

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche
Scientifique.**

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologique et des Sciences Agronomique

Département de Biochimie-Microbiologie



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Thème

**Caractérisation physicochimique des
cladodes du figuier de barbarie**

Présenté par : KHADIR Sid Ali

FAREZ Yanis

Devant le jury :

Promotrice : DERMECHE S.

Maitre de conférences à l'UMMTO

Président : TITOUCHE Y.


Maitre de conférences à l'UMMTO

Examinatrice : LEKSIR C.

Maitre de conférences à l'UMMTO

Année : 2022/2023

Remerciements



Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience nécessaire afin de mener notre travail à son terme.

En second lieu, nous adressons nos remerciements à notre encadrante Mlle. DERMECHE Samia pour avoir accepté de nous prendre sous son aile et de nous avoir tutoré dans la mise en œuvre de notre projet de fin d'étude. Son expérience et ses connaissances nous ont été d'un immense secours et nous ont permis de franchir tous les obstacles rencontrés pendant la réalisation de notre travail tandis que ses conseils bienveillants nous ont permis d'aller de l'avant et de garder la tête froide en toutes circonstances.

Nous tenons également à adresser nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail, qui nous permettent d'améliorer ce document et d'y apporter leur caution, à Monsieur TITOUCHE qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury, à l'examinatrice Madame LEKSIR de nous avoir accordé leur temps si précieux afin d'examiner le fruit de notre labeur et d'avoir bien voulu faire partie du jury.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles pour nous avoir soutenus dans les moments difficiles aussi bien moralement que financièrement, ainsi qu'à tous nos amis (es) et tous ceux qui ont apporté une contribution de près ou de loin dans la réalisation de notre projet.





Dédicaces

A mes chers parents

Aucune dévotion n'est suffisante pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi depuis ma naissance.

Je vous dédie ce travail, et je vous remercie pour le soutien, les sacrifices et les conseils judicieux que vous avez apportés pour moi durant ces années d'études, que Dieu vous prête bonheur, santé et longue vie.

A mes frères

Qui ont toujours été là pour moi et qui m'ont toujours soutenu.

A mes sœurs

Qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille

A mes amis et collègues

Ce travail est dédié également à tous mes amis de près et de loin qui m'ont encouragé et qui m'ont guidé et m'orienté, et qui m'ont donné de la vivacité.



Sid Ali



Dédicaces

Je dédie ce présent travail :

A mes chères parents

*Qui ont toujours été présent pour m'encourager durant ces années d'études,
qu'ils retrouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.*

A ma chère sœur

*Qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse
atteindre mes objectifs.*

A ma famille

A mes amis

Merci à tous



Yanis

Introduction	1
Synthèse Bibliographique.....	3
1.1. Origine et répartition géographique	4
1.2. Taxonomie du figuier de Barbarie.....	5
1.3. Description botanique du figuier de Barbarie	6
1.3.1. Cladodes.....	6
1.3.2.Fruit.....	7
1.3.3.Fleurs	7
1.3.4.Graines	8
1.4 Variété du figuier de barbarie.....	8
1.4.1. Variété épineuse	8
1.4.2 Variété inerme	8
1.5. Composition chimique des cladodes	9
1.5.1. Composés minéraux.....	9
1.5.2. Acides aminés	9
1.5.3. Acide gras.....	11
1.5.4. Acides organiques.....	11
1.5.5. Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles	12
1.6. Valorisation biotechnologique.....	12
1.6.1. Usage médicale et pharmaceutique	13
1.6.2. Usage cosmétique.....	13
1.6.3. Usage agro-alimentaire	14
1.7. Activités biologiques des cladodes de figuier de barbarie.....	17
1.7.1. Activité antibactérienne	18
1.7.2. Activité antioxydant	19
1.7.3. Activité antifongique.....	20

Matériel et méthodes	22
2.1. Matériel et méthodes.....	23
2.1.1. Matériel végétal	23
2.1.2. Matériel instrumental et réactif chimique.....	24
2.2. Méthodes et protocoles expérimentaux.....	25
2.2.1. Extraction de la peau et du mucilage	26
2.2.2. Teneur en matière organique et en cendres	26
2.2.3. Taux d'humidité	27
2.2.4. Dosage des polyphénols totaux.....	28
2.3. Evaluation de l'activité antioxydante	30
2.4. Evaluation de l'activité antifongique.....	32
2.5. Evaluation de l'activité antibactérienne(Antibiogramme).....	33
Résultats et discussion	35
3.1 Teneur en humidité	36
3.2 Teneur en cendre	37
3.3 Teneur en matière sèche	39
3.4 Matière organique volatile	40
3.5 Le Rendement en mucilage	42
3.6 Teneur en matière sèche	43
3.7 Activité antioxydante des extraits des cladodes	45
3.8 Evaluation de l'activité antifongique	46
3.9 Evaluation de l'activité antibactérienne.....	48
Conclusion.....	51
Références Bibliographique	54

Liste des figures

Figure 1	Distribution géographique du figuier de barbarie.	5
Figure 2	Cladode du figuier de barbarie	6
Figure 3	Fruit de figuier de barbarie	7
Figure 4	Fleur du figuier de barbarie	7
Figure 5	Graines du figuier de barbarie	8
Figure 6	Deux espèces du figuier de barbarie appartenant au genre <i>Opuntia</i> (A : forme inerme/ B : forme épineuse)	9
Figure 7	Schéma présentatif des activités biologiques des cladodes d'OFI	18
Figure 8	Lieu de récolte	23
Figure 9	Les différentes étapes de la séparation de la peau du mucilage	26
Figure 10	Les étapes d'extraction des phénols totaux de la peau et du mucilage des cladodes	29
Figure 11	Teneur en humidité de la couche supérieure et interne des échantillons	36
Figure 12	Teneur en humidité des fibres	37
Figure 13	Teneur en cendre de la couche supérieur et interne des échantillons	38
Figure 14	Teneur en cendre des fibres	38
Figure 15	Teneur en matière sèche de la couches supérieure et interne des échantillons	39
Figure 16	Teneur en matière sèche des fibres	40
Figure 17	Teneur en matière organique volatile de la couche supérieur et interne des échantillons	41
Figure 18	Teneur en matière organique volatile des fibres	41
Figure 19	Rendement en mucilage des échantillons	42
Figure 20	Aspect du mucilage lors des étapes d'extraction et de séchage des échantillons ((A) : Mucilage humide. /(B) : Mucilage sec).	43
Figure 21	Matière sèche g/g de matière humide de la couche supérieure et interne des échantillons	44
Figure 22	Matière sèche g/g de matière humide de fibres contenus dans les échantillons	45
Figure 23	Pourcentage d'inhibition du DPPH par les différents extraits	46
Figure 24	Résultats obtenu vis-à-vis de la souche <i>Aspergillus niger</i> Figure 25 Résultats du test de l'activité antibactérienne obtenus vis-à-vis de la souche <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 (1), <i>Pseudomonas</i> ATCC 27853 (2) et <i>Bacillus</i> ATCC 14575 (3). A) : EPSEP; B) : MBSEP; C): MBEP ; D) : MBCEP	50

Liste des abréviations

Ofi: Opuntia ficus-indica.

DPPH: 2, 2-diphényl 1-picrylhydrazyle.

DMSO : Diméthylsulfoxyde.

MS : Matière sèche.

C° : Degré Celsius.

MO : Matière organique.

EPSEP+DMSO : Extrait à l'acétate d'éthyle du cladode sans épines solubilisé dans du DMSO à 10%.

MBSEP : Mucilage brut extrait de cladode sans épine de la région de Mdouha.

MBEP : Mucilage brut extrait de cladode avec épine de la région de Maatkas.

MBCEP : Mucilage brut, chauffer au bain marie, extrait de cladode avec épines.

EPSEP : extrait phénolique solubiliser dans le dimethyl sulfoxide.

Liste des tableaux

I.I	Tableau de Principaux composants des cladodes du figuier de barbarie.....	9
I.II	Tableau de Répartition des minéraux dans le cladode d' <i>O. ficus-indica</i>	10
I.III	Tableau de Répartition des acides aminés dans le cladode d' <i>O. ficus-indica</i> ..	10
I.IV	Tableau de Composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de barbarie.....	11
I.V	Tableau de Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récoltes.....	12
I.VI	Tableau de Composition des cladodes de figuier de barbarie en vitamines.....	12
I.VII	Tableau d'utilisation agroalimentaire des différentes parties de figuier de barbarie	15
I.VIII	Tableau de Formes d'utilisation de figuier de barbarie.....	17
I.IX	Tableau de Consommable et réactif chimique	24
I.X	Tableau de Matériel utilisé	25
I.XI	Tableau des concentrations des extraits testés en polyphénols.....	45
I.XII	Tableau de Résultats des tests des activité antifongique des extraits sur les champignons cibles après 10j d'incubation	47
I.XIII	Tableau de Résultats des tests des activités antibactériennes des extraits sur les souches ciblées.....	49

Résumé

Le figuier de barbarie, également connu sous le nom d'*Opuntia ficus indica* est originaire du Mexique, cette plante possède de multiples propriétés médicinales, alimentaires et industrielles nécessitant des études approfondies sur leurs composants. Dans ce contexte l'objectif de cette étude est d'évaluer les activités biologiques à savoir l'activité antioxydante, antifongique et antibactérienne des composés phénoliques et du mucilage extraits de cladodes du figuier de barbarie. Le rendement moyen en mucilage était de l'ordre de 5,5mg/g de matière fraîche du cladode épineux. Afin d'évaluer l'activité antioxydante, le test DPPH (2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle) a été effectué. Les extraits ont exprimé une activité appréciable avec un pourcentage d'inhibition qui varie de 65,75% à 78%. L'activité antibactérienne démontre que les extraits n'ont aucune activité vis-à-vis des souches testées. Concernant, l'activité antifongique aucune inhibition n'a été observée, mais par contre une décoloration du mycélium a été constatée pour *Aspergillus niger*.

La présente étude a donné des résultats très encourageants sur le plan de l'activité antioxydante et l'extraction du mucilage.

Mots clés : Figuier de barbarie, activité antioxydante, composés phénoliques, mucilage.

Abstract

The prickly pear, also known as *Opuntia ficus indica*, is native to Mexico and has a wide range of medicinal, food and industrial properties, requiring in-depth studies of its components. In this context, the aim of this study was to evaluate the biological activities, i.e. the antioxidant, antifungal and antibacterial activity of phenolic compounds and mucilage extracted from prickly pear cladodes.

The average yield of mucilage was around 0.0055g/g of fresh prickly pear cladode material. To assess antioxidant activity, the DPPH (2,2-diphenyl 1-picrylhydrazyl) test was carried out. The extracts showed appreciable activity, with a percentage of inhibition ranging from 65.75% to 78%. Antibacterial activity showed that the extracts had no activity against the strains tested. With regard to antifungal activity, no inhibition was observed, but a discolouration of the mycelium was observed for *Aspergillus niger*.

The present study gave very encouraging results in terms of antioxidant activity and mucilage extraction.

Key words: Prickly pear, antioxidant activity, antifungal activity, antibacterial activity, mucilage.

Introduction

Introduction générale

Aujourd'hui, la consommation d'aliments d'origine végétale pose un problème de santé publique car le lien entre qualité des aliments et santé est reconnue. Les plantes contiennent des groupes majeurs de molécules bioactives : polyphénols, des vitamines et des caroténoïdes à forte activité antioxydante, et l'étude de ces composants a montré un grand intérêt.

Le figuier de barbarie est une plante originaire du Mexique, il a été introduit dans le sud de l'Espagne suite à la première expédition de Christophe Colomb dans le nouveau monde. Il s'est ensuite répandu dans tout le bassin méditerranéen au 17^{ème} siècle (Bouzoubaâ Z *et al.*, 2014).

C'est une plante tropicale ou subtropicale cultivée dans des climats arides, tel que la méditerranée et l'Amérique centrale (Ginestra *et al.*, 2009). La recherche scientifique a permis la redécouverte de cette plante et de ces propriétés ; des études récentes ont démontré la présence de composé phytochimique dans différentes parties de cette plante. Il est une source d'une immense richesse allant de sa raquettes (cladode) jusqu'à ses fruits et ses graines (Guo *et al.*, 2003).

En effet, les composés phytochimiques et les molécules actives qui composent cette espèce permettent de lutter efficacement contre différentes maladies telles que le cholestérol, le diabète et l'artériosclérose (Boutakiout, 2015). Par ailleurs, d'autres composés du cactus notamment le mucilage dont les bienfaits sont exploités dans divers domaines tels que l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire. Il peut être considéré comme un composant à potentiel industriel, comme une source de sucre pour la production de bioéthanol et de biogaz (Ginestra *et al.*, 2009).

En Algérie, il n'y a pas encore suffisamment d'attention portée à cette culture, en particulier à sa forme inerme qui présente un potentiel inexploité pour l'alimentation animale et maraîchère. Néanmoins certaines opérations, menées par le Haut-commissariat pour le développement de la steppe (HCDS) dans le cadre de la préservation et de valorisation des régions steppiques et sensibles à la dégradation, ont connu des résultats encourageants. Cela démontre tout l'intérêt du figuier de barbarie, qui offre un large éventail de possibilités d'exploitation (Hadj Sadok , 2010).

Dans cette étude on s'intéresse au genre *Opuntia* de la famille des Cactacées, et plus précisément aux cladodes de l'espèce *ficus indica*. L'objectif de ce travail scientifique est d'évaluer in vitro quelques activités biologiques des extraits phénoliques de cladodes et de leur mucilage.

Introduction générale

Le contenu de ce mémoire se compose de trois chapitres, le premier porte sur une étude bibliographique qui regroupe quelques notions de bases en botanique sur le figuier de barbarie, une description détaillée sur la composition chimique de la plante (sucre, protéines ...) et une documentation sur la valorisation biotechnologique des cladodes de *l'Opuntia ficus indica*. Le second concerne le matériel et les méthodes utilisés dans ce travail, et le dernier chapitre englobe les résultats obtenus et leur discussion.

Enfin, le présent travail se termine par une conclusion.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

1.1. Origine et répartition géographique

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est originaire du Mexique (Bouzoubaâ *et al.*, 2014), où il pousse depuis des milliers d'années. Cependant, il a été introduit dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique du nord, en Europe du sud et en Amérique du sud, où il s'est adapté aux climats chauds et secs.

En Afrique du nord, les figues de barbarie sont cultivées principalement en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Il a été introduit dans la région par l'arrivée des espagnols au XVI^e siècle (Malanine *et al.*, 2001), et depuis cultivé pour son fruit comestible.

Dans le sud de l'Europe, ce fruit est principalement cultivé en Espagne, en Grèce et en Italie, où il est apprécié pour son fruit sucré et sa résistance à la sécheresse.

En Algérie, la terre dédiée à la culture du figuier de barbarie s'étend sur plus de 30000 ha dans 60% dans la commune de Sidi-Fredj (45km au nord de Souk Ahras) et le reste à Ouled Mimoune (Huff post Algérie, 2015).

Dans le nord, *Opuntia ficus-indica* est utilisé comme barrière des maisons et des petites villes. Les barrières végétales sont également utilisées dans la production de fruits destinés à la vente sur le marché pour la consommation humaine. Dans le sud, les cladodes d'*Opuntia* sont une source d'alimentation pour les petits ruminants et les dromadaires. (FAO,2018)

Aujourd'hui, les cactus sont largement cultivés dans plusieurs régions dans le monde. La plante peut pousser dans sols pauvres et rocaillieux, et est souvent utilisée pour lutter contre l'érosion et la régénération des espèces naturelles (Habibi ,2004).

Le figuier de barbarie est également connu par sa résistance aux conditions climatiques difficiles (sols pauvres, rareté de l'eau, températures élevées) (Mzarie & Mahdeb 2020). Ce qui fait une plante utile dans les régions arides et semi arides.

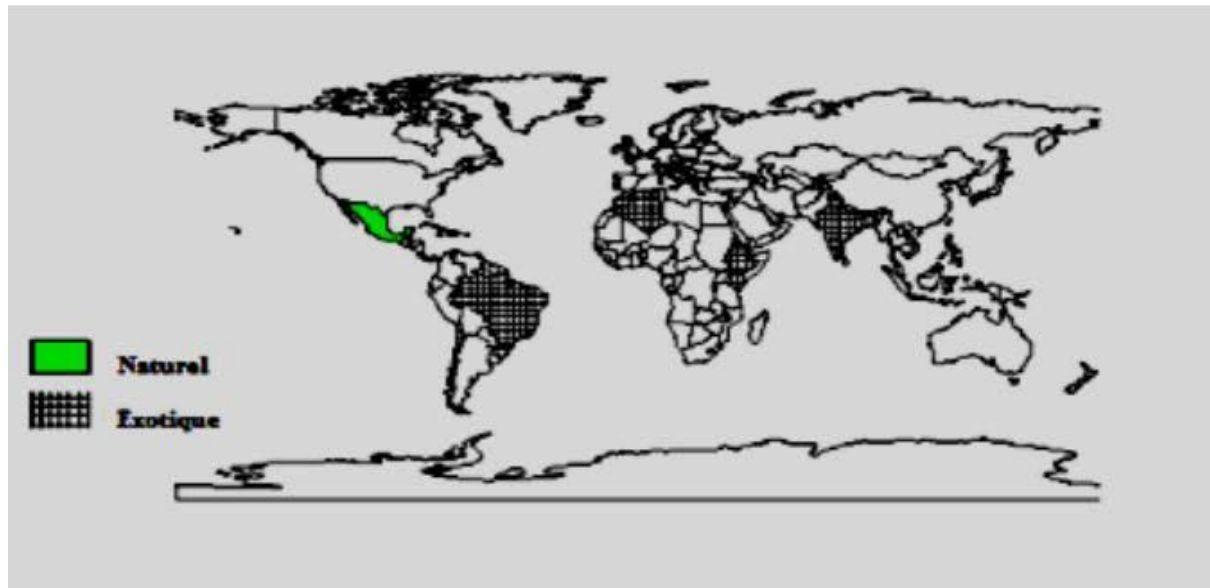


Figure 01. Distribution géographique du figuier de barbarie (Neffar,2012)

1.2. Taxonomie du figuier de barbarie

Le genre *Opuntia* a été classé par de nombreux auteurs. La classification considérée de loin comme la plus valable est sans doute celle élaborée par Britton et Rose (1963) :

- ✓ **Règne :** plantae
- ✓ **Sous règne :** tracheobionta
- ✓ **Division :** magnoliophyta
- ✓ **Classe :** magnoliopsida
- ✓ **Sous classe :** caryophyllidae
- ✓ **Ordre :** caryophyllales
- ✓ **Famille :** Cactaceae
- ✓ **Sous-famille :** opuntioideae
- ✓ **Tribu :** opuntieae
- ✓ **Genre :** *Opuntia*
- ✓ **Espèce :** *Opuntia ficus indica* (L.) Mill

Le genre *Opuntia* fait partie de la famille des Cactaceae, ordre Caryophyllales, sous-classe des Caryophyllidae. Le groupe des Opuntieae comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sous-genre *Platyopuntia* englobe 150 à 300 espèces, dont la série des *Ficus-indicae* qui comprend l'*Opuntia ficus-indica* Mill. (Mulas & Mulas 2004).

L'Opuntia ficus-indica fait partie des cactées qui ont une grande importance agronomique, tant pour leur fruit comestible que pour les raquettes qui peuvent être utilisées comme fourrage. (Mulas & Mulas 2004)

1.3. Description botanique du figuier de barbarie

Le figuier de barbarie est une plante arborescente pouvant atteindre une hauteur de 3 à 5 mètres, dont les tiges sont aplaties en forme de raquettes reliées les unes aux autres (Khédira & Goetz 2018). C'est une plante intéressante en raison des conditions environnementales dans lesquelles elle pousse et sa tolérance aux conditions climatiques extrêmes par sa capacité à emmagasiner, dans les organes succulents, de grandes quantités d'eau. (Boutakiout, 2015) Chaque partie de la plante possède ces propres caractéristiques que ce soit au niveau morphologique ou fonctionnelle (Chougi *et al.*, 2015).

1.3.1. Cladodes

Les raquettes, appelées aussi cladodes, mesurent entre 30 et 40 centimètres de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur. Caractérisées par une couleur verte elles sont reliées les unes aux autres. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse qui permet de protéger la plante et de limiter les pertes en eau tout en assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles. (Boutakiout, 2015)



Figure 02. Cladode du figuier de barbarie (Habibi 2004)

1.3.2. Fruit

Le fruit d'OFI est une baie charnue ovoïde ou piriforme pourvue d'épines, caractériser par une couleur verdâtre ou jaunes à maturité. La pulpe du fruit est toujours juteuse, de couleur jaune□orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines (libre ou adhérentes à la pulpe). (Habibi, 2004)



Figure 03. Fruits du figuier de barbarie (Chougi et *al.*, 2015).

1.3.3. Fleurs

Les fleurs d'OFI sont hermaphrodites avec une corolle de couleur jaune ou orange (Mulas & Mulas, 2004), et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante qui se situent à la face la plus exposée au soleil (Habibi, 2004).



Figure 04. Fleur du figuier de barbarie (Habibi, 2004).

1.3.4. Graine

Les Graines du figuier de barbarie présentent un potentiel considérable de variation de forme, taille, caractéristique de l'embryon. Ces graines représentent 10-15% des aliment comestibles. Certains auteurs ont signalé une grande différence dans le nombre de graines, de 1-5 à plus de 2000 par fruits (Feugang *et al.*, 2006).



Figure 05. Graine du figuier de barbarie (Habibi 2004)

1.4. Variétés du figuier de barbarie

Les variétés du cactus se devise en deux groupes (Araba *et al.*, 2000)

1.4.1. Variété épineuse

La variété épineuse est caractérisée par la présence de grandes épines sur les tiges et les fruits. Les épines peuvent atteindre plusieurs centimètres, il parait que c'est une variété qui entre en production tardivement après la 6ème ou la 7ème année de plantation. (Araba *et al.*, 2000)

1.4.2. Variété inermes

Cette variété est souvent préférée pour sa facilité de manipulation et de récoltes pour les fruits, elle est souvent domestiquée et cultivées sur des surfaces limitées. Les plants issus de semis sont épineux la première année et les aiguillons disparaissent au fur et à mesure à partir de la deuxième année. (Araba *et al.*, 2000)



(A)

(B)

Figure 06. Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre *Opuntia* (A : forme inerme / B : Forme épineuse) (Boutakiout, 2015)

1.5. Composition chimique des cladodes

La composition chimique des cladodes varie selon plusieurs facteurs tel que : l'endroit de culture, l'âge de la plante et les conditions édaphiques. Par conséquent les teneurs en élément nutritif ne devraient pas être prises comme des valeurs absolues (Boutakiout, 2015).

Tableau 1. Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie

(Boutakiout, 2015).

Composant	Matière sèche (g/100g)	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendre	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéine	4-10	0,5-1
Lipides	1-4	0,2

1.5.1. Composés minéraux

Selon El-Mostafa *et al.* (2014), les principaux minéraux présents dans le cladode sont le potassium avec une teneur de (2.35–55.20 mg/100g) et le calcium avec une teneur de (5.64–17.95).

Tableau 02. Répartition des minéraux dans le cladode d'O. ficus-indica (El-Mostafa *et al.*,2014).

Minéraux	Teneur (mg/100g MS)
Calcium	5,65-17,95
Oxalate de calcium	11,5 à 4,3
Magnésium	8,80
Sodium	0,3-0,4
Potassium	2,33-55,20
Fer	0,09
Phosphores	0,15-2,59
Zinc	0,08
Manganèse	0,19-0,29

1.5.2. Acides aminés

Le principal acide aminé présent dans le cladode du figuier de barbarie est la glutamine suivie de leucine, lysine, valine, arginine, phénylalanine et isoleucine (El-Mostafa *et al.*,2014).

Tableau 03. Répartition des acides aminés dans le cladode d'O. ficus-indica (El-Mostafa *et al.*,2014).

Acide aminé	Teneur (g/100g)
Alanine	1,25
Arginine	5,01
Asparagine	3,13
Acide aspartique	4,38
Acide glutamique	5,43
Glutamine	36,12
Cystine	1,04
Histidine	4,18
Isoleucine	3,97
Leucine	2,71
Lysine	5,22
Méthionine	2,92
Phénylalanine	3,55
Sérine	6,68
Thréonine	4,18
Tyrosine	1,14
Tryptophane	1,04
Valine	7,72

1.5.3. Acides gras

L'analyse chromatographique des lipides totaux extrait à partir des cladodes du figuier de barbarie montrent que l'acide palmitique (C16 :0), l'acide linoléique (C18: 2), l'acide oléique (C18: 1) et l'acide linoléique (C18: 3) représente plus de 90% des acides gras totaux. (Boutakiout, 2015).

Tableau 04. Composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie

(El-Mostafa *et al.*, 2014).

Acides Gras	Teneur (g/100g Ms)
C12 :0	1.33
C14 :0	1.96
C16 :0	13.87
C16 :1	0.24
C18 :0	3.33
C18 :1	11.16
C18 :2	34.87
C18 :3	33.23
C20 :0	-
C22 :0	-
C22 :1	-
C24 :0	-

1.5.4. Acides organiques

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg /100g de poids frais. Par contre, les cladodes âgés ne contiennent plus d'acide malonique. Seules des traces d'acide tartrique et d'acide succinique ont été retrouvées. Le tableau (5) ci-dessous montre la composition des cladodes en acides organiques.

Tableau 05. Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récoltes (Stintzing *et al.*,2001).

Acides organiques	Poids frais (mg/100g)	
	6h (du matin)	18h (l'après-midi)
Acide oxalique	35	35
Acide malique	985	85
Acide citrique	178	31
Acide malonique	36	Traces
Acide succinique	Traces	Traces
Acide tartrique	Traces	Traces

1.5.5. Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles

Les cladodes du figuier de barbarie, particulièrement ceux du stade jeune, sont riches en vitamines notamment la vitamine C dans la teneur s'élevé jusqu'à 22mg (tableau 6) (Moussaoui 2020).

Les caroténoïdes sont les pigments les plus réponsus, ils ont été identifiés dans les micro-organismes photosynthétiques et non photosynthétiques. Les caroténoïdes sont responsables de certaines couleurs tel que le rouge, jaune et l'orange (Delgado-vargas & Jiminez & Paresdes-Lopez, 2000).

Le tableau 06 si dessous le montre :

Tableau 06. Composition des cladodes de figuier de barbarie en vitamines

(Moussaoui,2020).

Vitamines	Teneurs (mg/100g)
Vitamine C totale	7-22
Niacine	0,46 mg
Riboflavine	0,60 mg
Thiamine	0.14 mg
B-carotène	11,3-53 µg

1.6. Valorisation des cladodes du figuier de barbarie

Malgré les avantages que le figuier de barbarie présente, peu d'intérêt lui a été accordé. Cette plante pourra faire l'objet d'un choix, au niveau mondial, afin de mettre fin à la famine et

à la malnutrition. Ainsi le figuier de barbarie est considéré comme “aliment du futur“ pour un grand nombre d’habitants et comme une denrée de bon marché pour les personnes dont le revenu est limité (Doukkane et Bouchaib, 2006).

Le figuier de barbarie se caractérise par la présence de la majorité des éléments dont notre organisme a besoin pour son bon fonctionnement. Elle est utilisée dans différents domaines : médicale et pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique.

1.6.1. Usage médicale et pharmaceutique

Les cladodes du figuier de barbarie sont utilisés en médecine populaire, pour traiter la gastrite, la fatigue, la dyspnée et des maladies hépatiques dues à l’abus d’alcool (Stintzing et Carle, 2005). Les cladodes chauffés s’avèrent très efficaces contre le rhumatisme, les érythèmes et les infections chroniques de la peau, mais également pour faciliter la digestion (MUNOZ DE Chavez *et al.*, 1995)

Ils ont un rôle primordial dans le traitement d’un certain nombre de maladie, telle que les effets anti-inflammatoires, antioxydantes, les effets neuro protecteurs et les effets hypoglycémiques ainsi que l’inhibition des ulcérations gastriques (Manpre *et al.*, 2012).

Le fruit est souvent utilisé pour prévenir diverses maladies telles que le diabète, les troubles cardiovasculaires, les infections de l’appareil urinaire et les troubles digestifs en raison de ses propriétés nutritionnelles bénéfiques pour la santé. (Arba., 2009)

La fleur est connue pour ses propriétés bénéfiques en tant que remède naturel contre le dysfonctionnement de la prostate et les insuffisances rénales. (Rabemanantsoa., 2010)

En plus, le mucilage présente une activité antiulcéreuse en raison de sa capacité à protéger contre les ulcères gastriques (Galati *et al.*, 2002). La tige a la capacité d’inhiber la réplication intracellulaire de certains virus à ADN et à ARN tels que le virus de l’herpès simplex de type 2, le virus de l’herpès équin, le virus de la pseudorange, le virus de la grippe, le virus de la maladie respiratoire syncytiale ainsi que le VIH-1. (Ahmad *et al.*, 1996).

Le cladode peut inhiber la prolifération des lignées cellulaires du cancer du col de l’utérus, de l’ovaire et de la vessie in vitro, et de supprimer la croissance tumorale chez la souris modèle de cancer de l’ovaire in vivo. (Loro *et al.*, 1999 ; Sreekanth *et al.*, 2007), ainsi connu pour atténuer les symptômes de la gueule de bois tels que les nausées, la bouche sèche et l’anorexie (Wiese *et al.*, 2004). Il est reconnu pour son efficacité dans le contrôle du taux de sucre et de cholestérol dans le sang (Fernandez *et al.*, 1990)

Les nouvelles technologies ont démontré la possibilité de production des aliments naturels sous forme de gélules ou capsules, qui ont des fonctions thérapeutiques pour les différents problèmes (Bouttakiout, 2017).

1.6.2. Usage cosmétique

Le figuier de barbarie est utilisé depuis des décennies par les femmes berbères et indiennes du continent américain pour ses vertus cosmétiques. Les femmes berbères utilisaient l'huile pour cicatriser et pour protéger leur peau du vent brûlant du désert (Benattia, 2017). Pour soigner leurs mains malmenées par les rudes travaux auxquels elles sont soumises, les femmes Indiennes préparent du savon et des onguents à base de mucilage de Nopal et de jus de tuna. Elles préservent de la même manière leur visage agressé par le soleil (Schweizer, 1997).

Le mucilage extrait des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, crèmes dermiques, des laits hydratants ainsi que des crèmes capillaires (Ennouri *et al.*, 2006).

1.6.3. Usage agro-alimentaire

Le figuier de barbarie joue un rôle important dans l'alimentation, ces différentes parties sont bénéfique soit pour l'homme et les animaux ou pour la protection de notre environnement.




Le tableau suivant (tableau 07) montre quelques utilisations agroalimentaires de différentes parties de cette plante.




Tableau 07. Utilisation agro-alimentaire des différentes parties du figuier de barbarie.

Les formes d'utilisation de figuier de barbarie ce diffère, le tableau 08 montre quelques formes de son utilisation.

Partie utilisée	Utilisations	Références
Fruit	<ul style="list-style-type: none"> -Substitut de l'eau potable. -Aliment de base en cas de famine. -Utilisation comme colorant naturel et édulcorant. -Fabrication de jus, de confitures, marmelades et des Huiles. -Colorant naturel et édulcorant. -Production de pectine. - Transformé en sirop, caramel ou fromage. 	<p>(Rabemanantsoa, 2010 ; Alimi <i>et al.</i>, 2010)</p> <p>(Stintzing <i>et al.</i>, 2005).</p> <p>(Filannino <i>et al.</i>, 2016).</p>
Fleur	<ul style="list-style-type: none"> -Source nutritive très appréciée pour les abeilles(l'apiculture). 	<p>(Arba., 2009).</p>
Cladode	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation en tant que légumes. -Barrière contre la désertification et l'érosion des sols. -Complément alimentaire pour les bovins et les ovins. -La fabrication de conserves qui utilisent du vinaigre comme ingrédient principal. -Complément alimentaire destiné aux bovins et les ovins. -Converti en farine pour substituer celle de blé dans la préparation de cookies. 	<p>(Del-Vall <i>et al.</i>, 2005)</p> <p>(Hadj Sadok, 2010)</p>
Graine	<ul style="list-style-type: none"> -Production de farine. 	<p>(Ennouri <i>et al.</i>, 2006)</p>

Tableau 08. Formes d'utilisation de figuier de barbarie (Temagoult ,2017).

Forme	Description	Photographies
Jus	<p>-produit a un goutte et un parfum agréable, obtenu du fruit sans ajout d'eau ni de sucre, donne une délicieuse boisson.</p>	
Huile de pépins	<p>-un taux important d'acide linoléique et un faible taux d'acide linoléique.</p> <p>-Obtenue par pression à froid des graines de figue de barbarie.</p> <p>-Taux élevée en antioxydants.</p>	
Farine de cladode	<p>-Contient 16.5 % de protéines et 48 % de fibres.</p> <p>-Riche en acides gras essentiels, stérols et vitamine E.</p>	
Confiture	<p>-préparation consistant en fruits, laissés entiers ou ayant subi un traitement, et cuits avec du sucre pour les conserver.</p>	

		
Vinaigre	<ul style="list-style-type: none"> -A plusieurs qualités nutritives. -Extrait de la pulpe de figue de barbarie. -Il a un arôme riche, savoureux et fruité avec une légère acidité et avec un goût très raffiné. 	
Poudre de cladode	<ul style="list-style-type: none"> -Riche en fibres ainsi qu'en acides aminés et en vitamines. -une source concentrée de nutriments. -un complément alimentaire dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et équilibré. 	

1.7. Activités antimicrobiennes et antioxydantes du figuier de barbarie

Plusieurs maladies ont été traitées avec l'OFI en médecine traditionnelle, d'après les recherches scientifiques et cela grâce à ses cladodes riches en composés bio-fonctionnels (Shetty *et al.*, 2012). Outre les métabolites primaires conventionnels nécessaires à la survie de la plante (glucides, protéines et lipides, vitamines), l'OFI stocke également des métabolites secondaires qui possèdent des activités biologiques, notamment des vitamines, des composés phénoliques, des flavonoïdes et des caroténoïdes (Núñez-Gastelum *et al.*, 2018). Pour se défendre contre les agressions extérieures et le stress oxydatif causé par la surproduction de radicaux libres (RL), il est nécessaire de posséder des métabolites bioactifs dotés de propriétés antioxydantes et antimicrobiennes (Zrira *et al.*, 2016).

Ce chapitre illustre une synthèse de travaux réalisés à propos des activités antimicrobiennes et antioxydantes d'OFI (Figure 07).

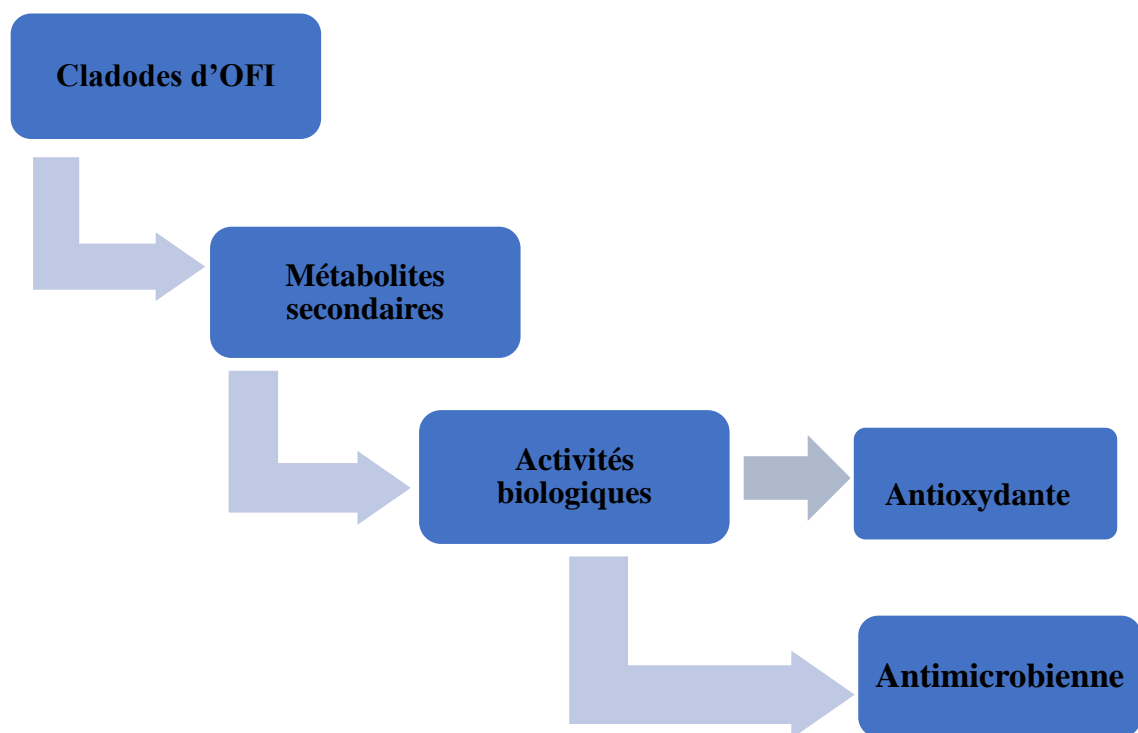


Figure 07. Schéma présentatif des activités biologiques des cladodes d'OFI.

1.7.1. Activité antibactérienne

La résistance aux antimicrobiens représente l'un des plus grands défis dans le traitement des infections microbiennes, car elle complique la prévention et le traitement des infections bactériennes, fongique, parasitaires et virales. Cette résistance peut entraîner des effets secondaires indésirables et parfois même mortels pour l'hôte (Gupta *et al.*, 2015).

Au laboratoire de bactériologie de l'institut des vétérinaires de l'Université de Constantine, une recherche a été menée pour étudier l'effet antimicrobien des extraits de raquettes d'OFI (méthanolique et éthanolique) sur les bactéries *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli*. Les résultats ont montré que tous les extraits de raquettes étaient inefficaces contre *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, étant donné leur forte résistance. Cependant, la bactérie *Staphylococcus aureus* a présenté une résistance relative à l'action des extraits de raquettes d'OFI (Benattia, 2017).

Par ailleurs, d'après l'affirmation de Gebrekidan et Aragaw, (2017), les extraits de cladodes et de fruits d'OFI obtenus à l'aide de chloroforme, méthanol et éthanol contiennent une variété de constituants bioactifs qui leur confèrent une forte activité antimicrobienne contre les bactéries Gram positif et Gram négatif.

Plusieurs chercheurs ont essayé d'analyser la composition phytochimiques, ainsi que les activités antimicrobiennes d'OFI comme Welegerima *et al* (2018). L'analyse quantitative a montré la présence de substances phénoliques, tanins, glycosides, alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, stéroïdes et acides aminés comme composants phytochimiques des extraits de cladodes. Les cladodes d'OFI présentent une forte activité antibactérienne contre les bactéries Gram (+) et Gram (-), toutefois l'effet inhibiteur sur les bactéries Gram (+) est considérablement plus important que sur les bactéries Gram (-), ce qui peut être expliquer par la présence d'une unique couche externe de peptidoglycane chez les bactéries à Gram positif.

Dans le but d'évaluer l'effet antimicrobien des extraits à l'éthanol et à l'acétate d'éthyle d'OFI sur *Escherichia coli* isolée de patients atteints d'une infection des voies urinaires (UTI), une étude a été faite par Pourmajed *et al.*, (2021). Les résultats obtenus ont montré que l'extrait à base d'éthanol d'OFI a présenté une activité antimicrobienne plus élevée contre *Escherichia coli* que l'extrait à l'acétate d'éthyle.

1.7.2. Activité antioxydante

On définit l'activité antioxydante comme la capacité d'un composé, appelé antioxydant, à prévenir la dégradation oxydative d'un substrat, telle que la peroxydation des lipides et des protéines. L'antioxydant joue un rôle crucial en empêchant les radicaux libres d'endommager les cibles biologiques, ce qui en fait un protecteur chimique selon Pincemail *et al.* (1998) ainsi que Gramza *et al.* (2005)." Les composés phénoliques ont la capacité de piéger les radicaux libres oxygénés, en particulier les radicaux peroxydes (ROO⁻), superoxydes (O⁻²) et les hydroxyles (OH), (Madhan *et al.*, 2007). Grâce à l'hydrogène phénolique mobile. Cette propriété peut être démontrée soit par le dosage des produits formés (notamment des hydroperoxydes) au moyen de techniques photométriques plus ou moins directes, soit en mesurant l'efficacité du composé à piéger les radicaux libres. (Tilahun *et al.*, 2018).

Les cladodes constituent une importante source de composés antioxydants naturels (Boutakiout *et al.*, 2018). Les extraits de cladodes et de pulpe de fruit d'OFI favorisent la stimulation des enzymes antioxydantes comme la superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (Ben Saad *et al.* 2017). L'effet antioxydant des extraits de

cladodes est lié à leur capacité de renforcer le statut antioxydant et diminuer le taux de peroxydation lipidique, évalué par la mesure du malondialdéhyde (MDA) (Tesoriere *et al.* 2004) par l'élimination des radicaux libres au sein des membranes cellulaires (Ben saad *et al.* 2017). Les extraits de cladodes ont aussi la capacité de réactiver le mécanisme d'érythropoïèse et d'augmenter la production d'érythropoïétine. Les extraits éthanoliques de cladodes contribuent à réguler le dysfonctionnement rénal en raison de leurs propriétés antioxydantes, anti-génotoxiques et anti-apoptotiques (Brahmi *et al.* 2012). Ils sont capables aussi d'inhiber l'activation du stress du réticulum endoplasmique et de protéger les doubles brins d'ADN des métabolites électrophiles générés par les agents mutagènes (Brahmi *et al.* 2012 ; Tesoriere *et al.* 2004 ; López-romero *et al.* 2014), jusqu'à présent, les graines et la peau contenant de la quercétine n'ont été peu ou pas étudiées pour leur effet sur le stress oxydatif et l'inflammation (Silva *et al.* 2021).

1.7.3. Activité antifongique

L'utilisation intensive d'antibiotiques à large spectre, en particulier chez les patients immunodéprimés, a entraîné une augmentation du nombre d'infections causées par certains champignons, tels que le genre *Aspergillus* ou *Candida*. (Kousha *et al.*, 2011). Après *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus* est le deuxième agent pathogène humain en importance, suivi de près par *Aspergillus flavus* (Frisvad *et Larsen*, 2016).

En 2019, Hajar *et al.* ont mené une étude pour évaluer la quantité de composés phénoliques présents dans les extraits méthanoliques de trois parties de cactus OFI (à savoir les cladodes, les fleurs et les fruits) ainsi que leur capacité à lutter contre certains champignons pathogènes tels que *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus flavus*, en comparaison avec un antibiotique (le fluconazole). Les résultats obtenus indiquent que l'extrait méthanolique des fleurs s'est révélé le plus efficace pour inhiber la croissance d'*Aspergillus fumigatus*, avec un taux d'inhibition de 100%. Les extraits de cladodes et de fruits ont quant à eux présenté des pourcentages d'inhibition de respectivement 89,57% et 78,66%. Cette différence dans l'efficacité des extraits étudiés peut être expliquée, selon Naczki et Shahidi (2006), par la variabilité de la composition chimique des différentes parties du cactus OFI. Par ailleurs, l'inhibition de la croissance des deux champignons (*Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus flavus*) par le fluconazole s'est révélée moins efficace que celle observée avec les extraits méthanoliques des parties étudiées (Belay *et al.*, 2015).

Noah Badr *et al.* (2020) ont mené une étude récente visant à évaluer de nouveaux phytoconstituants dotés de propriétés anti-mycotoxinogènes. Pour ce faire, ils ont utilisé les pelures de fruits et les cladodes d'OFI sauvage comme matériaux bioactifs. Quatre souches de champignons toxigènes, identifiées comme appartenant à *Aspergillus* spp (*Aspergillus flavus* ITEM 698, *Aspergillus parasiticus* ITEM 11, *Aspergillus fumigatus* ATCC 1022 et *Aspergillus niger* ITEM 3856), ont été utilisées pour les expériences antifongiques et anti-aflatoxines. Les résultats ont montré que l'extrait des cladodes avait des caractéristiques antimycotiques et anti-mycotoxiniques supérieures à celles de l'extrait des pelures de fruits, en raison de sa teneur en phénols plus élevée (en moyenne deux fois plus élevée), ce qui indique également un potentiel antioxydant plus élevé.

Chapitre II :

Matériel et méthodes

2.1. Matériel et méthodes

La partie expérimentale de ce mémoire a été effectuée au sein du laboratoire de recherche de Biochimie analytique et de Biotechnologie (LABAB) à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou (UMMTO), durant la période comprise en février et mai 2023. Ce chapitre contient une description détaillée de la méthodologie du travail adoptées.

Le but de cette étude est porté sur la valorisation de différentes parties du cladode du figuier de barbarie et d'évaluer l'activité anti oxydante des extraits éthanols de cladode de l'espèces *Opuntia ficus indica*, issus de région différents.

2.1.1 Matériel végétal

Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* utilisér dans cette étude ont été récolter dans deux régions différent ; Maatkas, une commune située à 20 km au sud-ouest de la wilaya de Tizi- Ouzou en mois de février 2023 et a Mdouha situé à Tizi Ouzou ville le mois d'avril 2023. Les différent échantillon récoltes ont été utiliser à l'état frais pour éviter tout altération du produit.

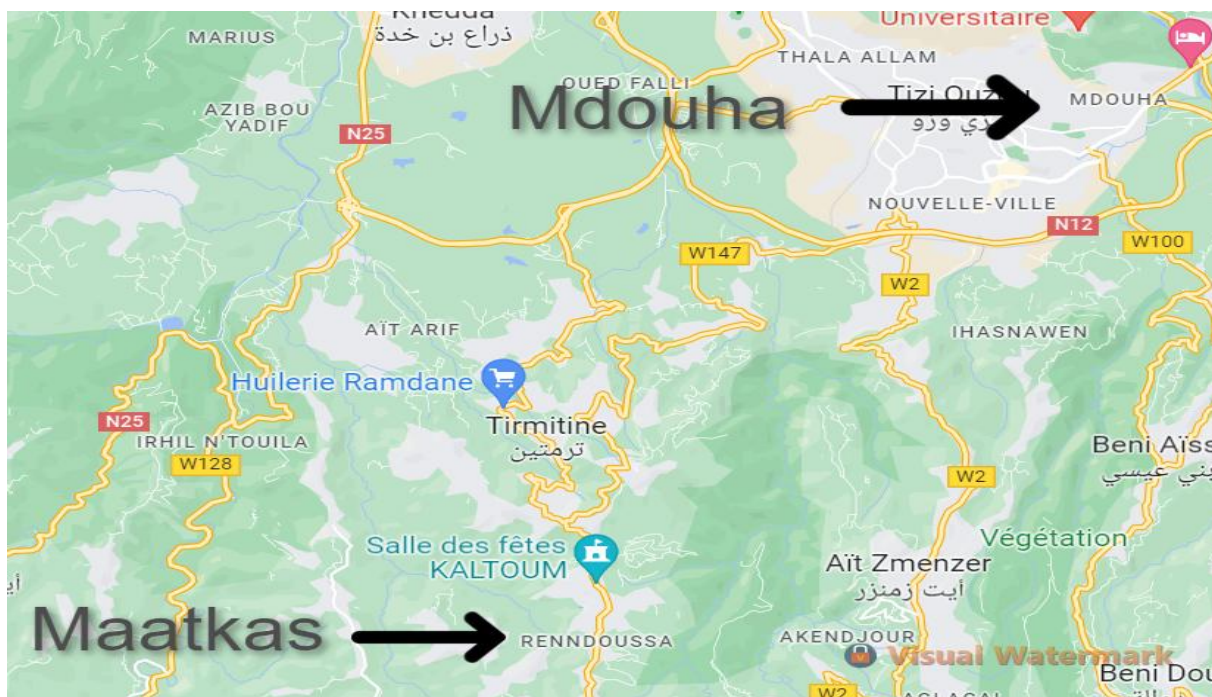


Figure 08. Lieu de récolte

2.1.2 Matériel instrumental et réactifs chimiques

Les tableaux (9 et 10) ci-dessous récapitulent les appareils utilisés, les produits chimiques, les solvants organiques et les différents milieux de culture utilisés dans cette étude.

Tableau 09. Consommable et réactifs chimiques utilisés.

Produits consommables	Boîtes de pétri Pipettes pasteur Ecouvillon Embouts pour micro pipette Cuves de spectrophotomètres Flacon Papier watman Tube essai
Solvants organiques	Ethanol Acétone Acétate d'éthyle
Milieux de culture	Gélose nutritive (GN) Muller Hinton Agar (MHA)
Produits chimiques et réactifs	DPPH (2,2Diphenyl-1picrylhydrazyl) Glycérol Folin

Tableau 10. Matériel utilisé.

Appareils	Référence
Voretex	Velp scientifica (Zx3)
Spectrophotomètre UV -visible	Biotech engineering management CO.LTD(UK), vis-7200G
Etuve	Memmert 854 Schwbach,memmert
Congélateur et réfrigérateur	ENIEM
Bain-marie	Wise bath (Fuzzy control système
Agitateur magnétique	VELP SCIENTIFICA, PLABINCO Model L-81
Four à moufle	NABERTHERM,Controller B170
Centrifugeuse, Réfrigérée	Hettich zentrifugen D-7200 tuttingen
Balance	Denever Istrument, MAXX-612
Balance de précision	Sartorius,BP121S

2.2 Méthodes et protocoles expérimentaux

2.2.1 Extraction de la peau et du mucilage

Après avoir récolter la plante et débarrasser de ces épines, le cladode doit être nettoyé à l'eau distillé pour enlever tout trace de saleté et de poussière, puis séparer la peau du mucilage à l'aide d'un couteau, le découper et le passer au Moulinex et au papier filtre.

ifférentes étapes sont illustrées dans la figure 9 :

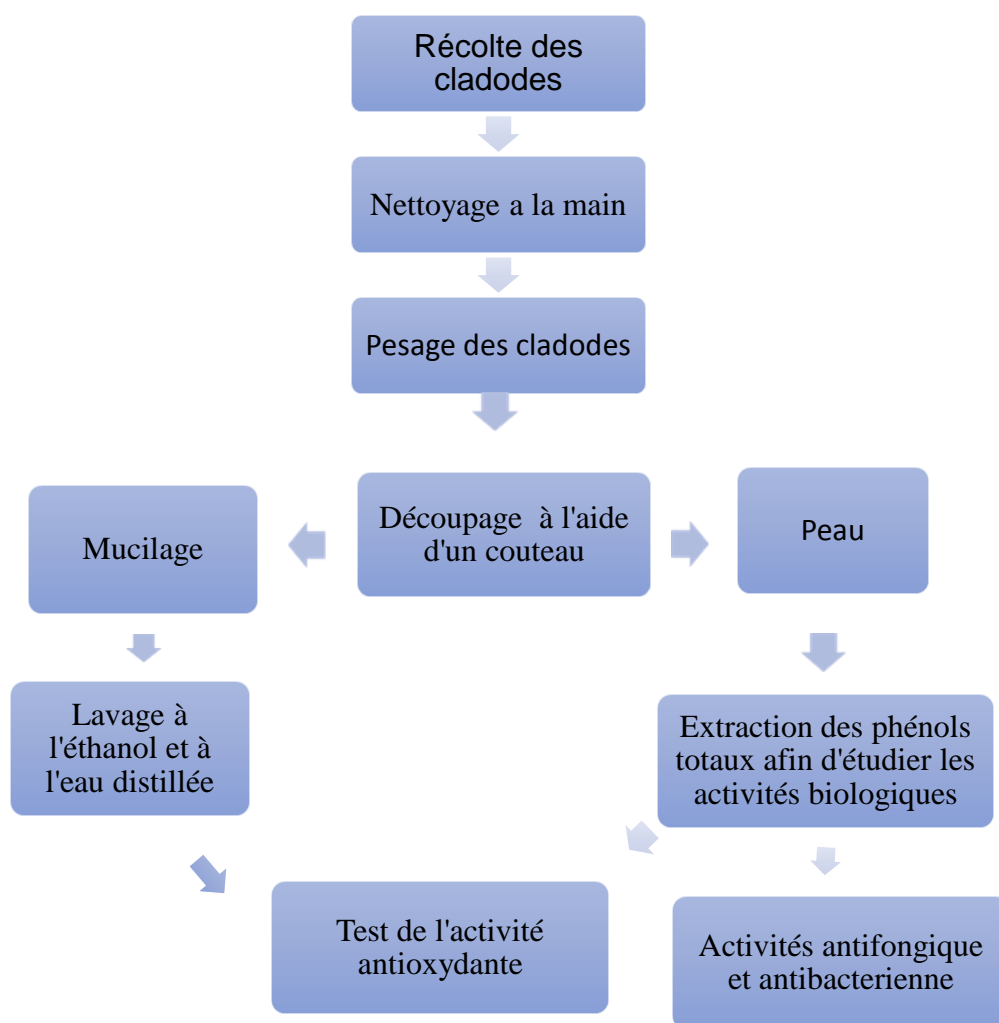


Figure 9. Les différentes étapes de la séparation de la peau du mucilage.

2.2.2 Teneur en cendres et en matière organique

La matière sèche obtenue à partir des cladodes est placée dans un four à moufle à 550C° pendant une période de 4h.

Mode opératoire

La matière sèche des cladodes disposée dans des capsules en porcelaine, ces dernières sont par la suite portées dans un four à moufle chauffée à une température de 550C° pendant 4H jusqu'à obtention d'une couleur grise claire blanchâtre. Après refroidissement, la matière est pesée.

Expression des résultats

La teneur en matière organique est calculée comme suite :

$$\text{MO}\% = (M1 - M2) / P$$

- ✓ MO : matière organique
- ✓ M1 : masse des capsules + prise d'essai
- ✓ M2 : masse des capsules + cendre
- ✓ P : la masse prise d'essai

2.2.3 Déterminations de la teneur en eau

La teneur en eau c'est la quantité d'eau exprimée en pourcentage contenu dans un composé liquide ou solide. La méthode utilisée est connue sous le nom de dessiccation par évaporation.

Mode opératoire

Afin de déterminer la teneur en eau de la biomasse entière, une quantité de 10g de chaque échantillon est prélevés préalablement. Les échantillons sont ensuite placés dans une étuve régler à 105C° jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant.

Expression des résultats

Le taux d'humidité est exprimé en (%) selon la formule suivante :

$$H\% = (E1 + E2/E1) * 100$$

- H% : Taux d'humidité exprimé en pourcentage.
- E1 : Poids de l'échantillon frais (g).
- E2 : Poids de l'échantillon après séchage (g).

Calcul de la matière sèche :

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H\%$$

2.2.4 Dosage des polyphénols totaux

Après avoir séparé la peau du mucilage, celle-ci est découpée en petit morceaux puis broyée au moulinex. Le mélange fut ensuite chauffé au bain marie à 80C° pendant 1h. L'extraction des composés phénoliques est réalisée dans un solvant organique à savoir l'acétate d'éthyle pendant 24h. Les étapes de l'extraction sont illustrées dans la figure suivante.

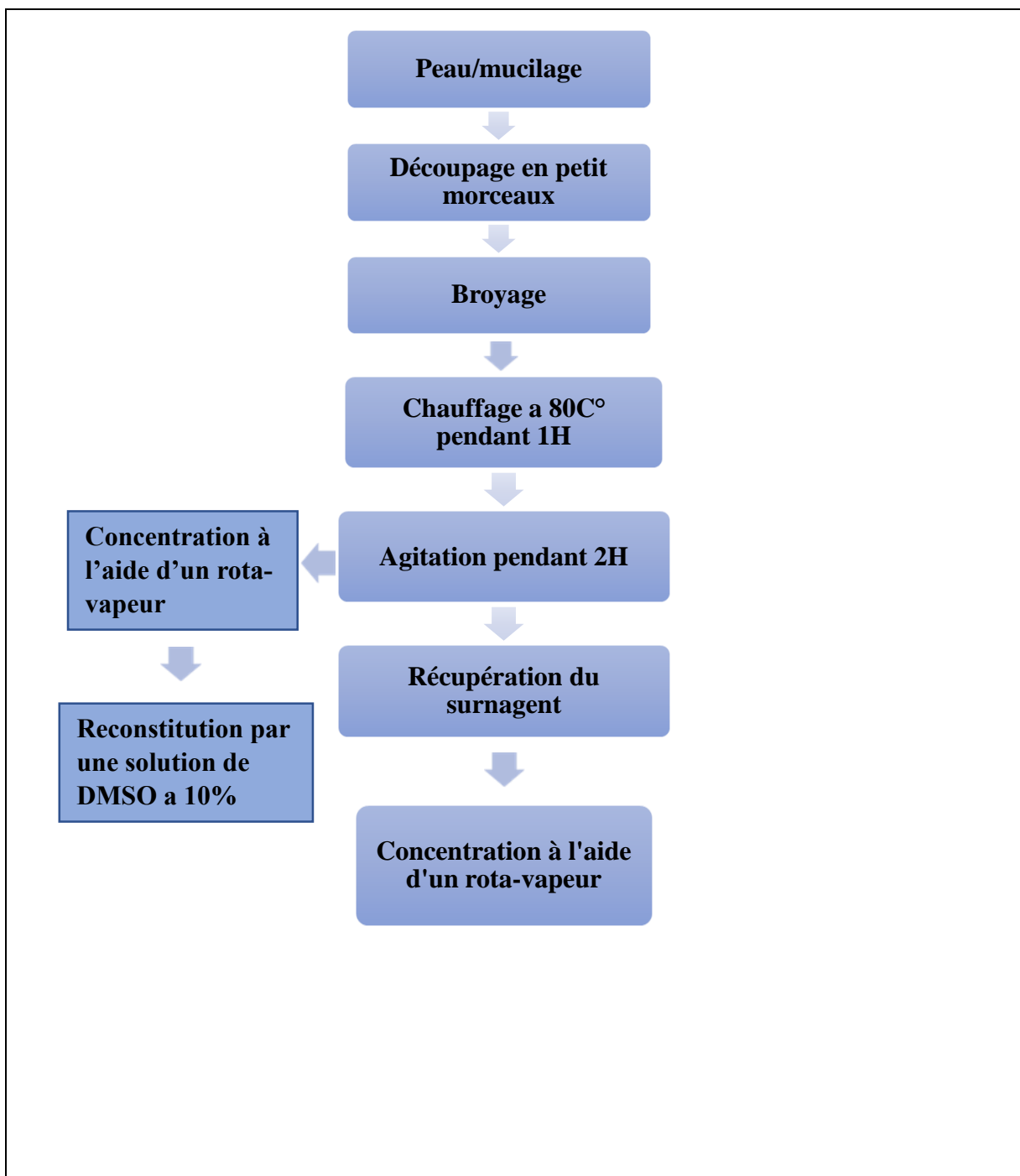


Figure 10. Etapes d'extraction des phénols totaux de la peau et du mucilage des cladodes.

2.2.3.1 Dosage des polyphénols totaux

- **Principe**

Le Folin-Ciocalteu est un réactif de couleur jaune qui est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_2PW_{10}O$) et d'acide phosphomolybdique (HPM_{020}). Lorsqu'il est

exposé à l'oxydation des phénols, le réactif subit une réduction, qui produit un mélange de molybdène et d'oxydes de tungstène couleur bleu (Ribéreau,1968).

• Méthode

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué en réalisant différentes dilutions des échantillons qu'on a préalablement préparés pour y ajouter 30 µl du réactif Folin-Ciocalteu. Après cinq minutes d'incubation, on ajoute au milieu réactionnel un volume de 200µl d'une solution aqueuse de carbonate de sodium (Na₂CO₃) à 20%. Puis le mélange est incubé à une température ambiante à l'obscurité pendant 20min. Les absorbances sont mesurées à 750 nm au spectrophotomètre en comparant avec un blanc sans extrait. La quantification des composés phénolique est réalisée en utilisant une courbe d'étalonnage l'inière de type (y = ax) établie avec l'acide gallique (0 à 90µg/ml) comme référence.

• Expression des résultats

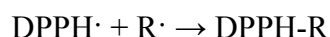
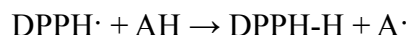
La formule suivante permet le calcul de la teneur en polyphénol totaux :

$$T = C \times \frac{V \times D}{P_s}$$

- ✓ T : teneur en polyphénol totaux
- ✓ C : concentration des polyphénols en équivalent d'acide gallique
- ✓ V : Volume extrait
- ✓ D : facteur de dilution
- ✓ P_s : poids de la matière sèche

2.3 Evaluation de l'activité antioxydante

Les méthodes actuelles d'évaluation de l'activité antioxydante d'un composé mesurent sa résistance à l'oxydation. L'une de ces méthodes utilise le radical libre DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl), qui est stable dans les dosages alcooliques (méthanol et éthanol) et absorbe la lumière à 517 nm, donnant une couleur violacée. La réduction du DPPH° en diphenyle picryl-hydrazine par un composé à propriété anti-radicalaire entraîne une décoloration, ce qui indique la capacité des antioxydants à donner des protons (Mansouri *et al.*, 2005). Ainsi, la mesure de la coloration résiduelle permet d'évaluer l'activité antioxydante d'un composé.



• Mode opératoire

Le test du pouvoir antiradicalaire est réalisé selon la méthode de (Brand williams *et al.*, 1995). La solution du DPPH est préparée par solubilisation de 0.02mM de DPPH dans 100mL d'éthanol. Un volume de 50µl d'extraits phénoliques ou standards sont ajoutés à 1mL de DPPH et un contrôle est préparé avec 50 µl du solvant utilisé avec 1 ml de DPPH, Après homogénéisation au vortex, le mélange est laissé à l'obscurité pendant 30min. Les densités optiques sont mesurées à 517nm. Le témoin positif est représenté par une solution d'acide ascorbique avec des concentrations allant de 0 à 200ug/ml comme antioxydant standard.

• Expression des résultats

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical DPPH. Le pourcentage de piégeage du radical est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Ih \%} = [(\text{AC} - \text{AE}) / \text{AC}] \times 100$$

- ✓ Ih % : pourcentage d'inhibition.
- ✓ AC : l'absorbance de la solution DPPH.
- ✓ AE : l'absorbance de l'échantillon.

En utilisant le pourcentage d'inhibition, on peut calculer le paramètre IC50, qui est défini comme la concentration efficace de l'extrait nécessaire pour réduire de moitié la concentration initiale de DPPH. Les IC50 sont déterminés en traçant graphiquement la droite de régression qui relie la concentration des échantillons à l'activité antiradicalaire en pourcentage. La capacité antioxydante d'un composé est considérée comme étant élevée si son IC50 est faible (Molyneux, 2004 ; Huang *et al.*, 2005).

En plus de l'IC50, un autre paramètre souvent calculé est l'indice d'efficacité antiradicalaire, qui est inversement proportionnel à l'IC50 (EA = 1/IC50).

2.4 Evaluation de l'activité antifongique

L'évaluation de l'activité antifongique est déterminée par la confrontation directe entre les extraits et les espèces fongique, dans le but de déterminer la sensibilité de ces derniers aux extraits. Cette méthode consiste à appliquer l'extrait sur une surface de milieu de culture et à y déposer une suspension de spores fongique. La croissance fongique est ensuite observée et comparée à un témoin non traité.

• Milieu de culture

La gélose agar à base d'extrait de malt (EM) est utilisée pour tester la sensibilité des souches fongiques aux différents extraits. La gélose de pomme de terre (PDA) est utilisée pour le repiquage de souche fongique.

• Les Souches fongiques testées

Les différentes souches utilisées sont *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavipes*, *Penicillium sp* et *Alternaria sp*.

• Repiquage des souches fongiques

Cette technique consiste à transférer à l'aide d'un écouvillon stérile une petite quantité de souche fongique, puis la disposer en frottant sur la totalité de la surface de gélose (PDA) de haut en bas dans le but de disposer les spores d'une façon homogène sur la totalité de la surface. L'incubation des cultures est effectuée à 28° pendant 3 jour.

• Mode opératoire

Un disque d'une culture mycélienne est disposé au centre de la boîte de pétrie contenant la gélose à base d'extrait de malt (EM). Quarts puits ont été creusés sur la gélose autour du disque mycélien, ensuite à l'aide d'une micropipette on remplit les puits d'un volume de 40µl d'extrait. Les boîtes de pétrie sont incubées dans une étuve à 28° et observées quotidiennement pendant 10 jours.

• Expression des résultats

Les résultats sont interprétés en comparant l'état de développement des champignons dans les boîtes contenant des extraits avec celle des témoins. Si une inhibition est détectée dans le développement du champignon, cela est considéré comme un résultat positif et indique que l'extrait possède une activité antifongique. Si aucune inhibition est observée dans le

développement du champignon par rapport au témoin, cela est considéré comme un résultat négatif et l'extrait ne possède pas d'activité antifongique.

2.5 Evaluation de l'activité antibactérienne (Antibiogramme)

Pour évaluer l'activité antibactérienne on utilise la méthode de l'antibiogramme. Cette méthode, qui consiste à diffuser le composé antibactérien dans un milieu solide, préalablement ensemencé par une suspension bactérienne, permet de déterminer la sensibilité des différentes espèces bactériennes aux extraits testés. D'après Cavallo *et al.* (2007), l'activité antibactérienne est mesurée en évaluant la zone d'inhibition, qui est déterminée en fonction du diamètre d'inhibition, après un certain temps de contact avec la cible. Pour ce faire, des disques en papier Whatman de 5 mm de diamètre sont placés à la surface de la gélose et imprégnés des extraits à tester (Wilkinson., 2006).

• Milieux de culture

La gélose nutritive est un milieu de culture couramment utilisé pour l'isolement des souches bactériennes, car elle convient à la plupart des espèces. Pour les tests de sensibilité des bactéries à différents extraits, la gélose Mueller Hinton est préférée.

• Préparation des disques

Des disques de papier Whatman n°3 de 6 mm de diamètre, sont stérilisés par autoclavage à 120°C pendant 20 minutes.

• Préparation des pré-cultures bactériennes

Les souches bactériennes sont ensemencées dans une gélose nutritive par la méthode des stries et incubées à 37°C pendant 18h.

• Standardisation et préparation de l'inoculum

Les suspensions bactériennes utilisées proviennent de cultures jeunes ayant une durée d'incubation de 18 heures. Les colonies bactériennes des souches à tester sont prélevées à l'aide d'une anse à boucle de platine et bien isolées après l'incubation. Ensuite, elles sont diluées dans de l'eau physiologique stérile et homogénéisées jusqu'à ce que la densité optique atteigne l'opacité de Mac Ferland de 0,5, ce qui correspond à une DO comprise entre 0,08 et 0,10 à 625 nm. Si la DO est supérieure à 0,10, de l'eau physiologique stérile est ajoutée pour ajuster l'inoculum. Si la DO est inférieure à 0,08, des colonies microbiennes sont ajoutées. Une fois la suspension bactérienne ajustée, elle peut être utilisée.

• Mode opératoire

Pour réaliser un tapis bactérien, on utilise la technique d'écouvillonnage qui implique de tremper un écouvillon dans la suspension bactérienne préparée, puis de l'essorer en le pressant fermement contre la paroi interne du tube. Ensuite, l'écouvillon est frotté en stries serrées de haut en bas sur toute la surface gélosée. Cette opération est répétée trois fois, en tournant la boîte de 45° à chaque fois, pour s'assurer d'une couverture uniforme. L'ensemencement est terminé en passant l'écouvillon une dernière fois sur l'ensemble du diamètre de la surface gélosée. Le même écouvillon peut être utilisé pour ensemer plusieurs boîtes de Pétri avec la même souche bactérienne.

En utilisant une pince stérile, des disques stériles sont soigneusement placés sur la surface de la gélose préalablement inoculée. Ensuite, un volume d'extrait (prélevé avec du EPSEP ou de l'éthanol) est déposé sur chaque disque. Des antibiotiques qui caractérisent chaque souche bactérienne sont utilisés comme témoins positifs, tandis qu'un disque avec un volume de EPSEP sert de témoin négatif. Finalement, les boîtes de Pétri sont incubées à 37°C pendant 18 à 24 heures.

• Expression des résultats

Les résultats de l'antibiogramme sont évalués en mesurant les diamètres des zones d'inhibition autour des disques. Ces résultats peuvent être représentés par des symboles (+ ou -) en fonction de la sensibilité des souches bactériennes aux extraits testés (Ponce *et al.*, 2003).

Chapitre III :
Résultats et discussion

3.1 Teneur en humidité

La teneur en humidité des cladodes de figuier de barbarie varie en fonction de plusieurs facteurs tels que la saison, le climat et la maturité de la plante. En général, ces feuilles épaisses et charnues contiennent une quantité significative d'eau, généralement comprise entre 80 et 90% de leur poids total. Cette forte teneur en humidité contribue à la résilience de la plante dans des environnements arides, où elle peut stocker de l'eau pour survivre pendant les périodes de sécheresse. De plus, cette caractéristique rend les cladodes de figuier de barbarie utiles dans l'alimentation, car ils peuvent être consommés frais pour leur apport en eau et leurs nutriments essentiels.

Les résultats obtenus pour la teneur en humidité de la couche supérieure et interne et les fibres des cladodes de figuier de barbarie sont résumés dans les figures 10 et 11.

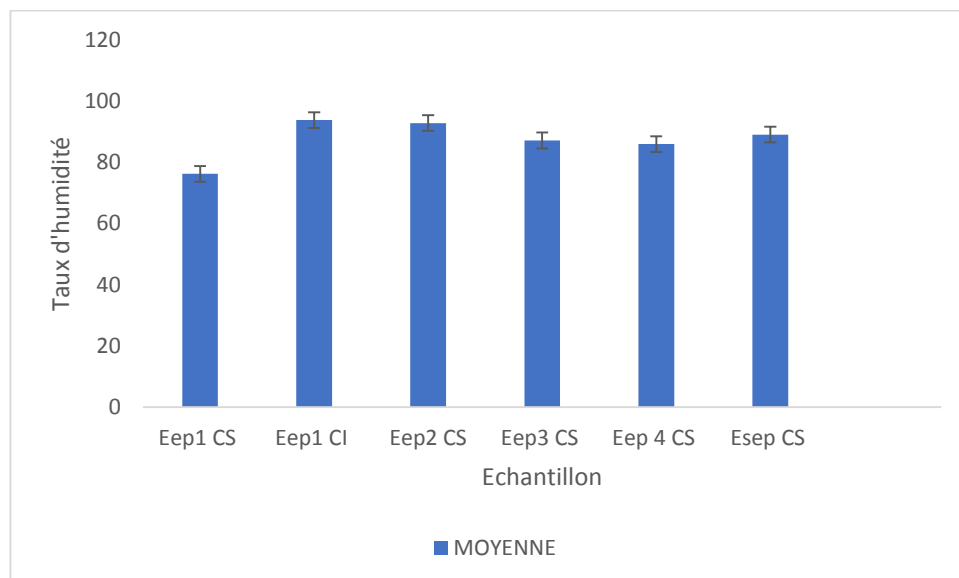


Figure 11. Teneur en eau de la couche supérieure et interne des échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines. ;

CS : Couche supérieure ; **CI** : Couche intérieure.

Il est constaté que les échantillons de cladodes sont riches en eau, ce qui procure à celle-ci une grande résistance face aux sécheresses. Le taux d'humidité est compris entre 76,2% et 93,75%. Cela signifie que les cladodes contiennent une quantité importante d'eau. Plusieurs travaux ont rapporté des résultats similaires comme (El-Samahy *et al.*, 2006) qui ont trouvé 86,27%, les résultats sont quasiment identiques malgré la différence entre les lieux et la période

de récolte. Nous concluons que le principal constituant des raquettes du figuier de barbarie est l'eau.

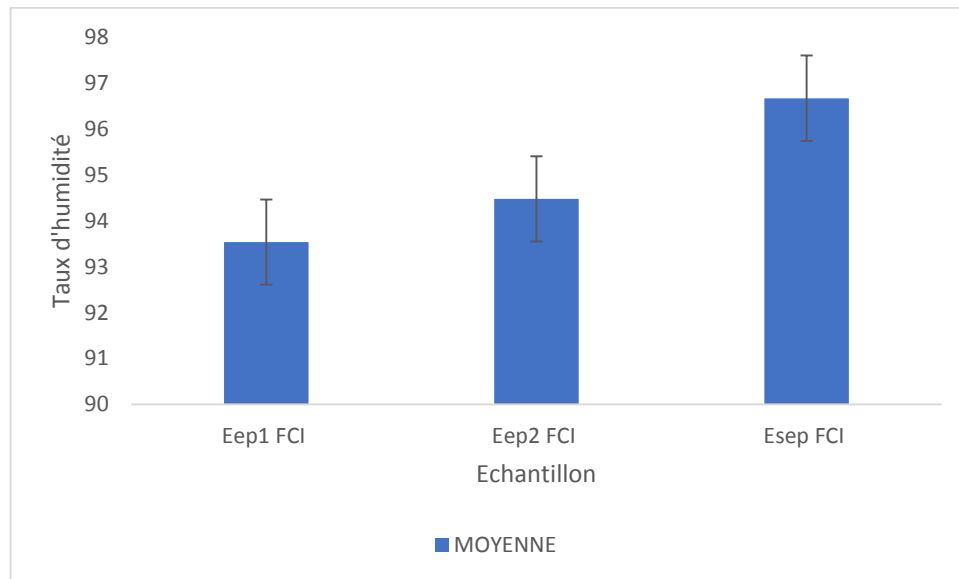


Figure 12. Teneur en humidité des fibres des extraits des différents échantillons.

FEep : Echantillon avec épines ; **FEsep** : Echantillon sans épines ; **FCI** : Fibres de la couche interne.

Le taux d'humidité des fibres est compris entre 93,54% et 96,67%, on constate que l'échantillon sans épines est plus riche en eau. Cela pourrait être dû à la récolte des échantillons faite dans des périodes et des endroits différents.

3.2 Teneurs en cendre

Il ressort de ces histogrammes que la teneur la plus élevée en cendre a été enregistrée pour l'échantillon avec épines récolté dans période hivernale avec 52,25%, suivit par l'échantillon sans épines récolté dans la période de printemps avec 27,58% et par les autres échantillons avec des teneurs compris entre 5% et 25%. ces résultats sont plus élevés par rapport aux résultats de (stintzing *et al.*, 2005) et (El Mostafa *et al.*, 2014) qui ont trouvé des teneurs entre 19% et 23%. Cela signifie que la couche supérieure des cladodes de figuier de barbarie est riche en minéraux notamment dans la période d'hiver et de printemps.

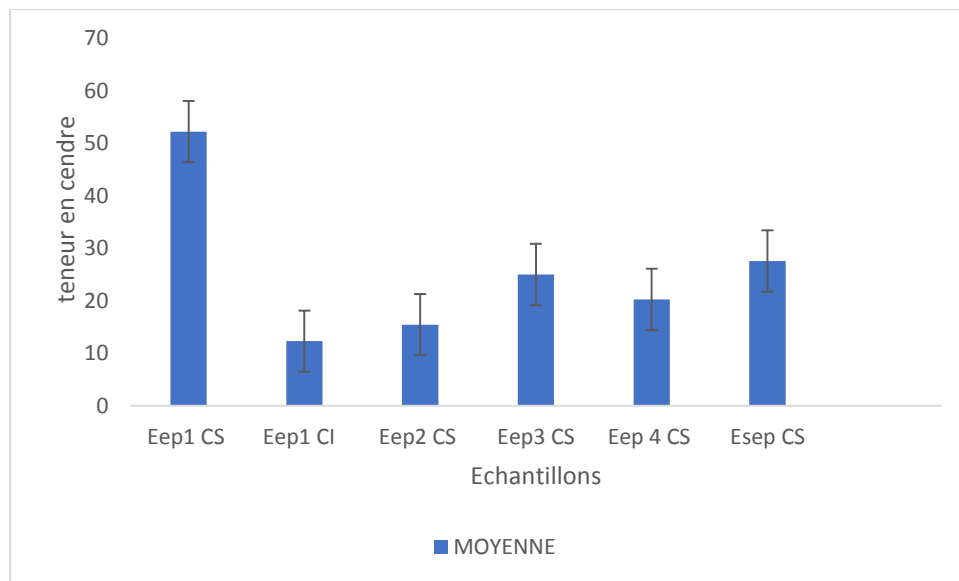


Figure 13. Teneur en cendre de la couche supérieure et interne des échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **CS** : Couche supérieure ; **CI** : Couche intérieure.

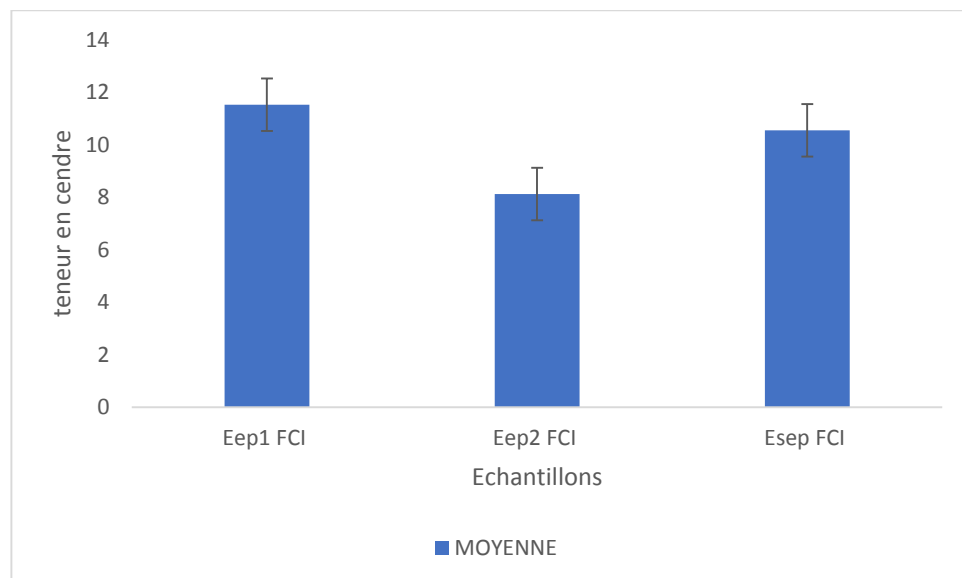


Figure 14. Teneur en cendre des fibres extraits des différents échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **FCI** : Fibres de la couche interne.

La teneur en cendre est de 11,53% et 8,12% pour les échantillons avec épines et de 10,55% pour l'échantillon sans épines. Ces résultats sont faibles par rapport aux résultats de (stintzing *et al.*, 2005) et (El Mostafa *et al.*, 2014) qui ont trouvé la teneur en cendre des fibres est de 18%. Il est constaté que les fibres de cladodes contiennent une petite quantité de minéraux contrairement à la couche supérieure. Cela est dû à plusieurs facteurs tels que : la sécheresse, le climat, la température.

3.3 Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche est comprise entre 6% et 23% pour les échantillons avec épines et 10,97% pour l'échantillon sans épines, tandis que la matière sèche totale avec 47,76%.

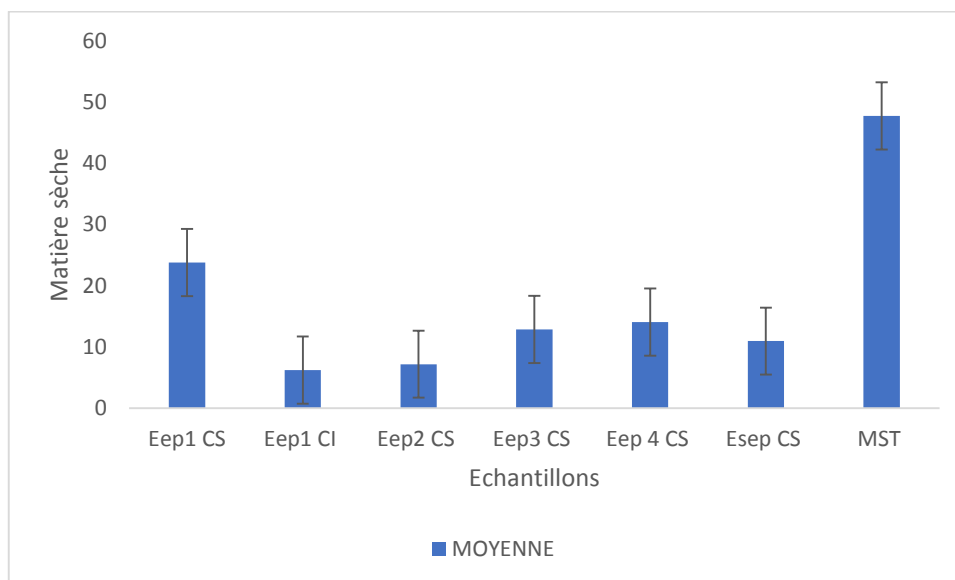


Figure 15. Teneur en matière sèche de couche supérieure et interne des échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **MST** : Matière sèche totale ; **CS** : Couche supérieure ; **CI** : Couche intérieure.

La teneur en matière sèche est de 6,45% et 5,51% pour les échantillons avec épines et de 3,32% pour l'échantillon sans épines.

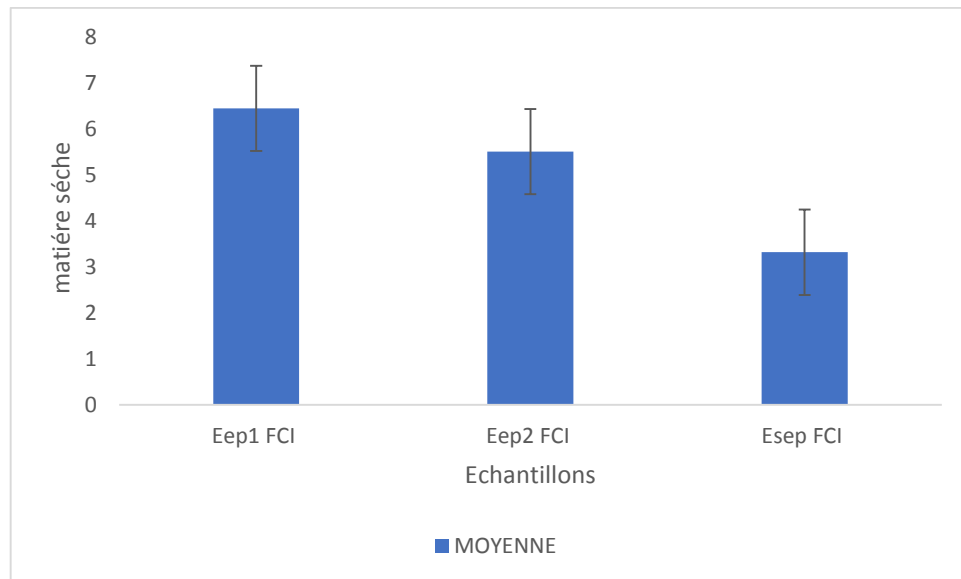


Figure 16. Teneur en matière sèche des fibres extraits des échantillons

Eep : Echantillon avec épines. ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **FCI** : Fibres de la couche interne.

Plusieurs travaux ont rapporté des résultats différents comme (Habibi, 2004) qui a trouvé la teneur en matière sèche est de 10,04%. ces résultats signifient que la majeure partie des cladodes est essentiellement de l'eau, en raison de leurs capacités à stocker l'eau dans leur tissu interne pour faire face aux périodes de sécheresse.

3.4 Matière organique volatile

La teneur en matière organique volatile est comprise entre 76% et 85% que ce soit pour les échantillons avec épines ou l'échantillon sans épines, et la plus élevée est celle de la matière sèche totale avec 99,87%.

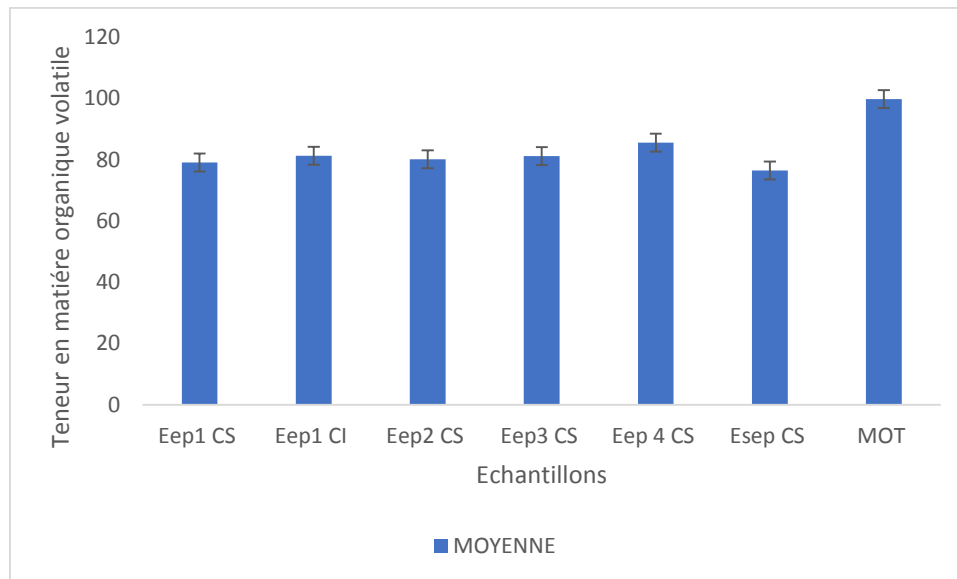


Figure 17. Teneur en matière organique volatile de la couche supérieure et interne des échantillons. **Eep** : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **MOT** : Matière organique totale ; **CS** : Couche supérieure ; **CI** : Couche intérieure.

La teneur en matière organique volatile la plus élevée pour les fibres est celle de l'échantillon avec épines 2 avec 85,74%, suit par l'échantillon avec épines 1 avec 83,12%, ensuite l'échantillon sans épines avec 69,8%.

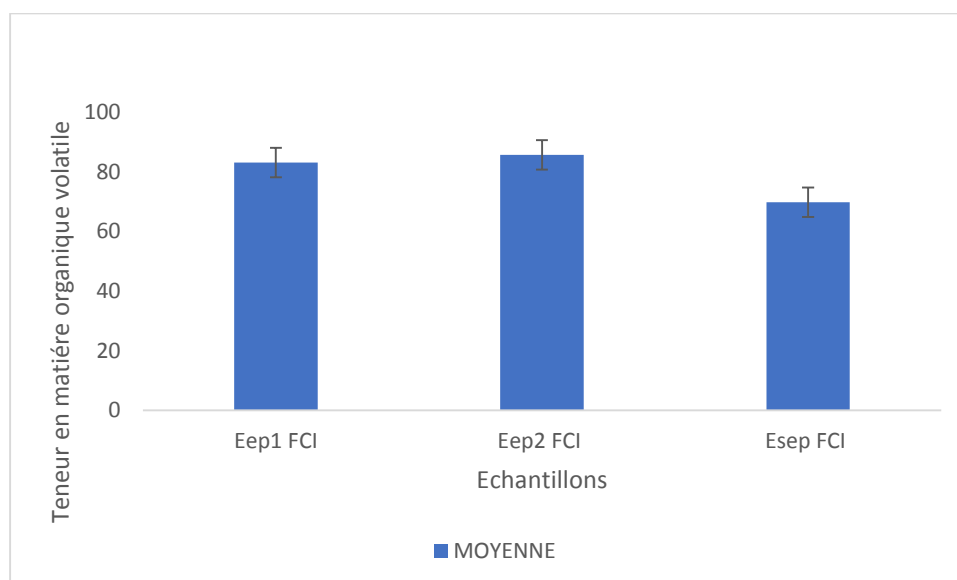


Figure 18. Teneur en matière organique volatile contenue dans les fibres des échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **FCI** : Fibres de la couche interne.

Des travaux ont rapporté des résultats similaires comme (Bouzoubaà *et al.*, 2014) qui ont trouvé une teneur de 80,03%. D'après ces résultats on constate la composition chimique lui permet de stocker de grandes quantités d'eau, ce qui explique les teneurs élevés en matière organique volatile.

3.5. Rendement en mucilage

La structure de l'extrait de mucilage est extrêmement poreuse gélatineux qui lui donne la capacité de stocker l'eau dans des cavités microscopiques. C'est une structure de réseau tridimensionnelle caractéristique des absorbants avec une couleur verte (Adjeroud-Abdellatif *et al.*, 2020). La figure 19 présente le rendement en mucilage des échantillons.

La figure 20 montre l'aspect du mucilage lors des étapes d'extraction et de séchage de trois échantillons.

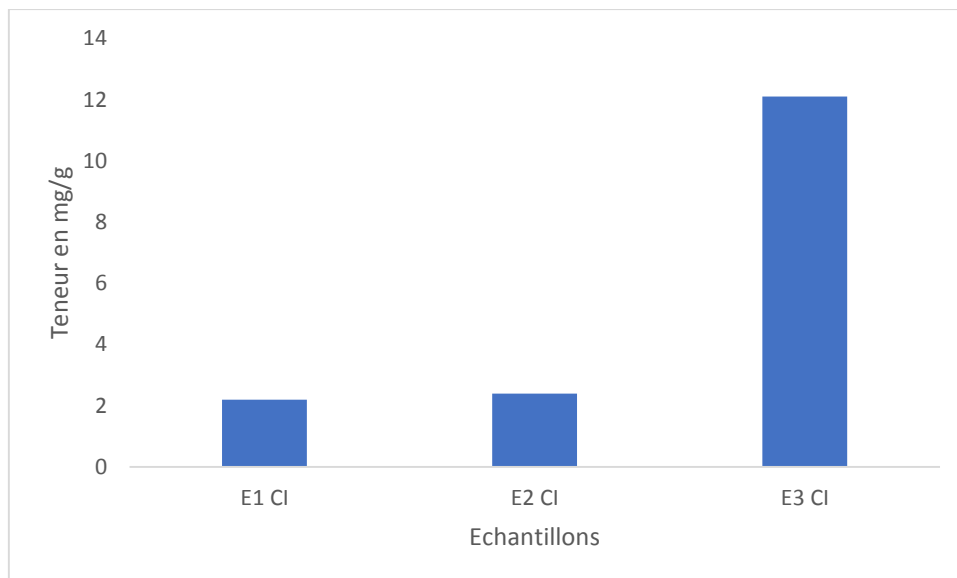


Figure 19. Rendement en mucilage des échantillons.

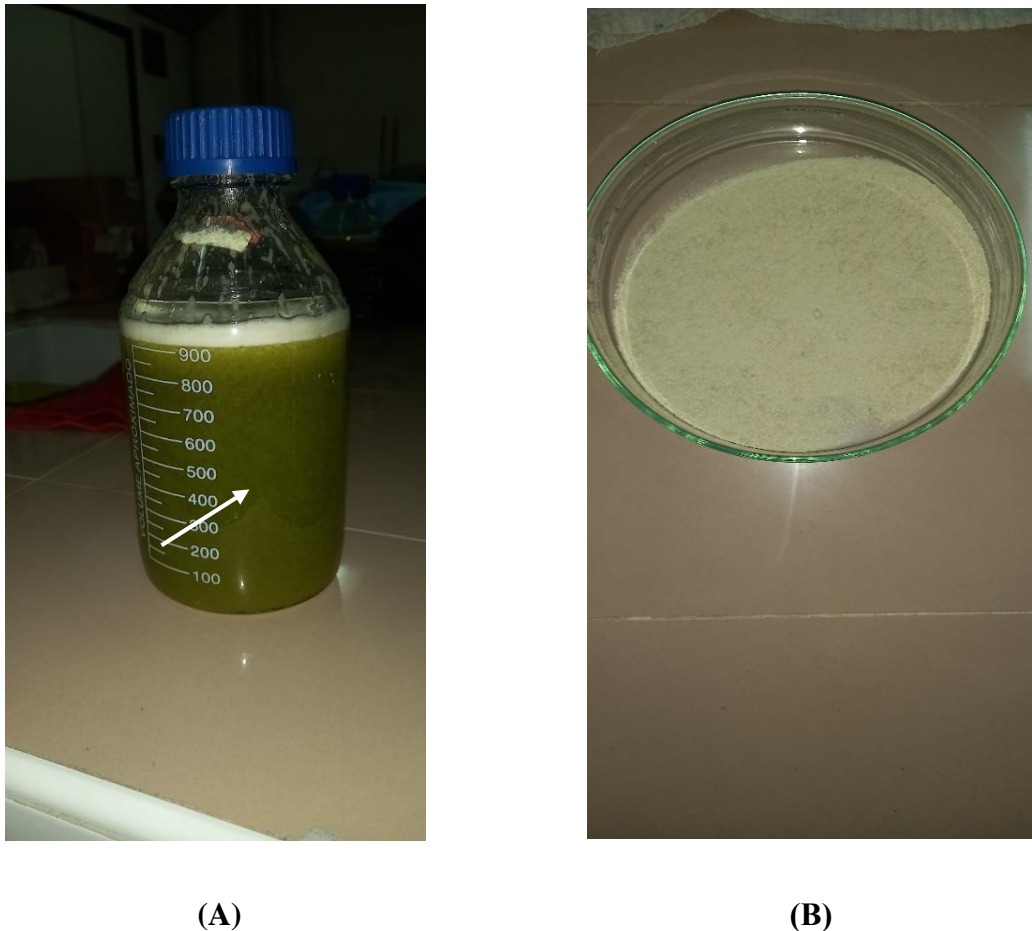


Figure 20. Aspect du mucilage lors des étapes d'extraction et de séchage des échantillons ((A) : Mucilage humide. / (B) : Mucilage sec.)

D'après les résultats la valeur de l'échantillon 3 est la plus élevée avec 12,1mg/g, suivit de l'échantillon 2 avec 2,4 mg/g, puis de l'échantillon 1 avec 2,2mg/g. Ces résultats sont différents par rapport aux travaux de (Hadj SADOK 2010) qui a trouvé une teneur de 0,94g de rendement en mucilage. Cette différence s'explique par les différentes méthodes utilisées pour l'extraction du mucilage, la différence entre la période de la récolte et plusieurs facteurs tels que : la pluviosité, la sécheresse, le changement climatique.

3.6 Teneur en matière sèche.

Les valeurs de matière sèche obtenues à partir de la matière humide de la couche supérieure et interne sont exprimées dans la figure 21.

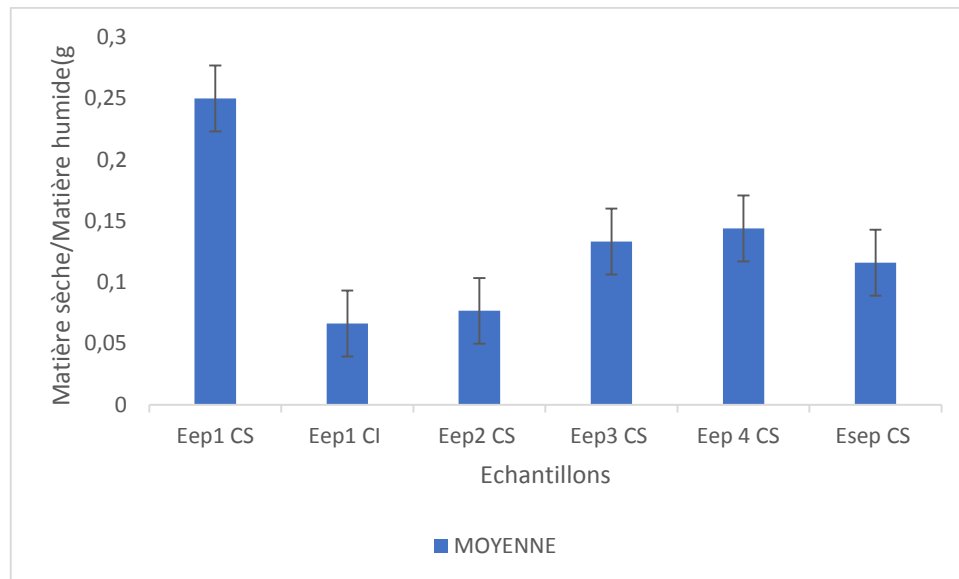


Figure 21. Matière sèche g/g de Matière humide de la couche supérieure et interne des échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **MST** : Matière sèche totale ; **CS** : Couche supérieure ; **CI** : Couche intérieure.

Les valeurs sont comprises entre 0,066g et 0,25g, la valeur la plus élevée pour les échantillons avec épines est 0.25g, tandis que pour l'échantillon sans épines est de 0,11g. plusieurs études ont arrivé à des résultats différents comme (Silva *et al.*2021) qui a trouvé une teneur de 5,97g de matière sèche. Cela est dû au type de sol et l'âge de cladode récolté et les conditions météorologiques.

Les valeurs de matière sèche obtenues à partir de la matière humide de fibres sont exprimées dans la figure 20. Les valeurs les plus élevés sont celles des échantillons avec épines avec 0,068g et 0,058g, suivit par l'échantillon sans épines avec 0,035g.

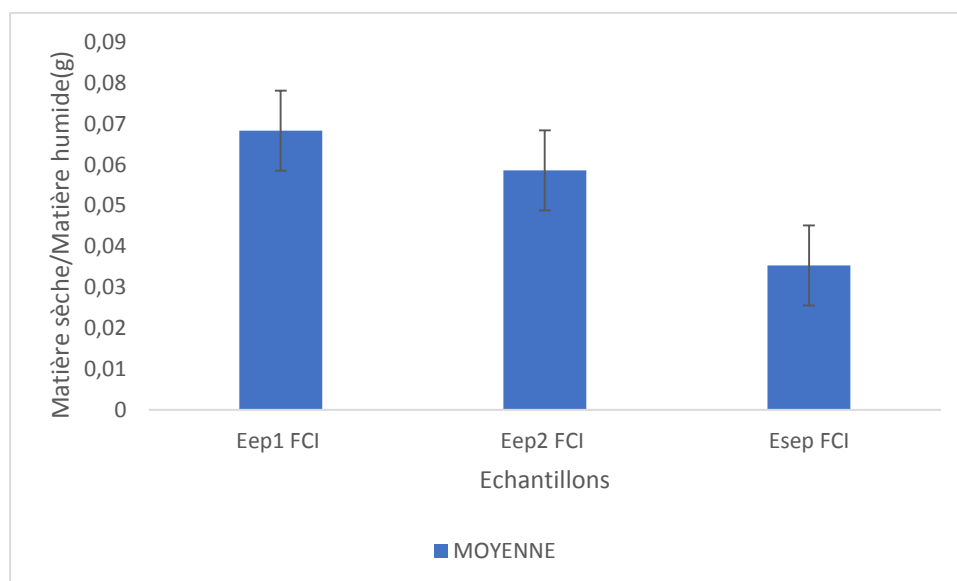


Figure 22. Matière sèche g/g de matière humide de fibres contenus dans les échantillons.

Eep : Echantillon avec épines ; **Esep** : Echantillon sans épines ; **FCI** : Fibres de la couche interne.

3.7. Activité antioxydante des extraits des cladodes

Les concentrations des extraits testés en polyphénols sont déterminées par le dosage au réactif de Folin Ciocalteu (Tableau 11).

Extrait	EPSEP	MB-SEP	MBC-EP	MPS 1
Concentration $\mu\text{g/ml}$	89	125	111	78

Tableau 11. Les concentrations des extraits testés en polyphénols.

Les absorbances mesurées sont utilisées pour calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH. Les résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire des extraits sont représentés par la figure ci-dessous.

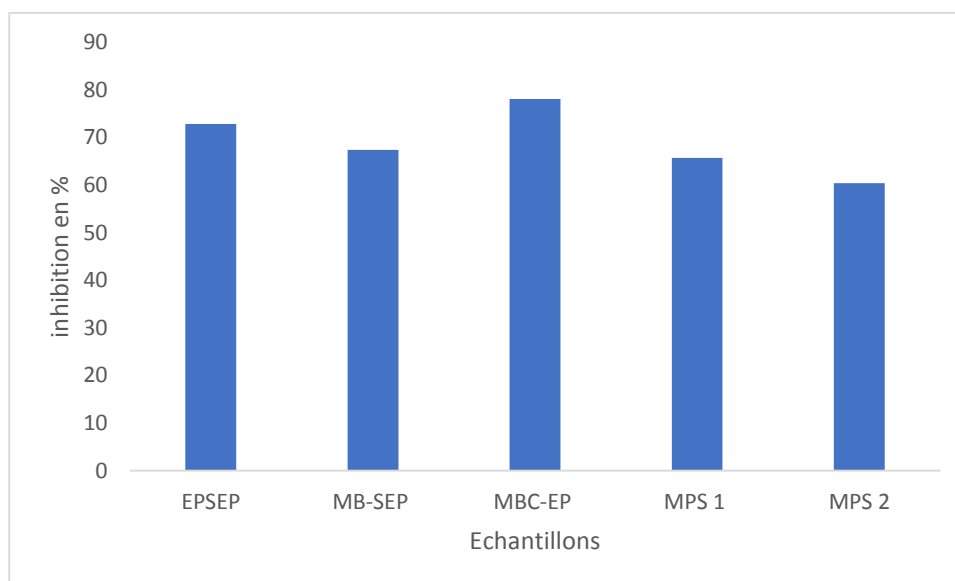


Figure 23. Pourcentage d'inhibition du DPPH par les différents extraits

EPSEP : extrait phénolique solubiliser dans le dimethyl sulfoxide ; **MB-SEP** : Mucilage brut du cladode sans épines sans ajout d'eau ; **MBC-EP** : Mucilage brut et chauffé du cladode avec épines ; **MPS 1** : Mucilage pure et sec 10mg.

L'extrait chauffé de cladodes avec épines attient un pourcentage d'inhibition de 78,08% suivit de l'extrait phénolique solubilisé dans l'EPSEP avec une valeur de 72,83%, ensuit l'extrait de cladodes sans épines (sans eau) avec 67,41%. Mucilage pure 1 donne un résultat de 65,75%.

Il a été démontré que l'activité antiradicalaire est liée aux niveaux de polyphénols et de flavonoïdes présents dans les extraits de plantes médicinales (Mariod *et al.*, 2009). Cela suggère que l'effet antioxydant des différents extraits peut être dû à une interaction synergique entre les polyphénols et d'autres composants contenus dans l'extrait organique (récupéré avec l'acétate d'éthyle) et dans le mucilage.

3.8 Evaluation de l'activité antifongique

L'étude de l'activité antifongique des différents extraits de cladodes du figuier de barbarie a été réalisée par la méthode de diffusion sur gélose à partir des puits qui entourent un disque du champignon cible lequel est déposé au centre de la gélose. Selon Mutai *et al.* (2009) le pouvoir antifongique est déterminé par la mesure des zones d'inhibitions (mm), ou par observation d'un changement dans le développement de l'espèce.

Quatre souches fongiques ont été utilisées dans cette études : *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavipes*, *Penicillium sp.*, *Alternaria sp.* Après 10 jours d'incubation dans une étuve à 28C°, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau si dessous

Tableau 12. Résultats des tests de l'activité antifongique des extraits sur les champignons ciblés après 10 jours d'incubation.

Champignons Extrait	<i>Aspergillus</i> <i>niger</i>	<i>Aspergillus</i> <i>flavip</i>	<i>Penicillium</i> <i>sp</i>	<i>Alternaria</i> <i>sp</i>
	EPSEP+DMSO	-	-	-
MBSEP	-	-	-	-
MBEP	-	-	-	-
MBCEP	-	-	-	-

EPSEP+DMSO : Extrait à l'acétate d'éthyle du cladode sans épines solubilisé dans du DMSO à 10%

MBSEP : Mucilage brut extrait de cladode sans épine de la région de Mdouha

MBEP : Mucilage brut extrait de cladode avec épine de la région de Maatkas

MBCEP : mucilage brut, chauffer au bain marie, extrait de cladode avec épines

D'après le tableau (12) qui représente les résultats obtenus après 10j d'incubation dans une étuve à 28C°. On constate que les extraits ne démontrent aucune activité antifongique envers les souches testées (*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavip*, *Penicillium sp.*, *Alternaria sp.*), car aucune zone d'inhibition n'a été observée. Par contre pour *Aspergillus niger* on observe une légère décoloration du mycélium, ceci peut être provoqué par une activité non identifiée.

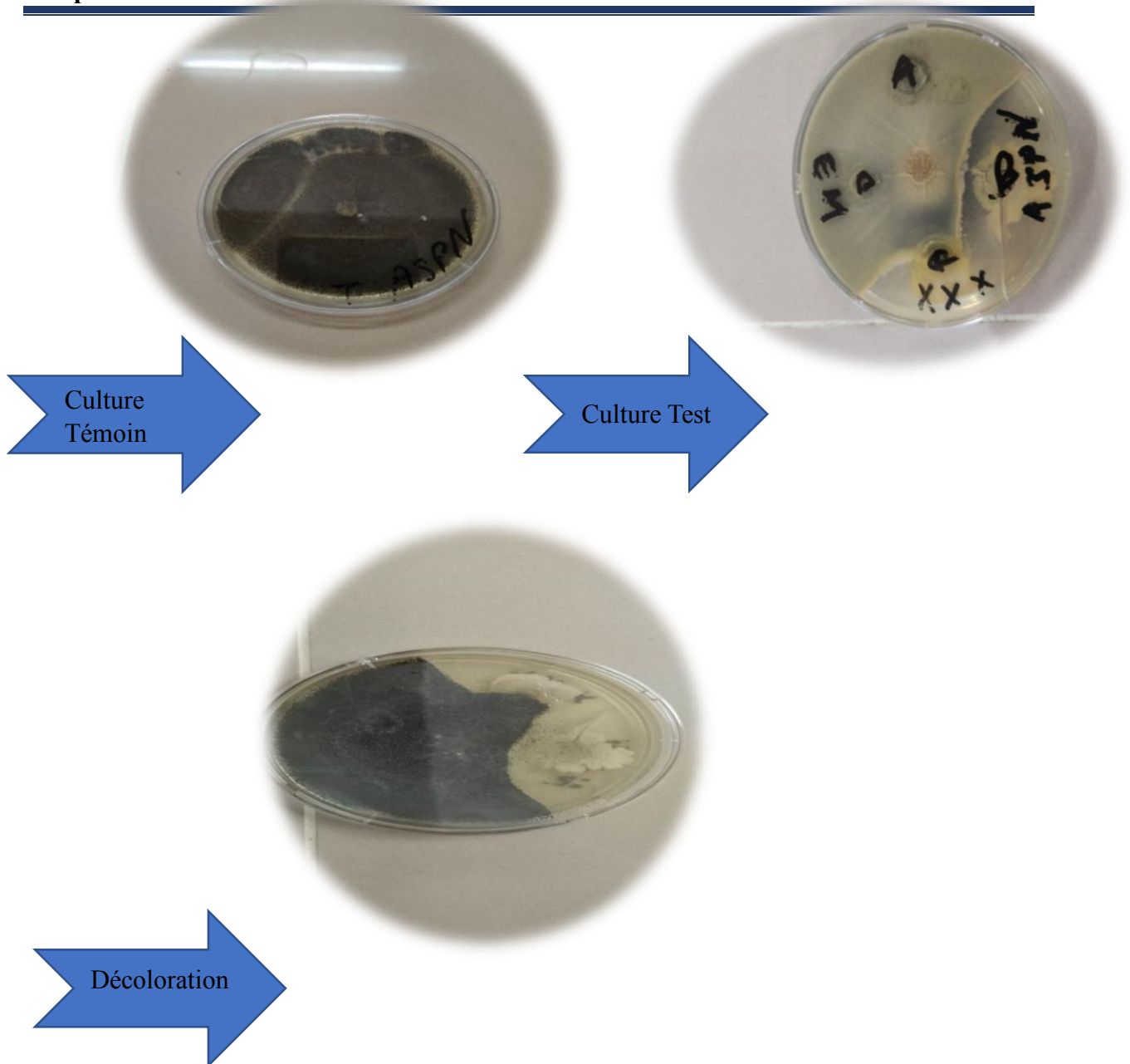


Figure 24. Résultats obtenu vis-à-vis de la souche *Aspergillus niger*

A): EPSEP+DMSO; B) : MBSEP; C): MBEP ; D) : MBCEP

3.9 Evaluation de l'activité antibactérienne

La méthode de l'antibiogramme est employée pour l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de cladode du figuier de barbarie vis-à-vis de trois souches bactériennes : *Pseudomonas* ATCC 27853, *Bacillus* ATCC 14579, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923.

La présence ou l'absence de l'activité antimicrobienne est indiquée par la présence ou non d'une zone d'inhibition, le diamètre de cette dernière est estimé en (mm).

Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus :

Bactérie Extrait	<i>Pseudomonas</i> ATCC 27853	<i>Bacillus</i> ATCC 14575	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923
EPSEP+DMSO	-	-	-
MBSEP	-	-	-
MBEP	-	-	-
MBCEP	-	-	-

Tableau 13. Résultats des tests de l'activités antibactériennes des extraits sur les souches ciblées.

EPSEP+DMSO : Extrait à l'acétate d'éthyle du cladode sans épines solubilisé dans du DMSO à 10%

MBSEP : Mucilage brut extrait de cladode sans épine de la région de Mdouha

MBEP : Mucilage brut extrait de cladode avec épine de la région de Maatkas

MBCEP : Mucilage brut, chauffer au bain marie, extrait de cladode avec épines

Les résultats de l'activité antibactérienne des extraits de cladode du figuier de barbarie se sont avérés négatifs, aucune zones d'inhibition n'est observée vis-à-vis des souches testées. Les résultats ne sont pas en accord avec ceux de (Rochetti et al., 2018), où des zones d'inhibition ont été notées pour des extraits éthanolique et méthanolique vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, par contre aucune activité n'a été observée vis-à-vis d'*E.Coli* ATCC 35218.

D'après Benattia (2017), tous les extraits de cladodes se sont avérés négatifs envers *Escherichia Coli* et *Pseudomonase aeruginosa*, car ces dernières sont très résistantes, alors que la bactérie *Staphylococcus aureus* a démontré une résistance relative vis-à-vis des extraits.

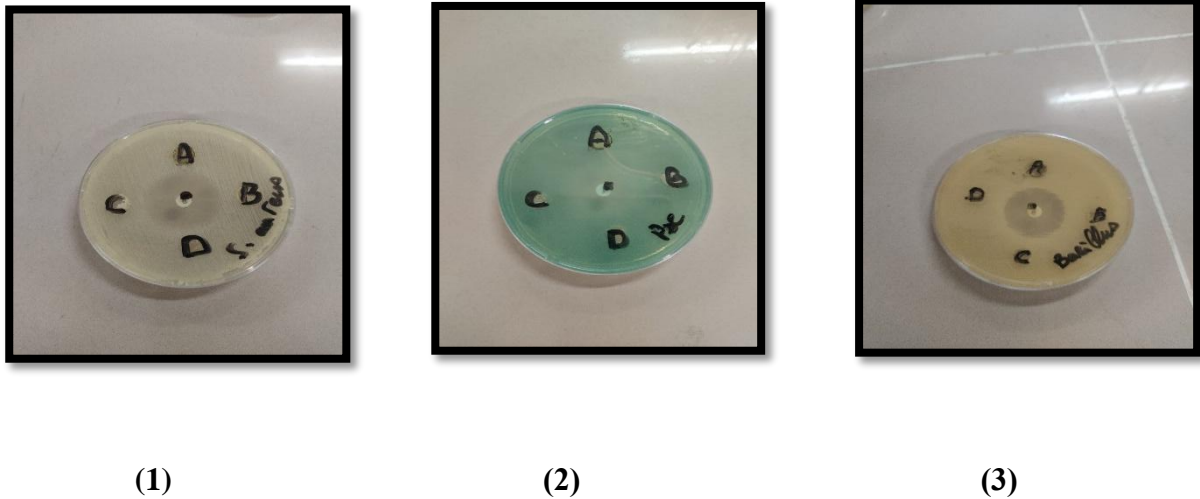


Figure 25. Résultats du test de l'activité antibactérienne obtenus vis-à-vis de la souche *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (1), *Pseudomonas* ATCC 27853 (2) et *Bacillus* ATCC 14575 (3). A) : EPSEP; B) : MBSEP; C) : MBEP ; D) : MBCEP

Conclusion

Conclusion générale

L'*Opuntia ficus indica* est une plante xérophyte de la famille des cactacea, connue communément sous le nom du figuier de barbarie. Cette plante revient sur le devant de la scène et suscite beaucoup d'intérêt pour plusieurs secteurs clefs : agroalimentaire, médicinale, pharmaceutique ...etc, car elle contient des quantités importantes de métabolites secondaires et des composés biologiquement actifs. Les cladodes sont ainsi considérés comme une véritable usine chimique dont il faut tirer un maximum de profit.

A ce propos, le présent travail a été focalisé sur l'extraction de biomolécules à partir de cladodes de l'espèce *Opuntia ficus indica* et l'évaluation des propriétés antibactérienne, antioxydante et antifongique des extraits. Deux types d'échantillons inerme et épineux, provenant de deux régions différentes à savoir Maatkas et M'douha, ont été utilisés. Ce cactus a l'aptitude de vivre avec des quantités faibles en eau et capable de résister à de longues périodes de sécheresse ce qui explique la teneur enregistrée dans toutes les parties (76.2% à 93.75%). La teneur en cendre a été plus importante pour l'échantillon avec épines récolté en période hivernale.

Le rendement en mucilage varie de 2,2mg/g à 12,1mg/g pour l'échantillon épineux de la région de Maatkas.

L'évaluation de l'activité antioxydante est réalisée par le test au radical DPPH, qui démontre que l'extrait brut du mucilage chauffé du cladode épineux, de la région de Maatkas, exprime une forte activité avec un pourcentage d'inhibitions de 78%. Quant à l'extrait organique du cladode épineux à l'acétate d'éthyle, celui-ci a donné un pourcentage de 72,83%

Le mucilage purifié suite à plusieurs lavages n'a démontré qu'un pourcentage de 65,75% pour l'activité antioxydante.

Pour l'activité antifongique, il a été constaté que les extraits ne démontrent aucune activité antifongique vis-à-vis des souches testées, excepté pour *Aspergillus niger* une légère décoloration du mycélium fongique a été observée au contact des extraits.

Concernant l'étude de l'activité antibactérienne des différents extraits des cladodes du figuier de barbarie vis-à-vis de trois souches bactériennes de référence, les résultats obtenus démontrent que les extraits n'ont aucune activité vis-à-vis des souches testées.

Les résultats obtenus dans cette étude sont très encourageants sur le plan extraction du mucilage et de l'activité antioxydante, ce qui prouve que les cladode de *Opuntia ficus indica*

Conclusion générale

peuvent être une source potentielle de composés naturels bioactifs attractifs pour des applications ultérieures.

En perspective, il serait important d'étudier :

- D'autres activités biologiques de cette plante (anti-inflammatoires, antidiabétiques...);
- La structure et les potentialités physico-chimiques du mucilage.
- Activité antibactérienne d'autres parties de la plante.

Références bibliographique

Références bibliographiques

- **ARABA A., ELAICH A., SARTI B., BELBAHRI L, BOUBEKRAOUI A., AIT HAMMOU A., ZEMMOURI A., SBAA H., (2000).** valorisation du figuier de barbarie en élevage, bull. mens.inf.et de liaison du pnnta, 68 : 1-4.
- **ARBA M., (2009).** le cactus opuntia, une espece fruitiere et fourragere pour une agriculture durable au maroc. sym. inter. agriculture durable en region mediterraneenne (adumed),215-222.
- **AHMAD A., DAVIES J., RANDALL S. ET SKINNER GRC. (1996).** antiviral properties of extract of opuntia streptacantha. antiviral res, 30, 75-85.
- **ASKAR A, ET EL SAMAHY S, 1981.** chemical composition of prickly pear fruits. deutsche lebensmittel rundschau 77: 279–281.
- **ADJEROUD-ABDELLATIF, N. HAMMOUI, Y. BOUDRIA, A. AGAB, S. CHOULAK, F. LECLERC, J.P.MERZOUK, B. MADANI, K. 2020.** effect of a natural coagulant extract from opuntia ficus-indica cladode on electrocoagulationelectroflotation water treatment process. international journal of environmental analytical chemistry. doi.org/10.1080/03067319.2020.1804889.
- **ALIMI H., HFAIEDH N., BOUONI Z., HFAIEDH M., SAKLY M., ZOURGUI L., RHOUMA K.B., (2010).** antioxidant and antiulcerogenic activities of opuntia ficus indica f. inermis root extract in rats. phytomedicine 17: 1120-1126.
- **BOUTAKIOUT, A., D. ELOTHMANI, H. HANINE, M. MAHROUZ, D. LE MEURLAY, I. HMID, ET SAID ENNAHLI. 2018.** « effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice ». journal of the saudi society of agricultural sciences 17 (4): 471- 80.
- **BOUTAKIOUT A., (2015).** etude physico-chimique, biochimique et stabilite d'un nouveau produit: jus de cladode du figuier de barbarie marocain (opuntia ficus-indica et opuntia megacantha). these de doctorat en sciences agronomiques. Université d'angers, france.
- **BENATTIA F.K. (2017).** Analyse et application des extraits de pépins de figes de barbarie. Thèse de doctorat en chimie bio-organique et thérapeutique. Université Aboubekr BelkaidTlemcen,Algérie.
- **BRAND-WILLIAMS W., CUVELIER M.E. ET BERSET C., (1995)** use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. lebensm. -wiss. u-technol,28,25-30.

Références bibliographiques

- **BOUZOUBAA Z, ESSOUKRATI Y, TAHROUCH S, HATIMI A, GHARBY S AND HARHAR H.** etude physico-chimique de deux varietes de figuier de barbarie ('achefri' et 'amouslem') du sud marocain.
- **BOUZOUBAA Z., ESSOUKRATI Y., TAHROUCH S., HATIMI A., GHARBY S AND HARHAR H 2014.** laboratoires d'agrophysiologie et physiologie de poste récolte, ur ressources naturelles produits de terroirs; inra-crra-agadir- maroc. b.p. 124 inezgane.laboratoire de biotechnologies végétales, université ibn-zohr; faculté des sciences agadir laboratoire de chimie des plantes et de synthèse organique et bioorganique, faculté des sciences, université mohammed v-agdal, bp 1014- rabat, morocco.
- **BENATTIA, F K (2017).** analyse et application des extraits de pepins de figes de barbarie. these de doctorat : chimie bio-organique et therapeutique. algerie, tlemcen. université aboubekr belkaid. 5-20p.
- **BEN SAAD, ANOUAR, BRAHMI DALEL, ILHEM RJEIBI, AMANI SMIDA, SANA NCIB, NACIM ZOUARI, ET LAZHAR ZOURGUI. 2017.** « phytochemical, antioxidant and protective effect of cactus cladodes extract against lithium-induced liver injury in rats ». pharmaceutical biology 55 (1): 516-522.
- **BELAY K., ABISA Z., ABRAHA T., MEBRAT W. AND BEDASSA S., (2015).** physicochemical properties, phyto-chemical screening, antimicrobial activities and nutritional values of cactus (opuntia ficus-indica) around adigrat. international journal of informative and futuristic research, 3 (2): 1697-2347.
- **BRAHMI, DALEL, YOUSRA AYED, MBARKA HFAIEDH, CHAYMA BOUAZIZ, HEDI BEN MANSOUR, LAZHAR ZOURGUI, ET HASSEN BACHA. 2012.** « protective effect of cactus cladode extract against cisplatin induced oxidative stress, genotoxicity and apoptosis in balb/c mice: combination with phytochemical composition ». bmc complementary edicine 12 (1): 111.
- **CAVALLO., H CHARDON., CJ SOUSSY. ET AL. (2007)** communiqué du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie.
- **CHOUGUI N., DJERROUD N., NARAOUI F., HADJAL S., ALIANE K., ZEROUAL B., LARBAT R. (2015).** physicochemical properties and storage stability of margarine containing opuntia ficus-indica peel extract as antioxidant. food chemistry, 173, 382-390.

Références bibliographiques

- **DEL VALL V., HERNANDEZ MUNOZ P., GUARDA A., GALOTTO M.J. (2005).** development of a cactus mucilage edible coating (opuntia ficus indica) and its application to extend strawberry (fragaria ananassa) shelf-life. food chemistry. 91, 571-756.
- **DOUKKANE ET BOUCHAIB, 2006.** les proprietes alimentaires du figuier de barbarie et de ses usages culinaires. maroc.
- **EL-MOSTAFA K., EL KHARRASSI Y., BADREDDINE A., ANDREOLETTI P., VAMECQ J., EL KEBBAJ M., CHERKAOUI-MALKI M., (2014).** nopal cactus (opuntia ficus-indica) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. molecules. 19(9), 14879-14901.
- **EL-SAMAHY S. K., ABD EL-HADY E. A., HABIBA R. A., AND MOUSSA T. E., 2006.** chemical and rheological characteristics of orange-yellow cactus-pear pulp from egypt, journal of the professional association for cactus development, vol8, p39-51.
- **ENNOURI M., FETOUI H., BOURRET E., ZEGHAL N., GUERMAZI F. AND ATTIA H., (2006).** evaluation of some biological parameters of opuntia ficus indica: 1. influence of seed supplemented diet on rats. bioresource technology, 97, 2136-2140.
- **FEUGANG M.J., KONARSKI P., ZOU D., STINTZING F.C., ZOU C., (2006).** nutritional and medicinal use of cactus pear (opuntia spp.) cladodes and fruits. frontiers in bioscience, 11: 2574-2589.
- **F. DELGADO-VARGAS, A. R. JIMÉNEZ, AND O. PAREDES-LÓPEZ** natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability.
- **FAO,2018** ecologie culture et utilisation du figuier de barbarie.
- **FILANNINO P., CAVOSKI I., THLIEN N., VINCENTINI O., DE ANGELIS M., SILANO M., GOBBETTIM. ET DI CAGNO1 R. (2016).** lactic acid fermentation of cactus cladodes (opuntia ficus-indica l.) generates flavonoid derivatives with antioxidant and antiinflammatory properties. plos one, 11(3), e0152575.
- **FRISVAD J.C. AND LARSEN TH.O., (2016).** extrolites of aspergillus fumigatus and other pathogenic species in aspergillus section fumigati. frontiers in microbiology, 6: 1-14.
- **GINESTRA G., PARKER M.L., BENNETT R.N., ROBERTSON J., MANDALAR G., NARBAD A.,WALDRON K.W., (2009).** anatomical chemical and biochemical

Références bibliographiques

characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21): 10323-10330.

- **GALATI EM., PERGOLIZZI N., MICELI MT., MONFORTE MM. ET TRIPODO. (2002).** study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. cladodes. *J Ethnopharmacology*, 83, 229- 233.
- **GUPTA A., MAHAJAN S., SHARMA R., (2015).** evaluation of antimicrobial activity of curcuma longa rhizome extract against *Staphylococcus aureus*. *Biotechnol Rep (Amst)*, 6:51-55.
- **GEBREKIDAN W., ARAGAW Z., (2017).** antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* skin fruit extracts. *Biotechnology International*, 10 (3): 74-8.
- **GRAMZA, A. AND KORCZAK., J. (2005).** tea constituents (*Camellia sinensis* L.) antioxidants in lipid systems. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 351-358.
- **HADJ SADOK T., (2010).** composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire. thèse de doctorat en sciences agronomiques. école nationale supérieure agronomique, algérie.
- **HABIBI, Y. 2004.** contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique. thèse du doctorat université Joseph Fourier – Grenoble I sciences & géographie université Cadi Ayyad faculté des sciences Semlalia – Marrakech. pp. 222.
- **HUANG D., OU B., PRIOR R. L., 2005** the chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841-1856.
- **HAJAR N., NAWAL A. AND AMJAD D., (2019).** a study to determine total phenolic content of *Opuntia ficus-indica* extracts and their activity against some pathogenic fungi. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, volume 8, issue 1: 98-109.
- **HUANG, D., OU, B., AND RONALD, L. (2005).** the chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841-1856.
- **KOUSHA M., TADI R. AND SOUBANI A., (2011).** pulmonary aspergillosis: a clinical review. *European Respiratory Review*, 20: 156-174.
- **K. GHEDIRA · P. GOETZ PHYTOTHERAPIE (2018)** 16:374-378 doi 10.3166/phyto-2018-0091.

Références bibliographiques

- **LORO JF., RIO I. ET PEREZ-SANTANA L. (1999).** preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of opuntia dillenii aqueous extract. *j ethnopharmacol*, 67,213-8
- **madhan, b., krishnamoorthy, g., rao, j. r., and nair, b. u. (2007).** role of green tea polyphenols in the inhibition of collagenolytic activity by collagenase. *international journal of biological macromolecules*, 41, 16-22.
- **LÓPEZ-ROMERO, PATRICIA, EDGAR PICHARDO-ONTIVEROS, AZALIA AVILA-NAVA, NATALIA VÁZQUEZ-MANJARREZ, ARMANDO R. TOVAR, JOSÉ PEDRAZA-CHAVERRI, ET NIMBE TORRES. 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 ». *journal of the academy of nutrition and dietetics* 114 (11): 1811-18.
- **M-E. MALAININE^{1,2}, A. DUFRESNE¹, D. DUPEYRE¹, M. MAHROUZ², R. VUONG¹, M.R. VIGNON¹ (2001)** Structure et morphologie des raquettes et des épines du figuier de barbarie.
- **MOUSSAOUI B., (2020).** les propriétés biologiques d'extraits des cladodes d'opuntia ficus indica (l.). these de doctorat en sciences biologiques. université abdelhamid ibn badis mostaganem, algerie.
- **MULAS M., MULAS G., (2004).** potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres atriplex et opuntia dans la lutte contre la desertification. short and medium-term priority environmental action programme (smap). université des études de sassari ; groupe de recherche sur la desertification, italie. 112p.
- **MOLYNEUX, P. (2004).** the use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (dpph) for estimating antioxidant activity. *songklanakarin journal of science and technology*.
- **MANSOURI, A., EMBAREK, G., KOKKALOU, E., & KEFALAS, P. (2005).** phenolic profile and antioxidant activity of the algerian ripe date palm fruit (phoenix dactylifera). *food chemistry*, 89, 411-420.
- **MARIOD A.A., IBRAHIM R.M., ISMAIL M. ET ISMAIL N. (2009).** antioxidant activity and phenolic content of phenolic rich fractions obtained from black cumin (nigella sativa) seedcake. *food chemistry*, 306-312.

Références bibliographiques

- **MADHAN, B., KRISHNAMOORTHY, G., RAO, J. R., AND NAIR, B. U. (2007).** role of green tea polyphenols in the inhibition of collagenolytic activity by collagenase. *International*.
- **MUNOZ DE CHAVEZ M., CHAVEZ A., VALLES V.ET ROLDAN J. A. (1995).** The nopal: a plant of manifold qualities .*world review of nutrition and dietetics*.77, 109–134.
- **MANPREET,K., AMANDEEP,K., RAMICA, S. (2012).**pharmacological actions of opuntia ficus indica: a review. *journal of applied pharmaceutical science*. 07: 15-18.
- **NEFFAR S. (2012).** etude de l'effet de l'age des plantations de figuier de barbarie (opuntia ficus indica l. miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et vegetation) des steppes algeriennes de l'est. cas de souk-ahras et tebessa. these de doctorat en biologie vegetale. universite badji-mokhtar, annaba, 236 p.
- **NUÑEZ-GASTELUM J.A., GONZALEZ-FERNANDEZ R., HERNANDEZHERRERA A., CAMPAS-BAYPOLI O.N., RODRIGUEZ-RAMIREZ R., LOBO-GALO N., VALERO-GALVAN J., (2018).** morphological characteristics, chemical composition and antioxidant activity of seeds by four wild opuntia species from north of mexico. *j. prof. assoc. cactus dev*, 20: 23-33.
- **NACZK M. AND SHAHIDI F., (2006).** phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *j. pharm biomed anal*, 41: 1523-1542.
- **NOAH BADR A., GROMADZKA K., GAMAL SHEHATA M., STUPER-SZABLEWSKA K., DRZEWIECKA K., ABDEL-RAZEK A.G., (2020).** prospective antimycotoxigenic action of wild opuntia ficus-indica by-products. *czech journal of food sciences*, 38, (5): 308-314.
- **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. *libensmittelwissenschaftund technology*.
- **PINCEMAIL, J., DEFRAIGNE, J. O., MEURISSE, M., AND LIMET, R. (1998).** antioxydants et prevention des maladies cardiovasculaires 2eme partie : la vitamine e. *medi sphere* ,90.500-508.