

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



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

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

Filière : "Sciences biologiques"

Spécialité : "Infectiologie"

Présenté et soutenu publiquement par

GOUDJIL Salima

NACERI Kheira

NOURA Sana

Thème

Caractérisation physicochimique et effet antibactérien de la cladode d'*Opuntia ficus indica inermis* (L) Mill. de la région de Tiaret, en vue d'explorer son potentiel thérapeutique

JURY:

- **Président : Dr. TABAK Souhila** MCA
- **Promoteur : Dr. LOUACINI Brahim Kamel** MCA
- **Co-promoteur : Dr. DOUKANI Koula** MCA
- **Examineur : Dr. ACEM Kamel** MCA

Année universitaire : 2017 – 2018

Remerciement

Tous d'abord, nous tenons à remercier "Allah" clément et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à terme ce modeste travail.

Comme, c'est un plaisir de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire :

*En premier lieu, nous voudrions exprimer notre remerciements les plus sincères à notre promoteur le Dr. **LOUACINI Brahim Kamel** pour nous avoir guidé pour la réalisation de cette étude, nous tenons remercier pour sa grande rigueur scientifique, sa disponibilité, son soutien professionnel et sa compétence*

*Nous remercions et nos profondes gratitude s'adressent à Dr. **DOUKANI Koula** chef de spécialité d'infectiologie et notre co-promoteur qui nous a toujours accueillies avec une grande sympathie, bienveillance et avec ses remarques constructives avec le temps et sa patience tout au long de ce travail, nous la remercions pour ses conseils, ses encouragements et son aide précieuse*

*Nos vifs remerciements iront aux membres de jury Dr. **TABAK Souhila** et Dr. **ACEM Kamel** qui nous feront l'honneur de juger notre travail.*

Nous voudrions aussi remercier l'ensemble de personnel des laboratoires pour leurs encouragements durant notre expérimentation

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Ceux que personne ne peut compenser
les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon
éducation et mon bien être :*

*A ma chère mère à qui je ne saurais exprimer ma profonde gratitude,
à son regard pétillant et sa complicité si profonde, à qui n'as jamais
cessé de me soutenir matériellement et moralement pour que je puisse
avoir une bonne formation et à qui je voudrais exprimer mes
affections et mes grâces*

A mes très chères sœurs "Nabila et Leila",

*A mes chers frères "Nabil et Salim" pour leur soutien,
pour leur présence dans les moments les plus difficiles
malgré la distance qui nous sépare*

A mes chers oncles "Mohamed et Abdelkader"

et mes tantes, A mes cousines et toute la famille sans exception

*A ma co-promoteur Dr. DOUKANI Koula pour Leur générosité et
leur soutien durant la période de recherche*

A mes chers (es) amis (es) "Linda, Nesrine, Khalida, Kheira, Sana"

A toute personne qui de près ou de loin, a participé à ma formation

Salima



Dédicace

Que ce travail témoigne de mes respects :

Ames Parents

*Grace à leur tendre encouragement et leurs grands sacrifices,
Ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite
De mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect,
Ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux,
En espèrent qu'ils seront toujours fiers de moi.*

A mes sœurs et à mes frères

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de
reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter*

A tous mes professeurs

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner
Mon profond respect et ma loyale considération.*

A tous mes amis et mes collègues

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie où je
dédié spécialement mon âme sœur qui m'a soutenue tout au long mon passage
éducatif **Nesrine**, ainsi a mes très chères amies **Salima, Sana et Houda***

Kheira



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

*A mes chères sœurs **Zhour, Nada-Wiam** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

*A mes chers frères, **Moustafa, Ali , Abdelmalek** pour leur appui et leur encouragement .*

*A Mes oncles, **Doukali Safi ,khalfallah.***

*Le professeur **Dr. LOUACINI B. K. et Dr. DOUKANI K.,**
pour leur soutien constant et ses précieux conseils.*

*A mes très chères amies de toujours **Fatima , Khaldiya ,
Salima et Kheira** qui m'ont beaucoup soutenues.*

*Ainsi qu'à tous mes **amis et camarades.***

Merci d'être toujours là pour moi.

Sana

SOMMAIRE

Sommaire

Liste des abréviations	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
Liste des annexes	vi

Introduction

PREMIERE PARTIE: Synthèse bibliographique

CHAPITRE I: Généralités sur l'*Opuntia ficus indica*

I.1. Définition	03
I.2. Taxonomie	04
I.3. Origine	05
I.4. Description morphologique	05
I.5. Description des raquettes	06
I.6. Ecophysiologie	07
I.7. Composition physico-chimique	08
I.8. Utilisations	08
I.9. Importance agro-économique	09

CHAPITRE II: Potentiel thérapeutique

II.1. Nature une véritable officine	11
II.2. Quête ancestrale	11
II.3. Démarche ethnopharmacologique	12
II.3.1. Chimie des plantes	12

II.4. Effet hypoglycémiant.....	13
II.5. Effet hypolipidémiant.....	15
II.6. Effet antioxydant.....	16
II.6.1. Définition de l'activité anti-oxydante.....	16
II.6.2. Effet anti-oxydant de l'extrait de jus de fruit du figuier de barbarie.....	17
II.6.3. Effet anti-oxydant de la figue de barbarie.....	18
II.6.4. Effet anti-oxydant de l'huile de figuier de barbarie.....	18
II.7. Effet neuroprotecteur.....	18
II.8. Effet anti-inflammatoire.....	19
II.9. Effet antimicrobien.....	20
II.10. Effet antiulcéreux.....	20
II.11. Effet antiallergique.....	21
II.12. Effet chondroprotecteur.....	22
II.13. Effet antigenotoxique.....	22
II.14. Effet diurétique.....	23
II.15. Effet hepatoprotecteur contre les pesticides.....	24
II.16. Effet anticancéreux.....	25
II.17. Autres effets.....	25
II.18. Résultats et discussion.....	27

DEUXIEME PARTIE : Partie expérimentale

CHAPITRE I: Matériel et Méthodes

I.1.Objectifs.....	30
--------------------	----

I.2.Lieu et période d'étude.....	30
I.3. Matériel et méthodes.....	30
I.3.1. Matériel.....	30
I.3.1.a. Matériel végétal.....	30
I.3.1.b. Matériel biologique.....	31
I.3.1.c. Matériel et produits du laboratoire.....	32
I.3.2. Méthodes.....	33
I.3.2.1. Protocole expérimental.....	33
I.3.2.2. Transformation des raquettes.....	35
I.3.2.3. Analyses biométriques	36
I.3.2.4. Analyses physicochimiques	36
a. Détermination de la teneur en eau	36
b. Détermination du pH	37
c. Détermination de l'acidité titrable	37
d. Détermination de la conductivité	38
e. Détermination du taux de cendres	38
f. Détermination de la teneur en fibres brutes	39
g. Dosage des lipides	40
h. Dosage des pectines	41
i. Détermination des éléments minéraux (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺)	42
j. Dosage des protéines	43
k. Dosage des sucres totaux	45

I. Dosage des sucres réducteurs	46
I.3.2.5. Analyses phytochimiques	47
a. Dosage des composés phénoliques	47
b. Dosage des flavonoïdes	48
c. Evaluation de l'activité antioxydante (par DPPH)	49
I.3.2.6. Screening phytochimique	50
a. Test des Tanins	50
b. Test des Terpenoïdes	50
c. Test des Stéroïdes	51
d. Test des sucres réducteurs	51
I.3.2.7. Essai d'extraction des huiles essentielles	51
I.3.2.8. Activités antibactérienne	52
a. Revivification des souches	52
b. Confirmation des souches	52
c. Evaluation de l'activité antibactérienne d'extrait d' <i>O. ficus indica</i>	54
✚ Aromatogramme par diffusion en milieu gélosé (disques)	55
✚ Détermination du diamètre de la zone d'inhibition (DZI)	55

CHAPITRE II: Résultats et discussions

II.1. Caractéristiques biométriques	56
II.2. Caractéristiques physicochimiques	57
II.2.1. Teneur en eau	57
II.2.2. Acidité titrable et pH	58
II.2.3. Conductivité électrique	58

II.2.4. Teneur en cendres	58
II.2.5. Cellulose brute	59
II.2.6. Teneur en matière grasse	59
II.2.7. Teneur en pectines	60
II.2.8. Eléments minéraux (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺)	60
II.2.9. Teneur en protéines	61
II.2.10. Sucres totaux	61
II.2.11. Sucres réducteurs	62
II.3. Résultats des analyses phytochimiques	62
II.3.1. Rendement d'extraction	62
II.3.2. Résultats des Composés phénoliques	63
II.3.2.1. Teneur en polyphénols	63
II.3.2.2. Teneur en flavonoïdes	64
II.3.2.3. Détermination de l'activité antioxydante par DPPH	65
II.3.2.4. Résultats de screening phytochimique	66
II.4. Résultats de l'extraction de l'huile essentielle	66
II.5. Résultats de l'activité antibactérienne	67
II.5.1. Confirmation des souches bactériennes étudiées	67
II.5.1.1. Coloration de Gram	67
II.5.1.2. Résultats des tests biochimiques	67
II.5.1.3. Résultats d'Antibiogramme	68
II.5.2. Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne	69

Conclusion	74
Références bibliographiques	76
Annexes	99

Liste des abréviations

ALAT : Alanine Amino Transférase

ASAT : Aspartate Amino Transférase

ATB : Antibiotique

ATCC : American Type Culture Collection

CAM : Crassulacean Acid Metabolism (Métabolisme Acide Crassulacéen)

COX2 : Cyclo Oxygénase-2

DNSA : Dinitrosalicylic Acid (Acide 3,5-dinitrosalicylique)

DPPH : Diphényl-picrylhydrazyle

DZI : Diamètre de la Zone d'inhibition

GN: Gélose Nutritive

HE: Huile essentielle

IL : Interleukine

iNOS : Inducible Nitric Oxide Synthase (Monoxyde Nitrique Synthase Inductible)

KA : Kainate

Lac : Lactose

LDC : Lysine Décarboxylase

LDH : Lactate Déshydrogénase

LPS : Lipopolysaccharide

MDA : Malondialdéhyde

mg EAG/g MS : Milligramme Equivalent d'Acide Gallique/gramme de Matière sèche

mg EQ/g MS : Milligramme d'Equivalent de Quercetine/gramme de Matière Sèche

MH : Mueller Hinton

MS : Matière Sèche

MTZ : Métronidazole

NA : Nalidixic Acid (Acide Nalidixique)

NF-kB : Nuclear Factor- kappa- B (Facteur Nucléaire kappa B)

NMDA : N-Méthyl-D- Aspartate

ODC: Ornithine decarboxylase

OGD: Oxygène Glucose Deprivation

ONPG: OrthoNitroPhényl- β -Galactoside

ORAC : Oxygen Radical Absorbance Capacity (Capacité d'Absorption des Radicaux Oxygénés)

Ox : Oxydase

PB : Protéine Brute

PEP : PhosphoEnolPyruvate

ppm : Partie Par Million

Sac : Saccharose

T⁻ : Témoin négatif

TE : Tétracycline

TIAC : Toxi Infection Alimentaire Collective

TRAP : Total Radical-trapping Antioxidant Parameter (Parametre Antioxydant Anti-Radicalaire Total)

Liste des figures

Figure n°01 : Figuier de Barbarie (<i>Opuntia ficus-indica</i> .L)	03
Figure n°02 : Les deux variétés de cactus : épineux, inerme	06
Figure n°03 : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM	07
Figure n°04 : Biosynthèse des métabolites secondaires	13
Figure n°05 : Glycémie avant et après incorporation de la cladode	14
Figure n°06 : Taux de glycogène chez des rats témoins et pré traités en l'huile d' <i>O. ficus indica</i> ...	14
Figure n°07 : Structure chimique du radical libre DPPH•	17
Figure n°08 : Observations microscopiques de la muqueuse gastrique des rats	21
Figure n°09 : Histogramme représentant les effets thérapeutiques en pourcentage	29
Figure n°10 : Carte géographique du lieu de provenance des cladodes (Sidi Ali Melall Tiaret)	31
Figure n°11 : Diagramme représentatif du Protocole expérimental	34
Figure n°12 : Transformation des raquettes d' <i>O. ficus indica</i>	35
Figure n°13 : Analyses biométriques de la raquette d' <i>O. ficus indica</i>	36
Figure n°14 : Histogramme du rendement d'extraits méthanoliques des cladodes âgées et jeunes	62
Figure n°15 : Teneurs en polyphénols (mg EAG/g ms)	63
Figure n°16 : Teneurs en flavonoïdes (mg EQ/g ms)	64
Figure n°17 : Souches vues par microscopie photonique après coloration de Gram (100X)	67
Figure n°18 : Diamètre de la zone d'inhibitions d'extrait d' <i>O. ficus indica</i> sur <i>E. coli</i>	70
Figure n°19 : Diamètre de la zone d'inhibition de l'extrait d' <i>O. ficus indica</i> sur <i>S. aureus</i>	71
Figure n°20 : Diamètre de la zone d'inhibition de l'extrait d' <i>O. ficus indica</i> sur <i>P. aeruginosa</i>	71

Figure n°21 : Préparation des milieux de culture	103
Figure n°22 : Standardisation d'inoculum	103
Figure n°23 : Stérilisation d'extrait méthanolique d' <i>O. ficus indica</i>	103
Figure n°24 : Réalisation de l'aromatogramme	103

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Effets, articles ou études consultés et année de publication	27
Tableau n°02 : Tableau récapitulatif par effet en (%)	28
Tableau n°03 : Produits et milieux de culture utilisés dans notre étude	32
Tableau n°04 : Verreries et appareillages utilisés dans notre étude	33
Tableau n°05 : Mesures biométriques des cladodes âgées et jeunes	56
Tableau n°06 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de cladodes âgées et jeunes	57
Tableau n°07 : Teneur en minéraux des cladodes âgées et jeunes	60
Tableau n°08 : Activité antioxydante d' <i>Opuntia ficus indica</i>	65
Tableau n°9 : Résultats du screening phytochimique	66
Tableau n°10 : Résultats de la coloration de Gram des souches étudiées	67
Tableau n°11 : Résultats des tests biochimiques	67
Tableau n°12 : Résultats d'Antibiogramme pour <i>E. coli</i>	68
Tableau n°13 : Résultats d'Antibiogramme pour <i>S. aureus</i>	68
Tableau n°14 : Résultats d'Antibiogramme pour <i>P. aeruginosa</i>	69
Tableau n°15 : Diamètres de la zone d'inhibition	70

Liste des annexes

Annexe n°1 : Préparation du réactif DNSA	99
Annexe n°2 : Coloration de Gram	100
Annexe n°3 : Composition des milieux de culture g/l	101
Annexe n°4 : Etapes de l'évaluation de l'activité antibactérienne	103
Annexe n°5 : Appareillages et autres utilisés dans l'expérimentation	104

INTRODUCTION

De nos jours, l'utilisation des plantes médicinales en phytothérapie a reçu un grand intérêt dans la recherche biomédicale et devient aussi importante que la chimiothérapie. Ces remèdes naturels sont bien souvent très efficaces avec moins d'effets secondaires reconnus que beaucoup de médicaments de synthèse. Une grande partie de l'intérêt des recherches actuelles porte sur l'étude de ces molécules thérapeutiques d'origine naturelle (**Karima et al., 2013**).

L'objectif primordial assigné par cette étude englobe le même contexte, afin d'évaluer les teneurs en principes actifs, les propriétés antibactérienne d'extrait brut méthanolique des raquettes d'*Opuntia ficus indica*, plante largement utilisée en médecine traditionnelle à travers le monde.

L'*Opuntia ficus indica* appelée communément cactus est l'espèce la plus favorable pour le développement agricole dans les zones affectées par les deux plus grands problèmes environnementaux dans le monde à savoir: la désertification et le changement climatique (**Nefzaoui et El Mourid, 2007**).

Outre sa contribution dans le développement agricole, des découvertes récentes ont montré d'autres avantages thérapeutiques et nutritionnels. Les cladodes peuvent être consommées en tant que légumes frais ou cuits (**Monjauze et al., 2004 ; Van Bennekum et al., 2005**) aussi elles ont été étudiées en tant que traitement de l'hyperglycémie, de l'hyperlipidémie en abaissant le taux de cholestérol, et de l'athérosclérose (**Loor et al., 2003 ; Ney et al., 1988**). Leur effet sur la résorption significative des lésions gastriques et de l'ulcère a été étudié par **Mathews et al. (2002)**, en consommant de la cladode en poudre. Les travaux de **Chilliard et al. (1989)** ont signalé l'activité analgésique et anti-inflammatoire de la cladode et du fruit d'*Opuntia*, dont le principe actif est le B-sitostérol. Également l'*Opuntia* contient plusieurs composants tels que les polyphénols, vitamines et autres composés spécifiques qui peuvent être une source de complément alimentaire vitaminisé recommandé dans des programmes de nutrition et de diététique.

C'est dans ce contexte de valorisation des potentialités thérapeutiques que notre étude s'inscrit. Ainsi les objectifs de ce travail sont en premier lieu bibliographiques : pour cela il faut explorer les propriétés thérapeutiques de l'*Opuntia ficus indica*. A cet objectif l'ethnopharmacologie apporte une réponse originale.

Le second objectif consiste à inventorier le maximum d'auteurs qui ont étudié sur ce potentiel en montrant les différents effets rencontrés d'une part, et parallèlement entamer

une étude expérimentale pour confirmer les effets thérapeutiques de la cladode d'*Opuntia ficus indica inermis* selon l'âge. Ceci suppose une caractérisation biométrique, physicochimique exhaustive et en dernier nous avons achevé notre étude expérimentale par l'activité antibactérienne d'extrait de la cladode d'*Opuntia ficus indica inermis*.

PREMIERE

PARTIE:

Synthèse

bibliographique

CHAPITRE I

Généralités sur

Opuntia ficus indica

Définition

Opuntia ficus-indica, communément appelée figue de Barbarie ou cactus (**Fig.1**); est une plante xérophytique, succulente capable d'emmagasiner une grande quantité d'eau, ce qui lui permet de résister la sécheresse et de prospérer jusque dans des contrées désertiques souvent inhospitalières (**Habibi, 2004**). Grâce à la richesse de ces raquettes en éléments nutritifs, on peut la considérer comme une espèce adéquate pour une agriculture durable des régions arides et semi arides. Ces nutriments essentiels aident aussi au maintien de la santé humaine (**Hernández et al., 2010**). Dans toute sa gamme actuelle, elle est cultivée pour la récolte de ces fruits et aussi pour l'utilisation des cladodes comme fourrage (**Mondragón et Pérez., 2001**). Le cactus se propage largement au Mexique et dans tout le continent sud-américain, aussi dans plusieurs régions du monde telles que l'Afrique, l'Australie et la méditerranée (**Piga, 2004**).



Figure n°1: Figue de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* .L) (Selon **Benattia, 2013**).

Taxonomie

D'après **Wallace et al. (1997)**, la position systématique du figuier de barbarie est la suivante:

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.)

Selon **Fouque (1972)**, les noms communs sont :

Français : Chardon d'Inde, Figue de Barbarie, Figuier de Barbarie

Anglais : Barbary fig, Indian fig, Prickly-pear

Allemand : Frucht des feigenkactus, Indianische feige

Espagnol : Cardon de Mejico, Chumbera

Portugais : Figo da India, Figo de pitoira, Figueira da India, Tabaido

Arabe : Hindia: Indienne, originaire des Indes occidentales. Karmous ennsara : figue des chrétiens, attestant son introduction via l'Europe. Aknari : signifiant les canaries. Teen-hendi, amlas en berbère (**Beloued, 2009**).

La tribu des *Opuntieae* comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sous genre

Platyopuntia comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figure *Opuntia ficus indica* (Dubeux et al., 2006).

Origine

Le genre *Opuntia* est originaire du Mexique, il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 16^{ème} siècle au Nord et au Sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen et s'y est naturalisé au point de devenir un élément caractéristique du paysage (Le Houerou, 1996). Il est par essence développé sur la partie Ouest de la Méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) (Arba, 2009).

En Algérie, le figuier du Mexique dit figuier de barbarie, est planté autour des habitations rurales, on le retrouve en Kabylie, aux Aurès et en Oranie ; où il forme des haies impénétrables (Beloued, 2009).

Description morphologique

Le figuier de Barbarie appartient à la famille des cactacées cultivées essentiellement comme une plante fruitière caractérisée par l'absence presque totale de feuilles dans la famille, et la présence de tiges charnues permettant la mise en réserve d'eau, pour cette raison, elles sont bien adaptées dans le climat sec et chaud. Le genre *Opuntia* regroupe plus de 300 espèces de nombreuses variétés et hybrides (Fouque, 1972).

En Algérie, comme pour les autres pays du Maghreb, les espèces de cactus les plus largement répandues sont : *Opuntia ficus indica*, *Opuntia dillenii*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compress* (Poupon, 1975).

Opuntia ficus indica est une plante xérophile érigée, arborescente, rameuse, de 2 à 5 m d'hauteur, avec un tronc ligneux et tiges formés par les vieux articles qui perdent peu à peu leur forme discoïde pour devenir cylindriques. Les troncs souvent appelées raquettes portant des fleurs situées au-dessous de ses extrémités, de 7 à 10 cm de diamètre, ovaires de 5 cm de long, tuberculés, de couleur jaune vif apparaissant dans les aréoles. Ainsi des fruits de 4 à 9 cm de long, bacciformes oblongs ou piriformes, pourpre foncé ou rouge, pourvus d'aréoles, avec glochides, pulpe molle, blanchâtre, juteuse et nombreuses petites graines noires (Fouque, 1972).

Description des raquettes

La plante possède un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm appelés cladodes ou raquettes. La cladode est constituée essentiellement de cellules épidermiques, de parenchyme et de chlorenchyme (Malainine et al., 2001).

Il existe de nombreuses variétés de cactus qui se distinguent en deux groupes : cactus épineux et cactus inerme.

Cactus épineux : le plus répandu car il résiste à la destruction par les animaux (Poupon, 1975). Appelé "nopal des chrétiens" (Fig.2 a.) il est couramment utilisé comme clôture de champ (El-Mostafa et al., 2014). Les épines sont constituées d'une mince cuticule externe et de fines fibres celluloses (environ 0.4 mm de longueur et 6 à 10 µm de diamètre) orientées parallèlement à l'axe de la fibre et présentant un lumen de petite dimension (Malainine et al., 2001).

Cactus inerme : se sont des rameaux inermes issus d'une mutation de bourgeons sur des pieds épineux de cactus (Poupon, 1975). Appelé "nopal des musulmans" (Fig.2 b.) et sert de fourrage vert pour le bétail (El-Mostafa et al., 2014). C'est une plante semi-ligneuse à rameaux dressées ou presque dressées et formant des touffes hautes de 0.50 à 0.75 m, raquettes grandes (15 à 25 cm) de long sur 12 à 15 de large, charnues, ovales-elliptiques glaucescentes non épineuses mais menues aux aréoles d'aiguillons courtes piliformes et très nombreux. Cette variété est souvent domestique et cultivée sur des surfaces limitées (Poupon, 1975).



a. Cactus épineux



b. Cactus inerme

Figure n°2 : Les deux variétés de cactus : épineuse, inerme (D'après Boutakiout, 2015).

Ecophysiologie

Sur le plan physiologique, l'*Opuntia ficus indica* est une plante de type CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Elle a la particularité de fixer le dioxyde de carbone et de libérer l'oxygène pendant la nuit et de fermer ses stomates pendant le jour. Ce dispositif permet une moindre perte d'eau par évapotranspiration pendant les heures les plus chaudes. La pénétration de l'air par les stomates ouverts s'effectue pendant la nuit, et c'est à ce moment-là que le dioxyde de carbone est fixé dans les tissus de chloroplaste par le phosphoenolpyruvate (PEP), résultant du métabolisme des hydrates de carbone via la glycolyse, pour donner l'oxaloacétate. Cet élément est à son tour transformé en malate pour être stocké dans la vacuole. Pendant le jour, le malate se décompose en pyruvate et libère le dioxyde de carbone et l'eau directement au niveau des tissus chlorophylliens qui s'en servent pour la suite de la photosynthèse selon le cycle de Calvin (**Fig.3**). C'est une différence fondamentale avec les plantes ordinaires (mésophytes), pour qui la photosynthèse s'effectue le jour à partir du dioxyde de carbone fraîchement importé de l'atmosphère (**Sutton et al., 1981 ; Leuttge, 1993**). Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage de raquettes. Les jeunes plantes peuvent entrer en floraison à partir de la 2^{ème} ou de la 3^{ème} année. La durée et la période du cycle annuel dépendent de la variété et de la zone géographique (**Poupon, 1975**).

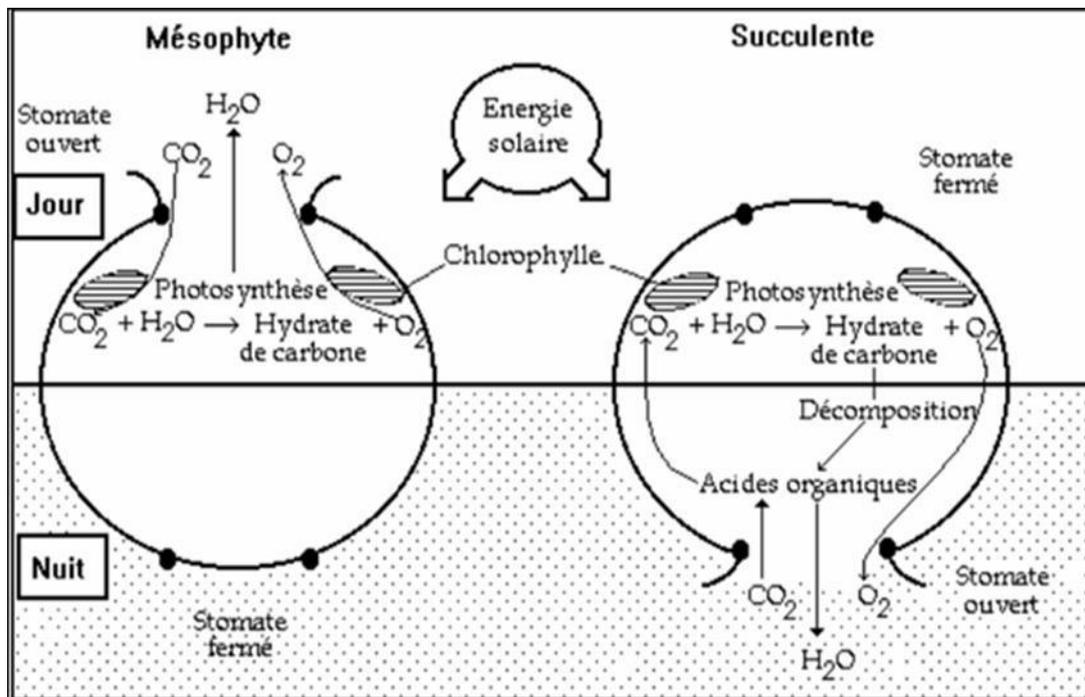


Figure n°3 : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM (D'après **Sutton et al., 1981**).

Composition physico-chimique

Les cladodes du Cactus contiennent de grandes quantités de fibres, notamment de la pectine, du mucilage, de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose, ces substances sont généralement capables de favoriser le bien-être des lipides et des sucres, en particulier, les polysaccharides, caractérisés par une structure de liaison irrégulière qui empêche la formation d'une structure cristalline conduisant à une capacité hydrosoluble (**Gabriele et al., 2018**), aussi contiennent des vitamines, des antioxydants et divers flavonoïdes (**Lee et al., 2002 ; Stintzing et al., 2005**). Elles représentent également une source de composés phytochimiques, tels que les composés phénoliques (**Parikh et al., 1965**), les minéraux et autres nutriments (**Michele et al., 2004**).

Le constituant majeur des cladodes d'*O. ficus-indica* est l'eau (80-95%), puis des faibles quantités de glucides (3-7%), de fibres (1-2%) et de protéines (0.5-1%); Comme il en existe d'autres composants proportionnellement déterminés et d'autres composants non connus (**Stintzing et al., 2005**). La fraction de sucre comprend des composants mucilagineux contenant des polymères, ce mucilage est présent dans le fluide visqueux caractéristique sécrété par les cladodes et les fruits et constitue environ 14% du poids sec des cladodes (**Giovanna et al., 2009**). Des études dans ce sens ont montré que le mucilage d'*Opuntia ficus indica* était un polysaccharide neutre d'environ 55 résidus de sucres ne contenant pas d'acide uranique et composé d'arabinose, de galactose, de rhamnose et de xylose (**Shlomo et al., 1981**).

Utilisations

Le figuier de barbarie est désigné principalement à l'alimentation, sa consommation en frais, surtout au Mexique, est soit directement en mangeant le fruit ou par une préparation des différents boissons. Aussi l'utilisation de la pulpe du fruit, est consommée fraîche, séchée ou préparée. Les jeunes cladodes, préalablement cuites, sont quelquefois utilisées comme légumes (**Fouque, 1972**). En outre, le cactus appartient, depuis toujours, aux plantes médicinales les plus utilisées, dans ce cadre la recherche médicinale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant de la plante et ses propriétés (**Fernandez et al., 1990**). Le thé des cladodes, par exemple, est utilisé pour soulager le rhume, la toux, les abcès, la cystite, l'indigestion, la gastro-entérite, le diabète, l'hypercholestérolémie (**Fouque, 1972**). Pour aller plus loin, certains scientifiques ont démontré que les fibres dérivées d'*Opuntia* se lient aux

graisses alimentaires et augmentent leur excrétion et réduisent ainsi leur absorption; cela conduit à une diminution d'apport énergétique et de la perte de poids (**María et al., 2017**).

De vastes zones de cactus sont disponibles toute l'année en Algérie et en Tunisie ainsi que d'autres pays et servent de matière première d'urgence en cas de sécheresse, aussi pour améliorer la restauration de la couverture végétale et éviter l'érosion des terrasses construites (**Nefzaoui et Ben Salem, 2004**).

Opuntia ficus-indica inerme, présente l'avantage d'être facilement utilisé comme fourrage par rapport à la variété épineuse. Elle peut constituer près de 40% de la ration alimentaire des ovins soit 5 à 7 kg par jour (**FAO, 1971**).

Une autre application des tiges de figuier de barbarie est dans les cosmétiques: crèmes nettoyantes, crèmes hydratantes, shampoings et gels. Ceux-ci ont été développés en utilisant le fluide en excès (qui contient le mucilage), ainsi que d'autres produits tels que les masques et les savons. La production de l'acétocarmine colorant rouge peut également être possible par l'extraction des insectes parasites cochinaux (*Dactylopius coccus*), qui se fondent sur le figuier de Barbarie comme plante hôte (**Golob et al., 2012**).

Importance agro-économique

Avec le développement des marchés des fruits exotiques dans plusieurs pays, comme pour le figuier de barbarie, les efforts se sont multipliés pour faire une culture industrielle, soit en tant que culture fourragère, soit en tant que culture maraichère. La production de fruits reste cependant l'aspect le plus recherché et le plus développé (**Hamdi, 1997**).

Les fruits du figuier de barbarie sont en général consommés frais, très rafraichissants et nutritifs. Les graines du fruit donnent une huile comestible appartient à la même catégorie que les huiles de graines de soja, de maïs et de tournesol (**Sepúlveda et Sáenz, 1988**), utilisée dans la filière cosmétique et pharmaceutique. Récemment, dans certains pays (Italie, Mexique, Chili...), le fruit est conditionné industriellement et stabilisé par différentes méthodes (froid, séchage, chaleur) ou transformé en jus, miel (miel de tuna), boissons alcoolisés, confiture et colorant alimentaire (pourpre de barbarie) (**Yasseen et al., 1996**).

L'utilisation de l'*Opuntia ficus indica* comme fourrage présente de nombreux avantages, car elle est largement répandue; elle se développe rapidement, c'est une culture économique, appétible et elle peut également supporter de longues périodes de sécheresse (**Shoop et al., 1977**).

Avec un calendrier apicole qui dure 7 mois (mars- septembre), l'activité des abeilles a lieu sur les fleurs de l'*Opuntia ficus indica* pendant 3 mois (avril- juin), ce qui permet de développer l'apiculture en parallèle. Les rendements des ruches sont de 1 à 4 litre de miel **(Palevitch, 1994)**.

La commercialisation des cladodes se fait après l'élimination des épines puis les vendre entières ou en tranches. On trouve sur le marché local du Mexique des différents produits à base des cladodes, , en particulier en combinaison avec d'autres produits, y compris le pain, la gelée, la confiture, les bonbons, le vin, le vinaigre, le jus, les arômes et le fromage, en plus des produits pharmaceutiques tels que la crème, le gel, le shampoing, les comprimés et les sirops. Dans plusieurs régions de l'Amérique, on utilise les différentes parties du cactus, comme la tige, la fleur et les intégrées dans différents processus de cuisson, puis les mettre sur le marché des produits à haute teneur en fibres diététiques **(Golob et al., 2012)**.

CHAPITRE II

Potentiel thérapeutique

Nature une véritable officine

La fabrication des produits pharmaceutiques repose encore en grande partie sur les ressources naturelles. A la fin du XX^{ème} siècle, les substances naturelles, dont les plantes constituent encore la source principale, représentaient près de 60% des médicaments dont nous disposons, les 40% restants étant des médicaments de synthèse souvent nés de la modification chimique des molécules ou de partie de molécules naturelles. La consommation de produits naturels augmente aussi grâce à l'engouement pour les traitements « alternatifs » ou « complémentaires », utilisant pour la plupart des préparations à base de plantes (**Potier, 2001**).

Quête ancestrale

La quête de nouvelles molécules à visée thérapeutique qui pousse les scientifiques du monde entier à explorer notre environnement remonte à la nuit des temps l'Homme de l'antiquité procédait aussi déjà à de longues expérimentations sur les substances naturelles et mentionne de nombreux composés aux vertus curatives, preuve qu'il existait déjà à l'époque les fondements d'une véritable médecine scientifique et des pharmacopées très élaborées. La théorie des signatures ou théorie des semblables s'oppose à celle des humeurs ou théorie des contraires soutenue par Hippocrate (V^{ème} siècle avant J.-C.) et Galien (II^{ème} siècle après J.-C.), pères de la médecine et de la pharmacie en Occident. Dans cette théorie, la physiologie humaine repose sur les 4 éléments (air, terre, feu, eau) correspondant à 4 qualités élémentaires (chaud, froid, sec et humide) qui influent sur 4 humeurs (sang, bile, lymphe, atrabile), classant alors l'être humain selon 4 tempéraments : les sanguins (chaleureux et aimables), les flegmatiques, les mélancoliques et les colériques. La santé est l'équilibre parfait de ces 4 humeurs, la maladie est la rupture de cet équilibre, que le traitement doit rétablir. On soigne alors par les contraires, une maladie chaude étant traitée par une plante froide (**Pelt, 2001**).

Avicenne rédigea au X^{ème} siècle le Canon de la Médecine, dans lequel il proposa une synthèse entre traditions médicales d'Orient et d'Occident. Il apporta de nombreux éléments nouveaux, allant jusqu'à prévoir l'existence des micro-organismes, qui ne se confirma que huit siècles plus tard. Puis la pharmacopée s'est considérablement enrichie avec la découverte des Indes orientales à la fin du XV^{ème} siècle. Le XIX^{ème} siècle fut l'époque des découvertes majeures avec l'isolement des substances pures (alcaloïdes) et les débuts des études pharmacologiques (effet/dose), pour arriver à notre époque, avec les notions beaucoup plus fines d'interaction ligand-récepteur et d'efficacité clinique (**Pelt, 2001**).

Démarche ethnopharmacologique

L'ethnopharmacologie se définit comme « l'étude scientifique interdisciplinaire de l'ensemble des matières d'origine végétale, animale ou minérale et des savoirs ou des pratiques s'y rattachant, que les cultures vernaculaires mettent en œuvre pour modifier les états des organismes vivants à des fins thérapeutiques, curatives, préventives ou diagnostiques». Le monde végétal recèle une source importante de molécules biologiquement actives et la chimie pharmaceutique s'inspire de ces modèles dans ses conceptions. L'un des objectifs de l'ethnopharmacologie est de découvrir de nouvelles substances au travers des utilisations traditionnelles. Les plantes médicinales restent surtout le seul moyen de se soigner pour une grande partie de la population mondiale qui n'a toujours pas accès à la médecine occidentale. L'ethnobotanique et l'ethnopharmacologie recouvrent le champ des interrelations entre le monde végétal, le monde des remèdes, et celui des cultures et s'inspirent de l'ethnologie dans leurs méthodes (Nicola, 1999).

Chimie des plantes

On distingue chez les plantes les métabolites primaires et les métabolites secondaires. Les métabolites primaires sont les molécules indispensables à la vie et communes à toutes les espèces : glucides, lipides, protéines, vitamines. Se sont les précurseurs de tous les composés organiques (métabolites secondaires) comme était montré dans (Fig.4). Les métabolites secondaires sont différents selon les espèces. Leurs rôles sont encore mal connus, mais il est clair qu'ils interviennent de manière interactive dans les relations entre la plante et son environnement : molécules servant à la défense contre des prédateurs ou des agents pathogènes, à la prédation, à l'adaptation de la plante à son environnement (ex : les molécules piégeant les métaux lourds pour que la plante puisse pousser sur un terrain minier), à la communication, etc. Ils sont les éléments essentiels de la coévolution des êtres vivants ce qui explique leur très grande diversité et leur intérêt particulier pour la recherche de nouveaux médicaments. On considère que de nos jours, moins de 10 % des espèces de végétaux supérieurs ont été explorés pour leurs propriétés chimiques et biologiques : il y a donc encore beaucoup de découvertes en perspective (Bruneton, 1999).

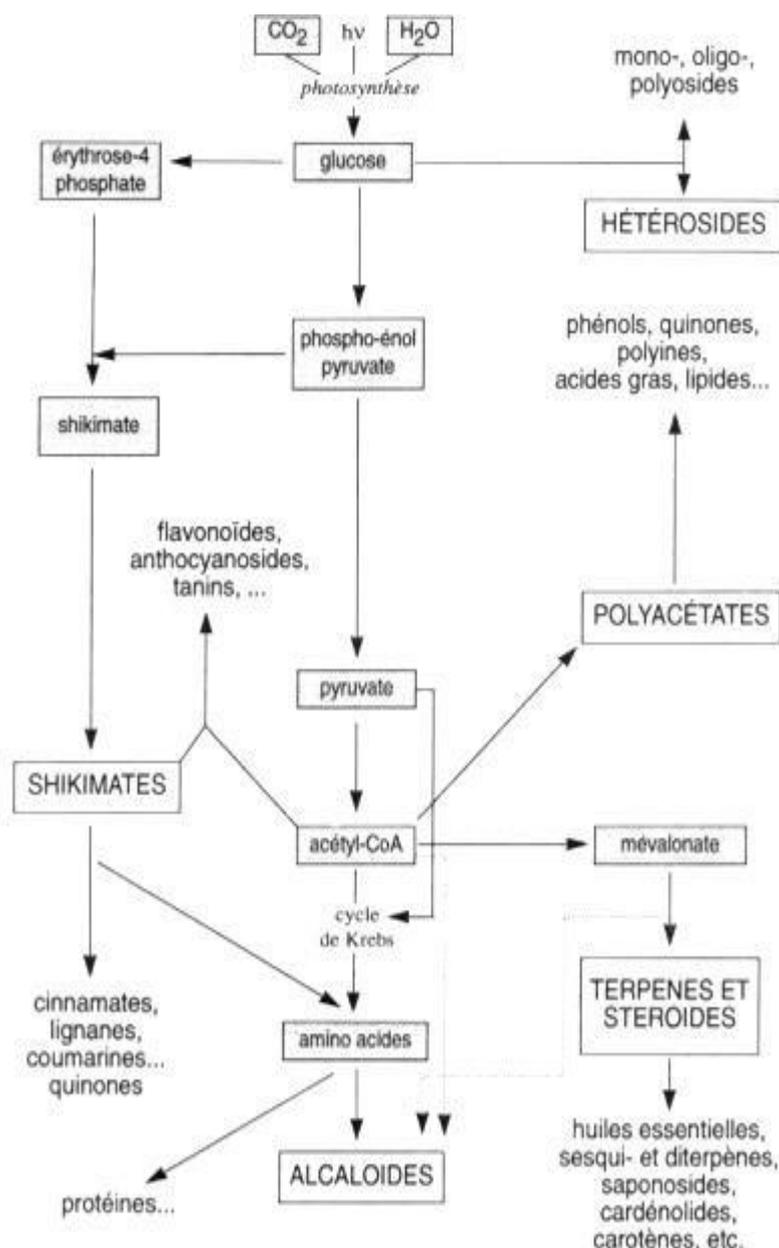


Figure n°4 : Biosynthèse des métabolites secondaires (Selon Bruneton, 1999).

Effet hypoglycémiant

Dans la médecine traditionnelle, l'*Opuntia ficus indica* est utilisé pour le traitement du diabète (Ibanez et al., 1983). Son effet antidiabétique ou hypoglycémiant a longtemps été suggéré (Shellshear, 1926). Des études ont été menées pour confirmer l'effet antidiabétique de souches d'*Opuntia ficus indica* (Ibanez et al., 1983; Frati et al., 1988). Ces études sont portées sur des volontaires sains et sur des animaux. La raquette d'*Opuntia ficus indica* séchée et moulue peut être bénéfique comme un hypoglycémiant pour le diabète de type 2 (Frati et al., 1989).

Cependant, des études effectuées sur des rats Wistar et les résultats de **Brett (1974)** montrent que la glycémie a augmenté 20 min après l'ingestion de l'*Opuntia* sur des rats sains. Les travaux de **Mathews et al. (2002)** ont indiqué qu'après 3 h de l'ingestion de l'*Opuntia* la glycémie s'est équilibrée que ce soit chez des rats sains, ou diabétiques. Les résultats de **Louacini et al. (2012)** ont montré que le régime 4, a maintenu sa glycémie aux normes de l'espèce ovine (**Fig.5**). Les études de **Hernandez et al. (2002)** ont montré que l'incorporation de la cladode a un effet négatif sur la perte de poids sur les rats, de même les travaux de **Terblanche et al. (1971)** ont relevé qu'un régime basé exclusivement d'*Opuntia* a enregistré une chute de poids de 620 g / par semaine sur des brebis mérinos. Il semble alors que l'*Opuntia* a un effet régulateur sur le taux de glycémie suivi d'une perte poids.

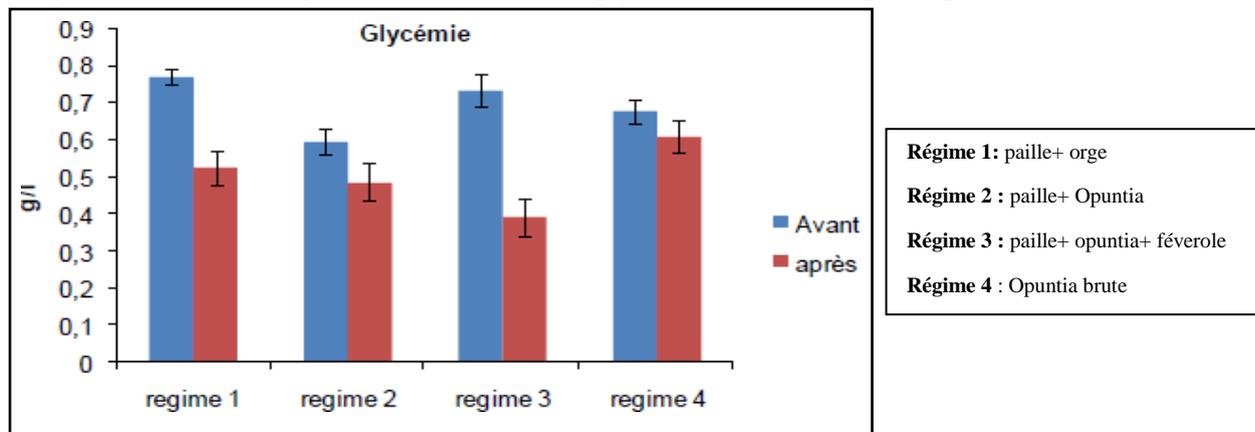


Figure n°5 : Glycémie avant et après l'incorporation de la cladode (Selon **Louacini, 2012**).

Les travaux de **Monia et al. (2006)** ont révélé que l'addition de l'huile de figuier de barbarie dans le régime alimentaire des rats a montré une diminution significative de la glycémie ; mais, une augmentation de la concentration du glycogène a été notée dans le foie et dans le muscle (**Fig.6**).

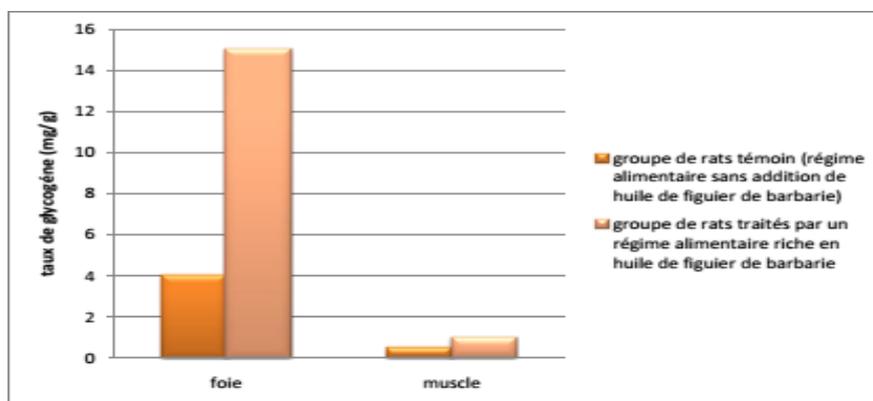


Figure n°6 : Taux de glycogène chez des rats témoins et pré traités en l'huile d'OFI (25g/kg) (D'après **Monia et al., 2006**).

Aussi l'*Opuntia* a longtemps été utilisé dans la médecine traditionnelle mexicaine pour contrôler le diabète, cependant, il y avait des preuves scientifiques insuffisantes concernant la capacité de cette plante à contrôler les pics de glycémie postprandiale. Les résultats de **Patricia et al. (2014)** montrent que l'incorporation de l'*Opuntia* dans un petit déjeuner riche en glucides a des effets antihyperglycémiques et antihyperinsulinémiques, par contre dans un petit déjeuner à base de soja riche en protéines, il empêche les pics de glycémie postprandiaux. La consommation de nopal a augmenté l'activité antioxydante chez les personnes en bonne santé et les patients atteints de diabète de type 2.

Les cladodes d'*Opuntia ficus-indica* peuvent également être considérés comme une source riche en composés bioactifs et fonctionnels, ce qui en fait un candidat important pour la production d'aliments fonctionnels et bénéfiques pour la santé. Les polysaccharides contenus dans le cactus sont généralement classés comme fibres alimentaires solubles, améliorant le contrôle du glucose et modulant l'eau rénale et la manipulation du sodium chez les patients diabétiques de type 2; par conséquent, la teneur élevée en fibres alimentaires des cladodes a la capacité d'absorber de grandes quantités d'eau, formant des colloïdes visqueux ou gélatineux, et de déterminer l'absorption de plusieurs types de molécules organiques (**Gabriele et al., 2018**). Les polysaccharides isolés du cactus sont abondants dans les extraits de cladodes et dotés d'effets antidiabétiques et d'antiglycation (**El-Mostafa et al., 2014**).

Effet hypolipidémiant

Les maladies cardiovasculaires sont l'un des principaux facteurs de décès dans les pays industrialisés, par conséquent, les cladodes d'*Opuntia ficus-indica* pourraient aider à abaisser le taux de cholestérol et à prévenir l'hypercholestérolémie (**Gabriele et al., 2018**).

Des données antérieures attribuent les effets antihyperlipidémiques du cactus à la pectine de la pulpe, qui à la fois réduit l'absorption des lipides et augmente l'excrétion fécale des stérols (**Mongi et al., 2011**).

Le rôle hypocholestérolémiant de la raquette d'*Opuntia* comme montre les travaux de **Fratiet al. (1992)** qui ont administré des capsules séchées d'*Opuntia ficus indica* chez des individus sains où le taux de cholestérol s'est abaissé d'une manière significative.

Les résultats de **Wolfram et al. (2002)** ont relaté que l'ingestion de la cladode à l'état frais à des individus en bonne santé a diminué le taux de cholestérol. Il est probable que la pectine d'*opuntia* interfère dans la biosynthèse du cholestérol d'où sa régulation dans le sang (**Fernandez et al.,1992**).

D'autres études menées sur les fibres alimentaires ont indiqué une diminution de la lipidémie chez des individus sains; en revanche le taux de cellulose a montré un effet hypocholestérolémiant ou aucun effet (**Fernandez et al., 1992**).

Les résultats de **Kritchevsky et al. (1988)** ont montré que la pectine d'*Opuntia* a tendance à réduire le taux de cholestérol en se liant aux acides biliaires; et l'augmentation de leurs concentrations active le catabolisme du cholestérol. Cet effet, hypocholestérolémiant a été observé chez des sujets sains et hyperlipidémiques que rapportent **Miettinen et Tarpila (1977)**. Le taux des HDL et LDL a nettement varié chez les humains, le dromadaire, le rat Wistar, le lapin et de même chez les porcs de guinée hyper lipidiques (**Ney et al., 1988**).

Les travaux de **Chilliard et al. (1998)** ont affirmé que l'incorporation de la cladode d'*Opuntia* a modifié de manière très hautement significative à $p < 0.001$ le taux de triglycérides chez les rats Wistar sains, cependant la concentration élevée de triglycérides chez les rats diabétiques n'a pas diminué de manière très significative avec l'huile de graines du fruit d'*Opuntia*, par contre une diminution de triglycérides a été observé par **Suashet al. (2007)** chez les individus diabétiques du type 2 et que cet effet régulateur de la cladode d'*Opuntia* a été recensé chez de nombreuses espèces notamment *Opuntia ficus indica*, *Opuntia fuliginosa* (**Griffith et al., 2003**) et *Opuntia lindheimerieglem* (**VanBennekum et al., 2005**). Ce mécanisme de régulation est encore mal connu il est probable que la pectine de la cladode interfère dans l'absorption des lipides (**Van Bennekum et al., 2005**), mais il semble que c'est l'interaction de nombreuses substances telles que les flavonoïdes, les betalaines, et la vitamine E qui lui confèrent cette activité hypolipémiante (**Lee et al., 2002**).

Effet antioxydant

Définition de l'activité anti-oxydante

L'activité anti-oxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. Les antioxydants les plus connus sont : le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), la vitamine E : α -tocophérol ainsi que les composés phénoliques. En effet, la plupart des antioxydants de synthèse ou d'origine naturelle possèdent des groupes hydroxy phénoliques dans leurs structures et les propriétés anti-oxydantes sont attribuées en partie à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$) et superoxydes ($\text{O}_2\cdot$) (**Rice-Evans et al., 1995 ; Bartosz, 2003**). Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité anti-oxydante par piégeage de

radicaux différents, comme les peroxydes ROO• par les méthodes ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) et TRAP (Total Radical-trapping Antioxidant Parameter) (**Ricardo et al., 1991**); ainsi que la méthode utilisant le radical libre DPPH• (diphényl-picrylhydrazyle) (**Sharma et Bhat, 2009**).

La survenue de certaines maladies dégénératives est favorisée en partie par des facteurs nutritionnels (**Gerber et Corpet, 1997**). Parmi les aliments associés à cet effet protecteur, les fruits et légumes possèdent un rôle important. En effet, ils sont une source en plusieurs composés fonctionnels, qui agissent en interaction et en synergie. Le figuier de barbarie longtemps marginalisé, présente une importance nutritionnelle, vue sa richesse en vitamine C, en pigments de type bétalaines, en composés phénoliques, sucres réducteurs et sels minéraux (**Zino, 1998**).

Effet anti-oxydant de l'extrait de jus de fruit du figuier de barbarie

Une étude marocaine évalue l'activité anti-oxydante des jus de fruits de figuier de barbarie, *in vitro*, par le test au DPPH•. Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picryl hydrazine (**Fig.7**) fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydant des composés phénoliques (**Blois, 1958 ; Brand-Williams et al., 1994**). Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote. Le DPPH• de couleur violette, vire au jaune en présence de capteurs de radicaux libres, et se réduit en 2,2-diphényl-1-picryl hydrazine.

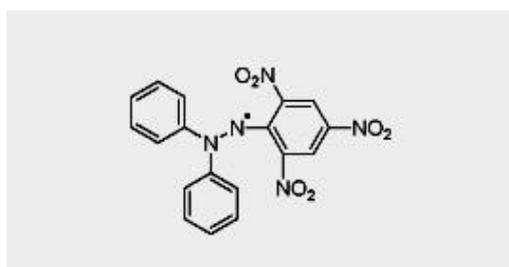


Figure n°7: Structure chimique du radical libre DPPH• (Selon **Brand-Williams et al., 1994**).

Les résultats obtenus ont montré que les composés phénoliques, flavonoïdes et pigments de types bétalaines, possèdent des activités anti-radicalaires plus importantes que celle de la vitamine C. Les jus bruts présentent des activités plus élevées que celles des composés qui les constituent. Les jus issus de couleur pourpre possèdent des activités anti-oxydantes plus élevées que ceux issus des fruits de couleur jaune orange (**Maataoui, 2006**).

Effet anti-oxydant de la figue de barbarie

Une étude menée par **Xian-Keet *al.* (2010)**, qui est réalisée sur les polysaccharides isolés et purifiés, des extraits d' *Opuntia ficus indica* cultivé en Chine, a démontré l'activité anti-oxydante de ces derniers. Une réduction, concentration dépendante, de la formation du radical superoxyde et du radical hydroxyle a été affirmée. Les polysaccharides (rhamnose, arabinose et glucose) peuvent efficacement empêcher le radical hydroxyle produit par le système fenton.

Une augmentation de radicaux libres provoque une surproduction de MDA. Le niveau de malondialdéhyde est communément connu comme un marqueur du stress oxydatif et du statut antioxydant chez les patients cancéreux. Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre la production d'éléments oxydants et de mécanismes de défense anti-oxydante qui provient soit d'une production exagérée d'agents oxydants, soit d'une altération des mécanismes de défense. Quand l'un ou l'autre de ces mécanismes est présent, le stress oxydant est initié et contribue par ses conséquences multiples touchant les acides nucléiques, les protéines ou les lipides, à la pathogénie de certaines maladies telles que les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives ou le cancer (**Morena *et al.*, 2002 ; Xian-Ke *et al.*, 2010**).

Effet anti-oxydant de l'huile de figuier de barbarie

L'activité anti-oxydante d'huile de graines a été évaluée au moyen d'analyse de radical-balayage du DPPH et l'essai de blanchissement de β -carotène. Les deux méthodes ont démontré l'activité anti-oxydante notable d'huile de graines du figuier de barbarie, comparable à l'acide ascorbique et à l'hydroxy toluènebutylé. L'activité anti-oxydante d'huile de graines s'est également avérée dépendante de la concentration (**Wei Liu *et al.*, 2009**).

Effet neuroprotecteur

Récemment, l'extrait de méthanol des fruits des variétés d' *Opuntia ficus indica* a révélé une importante efficacité dans la lutte contre les dommages neuronaux induits par les radicaux libres dans les cultures corticales de souris. Etant donné les rôles de l'effet oxydant et des radicaux libres dans la mort neuronale après ischémie et dans des désordres neurodégénératifs comprenant la maladie d'Alzheimer, des chercheurs coréens ont essayé d'identifier les principes actifs du figuier de barbarie et de caractériser leurs actions neuroprotectrices et antioxydantes en utilisant les cellules corticales de rat. Parmi les constituants isolés dans les fruits et les tiges des variétés d' *Opuntia ficus indica*, les trois flavonoïdes : Quercetin,

Dihydroquercetin, Etquercetin 3-méthyléther s'avèrent efficaces dans la protection des cellules corticales de rat. Les cultures ont été préparées à partir des cortex cérébraux des embryons de rat. Les dommages neuronaux ont été causés par le caspase-3. Les caspases (aspartic-acid-specific cysteinproteases) sont un groupe de protéases à cystéine qui jouent un rôle essentiel dans les phénomènes d'apoptose, de nécrose et d'inflammation. Parmi les trois flavonoïdes, le quercetin 3- méthyléther est le plus efficace dans la lutte contre la neurotoxicité. Il est évident que les actions neuroprotectrices de l'*Opuntia ficus indica* semblent actives pour la prévention et le traitement des désordres neurologiques provoqués par les agents oxydants (Kwaket *al.*, 2003).

L'extrait de méthanol de l'*Opuntia ficus indica* possède également une action neuroprotectrice contre le N-méthyl-D- aspartate NMDA, kainate KA et l'oxygène glucose deprivation OGD, induisant des altérations neuronales dans les cultures des cellules corticales de souris. L'évaluation de cet effet protecteur de l'extrait de méthanol de l'*Opuntia* a été étudiée également dans la région hippocampique CA1, contre les dommages neuronaux évoqués par une ischémie globale chez les gerbilles. Le traitement des cultures neuronales avec l'extrait de méthanol d'*Opuntia ficus indica* (30, 300 et 1000 µg/ml) inhibait le NMDA et l'OGD induisant une neurotoxicité. L'extrait semble réduire significativement le NMDA induit par la neurotoxicité avec un taux de 27 % chez les gerbilles traités par l'extrait de méthanol d'*Opuntia* toutes les 24h pendant 3 fois par jour pendant 4 semaines. L'administration préventive de l'*Opuntia ficus indica* est probablement utile dans le soulagement des dommages neuronaux causés suite à une ischémie globale (Jung-Hoonet *al.*, 2006). De plus les cladodes sont riches en nicotiflorine qui a une propriété neuroprotectrice contre la mort des cellules ganglionnaires rétiniennes induites par l'hypoxie, le glutamate ou le stress oxydatif. En plus de cet effet protecteur sur le dysfonctionnement de la mémoire, la nicotiflorine protège également contre la défaillance du métabolisme énergétique et le stress oxydatif (El-Mostafa *et al.*, 2014).

Effet anti-inflammatoire

En médecine chinoise, le fruit de cactus est considéré comme un poison faible et utilisé comme médicament pour le traitement de l'inflammation et de la douleur (Da-ming *et al.*, 2005).

L'intérêt croissant pour les polyphénols extraits du cactus résulte de leur potentiel antioxydant, qui ont des avantages impliqués dans le secteur sanitaire tels que la prévention

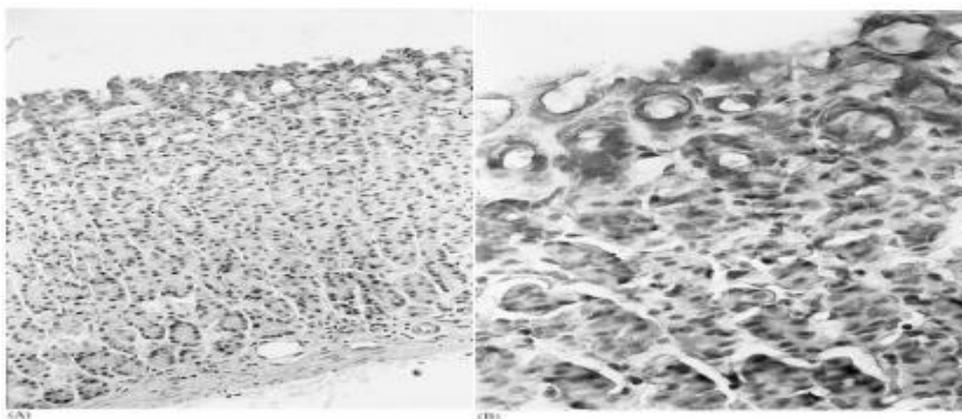
contre l'inflammation (**El-Mostafa et al., 2014**). Une action anti-inflammatoire a été montrée chez l'extrait d'éthanol du cactus *Opuntia ficus indica* cultivé en Corée. Après fractionnement de l'extrait de méthanol des tiges de cactus, un principe anti-inflammatoire actif a été isolé et identifié, le B-sitostérol. Le B-sitostérol, bien que son activité semble être relativement plus faible comparée à celle de l'hydrocortisone, est le premier responsable de l'activité anti-inflammatoire du figuier de barbarie (**Eun-Hee et al., 2001**).

Effet antimicrobien

Les résultats obtenus *in vitro*, en utilisant la technique standard de diffusion sur disque et/ou par les puits ont montré que les extraits de sirop d'*O. ficus-indica* tunisiens présentaient des potentiels antimicrobiens intéressants. L'activité antibactérienne la plus forte des extraits polyphénoliques a été enregistrée contre *Staphylococcus epidermidis*, alors que l'activité la plus faible était contre la souche de *Salmonella*. Cet extrait de sirop de figue de barbarie a également montré aussi une forte activité antibactérienne contre *Escherichia coli* (**Dhaouadi et al., 2013**). D'autre part, le jus du cactus est utilisé dans le traitement de la syphilis en Ayurveda (**Mongi et al., 2011**).

Effet antiulcéreux

Les raquettes de l'*Opuntia ficus indica* sont utilisées en médecine traditionnelle dans plusieurs pays dont l'Italie, pour leur activité cicatrisante. Récemment, plusieurs études ont montré que les raquettes riches en mucilage et en pectines, présentent une activité cytoprotective dans la prévention de l'ulcère gastrique. Ces études ont été réalisées chez des rats rendus ulcéreux par l'éthanol. Les cladodes lyophilisés ont été administrés comme traitement préventif, un phénomène de cytoprotection a été remarqué. En effet, les cellules épithéliales ont été rompues et une stimulation de la production du mucus a été observée. Les résultats de l'étude indiquent la formation d'une couche gélatineuse composée du mucus qui fournit un environnement favorable pour une restitution épithéliale rapide. Par ailleurs, chez les rats traités par les cladodes lyophilisés, les espaces glandulaires et l'épithélium superficiel montrent une sécrétion normale du mucus (**Fig.8.a**), tandis que chez les rats traités par l'éthanol, les espaces interglandulaires sont élargis. (**Fig.8.b**) (**Galati et al., 2002**).



- a. Rats traités par les cladodes lyophilisés d'*Opuntia ficus indica* (20 X).
 b. Rats traités à l'éthanol (40X).

Figure n° 8 : Observations microscopiques de la muqueuse gastrique des rats

(Selon Galati et al., 2002).

Il est possible de supposer une participation du mucilage d'*Opuntia ficus indica* dans les effets observés qui empêcherait la pénétration de l'agent nécrosant dans la muqueuse gastrique. Il formerait une couche protectrice provenant les lésions nécrotiques profondes et l'exfoliation vaste de l'épithélium superficiel induite par l'éthanol. Probablement, le mucilage principalement formé par l'arabinogalactane et l'acide galacturonique, peut agir en synergie avec les facteurs de défense de la muqueuse gastrique. Utilisé comme traitement curatif, les cladodes lyophilisés n'ont pas reconstitué les facteurs défensifs muqueux (Galati et al., 2001).

Effet antiallergique

Une étude coréenne a été réalisée afin d'examiner les potentialités antiallergiques de la glycoprotéine (90 kDa) isolé d'*Opuntia ficus indica* afin de savoir si les glycoprotéines d'OFI ont une capacité inhibitrice de l'allergie *in vivo*, l'évaluation des activités de facteurs concernant l'allergie comme l'histamine et la libération de-hexosaminidase, lactate déshydrogénase (LDH) et interleukine 4 (IL-4) a été provoquée par le composé p-méthoxy-N-méthyl-phénéthylamine préparation 48/80. Le composé 48 /80 est un composé de synthèse (polyamine), d'intérêt expérimental provoquant la sécrétion des mastocytes. Les expérimentations *in vivo* ont été réalisées sur des souris permettant l'étude du mécanisme des réactions allergiques. L'effet de l'activité antiallergique a ensuite été évaluée *in vitro* sur le facteur nucléaire kappa B (NF-kB) et le monoxyde d'azote synthase inductible (iNOS), l'acide arachidonique, la cyclo oxygénase-2 (COX2) et la phosphorylation de ERK1/2 MAPK.

L'étude a montré que la plupart des glycoprotéines produites par le figuier de barbarie ont un caractère de modulation pour l'inflammation, l'immunité et les facteurs concernant l'allergie. L'étude suppose que les glycoprotéines d'*Opuntia ficus indica* contribuent à empêcher les cytokines de l'inflammation causée par le composé 48/80. Les résultats montrent que l'administration de la glycoprotéine extraite de l'*Opuntia ficus indica* diminué significativement l'activité de lactate déshydrogénase; Histamine; Interleukine 4; facteur nucléaire kappa B; hexosaminidase; Acide arachidonique; Cyclo oxygénase 2; monoxyde d'azote synthase inductible. L'étude suggère que la glycoprotéine extraite du figuier de barbarie possède un rôle efficace dans la prévention ou le traitement des maladies allergiques dépendantes de l'activation des cellules mastocytaires (**Kye-Taek, 2010**).

Effet chondroprotecteur

Les médicaments conventionnels dans la maladie articulaire sont souvent efficaces pour le soulagement des symptômes, mais ils peuvent également causer des effets secondaires significatifs sans ralentir la progression de la maladie. Plusieurs substances naturelles se sont avérées efficaces en tant que drogues anti-inflammatoires non-stéroïdiennes pour soulager les symptômes de l'ostéoarthrite. Les résultats *in vitro* ont précisé que les extraits des cladodes pouvaient antagoniser les effets nocifs de l'IL-1. Les expérimentations viennent confirmer que les extraits des cladodes de l'*Opuntia ficus indica* possèdent un effet protecteur dans le changement de cartilage lors de la dégénération des chondrocytes. Ils semblent avoir une action thérapeutique importante dans le traitement de l'ostéoarthrite. Les composés actifs principaux dans les cladodes sont les polysaccharides qui ont accéléré le processus de réparation dans tout le tissu. Les glycoprotéines, composés aromatiques, en particulier les bêtacyanines, les betaxanthines, les polyphénols, les acides gras, les stérols, la vitamine E et le B-carotène, en raison de leur activité antioxydante et les flavonoïdes polyphénoliques sont des métabolites qui possèdent de nombreuses propriétés pharmacologiques. Ils pourraient potentiellement avoir une action protectrice contre les maladies chroniques. Ces composés agissent sur les aspects de la maladie commune dégénérative, stress oxydatif, inflammation et chondrodégénération. En conclusion, l'extrait lyophilisé des cladodes d'*Opuntia ficus indica* pourrait fournir une approche alternative à la maladie ostéoarticulaire (**Panico,2007**).

Effet antigenotoxique

D'après une étude réalisée en Tunisie par **Zorgui et al. (2009)**, les cladodes du figuier de barbarie semblent avoir une activité antigénotoxique intéressante. La capacité des cladodes

du figuier de barbarie dans la protection des souris contre la génotoxicité induite par la zéaralénone a été évaluée. La zéaralénone est la principale mycotoxine produite par *Fusarium graminearum*, champignon pathogène responsable de graves épidémies de fusariose de l'épi sur les céréales qui peuvent rendre les récoltes impropres à la consommation humaine. Stable, elle résiste à la plupart des traitements mis en œuvre au cours de la fabrication des aliments. Diffusible, elle sera bien absorbée lors de son administration orale et pourra atteindre des récepteurs intracellulaires. Cette mycotoxine présente une très faible toxicité aiguë, elle agit surtout sur les fonctions de reproduction, après fixation compétitive aux récepteurs intracellulaires des estrogènes. Cette fixation entraîne une augmentation de la synthèse d'ARN, de protéines et une prolifération cellulaire (Gaumy et al., 2001). L'administration simultanée de l'extrait de cladodes de cactus et de la zéaralénone a eu comme conséquence une prévention efficace des micronoyaux chromosomiques, une diminution de la fréquence d'aberrations chromosomiques cellules de moelle (le pourcentage d'aberrations chromosomiques a diminué de 38.3 à 18.6%) et de la fragmentation d'ADN comparée au groupe traité avec la zéaralénone seule. Les résultats des expérimentations prouvent clairement que la zéaralénone est génotoxique, elle induit des dommages d'ADN par fragmentation d'ADN et des aberrations chromosomiques au niveau des cellules de la moelle. L'extrait de cladodes de cactus est efficace dans la protection contre la génotoxicité de la zéaralénone (Zorgui et al., 2009).

Effet diurétique

Depuis des décennies, la médecine traditionnelle utilise les fleurs du figuier de barbarie en infusion afin de soulager les douleurs rénales. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à cet effet et plusieurs études ont été établies. Une étude italienne, réalisée sur le figuier de barbarie de la région sicilienne, porte sur les effets diurétiques des infusions des cladodes, des fruits et des fleurs de l'*Opuntia ficus indica* chez le rat. La natriurèse, la kaliurèse et l'action sur l'hyperuricémie ont été étudiés par Galati et al. (2002). Le matériel végétal est préparé par découpage des fruits et homogénéisation pendant 5 min. Ils sont ensuite centrifugés pour éliminer les graines. Les fleurs ont été séchées à l'air. Les infusions ont été préparées avec 15 % d'eau, la préparation réalisée selon la pharmacopée officielle italienne (1998) est administrée par gavage, immédiatement après la filtration, à une dose de 5 ml/100 g de poids de rat. Les résultats de l'étude montrent que l'infusion des fleurs et l'infusion des cladodes sont à l'origine d'une augmentation modeste de la diurèse et de la natriurèse (Galati et al., 2002).

Le traitement n'a pas eu d'influence sur le taux d'acide urique. Les infusions des cladodes, des fleurs et des fruits n'induisent pas de changement significatif au niveau du sodium et du potassium urinaires. L'étude propose que l'action diurétique observée puisse être liée à l'activation du mécanisme neuro humoral; ces effets semblent être à l'origine de l'influence que les électrolytes, présents avec des quantités considérables dans la plante exercent sur l'épithélium rénal. Particulièrement, l'*Opuntia ficus indica* est très riche en potassium, d'autres cations monovalents et bivalents sont présents dans la plante également et pourraient avoir une activité diurétique synergétique avec le potassium (**Kanias et al., 1979**). Selon cette étude, la théorie que la majorité des plantes médicinales possède un effet diurétique seulement en raison de la présence du potassium semble quelque peu douteuse (**De Ribeiro et al., 1988**). Selon de nombreuses études réalisées sur les plantes médicinales, aucune corrélation n'existe entre l'effet diurétique observé et le taux du potassium présent dans l'extrait végétal (**Abed et Benmerabet, 1981**). Dans l'étude présente, l'effet diurétique observé n'exclut pas la possibilité que le changement de la diurèse peut être une conséquence de la présence de composés polaires tels que les flavonoïdes, les glycosides et l'acide ascorbique. L'analyse phytochimique préliminaire a révélé que ces composés sont les constituants principaux des différentes infusions de l'*Opuntia ficus indica* (**Aquino, 1998**). Ces composés naturels pourraient agir en synergie ou promouvoir individuellement la vasodilatation rénale initiale. L'autre possibilité pour expliquer l'effet diurétique observé pourrait être les changements indirects de quelques paramètres physiologiques avant l'étape de la filtration du sang. On ne peut donc pas expliquer l'effet anti urique de l'infusion des fruits uniquement par l'augmentation de la diurèse ou par une excrétion urinaire accrue d'urates. Probablement, il existerait une influence sur le métabolisme acide urique dû à un changement de l'activité enzymatique (**Galati et al., 2002**).

Effet hepatoprotecteur contre les pesticides

Les cladodes du figuier de barbarie peuvent contrer les dégâts induits par un insecticide organophosphoré, le chlorpyrifos, au niveau du foie de souris (**Tuzmen et al., 2008**). L'insecticide déclenche un stress oxydatif dans les cellules humaines et animales, les auteurs parlent d'un changement du système de défense anti oxydatif et également de la peroxydation des lipides au niveau du foie de rat. Les dommages hépatiques causés par le chlorpyrifos ont été évalués par la pesée du foie de et la quantification de quelques paramètres biochimiques, comme les alaninesamino transférase (ALAT), l'aspartateamino transférase (ASAT), la phosphatase alcalin, le lactate déshydrogénase (LDH), le cholestérol et l'albumine dans le

sérum, par des dosages spectrophotométriques. Les extraits des cladodes cultivés en Tunisie et administrés aux souris en association avec le pesticide ont induit un rétablissement de tous ces paramètres. L'extrait des tiges du figuier de barbarie en complément alimentaire a pu montrer un rôle avantageux dans la protection du foie contre les dommages causés par le stress oxydatif. Cette propriété revient principalement à la richesse de la plante en polyphénols et en flavonoïdes qui augmentent l'excrétion des métabolites résultant du métabolisme xénobiotique (**Higdon et al., 2003**) et peuvent ainsi protéger le foie (**Ncibi et al., 2008**).

Effet anticancéreux

Le monde scientifique a accordé une attention particulière aux polyphénols ces dernières années, car ils ont montré des propriétés antioxydantes *in vitro*, ainsi que des effets protecteurs contre le cancer et la capacité à guérir et prévenir les maladies cardiovasculaires, inflammatoires et allergiques (**Gabriele et al., 2018**).

Plus récemment, des extraits riches en polyphénols de sous-produits de cactus poire ont présenté des activités antioxydantes et antiprolifératives dans le carcinome du colon humain (**Benayada et al., 2014**). Les résultats obtenus par **Dhaouadi et al. (2013)** soulignent l'utilisation potentielle de l'extrait de sirop *O. ficus-indica* pour des applications curatives. L'extrait de sirop analysé a un effet cytotoxique prononcé sur les cellules eucaryotes, en particulier avec un potentiel plus élevé contre les cellules tumorigènes que non tumorigènes. Cette distinction était essentielle dans de nombreuses études scientifiques pour cibler sélectivement les cellules cancéreuses dans un traitement thérapeutique.

Des études concernant l'extraits de fruits de cactus ont démontré un effet inhibiteur de la croissance tumorale indiquée par la taille de la tumeur qui a été comparé au 4-HPR, qui actuellement utilisé comme agent chimio préventif dans les essais cliniques sur le cancer de l'ovaire, du col de l'utérus et de la vessie (**Da-ming et al., 2005**).

Autres effets

Le calcium est considéré comme une composante minérale importante pour le métabolisme osseux, pour cette raison, la connaissance des sources naturelles incluses dans le régime alimentaire quotidien, l'*Opuntia* pourrait être un excellent complément alimentaire afin de compléter l'apport nutritionnel alimentaire et contribuer à la prévention de certaines maladies osseuses tels que l'ostéoporose (**Hernández et al., 2010**). Une découverte importante suggérant que les cladodes de nopal à l'étape de maturité avancée peuvent être

une source importante de calcium. Par ailleurs, la plante peut avoir des applications potentielles dans la prévention et le traitement de maladies associées à une carence en calcium (**Margarita et al., 2011**). En médecine chinoise, le fruit de cactus est considéré comme un poison faible. Il a également été utilisé comme agent de détoxification pour la morsure du serpent (**Da-ming et al., 2005**). L'étude de **El-Mostafa et al. (2014)** a démontré que l'extrait d'eau des cladodes améliore remarquablement la cicatrisation.

Résultats et discussion des effets thérapeutiques de l'*Opuntia ficus indica* (cladodes, fleurs, fruits et huile)

Notre étude bibliographique qui concerne l'analyse du maximum d'articles et d'études sur les différents effets thérapeutiques de l'*Opuntia ficus indica* est résumée dans le tableau (Tab.1) :

Tableau n°1: Effets, articles ou études consultés et année de publication

Effets	Article ou étude et année de publication	Total
Hypoglycémiant	(Ibanez <i>et al.</i> , 1983);(Shellshear <i>et al.</i> , 1926); (Frati., 1988); (Frati <i>et al.</i> , 1989); (Brett, 1974); (Mathews, 2002); (Hernandez, 2002); (Louacini <i>et al.</i> , 2012); (Terblanche <i>et al.</i> ,1971); (Monia <i>et al.</i> , 2006); (Patricia <i>et al.</i> , 2014);(El-Mostafa <i>et al.</i> , 2014);(Gabriele <i>et al.</i> , 2018).	13
Hypolépideimant	(Frati <i>et al.</i> , 1992); (Wolfram <i>et al.</i> , 2002);(Gabriele <i>et al.</i> , 2018) ; (Mongi <i>et al.</i> , 2011); (Fernandez <i>et al.</i> , 1992); (Kritchevsky <i>et al.</i> ,1988); (Miettinen <i>et al.</i> , 1977); (Ney <i>et al.</i> , 1988); (Chilliard <i>et al.</i> , 1998); (Suash, 2007); (Griffith <i>et al.</i> , 2003); (VanBennekum, 2005); (VanBennekumet <i>et al.</i> , 2005); (Lee, 2002).	14
Antioxydant	(Rice-Evans <i>et al.</i> , 1995); (Bartosz, 2003); (Ricardo <i>et al.</i> , 1991); (Sharma <i>et al.</i> , 2009); (Gerber <i>et al.</i> , 1997); (Zino, 1998) ; (Blois, 1958); (Brand-Williams <i>et al.</i> , 1995) ; (Maataoui <i>et al.</i> , 2006); (Xian-KeZhong <i>et al.</i> , 2010); (Morena <i>et al.</i> , 2002); (Wei Liu <i>et al.</i> , 2009).	12
Neuroprotecteur	(Kwak <i>et al.</i> , 2003); (Jung-Hoonet <i>et al.</i> , 2006); (El-Mostafa <i>et al.</i> , 2014).	3
Anti-inflammatoire	(Da-ming <i>et al.</i> , 2005) ; (Karym <i>et al.</i> , 2014) ; (Eun-Heet <i>et al.</i> , 2001).	3
Antimicrobien	(Dhaouadi <i>et al.</i> , 2013) ; (Mongi <i>et al.</i> , 2011).	2
Antiulcéreux	(Galati <i>et al.</i> , 2002); (Galati <i>et al.</i> , 2001).	2
Antiallergique	(Kye-Taek, 2010)	1
Chondroprotecteur	(Panico, 2007).	1
Antigénotoxique	(Zorgui <i>et al.</i> , 2009); (Gaumy <i>et al.</i> , 2001).	3
Diurétique	(Galati <i>et al.</i> , 2002) ; (Kanas <i>et al.</i> , 1979) ; (De Ribeiro <i>et al.</i> , 1988) ; (Abed <i>et al.</i> , 1981).	4
Hepatoprotecteur	(Tuzmenet <i>et al.</i> , 2007) ; (Higdon <i>et al.</i> , 2003) ; (Ncibi <i>et al.</i> , 2008).	3
Anticancéreux	(Gabriele <i>et al.</i> , 2018) ; (Benayada <i>et al.</i> , 2014); (Dhaouadi <i>et al.</i> ,2013) ; (Da-ming <i>et al.</i> , 2005).	4
Autres effets	(Hernández <i>et al.</i> , 2010) ; (Margarita <i>et al.</i> , 2011) ; (Da-ming <i>et al.</i> , 2005) ; (El-Mostafa <i>et al.</i> , 2014).	4
Effets totaux	Nombre d'articles et de travaux consultés	70

NB : Exemple effets diurétique les parenthèses (.....), représentent 1 article publié : soit pour les effets diurétiques 4 articles ont été recensés. Concernant les effets totaux recensés :70 publications ont été consultées.

Il en ressort du tableau récapitulatif par effets recensés (**Tab.2**) :20% des recherches portent sur un effet Hypolépémiant ;18.5% sur une action hypoglycémiant et 17.1% sur une action antioxydante; 5.7% reviennent aux effets : diurétique, anticancéreux et autres effets. 4.2% sont alloués aux effets neuroprotecteurs, anti-inflammatoires, antigénotoxique et Hepatoprotecteur. 2.8% des études recensées sont attribuéesaux effets antimicrobiens, antiulcéreux.

Tableau n°2 : Tableau récapitulatif par effet en (%)

Effets	Travaux recensés par effet	(%)
Hypolépémiant	14	20
Hypoglycémiant	13	18.5
Antioxydant	12	17.1
Diurétique	4	5.7
Anticancéreux	4	5.7
Autres effets	4	5.7
Neuroprotecteur	3	4.2
Anti-inflammatoire	3	4.2
Antigénotoxique	3	4.2
Hepatoprotecteur	3	4.2
Antimicrobien	2	2.8
Antiulcéreux	2	2.8
Antiallergiques	1	1.4
Chondroprotecteur	1	1.4
Effets totaux	70	100

Les résultats du tableau récapitulatif des travaux recensés par effet sont exprimés dans l'histogramme suivant (**Fig.8**) :

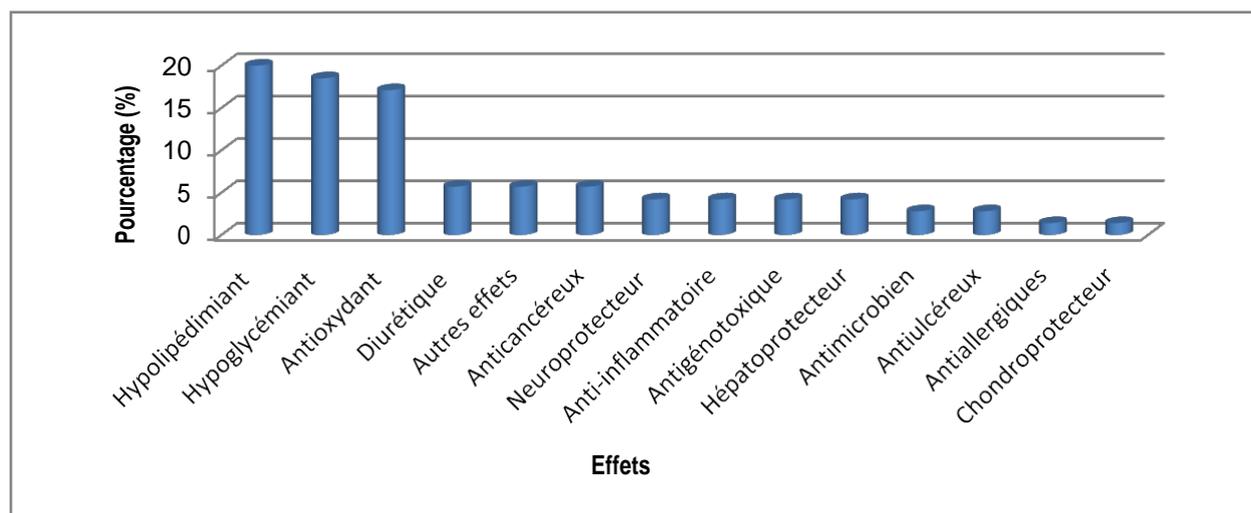


Figure n°9: Histogramme représentant les effets thérapeutiques en pourcentage

Discussion

Sur 70 articles et études scientifiques consultés, 3 dominants effets reviennent à lipidémie, la glycémie et l'effet oxydation : l'effet hypolipédimiant a été observé après administration de la raquette séchée d'*Opuntia ficus indica* mais il semble que c'est l'interaction de nombreuses substances telles que les pectines, les flavonoïdes, les betalaines, et la vitamine E qui lui confèrent cette activité hypolipidémiant. L'effet hypoglycémiant a été démontré suite à l'ingestion de la raquette d'*Opuntia ficus indica* séchée et moulu. L'effet diurétique a été observé par la présence de composés polaires tels que les flavonoïdes, les glycosides et l'acide ascorbique dans les fleurs de l'*Opuntia*. L'effet, neuroprotecteur, anticancéreux est dû essentiellement à une classe de flavonoïdes associé aux polyphénols. L'effet anti-inflammatoire a pour le principe actif est le B-sitostérol. On ce qui concerne les effets antiallergiques et antiulcéreux des études ont montré que l'administration de la glycoprotéine extraite de l'*Opuntia ficus indica* a diminué significativement l'activité de l'histamine et les cladodes lyophilisés ont été administrés contre l'ulcère. Quant à l'effet antimicrobien, l'activité antibactérienne la plus forte a été enregistrée contre *Staphylococcus epidermidis*.

En conclusion de ce présent chapitre : « le potentiel thérapeutique. », il nous a semblé utile et par souci de clarté, de le résumer sous forme de tableau les différents effets constatés selon les auteurs. Ces effets sont ensuite classés en fonction des affections traitées. Nous avons constaté que l'*Opuntia* est capable de traiter une grande variabilité d'affections grâce à la présence de nombreux composés naturels capables d'agir en synergie ou individuellement. Il reste à confirmer une infime partie de ce potentiel par nos propres expérimentations menées dans les différents laboratoires de la faculté SNV de Tiaret.

DEUXIEME

PARTIE:

Partie expérimentale

CHAPITRE I

Matériel et méthodes

Objectifs

Notre étude s'est accès aux objectifs suivants :

- ✓ Caractérisation des cladodes d'*Opuntia* sur le plan biométrique, physicochimique et phytochimique, pour confirmer ses effets thérapeutiques selon l'âge de la cladode.
- ✓ Evaluation de l'activité antibactérienne d'extrait méthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica inermis* vis-à-vis certaines souches pathogènes (*E. coli*, *P. aeruginosa* et *S. aureus*) par l'aromatogramme.

Lieu et période d'étude

Notre étude a été menée dans la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université « Iben Khaldoun » de Tiaret au niveau de ses différents laboratoires (biochimie alimentaire, physiologie végétale et microbiologie alimentaire), pendant la période qui s'étale de 17 décembre 2017 à 29 mai 2018.

Matériel et méthodes

Matériel

a. Matériel végétal

✓ **Présentation de la région d'étude**

Le prélèvement des cladodes inermes d'*Opuntia ficus indica* s'est effectué en décembre 2017, dans la région de "Sidi Ali Melall", de la daïra d'Oued Lili, distante de 32 Km du chef-lieu de la wilaya de Tiaret (**Fig.10**). Deux variantes de cladodes ont été prélevées : la cladode inerme jeune d'âge 1 an et la cladode inerme âgée d'âge supérieur à 3 ans.



Figure n° 10: Carte géographique du lieu de provenance des cladodes (Source : www.google.dz/maps)

✓ Identification de la plante

L'identification de la plante a été faite par Dr. AIT HAMMOU botaniste au niveau de notre faculté.

b. Matériel biologique

Les souches bactériennes étudiées dans ce travail proviennent de la collection référenciée du laboratoire de microbiologie de notre faculté, qui s'agit de : *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Ces souches étaient choisies pour leur implication dans plusieurs maladies (*S. aureus* : TIAC, Erythrodermies, choc toxique staphylococcique. *E. coli* : Infections intestinales et extra-intestinales : 1^{er} germe responsable d'infections urinaires communautaires et nosocomiales. *P. aeruginosa* : Infections cutanées, respiratoires et urinaires). Elles étaient apportées sur milieu solide, puis repiqués dans des milieux appropriés et conservés dans un réfrigérateur à 4 °C.

c. Matériel et produits du laboratoire

Le matériel et les produits utilisés dans notre étude sont présentés dans les tableaux 3 et 4 :

Tableau n° 3 : Produits et milieux de culture utilisés dans notre étude

Produits	Milieux de culture et autres
<ul style="list-style-type: none"> - Acétone - Acide acétique - Acide ascorbique - Acide borique - Acide chlorhydrique - Acide gallique - Acide nitrique - Acide oxalique - Acide sulfurique - Anhydre acétique - Carbonate de sodium - Chloroforme - Chlorure d'aluminium - Chlorure de calcium - Chlorure de sodium - DNSA - DPPH - Eau distillée - Eau physiologique - Ethanol - Foline-ciocalteu - Fushine - Hexane - Huile d'immersion - Hydroxyde de potassium - Hydroxyde de sodium - Liqueur de Fehling - Lugol - Méthanol - Phénol - Phénol Phtaléine - Sulfate d'ammonium - Tartrates double de sodium et de potassium - Trichlorure de fer - Violet de gentiane 	<ul style="list-style-type: none"> - Disques des antibiogrammes - Filtres nitrocellulosiques (0.45 µm) - Chapman - Cétrimide - MacConkey - Muller Hinton - Gélose nutritive - Papier Whatman n°1 - Composition des milieux de culture (Annexe.3)

Tableau n° 4: Verreries et appareillages utilisés dans notre étude

Verreries et autres	Appareillages et autres
<ul style="list-style-type: none"> - Ballons - Béchers - Boîtes de Pétri - Burette - Barreau magnétique - Capsules - Creusets - Dessiccateur - Eprouvettes - Ecouvillons stériles - Erlenmeyers - Fioles jaugées - Micropipettes - Mortier à pilon - Pipettes - Pipettes Pasteur - Pissette - Spatules - Tamis (500 µm) - Tubes à essai - Verres de montres - Anses de platine 	<ul style="list-style-type: none"> - Agitateur (RTC Basic) - Extracteur Soxhlet (GERHARD) - Autoclave (SAMO Clave) - Balance (SARTORIUS Basic) - Broyeur électrique (IKA Labortechnik STAUFEN) - Bain Marie (MEMMERT) - Bain de sable (PRO- LABO) - Centrifugeuse (SIGMA Laborzentrifigen) - Conductimètre (HANNA instrument) - Etuve (MEMMERT) - Fourre à moufle (HERAEUS instruments) - Incubateur (Nuve) - Microscope optique (B-350 OPTIKA) - Rotavapeur (HEIDOLPH, W60) - SpectrophotomètreUV (SHIMADZU UV-1202) - Spectrophotomètre à flamme (GENWAY) - pH-mètre (SCHOTT GERATE CG-822) - Plaque chauffante (RTC Basic) - Vortex (Techno Kartell TK3S)

I. 3.2. Méthodes

Protocol expérimental

Notre démarche expérimentale est résumée dans la figure suivante (**Fig.11**) :

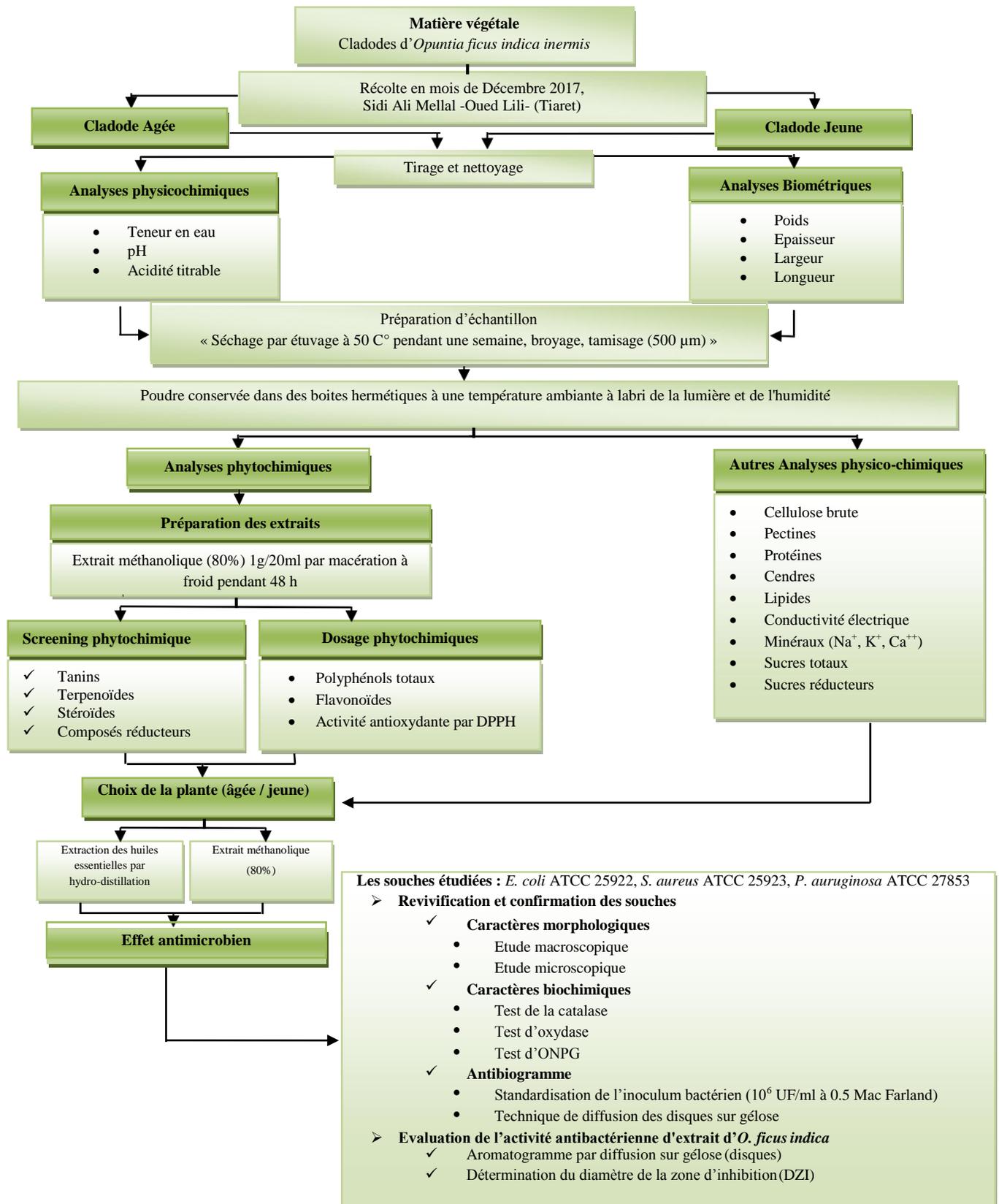


Figure n° 11 : Diagramme représentatif du protocole expérimental

Transformation des raquettes

Pour l'échantillon : cladode jeune ; 9 cladodes ont été prélevés, de couleur vert vif correspondant à un poids de 6.126 kg. Pour l'échantillon : cladode âgée de couleur jaune verdâtre, 15 cladodes ont été prélevés correspondant à un poids de 12.8 kg.

La préparation des raquettes était passée par des étapes (**Fig.12**). On a commencé d'abord par un triage des échantillons puis un lavage avec l'eau distillée, ensuite la réalisation des analyses biométriques. Après cette étape, c'était le découpage des cladodes en petits morceaux, et leur séchage dans l'étuve à 50 °C a duré une semaine ; enfin le broyage et le tamisage à l'aide d'un tamis de 500 µm de diamètre, afin d'obtenir une poudre qui sera conservée dans des boîtes hermétiques à une température ambiante et à l'abri de la lumière et de l'humidité.

**a****b****c****d**

a. Cueillette des raquettes

b. Raquettes à l'état frais

c. Découpage des raquettes

d. Poudre des raquettes broyées et tamisées

Figure n° 12 : Transformation des raquettes d'*O. ficus indica*

Analyses biométriques

L'analyse biométrique a pris en considération le poids, l'épaisseur, la longueur et la largeur des cladodes (**Fig. 13**) qui ont permis l'identification de leur caractère physique.

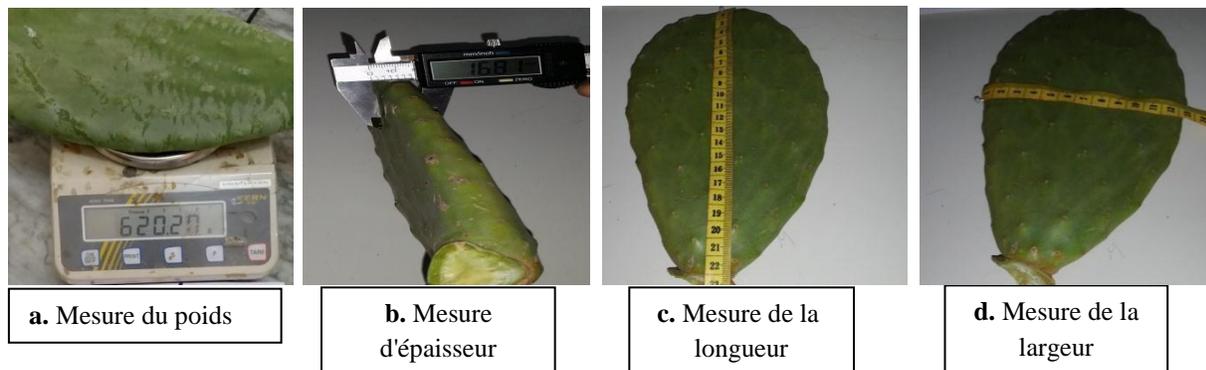


Figure n° 13 : Analyses biométriques de la raquette d'*O. ficus indica*

Analyses physicochimiques

a. Détermination de la teneur en eau

✓ Principe

La teneur en eau est mesurée en déterminant la perte du poids de l'échantillon après le séchage dans l'étuve (**Wrolstad et al., 2005**)

✓ Mode opératoire

Dans des creusets préalablement tarés, 10g de cladodes découpées en petits morceaux ont été mis puis ces creusets ont été placés dans l'étuve à 105 C°. Après 3 h de séchage (jusqu'à une masse constante), les creusets ont été retirés et placés dans un dessiccateur pour être pesés (**AOAC, 2000**).

✓ Expression des résultats

La teneur en eau est calculée par la formule suivante (**AOAC, 2000**)

$$TE = [P_1 - P_2 / P_0] \times 100$$

Dont : **TE** : Teneur en eau (%) **P₁** : Poids des creusets + d'échantillon avant étuvage (g)

P₀ : Poids de la prise d'essai (g) **P₂** : Poids des creusets + d'échantillon après étuvage (g)

Où la matière sèche est calculée comme suit :

$$MS = 100 - H$$

Dont:

MS : Matière sèche (%)

H : Humidité (%)

b. Détermination du pH

✓ **Principe**

La mesure du pH a été réalisée avec un pH-mètre en introduisant directement la sonde dans les échantillons à une température de 20 à 25°C (*NF V 05-108, 1970*).

✓ **Mode opératoire**

10 g de cladodes coupées en petits morceaux et écrasées à l'aide d'un mortier, ont été ajoutés à 100 ml d'eau distillée puis le mélange a été agité pendant 5 min jusqu'à l'obtention d'un jus. La mesure a été réalisée avec un pH mètre à une température de 20°C (*AOAC, 2002*).

c. Détermination de l'acidité titrable

✓ **Principe**

Le principe de cette méthode se base sur la neutralisation de l'acide citrique par une solution de NaOH à 0.1 N en présence de phénolphthaléine comme un indicateur coloré (*AFNOR, 1982*).

✓ **Mode opératoire**

La solution obtenue préalablement pour le dosage du pH a été utilisée pour le dosage de l'acidité titrable. 25 ml de jus obtenu a été mélangé avec une solution de NaOH (0.1 N) jusqu'à atteindre un pH de 8.1 en utilisant quelques gouttes de phénolphthaléine (*AOAC, 2002*).

✓ **Expression du résultat**

L'acidité titrable qui est exprimée par rapport à la teneur en acide citrique est calculée par la formule suivante (*AOAC, 2002*) :

Acidité Titrable% = [V]

Dont :

V : Volume d'hydroxyde de sodium utilisé dans l'évaluation (ml)

N : Normalité de l'hydroxyde de sodium

F : Facteur de conversion de l'acide citrique qui est égale à 0.0064

P : Poids d'échantillon (g)

d. Détermination de la conductivité électrique**✓ Principe**

La conductivité électrique exprime l'aptitude de la solution aqueuse électrique à conduire un courant électrique. Elle est en corrélation avec la teneur en sels solubles (Rodier, 1997).

✓ Mode opératoire

20 g d'échantillon séché ont été ajoutés à 100 ml d'eau distillée à 20°C, le mélange a été agité pendant 30 min, suivie d'une filtration par un papier filtre. L'électrode de conductimètre a été plongée dans cette solution et la lecture a été faite directement sur l'afficheur du conductimètre (ISO, 1994).

e. Détermination du taux de cendres**✓ Principe**

Elle consiste à un passage au four à moufle du matériel végétal et à une température de 550 à 600 °C jusqu'à la destruction totale de toute particule carbonéuse (Laurent, 1991).

✓ Mode opératoire

Peser les creusets vides, ajouter 10 g d'échantillon dans les creusets puis placer-les dans un four à moufle pendant 3-5 h à 600°C jusqu'à l'obtention d'une couleur claire ou blanchâtre. Les creusets ont été retirés du four, placés dans un dessiccateur puis pesés (AOAC, 2000).

✓ Expression des résultats

Le taux des cendres est calculé par la différence du poids avant et après l'incinération par la formule suivante (AOAC, 2000) :

$$TC = [P2-P1/P0] \times 100$$

Dont :

TC : Taux des cendres (%)

P0 : Poids de la prise d'essai (g)

P1 : Poids des creusets vide (g)

P2 : Poids d'échantillon après incinération (g)

f. Détermination des fibres brutes**✓ Principe**

Les fibres sont déterminées par la méthode de **Weende** qui consiste en une double hydrolyse acide suivie par une hydrolyse alcaline ou basique. L'hydrolyse acide/base (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux (**Van Soest et McQueen, 1973**).

✓ Mode opératoire

1g d'échantillon d'essai préalablement séché par étuvage à 105°C pendant 3 h a été broyé, par la suite, 150 ml d'acide sulfurique (1.25%) ont été ajoutés puis le mélange a été porté à l'ébullition. Après 30 min d'ébullition, le résidu a été filtré et lavé 3 fois par l'eau distillée chaude.

150 ml d'hydroxyde de potassium (1.25%) ont été ajoutés au résidu et le mélange a été porté à l'ébullition pendant 30min, suivi de 3 lavages à l'eau distillée chaude puis 3 lavages à l'eau distillée froide.

Un dernier lavage par 25ml d'acétone répété 3 fois, puis étuvage à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Le résidu a été calciné dans un four à moufle 3 h à 105°C puis repesé après refroidissement dans un dessiccateur (**AOAC, 2000**).

✓ Expression des résultats

La teneur en fibre est calculée selon la formule suivante (AOAC, 2000)

$$\text{FB} = [\text{P1}-\text{P2}/\text{P0}] \cdot 100$$

Dont :

FB : Fibre Brute (%)

P0 : Prise d'essai (g)

P1 : Poids de creuset après étuvage (g)

P2 : Poids de creuset après incinération (g)

g. Dosage des lipides**✓ Principe**

Les lipides sont des substances organiques extraites par des solvants organiques.

L'opération est conduite par un multiple contact entre le solvant et l'échantillon à l'aide d'un extracteur de type «Soxhlet » après évaporation du solvant, le résidu est séché et pesé (Audigie et Zonszain, 1991).

✓ Mode opératoire

10g d'échantillon sont versés dans la cartouche qui a été fermée par un morceau de coton et placée dans un extracteur «Soxhlet ». 150 ml d'hexane ont été versés dans un ballon et 100 ml du même solvant ont été mis dans l'extracteur. Après 6 h d'extraction, la totalité du solvant a été récupérée à l'aide d'un rotavapeur.

Pour déterminer les lipides totaux, les ballons ont été pesés après séchage dans un étuve à 105°C afin d'éliminer les traces du solvant (AOAC, 1995).

✓ Expression des résultats

Le taux de lipides est calculé par la formule suivante (AOAC, 1995)

$$\text{TL} = [\text{P1}-\text{P1}/\text{P0}] \cdot 100$$

Dont :

TL : Taux de lipides (%)

P0 : Poids de la prise essai (g)

P1 : Poids du ballon vide (g)

P2 : Poids du ballon + la matière grasse (g)

h. Dosage des pectines

✓ **Principe**

La pectine est dosée sous forme de pectates de calcium, après extraction à l'eau chaude, puis saponification par NaOH et précipitation par CaCl₂ en milieu acide (**Markh et al., 1989**).

✓ **Mode opératoire**

Première étape

Dans une fiole conique à colle rodé de 100 ml, 2.5g de la poudre des cladodes broyées ont été introduites, puis 50 ml d'acide chlorhydrique (1/30N) ont été ajoutés. La fiole a été bouchée par un réfrigérant et mise dans un bain Marie à 80°C. Après 30 min de chauffage, une filtration et un lavage avec l'eau distillée chaude ont été réalisés et un filtrat a été récupéré (1^{er} filtrat).

Le résidu a été récupéré dans une fiole conique adapté à un réfrigérant et 50 ml d'acide oxalique a été ajouté, le mélange a été porté à l'ébullition à 100°C. Après 20 min d'ébullition le mélange a été filtré et lavé avec l'eau distillée chaude et 2^{ème} filtrat a été récupéré.

Deuxième étape

Les deux filtrats ont été introduits dans une fiole jaugée de 200 ml et neutralisés par la soude caustique (15%) en présence de phénolphtaléine puis le volume a été complété jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.

Troisième étape

Dans une fiole de 200 ml, 50 ml du filtrat ont été versé puis 50 ml de la soude caustique (0.4%) ont été ajoutés afin de faire passer la saponification. Le mélange a été laissé reposer pendant 15 min. Après la saponification, 50 ml d'acide acétique (1N) et 50 ml de la

solution de chlorure de calcium (11.1%) ont été ajoutés et le mélange a été laissé réagir pendant 30 min.

Quatrième étape

La filtration du précipité a été faite par un papier filtre préalablement séché et taré, puis un lavage a été réalisé par la solution de chlorure de calcium (0.5%), en suite par l'eau distillée froide et enfin par l'eau distillée chaude jusqu'à l'élimination complète des ions de chlorure.

Cinquième étape

Le papier filtre et le précipité ont été séchés par étuvage à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant (**Multon, 1991**).

✓ Expression des résultats

La teneur en pectine a été exprimée par la formule suivante (**Multon, 1991**) :

$$P = [A \times 200 \times 0.9235] / [50 \times a]$$

Dont :

P : Taux de pectine (%)

A : Poids de précipité (g)

200 : Volume du filtrat (ml)

0.9235 : Coefficient de transformation de pectates de calcium en pectine

a: Poids du filtrat (g)

50 : Volume de filtrat pris pour précipitation (ml)

i. Détermination des éléments minéraux (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺)

✓ Principe

Si un élément est soumis à une excitation, donnée sous la forme d'énergie calorifique, les électrons de ses atomes peuvent passer d'une orbite à une autre avec une variation d'énergie qui s'accompagne de radiations lumineuses. La production d'une raie est en fonction de la source d'excitation, et l'élément excité produit un nombre de raies qui lui est propre, l'intensité d'une raie étant en fonction du nombre d'atomes excités c'est-à-dire de la concentration en élément de la solution à doser (**Didier et Cas, 1967**).

✓ Mode opératoire

Le dosage des minéraux a été effectué selon la méthode décrite par **Hassani et al. (2012)**.

✚ Minéralisation d'échantillon végétal

Le séchage de la matière végétale a été fait par étuvage à une température de 70°C à 80°C pendant 48 h. Les échantillons sont déposés dans des creusets puis placés dans un four à moufle à 450°C pendant 2 h jusqu'à l'incinération, après le refroidissement dans un dessiccateur, 0.05 g des cendres a été pris et ajouté à 4 ml d'acide nitrique, le tout est chauffé jusqu'à l'évaporation de l'acide nitrique dans un bain de sable, ensuite l'ajout de 10 ml d'HCL (0.1N). Le mélange obtenu est filtré afin d'obtenir une solution homogène. Cette solution se prête au dosage par spectrophotomètre à flamme.

✚ Dosage des éléments

La sensibilité du spectrophotomètre est réglée à la position de chaque filtre d'élément minéral à doser (K^+ , Na^+ et Ca^{++}).

L'étalonnage de l'appareil se fait avec l'eau distillée en premier lieu, puis avec la solution étalon de chaque élément (1000 ppm). Un dernier étalonnage se fait avec l'eau distillée, avant la lecture des échantillons dans le spectre à flamme.

✓ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont convertis à l'aide d'une courbe d'étalonnage en quantité des minéraux qui est exprimée en ppm.

j. Dosage des protéines**✓ Principe**

Le principe de cette méthode consiste à hydrolyser la matière sèche par ébullition en présence d'acide sulfurique concentré. Dans ces conditions, l'azote est transformé en ammoniacque fixée par l'acide sulfurique sous la forme de sulfate d'ammonium. Cette solution est titrée par la soude et dosé, après être reçue dans une solution d'acide borique (**Kjeldhal, 1883**).

✓ **Mode opératoire**✚ **Première étape :**

La minéralisation : on prélève 0.25 +/- 0.0003 g de chaque échantillon (matière sèche) des raquettes dans des tubes d'hydrolyse avec 3 g de catalyseur à partir d'un mélange composé de : 10 g de cuivre et 100 g de sulfate de potassium. Ces produits doivent être mélangés et broyés. Ajouter 6 ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄) et porter à ébullition pendant 30 min à 320°C, après on augmente la température à 420°C pendant 1 h, l'extrait doit être clair. Sinon nous continuons l'hydrolyse jusqu'à ce que cette condition soit acquise. Laisser refroidir sous la hotte, jauger à 100 ml avec de l'eau distillée et mélanger au vortex.

✚ **Deuxième étape :**

La distillation : l'appareil de distillation est capable de mélanger 50 ml d'eau distillée, 40 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) et 10 ml d'acide borique (H₃BO₃). Son principe est de transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniaque. La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniaque. L'ammoniaque (NH₃) est entraînée par la vapeur d'eau par distillation. Les vapeurs d'ammoniaque sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant de l'acide borique. L'acide borique va retenir l'ammoniaque sous sa forme acide.

✚ **Troisième étape :**

La titration : on titre, avec de l'acide sulfurique 0.05N, la solution jusqu'à équivalence par le virage de l'indicateur coloré (**Kjeldhal, 1883**).

a. Expression des résultats

La teneur d'azote (N) exprimée par la formule suivante (**AOAC, 2000**) :

$$N\% = V \times 0.14/PE$$

Dont :

V : Volume d'acide sulfurique

PE : Prise d'essai

La teneur en Matière Azotées totales est obtenue par la multiplication de la teneur en azote par un facteur de 6.25 :

$$\text{MAT}\% = V \times 0.14 \times 6.25 / \text{PE}$$

k. Dosage de sucres totaux

✓ Principe

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol / acide sulfurique décrite par **Dubois et al. (1956)**.

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment- là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490 nm.

✓ Mode opératoire

✚ Préparation de la solution à analyser

L'extraction des sucres a été faite à partir de 0.1 g d'échantillon avec l'ajout de 30 ml d'éthanol (80%) dans un tube à essai, puis les tubes sont laissés pendant 48 h à une température ambiante et à l'obscurité pour l'extraction. L'étape suivante est de placer les tubes dans un bain-Marie à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Après refroidissement, l'ajoute 20 ml d'eau distillée (Solution à analyser) (**Cuiyand et Brummer, 2005**).

✚ Dosage

Dans un tube à essai, à chaque 1ml de la solution d'extraction, on ajoute 1ml de phénol à 5% puis 5 ml d'acide sulfurique concentré et on agite au vortex pour homogénéiser la solution. On laisse les tubes au repos pendant 10min, en suite on les place une autre fois dans le bain Marie pendant 15 min à 30°C. La lecture se fait à une longueur d'onde de 490nm, la détermination de la concentration en sucres est faite en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le glucose comme solution standard (**Dubois et al., 1956**).

✓ Expression des résultats

La quantité des sucres totaux est déterminée à partir de la courbe d'étalonnage par la formule suivante (**Sadasivam et Manickarn, 1996**) :

SR

Dont :

ST : Taux de sucre totaux (%)

X : Quantité de sucres calculée à partir la courbe d'étalonnage (mg/ml)

D : Facteur de dilution

V : Volume de la solution analysée (ml)

P : Poids de la prise d'essai (g)

I. Dosage de sucres réducteurs

✓ Principe

Les sucres réducteurs sont déterminés par la méthode de **Miller (1972)** dont la fonction réductrice se complexe sous certaines conditions avec le réactif DNSA ce qui traduit par une coloration orangé. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la teneur en sucres réducteurs. Les résultats sont exprimés par rapport à une gamme étalon de glucose (**Ferhuom, 2010**).

✓ Mode opératoire

✚ Préparation de la solution d'analyse

L'extraction des sucres a été faite à deux reprises avec l'éthanol (80%) chaud (5 ml à chaque fois) à partir de 0.1 g d'échantillon. Le surnageant a été recueilli et évaporé en le gardant dans un bain Marie à 80°C par la suite 10 ml d'eau distillée a été ajouté pour dissoudre les sucres (solution à analyser) (**Miller, 1972**).

✚ Dosage

Dans un tube à essai 1 ml de la solution à analyser a été prélevé et 1 ml du réactif DNSA a été ajouté, ensuite les tubes ont été chauffés pendant 5 min dans un bain Marie à 100°C. Après refroidissement des tubes, la lecture de l'absorbance est faite à 540 nm en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le glucose comme solution standard d'étalonnage (**Miller, 1972**).

✓ Expression des résultats

La teneur en sucres réducteurs est calculée par la formule suivante (**Sadasivam et Manickarn, 1996**) :

SR

Dont :

SR : Taux de sucre réducteurs (%)

X : Quantité de sucres calculée à partir la courbe d'étalonnage (mg/ml)

D : Facteur de dilution

V : Volume de la solution analysée (ml)

P : Poids de la prise d'essai (g)

Analyses phytochimiques

✓ Extraction des composés phénoliques

✚ Préparation d'extrait des composés phénoliques

La préparation d'extrait a été faite selon la méthode de **Benhammou et al. (2008)** avec quelques modifications ; où une quantité de 1 g du matériel végétal broyé est macérée à froid dans 20 ml du méthanol (80%) pendant 48 h. Après filtration, la solution méthanolique est évaporée à sec sous pression réduite dans un évaporateur rotatif type Buchi R-200 à 60°C. Les résidus secs pesés sont repris par 3 ml du méthanol (80%).

✚ Rendement d'extraction

Le rendement d'extraction est calculé par la formule suivante (**Bruneton, 1999**) :

$$R = P_2 - P_1/M$$

Dont :

R : Rendement d'extraction (%)

P₁ : Poids du ballon vide (g)

P₂ : Poids de l'échantillon après évaporation (g)

M : Masse d'échantillon (g)

a. Dosage des composés phénoliques

❖ Principe

Le dosage des poly phénols totaux est réalisé par la méthode décrit par **Singleton et Rossi (1965)** en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu. Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols. La coloration produite, dont l'absorption est

mesuré à 760 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait végétal.

❖ Dosage

Dans un tube à essai, 2.5 ml de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois) a été ajouté à 0.5 ml de chaque extrait méthanolique. Après 3 min, 1ml de carbonate de sodium (20%) a été ajouté; le mélange a été incubé pendant 15 min à une température ambiante et à l'obscurité (Singleton et Rossi, 1965).

La lecture des absorbances a été faite à 760 nm. La concentration des composés phénoliques totaux a été déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard.

❖ Expression des résultats

La teneur en composés phénoliques a été exprimée en mg d'acide gallique équivalent (EAG/100gd'extrait) selon la formule suivante (Gaouar, 2011)

$$T = [(C \times V \times D) / P] \times 100$$

Dont :

T : Teneur en polyphénols totaux (mg EAG /100g d'extrait)

C : Concentration des polyphénols en équivalent d'acide gallique déduire de la courbe

D: Facteur de dilution

V: Volume de la solution analysée (ml)

P : Poids de l'échantillon (g)

b. Dosage des flavonoïdes

❖ Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Ils forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium), ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir a deux atomes d'oxygènes de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (Zhishen et al., 1999).

❖ Dosage

Le dosage des flavonoïdes est déterminé par la méthode de **Zou et al. (2004)**.

1.5 ml d'extrait méthanoïque est mélangé avec 75 μ l d' $AlCl_3$ (10%) qui a été incubé à la température ambiante pendant 6 min, suivi par l'addition de 0.5 ml NaOH (1M) et le volume a été complété jusqu'à 2.5 ml avec l'addition de l'eau distillée (425 μ l).

La lecture des absorbances a été faite à 510 nm. La teneur en flavonoïdes est déterminée à partir d'une équation de la régression linéaire déduite de la courbe d'étalonnage. Elle est exprimée en microgramme d'équivalent de quercétine par mg d'extrait.

❖ Expression des résultats

La concentration en flavonoïdes est exprimée en microgramme d'équivalent de quercétine par mg d'extrait.

c. Evaluation de l'activité antioxydante (par DPPH)

❖ Principe

Le DPPH (2,2Diphényl-1-picrylhydrazyl) est pratiquement le radical libre le plus stable en solution (méthanol ou éthanol), il est caractérisé par une couleur violette dont l'intensité est mesurée à 517 nm. En présence d'un donneur d'hydrogène, le DPPH est réduit à la forme non radicalaire de couleur jaune pâle. Ce passage de la première forme à la deuxième, est accompagné d'une diminution de l'absorbance (DO) qui peut s'exprimer par le pourcentage de la réaction DPPH (**Abdel-Hameed et al., 2014**).

❖ Mode opératoire

L'activité antioxydant des polyphénols totaux a été évaluée par la mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH (1,1- Diphenyl-2-picrylhydrazyl) selon la méthode décrite par **Molyneux (2004)**.

0.5 ml de la solution d'extrait méthanolique testée à différentes concentrations (5, 10, 15, 25,50..) sont mélangées avec 1 ml d'une solution méthanolique de DPPH (1M). Après une période d'incubation de 30 min à la température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à la longueur d'onde de 517 nm.

L'inhibition du radical libre DPPH par l'acide ascorbique (vitamine C) peut être également analysée à la même concentration pour faire la comparaison.

❖ Expression des résultats

Le pourcentage de la réduction du DPPH par l'extrait selon la formule donnée par **Yen et Duh (1994)** :

$$\% \text{ d'inhibition} = \text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon} / \text{Abs contrôle} \times 100$$

Dont :

% d'inhibition : Pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH.

DO contrôle : Densité optique du contrôle.

DO échantillon : Densité optique d'extrait.

A partir de la variation du pourcentage de réduction du DPPH en fonction de la concentration de l'extrait, nous pourrions déterminer graphiquement l'IC50 qui est définie comme étant la concentration de l'antioxydant nécessaire pour réduire ou inhiber 50% du DPPH.

Screening phytochimique

a. Test des Tanins

L'ajout de trichlorure de fer (FeCl₃) à 2% aux tubes à essai avec 2 ml d'extrait permet de détecter la présence ou non des tanins. La couleur vire au brun noir en présence de tanins galliques (tanins hydrolysables) et au bleu verdâtre en présence de tanins catéchiques (tanins condensés) (**Dohou, 2003**).

b. Test des Terpenoïdes

La mise en évidence du test est par l'ajout de 2 ml de chloroforme (CHCl₃), 1 ml d'anhydride acétique et 1 ml d'acide sulfurique concentré aux différents extraits. L'apparition d'une coloration violette indique leur présence (**Koffi et al., 2009**).

c. Test des Stéroïdes

Dissoudre les extraits dans 1 ml de chloroforme et ajouter 1 ml d'acide sulfurique concentré, un test positif est révélé par l'apparition d'une couche supérieure en rouge (Trease et Evans, 1978).

d. Test des sucres réducteurs

Leur détection consiste à traiter 1ml de l'extrait 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 (Trease et Evans, 1978 ; Yamini et al., 2011).

Essai d'extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle d'*Opuntia ficus indica* est faite par un hydrodistillateur de type Clevenger. Selon Burt (2004), on met 50 g de la matière sèche avec 400 ml de l'eau distillée dans un ballon de verre pyrex puis on porte l'ensemble à l'ébullition, suivi par l'apparition de la première goutte de distillat à la sortie du tube condensation de la vapeur, l'huile essentielle est entraînée par la vapeur de l'eau ; elle est ensuite condensée en passant par un condensateur fixé par un support approprié en position verticale pour faciliter l'écoulement du distillat ; le temps nécessaire de cette extraction est d'environ 3 à 4 h. Le distillat obtenu dans un bécher est mis dans une ampoule à décanter où l'huile essentielle est récupérée dans un tube à essai.

Le rendement d'extraction est calculé par la formule suivante (Toure, 2016) :

$$\mathbf{Rd} = (\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_0) \times 100$$

Dont :

Rd: Rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage (%)

M₁: Masse en gramme d'H.E (g)

M₀: Masse en gramme de la plante séché (g)

Activité antibactérienne

a. Revivification des souches

Afin de revivifier les bactéries à tester, un repiquage a été fait successivement sur des milieux appropriés pour chacune des bactéries : GN pour *E. coli*, Chapman pour *S. aureus* et Cétrimide pour *P. aeruginosa* ; par la suite elles ont été incubées pendant 24 à 48 h à 37 °C (Delarras, 2007).

b. Confirmation des souches

✚ Caractères morphologiques

❖ Etude macroscopique

L'étude macroscopique permet de constater, à l'œil nu, la morphologie des colonies obtenues sur milieu solide afin de déterminer la forme, la taille, la couleur et l'aspect des colonies (Delarras, 2007).

❖ Etude microscopique

L'observation microscopique permet de classer les bactéries selon leur Gram, morphologie cellulaire et mode d'association. La double coloration de Gram (**annexe.3**) permet de distinguer les bactéries Gram positif qui apparaissent colorées en cristal violet des bactéries Gram négatif qui sont de couleur rose (Flandrois, 1997).

✚ Caractères biochimiques

❖ Test de la catalase

• Principe

La catalase a la propriété de décomposer l'eau oxygénée H_2O_2 en oxygène et en molécule d'eau (Marchal et al., 1982).

• Technique

Sur une lame, une goutte d'eau oxygénée (10 volumes) a été déposée, puis quelques colonies d'isolat de la bactérie à tester a été dissociée directement (Marchal et al., 1982).

• Lecture des résultats

Si la souche examinée possède une catalase, on observe un dégagement immédiat de bulles gazeuses (Delarras, 2007).

❖ Test d'oxydase

- **Principe**

Le cytochrome oxydase assure la fixation de l'oxygène moléculaire sur le cytochrome réduit. La recherche de cette enzyme est faite en utilisant des disques commercialisés (OX), imprégnés d'oxalate de N-diméthyl paraphérine diamine, oxydé par le cytochrome C, se transforme en composé violet foncé.

- **Technique**

Le disque (OX) a été déposé sur une lame propre et imbibé avec une goutte d'eau distillée stérile. Une colonie a été prélevée à partir du milieu à l'aide d'une anse de platine puis déposée sur le disque (**Delarras, 2007**).

- **Lecture des résultats**

En présence de l'oxydase (dans le cas d'une bactérie oxydase positive), la coloration violette foncée apparaît immédiatement ou en quelques secondes, puis noircit (**Delarras, 2007**).

❖ Test ONPG

- **Principe**

Pour que les bactéries hydrolysent le lactose, il faut qu'elles possèdent des β -Galactosidase. La bêta-galactosidase libérée de la cellule bactérienne (lyse théoriquement provoqué par le toluène) va agir sur un galactose substitué, l'orthonitrophényl- bêta-D-galactopyranoside ou ONPG. L'hydrolyse de l'ONPG libère de l'orthonitrophénol qui présente une coloration jaune très stable (**Marchal et al., 1982**).

- **Technique**

Une suspension du germe à étudier a été mise dans l'eau physiologique par la suite un disque d'ONPG imprégné a été ajouté. Enfin, l'incubation a été faite à 37°C pendant 24 h (**Marchal et al., 1982**).

- **Lecture**

La lecture de résultat a été basée sur le changement de couleur car l'apparition d'une coloration jaune indique que la bactérie a une ONPG positive et l'absence de coloration indique ONPG négatif (**Marchal et al., 1982**).

✚ Antibiogramme

Un antibiogramme permet d'étudier, sur milieu de culture, la sensibilité et la résistance des souches bactériennes aux antibiotiques qui se traduit par l'action des molécules antibiotiques sur une souche bactérienne. Il donnera donc des indications sur l'efficacité *in vitro* de ces antibiotiques (Bourabah, 2015). La détermination du diamètre de zone d'inhibition permet une estimation de la concentration minimale inhibitrice (Scavizzi et al., 2000).

❖ Standardisation des suspensions bactériennes

A partir d'une culture jeune (18 à 20 h) sur milieu d'isolement, racler à l'aide d'une anse de platine quelques colonies bien isolées et parfaitement identiques dans 9 ml d'eau physiologique stérile, ensuite assurer l'homogénéisation de la suspension bactérienne par l'agitation pendant quelques secondes. La standardisation de la suspension est faite par un spectrophotomètre réglé sur une longueur d'onde de 625 nm, son opacité doit être équivalente à 0.5 Mc Farland ou à une DO de 0.08 à 0.13 à 625 nm, qui correspond à une concentration de 10^6 à 10^8 UFC/ml (Andrewes, 2001).

❖ Technique de diffusion des disques sur gélose

Cette technique est basée sur la diffusion par disque sur milieu Muller-Hinton en utilisant des différents antibiotiques : Tétracycline (TE) : 30 µg ; Métronidazole (MTZ) : 5 µg ; acide Nalidixique (NA) : 30 µg, Céphalexine (CN) : 500 µg, Ceftazidime (CAZ) : 30 µg, Imipénème (IPM) : 10 µg, Gentamicine (GEN) : 50 µg, Céfuroxime (CX) : 30 µg, Erythromycine (E) : 15 µg, Ticarcilline (TIC) : 75 µg. Les boîtes sont ensemencées par inondation avec une suspension bactérienne contenant 10^6 UFC/ml, sur lesquelles sont déposés les disques des antibiotiques. L'incubation s'effectue à 37°C (Scavizzi et al., 2000).

c. Evaluation de l'activité antibactérienne d'extrait d'*O. ficus indica*

Pour évaluer l'activité antibactérienne d'extrait de raquettes d'*O. ficus indica*, nous avons adopté la méthode de diffusion sur milieu gélosé, en utilisant les disques. Le principe de la méthode repose sur la diffusion du composé antibactérien en milieu solide, avec la création d'un gradient de concentration, après un certain temps de contact entre le produit et le microorganisme cible, l'effet du produit antibactérien sur la cible est apprécié par la mesure

d'une zone d'inhibition, est en fonction du diamètre d'inhibition. La souche sera qualifiée de sensible, très sensible, extrêmement sensible ou résistante (Shafiei et al., 2013).

Aromatogramme par diffusion en milieu gélosé (disques)

❖ Préparation d'extrait d'*Opuntia ficus indica inermis*

La reconstitution de l'extrait d'*O. ficus indica inermis* a été faite selon le rapport 100 mg d'extrait par 1ml de méthanol (80%).

❖ Préparation des témoins

Les disques imprégnés du méthanol sont également utilisés comme témoin négatif pour les trois souches utilisées. Le témoin positif était en utilisant les antibiotiques mentionnés précédemment.

❖ Ensemencement et dépôt des disques

Un volume de 100 µl de la suspension bactérienne jeune (18h) a 0.5 Mc Farland est prélevé à l'aide d'une micropipette et déposé sur la surface de la gélose Mueller Hinton ; frotter le râteau sur la totalité de la surface gélosée sèche, de haut en bas, l'opération est répétée deux fois, en tournant la boîte de 60° à chaque fois. Finir l'ensemencement en passant le râteau sur la périphérie de la gélose (Pibiri, 2006). Des disques de papier Whatman n°1 de 6 mm de diamètre, stériles sont placés à la surface de la gélose de chaque boîte de pétrie à l'aide d'une pince stérile, ces disques sont ensuite chargés avec 20, 30 et 50 µl d'extrait méthanolique d'*O. ficus indica* et sont incubés pendant 24 h à 37°C (Dhaouadi et al., 2013).

Détermination du diamètre de la zone d'inhibition

L'activité antibactérienne se révèle par l'apparition de zones d'inhibition autour les disques imbibés d'extrait ou le diamètre de ces zones d'inhibition (DZI) est mesuré en mm. Les résultats obtenus peuvent être symbolisé par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis des extraits (Ponce et al., 2003) :

- Sensible (+) : Diamètre compris entre 9 à 14mm.
- Très sensible (++) : Diamètre compris entre 15 à 19mm.
- Extrêmement sensible (+++) : Diamètre > 20mm

CHAPITRE II

Résultats et discussions

Caractéristiques biométriques

Les résultats des caractéristiques biométriques de nos échantillons sont présentés dans le tableau suivant (Tab.5) :

Tableau n° 5 : Mesures biométriques des cladodes âgées et jeunes

Paramètres Variétés	Poids (g)	Longueur (cm)	Epaisseur (mm)	Largeur (cm)
Jeune inerme	407 0.6	31.86 0.008	17.54 0.004	14.83 0.003
Agée inerme	1422 0.22	45.66 0.0066	21.53 0	23.22 0.002

NB : L'analyse statistique descriptive a été réalisée par le logiciel EXCEL, cette analyse s'est basée sur le calcul de la moyenne et de l'écart-type pour chacun des paramètres étudiés.

Nos résultats ont montré que la longueur des cladodes âgées a été de 45.66 cm 0.0066, l'épaisseur de 21.5 mm 0 et 23.22 cm de largeur ; et pour les cladodes jeunes de 31.86 cm 0.008 de long, une épaisseur de 17.54 mm et 14.83 mm 0.003 de largeur. Nous remarquons que ces différentes mesures de traits morphologiques des cladodes âgées sont plus élevées par rapport à celles des cladodes jeunes. La moyenne du poids frais des cladodes âgées est égale à 1422 g 0.22. Cette valeur est plus élevée par rapport aux cladodes jeunes qui ont été de 407 g 0.6. En ce qui concerne la couleur, nous avons observé que les cladodes âgées sont d'un vert clair alors que les cladodes jeunes sont d'un vert foncé.

Il a été signalé que les facteurs environnementaux tels que l'altitude, le drainage du sol, la température et les précipitations affectent le développement et la morphologie du genre *Opuntia*. Ils ont rapporté que la composition chimique des cladodes déshydratés varie selon l'âge de la cladode (Erre et al., 2009 ; Rodríguez et al., 2007). Cependant, Hernández et al. (2011) ont également indiqué que la composition physico-chimique des raquettes varie avec l'âge de cladode.

Donc Il est souhaitable de compléter cette étude biométrique par d'autres mesures telle que : (la forme et la couleur des cladodes, la forme et la couleur des fruits, la forme et la couleur des épines ...) pour la recherche d'éventuels écotypes différents et de procéder à leurs sélections et / ou améliorations.

Caractéristiques physicochimiques

Les résultats obtenus à partir des différentes analyses physicochimiques sont montrés dans le tableau suivant (Tab.6) :

Tableau n° 6 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de cladodes âgées et jeunes

Variétés Paramètres	Cladode jeune	Cladode âgée
Teneur en eau (%)	93.2	89.44
Matière sèche (%)	6.8	10.56
Cendres (%)	21.63 0.005	26.80 0.0055
Conductivité (ms/cm)	8.52 0.005	11.84 0.002
pH	4.61 0.01	4.9 0.01
Acidité titrable (%)	0.10 0.005	0.05 0.005
Protéine Brute (%)	0.50 0.04	0.18 0.02
Matière Grasse (%)	4.35 0	3.5 0
Sucres totaux (%)	0.49 0.005	0.085 0.0007
Sucres réducteurs (%)	0.086 0.0005	0.057 0
Cellulose Brute (%)	4.09 0	10.01 0
Pectine (%)	3.505 0.005	0.48 0.005

Teneur en eau

L'analyse des raquettes d'*Opuntia ficus indica inermis* jeunes renferment des teneurs plus élevées en eau (93.2%), comparativement aux raquettes âgées (89.44%). La teneur en eau des raquettes âgées est comprise entre 88 et 93% ; cette valeur qui a été montrée par **Murillo-Amador et al. (2002)** est proche à nos résultats. Aussi **Nefzaoui et al. (1995)** ont trouvés que les raquettes d'*Opuntia ficus indica* renferment un taux d'humidité de 95%. Les jeunes cladodes sont très riches en eau qui varie de 91 à 93% (**Hadj Sadok, 2008**). Ces résultats sont proches à ceux des autres espèces de cactus étudiées par **Castellar et al. (2003)** ; **Morales et al. (2008)** ; **Saenz et Sepúlveda (2001)** ; **Piga (2004)** ; **Stintzing et al. (2005)** qui renferment un taux d'humidité de (85.3%).

Le constituant principal des cladodes d'*O. ficus indica* est l'eau (80-95%). Où le contenu élevé en eau présent dans les tissus de l'*Opuntia*, représente une source d'eau non négligeable pour les animaux (**Giovanna et al., 2009** ; **Nefzaoui et Ben Salem, 1998**)

Les substrats étudiés renferment un taux élevé de matière sèche. La valeur élevée est enregistrée pour les cladodes âgées inermes 10.56% et un taux faible pour les cladodes jeunes 6.8%, où le mucilage représente près de 19.4% de la matière sèche (Sudzuki et al, 1993).

Ce résultat pourrait s'expliquer en grande partie par le mucilage contenu dans les raquettes de cactus, soit un type de mucus hydrophile qui possède une forte capacité à retenir de l'eau à l'intérieur du cactus particulièrement, durant les longues périodes de sécheresse (Cárdenas et al., 1997; Sáenz et al., 2004).

Acidité titrable et pH

Les résultats obtenus pour l'acidité titrable et le pH des cladodes âgées et jeunes sont de 0.05% 0.005 et 4.9 0.01 ; 0.10 0.005 et 4.61 0.01 respectivement. Ces valeurs sont proches de celles trouvées par Rodríguez et Cantwell (1988) où le jus des cladodes présente un pH de 4.6 avec 0.45% d'acidité titrable. Les valeurs de pH d'*O. ficus indica* varient de 5.8 à 6.2 (Felker et al., 2005). En outre, il a été rapporté que l'acidité dans le jus de la cladode d'*O. ficus indica* est de 0.28 à 0.93% (Hadj Sadok et al., 2014) ; ces valeurs sont peu élevées par rapport à nos résultats. Donc on constate que la région du cultivât joue un rôle dans cette variabilité des résultats.

Conductivité électrique

La conductivité électrique exprime l'aptitude de la solution aqueuse à conduire un courant électrique. Le résultat obtenu pour la conductivité des cladodes âgées est égale 11.84 0.002, elle est plus élevée par rapport aux cladodes jeunes 8.52 0.005. Ce résultat est proche de celui obtenu par Gebresamuel et Gebre (2012) qui ont trouvés que la conductivité d'*O. ficus indica* varie de 9.69 à 12.04 ms/cm.

Teneur en cendres

La teneur en cendres totales dans notre étude a été évaluée entre 26.80 0.0055 de MS pour les cladodes âgées et de 21.63 0.005 de MS pour les cladodes jeunes. Rodríguez-Garcia et al. (2007) ont montrés que la teneur en cendres dans la cladode d'*Opuntia ficus indica* varie de 18.41 à 23.24% de MS. Chez *O. ficus indica* f. *amyloceae* et *O. ficus indica* f. *inermis* de Tunisie, Ayadi et al. (2009) ont trouvés des valeurs en cendres de 23.3 à 25.65 % de MS. Ces résultats sont proches à nos résultats. Chez *O. ficus indica* la teneur en cendres dans les raquettes était de 19.6% de MS (Malainine et al., 2003). Cette valeur est similaire à d'autres espèces d'*O. ficus indica* de l'Inde, la teneur en cendres varie de 19 à 23 % de MS (Shilpa et al., 2012). Alors que les résultats obtenus par Nefzaoui et al. (1995) (20 %

de MS), étaient inférieurs à nos résultats obtenus pour la cladode âgée mais similaire à ceux de la cladode jeune. Ces cendres représentent la fraction minérale des raquettes d'*Opuntia ficus indica*.

Cellulose brute

La teneur en cellulose brute (fibres) dans la cladode âgée varie entre 8.02 à 12%, une teneur plus élevée par rapport à la cladode jeune qui est de 3.18 à 5%. Nos résultats pour la cladode âgée sont proche à ceux trouvés par **Hadj Sadoket al. (2008)** et **Chriyaa (1998)**, qui ont démontré que les cladodes sont également riches en fibres (8 à 11% de MS) et (15.8% de MS) respectivement. Les teneurs en cellulose brute dans la cladode jeune sont approximativement semblables à celles trouvées par **Giovanna et al. (2009)** qui ont cité une teneur en cellulose brute des raquettes de cactus entre 1-2% de MS. La teneur en fibre de pulpe de fruit varie entre 0.02 à 3.15% de MS (**Boutakiout et al., 2015**), approuvant la richesse des cladodes en fibres par rapport au fruit d'*O. ficus indica*. D'après **Jarrige et al. (1995)**, la teneur de cellulose augmente de façon importante et régulière avec l'âge de la plante confirmant nos résultats expérimental.

les fibres sont considérés comme l'élément nutritif le plus important, en particulier dans la prévention de l'obésité, qui est une maladie épidémique dans le monde (**Shin et al., 2015**). Aussi ont un rôle dans la réduction du risque de cancer du côlon et en réduisant les symptômes de la constipation chronique, de la maladie diverticulaire hémorroïdes (**Atalah et Pak, 1997, Mc Pherson, 1992**).

Teneur en matière grasse

Le taux en MG dans la cladode âgée est égale 3.5% alors que la valeur de 4.35% est attribuée à la cladode jeune, ces valeurs sont proches de celles observées par d'autres auteurs. Il a été démontré que les cladodes ont de faible quantités de glucides avec une teneur de 3-7% (**Giovanna et al., 2009**). Nos résultats du taux en MG des raquettes de cactus inerme est également supérieurs aux valeurs de 141 g/Kg et 101 g/Kg MS trouvés par **Einkamerer (2008)** et **Khamisabadi et al. (2011)**, respectivement. Alors que les résultats de **El Kossori et al. (1998)** et **Özcan et al. (2011)** concernant d'autres espèces du genre *Opuntia*, le taux de lipides dans la graine était de 6.77% ± 0.51 et 5.0% ± 0.9 respectivement, ce qui est considéré supérieur par rapport à celui trouvé dans notre expérience. L'apport journalier de lipides riches en acides gras polyinsaturés contribue à améliorer notre système nutritionnel. Les acides gras essentiels sont indispensables pour le bon fonctionnement des cellules dans l'organisme;

protègent le système nerveux et contribuent également à lutter contre le mauvais cholestérol (Özcan et al., 2011).

Teneur en Pectine

La teneur en pectine dans la cladode âgée est également faible $0.48\% \pm 0.005$ par rapport à la cladode jeune qui est d'une valeur de $3.505\% \pm 0.005$. Le rendement de la pectine du cactus extrait varie de 0.07 à 2.31% du poids frais des cladodes, une valeur proche à celle démontrée par Belbahloul et al. (2014). Les teneurs totales en pectine rapportées pour *O. ficus-indica* est de 1.9%. D'autres espèces d'*Opuntia* (par exemple *O. robusta*) contiennent jusqu'à 3.3% de pectine (Villarreal et al., 1963), ces résultats sont très similaires à nos résultats.

Teneur en minéraux

Les résultats obtenus pour le dosage des éléments minéraux sont représentés dans le tableau suivant (Tab.7) :

Tableau n° 7 : Teneur en minéraux des cladodes âgées et jeunes

Variétés	Cladode jeune	Cladode âgée
Potassium (ppm)	$29.98 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$	$22.18 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$
Calcium (ppm)	$29.34 \cdot 10^{-3}$	$18.19 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$
Sodium (ppm)	$0.047 \cdot 10^{-3} \pm 0.03$	$0.043 \cdot 10^{-3} \pm 0.03$

Les résultats du tableau dessous montrent que, parmi les minéraux contenus dans la cladode, le potassium est le minéral principal, sa teneur atteint $22.18 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$ dans la cladode âgée. Cette teneur est plus élevée dans la cladode jeune $29.98 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$. La teneur moyenne de potassium dans les cladodes du figuier de Barbarie est de 16.6 mg/g (Stintzing et Carle, 2005). Cependant, la teneur en minéraux dans le cactus inerme enregistrée dans cette étude est comparable à celle mentionnée dans la littérature de Shedbalkar et al. (2010). Ces mêmes auteurs expliquent que cette richesse en éléments minéraux des raquettes de cactus est due à leur teneur élevée en calcium (Ca^{++}). Dans notre étude, nous observons que la teneur en calcium est plus élevée dans la cladode jeune de valeur $29.34 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$ que celle dans la cladode âgée qui est de $18.19 \cdot 10^{-3} \pm 0.005$. Il a été rapporté que la teneur moyenne en calcium pour les cladodes du figuier de Barbarie est de 93 mg/100 ml (Stintzing et Carle, 2005). Ainsi de 5.64 à 17.95 mg/100 g ont été démontrés par Feugang et al. (2006) ; Sawaya et al. (1982) ; Medina et al. (2007) ; Trachtenberg et al. (1982) et Contreras et al. (2011) respectivement. Les jeunes cladodes sont riches en calcium, magnésium, potassium et cuivre mais ont une faible teneur en phosphore (Hadj Sadok et al., 2008). Des Faibles teneurs

ont été enregistrées pour le sodium ($0.043 \cdot 10^{-3}$ ppm \pm 0.03) chez la cladode âgée et $0.047 \cdot 10^{-3}$ ppm \pm 0.03 chez la cladode jeune. Il a été rapporté que 0.3 à 0.4 mg/100g de sodium dans l'*O. ficus indica* par **Feugang et al. (2006)** ; **Sawaya et al. (1982)** ; **Medina et al. (2007)** ; **Trachtenberg et al. (1982)** et **Contreras et al. (2011)**.

Le potassium, un minéral qui favorise l'équilibre hydrique et la transmission nerveuse dans le corps (**Saenz et al., 1997**). Il a été noté que le calcium joue un rôle crucial dans la rétention d'eau des tissus succulents (**Stintzing et Carle, 2005**).

Teneur en protéines

La teneur en protéine brute est faible chez les deux variétés (**Tab.5**). Pour la cladode jeune 0.50 % \pm 0.04 et la cladode âgée de 0.18% \pm 0.02. Il a été rapporté que, pour les cladodes du figuier de Barbarie, la teneur en protéines se situe entre 0.1 et 1 g/100 g (**Stintzing et Carle, 2005**). D'autres résultats sont similaires à nos résultats trouvés qui se situe entre 0.5 et 1%, dont les teneurs en matières azotées totales sont faibles dans les raquettes de cactus (**Giovanna et al. (2009)** ; **Ben Salem et al. (2002)** ; **Tegegne et al. (2007)**; **Abidi et al. (2009b)**; **Cordova et al. (2009)** et **Nefzaoui et al. (1995)**). Chez *O. ficus indica f. amyloceae* et *O. ficus indica f. inermis* de Tunisie, **Ayadi et al. (2009)** ont trouvées des valeurs qui varient entre 8.74 et 8.88 g/100 g de MS ; Ceci est bien constaté dans la teneur en PB des échantillons d'*Opuntia ficus indica* examinés dans cette étude qui n'a atteint que 7.78% de MS et cette valeur est en accord avec celles rapportées par d'autres auteurs (**Gebremariam et al., 2006**; **Einkamerer, 2008** ; **Abidi et al., 2009a** ; **Andrade et al., 2011**) qui sont plus élevés par rapport à nos résultats. Selon **Mciteka (2008)** la principale critique contre l'utilisation des raquettes de cactus dans l'alimentation animale est sa teneur trop faible en protéine brute pour l'entretien des ruminants, suggérant que les régimes alimentaires contenant des raquettes d'*Opuntia* doivent être complétés par une source azotée.

Sucres totaux

Les résultats montrent que la teneur en sucre totaux chez les cladodes âgées est de 0.085% et est faible par rapport aux cladodes jeunes 0.49% \pm 0.005. **Munoz et al. (1995)** ont trouvés que les cladodes du figuier de Barbarie peuvent atteindre 0.32 g /100 g qui est proche à nos résultats. Les études effectuées par **Hadj Sadok et al. (2008)** ont montré un taux élevé en sucres totaux qui varie de 1.66 à 8.79% de MS, ce taux est très élevé par rapport à nos résultats. Les jeunes cladodes inermes d'*Opuntia ficus indica* sont également riches en sucres totaux (**Hadj Sadok et al., 2008**).

Sucre réducteur

La teneur en sucres réducteurs qui est de 0.057% pour la cladode âgée, faible teneur par rapport à la cladode jeune de 0.043 à 0.13%. Cette teneur est de 0.71g/100 g de MS du jus et 0.86 g/100 g de mucilages (**Hadj Sadoket *et al.*, 2014**), reste assez proche à celle observée chez les cladodes par d'autres auteurs, avec 0.64 g à plus de 1g/100g de matière sèche (**Hadj Sadoket *et al.*, 2008 ; Stintzing *et al.*, 2005**). Pour les teneurs dans le jus de fruit d'*O. ficus indica* variait de 5 à 14% chez autres espèces (**Pimienta, 1994**).

Résultats des analyses phytochimiques

Rendement d'extraction

Les extraits méthanoliques des cladodes d'*O. ficus indica* ont été préparés à partir de la poudre des cladodes âgées et des cladodes jeunes. La figure ci-dessous (**Fig.14**) présente les valeurs obtenues pour le rendement des extraits méthanoliques des cladodes étudiées.

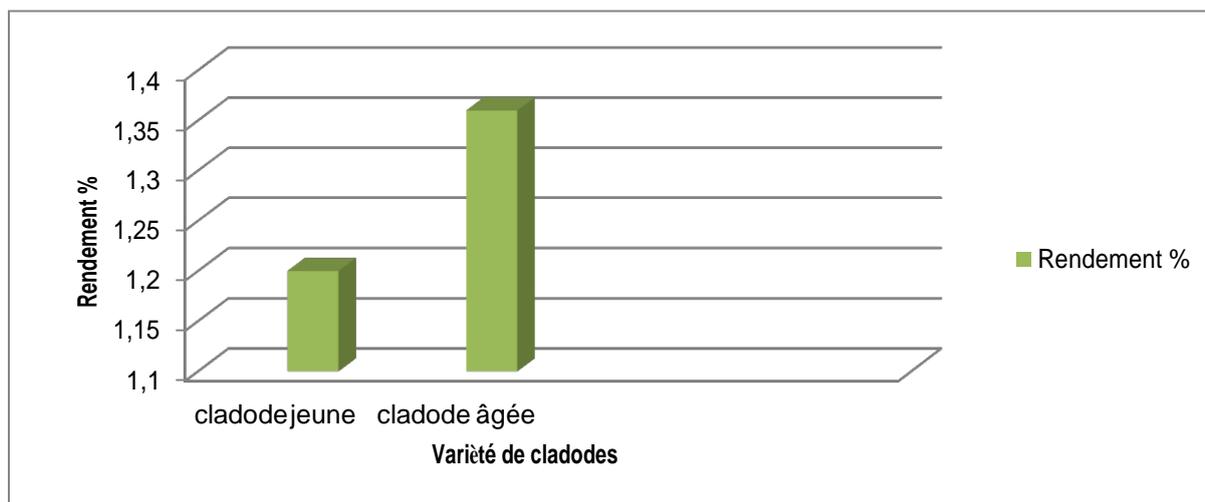


Figure n° 14 : Histogramme du rendement d'extrait méthanolique des cladodes âgées et jeunes

Le rendement d'extrait méthanolique est de $1.36\% \pm 0.02$ pour la cladode âgée, ce rendement est élevé par rapport à la cladode jeune $1.2\% \pm 1$. Ces résultats sont inférieurs à ceux affirmés par **Bari *et al.* (2012)** qui ont trouvé $4.60\% \pm 0.23$.

Cette différence peut être due à la qualité des cladodes, le volume du solvant ou le matériel utilisé. Néanmoins, il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie, car le rendement n'est que relatif et semble être lié aux propriétés génétiques ainsi qu'à l'origine géographique, aux conditions et à la durée de stockage, de la récolte et aussi aux méthodes d'extraction appliquées (**Halmi, 2015**).

Dosage des composés phénoliques

Les tests phytochimiques ont été réalisés sur les extraits des raquettes âgées et des raquettes jeunes.

Les résultats obtenus pour les polyphénols totaux contenus dans les extraits méthanoliques étudiés sont illustrés dans la figure ci-dessous (**Fig.15**) :

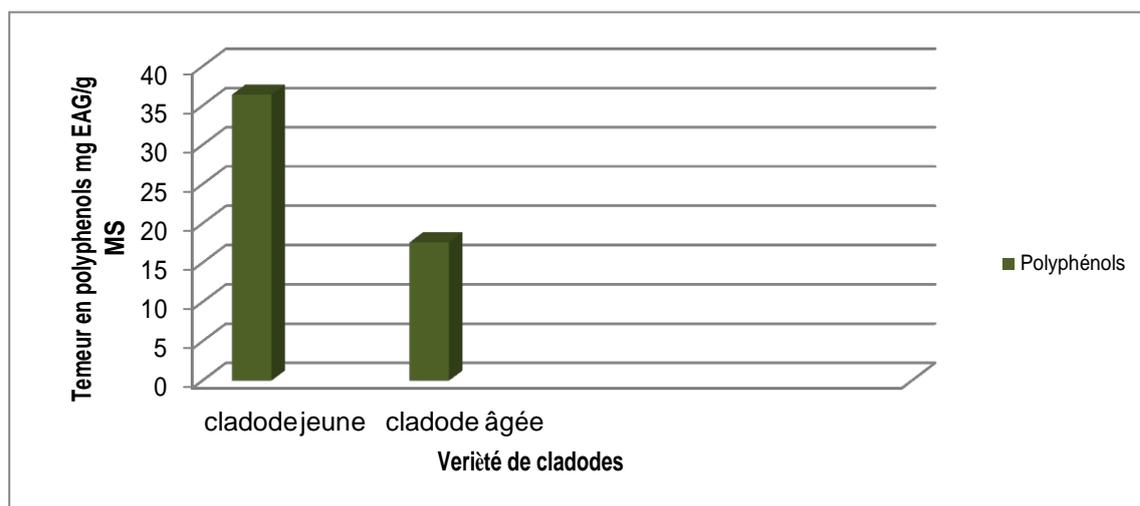


Figure n° 15 : Teneur en polyphénols (mg EAG/g MS)

Teneur en polyphenols

La teneur des composés phénoliques est constatée dans l'extrait méthanolique de la matière sèche (**Fig.29**), chez les cladodes âgées est égale 17.6 mg EAG/g MS, cette valeur est inférieure à celle des cladodes jeunes 36.4 mg EAG/g MS. **Dhaouadi et al. (2013)** ont trouvé 35.2 ± 0.64 mg EAG/g par l'extrait méthanolique de la matière sèche, cette valeur est supérieure à nos résultats pour la cladode âgée par contre elle est proche à ceux des cladodes jeunes. Dans l'étude réalisée par **Jaramillo et al. (2003)** la raquette a renfermé la plus grande proportion en polyphénols (1.58 mg/g de MS). Cette teneur était encore plus élevée dans l'étude de **Bensadón et al. (2003)** (2.69 et 3.71 mg/g). Ainsi que la pulpe de la figue de barbarie (218.8 ± 3 µg EGA / mg) (**Fernandez et al., 2010**). Le jus des cladodes est plus riche en polyphénols comparant au fruit de la même plante et aux autres jus de fruits. Il peut être comparé au jus de raisin qui est connu par sa richesse en polyphénols. Ce phénomène peut être dû, à plusieurs facteurs (la précipitation, la lumière, le type de sol, la topographie, la génétique et le niveau de maturité) (**Bouzoubaâ et al., 2014**).

Plusieurs études ont montré que les composés phénoliques sont dotés d'un pouvoir antibactérien élevé **Brantnerer (1994)**, **Basli et al. (2012)**, **Parcker et luz (2007)** et **Askun et al. (2009)**. Les polyphénols ont une multitude d'activités biologiques dépendante de leur

structure chimique. Leurs effets bénéfiques sont attribués à leur pouvoir antioxydant et à leur capacité de capter les radicaux libres. Ces substances présentent des propriétés anticancéreuses, antimutagènes et antibactériennes non négligeables (**Hatano et al., 2005**).

Teneur en Flavonoïdes

Les résultats obtenus pour les Flavonoïdes contenus dans les extraits méthanoliques étudiés sont illustrés dans la figure ci-dessous (**Fig.16**) :

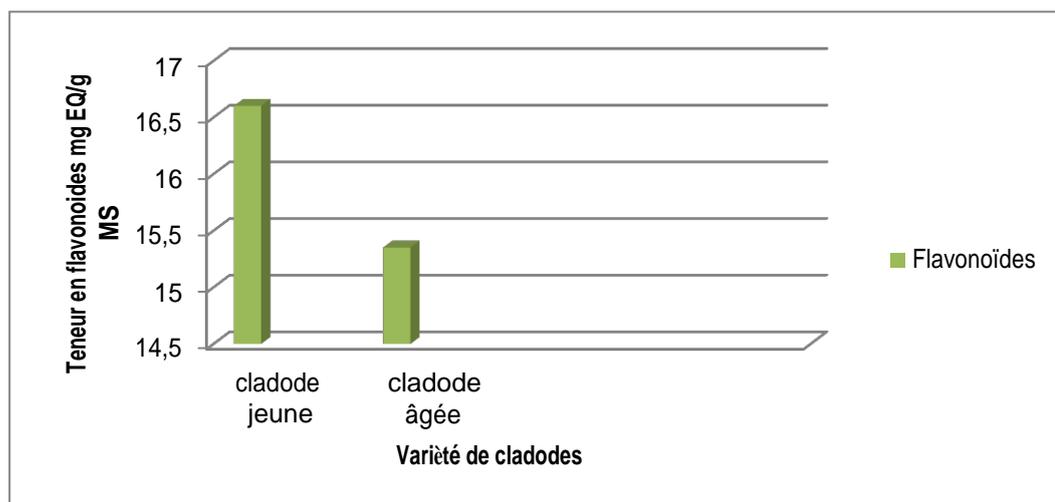


Figure n° 16 : Teneur en flavonoïdes (mg EQ/g MS)

La teneur en flavonoïdes des extraits des raquettes âgées et des raquettes jeunes est illustrée dans la figure précédente. La teneur en flavonoïdes est de 15.35 mg EQ/g MS pour la cladode âgée, cette valeur est proche à celle de à cladode jeune 16.6 mg EQ/g MS. Il est rapporté par **Chougui et al. (2013)** que la teneur en flavonoïdes des différents extraits d'OFI est proche à nos résultats (18.7g/100 mg EQ/g MS).

Les flavonoïdes sont considérés comme des micronutriments importants puisqu'ils peuvent jouer des rôles antioxydants ou posséder des propriétés biologiques diverses (**Milane, 2004**). La principale propriété initialement reconnue aux flavonoïdes est d'être "veinoactifs", c'est-à-dire capables de diminuer la perméabilité des capillaires sanguins et de renforcer leur résistance. Ils possèdent une activité anti-allergique, anti-inflammatoire et anti-tumorale (**Bruneton, 1999**).

Flavonoïdes sont des métabolites secondaires connus comme régulateurs physiologiques internes chez les plantes. En outre, des expériences *in vivo* et *in vitro* démontré des activités bénéfiques pour la santé des flavonoïdes en tant qu'agents protecteurs contre le cancer, les

maladies cardiovasculaires, inflammatoires et troubles allergiques, fragilité capillaire et agrégation plaquettaire humaine (Benavente-Garcia et al., 1997).

Détermination de l'activité antioxydante par (DPPH)

L'activité antioxydante a été mesurée en utilisant la méthode de piégeage des radicaux libres par DPPH à partir d'extrait méthanolique d'*O. ficus indica*, les résultats du test sont présentés dans le tableau suivant (Tab.8) :

Tableau n° 8 : Activité antioxydante d'*Opuntia ficus indica*

% d'inhibition Variété	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Jeune	1.23	2.05	3.64	5.57	5.69
Agée	2.62	3.15	4.05	5.37	5.49

C : Concentration d'extrait

Nos résultats de détermination du pouvoir antioxydant d'extrait méthanolique d'*O. ficus indica* sont présentés dans le tableau ci-dessus. Le temps de réaction de l'extrait méthanolique de cladode était lent et prenait beaucoup plus de temps. La détermination du temps de la fin de la réaction est l'étape la plus importante dans cette analyse. Le semi-plateau qui apparaît au fil du temps nous informe que la réaction est terminée (Brand-Williams et al., 1995). Les antioxydants peuvent désactiver le DPPH• principalement par un transfert d'électrons. La difficulté majeure de ces réactions est que la réaction prend beaucoup de temps pour se terminer et cela peut être dû à l'accessibilité stérique. En raison de l'inaccessibilité stérique, de nombreux antioxydants qui réagissent rapidement avec les radicaux peroxydes peuvent réagir lentement ou peuvent même être inertes pour le DPPH•. Ainsi, l'activité antioxydante ne peut pas être assez évaluée par la capacité des antioxydants à réagir avec le DPPH• (Prior et al., 2005). La détermination de la IC₅₀ qui est largement utilisée pour exprimer le résultat du test DPPH ne peut pas être réalisée avec l'extrait de cladode, car la réaction antioxydante est très lente et n'atteint pas 50% d'inhibition nécessaire pour le piégeage des radicaux DPPH •. Généralement, la détection du pouvoir antioxydant de la plante est en utilisant au moins deux méthodes afin de comparer les résultats obtenus et savoir laquelle des méthodes est la meilleur pour exprimer le pourcentage d'inhibition.

Résultats du screening phytochimique

Les résultats du screening phytochimique effectué sur l'extrait méthanolique de la raquette d'*Opuntia ficus indica* sont regroupés dans le tableau (Tab.8). On a remarqué que les tanins, les stéroïdes, et les sucre réducteurs ont été détectés dans les extraits, cependant, ils étaient dépourvus de saponines et terpénoïdes. Les résultats des tests de la caractérisation phytochimiques étaient similaires à ceux rapportés par **Dib et al. (2013)** ; **Halmi et al. (2016)** ; **Yéwêgnon et al. (2013)** et **Bari et al. (2012)** sur l'*Opuntia*.

Tableau n° 9 : Résultats du screening phytochimique

Test Variété	Tanins	Terpénoïdes	Sucres réducteurs	Stéroïde
Jeune	+	-	+	+
Âgée	+	-	+	+

- : Réaction négative

+ : Réaction positive

Les composés caractérisés dans les différents tests sont connus pour leur importance médicinale. Les composés phénoliques dérivés des plantes médicinales montrent des activités biologiques telles que : activité antioxydante (**Espinosa et al., 2015**), activité antibactérienne (**Clemencia et al., 2015**) et activité antifongique (**Salah et al., 2009**).

Résultats de l'extraction de l'huile essentielle

Au vu des résultats physicochimiques, phytochimiques et le screening phytochimique, nous avons choisi la variété de " la raquette jeune " compte tenu de sa richesse en éléments nutritifs.

Donc nous avons effectué l'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation ; cette opération a été réalisée en utilisant la méthode de **Burt (2004)**. L'extraction a été faite à partir des différents états de la cladode (fraîche, séchée, séchée et broyée en poudre) mais aucun rendement de l'huile n'a été constaté, cela peut-être, due à la période de prélèvement qui a été réalisée au mois de décembre, où le végétal est en plein repos végétatif (dormance).

Etant donné que la méthode d'hydrodistillation a été infructueuse, nous nous sommes orientés vers un autre modèle d'extraction en utilisant l'extraction méthanolique par le méthanol à (80%).

Résultats de l'activité antibactérienne

Confirmation des souches bactériennes étudiées

Coloration de Gram

L'observation microscopique des souches bactériennes montre qu'*E. coli* ATCC 25922 et *P. aeruginosa* ATCC 27853 se décolorent par l'alcool et sont teintées par la fuchsine donc elles apparaissent roses, mais *S. aureus* ATCC 25923 garde la coloration violette après décoloration par l'alcool, ce qui est présenté dans les figures suivants :

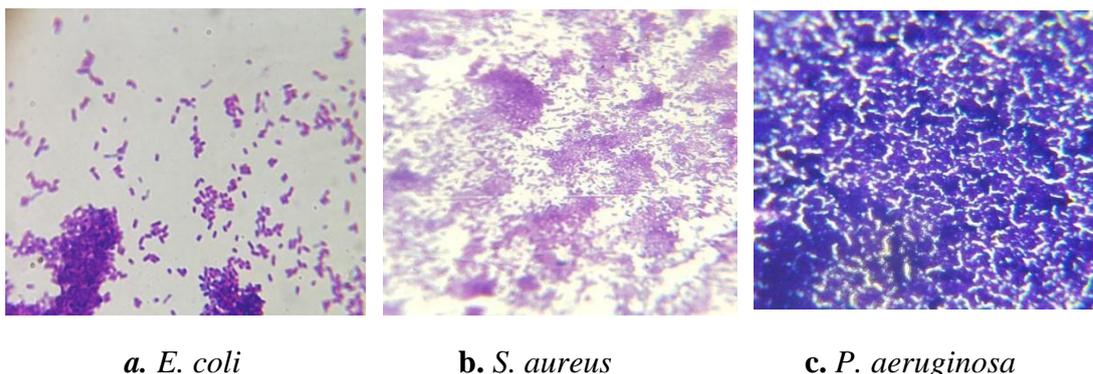


Figure n° 17 : Souches vues par microscopie photonique après coloration de Gram (100X)

Les résultats de la coloration de Gram obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n° 10: Résultats de la coloration de Gram des souches étudiées

Souche	Type de Gram
<i>E. coli</i>	Gram -
<i>P. aeruginosa</i>	Gram -
<i>S. aureus</i>	Gram +

- : Réaction négative + : Réaction positive

Résultats des tests biochimiques

Les résultats des tests biochimiques, appliqués aux souches étudiées, sont regroupés dans le tableau (tab.11) :

Tableau n° 11 : Résultats des tests biochimiques

Bactérie \ Test	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>
Test catalase	-	+	+
Test oxydase	-	+	-
Test ONPG	+	-	+

+ : Réaction positive - : Réaction négative

Les résultats de conformation microscopique et biochimiques des trois souches testées ont montrés que *E. coli* et *P. aeruginosa* sont des bacilles à Gram négatif, et que *S. aureus* sont des cocci a Gram positif, ce qui a été confirmé par **Avril et al. (1992)** et **Flandrois (1997)**. Concernant les tests biochimiques de ces derniers, on a trouvés qu'*E. coli* possèdent un catalase (-) avec un oxydase (-) et ONPG (+) comme il a été indiqué par **Trepeta et Edberg (1984)** et **Ayequem et al. (1998)**. *S. aureus* ont un catalase et ONPG (+) avec un oxydase (-), ces résultats sont identiques à ceux de **Konuku et al. (2012)** et **Amit et al. (2016)**. Pour *P. aeruginosa*, les tests catalase et oxydase ont apparus positif contrairement au test ONPG (-) **Gholam et al. (2016)** et **Debanabda et al. (2008)**.

Résultats de l'antibiogramme

Les résultats d'Antibiogramme appliqués sur les souches étudiées, sont regroupés dans les tableaux **12, 13, 14** :

Tableau n° 12 : Résultats d'Antibiogramme pour *E. coli*

Bactérie \ ATB	Diamètre de la zone d'inhibition en mm					
	TE 30	IPM 10	MTZ 5	NA30	CN 500	CAZ 30
<i>E. coli</i>	0	38	0	17	27	0

TE : Tetracycline ; **IPM** : Imipenème ; **MTZ** : Métronidazole ; **NA** : Acide Nalidixique ; **CN** : Céphalexine ; **CAZ** : Ceftazidime

Tableau n° 13 : Résultats d'Antibiogramme pour *S. aureus*

Bactérie \ ATB	Diamètre de la zone d'inhibition en mm					
	GEN 50	TE 30	CX 30	E 15	MTZ 5	NA 30
<i>S. aureus</i>	22	21	20	26	0	6

GEN : Gentamicine ; **CX** : Céfuroxime ; **E** : Erythromycine

Tableau n° 14 : Résultats d'Antibiogramme pour *P. aeruginosa*

Bactérie \ ATB	Diamètre de la zone d'inhibition en mm				
	CN 500	TIC 75	CAZ 30	TE 30	NA 30
<i>P. aeruginosa</i>	22	7	0	0	0

TIC : Ticarcilline

Les résultats obtenus à partir d'Antibiogramme des antibiotiques testés sur les trois souches montrent que l'*E. coli* est sensible à l'acide Nalidixique et Céphalexine et Imipénème avec un DZI entre 17 et 38mm confirmée par **CA-SFM (2015)** et qu'elle résiste à la Métronidazole, la Tétracycline et Ceftazidime, c'est le même résultat avec **Karami et al. (2005)** que 37% d'*E. coli* commensales phénotypiquement sont résistantes à la Tétracycline et sensibles à l'acide Nalidixique.

Pour *S. aureus*, elle est sensible à la Tétracycline, Gentamicine et Erythromycine avec un DZI entre 20 à 26 mm, et résiste à l'acide Nalidixique et Métronidazole confirmé par **CA-SFM (2015)** et **Koinam et al. (2017)**.

Concernant *P. aeruginosa* qui a présenté une résistance des 3 ATB : Tétracycline, acide Nalidixique et à la Ceftazidime, et sensible à la Céphalexine avec un DZI de 22 mm résultat identique à ceux obtenu par **CA-SFM (2015)**. Le taux de résistance de *P. aeruginosa* aux différentes classes d'ATB testés dépend de l'origine et de type du prélèvement (**Flamm et al., 2004**).

Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne

Les observations effectuées sur les effets d'extrait méthanolique des raquettes d'*O. ficus indica* sur la croissance des souches bactériennes testées *E. coli*, *P. aeruginosa* et *S. aureus* par la méthode de diffusion des disques, sont représentées dans le tableau 15 et les figures 21, 22 et 23 :

Tableau n° 15 : Diamètres de la zone d'inhibition

Le dosage des extraits brut	Diamètres en (mm)		
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
20 μ l	8.66 \pm 0.02	11.66 \pm 0.02	-
30 μ l	11.33 \pm 0.01	14.66 \pm 0.02	-
50 μ l	14.66 \pm 0.02	16.33 \pm 0.01	10.33 \pm 0.01
Méthanol 50 μ l	6	8	6

✓ *Escherichia coli* :

a. T

b. Dose 20 μ lc. Dose 30 μ ld. Dose 50 μ lFigure n° 18 : Diamètre de la zone d'inhibition d'extrait d'*O. ficus indica* sur *E. coli*

✓ *Staphylococcus aureus*



a. T⁻



c. Dose 20 µl



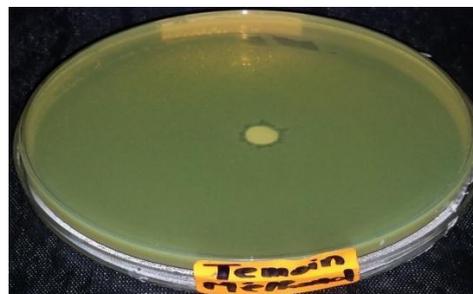
d. Dose 30 µl



e. Dose 50 µl

Figure n° 19 : Diamètres de la zone d'inhibition de l'extrait d'*O. ficus indica* sur *S. aureus*

✓ *Pseudomonas aeruginosa*



b. T⁻



c. Dose 20 µl



d. Dose 30 µl



e. Dose 50 µl

Figure n° 20 : Diamètres de la zone d'inhibition de l'extrait d'*O. ficus indica* sur *P. aeruginosa*

L'observation effectuée sur l'effet d'extrait méthanolique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la croissance bactériennes des souches testées : *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 25923, et *P. aeruginosa* ATCC 27853 par la méthode de diffusion des disques sur un milieu gélosé a révélé les résultats obtenus dans le tableau et les figures précédents.

L'extrait méthanolique d'*O. ficus indica* dévoile une activité antibactérienne importante vis-à-vis *S. aureus* et *E. coli*, par contre *P. aeruginosa* qui semble être peu résistante, ces résultats sont identiques à ceux présentés par **Lozoya Castillo et al. (2018)**, **Shafiei et al. (2013)** et **Silva et al. (2017)** qui ont trouvés un DZI de 10-20 mm pour *S. aureus*, 10-15 mm pour *E. coli* et 13 mm pour *P. aeruginosa* respectivement.

D'après ces résultats nous constatons l'efficacité d'extrait méthanolique d'*O. ficus indica* surtout sur *S. aureus* avec un DZI de 16.33 ± 0.01 mm ce qui a été confirmé par **Lozoya Castillo et al. (2018)**, **Shafiei et al. (2013)**, **Dhaouadi et al. (2013)** et **Silva et al. (2017)**, qui ont révélé l'existence d'une activité contre l'*E. coli* ressemblante à 14.66 ± 0.02 mm, et une activité plus faible pour *P. aeruginosa* avec un halo de 10.33 ± 0.01 mm de diamètre. Ces résultats sont proches à ceux de **Durgesh et al. (2016)** et **Dhaouadi et al. (2013)**, qui ont trouvé que l'extrait méthanolique des raquettes d'*Opuntia ficus-indica* possède une activité inhibitrice plus importante contre *Staphylococcus aureus* par rapport aux deux souches de (Gram -). L'extrait d'*O. ficus indica* est considéré comme un agent antibactérien suite à la quantité minimale en μ l nécessaire pour inhiber la croissance bactérienne (**Silva et al., 2016**), et que la charge du disque joue un rôle important dans l'efficacité de l'activité antibactérienne : l'inhibition de la croissance est plus forte lorsque le disque est plus chargé ce qui a été démontré par **Rasooli et al.(2008)**.

L'inhibition de la croissance bactérienne peut être liée au phénotype de la plante car il est connu que les caractéristiques de l'espèce et leur constituants chimiques varient en fonction de son origine (**Silva et al., 2016**). L'action antibactérienne des extraits s'explique par leur richesse en composés phénoliques, plusieurs travaux ont montré que les composés phénoliques sont dotés d'un pouvoir antibactérien élevé (**Brantnerer, 1994 ; Basli et al., 2012 ;Parcker et luz, 2007 ;Askun et al., 2009**). En plus, l'activité antibactérienne peut être attribuée au phénomène de synergie entre tous les constituants d'extrait d'*Opuntia* d'après **Burt (2004)** et **Thompson et al. (2003)**.

L'étude menée par **Shafiei et al. (2013)** sur l'extrait d'*Opuntia stricta* et les études de **Koubaa et al. (2015)** sur les graines de fruit d'*Opuntia stricta* sur 11 souches pathogènes ont montré que ces extraits sont efficaces en présentant une activité antibactérienne et antifongique,

et qu'ils sont surtout efficace contre les bactéries à Gram+ que les Gram-. D'après **Ikigai et al. (1993)** la sensibilité de Gram+ revient à la répulsion entre les extraits et les surfaces des bactéries de Gram- qui contiennent le LPS.

En plus que l'activité antibactérienne d'extrait méthanolique d'*O. ficus indica* **Salah-Fatnassi et al. (2009)** ont démontré que 2 espèces d'*Opuntia* ont une forte activité contre les champignons.

Cependant, les résultats de **Bou-idra et al. (2015)** ; **Soares (2012)** et **Silva et al. (2016)** montrent l'absence de l'activité antibactérienne dans les extraits de l'*Opuntia ficus indica*.

D'autres études menées sur les différentes espèces du genre *Opuntia* comme celle de **Souza et al. (2014)**, qui ont démontré que l'extrait d'*O. ficus indica* a présenté une activité inhibitrice moyenne, par ailleurs l'extrait de cette plante était incapable d'inhiber la croissance bactérienne.

D'après les résultats obtenus de notre expérience et les autres études consultées qui ont été réalisées sur le genre *Opuntia*, on a constaté l'efficacité de son extrait sur les bactéries et même les champignons, confirmant l'effet antimicrobien d'*Opuntia ficus indica* mentionné dans la problématique sur laquelle nous avons basées pour initier notre étude.

Conclusion

L'*Opuntia ficus indica* appelé communément figuier de barbarie possède de multiples propriétés médicinales qui ont récemment été approuvées. Devant ce constat thérapeutique, nous avons jugé intéressant d'entamer cette étude par une recherche bibliographique où 70 articles et ouvrages scientifiques sont consultés où il en ressort de cette démarche que les différentes parties de l'*Opuntia ficus indica* sont utilisées d'abord traditionnellement, les expérimentations sont venues confirmer ce potentiel thérapeutique. De notre étude 3 dominants effets sont apparus : 20 % des recherches portent sur un effet hypolépémiant ; 18.5% sur un effet hypoglycémiant et 17.1% pour un effet antioxydant, le restant revient aux effets : diurétique, neuroprotecteurs, anticancéreux, anti-inflammatoires, antimicrobiens, antiulcéreux et antiallergiques. De ce fait nous avons voulu confirmer ce potentiel par nos propres expérimentations menées dans les différents laboratoires de la faculté SNV de Tiaret.

Dans ce travail, nous avons d'abord effectué une étude comparative entre les cladodes jeunes inermes et les cladodes jeunes âgées par des analyses physicochimiques classiques. Ensuite des analyses phytochimiques sur l'extrait méthanolique d'*Opuntia ficus indica* ont été réalisées par des méthodes de spectrophotométrie. L'évaluation du contenu en phénols totaux, a été accomplie en adoptant la méthode de Folin Ciocalteu ; quant au dosage des flavonoïdes la méthode d' $AlCl_3$ est adoptée; avec le screening phytochimique pour évaluer l'activité antibactérienne sur *E. coli*, *S. aureus* et *P. aeruginosa* par la méthode de diffusion des disques sur milieu gélosé.

Nos résultats ont montré que l'OFI contient un grand pourcentage en eau environ 93% pour les cladodes jeunes et 89% pour les cladodes âgées qui lui donne un intérêt fourrager. La teneur en fibres pour les deux variantes jeune et âgée varie entre 4% et 10% quant à la teneur en pectines est de 3.5% et 0.48% pour les cladodes jeunes et âgées respectivement, qui lui donne une valeur nutritionnelle intéressante.

La grande majorité des composé d'*Opuntia* sont solubles dans l'eau, c'est-à-dire pour obtenir des fractions riches en polyphénols, il est préférable d'utiliser des mélanges de solvant organique approprié avec de l'eau, comme le méthanol, dont la macération avec ce dernier à 80% et à température ambiante pendant 48 h, est la technique la plus appropriée pour extraire les composés phénoliques qui combine à la fois un haut rendement, une teneur élevée en polyphénols, flavonoïdes et une activité antioxydante importante. Quant au screening phytochimique réalisé, qui a révélé la richesse de notre plante en métabolites

secondaires, où nous avons constaté la présence des tanins, stérols et triterpènes. Ces composants rendent le pouvoir antibactérien remarquable surtout sur les Gram+ (*S. aureus*) par rapport au Gram - (*E. coli* et *P. aeruginosa*).

D'une manière générale, une grande partie de nos résultats correspondent aux résultats des recherches réalisées sur l'*Opuntia* dans différents pays du monde. Mais il faut le dire aussi qu'il existe aussi des variabilités de résultats qui peuvent être attribuées à la région, à l'effet saison, au stade de végétation, aux conditions agro-édaphiques de la plante, à l'âge, à la variabilité génétique ...

Ces données montrent que "*Opuntia ficus-indica*" pourrait être une source potentielle de biomolécules intéressantes à la médecine, à la nutrition et à la biotechnologie.

*Références
bibliographiques*

1. **Abdel-Hameed, E.S, Nagaty, M.A, Salman, M.S, Bazaid, S.A. (2014).** Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food Chemistry*. 160: 31–38.
2. **Abidi, S., Ben Salem, H., Martín-García, A.I., Molina-Alcaide, E. (2009 a).** Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica f. inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Anim. Feed Sci. Technol.* 149, 333–340.
3. **Abidi, S., Ben Salem, H., Vasta, V., Priolo, A. (2009 b).** Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica f. inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.* 87: 9–16.
4. **AFNOR. (1982).** (NF V 05-108, 1970). Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. 1^{ère} Ed. Paris, France, 325 p.
5. **Amit, K., Parimal, D., Chndradipa, G. (2016).** Biochemical and Molecular Analysis of *Staphylococcus aureus* Clinical Isolates from Hospitalizes Patients. *Canadian Journal of Infection Diseases and Medical Microbiolgy*. 1 (14): 1-7.
6. **Andrade-Montemayor, H.M., Cordova-Torres, A.V., García-Gasca, T., Kawas, J.R. (2011).** Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata spp.*) and Nopal (*Opuntia spp.*). *Small Rumin. Res.* 98 : 83–92.
7. **Andrewes, J. (2001).** The development of the BSAC standardized method of disc diffusion. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 48: 29-42.
8. **Aquino, A. (1998).** Tesi per il conseguimento del Dottorato di Ricerca in Farmacognosia (IX Ciclo). *Opuntia ficus-indica* Mill. *Ricerche Farmacognostiche*. Facolta di Farmacia. Universita di Messina. Italie.
9. **AOAC. (1995).** Official method of analysis. 16^{ème} Ed .Gaithersburg, MD.
10. **AOAC. (2000).** Official method of analysis. 17^{ème} Ed .Maryland, U.S.A, 2200p.
11. **AOAC. (2002).** Official method of analysis. 17^{ème} Ed .Gaithersburg, U.S.A.
12. **Arba, M. (2009).** Le cactus *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. Agriculture durable en région Méditerranéenne AGDUMED. Rabat, Maroc. 14-16 mai.

13. **Askun, T., Tumen, G., Satil, F., Ates, M. (2009).** *In vitro* activity of methanol extracts of plants used as spices against *Mycobacterium tuberculosis* and other bacteria. *Food.Chem.* 16: 289-294.
14. **Atalah, E., Pak, N. (1997).** Aumente el consumo de verduras, frutas y legumbres. In: Guías de alimentación para la población chilena. Castillo, C; Uauy, R. and Atalah, E. .Ed. Santiago,Chile, 164 p.
15. **Auajjar, N., Attarassi, B., Elhaloui, N., Badoc, A. (2006).** Multirésistance aux antibiotiques de *Pseudomonas Aeruginosa*, *P. Fluorescens* et *Staphylococcus Aureus* et survie sur divers tissus hospitaliers. *Bull. Soc. Pharm.* 145: 61-76.
16. **Audigie, C., Zonszain, F. (1991).** Biochimie structurale. Ed. Doin, France, 266p.
17. **Avril, J. L, Denis. F, Monteil. M. (1992).** Bactériologie Clinique. 2^{ème} Ed. Doin, Paris, France, pp.155-158.
18. **Avril, J.L., Dabernat, H., Denis et Monteil, H. (2000).** Bactériologie cliniques, 3^{ème} Ed. Ellipses, Paris, France, pp.170-181.
19. **Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M. et Attiaet, 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: 40-47.
20. **Ayequem, A., Aloue, Jet Montagnie, R. (1998).** Traité de microbiologie clinique .Ed. Piccinni Nuova, Italie, pp. 390-576.
21. **Bari, M.N., Zubair, M., Rizwan, K., Rasool, N., Bukhari, I.H., Akram, S., Bokhari, T.H., Shahid, M., Hameed, M., Viqar U.A. (2012).** Biological Activities of *Opuntia Monacantha* Cladodes. *J. Chem. Soc. Pak.* 34 (4): 990-995.
22. **Bartosz, G. (2003).** Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology.* 9: 5-21
23. **Basli, A., Chibane, M., Madani, K., Oukil, N. (2012).** Activité antibactérienne des polyphénols extraits d'une plante médicinale de la flore d'Algérie: *Origanum glandulosum* Desf. *Phytothérapie.* 10 (1): 2-9.
24. **Belbahloul, M., Zouhri, A., Anouar, A. (2014).** Evaluation of the effect of age of cladode and solvent on yield of mucilage and pectin from cactus pads. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* 5 (5): 1446-1450.
25. **Beloued, A. (2009).** Plantes médicinales d'Algérie. Ed. OPU, Alger, pp.37.
26. **Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F. R., Ortuno, A., Del Rio, J. A. (1997).** Uses and properties of Citrus flavonoids. *J. Agric. Food Chem.* 45 : 4505–4515.

27. **Benayada, Zakia, Cristina, Martinez-Villaluengaa, Juana, Friasa, Carmen Gomez-Cordovesa, Es-Safib, Nour Eddine. (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.
28. **Benetaud, E. (2011).** Les techniques d'extraction. Comité français du parfum, France, pp. 2-7.
29. **Benhammou, N., Atik Bekkara, F., Kadifkova Panovska, T. (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of *Pistacia lentiscus* and *pistacia atlantica* extracts. *Afr. J. pharmacol.* 2 (2): 22-28.
30. **Bensadón, S., Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S.G., Goñi, I. (2010).** By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Food Hum. Nutr.* 65: 210–216.
31. **Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L. (2004).** Spineless cactus (*Opuntia ficus indica f. inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *The Official Journal of the International Goat Association*. 51 (1): 65–73.
32. **Blois, MS. (1958).** Antioxidant determinations by the use of stable free radical. *Nature*. 181: 1199-1200.
33. **Bourabah, A. (2005).** Les mammites d'origine bactériennes et mycosique chez la chèvre locale à Tiaret (traitement alternatif par le miel et l'huile de *thymus fontanes* II). Thèse de doctorat en Microbiologie médicale. Université de Mascara. Algérie, 122P.
34. **Boutakiout, A. (2015).** Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*). Thèse de doctorat en Agronomie. Université d'Angers. France, 212P.
35. **Boutakiout, D., Elothmani, M., Mahrouz, H., Hanine (2015).** Phytochemical constituents and *in vitro* radical scavenging activity of different cladodes juice of *Cactacea* cultivars from different areas in Morocco. *International journal of technology enhancements and emerging engineering research*. 3 (1): 2347-4289.
36. **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.

37. **Brand-Williams, W., Cuvelier, E., Berset, C. (1994).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28: 25-30.
38. **Brantner, A. et Grein, E. (1994).** Antibacterial activity of plant extracts used externally in traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology.* 44 (1): 35-40.
39. **Brett, D.J, Stobbs, T.H (1974).** Milk yield and composition of milk and blood as indicators of energy intake by Jersey cows. *Australian Journal.Agriculture.Research.* 25: 657-666.
40. **Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3^{ème} Ed. Tec & Doc, Paris, France, pp. 418-419.
41. **Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibactériel properties and potential applications in foods- a review. *International Jornal of Foods Microbiology.* 94: 223-253.
42. **Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., Kohen, R., Livrea M. A. (2002).** Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6895–6901.
43. **Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., Goycoolea, F.M. (1997).** Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 2: 152– 159.
44. **Celikel, G., Demirsoy, L., Demirsoy, H. (2008).** The strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) selection in Turkey. *Scienta Horticulturae.* 118: 115-119.
45. **Chilliard, Y., Bocquier, F., Doreau, M. (1998).** Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition and consequences on reproduction. *Reproduction. Nutrition. Developpement.* 38 (2): 131-152.
46. **Chilliard, Y., Doreau, M., Bocquier, F., Lobley, G., (1998).** Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In : M. Journet, E. Grenet, M.H. Farce, M. Thériez,
47. **Chougui, N., Sahi, Y., Belkacemi, M. (2013).** Comparative study between the different compartments of *Opuntia ficus-indica* L. *Inside Food Symposium.* Leuven, Belgium, 9-12 Avril.
48. **Chriyaa, A. (1998).** Techniques culturales du cactus et de son utilisation dans l'alimentation des ovins en zones arides. Première journée nationale sur la culture de cactus, El Kelaâ des Sraghnas, Maroc, pp. 7-11.
49. **Clemencia, C.L., Giovanni M., Aida, R., Juana, F.L., José, A., Pérez-Álvarezc, Manuel, V.M. (2015).** Assessment of antioxidant and antibacterial potential of borojo

- fruit (*Borojoa patinoi* Cuatrecasas) from the rainforests of South America. *Industrial Crops and Products*. 63: 79-86.
50. **Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Urbiola, M.I., Hernández-Quevedo, G., Del Real, A., Rivera-Muñoz, E.M., Rodríguez-García, M.E. (2011).** Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficusindica* var. *redonda*) at different maturity stages. *J. Food Compos. Anal.* 24: 38–43.
51. **Cordova-Torres, A., Gutierrez-Berroeta, L., Kawas, J., García-Gasca, T., Aguilera-Barreiro, A., Malda, G., Andrade-Montemayor, H. (2009).** El Nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas: Efecto del tamaño o madurez de la penca en La digestibilidad in vivo y composición. Presented at the VI Congreso Latinoamericano de la Asociación de especialistas en pequeños rumiantes y camelidos sudamericanos. XXIV Reunión de la AMPCA. Querétaro, México, pp. 143–151.
52. **Cuyand, S.W., Brummer, Y. (2005).** Food carbohydrates: chemistry, physical properties and applications. Ed. CRC Press. Taylor and Francis group. USA. 432p.
53. **Da-ming, Z., Brewer, M., Garcia, F., Feugang, J.M., Wang, J., Zang, R., Liu, H., Changping, Z. (2005).** Cactus pear: a natural product in cancer chemoprevention. *Nutrition Journal*. 4: 25.
54. **Debanabda, S.N., Ningthoujam, S. (2008).** Isolation and characterization of a *Pseudomonas aeruginosa* strain DN1 Degrading p-Nitrophenol. *Research Journal of Microbiology*. 3(5): 345-351.
55. **Delarras, C. (2007).** Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire. Ed. Tec &Doc. Lavoisier, Paris, France, 476p.
56. **De Ribeiro, R.A, De Barros F, De Melo, M.M.R.F, Muniz, C, Chieia, S, Wanderley, M, Das, G, Gomes, C, Trolin, G. (1988).** Acute diuretic effects in conscious rats produced by some medicinal plants used in the state of Sao Paulo, Brasil. *Journal of Ethnopharmacology*. 24: 19-29.
57. **Dhaouadi, K., Raboudi, F., Funez-Gomez, L., Pamies, D., Estevan, C., Hamdaoui, M., Fattouch, S. (2013).** Polyphenolic Extract of Barbary-Fig (*Opuntia ficus-indica*) Syrup: RP–HPLC–ESI–MS Analysis and Determination of Antioxidant, Antimicrobial and Cancer-Cells Cytotoxic Potentials. *Food Anal. Methods*. 6: 45–53.
58. **Dib, H., Chokri, B.M., Belarbi, M. (2013).** Phytochemical study of Algerian *Opuntia ficus-indica*. *Annals of Biological Research*. 4 (2): 185-189.

59. **Didier De Saint Amand, J., Cas, G. (1967).** Dosage des éléments minéraux majeurs chez les végétaux. Méthodes appliquées au laboratoire de diagnostic foliaire de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris. 41p.
60. **Dohou, N., Yamni, K., Gmiran, Idrissi Hassani L.M. (2003).** Etude de polyphénols des feuilles d'une endémique ibéro Marocaine, *Thymelaea lychroides*. *Acta Botanica Malacitana*. 29 : 233-239.
61. **Dubeux, J.R., Ferreira dos Santos, M.V., De Andrade Lira, M., Cordeiro dos Santos, D., 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 Environment*. 67 (3): 357- 540.
62. **Dubois, M., Gilles, K.A, Hamilton, J.K, Rebers, P.A, Smith, F. (1956).** Colorometric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28: 350-356.
63. **Durgesh, D., Wasnik, P.M. (2016).** *In vitro* antibacterial activity of *Opuntia ficus-indica* L. (Prickly Pear) against multiple drug resistant (MDR) bacteria isolated from clinical samples. *World. J.Pharm. Pharmaceuti.Sci*. 5: 996-1006.
64. **Einkamerer, O.B. (2008).** Animal Performance and Utilization of *Opuntia*-based Diets by Sheep. University of the Free State. URI : <http://hdl.handle.net/11660/926> .
65. **El-Hadedy, D., Abu El-Nour, S. (2012).** Identification of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* isolated from Egyptian food by conventional and molecular methods *.Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 10 : 129-135.
66. **El Kharrassi Youssef (2015).** Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (*Opuntia spp.*) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2.
67. **El Kossori, R.L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., Méjean L. (1998).** Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Food Hum. Nutr.* 52: 263–270.
68. **El-Mostafa K., El Kharrassi Y., Badreddine A., Andreoletti P., Vamecq J., El Kebbaj M.S., Latruffe N., Lizard G., Boubker N., Cherkaoui-Malki, M. (2014).** Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*. 19: 14879-14901.
69. **Erre, P., Chessa, I., Nieddu, G., Jones, P.G. (2009).** Diversity and spatial distribution of *Opuntia spp.* in the Mediterranean Basin. *J. Arid Environ.* 73: 1058-1066.

70. **Espinosa, R.R., Inchingolo, R, Alencar, SM, Rodriguez-Estrada, MT, Castro, IA. (2015).** Antioxidant activity of phenolic compounds added to a functional emulsion containing omega-3 fatty acids and plant sterol esters. *Food Chemistry*. 182: 95-104.
71. **Eun-Hee, Park, Ja-Hoon, Kahng, Sang Hyun, Lee, Kuk-Hyun, Shin. (2001).** An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia*. 72: 288-290.
72. **FAO. (1971).** Techniques de développement pastoral, vol.3, plantation d'arbustes fourragers, projet FAO Tun. 71/540, Ariana #Tunisie (1971), 17 p.
73. **Felker, P., del C. Rodriguez, S., Casoliba, R.M., Filippini, R., Medina, D., Zapata, R. (2005).** Comparison of *Opuntia ficus indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *J. Arid Environ*. 60 : 405-422.
74. **Ferhoun, F. (2010).** Analyses physico chimiques de la propolis local selon les étages bioclimatique et les deux races d'abeille locales (*Apis mellifica intermissa* et *apis mellifica sahariensis*). Thèse de magistère en Technologie Alimentaire. Université M'hamed Bougara. Boumérdes .122p.
75. **Fernandez, M.L., Trejo, A., McNamara, D.J. (1990).** Pectin isolated from Prickly pear (*Opuntia sp*) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr*. 120 (11): 1283-1290.
76. **Fernandez-Lopez, J.A., Almela, L., Obon, J.M., Castellar, R. (2010).** Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods Hum. Nutr*. 65 : 253–259.
77. **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 hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *Journal.Nutrition*. 122: 2330– 2340.
78. **Flamm, R.K., Weaver , M.K., Thornsberry, C., Jones, M.E., Karlowsky , J.A., et Sahm, D.F. (2004).** Factors associated with relative rates of antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa* isolate tested in clinical laboratoire in the United States from 1999 to 2002. *Antimicrob Agent Chemother*. 48 : 2431-2436.
79. **Flandrois, J.L. (1997).** Bacteriologie Médicale. Ed. Presses Universitaires de Lyon, France, pp 107-180.
80. **Flores Abuxapqui, JJ., Suárez Hoil, GJ., Heredia Navarrete, MR., Puc Franco, MA., Vivas Rosel, ML. (1999).** Four biochemical test for identification of probable enteroinvasive *Escherichia coli* strains. *Rev Latinoam Microbiol*. (4) : 259-61.
81. **Fouque A. (1972).** Espèces fruitières d'Amérique tropicale. *Fruits*. 27 (3) : 200-218.

82. **Frati-Munari, A.C, Gordillo, B.E, Altamirano, P., Ariza, C.R. (1988).** Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care*. 11: 63-66
83. **Frati-Munari, A.C, Del – Valle – Martinez ,L.M, Ariza Andraca, C.R., Islas-Andrade, and Chavez – Negrette, A. (1989).** Accion hipoglucemiante de diferentes dosis de nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire) en pacientes con diabetyes mellitus tipp II. *Archivos de Investigacion Médica*. 20: 197 – 201.
84. **Frati Munari, A.C., Vera Lastra, O., Ariza Andraca, C.R. (1992).** Evaluation of nopal capsules in diabetes mellitus. *Gac. Med. Mex*. 128: 431–436
85. **Gabriele Rocchetti, Marco Pellizzoni, Domenico Montesano, Luigi Lucini, (2018).** Italian *Opuntia ficus-indica* cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*. 7 (24): 12.
86. **Galati, EM., Monforte, MT., Tripodo, MM., Aquino, A., Mondello, MR. (2001).** Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (*Cactaceae*): ultrastructural study. *J. Ethno.pharm.* 76: 1-9.
87. **Galati, EM., Pergolizzi, S., Miceli, N., Monforte, MT., Tripodo, MM. (2002).** Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladodes. *J. Ethno.pharm.* 83: 229-233.
88. **Gallegos-Infante, J.-A., Rocha-Guzman, N.-E., González-Laredo, R.-F., Reynoso-Camacho, R., Medina-Torres, L., Cervantes-Cardozo, V. (2009).** Effect of air flow rate on the polyphenols content and antioxidant capacity of convective dried cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60: 80–87.
89. **Gaouar N. (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algérienne. Thèse de magistère en Nutrition. Université Abou Baker Belkaid. Telnmcen .95p.
90. **Gaumy, JL, Bailly, JD, Burgat, V, Guerre, P. (2001).** Zéaralénone : propriétés et toxicité expérimentale, Groupe de Mycotoxicologie. *Rev. Méd. Vét.*152 (3): 219-234.
91. **Gebresamuel, N., Gebre-Mariam, T. (2012).** Comparative physico-chemical characterization of the mucilages of two cactus pears (*Opuntia spp.*) obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 3: 79-86.
92. **Gebremariam, T., Melaku S., Yami, A. (2006).** Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in

- tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131: 43–52.
93. **Geoffrey, C.P. (2011).** Food Science and Technology. Ed. Jhon Wiley & Sons, USA, 520p.
94. **Gerber, M. et Corpet, D.E. (1997).** Alimentation méditerranéenne et santé. *Med. Nut.* 4: 143- 154
95. **Gholam, A., Majidpour, A., Talebi-Taher, M., Boustandhenas, M., Adabi, M., (2016).** PCR-based assay for the rapid and precise distinction of *Pseudomonas aeruginosa* from other *Pseudomonas* species recovered from burns patients. *J PEV MED HYG.* 57 : E81-E85.
96. **Gioavvna, Ginestra, Mary L., Parker, Richard, N. Bennett, Jim, Robertson, Giuseppina, Mandalari, Arjan, Narbad, Rosario B., Locurto, Giuseppe, Bisignano, Craig B., Faulds, Keith W., Waldron. (2009).** Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *J. Agric. Food Chem.* 57: 10323–10330.
97. **Golob, P., Debbie, Rees, Graham, Farrell, John, Orchard, (2012).** Crop Post-Harvest: Science and Technology. Volume 3: Perishables. Ed. BlackWell Publishing, Oxford,UK, 464p.
98. **Gomez-Caravaca, A.M., Gomez-Romero, M., Arraez-Roman, D., Segura-Chretero, A., Fernandez-Gutierrez, A., (2006).** Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *Journal of pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 41 (4): 1220-1234.
99. **Griffith, M. P., Porter, M. J. (2003).** Back to the basics: a simple method of DNA extraction for mucilaginous cacti. *Bradleya.* 21: 126– 128.
100. **Grosjean, J., Clave, D., Archambaud, M., Pasquier, C. (2011).** bactériologie et virologie pratique. 2^{ème} Ed. De Boeck Supérieur, Paris. p73.
101. **Guevara-Figueroa, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M.L., Mortensen, A.G., Laursen, B.B., Lin, L.-W., de León-Rodríguez, 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.*). *J. Food Compos. Anal.* (23) : 525–532.
102. **Guiraud, J.P. (1998).** Microbiologie alimentaire. 2^{ème} Ed. Edition Dunod, Paris, France, pp14-15.

103. **Gairaud, J.P. (2003).** Microbiologie alimentaire. Ed. Dunod, Paris, France, pp 338, 500, 558, 573.
104. **Habibi, Y., Heyraud, A., Mahrouz, M. Vignon, M. R. (2004).** Structural features of pectic polysaccharides from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carb. Res.* 339 : 1119-1127.
105. **Hadj Sadok, T., Aid, F., Bellal, M., Abdul Hussain, M.S. (2008).** Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire. *Agricultural Practice and Science Journal.* 65 (1-2) : 39-48.
106. **Hadj Sadok, T., Aid, F., Doumandji, A., 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. *Rev. Nature & Technologie.* 11 : 17-29.
107. **Halmi, S., Madi, A., Zeghad, N., Berouel, K., Lemoui, R., Benlakssira, B., Hamdi pacha, Y. (2016).** Phytochemical screening and analgesic activity of *Opuntia ficus indica* cladods extract in Wistar rats. *International Journal of Phytomedicine.* 8 : 282-286.
108. **Hamdi, M. (1997).** Prickly pear cladodes and fruits as a potential raw material for the industries. *Bioprocess Engineering.* 17: 387–391.
109. **Harley, J.P., Klein, D.A., Prescott, L.M., Sherwood, L.M., Willey, J.M. (2010).** Microbiologie .3^{ème} .Ed. De Boeck. Bruxelles. 1216p.
110. **Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M., Kaid-Harch, M. (2008).** Effect of Salinity on Water and some Osmolytes in Barley. *European Journal of Scientific Research.* 23 (1): 61-69.
111. **Hatano, T., Kusuda, M., Inada, K., Ogawa, T.O., Shiota, S., Tsuchiya, T., Yoshida, T. (2005).** Effects of tannis and related polyphenols on methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry.* Pp: 2047-2055.
112. **Hernández-Urbiola1, M.I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J.I., Cortes, M.E. and Rodríguez-García, M.E. (2010).** Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages. *The Open Nutrition Journal.* 4: 11-16.
113. **Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E. and Rodríguez-García, 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: 1287 -1295.

114. **Hernández-Ávila M., Olaíz-Fernández G. (2002).** Diabetes and Mexico: a public health challenge. *Ciencia*. 53(3): 8-17.
115. **Higdon, J.V., Frei, B. (2003).** Tea catechins and polyphenols: health effects, metabolism, and antioxidant functions. *Critical Reviews. Food. Scien.Nutr.* 43: 89-143.
116. **Ibanez Camacho, R and Roman Ramos R. (1979).** Efecto hipoglucemiante del nopal. *Archivos de Investigacion Media*. 10: 223-230.
117. **Ikigai, H., Nakae, T., Hara, Y., Shimamura, T. (1993).** Bactericidal catechins damage the lipid bilayer. *Biochim Biophys Acta*. 1147:132–136.
118. **ISO, 11265 (1994).** Qualité du sol. Détermination de la conductivité électrique spécifique.
119. **Jaramillo-Flores, M., L. González-Cruz, M. Cornejo-Mazón L. Dorantes-Alvarez, G. F. Gutiérrez-López, H. Hernández-Sánchez (2003).** Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). *Food science and technology international*. 9 (4): 271-278.
120. **Jarrige, R., Greenet, E., Demarquilly, C., Besle, J.M. (1995).** Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In *Nutrition des Ruminants Domestique*. Ed, INRA, pp. 25-81.
121. **Jung-Hoon, K., Shin-Mi, P., Hyun-Joo, H., Chang-Jong, M., Tae-Kyun, S., Jung-Mi, K., Nam-Ho, L., Hyoung-Chun, K., Kyung-Jin, J., Myung-Bok, W. (2006).** *Opuntia ficus-indica* attenuates neuronal injury *in vitro* and *in vivo* models of cerebral ischemia. *J. Ethno. pharmacol.* 104: 257-262.
122. **Kanias, G.D., Loukis, A., Philianos, SM. (1979).** Trace element pharmacognostical study on diuretic drugs by neutron activation analysis. *J. Rad. Analy. Chem.* 54: 103-112.
123. **Karami, N., Nowrouzain, F., Adlerberth, I., Wold, A.E. (2006).** Tetracycline resistance in *Escherichia coli* and persistence in the infantile colonic microbiota. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 50: 156-161.
124. **Khamisabadi, H., Kafilzadeh, F., Taasoli, G. (2011).** Evaluation of *Opuntia ficus-indica* cactus grown in western region of Iran as animal feed. *Euphrates J. Agric. Sci.* 3 : 5–19.
125. **Kjeldahl, J. (1883).** Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22: 366-382.

126. **Koffi, N., Beugré, K., Guédé, N.Z., Dossahoua, T., Laurent, A. (2009).** Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences et Nature*. 6 (1) : 1-15.
127. **Konku, S., Mangai Rajan, M., muruhan, S. (2012).** Morphological and biochemical characteristics and antibiotic resistance pattern of *Staphylococcus aureus* isolated from grapes. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*. 2: 70-73.
128. **Koinam, F.R., Guira, F., Somda, N.S., Yaméogo, A., Bonkougou, I.J., Traoré, Y., Savadogo, A. (2017).** Profile of sensitivity and resistance to antibiotics of *Staphylococcus aureus* strains isolated from patients fluids in medical biology departement of national public health laboratory of Ouagadougou, 1burkina Faso. *J .Fundam Appl Sci*. 9 (1): 553-566.
129. **Koubaa, M., Ktata, A., Bouaziz, F., Driss, D., Ellouz Ghorbel, R., Ellouz Chaabouni, S. (2015).** Solvent extract from *Opuntia stricta* fruit peels: Chemical composition and biological activities. *Free Radicals and Antioxidants*. 5 (2): 52-59.
130. **Kritchovsky, Tepper S A, Satchithanandasm., Cassidym, M., Vahouny, G. V. (1988).** Dietary fiber supplements: effects on serum and liver lipids and on liver phospholipid composition in rats. *Lipids*. 23: 318-321.
131. **Kwak, Dongguk K.P. (2003).** Univ. Medical Centet; Psychiatty, Gyungusi, Republic of Korea. Neuroprotective effects of the flavonoids isolated from *Opuntia ficus-indica* vat, saboten.
132. **Kye-Taek Lim (2010).** Inhibitory effect of glycoprotein isolated from *Opuntia ficus-indica* var. saboten MAKINO on activities of allergy-mediators in compound 48/80-stimulated mast cells. *Cellular Immunology*. 264: 78-85.
133. **Lagnika, L. (2005).** Etude phytochimique et activité biologique de substance naturelle isolée de plantes béninoises. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur. Strasbourg, France, 249p.
134. **Laurent L. (1991).** Élément minéraux, techniques d'analyse et contrôles dans l'industrie agroalimentaire. Ed. Tec et Doc, Paris, France, 987p.
135. **Leclerc, H., Gailard, J.L., Simonet, M. (1995).** Microbiologie générale, la bactérie et le monde bactérien. Ed. Doin, Paris, France, pp 408-438.
136. **Lee, KW, Kim, YJ, Lee, HJ, Lee, CY. (2003).** Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. *J. Agric. Food .Chem*. 51: 7292-7295.

137. **Le Houerou, H.N. (1996).** The role of cacti (*Opuntia spp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*. 33: 135-159.
138. **Lecoq, R. (1965).** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles.. Ed. DOIN, DEREN et CIE. Tome I. France, pp 241-251.
139. **Luttge U. (1993).** The role of crassulacean acid metabolism (CAM) in the adaptation of plants to salinity. *New Phytologist*. 125 (1): 59-71.
140. **López-García, J., Fuentes-Rodríguez, J., Rodríguez, R. (2001).** Production and use of *opuntia* as forage in northern Mexico. in: cactus (*opuntia spp.*) as forage. presented at the FAO plant production and protection paper 169. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Mondragón-Jacobo, C. & Pérez-González, S., Rome, Italie. pp. 29–36.
141. **Loor, J.J., Hoover, W.H., Miller-Webster, T.K., Herbein, J.H., Polan, C.E. (2003).** Biohydrogenation of unsaturated fatty acids in continuous culture fermenters during digestion of orchardgrass or red clover with three levels of ground corn supplementation. *J. Animal. Sciences*. 81: 1611-1627.
142. **Louacini, B.K., Dellal, A., Halbouche, M., Ghazi, K. (2012).** Effect of incorporation of the spineless *Opuntia ficus Indica* in diets on biochemical parameters and its impact on the average weight of ewes during the maintenance. *Global Veterinaria*. 8 (4): 352-359.
143. **Lozoya Castillo, D. L., Castillo-Hernández, S. L., Hernández-Marín, D. A., Rivas-Morales, C., Sánchez-García, E. (2018).** Evaluación de la actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y antioxidante de subproductos de *Opuntia ficus-indica* y *Mangifera indica*. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3 : 139-144.
144. **Maataoui, B.S., Hmyene, A., Hilali, S. (2006).** Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*). *Leban. Scien. J.* 7: 3-8.
145. **Malainine, M-E., Dufresne, A., Dupeyre, D., Mahrouz, M., Vuong, R., Vignon, M.R. (2001).** Structure et morphologie des raquettes et des épines du figuier de Barbarie. *Phys. Chem. News*. 4 : 126-130.
146. **Marchal, L., Bourdon, J.L., Richard, C. (1982).** Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries .Ed. Doin, Paris, France, 482p.

147. **Margarita, I., Hernández-Urbiola, E.P.T., Mario E.R.G. (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: 1287-1295.
148. **María del Socorro Santos Díaz, Ana-Paulina Barba de la Rosa, Cécile Héliès-Toussaint, Françoise Guéraud, Anne Nègre-Salvayre (2017).** *Opuntia spp.*: Characterization and benefits in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 17p. <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>.
149. **Markh, A.T., Zekina, T.F., Golubev, N. (1989).** Contrôle technico-chimiques des coserves .Ed. Agropromizdat. Moscow, Russie, 304p.
150. **Martin, N., Mousset, B., Duprez, J. N., Gergoire, F., Hoyoux, A., Linden, A., Mainil, J. (2007).** Profils de résistance aux antibiotiques de souches d'*Enterococcus sp* et d'*Escherichia coli* isolées dans les matières fécales de sangliers et cervidés sauvages. *Ann. Méd. Vét.* 151 : 55-60.
151. **Mathews, K.C., Van Holde, K.E., Ahern, K.G. (2002).** Bioquímica. 3^{eme} Ed. Addison Wesley. Madrid, pp. 1335.
152. **Medina, E.M.D., Rodríguez, E.M.R., Romero, C.D. (2007).** Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chem.* 103 : 38–45.
153. **McPherson, R. (1992).** Dietary fiber - a Perspective. In: Dietary Fiber in Human Nutrition. Ed. Gene A. Spiller. CRC Handbook. 2^{eme} Ed. Boca Raton, Florida. pp. 7-11.
154. **Michele, M., McConn, P., Nakata, A. (2004).** Oxalate reduces calcium availability in the pads of the prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. *J. Agric. Food Chem.* 52 : 1371–1374.
155. **Miettinen T. A., and Tarpila S. (1977).** Effect of pectin on serum cholesterol, fecal bile acids and biliary lipids in normolipidemic and hyperlipidemic individuals. *Clinical. Chemical . Acta.* 79: 471-477.
156. **Miller, G.L. (1972).** Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry.* 31: 426-428.
157. **Milane, H. (2004).** La quercétine et ses dérivées : molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres ; Eudes et applications thérapeutiques. Thèse de doctorat en pharmacochimie. Université de Louis Pasteur. Strasbourg. 22p.

158. **Mongi, S., Jebahi, S., Jamoussi, K., Ben Salah, G., Kallel, C., El Feki, A. (2011).** Haematological and biochemical toxicity induced by methanol in rats: Ameliorative effects of *Opuntia vulgaris* fruit extract. *Human and Experimental Toxicology*. het.sagepub.com.
159. **Mondragon, J.C. et Pérez, G.S. (2001).** Germplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production in: Mondragon, J.C., Pérez, G.S., Arias, E., Reynolds, S.G. et Sanchez, M.D. (eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as forage*, F.A.O. plant production and protection paper 169, Rome (Italy), 21-28.
160. **Monia Ennouri, Hamadi Fetoui, Evelyne Bourret, Najiba Zeghal, Hamadi Attia (2006).** Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*, Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*. 97: 1382-1386.
161. **Morena, M., M. Martin-Mateo, J.-P. Cristol et B. Canaud (2002).** Stress oxydant, hémocompatibilité et complications de la dialyse au long cours. *Néphrologie*. 23(5).
162. **Monjauze, A., Le Houerou, H.N. (2004).** Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole Nord-Africaine. In: Mulas M, Mulas G. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR. p.112.
163. **Multon, J.L. (1991).** Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Ed. Tech et Doc, Lavoisier, France, pp.121-137.
164. **Munoz De Chavez, M., Chavez, A., Valles, V., Roldan, J. A. (1995).** The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev. Nutr. Dietetics*. 77: 109–134.
165. **Ncibi, S., Ben Othman, M., Akacha, A., Krifi, M.N., Zourgui, L. (2008).** *Opuntia ficus-indica* extract protects against chlorpyrifos-induced damage on mice liver. *Food.Chem.Toxico*. 46: 797-802.
166. **Nefzaoui, A., Ben Salem, H., Ben Salem L. (1995).** Ewe-lambs feeding with cactus based diets. Effect of the type of nitrogen supplement. IV International Symposium on the nutrition of Herbivores-Satellite: Ruminant use of fodder resources in warm climate countries. Montpellier-France. 7-9 septembre.
167. **Nefzaoui, A., Bensalem, H. (1998).** Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones. P58-76, in: Proc. Int. Symp. Cactus Pear and Nopalitos Processing and Use. Santiago, Chile.

168. **Nefzaoui, A., Ben Salem, H., (2002).** Strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the Wana region. Cactus as forage. FAO Plant production and protection paper 169.
169. **Nefzaoui, A., Salem, H.B., Zaafouri, M., Chouki, S., Gintzburger, G., Bounejmate, M., (2000).** Tunisian experience with fodder shrubs in: Fodder Shrub Development in Arid and Semi-Arid Zones. Volume 1. Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-Arid Zones, 27 October -2 November 1996, Hammamet, Tunisia. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), pp. 210–228.
170. **Nefzaoui, A. et Ben Salem, H. (2001).** *Opuntia spp*: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region: Cactus (*Opuntia Spp.*) as Forage: FAO Plant Production and Protection Paper. Mondragon C, Gonzalez S (eds), pp. 73–90.
171. **Nefzaoui, A., El Mourid, M. (2008).** Rangeland improvement and management in arid and semi-arid Environments of West Asia and North Africa. Rangelands Improvement and Management in West Asia and North Africa.
172. **Ney, D.M., Lasekanj B., Shinnickf L. (1988).** Soluble fiber tends to normalize lipoprotein composition in cholesterol-fed rats. *Nutrition*. 118: 1455-1462.
173. **Nicola S.J.P. (1999).** Plantes médicinales des Mayas Kiché du Guatemala Ibis Press, Paris, 310 p.
174. **Nielsen, S. S. (2010).** Food Analysis .4^{ème} Ed. Springer .USA. 602 p.
175. **Özcan, M.M., Al Juhaimi F.Y. (2011).** Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Turkey. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 62 (5): 533-536.
176. **Palevitch, D., Earon, G., Levin, I. (1994).** Treatment of benign prostatic hypertrophy with *Opuntia ficus indica* (L) Miller. *Journal Herbs Spices Medical Plants*. 2: 45–49.
177. **Panico, AM, Cardile, V, Garufi, F, Puglia, C, Bonina, F, Ronsisvalle, S. (2007).** Effect of hyaluronic acid and polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the metabolism of human chondrocyte cultures. *J. Ethnopharmaco*. 111: 315-321.
178. **Parcker, J.F., Luz, M.M.S. (2007).** Método para avaliação e pesquisa da atividade antimicrobiana de produtos de origem natural. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 17 (1) : 639-644.

179. **Parikh, V. M., Jones, J. K. N. (1965).** Structure of cholla gum (*Opuntia fulgida*). *J. Polym. Sci. Ilc.* 11 (1): 139-148.
180. **Patricia, L.R., Edgar, P.O., Azalia A.N. MSc., Natalia, Vázquez-Manjarrez, Armando R. Tovar, PhD; José, Pedraza-Chaverri, PhD; Nimbe, Torres, PhD. (2014).** The effect of nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and antioxidant activity in mexican patients with type 2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *J Acad Nutr Diet.* 114: 1811-1818.
181. **Singleton Paul (Mars, 1999).** Bactériologie. 4^{ème} Ed. Dunod. Avon, France, pp. 353-355.
182. **Pelt J.M. (2001).** Les vertus des plantes. Ed. Chêne, France, 183p.
183. **Molyneux, Philip (2004).** The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn J. Sci Technol.* 26 (2) : 211-219.
184. **Pibiri, M. (2006).** Huiles essentielles de thym et origan .3^{ème} Ed. Masson. Paris .146P.
185. **Piga, A. (2004).** Cactus pear, a fruit of nutraceutical and functional importance. *J Profess Assoc Cactus Dev.* 6: 9-22.
186. **Pinta, M.; Bourdo B.; Rousselet F. (1982).** Spectrophotométrie d'absorption atomique. ED Masson et Arston. Paris, 478p.
187. **Ponce, A.G, Fritz R, Del Valle. C et Roura S.I. (2003).** Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Lebensmittel-wissenschaft und technology.* 36 (7): 500-508.
188. **Potier, P. (2001).** Le magasin du Bon Dieu. Ed. JC Lattès, Paris, 283p.
189. **Poupon, J.E. (1975).** Cactus et ressources fourragères. Note technique n°2. Projet PNUD/FAO MOR 73-016. Amélioration et aménagement des parcours forestiers. WANA.
190. **Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302.
191. **Rachid, K. (2005).** Génomique fonctionnelle *in vitro* de l'oxydoréductase PA 3498 chez *Pseudomonas aeruginosa*. Maitrise en Microbiologie - Immunologie. Pp 88-86.

192. **Rasheed, M.N., Latteef, N.S., Jassim, A.B., Nader, M.I. (2016).** Rapide Identification of *Pseudomonas aeruginosa* by Using Real Time PCR. *Kufa Journal for Veterinary Medical Sciences*. 7 (1): 80-86.
193. **Rasooli, I., Fakoor, M.H., Yadegarinia, D., Gachkar, L., Allmeh, A., Rezaei, (2008).** Antimycotoxigenic characteristics of *Rosmarinus officinalis* and *Trachyspermum copticum* L. essential oils. *Inter.J.Food.Microbiol.* 122 : 135-139.
194. **Ricardo Da Silva J.M, Darmon N, Fernandez Y, Mitjavila S. (1991).** Oxygen free radical scavenger capacity in aqueous models of different procyanidins from grape seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 39: 549-1552.
195. **Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. (1996).** Structure antioxidant active relationship of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 20 (7): 933–956.
196. **Rodier, J. (1997).** L'analyse de l'eau, eau naturelles eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Ed. Dunod. Paris. pp 489-512.
197. **Rodriguez-Felix, A., Cantwell, M. (1988).** Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos), Plant. *Foods Hum. Nutr.* 38 : 83-93.
198. **Rodríguez-García, M.E., Delira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M.A., Palacios-Fonseca, A.J., RojasMolina, I., Reynoso, R., Quintero, L.C., Del-Real, A., Zepeda, T.A. and Muñoz-Torres, C. (2007).** Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods for Human Nutrition*. 62: 107-112.
199. **Sadasivam, S., Manickarn, A. (1996).** Biochemical methods. 2^{ème} Ed. New Age International. New Delhi. 256p.
200. **Saenz, C., Pak, N., Sepúlveda, E., y Lecaros, M. (1997).** Caracterización de harina de cladodio de nopal. Memorias VII Congreso nacional y V Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Ed. Monterrey, México, pp. 302-303.
201. **Saenz, C., Sepulveda, E., Matsuhira, B. (2004).** *Opuntia spp* mucilage's: A functional component with industrial perspectives. *J. Arid Environ.* 57: 275–290.
202. **Salah-Fatnassi, K.B.H., Guesmi, A., Abid, I., Brahmi, D., Aouni, M., Lazhar, Z. (2009).** Antifungal activity of the aqueous extracts of two *Opuntia* species from Tunisia. *Rev Ciênc Farm Básica Apl.* 1: 46-51.

203. **Sarti, B. (2001)**. Utilisation des raquettes de cactus dans l'alimentation des brebis allaitants et jeunes ovins en croissance engraissement. Mémoire de 3^{ème} cycle. IAV, Rabat, Maroc, pp 5-26.
204. **Sawaya, WN, Khan, P. (1982)**. Chemical characterization of prickly pear seed oil, *Opuntia ficus-indica*. *J Food Sci.* 47 (6): 2060-2061.
205. **Scavizzi, M., Labia, R., Petitjean, O., Elbhar, A. (2000)**. L'antibiogramme de l'analyse des populations bactériennes à la thérapeutique. *J Antibiotiques.* 2: 122-134.
206. **Sepúlveda, E., Sáenz, C. H. (1988)**. Industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). I. Aceite de la semilla. *Alimentos.* 13(1): 35-38.
207. **SFM, (2008)**. Société Française de Microbiologie, Recommandations du Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie, Janvier 2008, 49p.
208. **SFM, (2015)**. Société Française de Microbiologie, Recommandations du Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie. p19-26.
209. **Shafiei, S., Kariminik, A., Hasanabadi, Z. (2013)**. Antimicrobial activity of methanol extract of *Opuntia stricta* F. *Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci.*7(12): 907-910.
210. **Sharma, Om P., Bhat, TK. (2009)**. DPPH antioxidant assay revisited. *Food. Chem.* 113: 1202-1205.
211. **Shedbalkar, U.U., Adki, V.S., Jadhav, J.P., Bapat, V.A. (2010)**. *Opuntia* and other cacti: applications and biotechnological insights. *Trop. Plant Biol.* 3: 136–150.
212. **Shilpa, B.S., Akanksha, and Kavita, G.P. (2012)**. Evaluation of cactus and hyacinth bean peels as natural coagulants. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering.* 3: 187-191.
213. **Shin Gi Ru., Sunmin Lee, Sarah Lee, Seon-Gil Do, Eunju Shin, Choong Hwan Lee (2015)**. Maturity stage-specific metabolite profiling of *Cudrania tricuspidata* and its correlation with antioxidant activity. *Industrial Crops and Products.* 70: 322-331.
214. **Shlomo Trachtenberg and Alfred M. Mayer. (1981)**. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry.* 20 (12) : 2665-2668.
215. **Shoop, M.C., Alford, E.J., et Mayland, H.F. (1977)**. Plains prickly pear is good for cattle. *Journal of Range Management.* 30: 12-17.
216. **Silva, P.P.P., Lima, M., Silva, T., Melo, A., Corfeiro, R. (2017)**. Determinação da Atividade Antilicoblana e Avaliação da Toxicidade do *Cereus jamacaru* DC (Mandacaru) e da *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL (Palma Forrageira). *Rev. Eletr. Farm. Goiânia.* 14 (3): 5-15.

217. **Silva, A.L.L., Araujo, M.G.S., Bastos, M.L.A., Bernardo, T.H.L., Oliveira, J.F.S., Silva-Junior, E.F., Santos-Junior, P.F.S., Araujo, M.V., Alexandre-Moreira, M.S., Araujo-Junior, J.X., Verissimo, R.C.S.S. (2016).** Avaliação da atividade antibacteriana, citotóxica e antioxidante da espécie vegetal *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill. *Rev. Bras. Pl. Med., Campinas*. 18 (1): 307-315.
218. **Singleton, V-L., Rossi, J-A. (1965).** Colormetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Engology and Viticulture*. 16: 44-158.
219. **Singleton, P. (1999).** Bactériologie. 4^{émé} Ed .Dunod.Paris .p. 331.
220. **Soares, B.S.A. (2012).** Obtenção e caracterização do extrato nebulizado da *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e avaliação da sua atividade antimicrobiana e fotoprotetora. 24p.Trabalho de Graduação de Curso (Farmácia), Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa.
221. **Souza Cinthya Maria Pereira, Fernanda Silva Almeida, Valdir Florêncio Veiga Junior, Bolívar Ponciano Goulart de Lima Damasceno, Ana Cláudia Dantas Medeiros, Davi Pereira Santana, José Alessandro Silva1 (2014).** Characterization of atomized extract of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and assessment of its pharmaceutical potential. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*. 35 (2): 195- 203.
222. **Speers, D., Olma, T. R., Gilbert, G.L. (1997).** Evaluation of Four Methods for Rapid Identfication of *Staphylococcus aureus* from Blood Cultures. *Journal Of Clinical Microbiology*. 36 (4) : 1032-1034.
223. **Stintzing, F.C.; Carle, R. (2005).** Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*. 49 : 175–194.
- 224.**Suash-au, P., Prauseennivasan, S.I., gnacimuthu, S. (2007).** Cinnamaldehyde-A potential antidiabetic agent. *j.Phytomed*.14: 15-22.
225. **Sudzuki F., Munoz C., et Berger H. (1993).** El cultivo de la tuna cactus pear. *Fac ciencias, agrarias y forestales*. Universidad de Chile, Santiago. Pages 88.
- 226.**Sutton B.G., Ting I.P., Sutton R. (1981).** Carbohydrate metabolism of cactus in a desert environment. *Am Soc Plant Biol*. 68 (3): 784-787.
227. **Taguri, T., Tanaka. T., Kouno, I. (2004).** Antimicrobial activity of 10 different plant polyphenols against bacteria causing food-borne disease. *Biol Pharm Bull*. 27: 1965–1969.

228. **Tanya, S., Yordanov, D. (2009).** *Pseudomonas aeruginosa* – a phenomenon of bacterial resistance. *Journal of Medical Microbiology*. 58 : 1133–1148.
229. **Tegegne, F., Kijora, C., Peters, K.J. (2007).** Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Rumin. Res.* 72 : 157–164.
230. **Terblanche I.L., Mulder A.M., and Rossow J.W. (1971).** The influence of moisture content on the dry matter intake and digestibility of spineless cactus. *Agro-animalia*. 3: 73-77.
231. **Thompson, John D., Jean-Claude Chalchat, Andre Michet, Yan B. Linhart et Bodil Ehlers (2003).** Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. *Journal of Chemical Ecology*. 29 (4): 859-880.
232. **Toure, D. (2016).** Etudes chimiques et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de côte d'ivoire. Thèse de doctorat en Biologie Humaine Tropicales, Université Félix Houphouet-Boigny, cote d'ivoire : 154pp.
233. **Trachtenberg, S., Mayer, A.M. (1982).** Mucilage cells, calcium oxalate crystals and soluble calcium in *Opuntia ficus-indica*. *Ann. Bot.* 50: 549–557.
234. **Trease, E.G., Evans, W.C. (1978).** Pharmacognosy. 11^{ème} Ed. Balliere Tindall. London, pp115-222.
235. **Trepeta, R. W., Edberg, S. C. (1984).** Methylumbelliferyl-beta-D-glucuronide- based medium for rapid isolation and identification of *Escherichia coli*. *Journal Of clinical Microbiology*. 19 (2): 172-174.
236. **Tuzmen, N., Candan, N., Kaya, E., Demiryas, N. (2008).** Biochemical effects of chlorpyrifos and deltamethrin on altered antioxidative defense mechanisms and lipid peroxidation in rat liver. *Cell. Biochem. Funct.* 26: 119–124.
237. **Ulises, Osuna-Martínez, Jorge, Reyes-Esparza, Lourdes, Rodríguez- Frago (2014).** Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases. *Natural Products Chemistry & Research*. 2: 6.
238. **Valente, L.M.M.; da Paixão, D.; do Nascimento, A.C.; dos Santos, P.F.P.; Scheinvar, L.A.; Moura, M.R.L.; Tinoco, L.W.; Gomes, L.N.F.; da Silva, J.F.M. (2010).** Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chem.* 123 : 1127–1131.

239. **Van Bennekum, A., Nguyen, D.V., G. Schulthess, G., Hauser Hand Phillips (2005).** Mechanism of cholesterol-lowering effects of dietary insoluble fibers: relationship with intestinal and hepatic cholesterol parameters. *British J. Nutrition.* 94: 331-337.
240. **Van Soest, P.J., McQueen, R.W. (1973).** The chemistry and estimation of fiber. *Pro. Nutr. Soc.* 32: 123-130.
241. **Vieira, E.L., Batista, Â.M.V., Guim, A., Carvalho, F.F., Nascimento, A.C., Araújo, R.F.S., Mustafa, A.F. (2008).** Effects of hay inclusion on intake, *in vivo* nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 141: 199–208.
242. **Villarreal F., Rojas P., Arellano V. Y Moreno J. (1963).** Estudio químico sobre seis especies de nopales (*Opuntia spp.*). *Ciencia Mex.* 22:59.
243. **Wallace, RS., Giles, AC. (1997).** Evolution and systematics. Biology and Uses. Ed. P.S.Nobel, California, pp 1-21.
244. **Wei L, Yu-Jie F, Yuan-Gang Z, Mei-Hong T, Nan W, Xiao-Lei L, Su Z. (2009).** Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from *Opuntia dillenii* Haw and its antioxidant activity. *Food. Chem.* 114: 334–339.
245. **Wolfram, R.M., Kritz, H., Schmid, P., fthimiou, Y.E., Stamatopoulos, Y., Sinzinger, H. (2002).** Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose- and lipid-metabolism in non-diabetics with hyperlipidemia. *Wr klin Wschr.* 114: 840-846.
246. **Wrolstad, R.E., Decker, E.A., Schwartz, S.J., Sporns, P. (2005).** Handbook of Food Analytical Chemistry, water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates .Ed. Jhon Wiley & Sons. Canada. pp 427-428.
247. **Xian-Ke, Zhong, Xin, Jin, Feng-Ying, Lai, Qing-Sheng, Lin, Jian-Guo, Jiang. (2010).** Chemical analysis and antioxidant activities *in vitro* of polysaccharide extracted from *Opuntia ficus indica* Mill. cultivated in China. *Carbohydrate Polymers.* 82 : 722–727.
248. **Yamini, K., Anto Shering, M., Praveen Kumar Reddy, S., Lakshmi Narasimha Reddy, N. (2011).** Pharmacognostical and preliminary phytochemical screening on leaves of *Trianthema decandra* Linn. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives.* 2 (3): 960-962.
249. **Yasseen, Mohamed Yasseen, Sheryl, A. Barringer, Walter, E. Splittstoesser (1996).** A note on the uses of *Opuntia spp.* in Central/North America. *Journal of Arid Environments.* 32 (3): 347-353.

250. **Yen G.C., Duh, P.D. (1994).** Antioxydant activity of methanolic extracts of peanut hulls from various cultivars. *J. am. Oil chem. Soc.* 72 : 1065-1067.
251. **Yéwêgnon, A.E.I.N., Cokou, P.A., Alain, Y.K., Comlan, A.D., Martin P.A., Daouda M., Dominique C.K.S. (2013).** Evaluation of the *Opuntia dillenii* as Natural Coagulant in Water Clarification: Case of Treatment of Highly Turbid Surface Water. *Journal of Water Resource and Protection.* 5: 1242-1246.
252. **Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999).** Research on antioxidant activity of flavonoids from natural materials. *Food Chem.* 64: 555-559.
253. **Zino, SJM., Harman, SK., Skeaff, CM. (1998).** Fruit and vegetables consumption and antioxidant status of seventh- day adventists. *Nutr. Metab. Cardivasc. Dis.* 8: 297-304.
254. **Zorgui, L., Ayed-Boussema, I., Ayed, Y., Bacha, H., Hassen, W. (2009).** The antigenotoxic activities of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes against the mycotoxin zearalenone in Balb/c mice: Prevention of micronuclei, chromosome aberrations and DNA fragmentation. *Food. Chem. Tox.* 47: 662-667.
255. **Zou, Y., Yanhua, L., Dongzhi, W. (2004).** Antioxidant activity of a flavonoid-Rich extract of *Hypericum Perforatum* L. *in Vitro.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 52 (16): 5032-5039.

Annexes

Annexe n°1 : Préparation du réactif DNSA

Dans un Erlen Meyer, 1 g de DNSA est solubilisé dans 40 ml d'eau distillée. A cette solution 30 g de tartrate double de sodium et potassium sont ajoutés sous agitation. La solution obtenue est de couleur jaune opaque. L'ajout de 20 ml d'une solution de NaOH (2 N) rend le réactif limpide d'une couleur orange. Le volume obtenu est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée et le réactif obtenu doit être conserve à l'abri de la lumière à +4°C (**Miller, 1972**).

Annexe n°2 : Coloration de Gram

La coloration de Gram se déroule par des étapes, en premier lieu, la réalisation d'un frottis bactérien fixé à la chaleur puis, la coloration au violet de gentiane pendant 2 à 3 min suivie d'un rinçage à l'eau distillée. Une fixation de la couleur est réalisée en utilisant le lugol pendant 1 min suivie d'un rinçage à l'eau distillée. Une étape de décoloration est effectuée en traitant le frottis avec l'alcool pendant 1 à 3 s en maintenant la lame inclinée. En effet, cette étape engendre l'aspect différentiel de la coloration de Gram : les bactéries à Gram+ gardent le cristal violet, tandis que les bactéries à Gram- le perdent et se décolorent.

A la fin, la fuchsine est utilisé comme un contre-colorant pendant 30s, ce dernier colore les bactéries Gram- en rose et laisse les bactéries Gram+ colorées en violet.

Après un bref rinçage, le frottis est séché et examiné au microscope (G×100) en utilisant l'huile à immersion (**Harley et al., 2010**).

Annexe n°3 : Composition des milieux de culture g/l➤ **Gélose Mueller Hinton****Composition**

▪ Infusion de viande bœuf.....	300 g
▪ Bio-Case.....	17.5 g
▪ Amidon.....	17 g
▪ Agar.....	17 g
▪ Eau distillée (qsp)	1000 ml

pH : 7.3

Autoclavage : 120 °C/ 15 min

➤ **Gélose Chapman****Composition**

▪ Peptones.....	11.0 g
▪ Extrait de viande.....	1.0 g
▪ Chlorure de sodium.....	75 g
▪ Mannitol.....	10.0 g
▪ Rouge de phénol.....	25 mg
▪ Agar.....	15 g
▪ Eau distillée (qsp)	1000 ml

➤ **Gélose Cétrimide****Composition**

▪ Peptone.....	20 g
▪ Sulfate de potassium.....	10 g
▪ Chlorure de magnésium.....	3 g
▪ Phosphate dipotassique.....	0.3 g
▪ Cétrimide.....	0.2 g
▪ Acide nalidixique.....	15 mg

- Agar..... 13 g
- Eau distillée (qsp) 1000 ml

pH : 7.2

Autoclavage : 120 °C/ 15 min

➤ **Gélose Mac Conkey**

Composition

- Peptone..... 20 g
- Lactose..... 10 g
- Sels biliaires..... 1.5 g
- Cristal violet..... 1 mg
- Rouge neutre..... 50 mg
- Chlorure de sodium..... 5 g
- Agar..... 15 g
- Eau distillée (qsp)..... 1000 ml

pH : 7.1

➤ **Gélose Nutritive**

Composition

- Peptone..... 5 g
- Extraits de viande 1 g
- Extraits de levure 2 g
- Chlorure de sodium 5 g
- Agar..... 15 g

pH : 7.4

Annexe n°4: Etapes de l'évaluation de l'activité antibactérienne



Figure n°21: Préparation des milieux de culture



Figure n°22 : Standardisation d'inoculum



Figure n°23: Stérilisation d'extrait méthanolique d'OFI



Figure n°24 : Réalisation de l'aromatogramme

Annexe n°5 : Appareillages et autres utilisé dans l'expérience



Balance électrique



Pied à colliers



Dessiccateur



Tamis



Agitateur



Vortex



Étuve



Bain Marie



Four à moufle



Broyeur électrique



Extracteur Soxhlet



Évaporateur rotatif



pH mètre



Conductimètre



**Montage pour
l'Hydrodistillation**



Spectrophotomètre à flamme



**Spectrophotomètre
UV**



Spectrophotomètre visible



Autoclave



**Microscope
optique**



Micropipette

Résumé :

L'objectif de cette étude consiste à explorer le potentiel thérapeutique de la cladode de *Opuntia ficus indica inermis* de la région de Tiaret. En premier lieu une étude de synthèse a été menée où nous avons recensé 03 effets dominants : effet hypolipidémiant, effet hypoglycémiant et effet antioxydant. Pour confirmer ce potentiel, une caractérisation physicochimique, phytochimique et une évaluation d'effet antibactérien ont été réalisées. Les analyses physico-chimiques et phytochimiques ont montré que les raquettes d'*Opuntia* jeune et âgée sont riches en eau, en minéraux (K^+ et Ca^{++}) et en fibres, mais la quantité protéines brutes est faible. Quant aux composés phytochimiques de la cladode jeune : polyphénols et flavonoïdes sont de 36.4 (mg EAG/g MS), et de 16.6 (mg EQ/g MS) respectivement. La cladode âgée contient 17.6 mg EAG/g MS et 15.35 mg EQ/g MS respectivement. Le screening phytochimique a révélé la présence des tanins, des stéroïdes et des sucres réducteurs sont détectés. Le test antibactérien montre des diamètres de la zone d'inhibition situés entre 09 et 20 mm ; où l'extrait méthanolique d'*O. f. indica a* dévoilé une activité antibactérienne importante vis-à-vis *S. aureus* et *E. coli* et que *P. aeruginosa* semble être peu résistante. En dernier la variabilité des résultats peut être attribuée à la région, à l'effet saison, aux conditions agroécologiques, à la variabilité génétique du végétal.

Mots clés : Cladodes d'*Opuntia ficus indica inermis*, potentiel thérapeutique, physico-chimique, phytochimique, antibactérien.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن الإمكانات العلاجية للزروع اللسواء للشوكية (*Opuntia ficus indica inermis*) في منطقة تيارت. في البداية، تم إجراء دراسة تجميعية حيث تم سرد 03 تأثيرات مهيمنة: تأثير خفض الدهون، تأثير خفض السكر، وتأثير مضاد للأكسدة. لتأكيد هذا الإمكانات، تم إجراء تحليل كيميائي فيزيائي، كيميائي نباتي، وتقييم تأثير مضاد للبكتيريا. أظهرت التحليلات الكيميائية والفيزيائية والكيميائية النباتية أن الشوكيات الشابة والكبيرة غنية بالماء، المعادن (K^+ و Ca^{++})، والألياف، لكن البروتين الخام منخفض. أما المركبات الكيميائية للشوكيات الشابة: الفينولات والفلونويدات هي 36.4 (مجم EAG/جم MS)، و 16.6 (مجم EQ/جم MS) على التوالي. الشوكيات الكبيرة تحتوي على 17.6 مجم EAG/جم MS و 15.35 مجم EQ/جم MS على التوالي. فحص كيميائي نباتي كشف عن وجود التانينات، الستيرويدات، والسكريات المختزلة. اختبار مضاد للبكتيريا يظهر أقطار مناطق التثبيط تتراوح بين 09 و 20 ملم؛ حيث أظهرت المستخلصات الميثانولية لـ *O. f. indica a* نشاطاً مضاداً للبكتيريا الهاماً تجاه *S. aureus* و *E. coli*، بينما *P. aeruginosa* تبدو مقاومة. أخيراً، يمكن أن تتغير النتائج بناءً على المنطقة، الموسم، والظروف البيئية، والتنوع الجيني للنبات.

أظهرت النتائج الكيميائية والفيزيائية والكيميائية النباتية أن الشوكيات الشابة والكبيرة غنية بالماء، المعادن (الكالسيوم والبيوتاسيوم) وكذا الألياف، ولها نسبة البروتين الخام المنخفضة. أما المركبات الكيميائية للشوكيات الشابة: الفينولات والفلونويدات هي 36.4 (مجم EAG/جم MS)، و 16.6 (مجم EQ/جم MS) على التوالي. الشوكيات الكبيرة تحتوي على 17.6 مجم EAG/جم MS و 15.35 مجم EQ/جم MS على التوالي. فحص كيميائي نباتي كشف عن وجود التانينات، الستيرويدات، والسكريات المختزلة. اختبار مضاد للبكتيريا يظهر أقطار مناطق التثبيط تتراوح بين 09 و 20 ملم؛ حيث أظهرت المستخلصات الميثانولية لـ *O. f. indica a* نشاطاً مضاداً للبكتيريا الهاماً تجاه *S. aureus* و *E. coli*، بينما *P. aeruginosa* تبدو مقاومة. أخيراً، يمكن أن تتغير النتائج بناءً على المنطقة، الموسم، والظروف البيئية، والتنوع الجيني للنبات.

تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن الإمكانات العلاجية للزروع اللسواء للشوكية (*Opuntia ficus indica inermis*) في منطقة تيارت. في البداية، تم إجراء دراسة تجميعية حيث تم سرد 03 تأثيرات مهيمنة: تأثير خفض الدهون، تأثير خفض السكر، وتأثير مضاد للأكسدة. لتأكيد هذا الإمكانات، تم إجراء تحليل كيميائي فيزيائي، كيميائي نباتي، وتقييم تأثير مضاد للبكتيريا. أظهرت التحليلات الكيميائية والفيزيائية والكيميائية النباتية أن الشوكيات الشابة والكبيرة غنية بالماء، المعادن (K^+ و Ca^{++})، والألياف، لكن البروتين الخام منخفض. أما المركبات الكيميائية للشوكيات الشابة: الفينولات والفلونويدات هي 36.4 (مجم EAG/جم MS)، و 16.6 (مجم EQ/جم MS) على التوالي. الشوكيات الكبيرة تحتوي على 17.6 مجم EAG/جم MS و 15.35 مجم EQ/جم MS على التوالي. فحص كيميائي نباتي كشف عن وجود التانينات، الستيرويدات، والسكريات المختزلة. اختبار مضاد للبكتيريا يظهر أقطار مناطق التثبيط تتراوح بين 09 و 20 ملم؛ حيث أظهرت المستخلصات الميثانولية لـ *O. f. indica a* نشاطاً مضاداً للبكتيريا الهاماً تجاه *S. aureus* و *E. coli*، بينما *P. aeruginosa* تبدو مقاومة. أخيراً، يمكن أن تتغير النتائج بناءً على المنطقة، الموسم، والظروف البيئية، والتنوع الجيني للنبات.

الكلمات المفتاحية : لزروع لسواء الشوكية (*Opuntia ficus indica inermis*) ، وفيتامينات، كبريتات، ومضاد للبكتيريا.

مضاد للبكتيريا.