe 18 acides aminés compris dans les cladodes du figuier de barbarie (Bruckner et al, 2003), Les principaux acides aminés sont la glutamine, suivie par la leucine, la lysine, la valine, l'arginine, la phénylalanine et l'isoleucine.

Tableau 7 : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie. (Bruckner et al, 2003)

Acides aminés	Poids frais (mg/100g)
Alanine	0.6
Arginine	2.4
Asparagine	1.5
Acide asparaginique	2.1
Acide glutamique	2.6
Glutamine	17.3
Glycine	0.5
Histidine	2.0
Isoleucine	1.9
Leucine	1.3
Lysine	2.5
Méthionine	1.4
Phénylalanine	1.7
Serine	3.2
Thréonine	2.0
Tyrosine	0.7
Tryptophane	0.5
Valine	3.7

E- Acides gras

Les branches et les feuilles de cactus ont montré une contribution totale en acides gras de 13,87 % pour l'acide palmitique (C16 :0), 11,16 % pour l'acide oléique (C18 :1), 34,87 % pour l'acide l-linoléique (C18 :2) et 32,83 % pour l'acide linoléique (C18 :3). Par conséquent, ces quatre acides gras représentent plus de 90 % des acides gras totaux. Les acides linoléiques et linoléique constituent les principaux acides gras polyinsaturés (67,7 %) et contiennent 5,0 % de cholestérol, 8,0 % de méthylcholestérol et 87,0 % de sitostérol.

Tableau 8 : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie (Abidi et al, 2009).

Acides Gras	Matière sèche (g/100g)
C16 :0	13,87
C18 :1	11,16
C18 :2	34,87
C18 :3	33,23

F-Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles

Les plantes de cactus ont des propriétés bénéfiques, principalement en raison de leur forte teneur en antioxydants (flavonoïdes, ascorbates), pigments (caroténoïdes, bêtaïnes).

Le cactus contient de grandes quantités de composés phénoliques aux propriétés antioxydantes, ainsi que des nutriments qui aident à combattre l'athérosclérose, le diabète, l'indigestion, l'inflammation et d'autres symptômes liés au système immunitaire. Les figues de barbarie sont riches en vitamine A, qui favorise notamment le bon renouvellement des tissus de l'organisme, tandis que la vitamine C possède de bonnes propriétés antioxydantes et vous aide ainsi à lutter contre le vieillissement cellulaire. (Stintzing et al, 2001)

Tableau 9 : Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie. (Stintzing et al, 2001)

Vitamines	Pour 100 g de poids frais
Vitamine C	7-22 mg
Vitamine B1	0.14 mg
Vitamine B2	0.60 mg
Vitamine B3	0.46 mg
β-Carotène	11,3 – 53,5 µg

G- Composants phénoliques

Les composés phénoliques sont des substances présentes dans tous les végétaux et dans tous les organes de la plante. (Shahidi et al, 2003 ; Barboni, 2006 ; Sun et al, 2011)

Le terme «composés phénoliques végétaux» englobe les phénols simples, les acides phénoliques, les coumarines, Parmi les acides phénoliques qui ont été détectés : acide ferulique, acide p-Coumarique, acide 4-Hydroxybenzoïque, acide caféique, acide salicylique, acide gallique. Les flavonoïdes détectés sont : rutine, iso-quercitrine, nicotiflorine, narcissine. (Guevara-Figuera et al, 2010)

Tableau 10 : Les composés phénoliques d'Opuntia ficus indica. (El-Mostafa et al, 2014)

Polyphénols	Matière sèche (mg/100g)
Acide gallique	0,64-2,37
Acide coumarique	14,08-16,18
4-hydroxybenzoïque	0,5-4,72
Acide ferulique	0,56-34,77
Isoquercétine	2,29-39,67
Nicotiflorine	2,89-146,5
Rutine	2,36-26,17
Narcissine	14,69-137,1

3. Mucilage

C'est un polymère complexe de nature glucidique avec une structure fortement ramifiée. La vase est produite dans les cellules des algues vertes (la partie verte externe du thalle) et du parenchyme (la partie blanche interne du thalle) et aide le cactus à retenir l'eau. C'est un matériau visqueux et visqueux avec des propriétés tensioactives uniques dans l'eau qui lui permettent de précipiter les particules et les ions des solutions aqueuses. Les propriétés glucidiques du mucus sont caractérisées par des ratios variables d'arabinose, de D-galactose, de L-rhamnose, de D-xylose et d'acide galacturonique, mais le calcium et le potassium se retrouvent également dans cette structure ramifiée complexe de minéraux tels que les glucides et les fibres alimentaires. La structure du mucilage est proposée sous la forme de deux fractions solubles dans l'eau distinctes. Le plus répandu et le plus important sur le plan économique est *O. ficus indica*. Des utilisations multiples ont été trouvées pour ce composant comme épaississant et émulsifiant alimentaire, comme adhésif pour la chaux, et comme produit alimentaire. Le mucilage est utilisé comme agent mucoprotecteurs en raison de sa capacité à former un réseau moléculaire et à retenir une quantité importante d'eau.

Le mucilage du cactus a été utilisé comme biomatériau durable pour développement des films comestibles. Il a été aussi utilisé comme bio-coagulant dans le processus d'électrocoagulation-électro flottation afin d'améliorer le rendement d'élimination du trouble et du cuivre en eaux polluées. Le mucilage d'OFI, extrait essentiellement des cladodes, a aussi suscité beaucoup d'intérêt scientifique pour ses propriétés pharmaceutiques et rhéologiques.



Figure 19 : Mucilage d'OFI

4. polyphénols

Les cladodes de cactus sont riches en une variété de polyphénols, principalement des flavonoïdes et des acides phénoliques. Le terme phénolique est utilisé pour définir des substances avec au moins une substitution hydroxyle (OH) sur le cycle aromatique. Le nom vient du composé parent le plus simple : le phénol. Polyphénols naturels. En raison de sa teneur élevée en flavonoïdes et caroténoïdes, OFI est une excellente source de composés antioxydants naturels. Les composés phytochimiques présents dans différentes structures de cactus comprennent des composants tels que la quercétine, le kaempférol, la bétalaïne, l'indoxanthine, la lutéoline, l'isorhamnétine et l'acide ascorbique (Stintzing, 2005 ; Feugang et al, 2006). Ces composés partagent tous un ou plusieurs cycles benzéniques avec un ou plusieurs groupes fonctionnels hydroxyle. Les composés phénoliques varient en structure des molécules simples (acides phénoliques) aux molécules les plus polymérisées (tanins condensés), et plus de 8000 structures phénoliques ont été identifiées. Les polyphénols peuvent constituer des signaux de reconnaissance entre plantes ou les rendre résistantes à diverses attaques d'organismes pathogènes. Ils interviennent très efficacement dans la tolérance des plantes aux différents stress, ces composés jouent donc un rôle important dans l'équilibre et l'adaptation des plantes au milieu naturel. Il existe différentes classes de polyphénols, notamment : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins et les lignanes, principalement présents dans les feuilles,

les fleurs et l'écorce du bois. Ces molécules jouent un rôle important dans la croissance des plantes et dans la lutte contre les agents pathogènes et les infections. La couleur des fruits, des fleurs et des feuilles est caractéristique de la sous-classe des flavonoïdes.

Les polyphénols ont des activités variées, telles que des activités antioxydantes, antivirales, anti-inflammatoires et anticancéreuses, Aujourd'hui, les propriétés antioxydantes ou anti-inflammatoires des polyphénols sont impliquées dans la prévention de diverses maladies, notamment le stress oxydatif et le vieillissement cellulaire, maladies cardiovasculaires ou dégénératives, ostéoporose. En plus de leurs bienfaits pour la santé, il a été récemment rapporté (**Bouaouine et al, 2018**) que certains polyphénols (lignine et tanins) du feuillage de cactus (OFI) peuvent agir comme coagulants dans le traitement des eaux usées. L'âge de la raquette, l'environnement, le type sol et le climat pourraient expliquer ces variations dans le contenu en polyphénols dans le cactus.

5. travaux antérieure

5.1. Données chimique

Plusieurs études ont montré que les cactus, en particulier leurs fruits, leur pulpe, leurs graines et leur écorce, sont riches en acides linoléique, oléique et palmitique (**Ennouri M. et Coll, 2005, Ramadan M.F. et Coll, 2003**). L'huile de graines de cactus contiendrait des niveaux élevés d'acide gras oméga-6 (acide linoléique) (53,5 % à 70,29 %). Ces quatre acides gras (acide palmitique (C16 :0), acide oléique (C18 :1), acide linoléique (C18 :2) et acide linoléique (C18 :3)) constituent plus de 90% des acides gras totaux (**Abidi S et Cole, 2009**).

L'huile de graines de cactus, comme la plupart des huiles végétales, est classée « polyinsaturée » (**Habibi Y, 2004**). L'huile de cette espèce est une huile fine et relativement inodore dont la couleur varie du jaune pâle au vert, selon la variété. Les travaux réalisés, montrent que Les acides gras insaturés sont les plus importants et représentent la majorité des acides gras (83.2%).l'acide linoléique était l'acide gras principal (56.6%), suivi de l'acide oléique (20.1%), Vient, ensuite, l'acide palmitique (11.18 %).

5.2. Données pharmacologiques

En plus d'être consommés comme aliment ou boisson, la plupart des parties du cactus sont utilisées comme médicament. Nous avons également découvert que la société **Nutreov** utilise le cladode comme produit amaigrissant. C'est un produit sous forme de comprimés qui réduit l'apport calorique, piège les graisses, absorbe le sucre et maintient une glycémie normale. Selon diverses études, les phyllodes ont différentes activités pharmacologiques, telles que :

A-Activité antimicrobienne

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*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis*. De plus, son extrait méthanolique était efficace contre le *Vibrio cholera*. En outre, les composés phénoliques ont démontré leur capacité à inhiber les enzymes en réagissant avec les groupes sulfhydryles des acides aminés.

B-Nettoyage du colon, Digestion, fonction hépatique

Le Nopal contient des fibres alimentaires "solubles" facilitant le transit intestinal, mais il contient également des fibres "non-solubles" c'est-à-dire "inassimilables", qui absorbent l'eau des déchets, accélérant en douceur le transit tout en régulant ses mouvements (**Schweizer, 1997**). Elles préviennent l'organisme de la constipation grâce à les vitamines A, B1, B2, B3 et C, présents naturellement dans le Nopal, ses sels minéraux (calcium, magnésium, etc.) et ses fibres.

C-Fortifiant

Chez les aztèques, les femmes enceintes consommaient le Nopal sous toutes ses formes car il était considéré comme le meilleur des fortifiants et un excellent galactogène, durant le temps de leur grossesse est lorsqu'elles allaitent leur enfant, il est une tradition bien établie chez les femmes de certaines tribus indiennes de boire du jus de figue ou, lorsque la saison de fructification est passée, une décoction de fleurs séchées ou de racines d'*Opuntia ficus indica*. (**Schweizer, 1997**).

D'importants groupes alimentaires élaborent du lait et des yaourts enrichis au Nopal destinés aux jeunes mères tandis que des laboratoires réputés préparent des comprimés de Nopal à partir d'extraits de plantes fraîches, que prescrivent avec succès de très grands thérapeutes (**Taleb et Hattab, 2015**).

D-Effet antidiabétique

De par sa richesse en fibres, le Nopal régule et ralentit l'assimilation des molécules de sucre dans l'estomac et les intestins, abaissant ainsi le taux de sucre dans le sang. Certaines enzymes qui font partie de sa structure chimique agissent comme l'insuline naturelle. Le bêta-carotène (vitamine A), la vitamine C et les vitamines B1, B2, B3 contenues dans les plantes se

sont avérées généralement efficaces pour lutter contre les effets secondaires dangereux de l'hyperglycémie : détérioration de la vision, des vaisseaux sanguins et du tissu nerveux (**Taleb et Hattab, 2015 ; Angulo-Bejarano et al, 2014**). Une étude in vivo chez des souris recevant de l'alloxane a démontré l'activité antidiabétique d'un traitement avec de l'huile extraite de cactus à une concentration (2ml/kg) (**Berraouan A. et al, 2015**).

E-Effets antihypercholestérolémique et Hyperlipidémie

En raison de sa teneur élevée en fibres et en gomme, le Nopal est connu pour son effet bénéfique d'interception des graisses dans l'estomac et les intestins, réduisant ainsi les taux de cholestérol sanguin et de lipides à des proportions normales. Il aide à prévenir les problèmes cardiaques en régulant la tension artérielle. D'autres recherches sur la niacine (vitamine du groupe B3), présente dans le Nopal ont démontré qu'elle a pour effet de transformer le mauvais cholestérol (LDL) en bon cholestérol (HDL) (**Taleb et Hattab, 2015**).

F-Effet sur les os

Des études montrent qu'en raison de sa haute teneur en calcium et magnésium, les cladodes peuvent aider à augmenter la densité osseuse (**Kang et al, 2012**).

6. conclusion

Le grand nombre de nutriments potentiellement actifs et leurs propriétés multifonctionnelles font des fruits et des cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia*) des candidats parfaits pour la production d'aliments et de compléments alimentaires favorables à la santé. Bien que traditionnellement appréciée pour ses propriétés pharmacologiques par les Amérindiens, la figue de Barbarie est encore peu reconnue faute d'informations scientifiques suffisantes. Cependant, des études récentes sur *Opuntia* ont démontré que les fruits du figuier de Barbarie et les cladodes végétatifs sont d'excellents candidats pour le développement d'une alimentation saine. Par conséquent, ce chapitre résume les connaissances actuelles sur la composition chimique des cactus *Opuntia* avec un accent particulier sur son utilisation comme aliment et médicament.

Chapitre III

Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

1. introduction

Les cladodes sont des tiges modifiées aplaties avec une forme allongée ou ovoïde caractéristique ; ils sont capables d'exercer la photosynthèse. Les jeunes cladodes tendres, appelés nopalitos, sont consommés comme légumes frais ; ils sont aussi utilisés comme ingrédient dans une large gamme de plats, incluant des sauces, des salades, des soupes, des snacks, des saumures, des boissons, des confiseries et des desserts (**Sáenz et al, 2002**). Le composant principal des cladodes est constitué par les polymères contenant des glucides, dont un mélange de mucilage et de pectine. La composition chimique des jeunes cladodes frais est rapportée par **Saenz et al.2002** :

- 91% d'humidité (poids frais [Pf])
- 4.5% de glucides totaux
- 1.5% de protéines (Poids sec [PS])
- 0.2% de lipides (Ps)
- 1.3% de cendres (Ps), dont 90% de calcium.

En plus de la consommation directe des rameaux tendres, les cladodes matures sont broyés pour en faire de la farine et d'autres produits. La farine de nopal est une source riche en fibres alimentaires, atteignant jusqu'à 43% du poids sec(Ps) (**Sáenz et al. 2002**). Elle peut être utilisée pour renforcer les recettes contenant de la farine provenant d'autres sources. Et dans le domaine cosmétique, L'huile essentielle contenue dans les graines du fruit du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, en stérols et en vitamines, Les pouvoirs de cette huile dépasseraient ceux de l'huile d'argan.

Le cactus est cultivé comme espèce fourragère dans le but d'assurer un stock alimentaire pour le bétail dans le cas d'une situation critique de sécheresse vu la richesse du cladode en eau (**Pimienta-Barrios, 1994**). Concernant le fruit, la principale importance nutritionnelle de la figue de barbarie est sa richesse en acide ascorbique, en fibres et en acides aminés (**Piga et al, 2003**). Comme elle contient aussi un pourcentage élevé de pectines et de fibres (**Saleem et al, 2006**). En Algérie, l'incorporation de cladodes OFI dans la nourriture des brebis (ovins) à Tiaret, a satisfait leurs besoins énergétiques, leurs utilisations comme complément alimentaire étaient donc recommandées dans les zones sèches (**Louacini et al, 2012**).

Le potentiel des cladodes en tant qu'ingrédient bénéfique dans les aliments fonctionnels reste l'un des domaines de recherche et d'innovation les plus importants et mérite une enquête

plus approfondie. La poudre de mucilage et de cladode peut être considérée comme un ingrédient de substitution fonctionnel très utile et des produits viables.

2. Cladodes du cactus comme légume

Les nopalitos sont un légume vert frais traditionnel dans l'alimentation mexicaine depuis des siècles, et les Mexicains les ont utilisés et préparés de diverses manières au fil des ans, mais ils sont moins populaires et moins disponibles dans les pays occidentaux. Dans l'Afrique du Nord, contrairement à l'Amérique latine (Mexique), on ne trouve pas des cladodes sur le marché. Les nopalitos (tiges tendres) ont un potentiel considérable en tant que légume avec une bonne teneur en fibres. Les jeunes branches et les feuilles sont consommées comme légumes car elles sont molles et fibreuses. Leur valeur nutritionnelle est similaire à celle de nombreux légumes verts à feuilles tels que la laitue et les épinards (**Mohammed yasseen et al, 1996, saenz et al, 2002**). Ils sont riches en eau, en glucides, en protéines, en vitamine C et en bêta-carotène, un précurseur de la vitamine A. Ils sont considérés comme un légume traditionnel depuis des siècles. Elles sont considérées comme un légume traditionnel depuis des siècles. Elles sont consommées à l'état frais ou après cuisson en tant que légume vert. Les tiges de cactus peuvent être consommées comme légume frais ou cuit et ressemblent à des haricots verts en saveur. En fait, les coussinets tendres de figue de Barbarie sont un ingrédient dans une variété de plats, y compris les sauces, les salades, les soupes, les ragoûts, les collations, les boissons et les desserts. En revanche, les habitants du Sahara Algérien préparent depuis les anciens temps le plat traditionnel national (couscous) en utilisant les raquettes comme légume. Les habitants de la région du M'Zab, utilisent les raquettes comme légume additionné à d'autres légumes et viande de chameau ou d'agneau pour préparer les plats de couscous. Ils sont recommandés pour les diabètes à diabétisme indépendant de l'insuline car leur apport améliore le contrôle glycémique et réduit le taux de cholestérol sanguin chez ces patients (**Arba, 2009**). Alors que les cladodes étaient traditionnellement utilisées comme substitut de viande pendant le jeûne, elles sont aujourd'hui consommées avec des repas similaires aux haricots verts.

Il serait très utile d'introduire de nouveaux produits fabriqués commercialement dans de nombreux autres pays pour stimuler la consommation de ce légume, qui est une excellente source naturelle de fibres alimentaires et de minéraux.



Figure 20 : Cladode d'opuntia comme salade. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Figuier_de_Barbarie)
(<https://www.ducros.com/fr-fr/recettes/legumes/ensalada-de-nopales-salade-de-cactus>)



Figure 21 : Couscous avec cladode et jeunes fruit (source :
https://twitter.com/medea_medea26/status/1200719408622186496)

3. Jus et nectars de cladode

La pulpe de la figue de barbarie sert de base juteuse, parfumée et sucrée pour l'industrie agroalimentaire, notamment dans la réalisation de confitures, de jus et de sorbets. Le jus de la tuna est obtenue du fruit sans adjonction d'eau ni de sucre, donne une délicieuse boisson qu'il faut boire fraîche, le plus rapidement possible après sa production.

Le jus de cladodes est produit au Mexique par plusieurs entreprises et des jus mixtes sont aussi fabriqués en combinant des cladodes avec de l'orange, de l'ananas, de la goyave...etc.

Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

Les jus sont disponibles sur le marché local et pour l'exportation. Le jus des feuilles de poire de cactus est extrait par broyage et pressage. Cela consiste à fraiser des cladodes après avoir enlevé les épines et haché les feuilles dans un mélangeur industriel ou à la maison. L'eau est ajoutée pour faciliter le processus et le liquide résultant est filtré pour séparer les solides en suspension.

Selon les travaux de docteur **Amel Boutakiout** dans sa thèse « Etude physicochimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*) » Très efficace pour drainer le foie, stimuler le pancréas, réguler le transit intestinal, avoir une meilleure digestion, et les composés extraits ont montré un certain nombre d'actions pharmacologiques, antioxydant, anti-inflammatoire, propriétés antivirales, analgésique, antiulcérogène, antidiabétique, anti-cholestérol , ou encore purifier la peau. Le jus de raquette rénove les cellules, et C'est un coupe-faim naturel.

Les nectars peuvent être produits à partir de la figue de Barbarie uniquement ou en la mélangeant avec d'autres fruits. Cependant dans leur préparation, on ajoute du sirop de saccharose ou du sirop de maïs. On utilise également moins de fruits et on incorpore des additifs, et ont utilisé le jus de figue de Barbarie vert comme matière première pour la préparation du nectar.



Figure 22 : Jus et nectars de cladode (source : https://www.gastronomiac.com/glossaire_des_produits/nopal/)

4. Confiture

La confiture est l'un des produits les plus connus et les plus populaires de son genre dans le monde. Il est facile à préparer, disponible en différents types et fabriqué à partir d'une grande variété de fruits. La confiture de la figue de barbarie est produite à l'échelle industrielle au Mexique, aux États-Unis, en Italie et en Argentine. Confiture de la figue de barbarie, a fabriqué avec et sans blanchiment des fruits. Avec l'ajoute des arômes tels que les clous de girofle, l'extrait de pamplemousse, l'extrait d'amande ont donné de meilleurs résultats que d'autres saveurs. Il est aussi possible de produire une confiture avec des cladodes, du sucre et de l'acide citrique.

La confiture de Nopal représente une nouvelle alternative pour transformer les cladodes, et peut être consommée avec des crackers et des produits de boulangerie, ou servie avec d'autres plats.



Figure 23 : Confiture de barbarie. (Source : <https://world-fr.openfoodfacts.org/produit/6111259240056/confiture-de-figes-de-barbarie> , <https://cuisine.nessma.tv/fr/recette/379/cuisine-tunisienne/patisserie/confiture-de-figes-de-barbarie>)

5. Colorant

Les colorants naturels d'origine végétale attirent de plus en plus l'attention des fabricants de produits alimentaires et des consommateurs en tant qu'alternative aux colorants synthétiques. La couleur du cactus est due à la Bétalaine et aux pigments azotés rouges ou jaunes. Ces pigments peuvent être extraits et utilisés comme additifs dans les domaines de la préparation alimentaire, pharmaceutique et cosmétique. Dans l'industrie agro-alimentaire, la betterave est la seule source de Bétalaine, qui peut être utilisée pour obtenir un colorant alimentaire naturel, résultant en une variété de couleurs rouge-violet. Il est très intéressant d'utiliser le cactus comme source de Bétalaine, ceux-ci sont fortement parfumés et montrent des propriétés nutritives meilleures que les racines de betterave rouge.

Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

Les deux colorants extraits à partir de la figue de barbarie sont le carmin et la bétalaine :

Carmin : est un colorant naturel du carmin (acide carminique). Actuellement, il est à nouveau recherché par les industries alimentaires et cosmétiques en raison de ses propriétés biochimiques. Il est cultivé par les insectes hôtes des cactus, les cochenilles *Dactylopius coccus* et *Dactylopius opuntiae*. Les cochenilles sont récoltées sur des cactus et séchées à l'air pour obtenir une matière première appelée Grana.

Bétalaine : La bétalaine se trouve dans les fruits de cactus rouges ou violets et est principalement utilisée comme colorant dans les aliments qui ne nécessitent pas de traitement thermique, tels que la crème glacée, le yaourt, les bonbons, les desserts, les sirops et les sauces. Ces colorants dérivés de légumes et de fruits apportent des substances supplémentaires nécessaires pour augmenter la valeur nutritionnelle des produits apparentés. Son utilisation est autorisée par la plupart des régulateurs du secteur alimentaire dans le monde, y compris la Food and Drug Administration (FDA) des États Unis et l'Union européenne (UE). Il est commercialisé sous le code E120.



6. Utilisation en Industrie agroalimentaire

La farine de graine d'*Opuntia ficus indica* contient 16.5 % de protéines et 48 % de fibres cette farine est utilisée en agroalimentaire grâce à sa haute valeur nutritive. Cette farine est maintenant testée dans des aliments tels que les soupes de légumes et les desserts gélifiés. Il a été signalé que la poudre de cladode était incorporée individuellement dans des produits de

boulangerie en remplacement partiel de la farine de blé, pour la fabrication de pain et de biscuits.

6.1. Élaboration du pain enrichie par la poudre de cladode

Le pain joue un rôle très important dans la tradition alimentaire méditerranéenne, étant depuis longtemps un élément essentiel de l'alimentation. De nos jours, les consommateurs sont plus attentifs à la consommation d'« aliments sains ». Pour cette raison, le secteur de la boulangerie a commencé à développer une large gamme de produits de boulangerie enrichis d'ingrédients bioactifs, tels que des fibres alimentaires, des antioxydants et des composés phénoliques.

Compte tenu de la demande actuelle des consommateurs, les cladodes de figue de barbarie qui étaient traditionnellement utilisées comme aliment de valeur ont été étudiées pour leur utilisation dans la production de pain afin d'améliorer sa fonctionnalité. Le remplacement partiel de la farine de blé par la poudre de Cladode (de 0 % à 10 %) a entraîné des modifications marquées des propriétés de la pâte et de la qualité du pain à base de pâte (**Mossadeq et al, 2017**). Le pain enrichi en poudre de cladode (5 %) augmentait la teneur totale en acide phénolique et en antioxydants et avait des attributs sensoriels acceptables, ce qui en faisait un produit alimentaire fonctionnel stable, durable et potentiellement commercialement viable (**Liguori et al, 2020**).

Plus les feuilles-raquettes, En Amérique, les graines sont moulues pour fabriquer une farine servant à la confection d'un genre de pain.

6.2. Élaboration des biscuits

Les tiges d'*Opuntia ficus-indica* connues sous le nom de cladodes sont une riche source de substances bioactives et fonctionnelles, ce qui en fait un candidat important pour la production d'aliments favorables à la santé. La poudre de cladodes a été incorporée à différents niveaux de substitution (2,5 %, 5 % et 7,5 %) dans les biscuits (beurre/farine de blé). La substitution de la farine de blé par la poudre de cladodes a amélioré la teneur en fibres alimentaires, en cendres, en potassium, en magnésium et en calcium des biscuits enrichis. Les résultats ont également révélé que la supplémentation en cladodes augmentait la dureté. De plus, l'augmentation des niveaux de poudre de cladodes contribue à l'augmentation de l'activité antioxydant des biscuits et à la diminution de leur dégradation oxydative. L'évaluation sensorielle a montré que la supplémentation en cladodes au niveau de 5 % restait acceptable. La présente étude a suggéré que la supplémentation en cladodes dans les biscuits riches en

Matières grasses ajoutait non seulement une valeur nutritionnelle aux aliments, mais améliorait également ses caractéristiques fonctionnelles. L'évaluation sensorielle a montré que le niveau de substitution (jusqu'à 25%) est idéal pour préparer un bio-biscuit acceptable. La farine de cladode pourrait être très utile pour l'industrie alimentaire en tant que source de composés bioactifs à potentiel technologique et aux propriétés nutritionnelles et antioxydants, car la fortification des farines de blé par les poudres de cladodes comme source de fibres alimentaires entraîne une modification des propriétés de la pâte.

6.3. Effet de l'enrichissement par les cladodes sur la qualité du pain et biscuits

La poudre de cladodes est riche en fibres qui sont responsables de ses propriétés texturales. Par conséquent, la présence de fibres dans la farine de blé à la suite de son enrichissement par la poudre de cladodes pourrait influencer fortement les caractéristiques rhéologiques de la pâte résultante ainsi que les propriétés physiques du produit de panification. Les caractéristiques sensorielles et qualitatives du pain n'ont pas été affectées à de faibles niveaux allant jusqu'à 6 % de supplémentation, mais à plus de 6 % de supplémentation en farine le pain est devenu inacceptable. Aux niveaux de substitution élevés, l'énergie d'étirement et de déformation a diminué, ce qui indique que le niveau élevé de substitution affecte négativement le développement de la pâte. La couleur du pain est également un paramètre important agissant sur son acceptabilité. La poudre de cladodes, a donné une couleur verdâtre caractéristique des pains, Ceci pourrait s'expliquer principalement par la richesse de la poudre de cladodes en chlorophylle et en d'autres pigments. En conséquence, la substitution de la farine de blé par la poudre de cladodes et l'augmentation de l'absorption de la pâte sont efficaces pour augmenter le rendement du pain, ce qui est important compte tenu de l'aspect économique.

7. Production de fourrage pour le bétail

Les cactus ont une longue histoire d'alimentation du bétail dans les régions arides, où la production est plus rentable que certaines autres variétés fourragères telles que le maïs et le sorgho. Dans l'industrie de l'élevage, le coût des aliments est en tête de liste des dépenses. Le cactus, plus précisément sa raquette, constitue une banque fourragère disponible toute l'année, et en situation critique de sécheresse, il constitue une réserve alimentaire pour le bétail. Les raquettes cactus sont appréciées des éleveurs car elles sont riches en eau, fibres, protéines et minéraux (Nefzaoui et Ben Salem, 2000 ; Le Houerou, 2002).

Leur consommation améliore le goût du lait et la couleur du beurre. Les pousses sont déshydratées avant de les donner au bétail pour éviter la diarrhée chez les animaux en mangeant

Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

les pousses imbibées d'eau, et les raquettes des espèces épineuses sont d'abord dépouillées de leurs épines (Arba, 2009). D'autre part, la faible teneur en phénols et en tanins des pousses facilite la digestion et améliore le rendement en viande (Stintzing et al, 2005). Cet aliment est pauvre en protéines et en lipides, a un rapport calcium/phosphore élevé et est riche en eau, en glucides et en vitamines. En Algérie l'utilisation des cladodes comme aliment supplément ont été recommandées dans les zones sèches. Les expériences ont été menées sur 16 brebis de race croisée, réparties en 4 groupes qui ont été comparés : Régime 1 (témoin) paille d'orge + grain d'orge. Régime 2 : (Paille + Opuntia), Régime 3 : (Paille + Opuntia + haricots). Régime 4 : (Opuntia), les régimes 2, 3 et 4 ont permis de réduire le taux des triglycérides. L'incorporation des cladodes d'Opuntia dans l'alimentation de brebis a satisfait leurs besoins énergétiques, et a montré un effet régulateur sur la glycémie et l'hypolipidémie selon le travail de Louacini et al, 2012 de l'université de Tiaret.



Figure 25 : Les cladodes d'opuntia comme un fourrage pour le bétail. (source : <https://madagascar.cirad.fr/actualites/valorisation-du-cactus-rouge-par-les-ruminants>).

8. Production d'emballage en industries agroalimentaires

Les déchets agro-industriels sont biodégradables et respectueux de l'environnement, ce qui en fait une ressource durable pour la production de films comestibles. (Ayquipa-cuellar et al, 2020) fabriqué des Films comestibles à base d'écorce de figue de barbarie et de fécule de pomme de terre comme sous-produit industriel.

9. Autres produits alimentaires

Les cladodes sont une riche source de substances bioactives et fonctionnelles qui en font des candidats importants pour la production d'aliments sains. En Algérie, les entreprises « Thafath », « Romais », et la coopérative « NOPALTEC ALGERIE », localisées successivement à Ouadhias (Tizi-Ouzou), El-Kseur (Bejaia), et Sidi-Fredj (Souk Ahras), sont spécialisées dans la transformation du figuier de Barbarie en produits agro-alimentaires et cosmétiques. La société ROMAIS produit à partir des fruits du figuier de Barbarie du jus du vinaigre, de la confiture, de l'huile et de la pâte de figues de Barbarie, L'activité de l'entreprise Thafath va de la collecte des figues de Barbarie jusqu'à la commercialisation de l'huile des graines, et La coopérative NOPALTEC est une coopérative agricole privée spécialisée dans la production, la transformation du figuier de Barbarie et le conditionnement des produits dérivés. Elle a pour objectif la production de confiture à partir des cladodes, les marinades, el Halkouma, crème dermique et huile des graines.

Avec les cladode nous pouvons produit plusieurs des produit utilisable dans le monde alimentaire comme :

9.1. Vinaigre d'opuntia

Riche, gourmand et fruité, ce délicieux vinaigre, au goût légèrement acide et très raffiné, possède de nombreuses vertus nutritionnelles et cosmétiques, Le traitement de la matière première passe par les étapes d'enzymolyse, d'ajout de sucre, de fermentation alcoolique, de fermentation acétique, de filtration, d'homogénéisation, de stérilisation et enfin, de mise en conserve. En plus des propriétés amaigrissantes, antioxydants et cicatrisantes des cactus et de leurs fruits, ce vinaigre stimule la flore intestinale, améliore la digestion et renforce les défenses naturelles. Plusieurs couleurs de vinaigres peuvent être obtenues et ce selon la couleur du fruit traité.



Figure 26 : Marques de vinaigre de figues de Barbarie. (Source : <https://www.greenvillage.ma/produit/nopalex-vinaigre-de-figue-de-barbarie-250ml/>)

9.2. Eau de cactus

Un autre produit est vendu sur le marché mexicain est (l'eau de Nopal), C'est une boisson obtenue en mélangeant le concentré de figue de Barbarie avec de l'eau. Elle ne contient que 20% de jus de FDB. Cette boisson est naturellement pauvre en calories et en sucre et riche en nutriments et en antioxydants bénéfiques pour la santé.



Figure 27 : L'eau de Nopal (source : <https://www.grazia.fr/beaute/soins-visage-corps/zoom-sur-leau-de-cactus-le-nouveau-hit-beaute-pour-une-peau-hydratee-129403.html#item=4>)

10. Purée de figues de barbarie

Les figues de barbarie sont et traitées avec 10 sucres. Son goût unique et exotique rappelle un mélange de melon et de figue. La fabrication de la purée de figues de Barbarie consiste à laver et à peler manuellement les fruits, à tamiser les graines et à congeler la purée en sachet dans une température de -30 °C. Le produit doit être stocké et transporté dans une température de -18 °C. La purée de figue de Barbarie est idéale pour préparer des cocktails, des desserts, des gelées, et il est utilisé pour les glaçages, les bonbons et les mousses.



Figure 28 : Purée de figues de barbarie. (Source : <https://satoriz.fr/cuisine/creme-de-figue-de-barbarie-a-tartiner/> / <https://www.gourmet-versand.com/fr/article6131/puree-figue-de-barbarie-au-sucre-ponthier-1-kg.html>)

11. Gelée de figues de Barbarie

La gelée de cactus est obtenue en faisant bouillir le jus avec du sucre, de la pectine et de l'acide citrique pour assurer une gélification adéquate. En effet, bien que la pectine soit présente en très faible quantité dans la pulpe, il est en partie responsable de la viscosité et constitue un ingrédient utile dans la fabrication des gelées.



Figure 29 : Quelques Marques de gelées de figue de Barbarie. (Source : <https://www.amazon.com/Cheris-Prickly-Pear-Cactus-Jelly/dp/B000BHH3M0>)

12. Arômes de figues de Barbarie

L'arôme de cactus est un concentré principalement utilisé dans l'industrie alimentaire. Les dérivés sont vendus sous forme liquide ou en poudre.



Figure 31 : Arômes de figues de Barbarie. (source : <https://www.vapotestyle.fr/aromes-flavor-west/443-arome-prickly-pear-fw.html>)

13. Feuilles de cactus en lamelles conservé

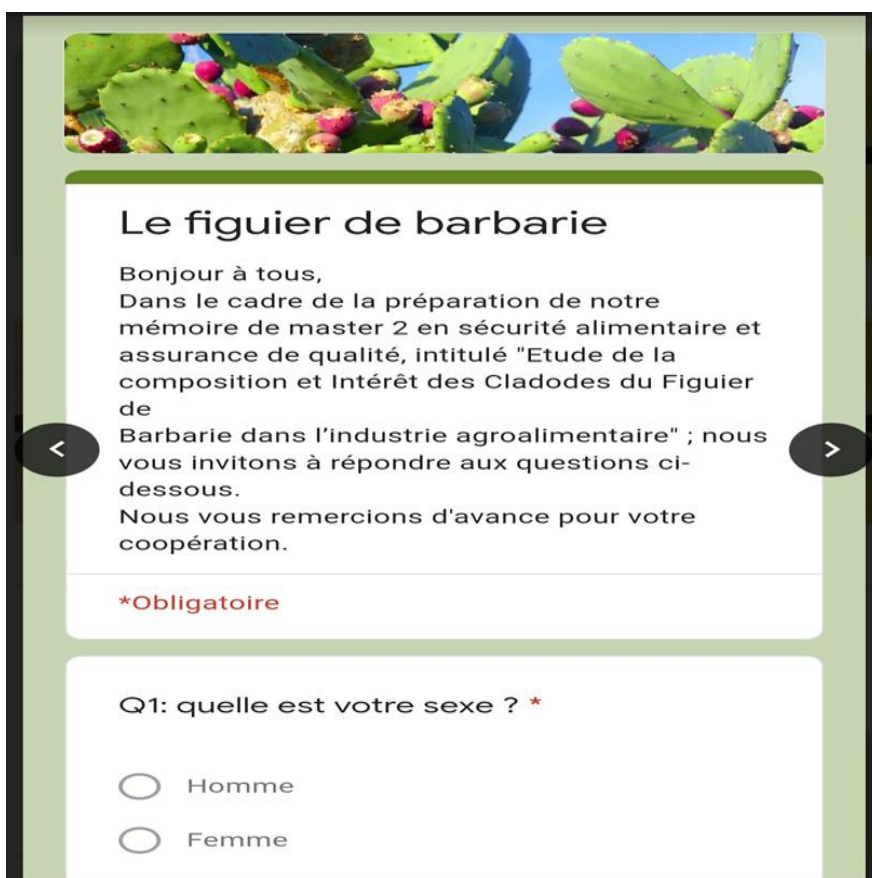
Pour joindre les deux bouts, les indigènes du Mexique se tournent non seulement vers les fruits, mais aussi vers les jeunes raquettes, qui sont consommées comme légumes car elles sont tendres et riches en fibres. Appelées « Napolitos » au Mexique, ces jeunes pousses sont considérées depuis des siècles comme un légume traditionnel (Boutakiout, 2017). Autrefois la nourriture des pauvres, le nopal se retrouve désormais sur les tables les plus raffinées. Au Mexique, les gourmets l'ont retrouvée sur les cartes des meilleurs restaurants (Schweizer, 1997). Nopalitos au thon ; il s'agit d'une salade appelée "Azteca" qui contient du thon, des haricots, des cladodes et du piment ou du jalapeño. Ce produit est vendu en canettes.



Figure 32 : Feuilles de cactus en lamelles conservé. (source : <https://www.despensamexicana.es/en/Nopales-%28cactus%29-in-strips-in-a-solution-of-salt-and-water-%28natural%29-1kg-a7014.html>)

14. Enquête sur l'utilisation de figuier de barbarie comme aliment

Notre travail comprend la création d'un questionnaire via Google Forms. Nous avons posé quatorze questions dans notre thème « Etude de la composition et Intérêt des Cladodes du Fiquier de Barbarie dans l'industrie agroalimentaire ». Pour faciliter notre enquête, nous avons convertis le modèle sélectionné en version électronique et les résultats obtenus sont présentés à la fin sous forme graphique. Nous avons donc pu recueillir cent soixante réponses de différentes catégories d'âge.



The image shows a screenshot of a Google Form titled "Le figuier de barbarie". At the top, there is a photograph of a cholla cactus with green pads and small pink and purple flowers. Below the photo, the title "Le figuier de barbarie" is displayed in a bold, black font. The main text of the form reads: "Bonjour à tous, Dans le cadre de la préparation de notre mémoire de master 2 en sécurité alimentaire et assurance de qualité, intitulé 'Etude de la composition et Intérêt des Cladodes du Fiquier de Barbarie dans l'industrie agroalimentaire' ; nous vous invitons à répondre aux questions ci-dessous. Nous vous remercions d'avance pour votre coopération." Below this text, there is a red asterisk followed by the word "Obligatoire". The first question is "Q1: quelle est votre sexe ? *", with two radio button options: "Homme" and "Femme". The form has a light green background and navigation arrows on the sides.

Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

Q2 : Quel âge avez-vous ? *

- entre 18 et 25
- entre 25 et 35
- entre 35 et 60

Q3 : quelle est votre catégorie socioprofessionnelle ? *

- étudiant
- employé
- retraité
- sans emploi

Q4: Saviez-vous ce que c'est le figuier de barbarie ou l'Opuntia ficus-indica ? *

Q4: Saviez-vous ce que c'est le figuier de barbarie ou l'Opuntia ficus-indica ? *



- oui
- Non

Q5: Saviez-vous que le figuier de barbarie est une excellente source de vitamine C ? *

- oui
- non

Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment

Q6 : Saviez-vous que le Nopal facilite le transit intestinal et que c'est un luttant contre la constipation ? *

- oui
- Non

Q7: Saviez-vous que le Nopal est un fruit désaltérant qui contienne de 88% d'eau ? *

- oui
- non

Q8: Saviez-vous que le Nopal est un fruit polyvalent utilisé dans le domaine alimentaire, cosmétique et

alimentaire, cosmétique et environnementale ?

- oui
- Non

Q9 : Saviez-vous que le gel contenu dans les raquettes de figuier de barbarie est un anti-âge naturel ? *



- oui
- Non

Q10: Saviez-vous que Les pouvoirs d'huile de figuier de barbarie dépasseraient ceux de l'huile d'argan ? *



- oui
- Non

Q11: Saviez-vous que les cladodes de barbarie constitue une réserve alimentaire pour le bétail et Leur consommation améliore le goût du lait, le rendement en viande et la couleur du beurre? *


- oui
- Non

Q12: Saviez-vous qu'il est très intéressant d'utiliser le cactus comme source de Bétalaine (colorant rouge), sous le code E120? *



Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment


Q13 : Saviez-vous qu'on peut préparer différents plats avec le cladode de Barbarie ? *



oui

Non

Q14 : Saviez-vous que le jus et le nectar de figuier de barbarie sont des produits existants sur le marché de plusieurs pays ? *



oui

Non

Figure 33 : Formulaire d'enquête.

14. 1. Résultats

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de diagrammes et de pourcentages.



Figure 34 : Nombre de participants selon le sexe.

Les participants sont constitués de 116 femmes qui représentent (72.5%) et 44 hommes qui représentent (27.5%)

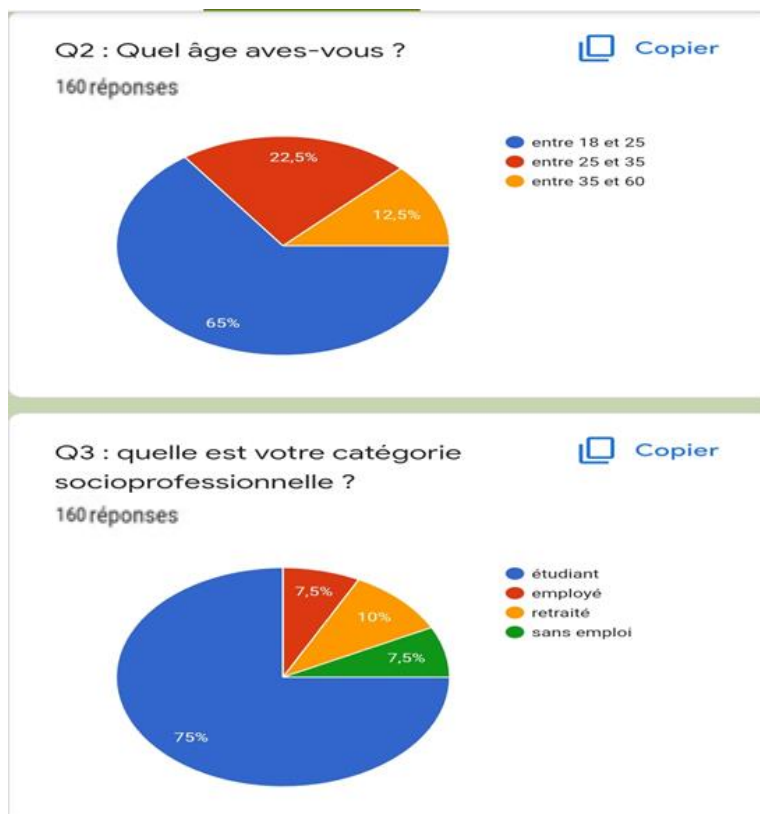


Figure 35 : Nombre de la population selon les catégories d'âge et socioprofessionnelle.

L'âge des participants varie de 18 à plus de 60 ans c'est à dire différentes catégories sociales (étudiants, employés, sans emploi, retraités).

La catégorie la plus répandue dans les participants est la catégorie entre 18 et 25 (la catégorie des étudiants).

Q4: Saviez-vous ce que c'est le figuier de barbarie ou l'Opuntia ficus-indica ?

 Copier

160 réponses

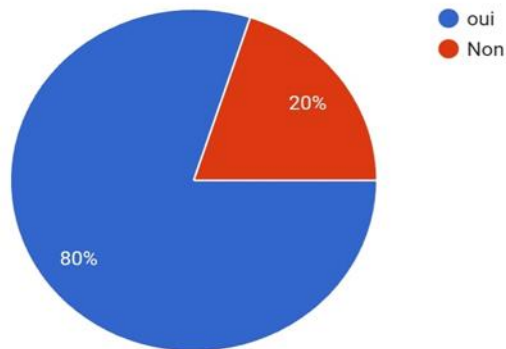


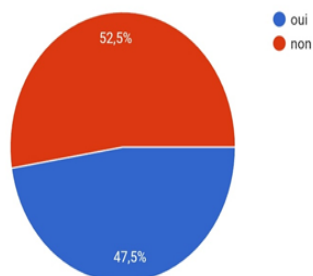
Figure 36 : Pourcentage des participants qui connaissant le figuier de barbarie.

Nous remarquons que 80% connaissent le figuier de barbarie, tandis que 20% n'ont aucune idée.

Q5: Saviez-vous que le figuier de barbarie est une excellente source de vitamine C ?

 Copier

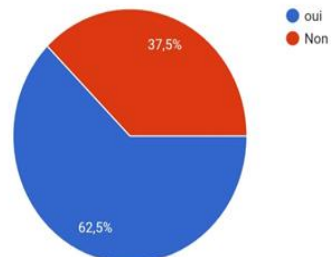
160 réponses



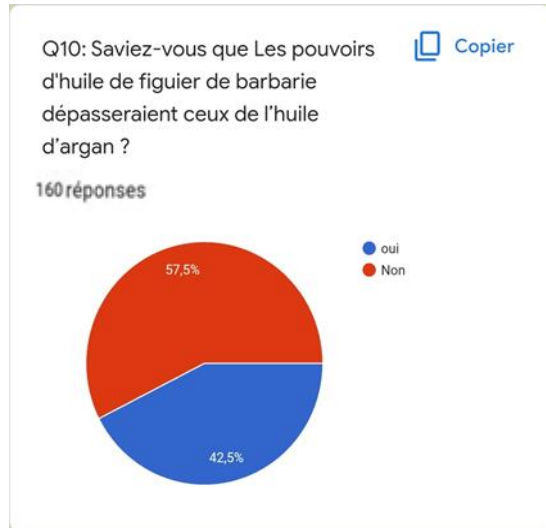
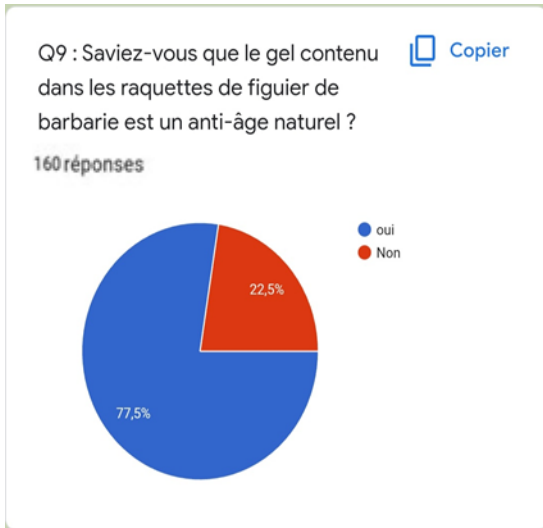
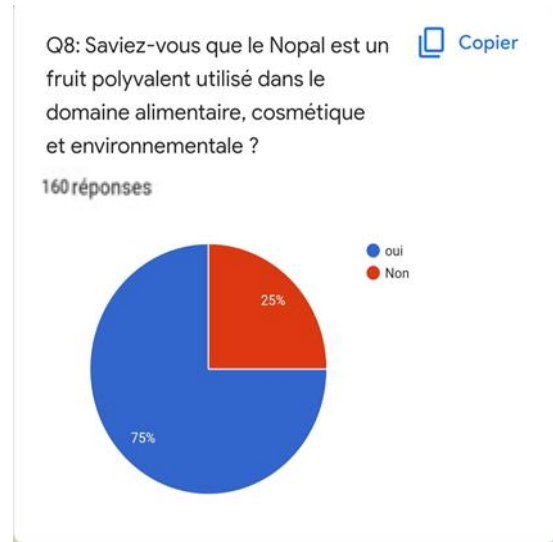
Q6 : Saviez-vous que le Nopal facilite le transit intestinal et que c'est un luttant contre la constipation ?

 Copier

160 réponses



Chapitre III : Utilisation du figuier de Barbarie comme aliment



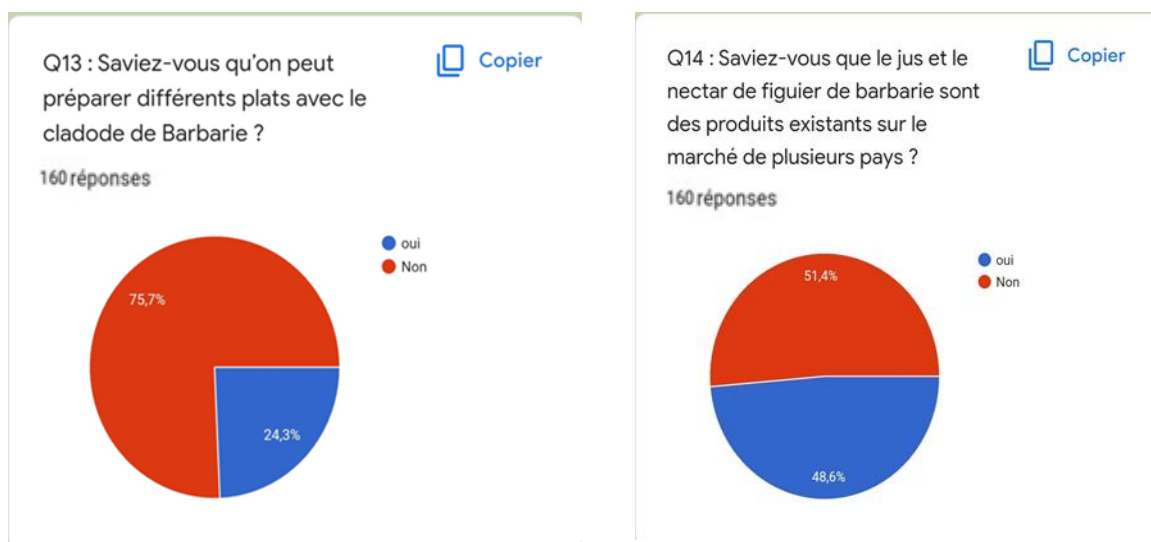


Figure 37 : Pourcentage des participants qui connaissent les bienfaits et les utilisations de figuier de barbarie.

On remarque que la majorité (53.17%) des participants qui connaissent les bienfaits et les utilisations, Tandis que (46.83%) n'ont aucune idée.

14. 2. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus de notre petite enquête sur le figuier de barbarie, nous remarquons qu'un bon nombre de personnes connaissent la plante mais malheureusement, ils pensent que juste le fruit est comestible comme un simple dessert.

Tout ce qu'ils savent aussi sur le bienfait de la plante est juste son pouvoir luttant contre la constipation, ou son mucilage utilisé comme un anti-âge naturel, tout en ignorant que son pouvoir anti-âge peut dépasser celui de l'huile d'argan.

Une grande majorité ignore que les cladodes de barbarie constituent une réserve alimentaire pour le bétail et leur consommation améliore le goût du lait, le rendement en viande et la couleur du beurre, ceci peut être très bénéfique pour l'agronomie algérienne du point de vue qualité et économie.

Un bon pourcentage de gens aussi savent que des produits à base de figuier de Barbarie sont présents sur le marché d'un grand nombre de pays, même ceux où la plante ne peut pas être cultivée, suite au climat non adéquat ; et ils souhaitent voir ces produits présents sur le

marché algérien. Ceci est un bon encouragement aux industriels et aux agronomes pour investir dans cette plante.

Tandis aux différents plats préparés avec les cladodes de Barbarie, c'est une information nouvelle pour la plupart et ils pensent à essayer de les préparer pour une alimentation riche et saine.

15. Conclusion

Parce que les cactus sont capables de s'adapter aux conditions climatiques les plus rudes, ils peuvent être utilisés pour l'alimentation humaine et animale. La plante a d'importants avantages environnementaux et socio-économiques. D'un point de vue environnemental, il lutte contre l'érosion et la régénération des sols. D'un point de vue économique, il génère des revenus substantiels. En fait, rien ne peut être jeté dans le cactus, au contraire, tous ses compartiments (racines, fruits, raquettes et fleurs) peuvent être transformés en divers produits à haute valeur ajoutée, tant de pays le valorisent.

Notre enquête sur le figuier de barbarie nous a permis de dire que cette magnifique plante qui pousse facilement dans notre pays n'a pas pris sa vraie valeur et il serait intéressant d'investir dans sa culture et la production de ses dérivés.

Conclusion générale

Dans le cadre de la valorisation du figuier de Barbarie, nous nous sommes intéressées dans ce travail à cette plante qui a été trop longtemps négligée dans notre pays, surtout dans le domaine alimentaire.

Plusieurs auteurs décrivent cet arbuste comme magique, des racines aux épines. Les fruits, de feuilles ou de fleurs de cactus sont souvent utilisées en médecine traditionnelle, elles peuvent être utilisées comme aliments fonctionnels pour prévenir l'oxydation et avoir des avantages à long terme pour le corps humain.

En fait, le cactus n'a rien à jeter, au contraire, tous ses compartiments (racines, fruits, raquettes et fleurs) peuvent être transformés en divers produits de grande valeur.

Le carmin est pratiquement ignorée en Algérie, mais cette source de richesse a une réelle valeur ajoutée et peut constituer une niche d'investissement à elle seule. Bien que les fruits et les tiges de cactus soient traditionnellement utilisés à des fins médicinales et cosmétiques, comme fourrage, matériaux de construction, colorants naturels ou pour purifier les eaux usées (telles que les frondes), leur utilisation est principalement limitée à la consommation de fruits frais dans notre pays .

L'utilisation de la plante en tant qu'ingrédient bénéfique dans les aliments fonctionnels reste l'un des domaines de recherche et d'innovation les plus importants. La poudre de mucilage et de cladode peut être considérée comme un ingrédient de substitution fonctionnel très utile et des produits viables.

Pour un pays comme l'Algérie, au climat diversifié, le figuier de barbarie est l'exemple typique d'espèce parfaitement acclimatable. Sa culture est peu exigeante en investissements et le revenu qu'elle peut générer est important. Il peut être utilisé dans un grand nombre de domaines dans notre pays. Sa culture et sa présence dans l'industrie agroalimentaire est une affaire bon marché à l'investisseur et au producteur agronome ou industriel, en plus des bienfaits environnementaux et économique du pays.

Il serait aussi toujours intéressant d'accorder plus d'importance au figuier de Barbarie, afin d'exploiter au mieux les bienfaits dont il regorge.

Références

A

A dominguez-lopez. (1996). Universidad Autonoma del Estado de Mexico Facultad de Ciencias Agrícolas. Le figuier de Barbarie • une source industrielle de bétalaines ?

Ali Berraaouan, Ziyat Abderrahim, MekhfiHassane, Legssyer Abdelkhaleq, Aziz Mohammed, Bnouham Mohamed. (2015). Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice.

Angulo-Bejarano, P., Martínez-Cruz, O., Paredes-López, O. (2014). Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*.

Anonyme, 1998. La culture du cactus ; situation actuelle et perspectives de son développement. MADRPM_DPV_Rebat.

Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbehri, L., Boubkraoui, A., Ait Hamou, A., Zemmouri, A., Sbaa, H. (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. Bulletin du PNTTA n° 68, Mai. Rabat, Maroc. Disponible sur : <https://www.agrimaroc.net/2018/06/17/valorisation-du-figuier-de-barbarie-en-elevage/>

Arba M. (2009). Le cactus *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc.

A. Mazari, A. Mahdeb. (2021). Importance nutritionnelle et agro-économique des produits issus du figuier de barbarie : revue de la littérature.

B

Benattia, F K (2017). Analyse et application des Extraits de Pépins de Figs de Barbarie. Thèse de doctorat : Chimie Bio-Organique et Thérapeutique. Algérie, Tlemcen. Université Aboubekr Belkaid.

Boutakiout A. (2017). 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 : Agronomie. Université d'Angers, Français.

Brahim kamel Louacini, Abdelkader Dellal, Miloud Halbouche and Kheira Ghazi. (2016). Effect of Incorporation of the Spineless *Opuntia ficus Indica* in Diets on Biochemical Parameters and its Impact on the Average Weight of Ewes during the Maintenance.

Bruckner H, Westhauser T. (2003). Chromatographic determination of L- and D- amino acids in plants. *Amino Acids*,

C

Carmen Sáenz H. Depto. Agroindustria y Tec. (2000). De Alimentos Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad de Chile Casilla 1004, Santiago, Chile. Cladodes: a Source of Dietary Fiber.

Carlos Manuel Gaspar dos Reis. (2018). Characterization and evaluation of Portuguese *Opuntia* spp. Germplasm.

Carmen Saenz. (2000). processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes.

E

El Kharrassi, Y. (2017). Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (*Opuntia* spp.) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2. Thèse de Doctorat : Biochimie, Biologie Moléculaire et Cellulaire. Université Hassani I, Settat, Maroc.

El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J, El Kebbaj, M S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., Cherkaoui-Malki 1, M. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Journal of Molecules*, 19, Lile, France. 1490-14879p. Disponible sur : (<https://www.mdpi.com/1420-3049/19/9/14879/pdf>)

Erica Ayquipa-Cuellar, Lourdes Salcedo-Sucasaca, José Antonio Azamar-Barrios, Guadalupe Chaquilla-Quilc A. (2020). Assessment of Prickly Pear Peel Mucilage and Potato Husk Starch for Edible Films Production for Food Packaging Industries.

Erika Maria de Oliveira Ribeiro, Nicácio Henrique da Silva, José Luiz de Lima Filho, Júlio Zoe de Brito, and Maria da Paz Carvalho da Silva. (2010). Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. *Food Science and Technology*.

Etude du Marché de la Figue de barbarie. Identification des marches cibles.

F

Fereidoon Shahidi a, Ying Zhong. (2015). Measurement of antioxidant activity.

Francisco Abel Lemos ALVES¹, Albericio Pereira de ANDRADE, Riselane de Lucena Alcântara BRUNO, Maria Goretti de Vasconcelos SILVA, Maria de Fátima Vanderlei de SOUZA, Djalma Cordeiro dos SANTOS. (2017). Seasonal variability of phenolic compounds and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* genres.

François DROUET. (2015). Les fruitiers rares par François DROUET. Disponible sur : <http://www.fruitiers-rares.info/articles99a104/article100-Comprendre-Figuier-de-Barbarie-Opuntia-ficus-indica.html>

G

Gade A., Gaikwad S., Tiwari V., Yadav A., Ingle A., Rai M. 2010. Bio fabrication of silver nanoparticles by *Opuntia ficus-indica*: in vitro antibacterial activity and study of the mechanism involved in the synthesis, *Curr. Nanosci*

H

Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique. PhD thesis, Université Joseph-Fourier-Grenoble I

Hadjkouider B., Hadjkouider B., Boutekrabt A. et Chaouch F.Z. 2010. La diversité de l'opuntia dans la zone d'el mesrane (djelfa) et perspectives d'amélioration. Séminaire International en Biologie Végétale et Ecologie thème biodiversité, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine, Algérie. Communication Oral.

Hartmut Bohm. (2008). « *Opuntia dillenii* »- An interesting and promising cactaceae taxon

Huffposte Algérie. (2015). La figue de Barbarie, un fruit venu d'ailleurs devenu produit du terroir en Algérie

I

Imen Belhadj Slimen, Taha Najar, Manef Abderrabba. (2016). *Journal of Food and Nutrition Sciences*, Article: *Opuntia ficus-indica* as a Source of Bioactive and Nutritional Phytochemicals.

K

Khales, A. & Baaziz, M. (S.D). Figuier de barbarie (cactus), *Opuntia ficus indica* L.
<https://www.biotech-ecolo.net/cactus-opuntia.html>

L

Lotfi Msaddak, Rayda Siala, Nahed Fakhfakh, M. A. Ayadi, Moncef Nasri & Nacim Zouar. (2020). Cladodes from prickly pear as a functional ingredient: effect on fat retention, oxidative stability, nutritional and sensory properties of cookies.

Lucia Parafati, Cristina Restuccia, Rosa Palmeri, Biagio Fallico and Elena Arena. (2020). Characterization of Prickly Pear Peel Flour as a Bioactive and Functional Ingredient in Bread Preparation.

M

M.A. Ayadi, W. Abdelmaksoud, M. Ennouri, H. Attia. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making.

Marc Schweizer. (1997) : Docteur NOPAL : le médecin du bon dieu. 81page.

María del Socorro Santos Díaz, Ana-Paulina Barba de la Rosa, Cécile Héliers-Toussaint, Françoise Guéraud, and Anne Nègre-Salvayre. (2017). *Opuntia* spp: Characterization and Benefits in Chronic Diseases. Disponible sur :
<https://downloads.hindawi.com/journals/omcl/2017/8634249.pdf>

M. Aymeric Barthes. (2016). L'ESSENTIEL DE L'AGROALIMENTAIRE ET L'AGRICULTURE - N°100 : figue de barbarie un cactus source de richesses. , Algérie. Disponible sur : https://www.agroligne.com/IMG/pdf/Agroligne_N_100web.pdf

Mohamed boujghagh, Ebe Muschialli. (2015). GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PLANTATION ET DE CONDUITE TECHNIQUE DU CACTUS EN CULTURE PLUVIALE

DANS LES ZONES ARIDES. (2015). Disponible sur : <https://pampat.ma/wp-content/uploads/2015/09/brochure-ONUUDI-21x21-WEB.pdf>

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 SASSAR.

N

Nefzaoui ET Ben Salem, 2000. *Opuntia* spp. A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region.

N. Lassoued, M. Rekik, H. Ben Salem, M. Mahouachi. (2011). Utilisation des ressources alimentaires alternatives et performances de reproduction des ovins en Tunisie.

Nobel, P.S. (2002). *Cacti: Biology and Uses*. California, États-Unis University of California Press
Disponible sur: [https://opuntiads.com/records/Cacti%20%20Biology%20and%20Uses%20\(UC%20Press,%202003\).pdf](https://opuntiads.com/records/Cacti%20%20Biology%20and%20Uses%20(UC%20Press,%202003).pdf)

O

Olivares-Pérez, A., Toxqui-López, S., Padilla-Velasco, A. 2012. Nopal Cactus (*Opuntia ficus-Indica*) as a Holographic Material, Materials.

P

Paolo Inglese, Candelario Mondragon, Ali Nefzaoui, Carmen Sáenz. (2018). ECOLOGIE, CULTURE ET UTILISATIONS DU FIGUIER DE BARBARIE.

Piga et al, 2003 Cactus Pear: a Fruit of nutraceutical and functional importance.

R

Raksha Pandit. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles from seed extract of *Brassica nigra* and its antibacterial activity.

S

Saenz, C., Berger, H., Corrales Garcia, J., Galletti, L., Garcia de Cortazar, V., Higuera, I. Mondragon, C., Rodriguez Feliz, A., Sepulveda, E., Varnero M.T. (2006). Utilizacion agroindustrial Del nopal. Rome, FAO Plant Production and protection.

Stintzing F.C, Schieber A, Carle R. (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*.

Stintzing and Carle, 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*.

T

Teresita Guevara-Figueroa, Hugo Jiménez-Islas b, Mari´a L. Reyes-Escogido a,d, Anne G. Mortensen c, Bente B. Laursen c, Li-Wei Lin a, Antonio De León-Rodríguez a, Inge S. Fomsgaard c, Ana P. Barba de la Rosa a.(2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.)

Transfert de technologie en agriculture N°68 – Mai 2000 PNTTA.

U

Ulises Osuna-Martínez¹, Jorge Reyes-Esparza² and Lourdes Rodríguez-Fragoso². (2014). Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases.

