

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABOUBEKR BELKAÏD – Tlemcen



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,
Des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie

MÉMOIRE

Présenté par

AIN SEBAA Nihad

MALKI Wafa

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie

Option : Microbiologie fondamentale

Thème

**Activité antimicrobienne des extraits du figuier de Barbarie
« *Opuntia ficus indica* » - (Synthèse d'articles)**

Soutenu le, / 07 / 2021, devant le jury composé de :

Présidente	HASSAINE Hafida	Professeur	Université de Tlemcen
Examinatrice	BENAMAR- BELLIFA Samia	MCB	Université de Tlemcen
Encadreur	SENOUCI BEREKSI Mohamed	MCB	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous tenons avant tout à remercier « **Dieu** » « الله » le tout puissant et miséricordieux qui nous a éclairé les chemins de la connaissance et de la sagesse.

Nous tenons tout d'abord remercier grandement Monsieur **SENOUCI BEREKSI Mohamed**, Maître de Conférences B, Université de Tlemcen, pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa disponibilité, son orientation, ses encouragements et ses précieux conseils qu'il nous a prodigué tout au long de ce mémoire.

Nous voudrions présenter nos vifs remerciements à Madame **HASSAINE Hafida** Professeur, Université de Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à Madame **BENAMAR-BELLIFA Samia** Maître de Conférences B, Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

♣ *Aux personnes les plus chère dans le monde « Mes Parents » :*

♣ *A ma chère mère la lumière de ma vie "Rasmia", qui m'a encouragé à aller de l'avant et su m'apporter tendresse et amour.*

♣ *A mon cher père "Abdel Nacer", qui a été toujours présent à mes côtés pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.*

♣ *A ma chère sœur "Amal" pour sa patience, son soutien et surtout pour son amour.*

♣ *A mon cher frère "Saleh El ddine" qui m'a toujours encouragé et souhaité la réussite.*

♣ *A ma très chère grand-mère "Aisha" à qui je souhaite une longue vie pleine de santé.*

♣ *A toutes les familles, qui porte le nom "Ain sebaa" et "Zefizef".*

♣ *A toutes mes chères amies : Radia, Chahinez. A, Imene, Chahinez. D et sans oublier à mon binôme dans ce travail : Wafa qui m'a vraiment soutenue et aidé et avec qui j'ai passé les meilleurs moments.*

♣ *A tous mes professeurs et enseignants qui m'ont suivies au long de mon cursus universitaire.*

♣ *A toute la promotion Microbiologie Fondamentale (2020/2021).*

Nihad

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

♣ *A celle qui m'a comblé d'amour et de tendresse, afin de voir le fruit de ses efforts devenir mûr... à ma chère et douce **MAMAN**.*

♣ *A celui qui m'a tant appris, instruit et éduqué, afin de faire de moi une femme brave... à mon cher et tendre **PAPA**.*

♣ *A ceux qui n'ont cessé de me soutenir, servir et encouragé avec amour et tendresse... à mes adorables frères et sœurs : **Meryem, Djamila, Mohamed Fateh, Farah et Feteh ALLAH**.*

♣ *A mes nièces chéries qui m'ont donné beaucoup de courage : **Feriel, Fatima-Zahra, Sarah et Meryem**, sans oublier mon petit neveu adoré **Yousef**.*

♣ *A mes chers grands parents : paternels et maternels qui grâce à leurs bénédictions et leurs invocations, ce travail fut réalisé.*

♣ *A mes meilleurs amis : **Chahinez, Fatima, Imene et Chahinez.D** pour les moments de joie et de folies passés ensemble.*

♣ *A mon binôme **Nihad** pour l'entraide et le soutiens, celle avec qui j'ai partagé et surmonté les épreuves.*

♣ *A toute personne qui a contribué d'une façon ou d'une autre pour la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de ma meilleure dédicace.*

Wafa



Résumé

ملخص

التين الشوكي، *Opuntia ficus indica*، هو نبات أستخدم في الطب التقليدي لفترة طويلة ، والبحث في هذا النبات في تقدم مستمر بهدف تطويره. هذا العمل عبارة عن ملخص لسنة مقالات علمية تتعلق بالتركيب الكيميائي النباتي ودراسة الأنشطة المضادة للبكتيريا والفطريات والمضادة للأغشية الحيوية وتأثير التئام جروح الجلد، عن طريق المركبات المتطايرة والمستخلصات الكحولية أو الصمغ المحضر من أعضاء مختلفة من هذا النبات. النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى وجود المواد الكيميائية النباتية، وخاصة البوليفينول، المسؤولة عن النشاط المضاد للميكروبات. أظهر النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المختلفة مستوى عال جداً من الحساسية للسلاسل البكتيرية المختبرة، خاصة الأنواع إيجابية الجرام مقارنة بالسلبية الجرام، وأكدت قيم MIC. أظهرت مستخلصات OFI نشاطاً معتدلاً ضد الفطريات المستعملة وعدم وجود نشاط ضد الخميرة. كما أظهرت هذه المستخلصات تثبيطاً ملحوظاً لتكوين الغشاء الحيوي ولوحظ تأثير مفيد على ترميم الجلد بواسطة مستخلص الصمغ، حيث تم تقييمه من خلال تسريع الانقباض وإغلاق الجرح. تشير هذه النتائج إلى أن مستخلصات *Opuntia ficus indica* لها إمكانية كمصدر للمركبات النباتية ويمكن استخدامها كمضافات طبيعية مضادة للميكروبات لسلامة الغذاء وكموامل التئام الجروح.

الكلمات المفتاحية: *Opuntia ficus indica* ، مستخلصات الكحول ، الصمغ ، البوليفينول ، نشاط مضادات الميكروبات ، MIC ، الغشاء الحيوي ، التئام الجروح.

Résumé

Le figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica*, est une plante utilisée en médecine traditionnelle depuis longtemps, et la recherche sur cette plante en vue de sa valorisation est en plein progrès. Le présent travail est une synthèse de six articles portant sur la composition phytochimique et l'étude des activités antibactérienne, antifongique, anti-biofilm et l'effet cicatrisant des plaies cutanées, par les composés volatils et des extraits alcooliques ou du mucilage préparés à partir des différents organes de la plante. Les résultats obtenus indiquent la présence de composés phytochimiques, principalement des polyphénols, responsables de l'activité antimicrobienne. L'activité antibactérienne des différents extraits a montré un niveau de sensibilité très élevé des souches bactériennes testées, surtout des espèces à Gram positif par rapport à celles à Gram négatif, et confirmé par les valeurs des CMI. Les extraits d'*OFI* ont présenté une activité antifongique modérée vis-à-vis des espèces fongiques et sans activité vis-à-vis de la levure. Ces extraits ont montré une inhibition remarquable de la formation du biofilm et un effet bénéfique sur la réparation cutanée a été observé par l'extrait de mucilage, évalué par l'accélération de la contraction et de la fermeture de la plaie. Ces résultats suggèrent que les extraits d'*Opuntia ficus indica* ont un potentiel en tant que source de phyto-composés et pourraient être utilisés comme additifs antimicrobien naturels pour la sécurité alimentaire et en tant qu'agents cicatrisants des plaies cutanées.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*, Extraits alcooliques, Mucilage, Polyphénols, Activité antimicrobienne, CMI, Biofilm, Cicatrisation des plaies.

Abstract

The prickly pear, *Opuntia ficus indica*, is a plant used in traditional medicine for a long time, and research on this plant with a view to its development is in full progress. The present work is a synthesis of six articles relating to the phytochemical composition and the study of the antibacterial, antifungal, anti-biofilm activities and the healing effect of skin wounds, by volatile compounds and alcoholic extracts or mucilage prepared from different organs of the plant. The results obtained indicate the presence of phytochemicals, mainly polyphenols, responsible for the antimicrobial activity. The antibacterial activity of the different extracts showed a very high level of sensitivity of tested bacterial strains, especially Gram-positive species compared to Gram-negative ones, and confirmed by the MIC values. *OFI* extracts showed moderate antifungal activity against fungal species and no activity against the yeast. These extracts showed remarkable inhibition of biofilm formation and a beneficial effect on skin repair was observed by the mucilage extract, assessed by the acceleration of contraction and wound closure. These results suggest that *Opuntia ficus indica* extracts have potential as a source of phyto-compounds and could be used as natural antimicrobial additives for food safety and as skin wound healing agents.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, Alcoholic extracts, Mucilage, Polyphenols, Antimicrobial activity, MIC, Biofilm, Wound healing.

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 2

Première partie : Synthèse bibliographique.....4

Chapitre I. Généralité sur le figuier de barbarie ”*Opuntia ficus indica*”

I.1. Historique et origine6

I.2. Systématique7

I.3. Description botanique.....8

I.3.1. Système racinaire9

I.3.2. Système caulinaire9

I.3.2.1. Les raquettes (cladodes).....9

I.3.2.2. Les feuilles10

I.3.2.3. Les fleurs.....10

I.3.2.4. Les fruits11

I.4. Ecophysiologie d’*Opuntia ficus indica*11

I.5. Composition chimique.....13

I.5.1. Composition nutritionnelle13

I.5.2. Minéraux13

I.5.3. Vitamines.....14

Chapitre II. Substances bioactives et domaines d’application

II.1. Molécules bioactives16

II.2. Importance et domaines d’applications17

II.2.1. Domaine alimentaire.....17

II.2.2. Domaine pharmaceutique19

II.2.2.1. Propriétés antimicrobiennes.....19

a. Activité antibactérienne.....19

b. Activité antifongique20

c. Activité antivirale.....20

II.2.2.2. Autres activités.....	21
II.2.3. Utilisation en cosmétique.....	22
II.2.4. Domaine écologique.....	22
Deuxième partie : Matériel et méthodes.....	23
I. Récolte et préparation du matériel végétal.....	24
II. Extraction végétale.....	24
III. Etude phytochimique.....	27
III.1. Tests phytochimiques.....	27
III. 2. Teneur en composés phénoliques.....	27
IV. Activité antibactérienne.....	28
IV.1. Milieux de culture.....	28
IV.2. Souches bactériennes.....	28
IV.3. Méthode de diffusion des puits sur gélose.....	28
IV.4. Détermination des Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI).....	30
V. Activité antifongique.....	31
V.1. Souches fongiques.....	31
V.2. Test antifongique.....	31
VI. Activité anti-biofilm.....	32
VII. Activité de cicatrisation des plaies.....	32
VII.1. Animaux.....	33
VII.2. Induction mécanique des plaies.....	33
VII.3. Évaluation de la cicatrisation des plaies.....	34
VII.4. Mesure de la surface de la plaie.....	34
VII.5. Évaluation histologique.....	34
Troisième partie : Résultats et discussion.....	35
I. Etude phytochimique.....	36
I.1. Rendement d'extraction.....	36
I.2. Tests phytochimiques.....	36
I.3. Teneur en composés phénoliques.....	37
II. Activité Antibactérienne.....	40
II. 1. Méthode de diffusion des puits en gélose.....	40
II.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI).....	43
III. Activité Antifongique.....	45
IV. Activité Anti-biofilm.....	47

V. Activité de cicatrisation des plaies	49
V.1. Évaluation du poids corporel des rats.....	49
V.2. Étude macroscopique des plaies	49
V.3. Évaluation de la fermeture de la plaie	51
V.4. Évaluation histologique	51
Conclusion.....	54
Références bibliographiques.....	57
Annexes.....	82

Liste des abréviations

- **ALT** : Alanine aminotransférase.
- **AQ** : Eau acidifiée.
- **AST** : Aspartate aminotransférase.
- **BN** : Bouillon nutritif.
- ***B. subtilis*** : *Bacillus subtilis*.
- **Ca** : Calcium.
- **CAM** : Crassulaceam Acid Metabolism (Métabolisme acide crassulacéen).
- **CMI** : Concentration minimal inhibitrice.
- **CMV** : Virus mosaïque du concombre.
- **CV** : Constituant volatils.
- **DO** : Densité optique.
- **DMSO** : Diméthyl-sulfoxyde.
- ***E. aerogenes*** : *Enterobacter aerogenes*
- ***E. coli*** : *Escherichia coli*.
- ***E. faecalis*** : *Enterococcus faecalis*.
- **ESI** : Ionisation par électronébuliseur.
- **Fe** : Fer.
- **GN** : Gélose nutritive.
- **K** : Potassium.
- ***K. pneumoniae*** : *Klebsiella pneumoniae*.
- **HPLC/MS** : Chromatographie liquide haute performance-spectrométrie de masse.
- **LDL** : Low Density Lipoprotein (lipoprotéine de basse densité).
- ***L.monocytogene*** : *Listeria monocytogene*.
- **MA** : Méthanol acidifié.
- **MAW** : Méthanol- acétone-eau.
- **MHA** : Gélose Mueller-Hinton

- **MHB** : Bouillon Mueller-Hinton.
- **Mg** : Magnésium.
- **Mn** : Manganèse.
- **MRSA** : Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (*Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline).
- **Na** : Sodium.
- **ND** : Non détecté.
- **OFI** : *Opuntia ficus-indica*.
- **P** : Phosphore.
- ***P. aeruginosa*** : *Pseudomonas aeruginosa*.
- **PDA** : Potato Dextrose Agar
- ***S. aureus*** : *Staphylococcus aureus*.
- **SqMV** : Virus de la mosaïque de la courge.
- **SARS-COV-2** : Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère).
- ***S. typhimrium*** : *Salmonella typhimrium*.
- **TMV** : Virus de la mosaïque du tabac.
- **TOF** : Time Of Flight (Temps de vol).
- **TSB** : Trypticase Soy Broth (Bouillon de soja trypticase).
- **UVA** : Ultraviolet A.
- **Zn** : Zinc.
- **ZYMV** : Virus de la mosaïque du jaune de la cougette.

Liste des figures

Figure 01 :	Répartition géographique d' <i>Opuntia ficus indica</i>	07
Figure 02 :	Plante d' <i>Opuntia ficus-indica</i>	08
Figure 03 :	Raquette (cladode) d' <i>Opuntia ficus indica</i>	09
Figure 04 :	Feuilles d' <i>Opuntia ficus indica</i>	10
Figure 05 :	Fleur d' <i>Opuntia ficus-indica</i>	11
Figure 06 :	Différentes variétés des fruits d' <i>Opuntia ficus-indica</i>	11
Figure 07 :	Cycle journalier de la photosynthèse chez les plantes succulentes de type CAM.....	12
Figure 08 :	Applications pharmaceutiques d' <i>Opuntia ficus indica</i>	19
Figure 09 :	Activité inhibitrice d'Opuntine B contre le virus de la mosaïque du tabac...	22
Figure 10 :	Épines et glochides d' <i>Opuntia Ficus Indica</i>	24
Figure 11 :	Appareil d'extracteur Soxhlet	26
Figure 12 :	Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger	26
Figure 13 :	Microplaque 96 puits.....	30
Figure 14 :	Rat Wistar mâles.....	33
Figure 15 :	Chromatogramme (HPLC-TOF/SM) de d'extract d' <i>Opuntia ficus-indica</i> de cladodes immatures (<i>imm</i>).	38
Figure 16 :	Diamètres des zones d'inhibition (mm) du mucilage et de l'extract méthanolique des fleurs d' <i>Opuntia ficus indica</i>	40
Figure 17 :	Diamètres des zones d'inhibition (mm) des extraits des cladodes d' <i>Opuntia ficus-indica</i>	41
Figure 18 :	Diamètres des zones d'inhibition (mm) des composés volatils d' <i>Opuntia ficus indica</i>	42
Figure 19 :	Concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits de cladodes matures et immatures contre les souches bactériennes testées.....	43
Figure 20 :	Diamètres des zones d'inhibition (mm) des CV des pulpes et pelures de fruit, et des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> vis-à-vis des champignons testés.....	45
Figure 21 :	Activité antifongique des extraits des fruits et des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> vis-à-vis des souches fongiques.....	46

Figure 22 : Effet inhibiteur des extraits d' <i>Opuntia ficus indica</i> vis-à-vis des souches de <i>Fusarium</i> productrices de mycotoxines.....	47
Figure 23 : Effets des différentes concentrations d'extraits de cladode d' <i>Opuntia ficus indica</i> sur la formation de biofilm par <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 35556.....	48
Figure 24 : Modifications macroscopiques de la cicatrisation des plaies prises pour les différents groupes le 1 ^{er} , 3 ^e , 5 ^e , 7 ^e , 9 ^e et 13 ^e jour après la blessure.....	50
Figure 25 : Effet de l'application topique du mucilage et de l'extrait méthanolique des fleurs d' <i>Opuntia ficus indica</i> sur la contraction des plaies.....	51
Figure 26 : Photomicrographies représentatives de l'architecture épidermique et dermique des plaies au 13 ^{ème} jour.....	52

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Composition nutritionnelle d' <i>Opuntia ficus-indica</i> (L) Mill.....	13
Tableau 02 :	Teneur en minéraux des différentes parties d' <i>Opuntia ficus-indica</i> (L) Mill.....	14
Tableau 03 :	Teneur en vitamines des différentes parties d' <i>Opuntia ficus-indica</i> (L) Mill.....	14
Tableau 04 :	Les différentes molécules bioactives et leurs caractéristiques.....	16
Tableau 05 :	Utilisations médicinales du figuier de barbarie, <i>Opuntia ficus indica</i> ...	21
Tableau 06 :	Les différentes étapes d'extraction des différents organes d' <i>OFI</i> utilisées dans les articles étudiés.....	25
Tableau 07 :	Les différentes souches de bactéries utilisées pour le test de l'activité antibactérienne.....	29
Tableau 08 :	Les différents traitements de chaque groupe de rat.....	33
Tableau 09 :	Résultats des tests phytochimiques des extraits de cladodes d' <i>Opuntia ficus-indica</i>	37
Tableau 10 :	Teneurs en acides phénoliques et en flavanols d'extraits de cladodes matures et immatures d' <i>Opuntia ficus indica</i>	38
Tableau 11 :	CMI ($\mu\text{g/mL}$) des constituants volatils de la pulpe et des pelures des fruits, et des cladodes d' <i>OFI</i> vis-à-vis des bactéries testées.....	44
Tableau 12 :	CMI ($\mu\text{g/ml}$) des CV des pulpes et pelures de fruit, et des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> vis-à-vis des champignons testés.....	45
Tableau 13 :	La moyenne du poids corporel des rats avant et après le traitement.....	49



Introduction

L'utilisation d'agents antimicrobiens en santé humaine et animale a grandement amélioré les conditions de vie des populations et des productions animales. Mais, elle a aussi contribué à la sélection de microorganismes résistants à différents antimicrobiens. Cette résistance est d'une importance économique considérable, et en combinaison avec les effets secondaires indésirables de certains composés synthétiques, il devient nécessaire et impératif de rechercher de nouvelles molécules plus efficaces, avec peu d'effets secondaires (**Amgad et al., 2012**).

Les bactéries pathogènes impliquées dans les diverses maladies sont souvent capables d'adhérer et de former des biofilms. Les bactéries au sein des biofilms sont plus résistantes aux antibiotiques que les cellules planctoniques en suspension et leur tolérance accrue aux agents antimicrobiens réduit l'efficacité du traitement des infections, ce qui peut entraîner de graves problèmes sanitaires et des pertes économiques (**Di Ciccio et al., 2015 ; Satpathy et al., 2016**).

La cicatrisation des plaies est une réaction corporelle naturelle conduisant à la restauration de l'intégrité structurelle et fonctionnelle des tissus blessés. En raison de la résistance croissante aux médicaments de synthèse actuellement utilisés dans les traitements de cicatrisation des plaies, une attention croissante a été accordée à la recherche d'agents cicatrisants alternatifs d'origine naturelle. En effet, plusieurs plantes médicinales traditionnelles et parties de plantes se sont avérées efficaces dans le traitement des plaies cutanées (**Roy et al., 2012**).

Parmi les sources potentielles de nouveaux agents antimicrobiens, les plantes qui ont été longtemps étudiées ; elles contiennent de nombreux composés bioactifs qui peuvent présenter un intérêt thérapeutique. En raison de leur faible toxicité, il existe une longue tradition d'utilisation des plantes médicinales dans le traitement des maladies infectieuses en médecine traditionnelle (**Djeussi et al., 2013**).

D'un intérêt particulier, le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*), est une espèce de cactus qui pousse dans les régions arides et semi-arides du monde. Il est doté d'énormes propriétés biologiques et pharmacologiques, et a longtemps été utilisé à diverses fins médicinales. Toutes les parties de la plante ont des propriétés biologiques intéressantes et peuvent être utilisées pour la production de composés bioactifs prometteurs et de produits à valeur ajoutée. La plante produit des fruits comestibles riches en nutriments qui ont des propriétés intéressantes pour le traitement de plusieurs maladies et troubles de la santé (**Galati et al., 2003**).

C'est dans cette optique, et vu la situation sanitaire mondiale actuelle, et les mesures de protection contre la dissémination de la pandémie du Covid-19, l'objectif du présent travail est une synthèse de six articles portant sur l'étude des propriétés antimicrobiennes (antibactérienne, antifongique et anti-biofilm) et cicatrisante du figuier de barbarie : *Opuntia ficus indica*.

La plante a été choisie pour toutes les vertus médicinales et les propriétés biologiques que possèdent ses différentes parties végétales, se traduisant par le nombre important d'articles de recherches scientifiques menés pour son étude : « un trésor sous les épines ».

Le travail est divisé en plusieurs parties : une partie bibliographique décrivant la plante *Opuntia ficus indica*, ses substances bioactives et les domaines de ses applications ; une partie expérimentale présentant les différents matériels et méthodes utilisés, et enfin la partie résultats et discussion qui présente les principaux résultats obtenus.

Première partie :

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le figuier de
barbarie "*Opuntia ficus indica*"



I. Généralités sur le figuier de barbarie ”*Opuntia ficus indica*”

I.1. Historique et origine :

Opuntia ficus indica appelée communément figuier de barbarie où le nom commun est le cactus qui vient du grec « kaktos », qui signifie : plante épineuse (**Defelice, 2004**). Le terme *Opuntia* a probablement un rapport aux « Opuntes », ou « Opunces » peuple de la Grèce antique, de la région de Béotie (**Anaya-Perez, 2001**). C’est une plante succulente originaire des régions arides et semi arides d’Amérique Tropicale (sud des Etats-Unis et Mexique) d’où son appellation « Nopal » dans la vallée de Tuhuacan (Puebla – Mexique) (**Hadj Sadok, 2010**).

Il était inconnu en Europe avant les voyages de Christophe Colomb et fut décrit de façon précise pour la première fois en 1535 par l’Espagnol Gonçalo Hernández de Oviedo y Valdés dans son « Histoire des Indes Occidentales » (**Nefzaoui et Bensalem, 2000**). Il s’est propagé dans le bassin méditerranéen à partir du 16^{ème} siècle (Australie, Afrique du nord, Sardaigne, Sicile ...) avant d’atteindre l’Afrique du sud (**Hadj Sadok, 2010**). La plantation du figuier de barbarie a été considérablement développée dans la région du sud des Philippines en 1695, la Chine en 1700, l’Afrique en 1772, l’Inde en 1780, et l’Indochine en 1790 (**Le Houérou, 2000**), ainsi que dans d’autres aires géographiques. Au 18^{ème} siècle, la Sicile prit une grande extension (**Maataoui et Hilalli, 2004**). Ce dernier a été introduit dans le nord du Brésil au 19^{ème} siècle (**Falcão, et al., 2013**).

C’est grâce à l’homme que le Nopal doit d’avoir traversé les océans. Dans notre partie du monde, on trouve donc maintenant la plante à l’état subsponané en Afrique du Nord jusqu’au sud de la France méridionale et les vallées suisses du Tessin et du Valais (**Ben attia, 2017**).

Sa distribution géographique est très large : Mexique, Sicile, Brésil, Chili, Inde, Corée, Turquie, Erythrée, Portugal, Espagne, Italie, Algérie, Tunisie, Libye, Maroc, Soudan, Argentine et Afrique du Nord, Uganda, Ethiopie, Tanzanie, Kenya. (Figure 1).

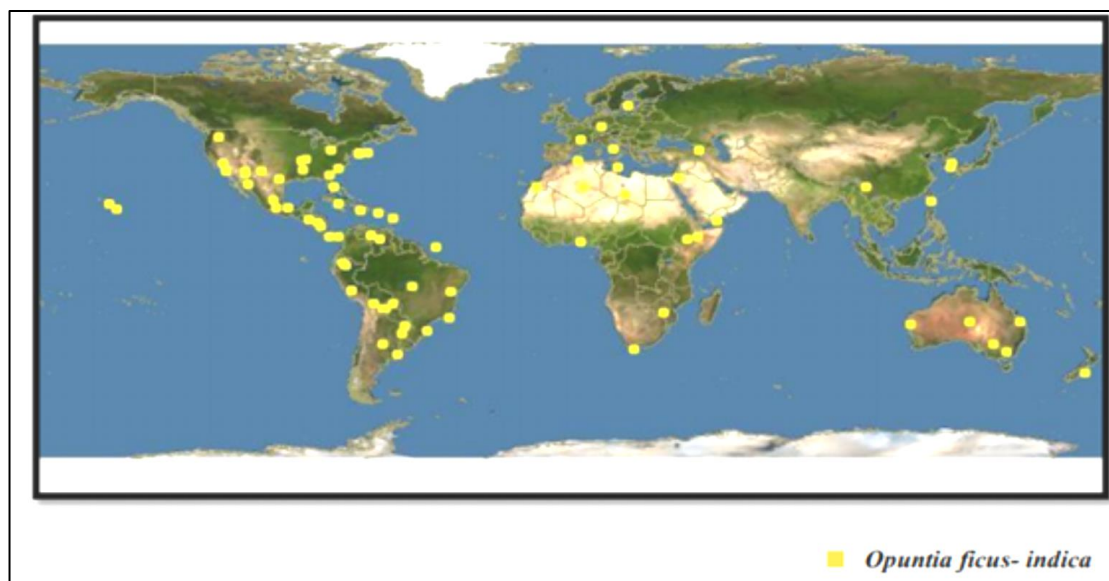


Figure 1 : Répartition géographique d'*Opuntia ficus indica* (Barbera, 1992).

I.2. Systématique

La famille des Cactacées renferme environ 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui comprend 669 espèces. (Guzman et al, 2006).

Le genre *Opuntia* est le plus important et le plus répandu de la famille des cactacées (Habibi, 2004). Il est subdivisé à son tour en quatre sous-genres en raison de la forme des cladodes : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasilopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figure *Opuntia ficus-indica*. (Dubeux, 2006).

La position systématique du figuier de barbarie est comme suit : (Wallace, Gileson, 1997).

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Embranchement : Phanérogames

Sous Embranchement : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Caryophyllidae

Ordre : Opuntiales

Famille : Cactaceae

Sous-famille : Opuntioideae

Tribu : Opuntieae

Genre : *Opuntia*

Sous-genre : *Platyopuntia*

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.)

Nom commun : Figuier de Barbarie

Nom latin : *Opuntia ficus-indica*

Autres noms : Figue du désert, figuier des Indes, figuier d'Espagne, nopal, semelle du pape.

I.3. Description botanique

Opuntia ficus indica est une plante arborescente, robuste, xérophyte, qui présente une grande capacité d'adaptation aux conditions les plus hostiles (Arba, 2000), il est toujours vert (Louhaichi et al., 2018), et peut mesurer de 2 à 6 m de haut possédant un tronc épais et ligneux. C'est un arbuste formé de raquettes (ou cladodes), les fruits à la périphérie des cladodes terminaux sont pulpeux et de couleur jaune-orange, et sont cueillis de fin juillet à septembre (Ben Attia, 2017). (Figure 2).



Figure 2 : Plante d'*Opuntia ficus-indica* (Jose et al., 2018).

I.3.1. Système racinaire

L'appareil racinaire est superficiel, se développe quand les aréoles sont en contact avec le sol. Elles sont généralement fasciculées. La racine principale est courte, mais les racines latérales ont une très grande extension qui sont des caractéristiques xéromorphiques permettant à la plante de survivre à des périodes prolongées de sécheresse pour l'absorption d'eau (**Prat et Franck, 2018**).

Des études au Mexique ont montré que les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* sont colonisées par des mycorhizes (**Kenny, 2002**).

I.3.2. Système caulinaire

I.3.2.1. Les raquettes (cladodes)

Les raquettes, appelées aussi « Nopalitos » (**Tamer et al., 2014**), sont des tiges modifiées de forme aplatie et ovales, de couleur verte, de 30 à 40 cm de long sur 15 à 25 cm de large et une épaisseur de 1,5 à 3 cm (**Neffar, 2012**) (Figure 3).



Figure 3 : Raquette (cladode) d'*Opuntia ficus indica* (**Ben Attia, 2017**).

Elles possèdent une grande capacité d'emmagasiner l'eau surtout au niveau des tissus (**Pinkava et Miller, 2004**) et remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles (**Boudjellaba et Yassa, 2012**).

Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* (nopal) sont comestibles (**Santos-Zea et al., 2011**), ils sont utilisés dans le domaine alimentaire (comme fourrage pour les bétails et comme légumes frais ou transformée pour la consommation humaine), et pharmaceutique (**Tamer et al., 2014**).

I.3.2.2. Les feuilles

Les feuilles sont de forme conique apparaissant sur les cladodes jeunes, mesurant seulement quelques millimètres (3 mm) de long, transformées en épines, portant à leur base des aréoles (environ 150 par cladodes) qui sont des bourgeons axillaires modifiés (**Neffar, 2012**). (Figure 4).



Figure 4 : Feuilles d'*Opuntia ficus indica*
(Photo personnelle, région de Ong Jmal, Tlemcen)

I.3.2.3. Les fleurs

Les fleurs solitaires et sessiles émergent de leur réceptacle avec sépales verts possédant de nombreux pétales épais (**Schweizer, 1997**). La couleur des fleurs est très variée, mais seul le bleu est absent et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (**Habibi, 2004**). (Figure 5).



Figure 5 : Fleur d'*Opuntia ficus-indica* (Photo personnelle, région de Ong Jmal, Tlemcen).

Elles sont hermaphrodites et actinomorphes ; elles se développent sur la partie supérieure d'un cladode ou sur la face la plus exposée au soleil (Prat et Franck, 2018).

I.3.2.4. Les fruits

Les Fruits sont des baies charnues ovoïdes, elliptiques ou rondes pourvues d'épines, présentent une variabilité de qualité et de couleur mais ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité (Figure 6). La pulpe est juteuse et sucrée, de couleur jaune-orangé, rouge ou pourpre qui contient de nombreuses petites graines (Habibi, 2004).



Figure 6 : Différentes variétés des fruits d'*Opuntia ficus-indica* (Sáenz, 2018)

Ils sont une bonne source de minéraux, fournissant des acides aminés essentiels et des vitamines, et présentant une forte activité antioxydante, grâce à leur teneur élevée en caroténoïdes et en composés phénoliques. (Barba et al., 2020).

I.4. Ecophysiologie d'*Opuntia ficus indica*

Sur le plan physiologique, *Opuntia ficus-indica* est une plante de type CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*). Elle ouvre ses stomates pendant la nuit pour fixer du CO₂, libérer de l'oxygène, accumuler du malate et le stocker dans les vacuoles des cellules du chlorenchyme au processus photosynthétiques (Inglese, 2018) (figure 07). Une telle stratégie permet de réduire la perte d'eau par évapo-transpiration pendant les heures les plus chaudes. (Habibi, 2004). En effet, le mince appareil pileux des racines, peut être recouvert d'un mince film imperméable ou être rapidement éliminé pour éviter les pertes d'eau. (Mulas et Mulas, 2004).

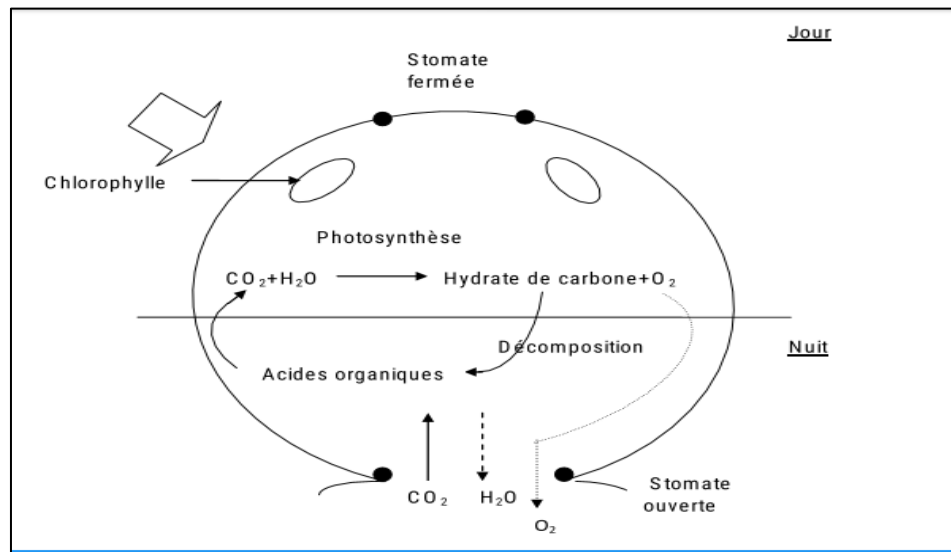


Figure 7 : Cycle journalier de la photosynthèse chez les plantes succulentes de type CAM (Michel, 1998)

Du point de vue écologique, *Opuntia ficus indica* présente des adaptations morphologiques et physiologiques qui lui permettent de résister à la chaleur torride, à la sécheresse, aux vents violents et aux tempêtes de sable (Mulas et Mulas, 2004).

Il existe trois mécanismes principaux qui permettent aux *Cactaceae* de tolérer la sécheresse : (Sudzuki Hills, 1995)

- en réduisant la surface des racines et la perméabilité à l'eau ;
- en absorbant rapidement la petite quantité d'eau qui tombe lors des pluies éphémères, grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines, elles disparaissent une fois que le sol sec ;
- en négativisant davantage le potentiel hydrique. Dans ce cas, on peut parler de mécanismes de *drought-resistance*. (Mulas et Mulas, 2004).

I.5. Composition chimique

La composition chimique dépend de nombreux facteurs : l'espèce, le cultivar ou la variété ; les facteurs environnementaux, tels que les conditions climatiques et édaphiques, la gestion des cultures, y compris la fertilisation et le traitement post-récolte et l'état de maturité. (Méndez, 2015).

I.5.1. Composition nutritionnelle

La pulpe de figue de barbarie est essentiellement caractérisée par une forte teneur en eau et en sucres (**Bouzoubaâ, 2016 ; El-Beltagi, 2019**). La composition nutritionnelle des différentes parties d'*Opuntia ficus-indica* est reprise dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition nutritionnelle d'*Opuntia ficus indica* (L) Mill (**Silva et al., 2021**).

Composants	Teneur de la pulpe (g/100 g)	Teneur des pelures (g/100 g)
Humidité	90.66 ± 2.32	88.92 ± 1.98
Protéines	0.15 ± 0.02	0.17 ± 0.02
Lipides	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00
Glucides	92.57 ± 0.99	-
Cendres	0.24 ± 0.03	0.38 ± 0.03
Fibres totaux	0.43 ± 0.03	0.65 ± 0.05

I.5.2. Minéraux

La figue de barbarie est considérée comme une bonne source de minéraux, à savoir le potassium, le magnésium, le calcium et le sodium (**Ghazi, 2015 ; Albuquerque, 2016**). La présence de magnésium et de calcium rend la figue de Barbarie utile dans la prévention de l'ostéoporose. (**Sunyecz, 2008 ; Castiglioni, 2013**). Le contenu minéral détaillé des différentes parties d'*Opuntia ficus-indica* est fourni dans le tableau 2.

Tableau 2 : Teneur en minéraux des différentes parties d'*Opuntia ficus indica* (L) Mill

Éléments minéraux	Teneur de la pulpe (mg/100g)*	Teneur des pelures (mg/100g)*	Teneur du Cladode (mg/100g)**
Mg	1.74	1.41	94.10 ± 28.3
Na	0.07	0.20	1.71 ± 0.99
K	38.36	60.83	224 ± 74
Ca	4.58	2.93	177 ± 31
Mn	0.10	0.13	0.78 ± 0.24
Fe	0.30	0.47	0.13 ± 0.05
Zn	0.07	0.13	0.37 ± 0.21
P	0.26	0.53	0.09 ± 0.00 ***

* (**El-Beltagi, 2019**) ; ** (**Méndez, 2015**) ; *** (**Astello-García, 2015**).

I.5.3. Vitamines

Les vitamines sont les constituants nutritionnels importants du figuier de barbarie (Tableau 3). Les concentrations des vitamines présentes dans *Opuntia ficus-indica* varient entre les différents tissus de la plante. La peau de la figue de barbarie est riche en vitamine E, principalement en tocophérol. (Ramadan et Mörsel, 2003 a).

Tableau 3 : Teneur en vitamines des différentes parties d'*Opuntia ficus-indica* (L) Mill

Vitamines	Teneur de l'huile de pulpe (mg/100 g) *	Teneur de l'huile de graines (mg/100 g) *	Teneur de pelure (mg/100 g des lipides totaux) **
Vitamine E total	527.40 ± 36.00	40.30 ± 4.00	2180 ± 198
Vitamine K	53.20 ± 8.00	525 ± 60	109 ± 32
α-Tocophérol	84.9 ± 9	5.60 ± 0.30	1760 ± 155
β-Tocophérol	12.60 ± 1.00	1.20 ± 0.20	222 ± 45
δ-Tocophérol	422 ± 17	0.50 ± 0.10	26 ± 12
γ-Tocophérol	7.90 ± 0.60	33 ± 3	174 ± 31
Vitamine C	-	-	109.69 ± 19.90 (mg acide ascorbique eq/100 g) ***

* (Ramadan, Mörsel, 2003 b) ; ** (Ramadan, Mörsel, 2003 a) ; *** (Cano et al., 2017).

CHAPITRE II : Substances bioactives et
domaines d'applications



II. Substances bioactives et domaines d'applications

II.1. Molécules bioactives

Opuntia ficus indica est une source importante de substances bioactives qui sont utilisés pour des préparation nutraceutiques et d'aliments fonctionnels. L'utilisation de ses métabolites secondaires dans les industries, et leur étude en termes de composition nutritionnelle et de composés bioactifs devient extrêmement importantes (Silva et al., 2021) (Tableau 4).

Tableau 4 : Les différentes molécules bioactives et leurs caractéristiques.

Molécules	Caractéristiques
Acide gras (acides linoléique, oléique et palmitique, linoléiques, etc.)	Teneur élevée en acides gras mono- et poly-insaturés identifiés dans les fruits et leurs peaux et dans les cladodes. (Andreu Coll et al., 2019).
	Niveau élevé en acide linoléique (oméga-6) dans l'huile de graine d' <i>Opuntia ficus indica</i> (El-Beltagi et al. (2019), reconnue par ces propriétés hypocholestérolémiantes, et inhibant l'apparition des cellules métastatiques du cancer du côlon (Afify et al., 2018).
	L'acide linoléique (oméga-3) est connu pour ses effets bénéfiques sur les maladies cardiovasculaires, inflammatoires, les troubles auto-immuns et le diabète (El-Mostafa et al., 2014).
	L'acide oléique (oméga-9) possède une activité anti-inflammatoire (Koshak et al., 2020).
Acides aminés	La proline et la taurine sont les acides aminés prédominants la figue de barbarie d'une teneur respective d'environ 46% et 16% de la composition en acides aminés (Fernández-López et al., 2010) suivie par L'acide glutamique (15,73-20,27 %), et de l'arginine (4,81-14,62 %) (El-Mostafa et al.,2014). La taurine possède une activité antioxydante également impliquée dans la régulation de la pression artérielle (Aruwa et al.,2018).
Polyphénols (acides hydroxy- cinnamiques et hydroxy- benzoïques, flavonoïdes, lignines et stilbènes).	Leur potentiel antioxydant impliqué dans la prévention de l'inflammation, du dérèglement cardiovasculaire et des maladies neuro-dégénératives (El-Mostafa et al., 2014 ; Jakobek, 2015). Ils ont également une activité anticancéreuse avérée (El-Mostafa et al., 2014).
	Les flavonoïdes réduisent le risque d'atteinte de maladies chroniques, et ont des propriétés antioxydantes, antibactériennes (Kozłowska et Szostak-Wegierek, 2014), et antivirales (ciblant les protéases du SRAS-CoV-2, protéines, RNA polymérase RNA-dépendant, ...) (Mouffouk et al., 2021). Les fruits violets d' <i>O. ficus-indica</i> contiennent des niveaux plus élevés de composés phénoliques que les fruits orange (Díaz et al., 2017).

	Toutes les parties de la plante sont riches en polyphénols (flavonoïdes et acides phénoliques), mais il semble que les fleurs sont la source la plus importante (El-Mostafa et al., 2014).
Stérols (Campstérol, Stigmastérol Lanostérol, β-Sitostérol, etc.)	Le β-sitostérol est le principal stérol extrait de différentes parties des huiles de fruits : pulpe, peau et graines (Ramadan et Morsel, 2003a ; 2003c)
	Les phytostérols possèdent une activité anti-inflammatoire surtout le β-sitostérol (Koshak et al., 2020).
Bétalaines	Ce sont des pigments, il existe deux classes : bétacyanines (rouge-violet) et les bétaxanthines (jaune), et leurs concentrations varient en fonction de la couleur du fruit (Silva et al., 2021).
	Éliminateurs des radicaux libres et agissent comme des antioxydants (Fernández-López et al., 2012).
Caroténoïdes (Lutéine, β-carotène et β-criptoxanthine, etc)	Possèdent des avantages liés à la prévention et à la réduction du développement de certaines maladies, comme les maladies cardiovasculaires, le cancer et la dégénérescence maculaire (de Quirós et Costa, 2006).

II.2. Importance et domaines d'applications

Le figuier de Barbarie est « un trésor sous les épines » grâce à ses multiples avantages, dont certains étaient peu connus jusqu'à aujourd'hui (**Saenz, 2018**).

Sa valorisation est faite grâce à ses métabolites secondaires tels l'acide ascorbique, les vitamines, les caroténoïdes, les fibres, les acides aminés, les composés antioxydants (flavonoïdes, bétaxanthine, bétacyanine et alcanoïdes) présents dans les différentes parties de la plante : cladodes, fruits, peau et fleurs du cactus (**Aragona et al., 2017**).

De même, sa viscosité et sa gélification, ont permis d'envisager son utilisation dans des domaines alimentaires ou pharmaceutiques (**Salehi et al., 2019**).

II.2.1. Domaine alimentaire

Depuis des décennies, les différentes parties du figuier de Barbarie ont été consommées traditionnellement. Le fruit, la fleur et même les cladodes tendres (*nopalitos*) étaient consommés au Mexique (**Sáenz, 2018**). Ils ont contribué dans l'alimentation humaine et animale grâce à leurs propriétés nutritionnelles et leurs activités bénéfiques (**Pérez- Torrero et al., 2017**).

La valeur nutritionnelle du fruit repose principalement sur sa teneur en vitamine C et E, des caroténoïdes, des fibres, des acides aminés, et sur de grandes quantités de glucose et de fructose. Les figues de Barbarie sont également riches en phénols, flavonoïdes, qui possèdent une activité hypoglycémique et antioxydante (**Valente et al., 2010 ; El-Mostafa et al., 2014**).

Parmi les différents extraits d'*Opuntia*, l'un des plus importants pour l'industrie alimentaire est la pectine, célèbre pour ses propriétés gélifiantes et stabilisantes (**Lefsih et al., 2017**), et le chitosane qui sont utilisés comme emballage pour la conservation alimentaire (**Kurek et al., 2021**).

Les phénols, les flavonoïdes, les bétalaïnes et les pigments ont une activité anti-radicalaire supérieure à celle de la vitamine C (**Mouas et al., 2021**).

Les deux pigments de bétaine : notamment en bétaxanthines (jaune-orange), et moins en bétacyanines (rouge-violet) (**Khan, 2016**) ont un potentiel colorant, mais sont aussi une excellente source d'antioxydants alimentaires qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé des consommateurs (**Fernández-López et al., 2012**), et comme conservateurs (**Vergara et al., 2014**).

Les cladodes sont aussi industriellement valorisés grâce à leurs propriétés gélifiantes (**Sepúlveda et al., 2007**), et leur teneur en fibre, de plus ils sont utilisés comme colorants alimentaires (**Ayadi et al., 2009**). Le mucilage est un polysaccharide provenant des cladodes et de la peau du fruit, est utilisé en tant qu'enrobage comestible pour conserver les aliments (**Sáenz et al., 2004 ; Allegra et al., 2017**).

Une production de farine de cladode est possible et peut être incorporée aux pâtes, biscuits, soupes ou desserts, augmentant ainsi la teneur en fibres (**Msaddak et al., 2017**).

Hernández-Urbiola et al., (2011) ont considéré les figues de Barbarie mûres comme une importante source de calcium pour les populations ayant une faible disponibilité de produits laitiers et pour les personnes ayant des difficultés à digérer.

Une étude de **Hadj sadok el al., (2014)** a montré que le jus de cladode possède un effet intéressant au cours d'une fermentation lactique grâce à la stimulation et au maintien de la survie des bactéries lactiques et probiotiques. De plus son addition accélère la cinétique de fermentation (**Barbara et al., 2020**).

II.2.2. Domaine pharmaceutique

En plus d'être consommées comme aliments ou boissons, la plupart des parties d'*Opuntia ficus indica* ont été utilisées comme médicaments. Selon différentes études, le cladode possède différentes activités pharmacologiques (Tilahun et Welegerima, 2018).

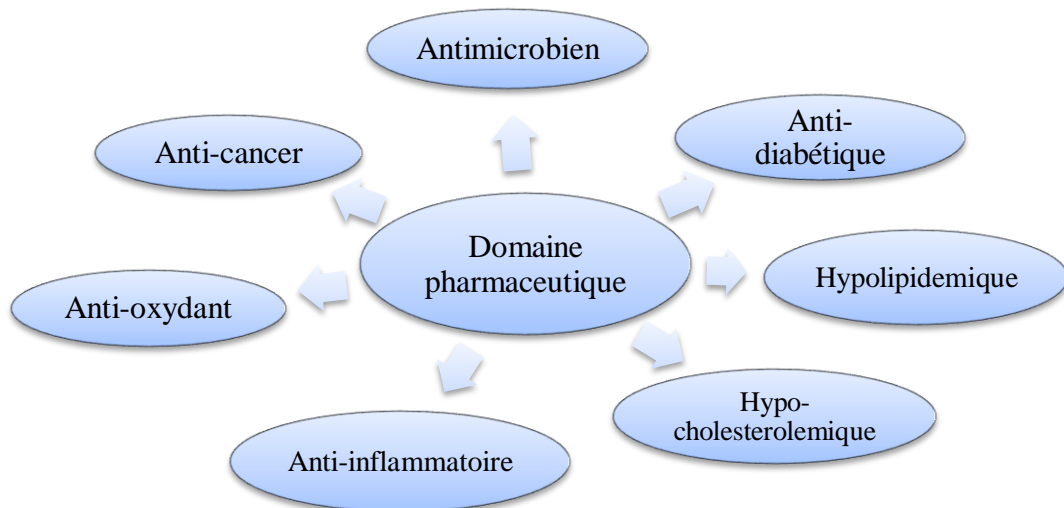


Figure 8 : Applications pharmaceutiques d'*Opuntia ficus indica*.

II.2.2.1. Propriétés antimicrobiennes

L'activité antimicrobienne des extraits de la figue de barbarie et de sa pelure dépend des espèces de bactéries, des champignons testés et des solvants utilisés (El Baltagui et al., 2019).

a. Activité antibactérienne

Des extraits d'*Opuntia ficus indica* ont montré des effets bactéricides vis-à-vis de *Campylobacter jejuni* et *Campylobacter coli*, responsables de gastroentérites d'origine alimentaire. De plus, son extrait méthanolique était efficace contre le *Vibrio cholerae*, en provoquant une rupture de la membrane, entraînant l'augmentation de sa perméabilité et donc une diminution du pH et de l'ATP. Ces données suscitent l'intérêt pharmacologique d'*Opuntia ficus indica* dans la prévention de la contamination des aliments par *Campylobacter* et *Vibrio cholerae* et dans le traitement des troubles du tractus intestinal associés à ces bactéries (El-Mostafa et al., 2014).

Le pouvoir antibactérien de la pelure de la figue de barbarie est dû à la présence de nombreux composés puissants tels que les stérols, les flavonoïdes, les tanins, les composés phénoliques et les alcaloïdes (**El Baltagui et al., 2019**).

Les alcaloïdes ont démontré une activité antibactérienne contre les trois espèces bactériennes : *Serratia marcescens*, *Escherichia coli* et *Streptococcus thermophilus*. Ces composés actifs dans ces plantes pourraient trouver place dans le traitement de diverses infections bactériennes chez la volaille où ils peuvent être utilisés comme alternative aux les médicaments antibactériens conventionnels (**Belay et al., 2015**).

De plus, les flavonoïdes agissent avec les protéines extracellulaires et la paroi bactérienne ; tandis que les tanins inactivent les adhésions microbiennes, enzymes et enveloppe cellulaire. En outre, les composés phénoliques ont démontré leur capacité à inhiber les enzymes en réagissant avec les groupes sulfhydryles des acides aminés (**Cowan,1999**).

b. Activité antifongique

En aquaculture d'eau douce, les champignons appartenant aux *Saprolegniaceae* sont responsables d'épidémies et de perte de spécimens de poissons. Les effets antifongiques d'*Opuntia stricta* (en substitut du vert malachite à effets toxiques, cancérigènes et mutagènes), vis-à-vis de *Saprolegnia* spp., et établies par des méthodes *in vitro* et *in vivo*, ont été démontrées, probablement par sa teneur en phénols : flavonoïdes, bétalaïnes et tanins. Les extraits d'*Opuntia* pourraient donc être utilisés pour le traitement des infections fongiques courantes chez les poissons (**Khemis et al. 2016**).

c. Activité antivirale

Les extraits de cladode d'*OFI* ont montré des effets antiviraux contre les virus végétaux à ARN. (**Aragona et al., 2017**).

Rasoulpour et al., (2017) ont isolé et caractérisé l'Opuntine A, une protéine anti CMV (virus mosaïque du concombre), ayant une activité ribonucléase.

La protéine Opuntine B extraite des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* se lie et interagit avec les ARN viraux, les résultats suggèrent que cette protéine peut perturber le génome du CMV (virus mosaïque du concombre) (**Rasoulpour et al., 2020**).

L'Opuntine B inhibe le CMV sur les plants de féverole et de courgette. La protéine antivirale isolée possède une activité inhibitrice contre le virus de la mosaïque jaune de la courgette (ZYMV), le virus de la mosaïque de la courge (SqMV) et le virus de la mosaïque du tabac (TMV) (Figure 9) (**Rasoulpour et al., 2018**).

II.2.2.2. Autres activités

Le figuier de barbarie a été traditionnellement utilisé en médecine populaire dans plusieurs pays du monde à des fins médicinales en raison de son rôle dans le traitement d'un certain nombre d'affections et de maladies. Le tableau 5 résume ces principales activités.

Tableau 5 : Utilisations médicinales du figuier de barbarie, *Opuntia fucus indica*.

Activité biologique	Propriétés	Référence
Anti-ulcer	Le mucilage des cladodes d' <i>Opuntia fucus indica</i> est le principal composé de l'action anti-ulcéreuse	(Maataoui et al., 2018)
	L'huile de graines d' <i>Opuntia fucus indica</i> extraite présente de puissants potentiels prophylactique et thérapeutique contre l'ulcère gastrique aigue.	(Khémiri et al., 2019)
Anti-inflammatoire et antioxydants	Le tocophérol a une activité antioxydante et anti-inflammatoire, une capacité antioxydante plasmatique et réduit les LDL.	(Berraaouan et al., 2015)
Anti-diabétique	<i>OFI</i> peut réduire la glycémie et les taux sériques d'AST, d'ALT et de triglycérides	(Jo et al., 2021)
	<i>OFI</i> empêche l'effet diabétogène du type 1 et 2, ce qui est dû probablement à la présence de composés antioxydants.	
Hypolipidémique et Hypocholestérolémique	La pectine agit dans l'absorption des lipides et réduit le taux de cholestérol. <i>OFI</i> provoque une diminution des niveaux de cholestérol, de LDL et de glucose sérique	(Fernandez et al., 1992 ; Fernandez et al., 1994 ; Saleh et al., 2020)
Anti-cancer	L'acide linoléique (oméga-6) présent dans l'huile de graine d' <i>Opuntia fucus indica</i> inhibe l'apparition des cellules métastatiques du cancer du côlon	(Afify et al., 2018)
	L'effet anticancéreux de l'extrait éthanolique est dû à la présence de polyphénols qui jouent un rôle important dans l'activité antioxydante	(El-Beltagi et al., 2018)

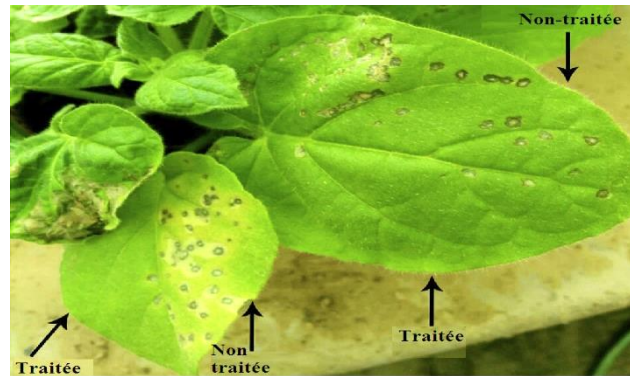


Figure 9 : Activité inhibitrice d'Opuntine B contre le virus de la mosaïque du tabac (Rasoulpour et al., 2018).

II.2.3. Utilisation en cosmétique

Récemment, l'huile de graines de cactus (*Opuntia ficus-Indica* L.) a été présentée comme un nouvel ingrédient capable de trouver rapidement sa place dans le domaine des cosmétiques de grande valeur, principalement en raison de sa composition chimique idéale pour les applications cosmétiques (Guillaume et al., 2015 ; Taoufik et al., 2015).

Actuellement, le prix du marché de l'huile de graines de cactus est estimé à 500 €/L (Gharby et al., 2021).

L'huile de graine encore extraite en quantité limitée, est utilisée dans plusieurs produits cosmétiques pour le traitement de la peau et des cheveux en les hydratants. (Ciriminna et al., 2017 a), car l'huile de cactus contient de grandes quantités de phytostérols et de tocophérols (Ciriminna et al., 2017 b).

II.2.4. Domaine écologique

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, 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).

Les *Opuntia*, en association avec d'autres espèces ligneuses ont été utilisés avec succès dans un programme de fixation des dunes de sable (Neffar, 2012).

Deuxième partie :

Matériel et méthodes

I. Récolte et préparation du matériel végétal

Dans les six articles traités, différents organes végétaux (cladodes, fruits et fleurs) du figuier de Barbarie, *Opuntia ficus indica*, ont été utilisés dans les différents tests réalisés, y compris l'activité antimicrobienne.

Blando et al., (2019), ont collecté des cladodes produisant des fruits violets à deux stades de développement : immatures, récoltées en printemps, et matures en automne. Elles ont été nettoyées des épines et des glochides, coupées en petits morceaux, traités avec de l'azote liquide, lyophilisés pendant 48 h et stockés à -20°C .

Pour **Welegrima et al., (2018)**, **Abdel-Razek et al., (2019)**, et **Aruwa et al., (2019)**, les cladodes et/ou fruits ont été lavées et désinfectées ; découpées et séchées au four à $40-50^{\circ}\text{C}$ pendant 48 à 72 h, puis broyées (ou lyophilisés à -80°C et 1 atm de pression pendant 24 h pour **Aruwa et al., (2019)**), et la poudre a été stockée à 4°C .

Ammar et al., (2015) ont utilisé des fleurs d'*Opuntia ficus indica* récoltées au stade post-floraison, séchées et broyées, puis stockées à -20°C .

Les poudres obtenues ont été stockées hermétiquement et à l'abri de la lumière jusqu'à analyse ultérieure.

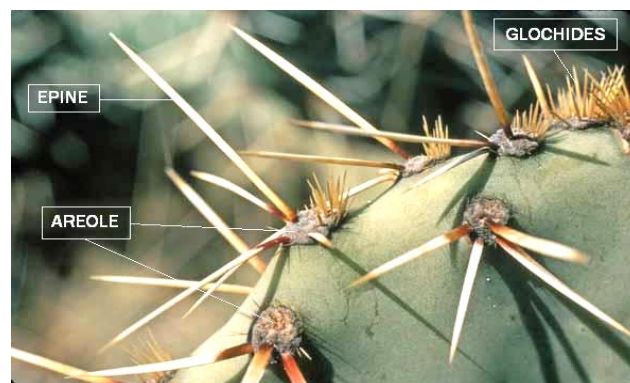


Figure 10 : Épines et glochides d'*Opuntia ficus indica*
(<https://handivert.wordpress.com>)

II. Extraction végétale

L'extraction est la première étape de toute étude sur les plantes médicinales. Elle joue un rôle important sur le résultat final. Ainsi, les propriétés antimicrobiennes étant dépendantes de la composition de la plante au moment de la récolte, le choix de la méthode d'extraction permet d'extraire les composés bioactifs d'un échantillon de plante complexe et d'augmenter la sensibilité du test biologique réalisé.

Les différentes techniques d'extraction utilisées sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6 : les différentes étapes d'extraction des différents organes d'*OFI* utilisées dans les articles étudiés.

Etapes Auteur	Extrait	Mélange	Type de concentration	[] finale en extrait	Référence
Ammar et al., (2015)	Mucilage	Fleurs fraîches dans l'eau (rapport 5 :100) / portés à 90°C pendant 3h	Filtration puis centrifugation	20%	León-Martínez et al., (2010)
	Extrait méthanolique	15 g de poudre de fleurs dans 150 mL de méthanol / reflux par Soxhlet pendant 6h (figure 11)	Filtration puis évaporation sous vide	10% dans le glycérol	
Welegerima et al., (2018)	Extraits alcooliques	100 g de poudre de cladodes dans l'éthanol, méthanol, chloroforme (rapport 1 :4) / reflux à 60°C pendant 7h	Filtration puis évaporation sous vide	10% dans le DMSO	Rahman et al., (2009)
Abdel-Razek et al., (2019)	Extrait isopropylique	Poudre de cladodes et de fruits dans l'alcool isopropylique aqueux 80% (rapport 1 : 10) / macération à 4°C pendant 24h	Filtration puis évaporation sous vide et lyophilisation	10mg/mL dans le DMSO	Shehata et al., (2017)
Aruwa et al., (2019)	Extraits alcooliques/ aqueux	5g de poudre de cladodes dans 50 mL de méthanol 80%, éthanol 80%, eau acidifiée, méthanol: acétone: eau, méthanol acidifié (avec ou sans hydrolyse par l'acide chlorhydrique concentré pendant 3h).	Filtration puis évaporation sous vide	25-300 mg/mL	(Santos-Zea et al., (2011) ; Benayad et al., (2014)
Blando et al., (2019)	Extrait méthanolique	500mg de poudre de cladodes dans 25 mL de méthanol aqueux 80% / macération d'une nuit à 4°C	Filtration puis évaporation sous vide	50 mg/mL dans l'eau distillée	Blando et al., (2019)
El-Hawary et al., (2021)	Composés volatils	1,2 kg de pelures de fruits frais, 1,1 kg de cladodes fraîches et 400g de fruits frais sont extraits par hydrodistillation dans un appareil Clevenger pendant 6h (figure 12) / puis extraits à l'hexane	Filtration sur sulfate de sodium anhydre		El-Hawary et al., (2021)

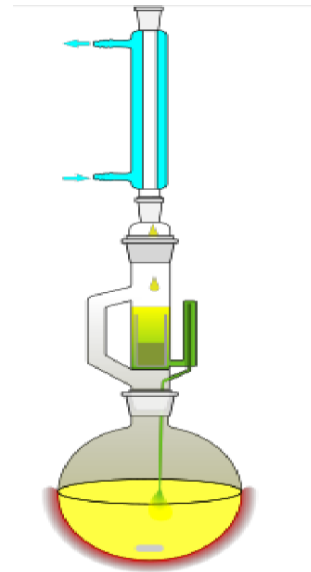
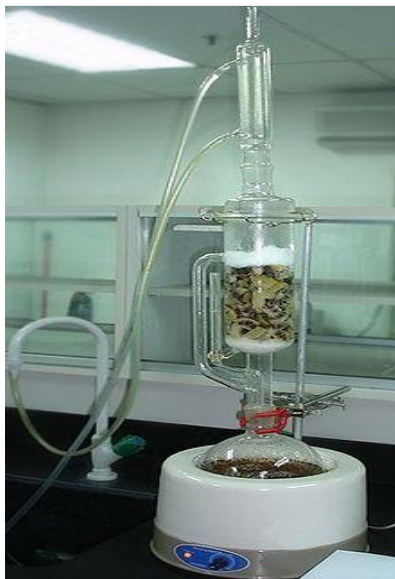


Figure 11 : Appareil d'extracteur Soxhlet (khellaf et al., 2021)

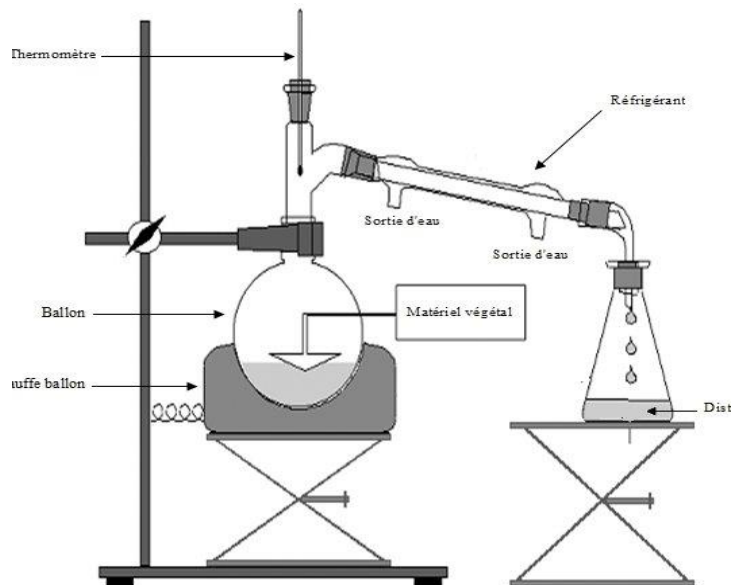


Figure 12 : Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger (Jdidi, 2015).

III. Etude phytochimique

III.1. Tests phytochimiques

Welegerima et al., (2018), ont analysé leurs extraits afin de déterminer la présence des phyto-composés actifs présents dans les extraits de la plante étudiée, comme les substances phénoliques, les tanins, les glycosides, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les stéroïdes, les sucres réducteurs et les acides aminés. Les tests phytochimiques ont été effectués selon les méthodes standards d'analyse végétale décrites par **Bruneton (1999) et Trease et Evans (2002)**. (Voir Annexe).

III. 2. Teneur en composés phénoliques

Dans l'étude de **Aruwa et al., (2019)**, les phénols totaux des extraits de cladodes ont été quantifié comme décrit par **Lee et al., (2002)**. 5 mg de poudre de cladodes ont été dissous dans 5 mL de méthanol. Le réactif de Folin-Ciocalteu (0,25 ml) et 0,05 mL de l'extrait ont été mélangés et incubés pendant 5 min à température ambiante. Ensuite, 0,5 mL de carbonate de sodium à 20 % ont été ajoutés au mélange et incubés pendant 25 min dans l'obscurité à 25 °C. Le mélange a été centrifugé pendant 5 min et l'absorbance du surnageant a été mesurée à 760 nm. Une courbe d'étalonnage a été tracée en utilisant l'acide gallique (0,1 à 1,0 mg/mL) comme référence, et la teneur en phénols totaux des extraits a été rapporté en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg GAE/g).

Selon **Blando et al., (2019)**, L'identification et la quantification des composés phénoliques dans les extraits de cladodes ont été réalisées par chromatographie liquide haute performance de type Agilent 1200 (Agilent Technologies, USA). L'identification des composés phénoliques a été confirmée par un système HPCL-TOF/SM (Agilent 6320, Agilent Technologies, USA), équipé d'une double interface ESI fonctionnant en mode ions négatifs (**Sabella et al., 2018**),

Les composés phénoliques identifiés ont été quantifiés par la méthode standard externe en utilisant une courbe d'étalonnage d'acide p-hydroxybenzoïque (0,5 à 100 mg/L), de rutine (0,5 à 50 mg/L), d'isorhamnétine (0,5 à 50 mg/L) et d'acide narcissique (0,5 à 50 mg/L).

IV. Activité antibactérienne

IV.1. Milieux de culture

Les différents milieux de culture suivants ont été utilisés pour la réalisation des tests antibactériens : bouillon nutritif (BN), gélose nutritive (GN), bouillon Mueller Hinton (MHB), gélose Mueller Hinton (MHA), bouillon Trypticase Soja (TSB).

IV.2. Souches bactériennes

Les espèces bactériennes utilisées par les auteurs des différents articles traités sont soit des souches de référence de type ATCC, CTM ou NRRL, ou des souches isolées et/ou répertoriées au sein de centres de recherche régionaux (RCMB). (Tableau 8).

Les souches bactériennes ont été entretenues sur bouillon nutritif, bouillon Trypticase Soja, ou bouillon Mueller Hinton, et incubées à 37°C pendant 24 h dans des conditions aérobies, puis conservées à 4 °C.

IV.3. Méthode de diffusion des puits sur gélose

L'activité antibactérienne des extraits d'*Opuntia ficus indica* a été effectuée par la méthode de diffusion des puits en gélose, et ce dans la plupart des articles (**Ammar et al., 2015 ; Welegerima et al., 2018 ; Aruwa et al., 2019 ; El-hawary et al., 2021**).

Des suspensions de 100 à 200 µL de chaque bactérie testée (10^6 UFC/mL) ont été aseptiquement étalées sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose Mueller Hinton. Des puits de 6 mm de diamètre ont été stérilement perforés dans la gélose inoculée.

Différentes concentrations en extraits (20 µL d'extrait à 100 mg/mL dans le DMSO pour **Ammar et al. (2015)** et **Welegerima et al. (2018)** ; 80 µL d'extrait de 25 à 300 mg/mL dans les différents solvants utilisés pour l'extraction pour **Aruwa et al. (2019)**), ont été introduits dans chaque puit.

L'ampicilline à 50 µg/mL ou la tétracycline et la vancomycine à 10 µg/mL ont été utilisés comme témoin positif ; le DMSO ou les solvants de remise en suspension comme témoin négatif. Les boîtes de Pétri ont été conservées environ 1h à 4°C pour permettre la diffusion des extraits, puis incubées 24h à 37°C. L'activité antibactérienne a été déterminée par mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour du puits (**Alabi et al., 2012 ; Monia et al., 2014**).

Tableau 7 : les différentes souches de bactéries utilisées pour le test de l'activité antibactérienne.

Gram	Espèce bactérienne	Référence
Bactéries à Gram positif	<i>Bacillus cereus</i>	ATCC10876
	<i>Bacillus subtilis</i>	S 456 (souche isolée)
	<i>Bacillus subtilis</i>	RCMB 015(1) NRRL B-543
	<i>Bacillus subtilis</i>	CTM 50077
	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	ATCC6303
	<i>Enterococcus faecalis</i>	ATCC 29212
	<i>Listeria monocytogenes</i>	ATCC 19111
	<i>Listeria monocytogenes</i>	ATCC 43251
	<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923
	<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 29213
	<i>Staphylococcus aureus</i> résistant à la méthicilline.	ATCC 33591
	<i>Staphylococcus aureus</i>	RCMB 010010
	Bactéries à Gram négatif	<i>Acinetobacter baumannii</i>
<i>Escherichia coli</i>		ATCC 25922
<i>Enterobacter cloacae</i>		ATCC BAA1143
<i>Enterobacter aerogenes</i>		ATCC 13048
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		ATCC 700603
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		ATCC 27853
<i>Salmonella arizonae</i>		ATCC 13314
<i>Salmonella typhi</i>		B 2836 (souche isolée)
<i>Salmonella typhimurium</i>		ATCC 14028

ATCC : American Type Culture Collection, CTM : Collection Tchèque de Microorganismes, NRRL(ARS) : Agricultural Research Service Culture Collection, RCMB : Regional Center for Mycology and Biotechnology (Egypte).

IV.4. Détermination des Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)

Les CMI des extraits ont été déterminées par la technique de microdilution en bouillon dans des plaques de microtitration stériles de 96 puits. Une culture bactérienne de 18 à 24 h de chaque souche étudiée cultivée en bouillon MHB est ajustée à une turbidité de 0,5 standard Mac-Farland a été utilisée.

Des puits contenant 80 μL de l'extrait végétal à des concentrations allant de 25 à 300 mg/mL ont été inoculés avec 10 μL de chaque suspension bactérienne dans le travail de **Aurwa et al., (2019)**, ou contenant 100 μL de l'extrait (50 à 2000 $\mu\text{g/mL}$) et inoculés avec 50 μL de la suspension bactérienne, dans le travail de **Blando et al., (2019)**, puis 100 μL de milieu MHB ont été ajoutés dans chaque puits.

Les plaques de microtitration ont été recouvertes et incubées à 37 °C pendant 24 h. Ensuite, la lecture de densité optique (DO) a été effectuée à 600 nm en utilisant un lecteur de microplaques. Des extraits dans bouillon (témoins négatifs) et des suspensions bactériennes seules (témoins positifs) ont été également inclus dans des puits séparés. La CMI est définie comme la plus faible concentration de l'extrait qui aurait visiblement inhibé la croissance (réduction de la DO) (**Adamez et al., 2012 ; Sen et Batra, 2013**).

La détermination des CMI des composés volatils des cladodes et des fruits a été réalisée également par **El-Hawary et al., (2021)**, vis-à-vis d'espèces bactériennes, par la méthode de diffusion des puits sur gélose, en utilisant la gentamicine comme antibiotique de référence.



Figure 13 : Microplaques de 96 puits (Zarrouq, 2010)

V. Activité antifongique

V.1. Souches fongiques

L'activité antifongique des extraits des cladodes et des fruits d'*Opuntia ficus indica* a été étudiée dans le travail d'**Abdel-Razek et al., (2019)**, vis-à-vis de huit souches de moisissures, *Aspergillus niger* ITEM 3856, *Penicillium chrysogenum* ATCC 10106, *Fusarium graminearum* KF841, *Fusarium culmorum* KF191, *Fusarium culmorum* KF846 et *Fusarium oxysporum* ITEM 12591, *Fusarium verticillioides* FM19 et *Fusarium culmorum* P846, (deux souches produisant des toxines, la zéaralénone et la désoxynivalénole).

El-Hawary et al., (2021), ont utilisé la moisissure *Aspergillus flavus* RCMB002002, et la levure *Candida albicans* RCMB 005003(1) ATCC10231, pour le test antifongique des composés volatils extraits des cladodes et des fruits d'*OFI*.

Ces souches ont été entretenues sur milieu potato dextrose agar (PDA) pour les moisissures et la gélose Sabouraud pour la souche de levure, puis conservées à 4°C.

ITEM: Agro-Food Microbial Culture Collection

ATCC: American Type Culture Collection

RCMB: Regional Center for Mycology and Biotechnology (Egypte)

V.2. Test antifongique

Le test d'inhibition fongique a été utilisé pour déterminer l'activité antifongique de l'extrait isopropylique préparé par **Abdel-Razek et al., (2019)**, et des composés volatils extraits par **El-Hawary et al., (2021)**, vis-à-vis de souches de moisissures et une souche de levure comme décrit par **Shehata et al., (2017)**.

Des puits de 6 mm de diamètre ont été stérilement perforés dans la gélose PDA (Potato Dextrose Agar) coulée en boîtes de Pétri. 20 µL de l'extrait végétal à 10 mg/mL ont été introduites dans chaque puits. Des parcelles de 1 mm du mycélium fongique coupés du bord des colonies en croissance active ont été inoculés au centre de la boîte. Les boîtes sont incubées en conditions d'humidité à 25°C. La nystatine ou la kétoconazole ont été utilisés comme contrôle positif.

L'effet inhibiteur des extraits a également été évalué vis-à-vis de deux souches de *Fusarium* (*F. verticillioides* FM 19 et *F. culmorum* P 846) qui produisent deux toxines, la zéaralénone et la désoxynivalénole.

La détermination des CMI des composés volatils des cladodes et des fruits a été réalisée également par **El-Hawary et al., (2021)**, vis-à-vis de la moisissure *Aspergillus flavus*, et la levure *Candida albicans*, par la méthode de diffusion des puits sur gélose, en utilisant la kétoconazole comme antifongique de référence.

VI. Activité anti-biofilm

Blando et al., (2019) ont étudié le pouvoir inhibiteur des extraits de cladode d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis de la formation de biofilm. Le test de formation et d'élimination du biofilm a été déterminé par la méthode décrite par **Di Ciccio et al., (2015)** avec quelques modifications.

Deux souches de *Staphylococcus* ont été utilisées : *Staphylococcus aureus* ATCC 35556, producteur de biofilm et *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, utilisé comme contrôle négatif, ne produisant pas de biofilm.

Le test a été réalisé dans une microplaque de 96 puits stérile. 100 µL de la culture de *Staphylococcus aureus* (d'environ 10⁶ UFC/mL) ont été inoculées et cultivées avec ou sans 100 µL d'extrait de cladodes (à des concentrations allant de 50 à 1500 µg/mL) à 37 °C. Après 24 h d'incubation, les bactéries non fixées ont été éliminées par lavage des puits trois fois avec du tampon phosphate stérile. Les échantillons ont été fixés à 60 °C pendant 1 h et les biofilms ont été colorés avec une solution à 0,1% de cristal violet dans l'eau, puis lavés trois fois avec de l'eau distillée.

Les échantillons ont été traités avec 125 µL d'acide acétique à 30% pour les décolorer, et l'analyse quantitative a été réalisée par mesure de la DO à 492 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques **O'Toole, (2011)**. Le pourcentage d'inhibition du biofilm a été déterminé par la formule :

$$\text{Réduction du biofilm \%} = \frac{DO_{\text{control}} - DO_{\text{échant}}}{DO_{\text{control}}} \times 100$$

VII. Activité de cicatrisation des plaies

Dans l'article de **Ammar et al., (2015)**, les extrait de fleurs d'*Opuntia ficus indica* ont été testés pour étudier leur pouvoir cicatrisant des plaies.

VII.1. Animaux

Des rats Wistar mâles, âgés de 2 à 3 mois et pesant 186 ± 7 g (Figure 14), ont été utilisés pour les essais expérimentaux. Les rats ont été placés individuellement dans des conditions environnementales standards de température (22 ± 3°C), d'humidité (60 ± 5%) et d'un cycle lumière/obscurité de 12 h. Tout au long de l'expérience, les animaux ont reçu un régime standard de graines et d'eau.



Figure 14: Rat Wistar mâle (Bobekar, 2012)

VII.2. Induction mécanique des plaies

Le jour de l'expérience (considéré comme le jour 0), les rats ont été anesthésiés par une injection intramusculaire de 50 mg/kg de poids corporel de kétamine (anesthésique général) et de 5 mg/kg de poids corporel de Midazolam (substance myorelaxante utilisée comme adjuvant en anesthésie). Le dos des animaux a été rasé avec une tondeuse électrique et nettoyée. Une plaie de grande épaisseur (1,5 cm × 1 cm) a été formée sur la face dorsale de chaque animal en excisant la peau jusqu'au tissu sous-cutané à l'aide d'un ciseau chirurgical.

Les animaux ont été répartis au hasard en cinq groupes de six rats, dont chaque groupe a été traité de façon différente (tableau 8).

Tableau 8 : Les différents traitements de chaque groupe de rats

Groupe	Traitement
Groupe I	rats traités avec 0,5 mg/mm ² d'extrait de mucilage
Groupe II	rats traités avec 0,5 mg/mm ² d'extrait de méthanol
Groupe III	rats traités avec du glycérol
Groupe IV (témoin positif)	rats traités avec la crème "Cicaflora ®" et ont servi de référence
Groupe V (groupe témoin)	rats non traités (nettoyage des plaies avec une solution saline)

Les expériences ont impliqué des traitements topiques quotidiens à l'aide de pansements stériles jusqu'à la cicatrisation complète des plaies d'un groupe par rapport aux autres. Le traitement a duré 13 jours consécutifs.

La crème réparatrice "Cicaflora ®" a été utilisée comme médicament de référence. Elle contient 10% d'extrait de *Mimosa tenuiflora*, connu pour sa capacité à régénérer les cellules épidermiques endommagées et à stimuler la réparation de la peau (Rivera-Arce et al., 2007).

VII.3. Évaluation de la cicatrisation des plaies

L'efficacité de la cicatrisation des plaies a été déterminée par la soumission de photographies en série quotidiennes pour une évaluation chromatique. Les taux de cicatrisation ont été évalués sur la base d'une analyse colorimétrique comme suit :

Rouge vif = sang recouvrant la plaie, rouge foncé = coagulation du sang dans l'épiderme, rouge = tissu de granulation, et rose = phase d'épithélialisation (**Teot et al., 2001**).

VII.4. Mesure de la surface de la plaie

Pendant la période de cicatrisation, les limites de la plaie ont été tracées manuellement à l'aide de papier transparent. La surface des plaies a été ensuite mesurée à l'aide d'un logiciel de conception et de dessin (Auto CAD RL 14). La contraction de la plaie, exprimée en pourcentage de réduction de la taille initiale de la plaie, a été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Cicatrisation de la plaie (\%)} = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \times 100$$

Dont : A_0 désigne la taille initiale de la plaie, et A_n représente la taille de la plaie à un jour donné.

VII.5. Évaluation histologique

Le dernier jour de l'expérience (13^{ème} jour après la blessure), tous les animaux ont été sacrifiés, et le tissu moyen de la zone de la plaie de chaque animal a été excisé et collecté pour une observation histologique.

Tous les tissus des échantillons ont été fixés dans une solution de formol neutre tamponné à 10 %, incorporés dans de la cire de paraffine, coupés en sections de 5 μm d'épaisseur et colorés à l'hématoxyline-éosine. Les lames ont été photographiées avec un appareil photo (Olympus U-TU1X-2) connecté à un microscope (Olympus CX41 ; Tokyo, Japon).

Troisième partie :

Résultats et Discussion

I. Etude phytochimique

I.1. Rendement d'extraction

Les rendements des extraits lyophilisés (10,5 à 16,7 %) étaient environ 10 fois supérieurs à ceux des extraits séchés au four (1,1 à 2,5 %). L'utilisation de la lyophilisation et de solvants d'extraction organiques aqueux a considérablement augmenté les rendements des extraits. Les extraits à l'eau acidifiée et le mélange méthanol : acétone : eau ont eu les rendements lyophilisés les plus élevés.

Un séchage pendant une longue période (48-72 h) pourrait considérablement réduire les rendements des extraits séchés au four. La lyophilisation minimise l'impact sur les propriétés nutritionnelles des aliments et assure la conservation des propriétés phytochimiques (**Reyes et al., 2011**).

I.2. Tests phytochimiques

La recherche qualitative des composés phytochimiques effectuée par **Welegerima et al., (2018)** dans les extraits de cladodes d'*Opuntia ficus-indica* a révélé la présence de composés phénoliques, de tanins, de glycosides, d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de saponines, de stéroïdes, et d'acides aminés, avec absence de sucres réducteurs. Le tableau 9 résume les résultats de l'analyse phytochimique des extraits de cladodes d'*Opuntia ficus-indica*.

Ces métabolites contenus dans les différents organes des plantes médicinales peuvent être considérés comme une source naturelle de substances précieuses pour la santé et facilement disponibles (**Cioch et al., 2017**). Ils ont fait l'objet d'un grand nombre d'études pharmacologiques et ont démontré un énorme potentiel d'activités biologiques : antibactériennes, antioxydantes et antifongiques (**Anyasor et al., 2010**).

Les extraits d'*Opuntia ficus indica* pourraient être considérés comme une source potentielle de composés phytochimiques. En effet, *Opuntia ficus indica* est l'une des plantes médicinales les plus importantes qui ont été utilisées traditionnellement pour le traitement de différentes maladies infectieuses à travers le monde (**Rahman et al., 2009**).

Tableau 9 : Résultats des tests phytochimiques des extraits de cladodes d'*Opuntia ficus-indica* (Welgerima et al., 2018).

Composés phytochimiques	Solvants		
	Méthanol	Chloroforme	Ethanol
Phénols	+	+	+
Flavonoïdes	+	+	+
Tannins	+	+	+
Stéroïde	+	+	+
Saponines	+	+	+
Alcaloïdes	+	+	+
Glycoside	+	+	+
Sucres réducteurs	-	-	-
Phlobatannis	+	+	+
Acides aminés	+	+	+

+ présence ; - absence

I.3. Teneur en composés phénoliques

Selon l'étude de **Blando et al., (2019)**, les extraits phénoliques de cladodes immatures et matures ont révélé une présence prédominante d'acides piscidique et eucomique. Ces acides phénoliques ont été identifiés sur la base de leurs temps de rétention, leurs spectres UV-Visible et leur type de fragmentation ; leurs caractéristiques spectrales (HPLC-TOF/SM) ont été comparées celles de la littérature (**Ginestra et al., 2009 ; Santos-Zea et al., 2011**) (Figure 15).

Dans les cladode matures, l'acide piscidique est prédominant, alors que l'acide eucomique était en concentration élevée dans les cladodes immatures (Tableau 10). La quantité d'acides piscidiques et eucomiques trouvée dans le cladode d'*O. ficus indica*, en particulier au stade immature, est exceptionnellement élevée.

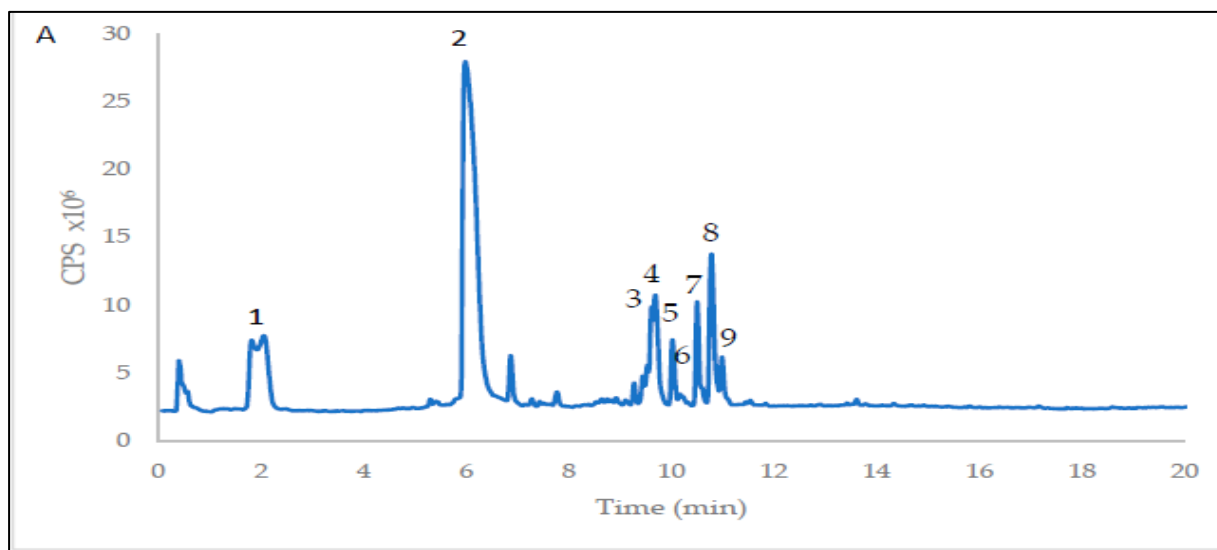


Figure 15 : Chromatogramme (HPLC-TOF/SM) de l'extrait d'*Opuntia ficus-indica* de cladodes immatures (*imm*). Le profil chromatographique de l'extrait de cladode mature (*m*) était similaire, à l'exception du glucoside d'isorhamnétine (pic 9), présent uniquement dans (*imm*). (Blando et al., 2019).

(1-Acide piscidique ; 2-Acide eucomique ; 3-isorhamnétin rhamnosyl rutinoside 4-isorhamnétin glycosyl rhamnosyl pentoside ; 5-Rutine ; 6-Isorhamnetin sambubioside : 7-Kampherol glucosyl rhamnoside ; 8-Narcissine (isorhamnétin rutinoside) ; 9-Glucoside d'isorhamnétin).

Tableau 10 : Teneurs en acides phénoliques et en flavanols d'extraits de cladodes matures et immatures d'*Opuntia ficus indica* (Blando et al., 2019).

Composés phénoliques	Cladodes immatures (mg/g Poids sec)	Cladodes matures (mg/g Poids sec)
Acide piscidique	1,984 ± 0,019	3,281 ± 0,032
Acide eucomique	13,506 ± 0,143	1,616 ± 0,02
Isorhamnetine rhamnosyle rutinoside	0,411 ± 0,003	0,187 ± 0,012
Isorhamnetine glucosyl rhamnosyle pentoside	0,296 ± 0,004	0,266 ± 0,007
Rutine	2,030 ± 0,023	0,752 ± 0,004
Narcissine (isorhamnétine rutinoside)	3,188 ± 0,042	1,160 ± 0,029
Glucoside d'isorhamnetine	0,465 ± 0,021	ND

ND : Non Détecté

Le tableau révèle aussi la présence de composés flavonols (principalement les dérivés d'isorhamnétine et la rutine), et de narcissine, dans les deux stades de maturation des cladodes. Ces résultats étaient en accord avec ceux trouvés dans des travaux antérieurs (**Guevara-Figueroa et al., 2010 ; Medina-Torres et al., 2011**).

Le figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica*, peut être considérée comme une plante prometteuse grâce à la présence de dérivés d'isorhamnétine, d'acides piscidique et eucomique en quantité élevée, pour le développement de produits pharmaceutiques à base de polyphénols. L'effet de ces composés phénoliques a été évalué *in vitro* pour lutter contre l'hypercholestérolémie (**Ressaissi et al., 2017**), et contre le stress oxydatif induit par les UVA sur les kératinocytes humains (**Petruk et al., 2017**), suggérant une utilisation pharmaceutique des extraits de cladodes.

Dans le travail de **Aruwa et al., (2019)**, la teneur en phénols totaux des extraits non hydrolysés variait de 1,07 à 10,46 mg GAE/g. Ces faibles valeurs peuvent être attribuées aux différences de maturation des cladodes, de climat, de lieu de croissance, du solvant d'extraction et des méthodes de quantification utilisées (**Kim et al., 2013**).

Les extraits lyophilisés d'éthanol et de méthanol ont présenté la concentration des phénols totaux la plus élevée, ce qui peut être dû à la polarité plus élevée des solvants d'extraction. Dans les extraits lyophilisés, l'extrait méthanol acidifié (MA) a montré une bonne teneur en phénols totaux (7,04 mg GAE/g), comparé aux extraits méthanol : acétone : eau (MAW) (5,02 mg GAE/g) et celui de l'eau acidifiée (AQ) (2,12 mg GAE/g).

Cette faible teneur en phénols des extraits MAW et AQ non hydrolysés peut être due à leur nature visqueuse qui n'a pas permis la libération de certains constituants phénoliques. La viscosité des extraits a été réduite par l'application de l'hydrolyse acide pour une meilleure détermination de la teneur en phénols. L'hydrolyse a entraîné une augmentation de 1,4 à 8 fois de la teneur en phénol des extraits hydrolysés de MAW et AQ par rapport aux extraits non hydrolysés, ce qui a été prouvé lors d'études antérieures (**Avila-Nava et al., 2014 ; Durazzo et al., 2016**).

II. Activité Antibactérienne

II. 1. Méthode de diffusion des puits en gélose

Selon l'étude de **Ammar et al., (2015)**, Les activités antibactériennes des extraits de mucilage et de méthanol des fleurs d'*O. ficus indica*, ont été évaluées. Les résultats des zones d'inhibition trouvés sont représentés dans la figure 16.

Les souches de *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus* se sont avérées les plus sensibles avec des diamètres d'inhibition de 25 mm et 14,5 mm pour l'extrait méthanolique et de mucilage, respectivement. Les deux extraits ont présenté une activité antibactérienne moyenne vis-à-vis d'*Escherichia coli*, et l'extrait de mucilage présentait des effets meilleurs que l'extrait au méthanol. Cette inhibition reste inférieure à celle du contrôle positif (19 mm de zone d'inhibition pour l'ampicilline). Aucune activité n'a été décelée pour *Pseudomonas aeruginosa*.

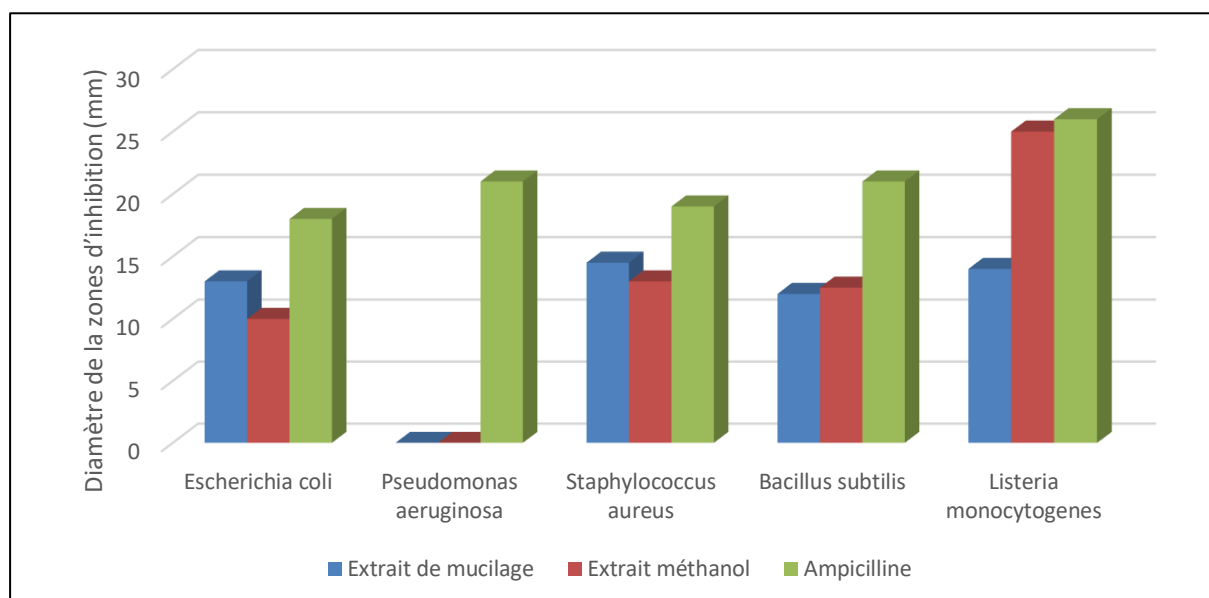


Figure 16 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) du mucilage et de l'extrait méthanolique des fleurs d'*Opuntia ficus indica* (**Ammar et al., 2015**).

Pour **Welegerima et al., (2018)** ont trouvé une activité importante des extraits de méthanol et de chloroforme des cladodes d'*OFI* vis-à-vis des souches *Streptococcus pneumoniae* ATCC6303 et *Bacillus subtilis* B2836 (diamètre de 16 mm), valeurs supérieures à celles des antibiotiques de référence, la tétracycline (6 et 8 mm) et la vancomycine (6 et 13 mm) (figure 17). En revanche, une faible activité a été décelée pour l'extrait de méthanol vis-à-vis de *Salmonella typhi* S456 (10,5 mm).

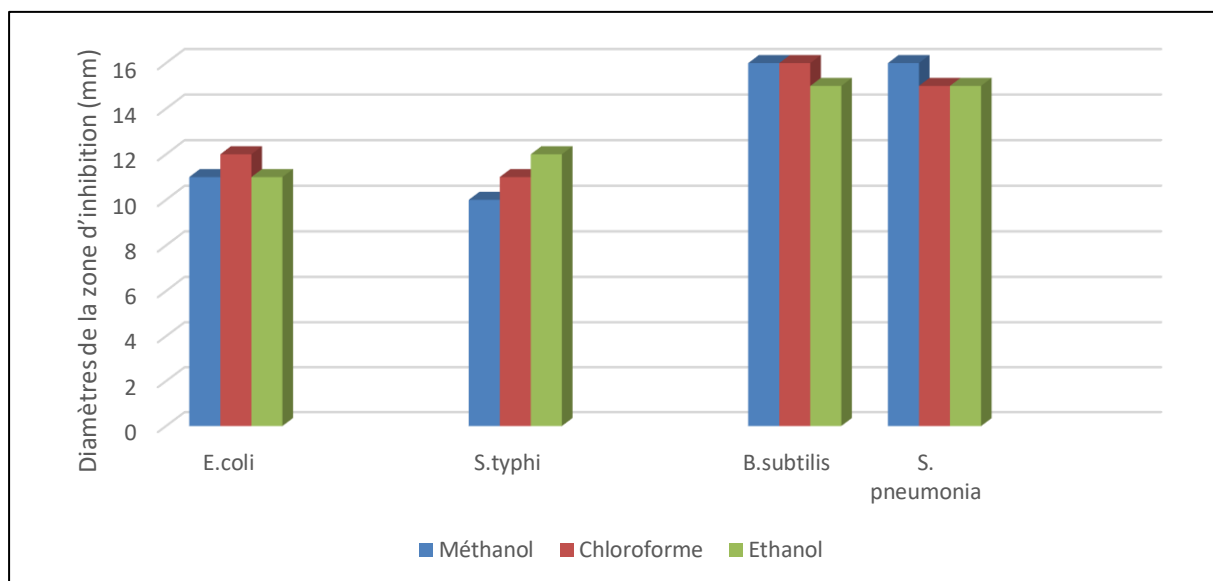


Figure 17 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) des extraits des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* (Welegerima et al., 2018)

Les résultats d'étude de **Aruwa et al., (2019)**, ont montré que les extraits hydro-alcooliques et hydrolysés des cladodes ont fourni une activité antibactérienne plus puissante que celle des extraits non hydrolysés. Leurs zones d'inhibition variaient de 10,0 à 24,0 mm et de 12,0 à 35,0 mm pour les extraits non hydrolysés et hydrolysés respectivement. *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 (20 mm) et *Listeria monocytogenes* ATCC 19111 (24 mm) ont été fortement inhibées par les extraits à l'éthanol et au méthanol acidifié, respectivement. *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 et SARM *Staphylococcus aureus* ATCC 33591 ont été significativement inhibés avec les plus grandes zones à 34 et 35,1 mm, respectivement.

La faible activité des extraits non hydrolysés peut être dû au type de solvant utilisé, aux phénols non libérés ou liés dans les matrices d'extraits (**Avila-Nava et al., 2014**), et/ou à l'incapacité des composés extraits à diffuser dans la gélose (**Kurek et al., 2011**).

Concernant le travail d'**El Hawary et al., (2021)**, l'activité antibactérienne des constituants volatils des différentes parties d'*Opuntia ficus indica*, a présenté différents niveaux d'inhibition vis-à-vis des souches bactériennes testées (Figure 18). Ainsi, les résultats ont montré que l'activité inhibitrice des composés volatils (CV) des pelures de fruits était plus importante vis-à-vis de toutes les bactéries testées : *Staphylococcus aureus* RCMB 010010 (12 mm), *Bacillus subtilis* RCMB 015(1) (14 mm), *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 (13 mm) et *Esherichia coli* ATCC 25955 (15 mm).

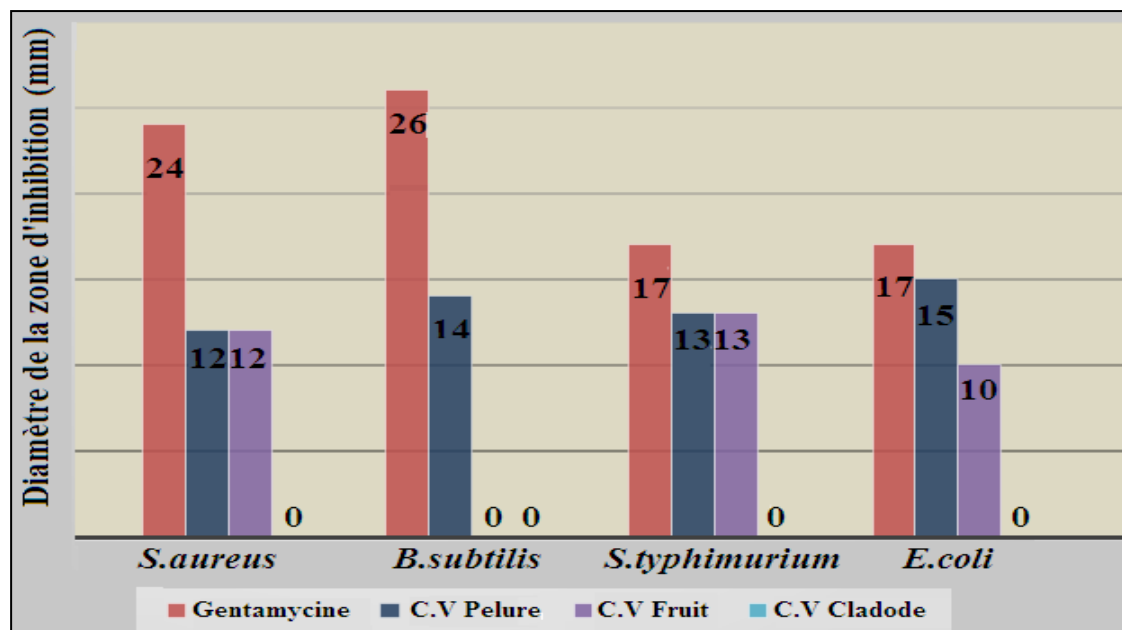


Figure 18 : Diamètres des zones d’inhibition (mm) des composés volatils d’*Opuntia ficus indica* (El Hawary et al., 2021)

L’activité des CV de la pulpe des fruits était plus faible contre les espèces bactériennes, sauf pour *B. subtilis* qui n’a donné aucune inhibition. Ces inhibitions restent inférieures à celles du contrôle positif (Gentamycine). Cependant, les composés volatils des cladodes n’ont présenté aucune activité inhibitrice vis-à-vis des souches testées.

Nous remarquons que les souches bactériennes à Gram positif testées dans les articles traités (*S. aureus*, *E. faecalis*, *B. subtilis* et *L. monocytogenes*), ont présenté des niveaux de sensibilité plus marqués par rapport à celles à Gram négatif (*E. coli*, *S. typhimurium*, *K. pneumoniae* et *P. aeruginosa*).

En effet, les bactéries à Gram positif possèdent des couches de peptidoglycane dans leurs parois cellulaires qui facilitent la pénétration des agents antimicrobiens. La diffusion des composés hydrophobes est restreinte chez les bactéries à Gram négatif en raison de la membrane externe en lipopolysaccharides qui agissent comme une barrière et rendent les cellules moins sensibles aux agents antimicrobiens (Guevara-Figueroa et al., 2010 ; Kurek et al., 2011).

II.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI)

Dans les travaux de **Blando et al., (2019)**, et de **Aruwa et al., (2019)**, la détermination des valeurs des CMI a été effectuée par la mesure de la DO à 600 nm en présence de doses croissantes d'extrait de cladode.

Blando et al., 2019, ont comparé l'activité inhibitrice des cladodes mature et immature. Les cladodes immatures ont présenté un pouvoir antibactérien plus important par rapport aux cladodes matures, avec des CMI de 1500 et 2000 µg/mL vis-à-vis d'*E.coli*, *S. typhimurium* et *E. aerogenes*, et de 1000 et 1500 µg/mL vis-à-vis de *S. faecalis* et *S. aureus*, pour les cladodes immatures et matures, respectivement (figure 19).

Les CMI vis-à-vis des cellules planctoniques de *Staphylococcus aureus* ATCC 35556, producteur de biofilm, était de 1000 et 700 µg/mL pour les extraits matures et immatures, respectivement.

L'activité antimicrobienne des extraits de cladodes d'*Opuntia* pourrait être liée à sa teneur élevée en polyphénols, en particulier en isorhamnétine, pouvant exercer une activité antimicrobienne (**Bhattacharya et Koley, 2016**).

En général, les composés phénoliques sont impliqués dans les dommages membranaires, la liaison aux protéines et aux parois cellulaires et l'inactivation des enzymes ; ils peuvent agir comme pro-oxydants, entraînant des dommages à l'ADN, aux lipides et à d'autres molécules biologiques (**Duda-Chodak et al., 2015**).

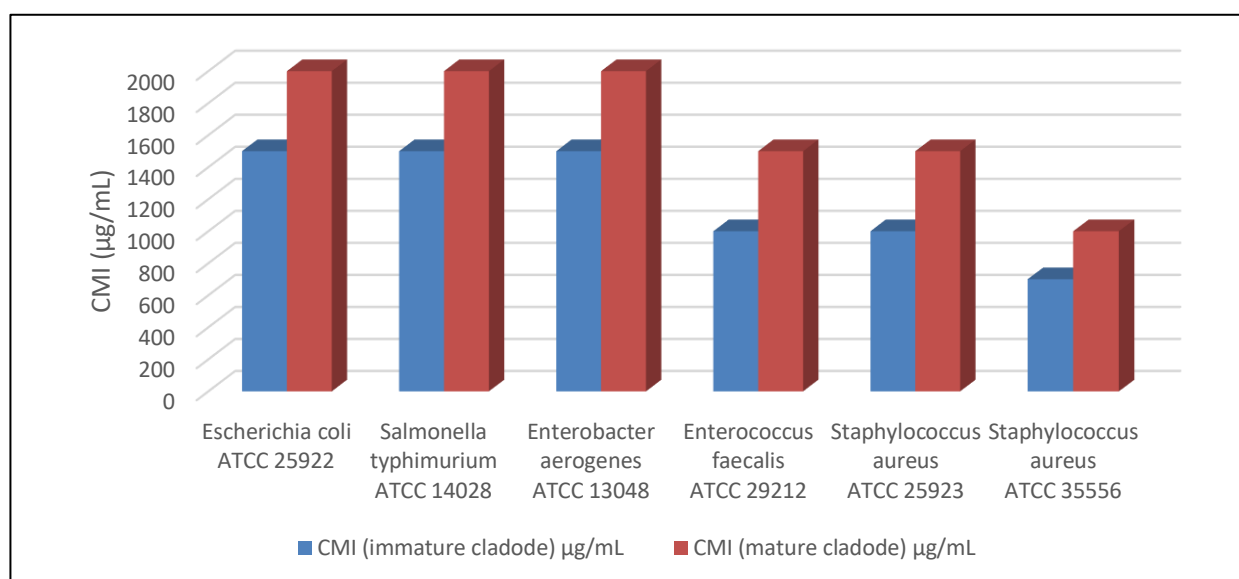


Figure 19 : Concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits de cladodes matures et immatures contre les souches bactériennes testées. (**Blando et al., 2019**)

Pour **Aruwa et al., (2019)**, les CMI pour les extraits des cladodes variaient de 50 à 300 mg/mL pour les extraits non hydrolysés. Les extraits hydrolysés étaient plus efficaces avec des CMI les plus faibles et qui variaient de 25 mg/mL pour *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 et *Acinetobacter baumannii* ATCC BAA1605, à 250 mg/mL pour MRSA *Staphylococcus aureus* ATCC 33591). Cette variation observée des valeurs de CMI peut être attribuée à des différences dans les techniques appliquées telles que la durée d'incubation et la quantité de l'inoculum utilisée (**Kalil et al., 2014 ; Moosazadeh et al., 2014**).

La libération des polyphénols a été signalée à partir des fibres et des résidus de cladodes lors de l'hydrolyse acide et a eu un impact positif sur les activités biologiques des extraits qui en sont dérivés (**Bensadón et al., 2010**). La teneur en extraits de composés poly-hydroxylés, d'acides phénoliques, de dérivés de flavonoïdes et d'autres composés pourrait être responsable de l'activité antibactérienne à large spectre décelée (**Aurwa et al., 2019**).

El-Hawary el al., (2021), ont déterminé les CMI des composés volatils (CV) des différents extraits d'*Opuntia ficus indica*. Les résultats sont en accord avec ceux des zones d'inhibition. Les CV des pulpes et des pelures des fruits ont présenté une activité moyenne avec des valeurs de CMI entre 2500 et 5000 µg/mL vis-à-vis des différentes souches bactériennes testées ; contrairement aux CV des cladodes qui n'ont marqués aucun effet (tableau 11). Cependant, ces valeurs restent toujours inférieures à celles du contrôle positif (Gentamycine).

Tableau 11 : CMI (µg/mL) des constituants volatils de la pulpe et des pelures des fruits, et des cladodes d'*OFI* vis-à-vis des bactéries testées (**El Hawary el al., 2021**).

Microorganisme	Contrôle positif	Échantillons		
		Pulpe de Fruit	Pelure de fruit	Cladode
<i>Staphylococcus aureus</i> RCMB 010010	1	5000	5000	ND
<i>Bacillus subtilis</i> NRRL B-543	2	NA	2500	ND
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25955	2	2500	2500	ND
<i>Salmonella typhimurium</i> ATCC 14028	0.5	5000	5000	ND

ND : Non Détecté

III. Activité Antifongique

El Hawary el al., (2021), ont testé l'activité antifongique des constituants volatils (CV) extraits à partir des pulpes et des pelures de fruits, ainsi que des cladodes d'*OFI*, vis-à-vis d'*Aspergillus flavus* RCMB 002002 et de la levure *Candida albicans* ATCC 10231. Les résultats représentés sur la figure 20 et dans le tableau 12, indiquent un parfait accord entre les zones d'inhibition et les valeurs des CMI trouvées.

Aucune activité antifongique des constituant volatils des différentes parties de la plante n'a été décelée vis-à-vis de la levure *C. albicans*. Une faible activité (12 mm, 5000 µg/mL), des CV des pelures de fruit d'*Opuntia ficus indica*, a été noté vis-à-vis de la moisissure *Aspergillus flavus*.

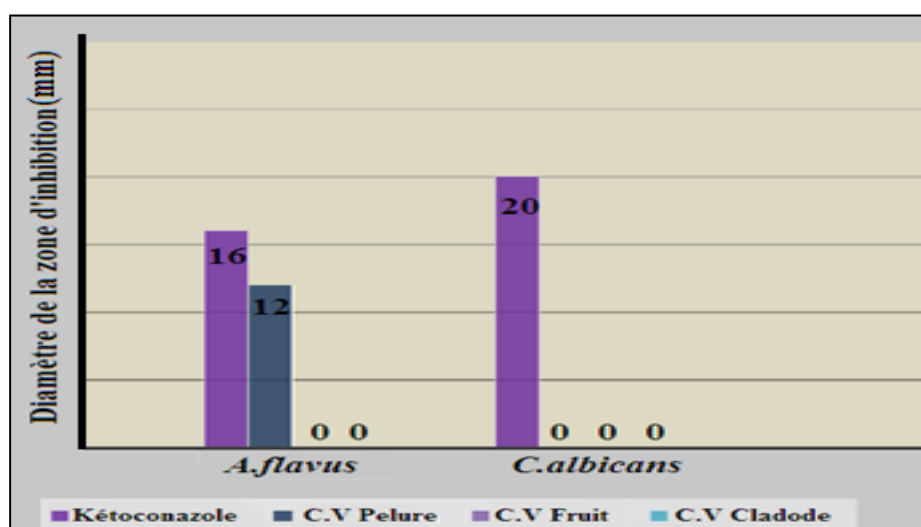


Figure 20 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) des CV des pulpes et pelures de fruit, et des cladodes d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis des champignons testés (El Hawary el al., 2021).

Tableau 12 : CMI (µg/ml) des CV des pulpes et pelures de fruit, et des cladodes d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis des champignons testés (El Hawary el al., 2021).

Microorganisme	Contrôle positif	Échantillons		
		Pulpe de fruit	Pelure de fruit	Cladode
<i>Aspergillus flavus</i> RCMB 002002	1	ND	5000	ND
<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	2	ND	ND	ND

ND : Non Détecté

L'effet inhibiteur des extraits des pelures des fruits et cladodes d'*Opuntia ficus indica* a été étudié par **Abdel-Razek et al., (2019)**, vis-à-vis de diverses souches fongiques. Les résultats, représentés sur la figure 21, ont montré différents niveaux d'activité antifongique. Les diamètres variaient entre 11 mm vis-à-vis de *Fusarium graminearum* KF841, et 15 mm vis-à-vis de *Fusarium culmorum* KF191 pour les extraits de cladodes ; et entre 7 et 10 mm vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* ITEM 12591 et *Fusarium culmorum* KF191, respectivement.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Khémiri et al., (2019)**, où l'huile d'*Opuntia ficus indica* avait présenté une capacité importante à réduire et à inhiber la croissance de souches pathogènes fongiques appartenant aux genres et espèces : *Candida parapsilosis*, *Candida sake*, *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*.

Les extraits de cladodes ont montré une activité plus élevée vis-à-vis de toutes les souches testées par rapport à l'extrait de pelures, suggérant le lien entre la composition de ces extraits en polyphénols et en flavonoïdes et leur activité antifongique.

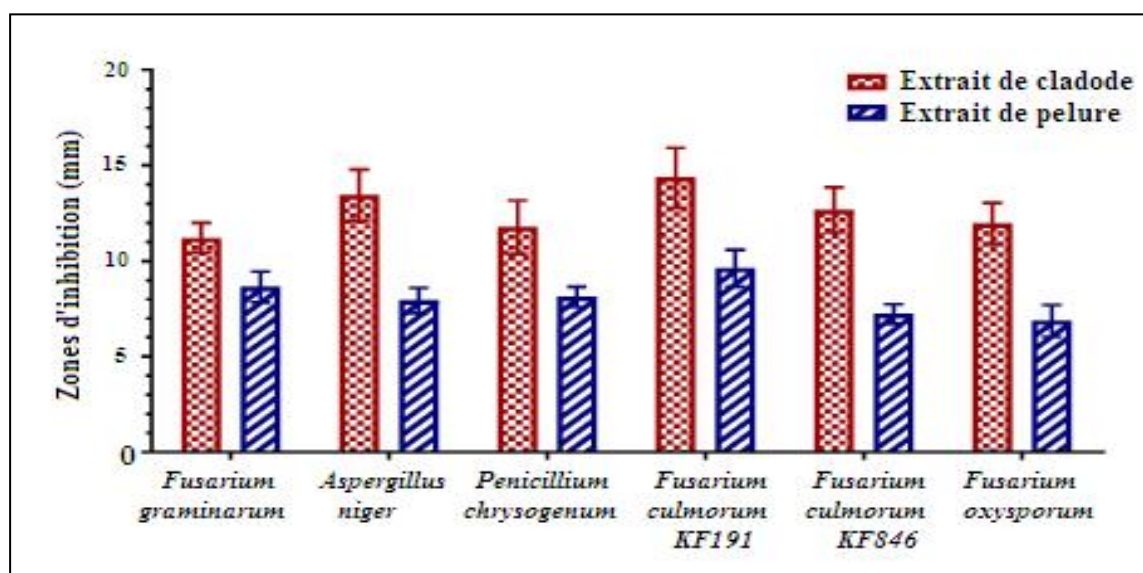


Figure 21 : Activité antifongique des extraits des fruits et des cladodes d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis des souches fongiques (**Abdel-Razek et al., 2019**).

La capacité antifongique des extraits des pelures des fruits et cladodes d'*Opuntia ficus indica* a été également étudié vis-à-vis de deux isolats de souches de moisissures du genre *Fusarium* : *F. verticillioides* FM19 et *F. culmorum* P846, produisant des mycotoxines, la zéaralénone et la désoxyrnivalénole.

En effet, les champignons toxigènes représentent une source de danger couplé sur les produits alimentaires (contamination par des champignons et leurs toxines). L'ingestion

chronique à fortes doses de ces deux mycotoxines modifie la réponse immunitaire, provoque des dommages aux organes, et pourrait être associée à diverses maladies (Reddy et al., 2018).

Dans la figure 22, les cladodes ont manifesté des propriétés inhibitrices plus efficaces que les pelures, par rapport au contrôle utilisé, ce qui est en accord avec résultats précédents. Ces résultats ouvriront la voie à l'application des extraits de fruits et cladodes d'*Opuntia ficus indica* dans le domaine de la sécurité alimentaire, et serviront à limiter l'altération et la contamination par les mycotoxines.

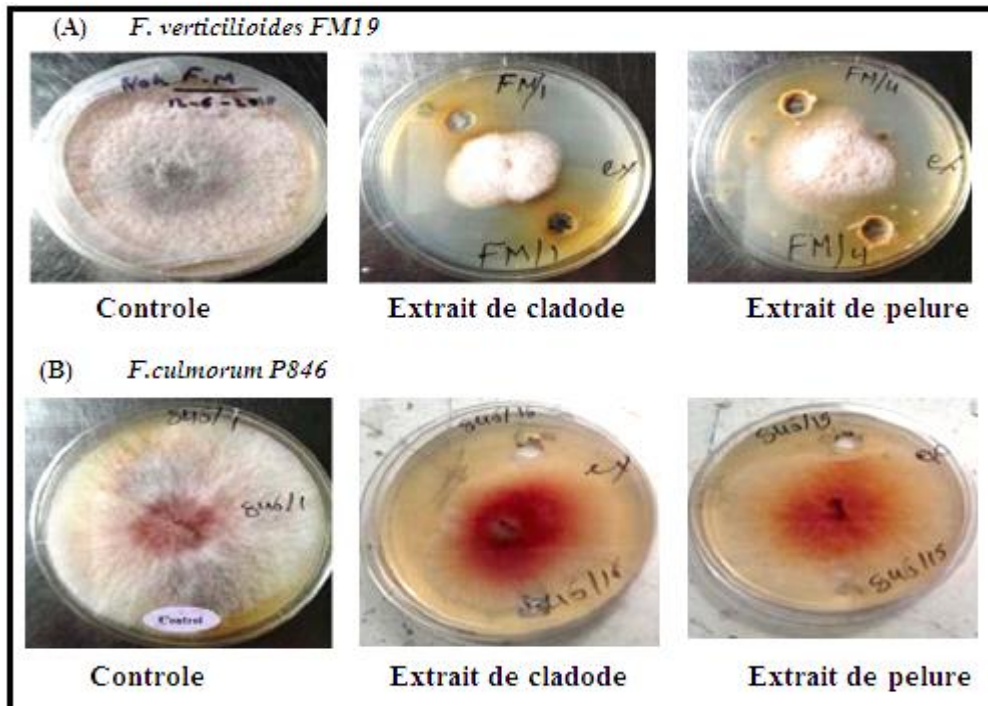


Figure 22 : Effet inhibiteur des extraits d'*Opuntia ficus indica* vis-à-vis des souches de *Fusarium* productrices de mycotoxines (Abdel-Razek et al., 2019).

IV. Activité Anti-biofilm

Les effets des extraits de cladodes sur la formation du biofilm par *Staphylococcus aureus* ATCC 35556, producteur de biofilm, a été étudiée par Blando et al., (2019). Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 23.

Comme le montre la figure 23, les deux extraits de cladodes (mature et immature) à une concentration de 500 µg/mL n'ont pas inhibé la formation du biofilm. A 1000 µg/mL, seul l'extrait de cladode immature a inhibé de manière significative la formation du biofilm avec un taux d'inhibition de 80%. A la concentration de 1500 µg/mL, les deux extraits ont inhibé de manière significative la formation du biofilm, avec un taux d'inhibition de 71 % pour l'extrait mature de cladode et 85% pour le cladode immature.

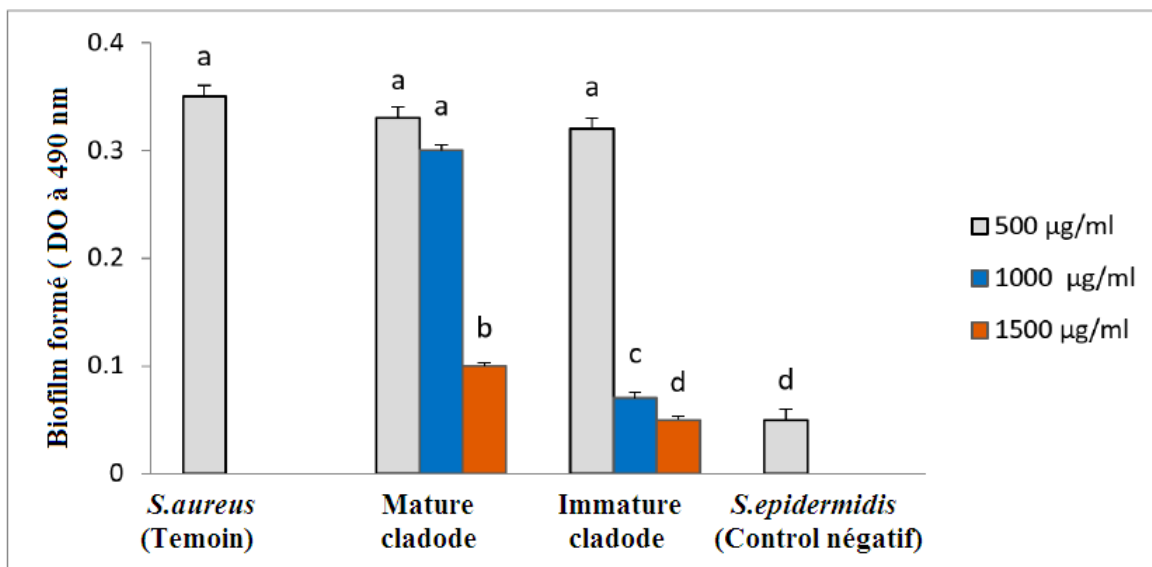


Figure 23 : Effets des différentes concentrations d'extraits de cladode d'*Opuntia ficus indica* sur la formation de biofilm par *Staphylococcus aureus* ATCC 35556. (Blando et al., 2019).

D'après l'étude, il a été démontré que les cellules bactériennes en biofilm sont plus résistantes aux agents antibactériens par rapport aux cellules planctoniques de *Staphylococcus aureus* ATCC 35556 qui ont été inhibées par une CMI de 1000 et 700 µg/mL pour les extraits matures et immatures, respectivement ; ce qui est une caractéristique bien connue.

Ce pouvoir inhibiteur de la formation du biofilm de *Staphylococcus aureus* pourrait s'expliquer par la présence de flavonoïdes dans les extraits de cladodes. En effet, les flavonoïdes tels que la quercétine, l'apigénine, la lutéoline et la rutine se sont avérés efficaces dans l'inhibition du biofilm de *S. aureus* (Slobodníková et al., 2016 ; Al-Shabib et al., 2017).

A partir des différents articles traités, il ressort que les extraits des différentes parties du figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica*, présentent une activité antimicrobienne importante (antibactérienne, antifongique, anibiofilm). Ce pouvoir antimicrobien pourrait être dû principalement à sa composition en polyphénols contenus dans les extraits hydro-alcooliques et qui possèdent des activités antimicrobiennes, *in vitro* (Santos-Zea et al., 2011). Ils agissent en se liant les parois cellulaires, en inactivant les enzymes microbiennes et les protéines de transport, empêchant ainsi toute croissance ou activité microbienne Ciocan et Bara, (2007).

V. Activité de cicatrisation des plaies

V.1. Évaluation du poids corporel des rats

Ammar et al., (2015) ont évalué les effets de cicatrisation des deux extraits des fleurs d'*O. ficus-indica* en utilisant un modèle de blessure, *in vivo*, chez le rat. L'équipe a examiné le poids corporel des rats avant et après le traitement. Les résultats n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes (tableau 13), car ils étaient tous uniformes donc les extraits testés n'avaient aucun effet secondaire sur les rats.

Tableau 13 : la moyenne du poids corporel des rats avant et après le traitement. (Ammar et al., 2015).

Poids corporel moyen (g)	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV	Groupe V
Avant traitement	188.39	186	184.4	185.02	187.3
Après traitement	198.89	196	194	190	195.5

V.2. Étude macroscopique des plaies

Le pansement a été retiré quotidiennement et le processus de cicatrisation a été évalué en fonction de la couleur des plaies, de l'inflammation et de la ré-épithélialisation. L'aspect des plaies des groupes étudiés est illustré dans la figure 24.

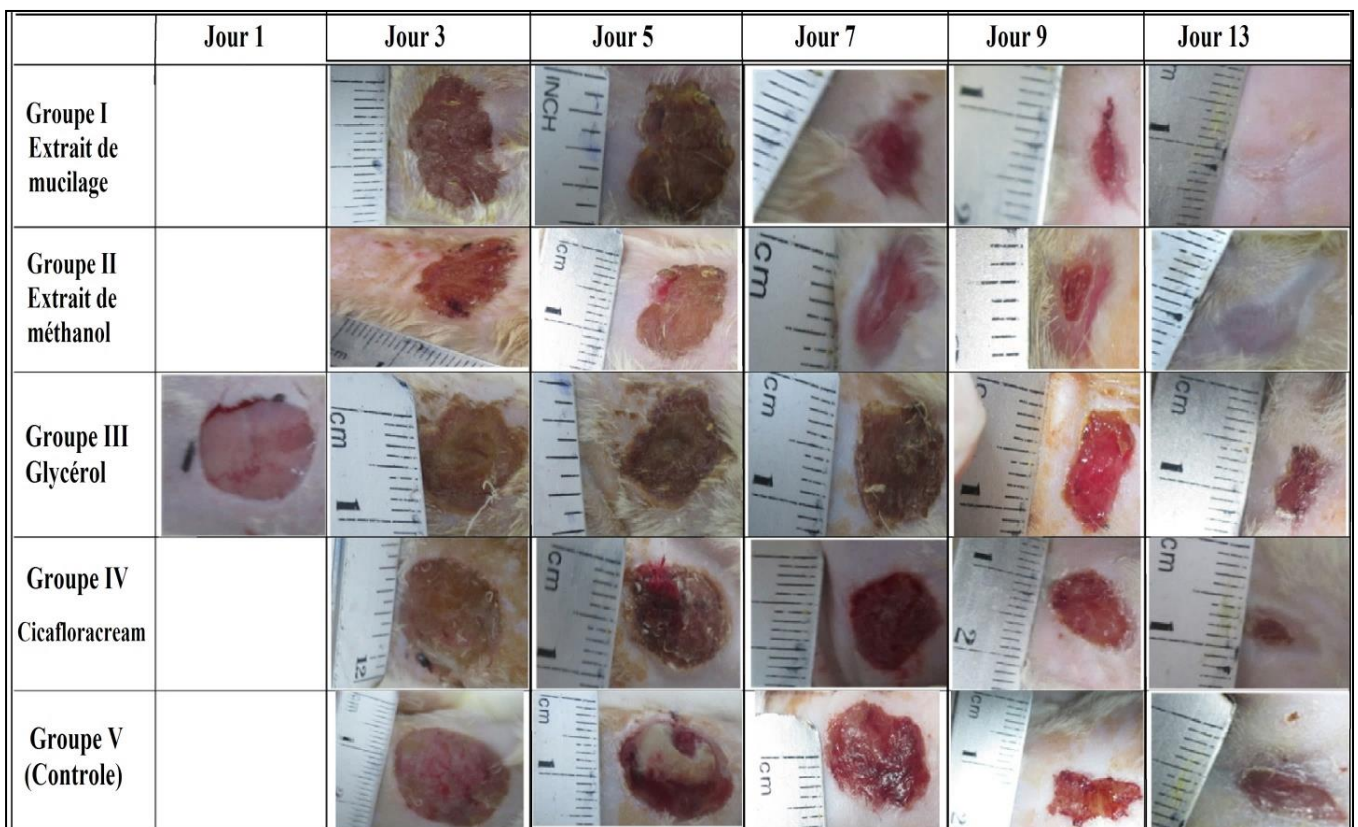


Figure 24 : Modifications macroscopiques de la cicatrisation des plaies prises pour les différents groupes le 1^{er}, 3^e, 5^e, 7^e, 9^e et 13^e jour après la blessure (Ammar et al., 2015).

Comme il est illustré sur la figure 24, l'évaluation macroscopique a révélé que les plaies traitées avec les extraits des fleurs étaient relativement propres et sans signe d'inflammation (gonflements et rougeurs). Cependant, pour le groupe V (contrôle), une accumulation de pus a été observée autour de la peau endommagée aux jours 5 et 7, ce qui était un signe d'inflammation accentuée. Du 7^e au 9^e jour, les plaies traitées avec les deux extraits de fleurs d'*Opuntia* sont devenues propres et de couleur rosâtre, puis plus homogènes et leur texture plus consistante. Pour les autres groupes, la croûte a persisté même après le 8^e jour du processus de guérison.

D'après le taux de fermeture des plaies et la restauration de la couverture épithéliale, le traitement avec les préparations de fleurs d'*Opuntia ficus indica* a conduit à une guérison complète au 13^e jour (groupe I et groupe II). Pour les groupes non traités et traités au glycérol, les plaies ont persisté après 13 jours, présentant toujours une surface écailleuse rouge sans couverture épidermique.

Les plaies du groupe de référence (Cicaflora®) présentaient des tissus rouges arrondis à la fin de l'expérience.

V.3. Évaluation de la fermeture de la plaie

L'évolution de la surface de la plaie de chaque groupe a été évaluée en surveillant le taux de contraction de la plaie tout au long des 13 jours du processus de cicatrisation, comme illustré sur la figure 25.

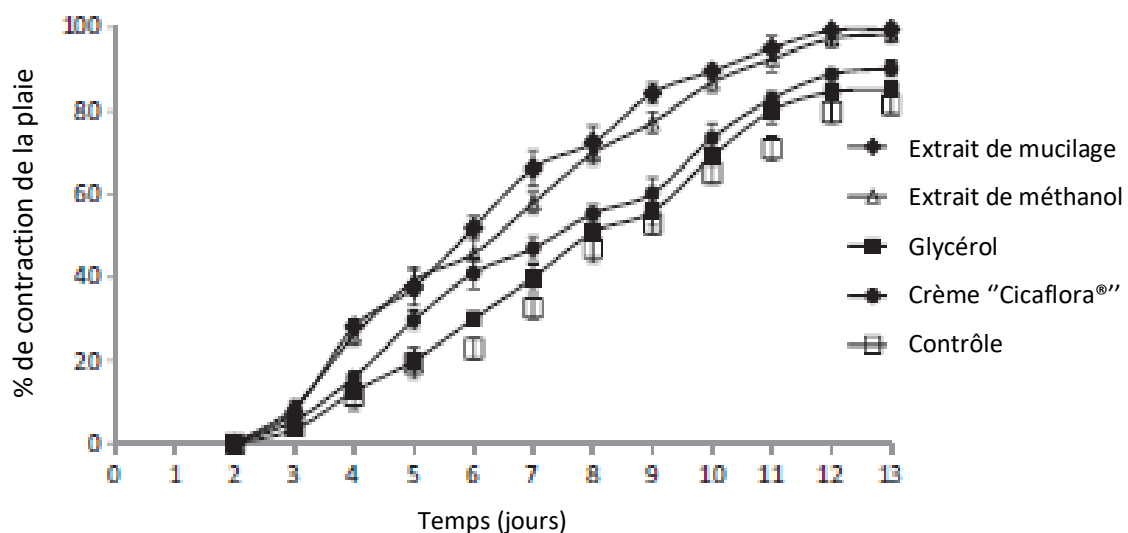


Figure 25 : Effet de l'application topique du mucilage et de l'extrait méthanolique des fleurs d'*Opuntia ficus indica* sur la contraction des plaies (Ammar et al., 2015).

Les groupes I et II, traités par les extraits au mucilage et au méthanol des fleurs d'*O. ficus indica*, ont montré des évolutions plus rapides, aux meilleurs taux de contraction de la plaie, du 3^e au 13^e jour du processus de cicatrisation, par rapport aux autres groupes.

En fait, 50% de la contraction des plaies a été réalisée aux jours 6, 7, 8 et 9 du traitement pour les groupes traités au mucilage, à l'extrait de méthanol, le groupe de référence et le groupe non traité, respectivement.

Au 13^e jour du traitement, les plaies traitées avec des extraits de fleurs d'*Opuntia* avaient été complètement fermés (plus de 98 % de contraction de la plaie obtenue), contrairement aux groupes non traités et le groupe de référence présentant encore des plaies ouvertes (20 % et 10 %, respectivement).

V.4. Évaluation histologique

Les photographies microscopiques prises lors de l'évaluation histologique des tissus de la plaie au 13^e jour du traitement sont présentées sur la figure 26.

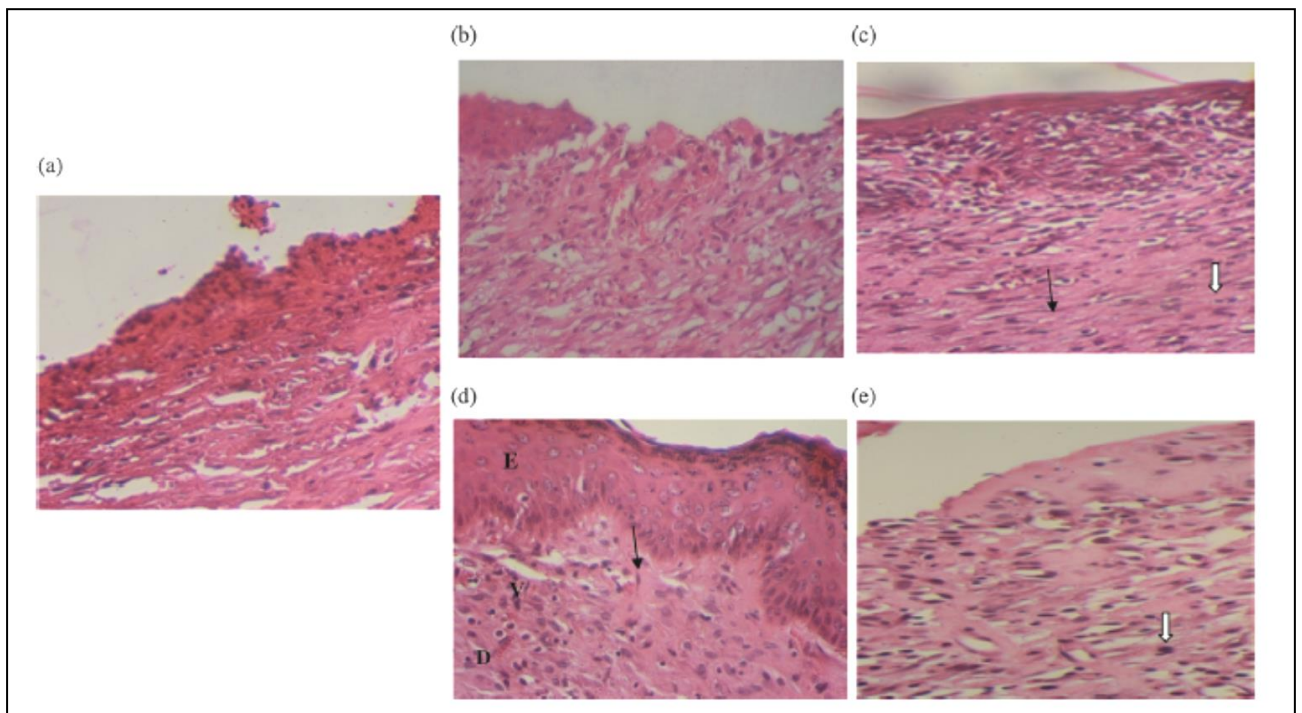


Figure 26 : Photomicrographies représentatives de l'architecture épidermique et dermique des plaies au 13^{ème} jour. (a) Groupe non traité ; (b) groupe traité avec du glycérol ; (c) groupe traité à l'extrait de méthanol ; (d) groupe traité avec un extrait de mucilage et (e) groupe traité avec "crème Cicaflora® ". Les tissus ont été colorés à l'hématoxyline-éosine, (a)-(c) visualisés au $\times 100$ et (d), (e) $\times 200$ de grossissement. E : épiderme, D : derme, ↓ : cellules inflammatoires, ↓ : collagène, V : vaisseaux sanguins (Ammar et al., 2015).

L'examen histologique de la section du tissu de granulation des groupes traités (extraits de mucilage, de méthanol et la crème Cicaflora®), a montré la présence de néovascularisation, de tissus conjonctifs, de densité de collagène, et une amélioration significative de la cicatrisation des plaies par rapport aux groupes traités et le groupe témoin.

L'effet cicatrisant des traitements à base de fleurs d'*O. ficus indica* a été mis en évidence par la formation précoce (en particulier aux jours 3 et 5 de la post-lésion) d'une matrice provisoire (croûtes) utilisée pour protéger la surface des infections et des irritations. La matrice provisoire est ensuite suivie par la formation plus précoce d'un tissu de granulation dans les groupes traités avec les extraits de fleurs, ce qui accélère le processus de cicatrisation (Figure 24).

L'application topique des deux extraits de fleurs d'*Opuntia* a augmenté le pourcentage de contraction de la plaie, inhibé les infections et accéléré la ré-épithélialisation. Les résultats ont également montré la présence d'une couche épidermique bien structurée, proche de la peau normale. Cela indique que le processus de ré-épithélialisation des plaies traitées avec l'extrait de mucilage était à un stade plus avancé (Figure 26), c'est ce qui permet de considérer l'extrait mucilagineux des fleurs d'*O. ficus indica* comme un composé prometteur pour une application future en tant qu'agent cicatrisant (Ammar et al., 2015).

Ces résultats sont en accord avec ceux précédemment rapportés par Trombetta et al., (2006), qui ont démontré que les polysaccharides des cladodes, principaux constituants du mucilage, pouvaient être utilisés pour la cicatrisation des plaies.

Plusieurs études, impliquant l'analyse phytochimique des fleurs d'*Opuntia*, ont également signalé la présence de composés phénoliques et flavonoïdes (De Leo, 2010). Selon la littérature, le rôle des polyphénols et des flavonoïdes a été souligné par Okuda, 2005 et Shetty et al., 2008, en tant que phyto-composés biologiquement actifs dans le traitement de la cicatrisation des plaies, notamment en raison de leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes et anti-inflammatoires.

Les agents antimicrobiens permettent une meilleure et rapide cicatrisation en formant une barrière contre la contamination microbienne. En effet, la peau blessée reste vulnérable aux infections microbiennes invasives de toutes sortes, qui peuvent entraîner une inflammation de la plaie et une exsudation des fluides, interférant ainsi avec le processus de guérison. Ainsi, l'activité antibactérienne des extraits d'*Opuntia ficus indica* testés pourraient contribuer à la création d'un environnement approprié pour la cicatrisation des plaies en prévenant et en gérant les infections des plaies (Ammar et al., 2015).



Conclusion

Au terme de ce travail de synthèse des six articles portant sur l'étude des activités antimicrobienne et cicatrisante des extraits ou des composés volatils des différents organes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*), nous pouvons conclure que :

L'étude de la composition chimique de la plante a montré la présence de différents composés phytochimiques (polyphénols, tanins, glycosides, alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, stéroïdes et acides aminés), dont la teneur en polyphénols est importante, principalement dans les cladodes immatures, qui pourrait être responsable de l'activité antibactérienne.

L'activité antimicrobienne des extraits alcooliques des fruits et des cladodes a révélé un effet antibactérien important vis-à-vis d'un panel de souches bactériennes, se caractérisant par des diamètres d'inhibition allant jusqu'à 35 mm (*E. faecalis* et *S. aureus*), où les espèces à Gram positif étaient plus sensibles par rapport à celles à Gram négatif ; l'espèce *P. aeruginosa* s'est montrée la plus résistante. Ces résultats ont été confirmés aussi par les valeurs des CMI trouvées.

Les composés volatils et les extraits alcooliques des fruits et cladodes du figuier de barbarie ont présenté une activité antifongique vis-à-vis des souches fongiques testées (*F. culmorum*, *A. niger*), y compris les souches de *Fusarium* productrices de mycotoxines. Cependant, aucune activité n'a été notée vis-à-vis de la levure *Candida*.

Les deux extraits de cladodes matures et immatures d'*OFI*, à une concentration de 1500 µg/mL, ont inhibé la formation de biofilm de manière significative, avec des taux d'inhibition de 71 % et 85% pour les extraits de cladodes matures et immatures, respectivement. L'effet inhibiteur pourrait être dû à la présence de polyphénols et de flavonoïdes dans les extraits testés. Les cellules bactériennes en biofilm se sont révélées plus résistantes aux extraits que les cellules planctoniques en suspension.

L'application topique des extraits des fleurs d'*OFI* a accéléré la contraction des plaies et a exercé des effets bénéfiques sur les plaies cutanées induites expérimentalement chez le rat, les meilleurs résultats étant obtenus avec l'extrait de mucilage. Il semblerait que les polysaccharides, principaux constituants du mucilage, sont responsables de l'effet cicatrisant, ce qui favorise l'utilisation du mucilage pour la cicatrisation des plaies cutanées.

En fin, des études supplémentaires sont nécessaires pour l'étude de l'effet antibactérien en utilisant d'autres souches bactériennes d'origine hospitalière, libres ou en biofilm, et pour une éventuelle formulation des différents extraits pour un usage antimicrobien, et aussi approfondir les conditions optimales pour la production et l'application du mucilage d'*O. ficus indica*.



Références bibliographiques

A

- 1. Abdel-Razek, A.G., Shehata, M. G., Badr, A. N., Gromadzka, M. G., Stepień, L. (2019).** The Effect of Chemical Composition of Wild *Opuntia Ficus Indica* Byproducts on its Nutritional Quality, Antioxidant and Antifungal Efficacy. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(Special issue (Part 1) Innovation in Chemistry), 47-61.
- 2. Adámez, J. D., Samino, E. G., Sánchez, E. V., González-Gómez, D. (2012).** In vitro estimation of the antibacterial activity and antioxidant capacity of aqueous extracts from grape seeds (*Vitis vinifera* L.). *Food Control*, 24(1-2), 136–141.
- 3. Afify, A.E.M.M., El-Beltagi, H.S., Fayed, S.A., El-Ansary, A.E. (2018).** Beneficial and potent effect of olive leaves extract on hyperglycemic state, kidney and liver function in STZ-induced type 2 diabetes mellitus. *Fresen. Envi-ron. Bull*, 27, 3733-3739.
- 4. Alabi, O.A., Haruna, M.T., Anokwuru, C.P., Jegede, T., Abia, H., Okegbe, V.U., Esan, B.E., (2012).** Comparative studies on antimicrobial properties of extracts of fresh and dried leaves of *Carica papaya* L on clinical bacterial and fungal isolates. *Advances in Applied Science Research*, 3(5), 3107–3114.
- 5. Albuquerque, T.G., Santos, F., Sanches-Silva, A., Beatriz Oliveira, M., Bento, A.C., Costa, H.S. (2016).** Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. Fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, 193, 187–195.
- 6. Allegra, A., Sortino, G., Inglese, P., Settanni, L., Todaro, A., Gallota, A. (2017).** The effectiveness of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on post-harvest maintenance of ‘Dottato’ fig (*Ficus Carica* L.) Fruit. *Food packaging and shelf life*, 12, 135–141.

7. **Al-Shabib, N.A., Husain, F.M., Ahmad, I., Khan, M.S., Khan, R.A., Khan, J. M. (2017).** Rutin inhibits mono and multi-species biofilm formation by foodborne drug resistant *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Control*, 79, 325–332.
8. **Amgad AA, Martin RPJ, Ismail MM, Abdelkareem MA, Ahmad MA, Mohamed EH. (2012).** Antimicrobial activities of seed extracts of mango (*Mangifera indica* L.). *Adv Microbiol*, 2, 571–576.
9. **Ammar, I., Bardaa, S., Mzid, M., Sahnoun, Z., Rebaï, T., Attia, H., & Ennouri, M. (2015).** Antioxidant, antibacterial and in vivo dermal wound healing effects of *Opuntia* flower extracts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 483-490.
10. **Anaya-Pérez, M. A. (2001).** History of the use of *Opuntia* as forage in Mexico. In : Mondragon- Jacobo, C et Perez-Gonzalez, S (Eds), *Cactus (Opuntia spp) as forage. FAO plant production and protection paper*, 169 p.
11. **Andreu-Coll, L., Cano-Lamadrid, M., Sendra, E., Carbonell-Barrachina, A., Legua, P., Hernández, F. (2019).** Fatty acid profile of fruits (pulp and peel) and cladodes (young and old) of prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] from six Spanish cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103294.
12. **Anyasor GN, Ogunwenmo KO, Oyelana OA, Akpofunure BE. (2010).** Phytochemical constituents and antioxidant activities of aqueous and methanol stem extracts of *Costus afer* Ker Gawl. (Costaceae). *African Journal of Biotechnology*, 9(31), 4880–4884.
13. **Aragona, M., Lauriano, E.R., Pergolizzi, S., Faggio, C.J.N.P.R. (2018).** *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition, *Natural product research*, 32(17), 2037-2049.

- 14. Arba, M. (2000).** Les Opuntias à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. *Actes IIème journée National sur la culture du cactus*. El kelaa des Sraghna. Maroc : 8.
- 15. Aruwa, C. E., Amoo, S. O., Kudanga, T. (2018).** Opuntia (Cactaceae) Plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International*, 112, 328–344.
- 16. Aruwa, C. E., Amoo, S. O., & Kudanga, T. (2019).** Extractable and macromolecular antioxidants of Opuntia ficus-indica cladodes : Phytochemical profiling, antioxidant and antibacterial activities. *South African Journal of Botany*, 125, 402-410.
- 17. Astello-García, M. G., Cervantes, I., Nair, V., del Santos-Díaz, M.S., Reyes-Agüero, A., Guéraud, F., Negre-Salvayre, A., Rossignol, M., Cisneros-Zevallos, L., Barba de la Rosa, A.P. (2015).** Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from Opuntia spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition Analysis*, 43, 119–130.
- 18. Avila-Nava, A., Calderón-Oliver, M., Medina-Campos, O.N., Zou, T., Gu, L., Torres, N., Tovar, A.R., Pedraza-Chaverri, J., (2014).** Extract of cactus Opuntia ficus-indica cladodes scavenges reactive oxygen species in vitro and enhances plasma antioxidant capacity in humans. *Journal of Functional Foods*, 10, 13–24.
- 19. Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. (2009).** Cladodes from *Opuntia ficus-indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47.

B

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

- 21. Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P., Panno, M. (1992).** Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Journal of Horticultural Science*, 67(3), 307-312.
- 22. Belay, K., Abisa, Z., Abrha, T., Mebrat, W., Bedassa, S. (2015).** Physicochemical Properties, Phyto-Chemical Screening, Antimicrobial Activities, Anti-Helmantic Activities And Nutritional Values Of Cactus (*Opuntia Ficus Indicia*) Around Adigrat. *Int. J. Inf. Futuristic Res.*, 3(2), 420-435.
- 23. Ben Attia, F. K. (2017).** *Analyse et application des extraits de pépins de figes de barbarie.* (Doctoral dissertation, Université de Aboubekr Bel kaid- Tlemcen).
- 24. Benayad, Z., Martínez-Villaluenga, C., Friasa, J., Gomez-Cordoves, C., Es-Safi, N.E. (2014).** Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan *Opuntia ficus-indica* flowers obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 62, 412–420.
- 25. Bensadón, S., Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S.G., Goñi, I. (2010).** By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fibre. *Plant food for human nutrition*, 65(3), 210–216.
- 26. Berraaouan, A., Abderrahim, Z., Hassane, M., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A., Mohamed, B. (2015).** Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(7), 532-537.
- 27. Bhattacharya, D., Koley, H. (2016).** Antibacterial activity of polyphenolic fraction of kombucha against enteric bacterial pathogens. *Current Microbiology*, 73(6), 885–896.

- 28. Blando, F., Russo R., Negro C., De Bellis L., et Frassinetti S. (2019).** Antimicrobial and Antibiofilm Activity against *Staphylococcus aureus* of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladode polyphenolic extracts. *Antioxidants*, 8(5), 117.
- 29. Bobekar, K. (2012).** *Toxicité aigüe et effet hypoglycémiant de l'extrait ethnolique des graines de la coloquinte (Citrillus colocynthis) chez les rats "WISTAR"* (Doctoral dissertation).
- 30. Boudjellaba, S., Yassa, A., & Chougui, N.E. (2012).** *Activité antioxydante des graines de quelque variété de figuier de barbarie (Opuntia ficus-indica L) de la région de Bédjaia*, (Diplôme National d'ingénieur), p.58.
- 31. Bouzoubaâ, Z., Essoukrati, Y., Tahrouch, S., Hatimi, A., Gharby, S., Harhar, H. (2016).** Phytochemical study of prickly pear from southern Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(2), 155–161.
- 32. Bruneton J. (1999).** Pharmacognosie, Phytochimie. Plantes médicinales, 3^{ème} Ed. Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris, 1120 p.

C

- 33. Cano, M. P., Gómez-Maqueo, A., García-Cayuela, T., Welti-Chanes, J. (2017).** Characterization of carotenoid profile of Spanish Sanguinos and Verdal prickly pear (*Opuntia ficus-indica* spp.) tissues. *Food Chemistry*, 237, 612–622.
- 34. Castiglioni, S., Cazzaniga, A., Albisetti, W., Maier, J. A. (2013).** Magnesium and osteoporosis : Current state of knowledge and future research directions. *Nutrients*, 5(8), 3022–3033.
- 35. Ciocan, I. D., Bara, I. I. (2007).** Plant products as antimicrobial agents. *Analele Stiintifice Ale Universitatii, Alexandru Ioan Cuza din Iasi, Sectiunea II A. Genetiasi Biologie Moleculara*, 8(2),151–156.

- 36. Cioch M, Satora P, Skotniczny M, Semik-szczurak D, Tarko T. (2017).** Characterisation of antimicrobial properties of extracts of selected medicinal plants. *Polish journal of microbiology*, 66(4), 463–472.
- 37. Ciriminna, R., Delisi, R., Albanese, L., Meneguzzo, F., et Pagliaro, M. (2017a).** Opuntia ficus-indica seed oil: Biorefinery and bioeconomy aspects. *European Journal of Lipid Science Technology*, 119(8), 1700013.
- 38. Ciriminna, R., Bongiorno, D., Scurria, A., Danzi, C., Timpanaro, G., Delisi R., Avellone, G., Pagliaro, M. (2017b).** Sicilian *Opuntia ficus-indica* seed oil: Fatty acid composition and bio-economical aspects. *European Journal of Lipid Science Technology. Technol*, 119(11), 1700232.
- 39. Cowan, M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 12(4), 564- 582.

D

- 40. Defelice, M. S. (2004).** Prickly pear cactus, opuntia spp. A Spine-Tingling tale. *Weed Technology*, 18(3) :869–877.
- 41. de Quirós, A. R. B., Costa, H.S. (2006).** Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review. *Journal of Food Composition Analysis*, 19(2-3), 97–111.
- 42. De Leo, M., De Abreu, M.B., Pawlowska, A.M., Cioni, P.L., Braca, A. (2010).** Profiling the chemical content of *Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC–PDA–ESI-MS and GC/EIMS analyses, *Phytochemistry Letters*, 3(1), 48–52.
- 43. Díaz, M. D. S. S, de la Rosa, A.P.B., Héliès-Toussaint, C., Guéraud, F., et Nègre-Salvayre, A. (2017).** *Opuntia* spp.: Characterization and Benefits in Chronic Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017.
- 44. Di Ciccio, P., Vergara, A., Festino, A.R., Paludi, D., Zanardi, E., Ghidini, S., Ianieri, A. (2015).** Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* on food contact

surfaces: Relationship with temperature and cell surface hydrophobicity. *Food Control*, 50, 930–936.

45. **Djeussi, D.E., Noumedem, J.A., Seukep, J.A., Fankam, A.G., Voukeng, I.K., Tankeo, S.B., Nkuete, A.H.L., Kuete, V. (2013).** Antibacterial activities of selected edible plants extracts against multidrug-resistant Gram-negative bacteria. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13(1), 164.
46. **Dubeux Jr, J. C. B., Dos Santos, M. F., de Andrade Lira M., Dos Santos, D. C., Farias, I., Lima, L. E., Ferreira, R. L. C. (2006).** Productivity of *Opuntia ficus-indica* under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 357- 372.
47. **Duda-Chodak, A., Tarko, T., Satora, P., Sroka, P. (2015).** Interaction of dietary compounds, especially polyphenols, with the intestinal microbiota : A review. *European journal of nutrition*, 54(3), 325 341.
48. **Durazzo, A., Casale, G., Melini, V., Maiani, G., Acquistucci, R., (2016).** Total polyphenol content and antioxidant properties of Solina (*Triticum aestivum* L.) and derivatives thereof. *Italian Journal of Food Science*, 28(2), 221–229.

E

49. **El-Beltagi, H.S., Mohamed, H.I., Megahed, B.M., Gamal, M., Safwat, G. (2018)** Evaluation of some chemical constituents, antioxidant, antibacterial and anticancer activities of *Beta vulgaris* L. root. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(9), 6369-6378.
50. **El-Beltagi, H.S., Mohamed, H.I., Elemlegy, A.A., Eldesoky, S.E., Safwat, G. (2019).** Phytochemical screening, antimicrobial, antioxidant, anticancer activities and nutritional values of cactus (*Opuntia ficus indica*) pulp and peel. *Fresenius Environ. Bull*, 28, 1534–1562.

- 51. El-hawary, S. S., El-Tantawy, M. E., Rabeh, M. A., & Badr, W. K. (2021).** Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Volatile Constituents of Cladodes, Fruits peel and Fruits pulp from *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Prickly Pear) growing in Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(1), 437-444.
- 52. El Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M., Latruffe N, Lizard, G, Nasser, B, Cherkaoui-Malki, M. (2014).** Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules.*, 19(9), 14879–14901.

F

- 53. Falcão, H.M., Oliveira, M.T., Mergulhão, A.C., Silva, M.V., Santos, M.G. (2013).** Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 150, 419-424.
- 54. Fernandez, M.L., Lin, E.C., Trejo, A., McNamara, D.J. (1992).** Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low density lipoprotein receptor suppression induced by a hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *The Journal of Nutrition*, 122(12), 2330-2340.
- 55. Fernandez, ML., Lin, EC., Trejo, A., McNamara, D.J. (1994).** Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin alters hepatic cholesterol metabolism without affecting cholesterol absorption in guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *The Journal of Nutrition*, 124(6), 817-824.
- 56. Fernández-López, J. A., Almela, L., Obón, J. M., Castellar, R. (2010).** Determination of Antioxidant Constituents in Cactus Pear Fruits. *Plant Foods Hum Nutrition*, 65(3), 253–259.
- 57. Fernández-López, J.A., Giménez, P.J., Angosto, J.M., Moreno, J.I. (2012).** A process of recovery of a natural yellow colourant from opuntia fruits. *Food Technology and Biotechnology*, 50(2), 246–251.

G

- 58. Galati E.M., Mondello M.R., Monforte M.T., Galluzzo M., Miceli N., Tripodo M.M. (2003).** Effect of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladodes in the wound-healing process, *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5, 1–16.
- 59. Gharby, S., Guillaume, D., Nounah, I., Harhar, H., Hajib, A., Matthäus, B et Charrouf, Z. (2021).** Shelf-life of Moroccan prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and argan (*Argania spinosa*) oils: a comparative study, *Grasas y Aceites*, 72(1), e397.
- 60. Ghazi, Z., Ramdani, M., Tahri, M., Rmili, R., Elmsellem, H., El Mahi, B., Fauconnier, M.L. (2015).** Chemical composition and antioxidant activity of seeds oils and fruit juice of *Opuntia ficus indica* and *Opuntia dillenii* from Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(8), 2338–2345.
- 61. Ginestra, G., Parker, M.L., Bennett, R.N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Lo Curto, R.B., Bisignano, G., Faulds, C.B., Waldron, K.W. (2009).** Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* L.Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10323–10330.
- 62. Guevara-Figueroa, T., Jime'nez-Islas, H., Reyes-Escogido, M.L., Mortensen, A.G., Laursen, B.B., Lin, L.W., De Leo'n-Rodri'guez, A., Fomsgaard, I.S., Barba de la Rosa, A.P. (2010).** Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525–532.
- 63. Guillaume, D., Gharby, S., Harhar, H., Baba, M. (2015).** *Opuntia ficus indica* and *Balanites aegytiaca* oils: two seed oils to watch. *Household and Personal Care Today*, 1(0), 45–48.

64. Guzman, U., Arias, S., Dávila, P. (2006). In : Reyes-Aguero, J.A., Aguirre, J.R. Valiente-Banuet A. Reproductive biology of *Opuntia* : A review. *Journal of Arid Environments*, 64(4), 549-589.

H

65. Habibi, Y. (2004). *Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
66. HADJ SADOK, T. (2010). *Composition chimique des jeunes cladodes d'Opuntia ficus indica et possibilités de valorisation alimentaire* (Doctoral dissertation).
67. HADJ SADOK, T., AID, F., DOUMANDJI, A et BELLAL, M. (2014). Effet du jus de cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques ; *Nature & Technology*, (11), 17.
68. Hernandez-Urbiola, M.I., Perez-Torrero, E., Rodriguez-Garcia, M.E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1287-1295.

I

69. Inglese, P., Liguori, G., De la Barrera, E. (2018). Ecophysiology and biology of the reproduction of cultivated cacti. In : Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Sáenz, C (Eds), *Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie*. FAO. ICARDA. Italie, p.32.

J

- 70. Jakobek, L. (2015).** Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, 175, 556–567.
- 71. Jdidi, I. (2015).** *Etude phytochimique et activité biologique des extraits et des huiles essentielles de foeniculum vulgare mill. Institut national agronomique de Tunisie* (Diplôme National d'ingénieur).
- 72. Jo, H., Kim, H. S., Kim, D. J., Sim, S. B. (2021).** Association between extract from fruit of *Opuntia ficus-indica* and streptozotocin-induced diabetic rats, *Korean Journal of Veterinary Research*, 61(1), 6 -1.
- 73. Jose, C. B., Dubeux JR., Ben Salem, H., Nefzaoui, A. (2018).** Production de fourrage et apports pour la nutrition animale. In : Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Sáenz, C (Eds), *Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie. FAO. ICARDA. Italie*, p. 77.

K

- 74. Kalil, A.C., Van Schooneveld, T.C., Fey, P.D., Rupp, M.E., (2014).** Association between vancomycin minimum inhibitory concentration and mortality among patients with *Staphylococcus aureus* bloodstream infections : a systematic review and meta-analysis. *JAMA*, 312(15), 1552–1564.
- 75. Kenny, L. (2002).** « Importance et conduite technique », Institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II, Agadir (Maroc), p.6.
- 76. Khan, M. I. (2016).** Stabilization of betalains: A review. *Food Chemistry*, 197, 1280-1285.
- 77. Khellaf, B., Sifouni, M., Guennifi, N. (2021).** L'appareil de Soxhlet. *Institut des Sciences et de la Technologie*, 2-4.

- 78. Khémiri, I., Essghaier Hédi, B., Sadfi Zouaoui, N., Ben Gdara, N., & Bitri1, L. (2019).** The Antimicrobial and Wound Healing Potential of *Opuntia ficus indica* L. *inermis* Extracted Oil from Tunisia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019.
- 79. Khemis, I. B., Aridh, N. B., Hamza, N., MHetli, M., & Sadok, S. (2016).** Antifungal efficacy of the cactceae *Opuntia stricta* (Haworth) pickly pear ethanolic extract in controlling pikeperch *Sander lucioperca* (Linnaeus) egg saprolegniasis. *J Fish Dis*, 39, 377-383.
- 80. Kim, J.H., Lee, H.-J., Park, Y., Ra, K.S., Shin, K. S., Yu, K.W., Suh, H.J. (2013).** Mucilage removal from cactus cladodes (*Opuntia humifusa* Raf.) by enzymatic treatment to improve extraction efficiency and radical scavenging activity. *LWT- Food Science and Technology* 51(1), 337–342.
- 81. Koshak, A. E., Abdallah, H. M., Esmat, A., Rateb, M. E. (2020).** Anti-inflammatory Activity and Chemical Characterisation of *Opuntia ficus-indica* Seed Oil Cultivated in Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(6), 4571-4578.
- 82. Kozłowska, A., Szostak-Wegierek, D. (2014).** Flavonoids—Food sources and health benefits. *Roczniki Pa'nstwowego Zakładu Higieny*, 65(2), 79–85.
- 83. Kurek, A. N. N. A., Grudniak, A. M., Krackiewicz-Dowjat, A., Wolska, K. I. (2011).** New antibacterial therapeutics and strategies. *Pol. J. Microbiol*, 60(1), 3–12.
- 84. Kurek, M., Benbettaieb, N., Šćetar, M., Chaudy, E., Elez-Garofulic, I., Repajic, M., Klepac, D., Vali, S., Debeaufort, F, Galic, K. (2021).** Novel functional chitosan and pectin bio-based packaging films with encapsulated *Opuntia-ficus indica* waste; *Food Bioscience*, 41, 100980.

- 85. Lee, J.C., Kim, H.R., Kim, J., Jang, Y.S., (2002).** Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(22), 6490–6496.
- 86. Lefsih, K., Giacomazza, D., Dahmoune, F., Mangione, M. R., Bulone, D., San Biagio, P. L., Passantino, R., Costa, M. A., Guarrasi, V., Madani, K. (2017).** Pectin from *Opuntia ficus-indica*: optimization of microwave-assisted extraction and preliminary characterization. *Food Chemistry*, 221, 91–99.
- 87. Le Houérou, H. N. (2000).** Cacti (*Opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in the mediterranean basin. In *IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal*, 581, 21–46.
- 88. León-Martínez, F. M., Méndez-Lagunas, L. L., Rodríguez-Ramírez, J. (2010).** Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*) : Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 81(4), 864–870.
- 89. Louhaichi, M., Nefzaoui, A et Guevara, J. C. (2018).** Biens et services ecosystemiques de cactus. In : Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Sáenz, C (Eds), *Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie*. FAO. ICARDA. Italie, pp 176.

M

- 90. Maataoui, B. S et Hilali, S. (2004).** Composition physico-chimique de jus de deux types de fruits de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) cultivés au Maroc. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 3(2), 8-13.
- 91. Maataoui, B. S., Maataoui, R. B., Almesrarm, B., Hilali, S. (2018).** Antiulcer activity of Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) cladodes extracts. *International Journal of Advanced Research*, 6(11), 498-506.

- 92. Medina-Torres, L., Vernon-Carter, E.J., Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzm'an, N.E., Herrera Valencia, E., Calderas, F., Jim'enez-Alvarado, R. (2011).** Study of the antioxidant properties of extracts obtained from nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes after convective drying. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 91(6), 1001–1005.
- 93. Méndez, L. P., Flores, F. T., Martín, J. D., Rodríguez, E. M. R., Romero, C. D. (2015).** Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. *Food Chemistry*, 188, 393–398.
- 94. Michel, M., 1998.** Encyclopédie of medicinal plants, librairie du Liban publishers.
- 95. Monia, E., Imene, A., Bassem, K., Hamadi, A. (2014).** Chemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* F. Inermis (Cactus pear) Flowers, *Journal of medicinal food*, 17(8), 908-914.
- 96. Moosazadeh, E., Akhgar, M. R., Kariminik, A. (2014).** Chemical composition and antimicrobial activity of *Opuntia stricta* F. essential oil. *Journal of Biodiversity and Environmental Science*, 4(5), 94–101.
- 97. Mouas, T., Kabouche, Z., Bellel, N., Chertout, L. (2021).** *Opuntia Ficus-Indica* a Mediterranean Diet Product. *Proceedings*, 68.
- 98. Mouffouk. C., Mouffouk. S., Mouffouk. S., Hambaba. L., Haba. H. (2021).** Flavonols as potential antiviral drugs targeting SARS-CoV-2 proteases (3CLpro and PLpro), spike protein, RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) and angiotensin-converting enzyme II receptor (ACE2); *European Journal of Pharmacology* 891, 173759.
- 99. Moussa-ayoub, T. E., Abd el-hady, E. S. A., Omran, H. T., EL-Samahy, S. K., Kroh, L. W., Rohn, S., (2014).** Influence of cultivar and origin on the flavonol profile of fruits and cladodes from cactus *Opuntia ficus-indica*. *Food Research International*, 64, 864–872.

- 100. Moosazadeh, E., Akhgar, M.R., Kariminik, A. (2014).** Chemical composition and antimicrobial activity of *Opuntia stricta* F. essential oil. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(5), 94–101.
- 101. Msaddak, L., Abdelhedi, O., Kridene, A., Rateb, M., Belbahri, L., Ammar, E., Zouari, N. (2017).** *Opuntia ficus indica* cladodes as a functional ingredient: bioactive compounds profile and their effect on antioxidant quality of bread. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 1-8.
- 102. Mulas, M et Mulas, G. (2004).** Potentialités d'utilisation stratégique des plants des genres *Artiplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. *Short and medium –Term Priority Environmental Action Programme (SMAP)*. Université des études de SASSAR, groupe de la recherche sur la désertification (Italie), 112p.

N

- 103. Neffar, S. (2012).** *L'étude de l'effet de l'âge de plantations de figuier de barbarie (Opuntia ficus indica l. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est cas de souk-ahras et Tébessa.* (Doctoral dissertation, Annaba).
- 104. Nefzaoui, A., Ben Salem, H. (2001).** *Opuntia* : A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. *Cactus (optunia species) as Forage.* C. Modragon and S. Peres (eds.), 73-90.

O

- 105. Okuda,T, (2005).** Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants. *Phytochemistry*, 66(17), 2012–2031.
- 106. O'Toole, G. A. (2011).** Microtiter dish biofilm formation assay. *Journal of visualized experiments : JoVE*, (47).

P

107. **Perez-Torrero, E., Garcia-Tovar, S. E., Luna-Rodriguez, L. E., Rodriguez-Garcia, M. E. (2017).** Chemical composition of prickly pads from (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller related to maturity stage and environment. *International Journal of Plant Biology & Research*, 5(1), 1061.
108. **Petruk, G., Di Lorenzo, F., Imbimbo, P., Silipo, A., Bonina, A., Rizza, L., Piccoli, R., Monti, D.M., Lanzetta, R. (2017).** Protective effect of *Opuntia ficus-indica* L. cladodes against UVA-induced oxidative stress in normal human keratinocytes. *Bioorganic Medicinal Chemistry Letters*, 27(24), 5485–5489.
109. **Pinkava, D. J et Miller, O. (2004).** *Opuntia* Miller, In Flora of North America Editorial committee (Eds) Flora of North America North of Mexico, vol. 4 : Magnoliophyta : caryophylliidae Part New York and Oxford. On line version.
110. **Prat, L et Franck, N. (2018).** Morphologie et anatomie de *platyopuntiae*. In : Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Sáenz, C (Eds), *Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie*. FAO. ICARDA. (Italie), pp 22-28.

R

111. **Rahman, M. M., Alam, J., Sharmin, S. A., Rahman, A., Alam, M. F. (2009).** *In vitro* antibacterial activity of *Aregemone Mexicana* L. (*Papayeraceae*). *CMU Journal of Natural Science*, 8, 7784-7789.
112. **Ramadan, M. F., Mörsel, J. T. (2003a).** Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: A good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83(3), 447–456.
113. **Ramadan, M. F., Mörsel, J. T. (2003b).** Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chemistry*, 82(3), 339–345.

- 114. Ramadan, M. F., Mörsel, J. T. (2003c).** Lipid profile of prickly pear pulp fractions. *J. Food Agric. Environ.*, *1*, 66–70.
- 115. Rasoulpour, R., Afsharifar, A., Izadpanah, K., Aminlari, M., (2017).** Purification and characterization of an antiviral protein from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cladode. *Crop Protection*, *93*, 33–42.
- 116. Rasoulpour, R., Afsharifar, A., Izadpanah, K. (2018).** Antiviral activity of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) extract: Opuntin B, a second antiviral protein. *Crop Protection*, *112*, 1–9.
- 117. Rasoulpour, R., Izadpanah, K., Afsharifar., A. (2020).** Opuntin B, the antiviral protein isolated from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cladode exhibits ribonuclease activity, *Microbial Pathogenesis*, *140*,103929.
- 118. Reddy, K. E., Song, J., Lee, H.-J., Kim, M., Kim, D.-W., Jung, H., ... Lee, S. D. (2018).** Effects of High Levels of Deoxynivalenol and Zearalenone on Growth Performance, and Hematological and Immunological Parameters in Pigs. *Toxins*, *10*(3), 114.
- 119. Ressaissi, A., Attia, N., Falé, P.L., Pacheco, R., Victor, B.L., Machuqueiro, M., Borges, C., Serralheiro, M. L. M. (2017).** Isorhamnetin derivatives and piscidic acid for hypercholesterolemia: Cholesterol permeability, HMG-CoA reductase inhibition, and docking studies. *Archives of Pharmacal Research*, *40*(11), 1278–1286.
- 120. Reyes, A., Evseev, A., Mahn, A., Bubnovich, V., Bustos, R., Scheuermann, E. (2011).** Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries. *International journal of food sciences and nutrition*, *62*(3), 303–306.
- 121. Rivera-Arce, E., Gattuso, M., Alvarado, R. Zárata, E. Agüero, J. I Feria, I. Lozoya, X. (2007).** Pharmacognostical studies of the plant drug *Mimosae tenuiflorae* cortex. *Journal of ethnopharmacology*, *113*(3), 400–408.

122. Roy, P., Amdekar, S., Kumar, A., Singh, R., Sharma, P., Singh, V. (2012). *In vivo* antioxidative property, antimicrobial and wound healing activity of flower extracts of *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl) Miers. *Journal of Ethnopharmacology*, 140(1), 186-192.

S

123. Sabella, E., Luvisi, A., Aprile, A., Negro, C., Vergine, M., Nicolì, F., Miceli, A., De Bellis, L. (2018). *Xylella fastidiosa* induces differential expression of lignification related-genes and lignin accumulation in tolerant olive trees cv. Leccino. *Journal of plant physiology*, 220, 60–68.
124. Sáenz, C., Sepúlveda, E., Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* Spp Mucilage's: A Functional Component with Industrial Perspectives. *Journal of arid Environments*, 57(3), 275–290.
125. Sáenz, C. (2018). Transformation et utilisation des fruits, des cladodes et des graines. In : Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Sáenz, C (Eds), *Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie*. FAO. ICARDA. (Italie), pp 140-148.
126. Saleh, M., Badr, S. E., Khalil, E. M., & Elsaid, A. (2020). Feed efficiency, some blood parameters and *In- vitro* chemoprevention of prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) seeds oil growing in Egypt. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, 8(1), 20-28.
127. Salehi, E., Emam-Djomeh, Z., Askari, G., Fathi, M. (2019). *Opuntia Ficus Indica* Fruit Gum: Extraction, Characterization, Antioxidant Activity and Functional Properties. *Carbohydrate Polymers*, 206, 565–572.
128. Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldivar, S. O. (2011). Comparative analyses of total phenols, antioxidant activity, and flavonol glycoside

profile of cladode flours from different varieties of *Opuntia* spp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7054–7061.

- 129. Satpathy, S., Sen, S.K., Pattanaik, S., Raut, S. (2016).** Review on bacterial biofilm: An universal cause of contamination. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7, 56–66.
- 130. Sen, A., Batra, A., (2013).** Evaluation of antimicrobial activity of different solvent extracts of medicinal plant : *Melia azedarach* L. *Int. J. Curr. Pharm. Res.* 4(2), 67–73.
- 131. Schweizer, M., (1997).** Docteur Nopal, le médecin de bon dieu, Clamecy ; PARIS (France), Imprimerie Laballery, 81, p.15.
- 132. Sepulveda, E. S. C. A. E., Saenz, C., Aliaga, E., Aceituno, C. (2007).** Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid Environments*, 68(4), 534–545.
- 133. Shehata, M.G., Badr, A.N., Abdel-Razek, A.G., Hassanein, M.M., Amra, H.A. (2017).** Oil-bioactive films as an antifungal application to save post-harvest food crops. *Annual Research and Review in Biology*, 16(4), 1-16.
- 134. Shetty, S., Udupa, S., Udupa, L. (2008).** Evaluation of antioxidant and wound healing effects of alcoholic and aqueous extract of *Ocimum sanctum* Linn in rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 5(1), 95–101.
- 135. Silva, M. A., Albuquerque, T. G., Pereira, P, Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M. B. P & Costa, H. S. (2021).** *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. : A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. *Molecules*, 26(4), 951.
- 136. Slobodníková, L., Fialová, S., Rendeková, K., Kováč, J., Mučaji, P. (2016).** Antibiofilm activity of plant polyphenols. *Molecules*, 21(12), 1717.

137. Sudzuki Hills, F. (1995). « Anatomy and morphology », In : Barbera. G, Inglese, P., Pimienta- Barrios, E (Eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*, Italy : FAO. 132, 28-35.

138. Sunyecz, J. A. (2008). The use of calcium and vitamin D in the management of osteoporosis. *Therapeutics and clinical risk management*, 4(4), 827–836.

T

139. Taoufik, F., Zine, S., El Hadek, M., Idrissi Hassani, L. M., Gharby, S., Harhar, H & Matthaus, B. (2015). Oil content and main constituents of cactus seed oils *Opuntia Ficus Indica* of different origin in Morocco. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 8(2), 85–92.

140. Teot, L., Meaume, S., Dereure, O. (2001). *Plaies et cicatrisations au quotidien*. Sauramps medical, pp. 351.

141. Tilahun, Y., Welegerima, G. (2018). Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus indica*): A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 1360-1363.

142. Trease GE, Evans WC. (2002). *Pharmacognosy*. Ed. Bailliaire Tindall, London, 600 p.

143. Trombetta, D., Puglia, C., Perri, D., Licata, A., Pergolizzi, S., Lauriano, E.R., DePasquale, A., Saija, A., Bonina, F.P. (2006). Effect of polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the healing of dermal wounds in the rat. *Phytomedicine*, 13(5), 352–358.

V

144. Valente, L. M., da Paixão, D., do Nascimento, A. C., Dos Santos, P. F., Scheinvar, L. A., Moura, M. R., Tinoco, L. W., Gomes, L. N. F., da Silva, J. F. (2010). Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chemistry*, 123(4), 1127–1131.

- 145. Vergara, C., Saavedra, J., Sáenz, C., García, P., Robert, P. (2014).** Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia Ficus-Indica*) extracts and betanin stability during storage. *Food Chemistry*, 157, 246–251.

W

- 146. Wallace, R. S., Giles, A. C. (1997).** Evolution and systematic. *Biology and Uses*, P.S. Nobel Ed, 1-21.

- 147. Welegerima, G., Zemene, A., & Tilahun, Y. (2018).** Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* cladodes extract. *Journal of medicinal plant studies*, 6(2), 243-246.

Z

- 148. Zarrouq, B. (2010).** *Etude phytochimique et activité antibactérienne d'Anabasis aretioides* (Doctoral dissertation, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah).

Annexes

Annexe

Tests phytochimiques : (Bruneton, 1999 ; Trease et Evans, 2002).

- **Les saponosides**, leur détection est réalisée en ajoutant 1 mL d'eau distillée à 2 mL de l'extrait aqueux, puis la solution est agitée fortement pendant 1 min. Le mélange est ensuite abandonné pendant 20 min puis la teneur en saponosides est évaluée. La présence de saponosides est confirmée par la mesure de la hauteur de la mousse, qui au delà de 1 cm est considérée positive
- **Les tanins** sont mis en évidence en ajoutant à 1 mL d'extrait aqueux, 1 mL d'eau et 1 à 2 gouttes d'une solution de FeCl_3 diluée à 1%. L'apparition d'une coloration vert foncé ou bleu-vert indique la présence de tanins.
- **Les flavonoïdes**, leur caractérisation consiste à traiter 5 mL de l'extrait méthanolique avec 1 mL d'HCl concentré et 0,5 g de tournures de magnésium. L'apparition d'une couleur rose ou rouge qui se développe après 3 minutes indique la présence des flavonoïdes.
- **Les composés réducteurs**, leur détection consiste à traiter 1 mL de l'extrait méthanolique avec 2 mL d'eau distillée et 20 gouttes de la liqueur de Fehling, puis chauffer. Un test positif est révélé par la formation d'un précipité rouge brique.
- **Les alcaloïdes**, leur détection consiste à évaporer à sec 10 mL de l'extrait étherique, puis dissoudre le résidu obtenu dans 1,5 mL d'HCl (2%) et rajouter ensuite 1 à 2 gouttes de réactif de Mayer ou de Wagner. La formation d'un précipité blanc jaunâtre indique la présence d'alcaloïdes.
- **Les stéroïdes**, leur détection consiste en ajoutant à 5 ml de l'extrait, 5 ml d'anhydride acétique dans une capsule, puis reprise dans un tube à essai dans lequel sont coulés 0,5 ml de H_2SO_4 concentré. L'apparition d'une coloration violette qui vire au bleu puis au vert indique une réaction positive.
- **Les glycosides**, leur détection consiste à dissoudre 2 ml de chaque extrait avec 2 ml de chloroforme et d'acide sulfurique concentré avec précaution pour former une couche rougeâtre foncée de couleur brun à l'interface de l'anneau stéroïde indique la présence de glycosides cardiaques.
- **Les acides aminés**, leur détection consiste à macérer les échantillons en poudre dans le méthanol. L'ajout de 2 ml de la solution de ninhydrine à 0.2 % sur le mélange méthanolique après un chauffage se traduit par un virage au bleu foncé progressivement dans le tube dans le cas d'un résultat positif.

Réactifs et réactions de caractérisation

Les réactifs utilisés lors des tests phytochimiques sont les suivants :

- **Réactif de Wagner** : 2 g de KI et 1,27 g I₂ dans 75 mL sont dissouts dans l'eau distillée, puis le volume total est ajusté à 100 mL.
- **Réactif de Mayer** : Deux solutions contenant 1,358 g de HgCl₂ dans 60 mL, et 5 g de KI dans 10 mL d'eau distillée. Mélanger les deux solutions puis ajuster le volume total à 100 mL par de l'eau distillée.
- **Réaction de liqueur de Fehling** : 5 mL de liqueur Fehling A est mélangé avec 5 mL de liqueur Fehling B. Le caractère réducteur des aldoses ou des cétooses donne un précipité rouge brique.

Les six articles traités :

International Journal of Biological Macromolecules 81 (2015) 483–490



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijbiomacAntioxidant, antibacterial and *in vivo* dermal wound healing effects of *Opuntia* flower extractsImene Ammar^{a,*}, Sana Bardaa^b, Massara Mzid^c, Zouheir Sahnoun^b, Tarak Rebaii^c, Hamadi Attia^a, Monia Ennouri^{a,d}^a Alimentary Analysis Laboratory, National School of Engineers of Sfax, Sfax University, 3038 Sfax, Tunisia^b Laboratory of Pharmacology, Faculty of Medicine of Sfax, Sfax University, Road Majida Boulila, 3028 Sfax, Tunisia^c Laboratory of Histology Embryology, Faculty of Medicine of Sfax, Sfax University, Road Majida Boulila, 3028 Sfax, Tunisia^d Higher Institute of Applied Sciences & Technology of Mahdia, Monastir University, Sidi Messaoud, 5111 Mahdia, Tunisia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 June 2015

Received in revised form 9 August 2015

Accepted 20 August 2015

Available online 22 August 2015

Keywords:

Opuntia flowers

Wound healing

Biological activities

ABSTRACT

Opuntia ficus-indica flowers are used for various medicinal purposes. The aims of the present investigation were to evaluate biological properties of *O. ficus-indica* flowers extracts and to investigate its antioxidant and antibacterial activities and its ability to enhance wound healing. The wound healing activity of the mucilaginous and methanol extracts of *O. ficus-indica* flowers were assessed using excision wound model in rats. After thirteen days of treatment by both extracts, a beneficial effect on cutaneous repair was observed as assessed by the acceleration of wound contraction and remodeling phases.

Histopathological studies of the granulation tissue indicated that the derma is properly arranged with the *Opuntia* flowers extract, compared with the control group. The mucilage extract was more effective than the methanol extract, but both showed significant results compared with the control. Such investigation was supported by the efficiency of the methanolic and mucilage extract as antimicrobial and antioxidant. Indeed, the extracts showed a potential antioxidant activity determined by different test systems, namely DPPH radicals scavenging activity, trolox equivalent antioxidant capacity, reducing power, β -carotene bleaching assay and metal chelating activity and exhibited significant antibacterial activity against almost all tested bacteria.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Wound healing is a natural body reaction leading to the restoration of structural and functional integrity of injured tissues. Due to the rising concerns over the increasing resistance to antibiotics and synthetic drugs currently used in conventional wound healing treatments, growing attention has been given to the search for alternative wound healing agents from natural origins. In fact, several traditional medicinal herbs and plant parts have been reported to be effective in the treatment of dermal wounds, including extracts from *Aloe vera* leaves [1], *Sedum telephium* L. leaves [2], *Cinnamomum zeylanicum* bark [3], *Calendula officinalis* [4], and *Pyrostegia venusta* flowers [5]. Of particular interest, *Opuntia ficus-indica*, a species of cactus plant that grows in arid and semi-arid regions of the world, widely distributed in Mexico, Latin America, South Africa, and the Mediterranean region. Due to its

biological and pharmacological properties, this plant has long been used in various medicinal purposes. All plant parts have attractive biological properties and can be used for the production of promising bioactive compounds and value-added products. The plant produces nutritionally rich edible fruits that have attractive antiulcerogenic [6], anti-diabetic [7], anti-cancer [8] properties. The *O. ficus-indica* cladodes have also been commonly used in the treatment of several health diseases and disorders, including ulceration inhibition and skin wound healing. Trombetta et al. [9] have previously shown that lyophilized polysaccharide extracts from *O. ficus-indica* cladodes induced beneficial effects on cutaneous wound repair. Park and Chun [10] have also reported on the significant wound healing effects of a methanol extract from *O. ficus-indica* cladodes.

Furthermore, the flowers of *O. ficus-indica* have been employed as folk remedies for various medical purposes, including the treatment of hemorrhoid, digestive system disorders, chronic colitis, abdominal pain, kidney diseases, diabetes, diuretic, and diarrhea [11]. *Opuntia* flowers have also been described to induce promising results in the treatment of gastric ulcers [12].

* Corresponding author.

E-mail address: imene.ammar@yahoo.fr (I. Ammar).<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.039>

0141-8130/© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.



ISSN (E): 2320-3862
 ISSN (P): 2394-0530
 NAAS Rating: 3.53
 JMPS 2018; 6(2): 243-246
 © 2018 JMPS
 Received: 10-01-2018
 Accepted: 14-02-2018

Gebrekidan Welegerima
 Department of Biotechnology,
 College of Natural and
 Computational Sciences, Adigrat
 University, P. O. Box 50,
 Adigrat, Tigray, Ethiopia

Aragaw Zemene
 Department of Biotechnology,
 College of Natural and
 Computational Sciences, Adigrat
 University, P. O. Box 50,
 Adigrat, Tigray, Ethiopia

Yemane Tilahun
 Department of Biology, College
 of Natural and Computational
 Sciences, Adigrat University, P.
 O. Box 50, Adigrat, Tigray,
 Ethiopia

Correspondence
Gebrekidan Welegerima
 Department of Biotechnology,
 College of Natural and
 Computational Sciences, Adigrat
 University, P. O. Box 50,
 Adigrat, Tigray, Ethiopia

Journal of Medicinal Plants Studies

www.PlantsJournal.com

Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia Ficus Indica* cladodes extracts

Gebrekidan Welegerima, Aragaw Zemene and Yemane Tilahun

Abstract

Nowadays, plants with strong antimicrobial agents are becoming important alternatives to treat several infectious diseases. The aim of this study was to determine the phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* cladodes extracts against some selected bacterial isolates. Qualitative analysis of phytochemicals in the extracts was done using methanol, ethanol and chloroform solvents. Antibacterial activity of the extracts against bacteria isolates *Escherichia coli* (ATCC2592), *Staphylococcus pneumonia* (ATCC63), *Salmonella typhi* (B2836) and *Bacillus subtilis* (S456) were evaluated using agar well diffusion method. The extracts showed the presence of phenolic substances, tannins, glycosides, alkaloids, flavonoids, saponins, steroids, alkaloids and amino acids. The highest inhibition zone recorded was by methanol extract against *S. pneumonia* (ATCC63) (10.29±0.96) followed by chloroform extract against *B. subtilis* (10.23±0.66). This finding indicated that *Opuntia ficus indica* cladodes have great antibacterial effects against bacteria isolates and needs further investigations to unveil their antimicrobial potential against other multidrug resistant microbial species.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, cladodes, phytochemicals, antibacterial activity

1. Introduction

Nowadays, medicinal plants with strong antimicrobial action are becoming important antimicrobial agents for treatment of several human diseases. This antimicrobial importance of medicinal plants stems from the fact that green medicine is easily accessible, safe and with less side effects^[1, 3]. *Opuntia ficus indica* is one among the medicinal plants that has been used in traditional folk medicine because of its role in treating a number of diseases and conditions, including antimicrobial, antioxidant actions and anti-inflammatory effects^[5]. *Opuntia ficus indica* belongs to the *Cactaceae* family and grows in arid and semiarid regions of the world^[7]. The plant has different parts and the major ones include cladodes, stem, vegetative part, flower and fruit. Studies demonstrate that the various parts of the cactus plant have interesting biological constituents and activities^[9, 12, 14]. Recently, many bacterial pathogens are becoming resistant to the currently used antibiotics due to their indiscriminate use in treatment of infectious diseases and favor of the antibiotics for the survival and spread of pathogens^[11]. Hence, there is an urgent interest to discover new and strong antimicrobial agents from plants. Therefore, the aim of the present study was to determine the phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* cladodes extracts against some selected bacterial pathogens.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material Collection

Fresh samples of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*) were collected from Adigrat district, Eastern zone of Tigray Region, Northern Ethiopia (14°16'34' N latitude and 39°27 '52' E longitude). The collected samples were washed thoroughly with tap water and rinsed with distilled water. The cleaned samples were cut into small pieces and dehydrated at 60 °C for two days. Dried samples were grinded in a domestic grinder and the powders were sieved at 1 mm. The fine powders obtained were stored in dark plastic bags at room temperature till used for further studies.

2.2. Culture Media and Chemicals

Dehydrated media, standard antimicrobial drugs (disc), and chemicals from Hi-media laboratories were used for culturing of the test bacteria.

~ 243 ~



Extractable and macromolecular antioxidants of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Phytochemical profiling, antioxidant and antibacterial activities

C.E. Aruwa^a, S.O. Amoo^b, T. Kudanga^{a,*}

^a Department of Biotechnology and Food Technology, Durban University of Technology, P.O. Box 1334, Durban 4000, South Africa

^b Agricultural Research Council, Roodetlaat Vegetable and Ornamental Plants, Private Bag X293, Pretoria 0001, South Africa

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 January 2019
Received in revised form 11 June 2019
Accepted 2 August 2019
Available online 20 August 2019

Edited by AR Ndhkala

Keywords:

Opuntia cladodes
Macromolecular antioxidants
Antioxidant activity
Antimicrobial activity

ABSTRACT

Macromolecular antioxidant (MA) fractions and their antioxidant and antimicrobial activities are largely ignored from most conventional extractive processes compared to the well-known extractable polyphenol fractions. This study investigated subtropical spineless cladode MA extracts in comparison with their extractable fractions; as well as the effect of freeze and oven drying methods on extract yields and bioactivities. Cladode extractable phenol (EP) and MA fractions antioxidant capacities, antimicrobial potential against multi-drug resistant bacterial cultures, and phenolic content were evaluated. LC/MS was used to analyse/profile extract components. Freeze-dried samples from all the extracts showed better antioxidant and antimicrobial activities than the oven-dried samples. Antibacterial and antioxidant activities were generally higher in hydrolysed (MA) than in unhydrolysed (extractable) fractions. DPPH radical scavenging activity (RSA) EC₅₀ values correlated with phenol contents (R² = 0.9609). LC/MS extract profiles showed the presence of phenolic acids, flavonoid derivatives and other unidentified compounds. Isovitexin 7-*O*-xyloside-2'-*O*-glucoside, polyhydroxypregnane glycoside and neohancoside C were identified for the first time in *Opuntia* cladode extracts. This study showed that cladode EP and MA extracts have potential as rich antioxidant sources and can be key to the discovery of new antimicrobials.

© 2019 SAAB. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The cactus pear (*Opuntia* spp.) plant has a high genetic diversity with a wide variety of the plant grown worldwide. *Opuntia ficus-indica* is the most common and main commercial variety, with spines or no spines/thorns (Vigueras and Portillo, 2001). Globally, the demand for natural antioxidants has increased due to safety concerns attributed to the use of synthetic antioxidants. For example, synthetic antioxidants have been shown to be allergenic, carcinogenic, and cause nausea, DNA and sperm abnormalities (Wojcik et al., 2010). Synthetic antioxidants may also not contribute additional nutritional benefits (Satyanarayana et al., 2014). On the other hand, natural antioxidants are readily assimilated by the body and show little or no adverse effect (Wojcik et al., 2010). In addition, there is also the alarming trend of multi-drug resistance to available antimicrobials (Valtierra-Rodríguez et al., 2010). The safety concerns with synthetic antioxidants and increasing antimicrobial resistance trends have necessitated scientific studies directed towards the search for novel, but safe bioactive molecules in plant extracts with antioxidant (Aremu et al., 2011) and antimicrobial

properties (Valtierra-Rodríguez et al., 2010). One of the plants being investigated is the spineless cactus plant.

Opuntia nopals (cladodes) have been used in traditional folk medicine (Flores et al., 1999). Some reported nopal health benefits include anticarcinogenic, antihypertensive (Livrea and Tesoriere, 2006) and antioxidative health effects (Avila-Nava et al., 2014). The presence of insoluble and soluble fibres (1–2%), as well as biologically active phytochemicals such as polyphenols and flavonoids (Avila-Nava et al., 2014; Stintzing and Carle, 2005) is responsible for nopal health benefits. Ascorbic acid, a natural antioxidant, is also found in considerable quantities in *Opuntia* nopals/cladodes (Stintzing and Carle, 2005). However, the bulk of information on biological activity of cactus pear cladodes comes from the extractable phenol fractions (Livrea and Tesoriere, 2006) while much less information is available on macromolecular antioxidant (MA) fractions even though there is evidence that both contain biologically active molecules (Avila-Nava et al., 2014).

Hydrolysable polyphenols [macromolecular antioxidants (MAs)] isolated in residues are often overlooked in common plant extractive operations (Saura-Calixto, 2012). MAs include hydrolysable tannins, phenolic acids and simple phenols (Pérez-Jiménez et al., 2013). Apart from their antioxidant activity, MA compounds contribute to the beneficial health properties associated with dietary food fibre (Saura-Calixto, 2012).

* Corresponding author at: Department of Biotechnology and Food Technology, Durban University of Technology, P.O. Box 1334, Durban 4000, South Africa.
E-mail address: tukayik@dut.ac.za (T. Kudanga).



Article

Antimicrobial and Antibiofilm Activity against *Staphylococcus aureus* of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladode Polyphenolic Extracts

Federica Blando ¹, Rossella Russo ², Carmine Negro ³, Luigi De Bellis ³ and Stefania Frassinetti ^{2,*}

¹ Institute of Sciences of Food Production (ISPA), National Research Council (CNR), Research Unit of Lecce, Via Prov. le Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italy; federica.blando@ispa.cnr.it

² Institute of Biology and Agricultural Biotechnology (IBBA), National Research Council (CNR), Research Unit of Pisa, Via Moruzzi 1, 56124 Pisa, Italy; rossella.wilbur@gmail.com

³ Department of Biological and Environmental Sciences and Technologies (DiSTeBA), Salento University, 73100 Lecce, Italy; carmine.negro@unisalento.it (C.N.); luigi.debellis@unisalento.it (L.D.B.)

* Correspondence: frassinetti@ibba.cnr.it; Tel.: +39-050-315-2704

Received: 26 March 2019; Accepted: 28 April 2019; Published: 2 May 2019



Abstract: Plant extracts are a rich source of natural compounds with antimicrobial properties, which are able to prevent, at some extent, the growth of foodborne pathogens. The aim of this study was to investigate the potential of polyphenolic extracts from cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. to inhibit the growth of some enterobacteria and the biofilm formation by *Staphylococcus aureus*. *Opuntia ficus-indica* cladodes at two stages of development were analysed for total phenolic content and antioxidant activity by Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) (in vitro assays) and by cellular antioxidant activity in red blood cells (CAA-RBC) (ex vivo assay). The Liquid Chromatography Time-of-Flight Mass Spectrometry (LC/MS–TOF) analysis of the polyphenolic extracts revealed high levels of piscidic acid, eucomic acid, isorhamnetin derivatives and rutin, particularly in the immature cladode extracts. *Opuntia* cladodes extracts showed a remarkable antioxidant activity (in vitro and ex vivo), a selective inhibition of the growth of Gram-positive bacteria, and an inhibition of *Staphylococcus aureus* biofilm formation. Our results suggest and confirm that *Opuntia ficus-indica* cladode extracts could be employed as functional food, due to the high polyphenolic content and antioxidant capacity, and used as natural additive for food process control and food safety.

Keywords: *Opuntia ficus-indica* cladode; flavonoid; antioxidant; antimicrobial activity; antibiofilm activity

1. Introduction

In recent years, there has been an increased interest in natural antimicrobials, especially those obtained from plants. Some plant species are a rich source of natural compounds with antimicrobial properties, which are able to prevent, at some extent, the growth of foodborne pathogens, and extend the shelf life of the food [1].

Pathogens involved in foodborne diseases or food processing plant contamination are often capable to adhere and form biofilms. These structures are organized communities of bacterial cells enclosed in a self-produced polymeric matrix, composed of polysaccharides, proteins and other organic components, adhering to inert or living surfaces [2]. It is known that bacteria within biofilms are more resistant to antibiotics and other chemical agents than planktonic cells in suspension and their increased tolerance towards antimicrobial agents reduces the effectiveness to the treatment of biofilm-related



The Effect of Chemical Composition of Wild *Opuntia Ficus Indica* Byproducts on its Nutritional Quality, Antioxidant and Antifungal Efficacy

Adel G. Abdel-Razek¹, Mohamed G. Shehata², Ahmed N. Badr^{*3}, Karolina Gromadzka⁴, Lukasz Stepień⁵

¹Fats and Oils Dept., National Research Centre, Dokki 12622, Cairo, Egypt.

²Food Technology Dept., Arid Lands Cultivation Research Institute, City of Scientific Research and Technological Application, Alexandria, Egypt.

³Food Toxicology and Contaminants Dept., National Research Centre, Dokki 12622, Cairo, Egypt.

⁴Chemistry Dept., Poznan University of Life Science, ul. Wojska Polskiego 75, 60-625 Poznań, Poland.

⁵Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Strzeszynska, 60-479, Poznań, Poland.

WILD *Opuntia ficus-indica* is a plant commonly grown in the desert. This study aimed to evaluate the chemical composition; fatty acids, macro and micro-elements, vitamin C, total phenolic and flavonoid contents of *Opuntia Ficus indica* byproducts (cladodes and fruit peels) on its nutritional quality, as well as, their antimicrobial, and antioxidant efficacy. Dietary fiber was 30.68 ± 5.28 in peels and 25.65 ± 3.07 in cladodes. The total phenolic content for each byproduct was estimated as 520 ± 2.64 and 788 ± 1.35 mg GAE/g for fruit peels and cladodes, respectively. Whereas flavonoids were estimated as 65.7 ± 3.41 and 25.36 ± 1.55 mg Cat., /g for fruit peels and cladodes respectively. Results reflected considerable content of microelements and omega fatty acids. Eicosadionic was the major fatty acid component and it recorded 32.1 and 38.4% for fruit peel and cladodes, respectively. Byproducts extract demonstrated an efficiency against bacteria and toxigenic fungi. Inhibition impact of byproducts was very clear on *Fusarium* fungi using diffusion assay on agar media. The unique chemical composition and distinctive minor components of cladodes and peels reflected distinguishing bioactivity against harmful food-microorganisms. This could benefit for food safety particularly against toxigenic fungi. It could be concluded that *Opuntia Ficus indica* byproducts are promising for the application in the food industry.

Keywords: *Opuntia ficus indica* byproducts, Chemical composition, Nutritional components, Antifungal activity, Antioxidant activity.

Introduction

Opuntia ficus-indica (OPF) is a wild plant, grows in sub-Saharan and North Africa. The OPF plant originated from the American area was inserted into the Mediterranean countries [1]. The wild-OPF reported an ability to grow widely, particularly in arid and semi-arid areas [2]. In North Africa, the cultivation of OPF is practiced to prevent soil corrosion in arid lands and as a forage replacement during drought periods. The

OPF, also called prickly pear, was principally utilized for its fruits which consists of a thick peel and an edible juicy pulp with many hard seeds [3].

The OPF has two types of byproducts cladodes and peels which frequently not used for nutrition. These OFP byproducts (OFPBs) need advanced research as it could contain multiple active molecules. The previous studies recorded the existence of various active molecules and minor components in prickly pear fruits. These

*Corresponding author e-mail: noohbadr@gmail.com; Tel: +2 01000327640;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5588-6545> Scopus ID: 57194519147

Received 20/8/2019; Accepted 18/9/2019

DOI: 10.21608/ejchem.2019.15895.1967

©2019 National Information and Documentation Center (NIDOC)



Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Volatile Constituents of Cladodes, Fruits peel and Fruits pulp from *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Prickly Pear) growing in Egypt



S.S. El-hawary¹, M.E. El-Tantawy², M.A. Rabe¹ and W.K. Badr^{2*}

¹Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Cairo University 11562, Egypt.

²Department of Medicinal Plants and Natural Products, National Organization for Drug Control and Research, Egypt.

Abstract

Volatile constituents of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill (prickly pear or nopal cactus) cladodes, fruits peel and fruits pulp were prepared by hydro- distillation. The chemical composition was investigated by GC/MS analysis. Dodecane found as the major compound in the volatile constituents of fruits peel and cladodes representing (32.3%) and (20.05%) respectively followed by undecane (20.02%) in cladodes, (14.47%) in fruits peel while the fruits pulp volatile constituents contain undecane as a major compound (20.52%) followed by dodecane (16.86%). The antimicrobial activity was carried out for all samples using diffusion agar method against *Aspergillus flavus*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*. Fruits peel volatile constituents showed antimicrobial activity against all tested microorganisms except *Candida albicans* while fruits pulp volatile constituents showed activity against *Staphylococcus aureus* and gram-negative bacteria and had no activity against fungi and *Bacillus subtilis*. Cladodes volatile constituents had no activity against all tested microorganisms.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, Prickly pear, Nopal cactus, Volatile constituents, Dodecane, Undecane, Antimicrobial activity.

Introduction

Opuntia ficus-indica (L.) Mill. commonly called prickly pear or nopal cactus belongs to Cactaceae family, which includes about 1500 species of cactus. *Opuntia* is a large genus of succulent shrubs, native to the new world and now widely grown in the warmer parts of the world due to their unique appearance attractive flowers and delicious fruits [1]. Nopal cactus used in health, cosmetics and nutrition in forms of tea, jam, juice, and oil extracted from prickly pear seeds. Cactus fruits was given as anti-ulcerative and antidiarrheal agents, flowers used as oral anti-hemorrhoid and cladodes syrup as a treatment for whooping cough. On the other hand,

fresh and dry fruits consumed in large amounts as food. *Opuntia ficus indica* was known for its high content in polyphenols exhibiting antioxidant and anti-inflammatory properties [1, 2]. Interestingly, alkaloids, indicaxanthin, neobetainin, and various flavonoids have been isolated from cactus [3], along with polysaccharides, which are abundant in cladodes extracts and have antidiabetic activity [4]. The *Opuntia ficus indica* cladodes contain vitamins and various flavonoids, particularly quercetin 3-methyl ether, a highly efficient radical scavenger [5, 6]. Cladodes extract of *Opuntia ficus-indica* lowers cholesterol level, had antiulcer and anti-inflammatory activity, and the water extract improves wound

*Corresponding author e-mail: wafaakorany@ymail.com; (Wafaa K. Badr).

Receive Date: 18 December 2019, Revise Date: 16 April 2020, Accept Date: 19 April 2020

DOI: 10.21608/EJCHEM.2020.21137.2260

©2021 National Information and Documentation Center (NIDOC)

ملخص

التين الشوكي، *Opuntia ficus indica*، هو نبات أستخدم في الطب التقليدي لفترة طويلة، والبحث في هذا النبات في تقدم مستمر بهدف تطويره. هذا العمل عبارة عن ملخص لسنة مقالات علمية تتعلق بالتركيب الكيميائي النباتي ودراسة الأنشطة المضادة للبكتيريا والفطريات والمضادة للأغشية الحيوية وتأثير التئام جروح الجلد، عن طريق المركبات المتطايرة والمستخلصات الكحولية أو الصمغ المحضر من أعضاء مختلفة من هذا النبات. النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى وجود المواد الكيميائية النباتية، وخاصة البوليفينول، المسؤولة عن النشاط المضاد للميكروبات. أظهر النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المختلفة مستوى عال جداً من الحساسية للسلاسل البكتيرية المختبرة، خاصة الأنواع إيجابية الجرام مقارنة بالسلبية الجرام، وأكدتها قيم MIC. أظهرت مستخلصات *OFI* نشاطاً معتدلاً ضد الفطريات المستعملة وعدم وجود نشاط ضد الخميرة. كما أظهرت هذه المستخلصات تثبيطاً ملحوظاً لتكوين الغشاء الحيوي ولوحظ تأثير مفيد على ترميم الجلد بواسطة مستخلص الصمغ، حيث تم تقييمه من خلال تسريع الانقباض وإغلاق الجرح. تشير هذه النتائج إلى أن مستخلصات *Opuntia ficus indica* لها إمكانية كمصدر للمركبات النباتية ويمكن استخدامها كمضافات طبيعية مضادة للميكروبات لسلامة الغذاء وكمواد التئام الجروح.

الكلمات المفتاحية: *Opuntia ficus indica*، مستخلصات الكحول، الصمغ، البوليفينول، نشاط مضادات الميكروبات، MIC، الغشاء الحيوي، التئام الجروح.

Résumé

Le figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica*, est une plante utilisée en médecine traditionnelle depuis longtemps, et la recherche sur cette plante en vue de sa valorisation est en plein progrès. Le présent travail est une synthèse de six articles portant sur la composition phytochimique et l'étude des activités antibactérienne, antifongique, anti-biofilm et l'effet cicatrisant des plaies cutanées, par les composés volatils et des extraits alcooliques ou du mucilage préparés à partir des différents organes de la plante. Les résultats obtenus indiquent la présence de composés phytochimiques, principalement des polyphénols, responsables de l'activité antimicrobienne. L'activité antibactérienne des différents extraits a montré un niveau de sensibilité très élevé des souches bactériennes testées, surtout des espèces à Gram positif par rapport à celles à Gram négatif, et confirmé par les valeurs des CMI. Les extraits d'*OFI* ont présenté une activité antifongique modérée vis-à-vis des espèces fongiques et sans activité vis-à-vis de la levure. Ces extraits ont montré une inhibition remarquable de la formation du biofilm et un effet bénéfique sur la réparation cutanée a été observé par l'extrait de mucilage, évalué par l'accélération de la contraction et de la fermeture de la plaie. Ces résultats suggèrent que les extraits d'*Opuntia ficus indica* ont un potentiel en tant que source de phyto-composés et pourraient être utilisés comme additifs antimicrobien naturels pour la sécurité alimentaire et en tant qu'agents cicatrisants des plaies cutanées.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*, Extraits alcooliques, Mucilage, Polyphénols, Activité antimicrobienne, CMI, Biofilm, Cicatrisation des plaies.

Abstract

The prickly pear, *Opuntia ficus indica*, is a plant used in traditional medicine for a long time, and research on this plant with a view to its development is in full progress. The present work is a synthesis of six articles relating to the phytochemical composition and the study of the antibacterial, antifungal, anti-biofilm activities and the healing effect of skin wounds, by volatile compounds and alcoholic extracts or mucilage prepared from different organs of the plant. The results obtained indicate the presence of phytochemicals, mainly polyphenols, responsible for the antimicrobial activity. The antibacterial activity of the different extracts showed a very high level of sensitivity of tested bacterial strains, especially Gram-positive species compared to Gram-negative ones, and confirmed by the MIC values. *OFI* extracts showed moderate antifungal activity against fungal species and no activity against the yeast. These extracts showed remarkable inhibition of biofilm formation and a beneficial effect on skin repair was observed by the mucilage extract, assessed by the acceleration of contraction and wound closure. These results suggest that *Opuntia ficus indica* extracts have potential as a source of phyto-compounds and could be used as natural antimicrobial additives for food safety and as skin wound healing agents.

Keywords: *Opuntia ficus indica*, Alcoholic extracts, Mucilage, Polyphenols, Antimicrobial activity, MIC, Biofilm, Wound healing.