

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département de Biochimie – Microbiologie



## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Biologie

Spécialité : Microbiologie Appliquée

### THEME

Etude des propriétés biochimiques, biologiques et pharmacologiques du gel des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*.

#### Réalisé par

Melle. Lilia LAGAB

&

Melle. Lydia CHAMI

Devant le jury composé de :

M. MOUALEK I.

M. TITOUCHE Y.

Mme. BENAHMED DJILALI A.

Président

Examineur

Promotrice

MCA à l'UMMTO

MCA à l'UMMTO

Professeur à l'UMMTO

Année universitaire : 2020/2021

## **Remerciement**

*Nous tenons à remercier le bon DIEU le tout puissant, de nous avoir donné la santé, la force, le courage, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre promotrice Mme BENAHMED DJILALI Adiba, Maître de Conférence (A) au Département de Microbiologie –Biochimie, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou pour avoir encadré ce travail et nous orienter tout au long de ce travail.*

*On remercie vivement Mr MOUALEK I. Maître de Conférences classe (A) à l'UMMTO pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de ce jury.*

*Et à Mr TITOUCHE Y. Maître de Conférences classe (A) à l'UMMTO pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Toutes les autres personnes qui ont pris part à ce mémoire, d'une façon ou d'une autre, et l'ont rendu possible.*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents,*

*A mon frère AHMED et ma sœur SABRINA,*

*A mes grands-parents,*

*A tous les membres de ma grande famille,*

*A ma très chère amie fadhema,*

*A ma collègue Lydia et à toute sa famille,*

*LILIA.*

*Je dédie ce travail*

*A mes parents,*

*A mes frères LOUNES, YAZID, KOCEILA,*

*A mes petits anges AISSA, NASSIM, NASIM, et WASSIM,*

*A mes grands-parents,*

*A mes amies,*

*A ma collègue LILIA et à toute sa famille,*

*LYDIA.*

# Sommaire

# SOMMAIRE

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| <b>INTRODUCTION</b> ..... | <b>1</b> |
|---------------------------|----------|

## **CHAPITRE I : Généralités sur *Opuntia ficus indica* et *Opuntia stricta .var.dillenii***

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| <b>I.1</b>    | <b>Historique</b> .....                                | <b>3</b>  |
| <b>I.2.</b>   | <b>Présentation de la plante</b> .....                 | <b>3</b>  |
| <b>I.3.</b>   | <b>Description de la plante</b> .....                  | <b>4</b>  |
| <b>I.4.</b>   | <b>Classification systématique</b> .....               | <b>6</b>  |
| <b>I.5.</b>   | <b>Autres Appellations</b> .....                       | <b>8</b>  |
| <b>I.6.</b>   | <b>Répartition géographique</b> .....                  | <b>9</b>  |
| <b>I.7.</b>   | <b>Situation actuelle en Algérie</b> .....             | <b>10</b> |
| <b>I.8.</b>   | <b>Domaines d'utilisation</b> .....                    | <b>11</b> |
| <b>I.8.1.</b> | <b>Utilisations médicinales et thérapeutique</b> ..... | <b>11</b> |
| <b>I.8.2.</b> | <b>Utilisation fourragère</b> .....                    | <b>13</b> |
| <b>I.8.3.</b> | <b>Utilisation et intérêt écologique</b> .....         | <b>13</b> |
| <b>I.8.4.</b> | <b>Utilisation alimentaire</b> .....                   | <b>13</b> |
| <b>I.8.5.</b> | <b>Utilisation pharmacologique</b> .....               | <b>14</b> |
| <b>I.8.6.</b> | <b>Production d'alicaments</b> .....                   | <b>15</b> |
| <b>I.8.7.</b> | <b>Utilisation cosmétique</b> .....                    | <b>15</b> |
| <b>I.8.8.</b> | <b>Utilisations anciennes</b> .....                    | <b>16</b> |

## **CHAPITRE II : Généralités sur les métabolites secondaires**

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| <b>II.1.</b>   | <b>Introduction</b> .....                                     | <b>17</b> |
| <b>II.2.</b>   | <b>Composés phénoliques</b> .....                             | <b>17</b> |
| <b>II.3.</b>   | <b>Flavonoïdes</b> .....                                      | <b>18</b> |
| <b>II.4.</b>   | <b>Anthocyanes</b> .....                                      | <b>18</b> |
| <b>II.5.</b>   | <b>Tanins</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>II.6.</b>   | <b>Tanins galliques</b> .....                                 | <b>18</b> |
| <b>II.7.</b>   | <b>Saponines</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>II.8.</b>   | <b>Coumarines</b> .....                                       | <b>19</b> |
| <b>II.8.1.</b> | <b>Rôle physiologique des coumarines dans la plante</b> ..... | <b>20</b> |
| <b>II.8.2.</b> | <b>Propriétés pharmacologiques</b> .....                      | <b>20</b> |
| <b>II.9.</b>   | <b>Alcaloïdes</b> .....                                       | <b>20</b> |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| II.9.1.  | Rôle des alcaloïdes dans les plantes..... | 20 |
| II.9.2.  | Propriétés pharmacologiques.....          | 20 |
| II.10.   | Glucosides .....                          | 21 |
| II.11.   | Osides .....                              | 21 |
| II.11.1. | Importance en Biologie.....               | 21 |

### **CHAPITRE III : Matériel et méthodes**

|            |   |    |
|------------|---|----|
| III.1.     | Cadre de l'étude .....                                | 22 |
| III.2.     | Matériel.....   | 22 |
| III.2.1.   | Matériel du laboratoire .....                         | 22 |
| III.2.2.   | Matériel végétal.....                                 | 22 |
| III.2.3.   | Matériel biologique .....                             | 23 |
| III.3.     | Analyse phytochimique des gels des cladodes .....     | 23 |
| III.3.1.   | Préparation de l'infusé .....                         | 23 |
| III.3.2.   | Recherche des anthocyanes.....                        | 23 |
| III.3.3.   | Recherche des tanins.....                             | 23 |
| III.3.4.   | Recherche des tanins galliques .....                  | 24 |
| III.3.5.   | Recherche des flavonoïdes.....                        | 24 |
| III.3.6.   | Recherche des saponosides.....                        | 24 |
| III.3.7.   | Recherche des quinones libres .....                   | 24 |
| III.3.8.   | Recherche des quinones combinées .....                | 24 |
| III.3.9.   | Recherche des alcaloïdes .....                        | 25 |
| III.3.10.  | Recherche des glucosides.....                         | 25 |
| III.3.11.  | Recherche des coumarines .....                        | 25 |
| III.3.12.  | Recherche des sennosides .....                        | 25 |
| III.4.     | Analyses physico-chimiques des gels des cladodes..... | 25 |
| III.4.1.   | Mesure du pH.....                                     | 25 |
| III.4.2.   | Acidité titrable (NF V 05-101,1974) .....             | 26 |
| III.4.3.   | Dosage des sucres .....                               | 26 |
| III.4.3.1. | Dosage des sucres totaux .....                        | 27 |
| III.4.3.2. | Dosage des sucres réducteurs.....                     | 28 |
| III.4.3.3. | Taux de saccharose .....                              | 28 |
| III.4.4.   | Dosage de l'acide ascorbique.....                     | 28 |
| III.4.5.   | Dosage des polyphénols totaux.....                    | 29 |
| III.4.6.   | Dosage des flavonoïdes.....                           | 31 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| III.4.7. | Dosage de la chlorophylle .....   | 32 |
| III.5.   | Evaluation de l'activité antioxydante par DiPhényl-Picryl-Hydrazyl (DPPH) ..... | 32 |
| III.6.   | Mesure de la viscosité .....  | 33 |
| III.7.   | Extraction du mucilage des gels des cladodes .....                              | 33 |
| III.8.   | Etude de l'activité antimicrobienne.....  | 33 |
| III.8.1. | Préparation des extraits .....  | 33 |
| III.8.2. | Préparation des milieux de culture.....   | 33 |
| III.8.3. | Préparation des disques.....  | 34 |
| III.8.4. | Revivification des souches .....  | 34 |
| III.8.5. | Préparation de l'inoculum et standardisation des suspensions bactériennes ..... | 34 |

#### **CHAPITRE IV : Résultats et discussion**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| IV.1. | Résultat du screening phytochimique .....                             | 36 |
| IV.2. | Résultats des paramètres physico-chimiques des gels des cladodes..... | 37 |
| IV.3. | Résultats du dosage de la chlorophylle .....                          | 38 |
| IV.4. | Résultats du dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes.....    | 39 |
| IV.5. | Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante par DPPH.....       | 40 |
| IV.6. | Résultats de la mesure de la viscosité.....                           | 41 |
| IV.7. | Résultats de l'activité antibactérienne.....                          | 45 |
|       | CONCLUSION .....  | 49 |
|       | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....                                      | 51 |
|       | ANNEXES.....  | 54 |
|       | RESUME.....   | 64 |

# Liste des abréviations

## Liste des abréviations

- **ATB :** Antibiotique
- **EAG :** Equivalant d'Acide Gallique
- **DO :** Densité optique
- **DPPH :** Diphényl-picryl-hydrazyl
- **GN :** Gélose nutritive
- **MS :** Matière Sèche
- **MH :** Muller Hinton
- ***O.fi* :** *Opuntia ficus indica*
- ***O.sd* :** *Opuntia stricta.var. dillenii*
- **PTT :** PolyPhénols Totaux

# Liste des figures

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 - Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes (a), fleur (b), fruit (c) et graines (d).....   | 5  |
| Figure 2 - Photographie d' <i>Opuntia stricta</i> .var. <i>dilleni</i> avec ses cladodes, fleurs et fruits .....   | 6  |
| Figure 3 - Photographie d' <i>O.fi</i> .....   | 7  |
| Figure 4 - Photographie d' <i>O.sd</i> .....   | 8  |
| Figure 5 - Distribution d' <i>O.fi</i> dans le monde.....  | 9  |
| Figure 6 - Distribution d' <i>O.sd</i> dans le monde .....   | 10 |
| Figure 7 - Propriétés médicinales du cactus .....  | 12 |
| Figure 8 - Filtration des extraits aqueux et éthanoliques des gels des cladodes.....   | 29 |
| Figure 9 - diagramme de dosage des PPT .....   | 30 |
| Figure 10 - Etapes de dosage des flavonoïdes .....   | 31 |
| Figure 11 - Viscosités des gels purs des cladodes d' <i>O.fi</i> , d' <i>O.sd</i> et leur mélange en fonction de taux de cisaillements mesurés à 20°C .....                  | 41 |
| Figure 12 - Viscosités des gels lyophilisés des cladodes d' <i>O.fi</i> , d' <i>O.sd</i> et leur mélange lyophilisé en fonction de taux de cisaillements mesurés à 20°C..... | 41 |
| Figure 13 - Viscosité du gel pur des cladodes d' <i>O.fi</i> en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C .....  | 42 |
| Figure 14 - Viscosité du gel pur des cladodes d' <i>O.sd</i> en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C .....  | 43 |
| Figure 15 - Viscosité du mélange des gels purs des cladodes des deux espèces en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C.....   | 43 |
| Figure 16 - Viscosité du gel lyophilisé des cladodes d' <i>O.fi</i> en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C .....   | 44 |
| Figure 17 - Viscosité du gel lyophilisé des cladodes d' <i>O.sd</i> en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C .....   | 44 |
| Figure 18 - Viscosité du mélange des gels lyophilisés des cladodes des deux espèces en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C .....                                 | 45 |
| Figure 19 - Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....   | 57 |
| Figure 20 - Courbe d'étalonnage de flavonoïde (Quercetine).....  | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 21 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.fi</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923).....                      | 59 |
| Figure 22 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.sd</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923)....                       | 59 |
| Figure 23 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923). .....      | 59 |
| Figure 24 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.fi</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923).....                | 60 |
| Figure 25 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.sd</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923).....                | 60 |
| Figure 26 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923) ..... | 60 |
| Figure 27 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.fi</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (MU50).....                     | 61 |
| Figure 28 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.sd</i> testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (MU50).....                     | 61 |
| Figure 29 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre <i>Staphylococcus aureus</i> (MU50).....       | 61 |
| Figure 30 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.fi</i> testés contre <i>Enterococcus faecalis</i> (WDCM 00009) .....              | 62 |
| Figure 31 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d' <i>O.sd</i> testés contre <i>Enterococcus faecalis</i> (WDCM 00009) .....              | 62 |
| Figure 32 - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre <i>Enterococcus faecalis</i> (WDCM 00009)..... | 62 |
| Figure 33 - Photographie du gel pur des cladodes d' <i>O.fi</i> et d' <i>O.sd</i> et leur mélange.....   | 63 |
| Figure 34 - Photographie du gel lyophilisé des cladodes d' <i>O.fi</i> et d' <i>O.sd</i> et leur mélange....   | 63 |

# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Tableau I    | Souches bactériennes testées .....   | 23 |
| Tableau II   | Classement des souches en fonction du diamètre de la zone d'inhibition .....   | 35 |
| Tableau III  | Résultats du screening phytochimique des gels des cladodes .....   | 36 |
| Tableau IV   | Résultats des paramètres physico-chimiques des gels des cladodes .....   | 37 |
| Tableau V    | Résultats du dosage de la chlorophylle des gels des cladodes .....   | 38 |
| Tableau VI   | Résultats du dosage des PPT totaux des extraits aqueux et ethanoliques et des flavonoïdes des gels des cladodes .....  | 39 |
| Tableau VII  | Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante par DPPH .....   | 40 |
| Tableau VIII | Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et ethanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d' <i>O.fi</i> , d' <i>O.sd</i> et leurs mélanges testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923)..... | 46 |
| Tableau IV   | Résultat de l'activité antibactérienne des extraits ethanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d' <i>O.fi</i> , d' <i>O.sd</i> et leur mélange testés contre <i>Staphylococcus aureus</i> (MU50).....                   | 47 |
| Tableau X    | Résultats de l'activité antibactérienne des extraits ethanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d' <i>O.fi</i> et d' <i>O.sd</i> et leur mélange testé contre <i>Enterococcus faecalis</i> (WDCM 00009) .....           | 48 |
| Tableau XI   | Appareillages, matériels de laboratoire, solvants et réactifs chimiques utilisés pour l'analyse phyto et physicochimique.....  | 54 |
| Tableau XII  | Appareillages, matériels de laboratoire, solutions et milieux de culture utilisés pour l'activité antibactérienne .....  | 55 |
| Tableau XIII | Résultats du screening phytochimique .....   | 55 |

# **Introduction**

Depuis les temps anciens, à la recherche des agents thérapeutiques contre les maladies, les humains recherchent des médicaments dans des environnements naturels.

Le début de l'utilisation des plantes médicinales était instinctif et il n'y avait pas assez d'informations sur les raisons des maladies et comment les plantes pouvaient être utilisées comme remède. De nos jours, il est rapporté qu'il existe environ 2000 groupes de plantes médicinales dans le monde chacun a sa valeur clinique et sa composition chimique unique.

Une estimation de l'organisation mondiale de la santé (OMS) a montré qu'environ 80% de la population Africaine dépendent des plantes médicinales pour le traitement de nombreuses maladies et plus de 3,3 milliards de personnes dans les pays à faible population utilisent régulièrement des plantes médicinales.

De nombreuses études ont révélé les effets secondaires des médicaments chimiques, ce qui a incité à faire des recherches partout dans le monde pour mener divers travaux sur le thème des plantes médicinales et leur propriétés précieuses qui peuvent être une nouvelle source de médicaments avec des effets secondaires moindres et une efficacité plus élevée.

De nos jours, les cladodes, les fruits et les fleurs d'*Opuntia* font l'objet de nombreuses études en raison de leurs propriétés recherchées dans le domaine alimentaire, cosmétique et pharmaceutique (Msaddak et al., 2018; Belmadadi e al.,2018; Benattia et al., 2017). Les parties génératives et végétatives des cactus ont occupé une place de longue date dans la médecine populaire et leurs effets pourraient être en partie confirmés par des expériences scientifiques ce qui attire l'attention des chercheurs du monde entier.

L'*Opuntia spp* originaire de Mexique appartient à la famille des cactacées pousse dans les régions arides et semi-arides (Bayer et al., 2016), contient environ près de 300 espèces, malgré cela, l'espèce d'*Opuntia ficus indica* est la plus consommée et le plus étudiée contrairement à l'espèce d'*Opuntia stricta.var.dillenii*, sur laquelle peu de travaux scientifiques ont été publiés.

Dans la présente étude, notre intérêt est porté sur l'étude du gel des cladodes de deux espèces d'*Opuntia, ficus indica* et *Opuntia stricta.var.dillenii*. Les cladodes de ces deux espèces sont caractérisés par leur forte production du mucilage (Di Lorenzo et al. 2017), sont principalement composés de polysaccharides, de minéraux, d'acides aminées, des vitamines, des acides phénoliques et des flavonoïdes (Malainine et al., 2003; Stintzing et al., 2005 ; Aragona et al. 2018), et par leurs potentiels de prévenir ou de traiter certaines maladies (Barka

Ce qui a mené notre objectif principal vers l'étude et la comparaison des propriétés biochimiques, biologiques et rhéologiques du gel des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*.

Notre travail est présenté en quatre chapitres :

Le premier chapitre correspond ; à la partie bibliographique qui présente des généralités sur l'*Opuntia ficus indica* et l'*Opuntia stricta.var.dillenii*.

Le second chapitre présente des généralités sur les métabolites secondaires.

Le dernier chapitre constitue la partie expérimentale qui comporte :

- Le screening phytochimique du mucilage des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*.
- L'étude de l'activité antimicrobienne du mucilage des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*.

Ainsi que les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, nous terminons avec une conclusion générale.

**Chapitre I**  
**Généralités sur**  
*Opuntia ficus indica*  
**et**  
*Opuntia*  
*stricta.var.dillenii*

## I.1. Historique

### ▪ *Opuntia ficus indica* (*O.fi*)

L'*O.fi* communément appelée figuier de Barbarie est une plante originaire des zones tropicales du continent Nord- Américain, en particulier du Mexique (Araba et *al.* 2000) la ou en trouvé des graines fossiles datant du 7<sup>eme</sup> siècle av. JC et indiquant sont utilisation alimentaire à l'époque préhistorique (Barbera et Inglese, 1993), au Mexique l'*O.fi* constitue une légende chez le peuple Aztèques, originaire du grand désert du Nord. En 1724, Mexico fait figurer dans ses armes une plante de nopal, en 1822, l'empereur Iturbide (descendant aztèque) fait de cet emblème le symbole de l'empire mexicain tout entier et c'est ce qui porte le drapeau mexicain aujourd'hui.

En Europe, l'*O.fi* était inconnue avant la découverte du nouveau monde par Christophe Colomb, puis a été décrite d'une manière précise pour la première fois par l'auteur espagnol Hermondez de Oviedo y Valdés en 1595 dans son histoire des « indes occidentales ». Cette plante s'est adaptée très vite sur les terres arides des zones méridionales de la péninsule ibérique. A l'aube du seizième siècle, la plante s'est répandue dans le bassin méditerranéen suite aux expansions espagnoles et aussi par le retour des arabes à leur pays dans le nord- africain suite à leur expulsion par Philippe III en 1610, ces expulsés ont ramené avec eux des raquettes qu'ils ont planté autour de leurs villages. La plantation du figuier de barbarie a été considérablement étendue dans la région du sud de l'Afrique (1772), l'Inde (1780), les Philippines (1695), la Chine (1700) et l'Indochine (1790).

### ▪ *Opuntia stricta.var.dillenii* (*O.sd*)

Est l'une des espèces du cactus ornementales les plus populaires au monde, tient ces origines du Mexique mais elle a vite envahi plusieurs régions du monde : Sydney, Nouvelle-Galles du Sud avant 1839, Rockhampton, Queensland vers 1870 (Mann, 1970).

En 1920 *O.sd* a couvert jusqu'à 24 millions d'hectares en Australie où elle a été utilisée pour la lutte biologique, et en 1953 a été plantée pour la première fois dans le parc national Kruger en Afrique du sud.

## I.2. Présentation de la plante

La famille des cactées appartient aux plantes grasses. Elles ont la capacité de survivre sur leurs réserves durant une période de sécheresse temporaire grâce à un système de stockage de l'eau. Dans une situation similaire, la plupart des autres plantes dépériraient et mourraient par manque d'eau (Mace, 2003). Leur aspect souvent étrange est lié aux mutations qu'elles

ont mises au point pour stocker l'eau dans leurs tiges, leurs racines ou leurs cladodes qui sont très charnues.

Les cellules de ces plantes supportent de grandes variations de leur teneur en eau que les autres plantes « normales » (Mace, 2003). Le revêtement dense en épines joue un rôle décisif et limite les effets de la chaleur solaire intense en fournissant une ombre partielle à la plante.

- ***Opuntia ficus indica***

Également connue sous le nom de cactus nopal, est une plante angiosperme dicotylédone originaire d'Amérique du Sud. Elle appartient au genre le plus abondant au sein de la famille des *Cactacées*. Cette plante peut pousser dans les climats arides et semi-arides du monde entier

Avec un grand potentiel économique. En particulier, environ 70 000 ha ont été consacrés à la culture d'*Opuntia ficus indica* en Tunisie, 100 000 ha en Italie et 300 000 ha au Brésil, en plus de vastes superficies en Algérie, en Argentine, au Chili, au Mexique et en Afrique du Sud et du Nord.

Le figuier de Barbarie est une plante intéressante en raison des conditions environnementales dans lesquelles elle se développe et sa résistance aux conditions climatiques extrêmes (Hernández-Urbiola et al. 2011).

- ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Membre bien connu de la famille des cactacées, est utilisé comme plante médicinale dans divers pays et pousse dans les zones désertiques, semi-désertique, tropicales et subtropicales.

### **I.3. Description de la plante**

Le genre *Opuntia* appartient à la famille des *Cactaceae* qui compte environ 130 genres et 1500 espèces, dont 300 appartiennent au genre *Opuntia* (Mulas et al. 2004), subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces décrites, dont fait partie *O.fi* et *O.sd*.

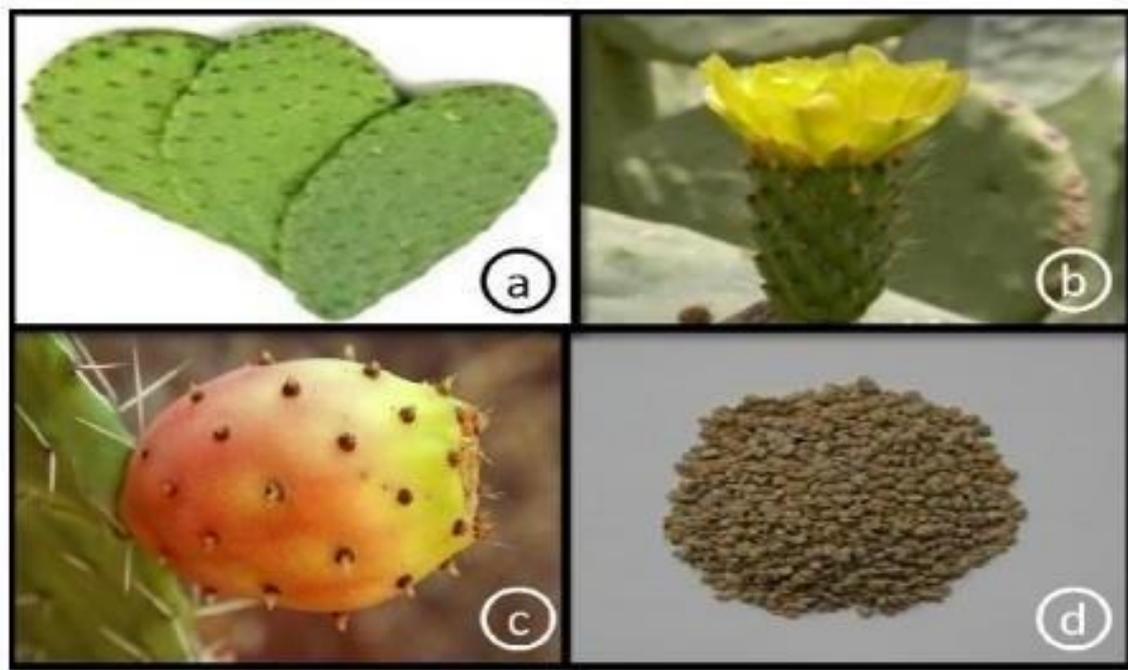
- ***Opuntia ficus-indica***

Le figuier de barbarie est une plante arborescente, caractérisée par des tiges en forme de raquettes plates charnues et ovales pouvant atteindre 3 à 4 mètres de haut. Les raquettes,

appelées cladodes (Fig.1 (a)), mesurent 30 à 40 cm de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur et d'environ 1 kg du poids. De couleur verte, elles s'unissent les unes aux autres en formant des sortes de branches. Les cladodes de la base, en vieillissant, finissent par se lignifier pour former un véritable tronc.

L'*O.fi* possède des fleurs et des fruits en abondance (Fig. 1 (b et c)). Ses fleurs sont larges de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Généralement, les fleurs sont comestibles, comme le fruit auquel elles donnent naissance, ce dernier se présente sous la forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, à l'extrémité supérieure il a un péricarpe dur où se trouvent de petites épines cellulosiques. Les fruits varient de 4,8 à 10 cm de long, pour une largeur de 4 à 8 cm et pèsent entre 100 et 200 g dont la chair d'une couleur variant du jaune clair au rouge violacé. Ces fruits sont ornés de petites épines, la pulpe est juteuse et gélatineuse et constitue la partie comestible dont le goût se révèle délicieux et subtil.

Ses graines (Fig. 1(d)), sont riches en vitamines et en oligoéléments, lui confèrent de nombreuses propriétés et c'est à partir de ces graines que l'on obtient une huile très recherchée (Revue nature et santé, 2011).



**Figure 1** - Photographie de figuier de barbarie avec ses cladodes (a), fleur (b), fruit (c) et graines (d)

▪ ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Appelée aussi figue barbarie australienne où figue de barbarie de Dillen est un arbuste tentaculaire ou érigés vert pale, poussant dans des conditions désertiques et

sèches d'une hauteur d'environ 1 à 1,8 m qui a de très belles fleurs avec une coloration étonnante due à la bétalaïne. Le fruit de l'*O.sd* (Fig. 2) est un petit haw, extrêmement juteux sans épines, il est formé d'une peau épaisse rouge violet profond et d'une pulpe rouge-violet avec des petites graines abondantes, il est caractérisé par une petite taille, un faible poids et une couleur violet foncé avec des fleurs hermaphrodites, jaunes et fleurissent en printemps-été (février-juin).



*Figure 2 - Photographie d'Opuntia stricta.var.dillenii avec ses cladodes, fleurs et fruits*

#### **I.4. Classification systématique**

La famille des *Cactacées* a été classée près de la famille de carotte (*Apiaceae*), mais après la découverte de bétalaïne dans les *Cactacées*, les taxonomistes ont placé cette famille dans l'ordre de *Caryophyllées*, avec d'autres familles d'*Angiosperme* productrices de bétalaïne. Sur la base de la morphologie florale, quatre sous familles principales sont décrites dans la famille de *Cactacées* : *Perskioideae*, *Cactoideae*, *Maihuenioideae*, *Opuntioideae*. Les sous familles des *Opuntioideae* comprennent la tribu d'*Opuntieae* qui comprend à son tour le genre *Opuntia* qui compte environ 300 espèces.

La position systématique d'*O.fi* et d'*O.sd* est donnée ci-dessous :

▪ ***Opuntia ficus indica***



**Figure 3 - Photographie d'*O.fi***

|                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| <b>Règne :</b>        | <b>Plantae</b>              |
| <b>Sous –règne :</b>  | Tracheobionta               |
| <b>Division :</b>     | Magnoliophyta               |
| <b>Classe :</b>       | Magnoliopsida               |
| <b>Sous-classe :</b>  | Caryophyllidae              |
| <b>Ordre :</b>        | Caryophyllales              |
| <b>Famille :</b>      | <i>Cactaceae</i>            |
| <b>Sous famille :</b> | <i>Opuntioideae</i>         |
| <b>Tribu :</b>        | <i>Opuntieae</i>            |
| <b>Genre :</b>        | <i>Opuntia</i>              |
| <b>Espèce :</b>       | <i>Opuntia ficus indica</i> |

- *Opuntia stricta.var.dillenii*



*Figure 4 - Photographie d'O.sd*

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>Règne :</b>            | <b>Plantea</b>                      |
| <b>Sous –règne :</b>      | Tracheobionta                       |
| <b>Division :</b>         | Magnoliophyta                       |
| <b>Classe :</b>           | Magnoliopsida                       |
| <b>Sous-classe :</b>      | Caryophyllidae                      |
| <b>Ordre :</b>            | Caryophyllales                      |
| <b>Famille :</b>          | <i>Cactaceae</i>                    |
| <b>Genre :</b>            | <i>Opuntia</i>                      |
| <b>Espèce :</b>           | <i>Stricta</i>                      |
| <b>Nom binomial:</b>      | <i>Opuntia stricta.var.dillenii</i> |
| <b>Nom vernaculaire :</b> | Cactus rouge                        |

### I.5. Autres Appellations

- *Opuntia ficus indica*

Il existe plusieurs appellations selon les différentes régions dont le Nopal est le nom mexicain de la plante, vient du mot Nochtli en nahuatl, langue classique des Aztèques. En Espagne, Nopallito, on l'appelle familièrement Nopalcito, Tuna, Ensada, Higos de Pala,

Higos de Mauro. En Andalousie : Chumbera ou Higuera Chumbra. Dans les pays francophones du bassin méditerranéen, où il est très populaire l'*Opuntia* est surnommé figuier de barbarie. En Italie : Fico de India, en Angleterre : Barbary fig, Devils tongue (langue du diable), Prickly pear (poire à épines), Indian fig tree, en Allemagne : Feigenkaktus, Feigendistel, Indische Feige, Opuntie. En Égypte c'est l'El-tin-el-Choki. En Afrique du nord, en Tunisie, l'*O.fi* est connue sous le nom de « hendi », au Maroc le figuier de barbarie possède plusieurs noms vernaculaires : « hindia », « zaâboul », et « aknari ». En Algérie El hendi, avec une référence à l'Inde, kermous nsara et plus précisément en Kabylie « akermous ».

- ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Le cactus *O.sd* a un nom spécifique : *O.sd* (Ker-gawl) Haw. Et aussi appelé figue de barbarie australienne, figue de barbarie commune, figue de barbarie de Dillen, figue indienne d'Eltham, figue de barbarie dressée, figue de barbarie, poire Gayndah, figue de barbarie douce, figue de barbarie épineuse, poire de ravageur épineuse, figue de barbarie aigre.

## I.6. Répartition géographique

- ***Opuntia ficus indica***

L'*O.fi* originaire du Mexique actuellement, elle est présente dans toutes les régions au climat chaud et aride, sous forme naturelle ou cultivée, dans différents pays ; en Australie, en Californie, au Chili, Israël, l'Afrique du sud, au Brésil, en Colombie, au Pérou, en Espagne, Grèce, Turquie, Italie, Jordanie, en Inde, Égypte, Tunisie, au Maroc et en Algérie où sa répartition géographique n'est pas bien déterminée, elle est répartie beaucoup plus dans les zones côtières jusqu'aux zones arides.



**Figure 5 - Distribution d'*O.fi* dans le monde**

- ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Sa répartition géographique est surtout localisée aux états unis, Texas, Géorgie, en Floride, mais elle a vite envahi plusieurs régions du monde car on la retrouve actuellement en Afrique, en Asie, en Europe (Espagne, Portugal), en Amérique du sud, Australie, et dans d'autres régions du monde.



**Figure 6 - Distribution d'*O.sd* dans le monde**

### **I.7. Situation actuelle en Algérie**

Historiquement, l'introduction du cactus en Algérie a été similaire à celle du Maroc et de la Tunisie. Aujourd'hui, les zones dédiées à la culture de l'*Opuntia* s'étendent sur plus de 30 000ha dont 60% dans la municipalité de Sidi-Fredj (45 km au nord de Souk Ahras) et le reste à Ouled Mimoune, Taoura, Dréa et Ouilène (Huffpost Algérie, 2015). A l'origine, la zone a été étendue par le Haut-Commissariat pour le Développement de la Steppe, la Direction des Services Agricoles et la Conservation des Forêts pour contrôler la progression du désert (Belgacem, 2012).

Dans le nord, *O.fi* est utilisée comme clôture autour des maisons et des petites villes. Les clôtures de plantes sont aussi utilisées pour la production de fruits et, en saison sèche, comme source de fourrage. Les fruits sont récoltés dans des plantations naturelles et sont utilisés pour la consommation humaine ou vendus dans les marchés locaux.

Dans le sud, les cladodes d'*Opuntia* émergent comme aliment pour les petits ruminants et les dromadaires. Tout comme dans d'autres pays Africains, la culture suscite de l'intérêt en

Algérie qui a aujourd'hui sa première unité de transformation d'*O.fi.* L'installation -basée à Sidi-Fredj et couvrant 5000 m<sup>2</sup> peut transformer environ deux tonnes à l'heure. Ses principales fonctions sont le conditionnement des figues de barbarie et la production d'huile essentielle, de produits pharmaceutiques, de jus, de confitures et d'aliments du bétail. L'usine de transformation représente un moyen important pour améliorer les revenus des habitants de la wilaya de Souk Ahras (Agence Ecofin, 2015).

## **I.8. Domaines d'utilisation**

### **I.8.1. Utilisations médicales et thérapeutique**

#### ▪ ***Opuntia ficus indica***

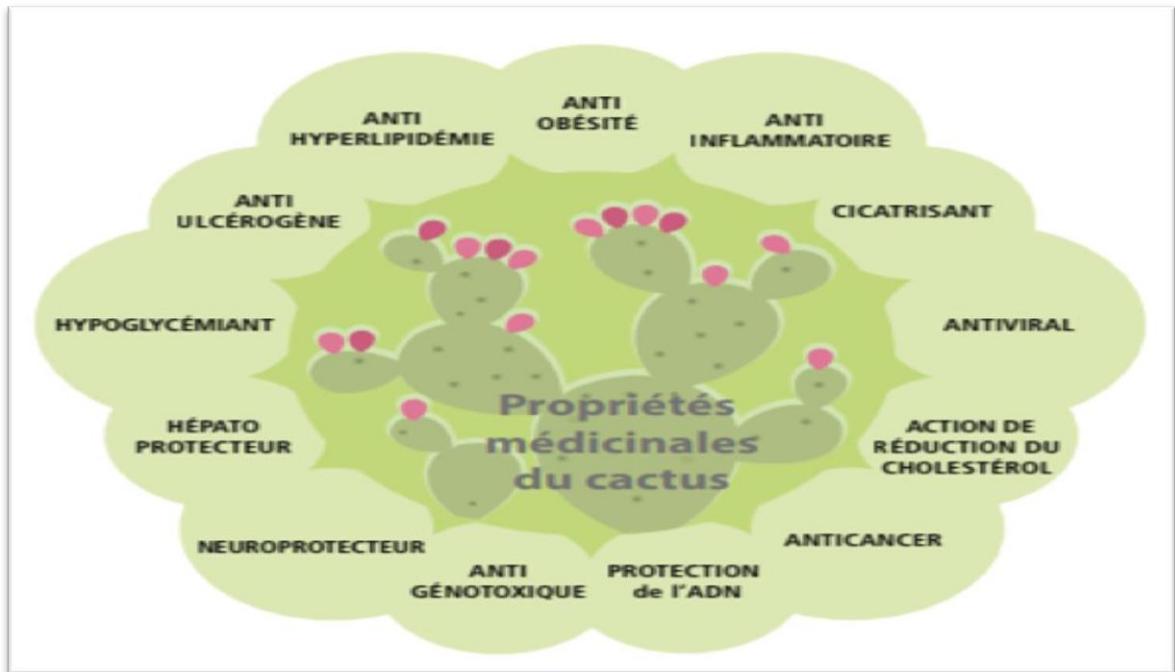
Le figuier de barbarie est connu pour sa richesse en molécules actives bénéfiques ce qui rend son utilisation importante dans le domaine médicale et thérapeutique, car il permet de lutter efficacement contre les affections les plus graves : l'angoisse, l'artériosclérose, le cholestérol, le diabète, l'obésité, la spasmophilie et le stress (Schweizer, 1997).

Le mucilage isolé des raquettes permet de réduire le taux de cholestérol total dans le sang. Le jus des cladodes contient une grande variété de composés antioxydants comme les polyphénols (en particulier certains flavonoïdes), la vitamine C et E,  $\beta$ -carotène (provitamine A), le glutathion (El kharrassi, 2015). Une teneur intéressante en poly phénols réduit le risque de cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies neuro-dégénératives comme l'Alzheimer (Feugang et *al.* 2006).

Les extraits des cladodes peuvent avoir des effets antiulcéreux et anti-inflammatoire. L'extrait aqueux améliore remarquablement la cicatrisation des plaies (El-Mostafa et *al.* 2014).

Les fleurs de cette plante sont utilisées en Sicile pour la préparation d'un thé pour traiter les douleurs rénales. Des capsules qui sont faites à partir de ces fleurs séchées sont utilisées comme remède contre le dysfonctionnement de la prostate (hypertrophie bénigne de la prostate), et aussi comme régulateur diurétique (Arba, 2009).

Ces fruits sont connus au Maroc pour le fait qu'ils arrêtent les coliques et les diarrhées. (Schweizer 1997 ; Arba et *al.* 2000).



**Figure 7 - Propriétés médicinales du cactus (Ingles et al. 2018)**

▪ ***Opuntia stricta.var.dillenii***

L'*Opuntia stricta.var.dillenii* a été pour longtemps utilisée comme plante médicinale pour le traitement de diverses maladies. De nos jours plusieurs études ont montré son importance dans les domaines médicale et thérapeutique, où elle est utilisée dans divers pays du monde dont l'Inde, les Iles, Canaries, Taiwan et la Chine.

La richesse de ses fruits en bétalaïnes, en acide ascorbique, en fibres, en polyphénols et en protéines suggère le potentiel important de cette plante comme thérapie complémentaire contre plusieurs pathologies, telles que :

Le cancer, une enquête a montré des effets anti tumoraux de polysaccharides isolés d'*O.sd* sur des lignées cellulaires SK-MES-1.

Le diabète, ou plusieurs expérimentations ont montré son effet antidiabétique car elle permet de réduire le taux du glucose dans le sang et permet d'éviter l'altération de la fonction rénale chez les diabétiques.

En plus de ces deux effets anti-tumorale et antidiabétique, l'*O.sd* possède d'autres effets tels que l'effet anti-inflammatoire, antioxydant, neuro-protecteur, hépato protecteur et hypotenseur.

### **I.8.2. Utilisation fourragère**

La production de fourrage constitue la deuxième grande utilisation de l'*O.fi*, cette dernière est utilisée pour le fourrage des bovins, des moutons, des chèvres, des chameaux et d'autres animaux. (Becarro et al. 2014). L'*O.fi* assure un stock alimentaire pour le cas d'une situation critique de sécheresse, la consommation de ces cladodes riches en eau, fibres, en protéines et en éléments minéraux permet d'améliorer la saveur du lait et la couleur du beurre. La culture pour la production de fourrage est importante principalement au Mexique, en Amérique sud et dans le sud des Etats- Unis (Beccaro et al. 2014).

### **I.8.3. Utilisation et intérêt écologique**

Le figuier de barbarie à un rôle important dans la protection et la mise en valeurs des sols dans les régions arides et semi arides, ses racines permettent de maintenir le sol et ainsi de limiter son érosion, sa richesse en eau permet la fertilisation des sols. En effet, il présente également une barrière contre les sables transportés par le vent, et une résistance contre les feux ce qui lui offre une protection contre les incendies.

### **I.8.4. Utilisation alimentaire**

#### ▪ ***Opuntia ficus indica***

La première importance économique du cactus dans le monde réside dans la production de fruit comestible. Ses fruits juteux sont connus par leurs teneurs élevées en sucre, leur richesse en minéraux et en vitamines. Ils sont produits et vendus dans divers pays du monde. Ils sont commercialisés à l'état frais ou transformés : séchés, congelés, sous forme de confit, de jus et d'alcool (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010).

Particulièrement, les fruits les jeunes cladodes d'*Opuntia*, sont consommées aussi comme légume au Mexique et dans le sud des Etats Unis car ils sont tendres et fibreux, riches en vitamine C et en calcium et leur valeur nutritive est proche de celle de la laitue et des épinards.

#### ▪ ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Les fruits d'*O.fi* ont comme denrée alimentaire un certain nombre de propriétés avantageuses : leur peau tendue est sans épines et joliment colorées. La chair juteuse et violette renferme des graines comestibles, ces deux constituants contiennent en

plus des fibres, des substances bénéfiques pour la santé à faible poids moléculaire dans des proportions relativement élevées par rapport aux fruits d'*Opuntia ficus indica* (Diaz Medina et al. 2007). *O.sd* est l'une des espèces d'*Opuntia* productrices de fruits les plus importantes dont le goût est rafraichissant. D'autre rapport souligne le problème selon lequel les fruits d'*O.sd* sont évités en raison de leur goût relativement acide. Les parties comestibles présentent une acidité correspondant à 1,23 g d'acide citrique pour 100 g de poids frais, alors que la valeur moyenne respective est de 0,08 g/100 g pour *O.fi* dont les fruits sont préférés à ceux d'*O.sd* par les populations.

Les fruits d'*O.sd* sont principalement consommés frais, mais aussi bouillis ou séchés au soleil. La préparation traditionnelle de confitures, sirops et produits similaires est habituelle.

Les principaux pigments responsables de la couleur pourpre de la peau et de la pulpe de l'*O.sd* ; les bétalaines sont également extraits et utilisés comme additifs et colorants dans les préparations alimentaires tel que les yaourts et les friandises. Ces colorants naturels n'ont pas un E-numéro ; ce qui permet au produit alimentaire coloré par ces substances naturelles de garder le label Bio. De plus, ces substances sont stables dans un large domaine de pH variant de 4 à 7, là où la majorité des anthocyanes communément utilisées perdent leur performance et se dégradent. Cette propriété en fait des pigments idéaux pour la coloration des denrées alimentaires à acidité faible.

#### **I.8.5. Utilisation pharmacologique**

##### ▪ ***Opuntia ficus indica***

En Australie et en Afrique du Sud, l'effet hypoglycémique des "Nopalitos" est utilisé dans le traitement des diabètes non dépendants de l'insuline. La poudre séchée des cladodes a aussi un effet amincissant et antiglycémique car, la pectine de la poudre diminue le plasma (Fрати et al., 1988). De plus les cladodes sont une source de glucides et de fibres, en particulier de pectine, de lignine, de mucilage, de cellulose, reconnus pour leur influence positive sur le métabolisme du glucose et des lipides, le contrôle de l'obésité et pour la fonction prébiotique du microbiote du gros intestin. Les cladodes sont également reconnus pour la présence de

composés bioactifs, parmi lesquels des flavonoïdes et des acides hydroxycinnamiques (acides piscide et eucomique), rarement rencontrés dans la nature et présentent des valeurs élevées de minéraux et des vitamines capables de réguler les maladies ostéoporotiques. La recherche moderne a non seulement confirmé les vertus du Nopal, que la médecine traditionnelle seule reconnaissait jusqu'à nos jours, mais découvre chaque année de nouvelles propriétés.

- ***Opuntia stricta.var.dillenii***

De nos jours, plusieurs articles donnent un compte d'informations à jour sur les propriétés phytochimiques et pharmacologiques d'*O.sd*. Un certain nombre de constituants phytochimiques ont été isolés de cette plante qui possède des activités comme anti-inflammatoire, antioxydant, antidiabétique, effet immunomodulateur, antidépresseur, activité hypotensive, dans les lésions hépatiques aiguës, activité anti-hyperlipidémie, synergique antimicrobien in vitro et diverses autres propriétés médicinales importantes.

#### **I.8.6. Production d'aliments**

Les technologies mises au point récemment ont démontré la possibilité de production des aliments sous forme de gélules ou capsules. Ce sont des aliments naturels qui ont des fonctions thérapeutiques pour le traitement des maladies comme l'obésité, le cholestérol, la constipation et les coliques. Ils contribuent à la régulation du transit de l'intestin (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010). Des capsules qui sont faites à partir des fleurs séchées sont utilisées comme régulant diurétique et comme remède au dysfonctionnement de la prostate.

#### **I.8.7. Utilisation cosmétique**

Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants. Il est également utilisé depuis longtemps par les femmes rurales pour assouplir leurs cheveux. L'huile essentielle des graines des fruits du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, et en vitamines, par contre sa particularité réside dans sa richesse en matière insaponifiable (stérols et tocophérols), étant donné les effets bénéfiques de ces substances sur l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée, elle est utilisée comme antiride naturel et pour la fabrication des crèmes dermiques antirides. Les graines servent également pour la préparation de crème à usage dermique (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêchemaritime, 2010).

Les hydrocolloïdes d'*Opuntia* pourraient être appliqués dans les crèmes similaires à l'*Aloe vera* (L.) (Eshun et al. 2004). Initialement, la figue de barbarie était importée en Europe afin de produire le Carmin où l'acide carminique ; un colorant naturel de couleur rouge carmin produit par l'élevage des cochenilles *Dactylopius coccus* et *Dactylopius opuntiae* qui sont des insectes hôtes du cactus. Actuellement, il est de nouveau très recherché par les industries alimentaires et cosmétiques pour ses qualités naturelles et biochimiques. (Arba, 2009).

### **I.8.8. Utilisations anciennes**

#### ▪ ***Opuntia ficus indica***

Depuis des décennies, le figuier de barbarie est utilisé 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, et les Indiennes préparaient du savon et des onguents à base de mucilage des raquettes et de jus des figues de barbarie. En Afrique du Nord comme au Mexique, on utilisait les raquettes hachées sous forme de cataplasmes dans le pansement des foulures, des entorses et dans la réduction des fractures. Les médecins coloniaux préconisaient l'*Opuntia* dans le traitement des abcès, des cors, des durillons, des furoncles et de toutes les inflammations digestives et cutanées. Le bouilli des fleurs séchées est utilisé en Sicile comme remède aux maux des reins et en pharmacopée traditionnelle au Maroc comme remède aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil.

#### ▪ ***Opuntia stricta.var.dillenii***

Le fruit est considéré comme un réfrigérant et est dit être utile dans gonorrhées. Dans le Deccan, le fruit cuit est donné dans la coqueluche. Un sirop de fruit semble augmenter la sécrétion de bile et contrôler la toux spasmodique et expectoration, le jus laiteux se donne comme purgatif mélangé à un peu de sucre. On dit que les feuilles écrasées et appliquées en cataplasme atténuent la chaleur et l'inflammation. La feuille chaude appliquée sur les furoncles accélère la suppuration, la feuille transformée en pulpe est appliquée sur les yeux dans le cas d'ophtalmie. La plante entre dans la composition du Kshara gada de Sushruta, remède contre le serpent, mais aucune partie de la plante n'est un antidote au venin de serpent.

**Chapitre II**  
**Généralités sur les**  
**métabolites**  
**secondaires**

## II.1. Introduction

A ce jour, plus de 100 000 métabolites secondaires ont été identifiés et on estime que chaque végétal produit au moins une centaine de molécules différentes. Ces métabolites secondaires maintiennent la vie de la plante car ils interviennent dans les relations qu'entretient la plante avec les autres organismes vivants, ils sont probablement des éléments essentiels de la coévolution des plantes avec les organismes vivants tel que les parasites, les pathogènes et les prédateurs.

On distingue trois grandes catégories de métabolites secondaires chez les végétaux : les composés azotés, les composés phénoliques, les composés terpéniques ainsi, la catégorie des hétérosides, constituée de dérivés glycolysés de composés terpéniques, phénoliques et plus rarement d'alcaloïdes.

## II.2. Composés phénoliques

Les composés phénoliques ou les polyphénols sont des molécules spécifiques du règne végétal, ils sont présents dans les vacuoles des tissus et ont un rôle de défense face aux différents stress biotiques ou abiotiques (pathogènes, rayonnement, UV, etc.).

C'est un très vaste groupe de substances dont l'élément structural commun est la présence d'au moins d'un noyau aromatique lié à un groupe hydroxyle libre ou engagé dans une fonction ester, éther ou hétéroside.

Ils résultent bio génétiquement de deux voies synthétiques principales ce qui permet de différencier deux classes de composés phénoliques :

- Celle de l'acide shikimique, qui conduit après transamination et désamination, aux acides cinnamiques et à leurs nombreux dérivés tels que les acides benzoïques ou les phénols simples.
- Celle issue de l'acétate, qui conduit à des poly  $\beta$ -coesters (poly acétates) de longueur variable menant par cyclisation à des composés polycycliques tels que les 1,8 dihydroxyanthraquinones ou les naphthoquinones (Bruneton, 1999 ; Kan et al. 2007).
- Et celle issue de la participation de ces deux voies qui conduit à former des composés d'origine mixte tels que les flavonoïdes.

La classification des polyphénols est basée sur la nature des substitutions et la structure de squelette de base comme suit (Cheynier et al. 1997) :

- Les acides phénoliques
- Les flavonoïdes

- Les anthocyanes
- Les tanins
- Les stilbene
- Les lignanes

### **II.3. Flavonoïdes**

Les flavonoïdes font partis de la famille des polyphénols, sont largement répandus dans le règne végétal. Ce sont des pigments quasiment universels des végétaux qui sont en partie responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. On les trouve dissous dans la vacuole des cellules à l'état d'hétérosides ou comme constituants de plastes particuliers, les chromoplastes. Ces composés ont un important champ d'action et possèdent de nombreuses vertus médicinales. Leurs principales actions résident essentiellement dans le maintien de la circulation sanguine et le renforcement du système immunitaire.

### **II.4. Anthocyanes**

Les anthocyanes ou pigments anthocyaniques sont des composés hydrosolubles, de teinte rouge, violette ou bleue. Ils colorent généralement les fleurs, les fruits et parfois les feuilles. Les anthocyanes sont présents dans la nature uniquement sous forme d'hétérosides appelés anthocyanosides ou anthocyanines. Leur synthèse dans les organes foliaires est souvent activée par des stress (froid, carences, sénescence, etc.). Ces composés sont beaucoup utilisés comme colorants alimentaires présentent des propriétés anti-oxydantes.

### **II.5. Tanins**

Les tanins sont des polyphénols que l'on retrouve dans de nombreuses parties des végétaux tels que les écorces d'arbre et les fruits (raisin, datte, café, cacao, etc.), où ils sont utilisés par ces plantes comme moyen de défense chimique contre les microbes et les pathogènes. Ils se caractérisent par leur faculté à se combiner aux protéines et aux autres polymères organiques tels que les glucides, acides nucléiques, stéroïdes et les alcaloïdes pour former un précipité.

Les tanins ont un effet antioxydant et anti diarrhéique ce qui les rend utilisables dans le traitement des diarrhées infectieuses.

### **II.6. Tanins galliques**

Ce sont des esters de l'acide gallique ou de ses dérivés, en particulier l'acide ellagique, associés à un polyol (habituellement le glycoside) (*Clifford, 2000*). Ils sont divisés en

ellagitanins et en gallotanins. Ces tanins subissent facilement une hydrolyse acide et basique, ils s'hydrolysent aussi sous l'action enzymatique (*Conrad et al. 1998*).

### II.7. Saponines

Les saponosides sont des métabolites secondaires hétérosidiques, fréquemment rencontrés chez les végétaux supérieurs en particulier chez les dicotylédones (racines, fruits, écorces, tiges, feuilles ou graines), mais sont synthétisés également par certains animaux marins tels que les concombres de mer ou les étoiles de mer. Le nom « saponine » est dérivé du mot latin « sapo », qui signifie « savon », qui évoque le caractère moussant quand on les mélange avec de l'eau.

Ils sont composés de deux parties ce qui explique leurs pouvoir tensio-actif.

- Partie hydrophile, formée d'un ou plusieurs sucres de nature variée.
- Une partie aglycone et lipophile qui est soit un résidu de triptène soit un résidu de stéroïde.

Ils possèdent un large spectre de propriétés biologiques et pharmacologiques telles que les effets analgésiques et antidépresseurs, des propriétés hémolytiques (*Oda et al. 2000 ; Sparg et al. 2004*), ainsi que des activités antimicrobiennes, insecticides, molluscicides (*Sparg et al. 2004*).

Les saponosides peuvent être classés en deux groupes en fonction de la nature de leur squelette aglycone : Saponosides stéroïdiques et les saponosides (*Chomsky, 2012*) triterpéniques.

### II.8. Coumarines

Sont des substances naturelles aromatiques largement répandues dans le règne végétal, aujourd'hui, près d'un millier de coumarines ont été décrites dans plus de 800 espèces de plantes et dans des micro-organismes. Elles présentent toutes une structure composée d'un cycle benzène et d'un noyau lactone (benzo- $\alpha$ -pyrone) formant alors un noyau coumarine simple. À ce noyau peuvent s'ajouter différents groupements chimiques à l'origine de quatre types de coumarines différentes rencontrées chez les plantes supérieures (*Bourgaud et al. 2006*).

### **II.8.1. Rôle physiologique des coumarines dans la plante**

Le principal rôle physiologique des coumarines réside dans la défense de la plante contre les attaques par des pathogènes ; on les qualifie de phytoalexines (*Beier et Oertli, 1983*), par exemple certaines coumarines comme l'umbelliférone empêchent la formation de biofilms bactériens (*Lee et al. 2014*).

### **II.8.2. Propriétés pharmacologiques**

Les coumarines sont connues par leurs activités cytotoxiques, antivirales, immunostimulantes, tranquillisantes, vasodilatatrices, anticoagulantes (au niveau du cœur), hypotensives, elles sont également bénéfiques en cas d'affections cutanées (*Gonzalez et Estevez-Braun, 1997*).

## **II.9. Alcaloïdes**

Les alcaloïdes sont des substances organiques, le plus souvent d'origine végétale, hétérocycliques, azotées, basiques, donnant des réactions de précipitation avec certains réactifs (appelés « réactifs généraux des alcaloïdes ») et douées, à faible dose, de propriétés physiologiques marquées. Ils portent tous la terminaison « ine ». Les alcaloïdes sont principalement extraits des plantes fleurissantes, mais on les trouve également chez quelques animaux comme les fourmis, les grenouilles et les coccinelles. Ce sont des métabolites secondaires relativement stables qui sont stockés dans les plantes en tant que produits de différentes voies biosynthétiques, la plupart du temps à partir des acides aminés tels que la lysine, l'ornithine, la tyrosine et le tryptophane.

### **II.9.1. Rôle des alcaloïdes dans les plantes**

Leur importance dans le métabolisme de la plante n'est pas très bien définie. Pourtant, plusieurs alcaloïdes sont très toxiques et offrent un arsenal chimique de défense des plantes contre l'attaque des herbivores et des micro-organismes, l'exemple de la nicotine qui empêche la croissance des larves du tabac. Le composé pur est également appliqué comme insecticide efficace dans des serres. En outre, les alcaloïdes protègent les plantes contre les dommages provoqués par la lumière UV. Ils constituent aussi une réserve de substances capables de fournir l'azote ou d'autres fragments nécessaires au développement de la plante. Parfois, ils n'ont pas de rôle précis et sont simplement des sous-produits du métabolisme végétal.

### **II.9.2. Propriétés pharmacologiques**

Les alcaloïdes présentent également des nombreuses applications en médecine

moderne, en raison de leurs propriétés pharmacologiques. Certaines substances peuvent ainsi être analgésiques (morphine), antipaludiques (quinine), anticancéreuses (vinblastine, vincristine) ; tandis que d'autres se révèlent toxiques (strychnine, nicotine). Les alcaloïdes jouent aussi le rôle d'antibiotique comme la clausenol et la squalamine. Compte tenu de cet éventail de propriétés, les plantes à alcaloïdes et les alcaloïdes eux-mêmes occupent une place de choix dans les pharmacopées tant traditionnelles que modernes.

### II.10. Glucosides

Les glucosides sont les principaux nutriments énergétiques. Ils prennent aussi le nom « sucre » ou « hydrate de carbone ». Ce sont des molécules organiques composées principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, plus ou moins complexe et solubles dans l'eau. Leur formule générale est :  $C_n(H_2O)_n$ , dont les carbones sont porteurs

- De fonctions alcools (alcool secondaire, alcool primaire)
- D'une fonction aldéhyde ou cétonique (fonction carbonyle)
- Parfois d'une fonction acide ou aminée.

Au total, il s'agit d'aldéhyde ou de cétone polyhydroxylées car un carbone est porteur soit d'un aldéhyde soit d'une cétone, tous les autres étant porteurs de fonctions alcools.

### II.11. Osides

Ce sont des molécules dont l'hydrolyse fournit deux ou plusieurs molécules d'oses. Ces oses sont identiques ou différents. On en distingue deux grands groupes : Holosides et Hétérosides.

#### II.11.1. Importance en Biologie

##### Rôle énergétique

- 40 à 50 % des calories apportées par l'alimentation humaine sont des glucides
- Ils ont un rôle de réserve énergétique dans le foie et les muscles (glycogène).

##### Rôle structural

Les glucides interviennent comme :

- Eléments de soutien (cellulose), de protection et de reconnaissance dans la cellule.
- Eléments de réserve des végétaux et animaux (glycogène, amidon).
- Constituants de molécules fondamentales : acides nucléiques, coenzymes, vitamines
- Ils représentent un fort pourcentage de la biomasse car la plus grande partie de la matière organique sur la terre est glucidique.

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthodes**

### III.1. Cadre de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer certaines propriétés biochimiques, biologiques (activité antimicrobienne) et rhéologiques des gels des cladodes de deux espèces d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*.

Notre étude expérimentale a été réalisée entre le 13/04/2021 et le 15/07/2021 dans les laboratoires suivants :

Laboratoires physico-chimiques (communs I et II) de l'UMMTO où l'étude phytochimique des gels des cladodes a été réalisée.

Laboratoire pédagogique de Microbiologie de l'UMMTO où l'activité anti microbienne des gels et des mucilages des cladodes a été effectuée.

Laboratoires de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement, et de Technologie Alimentaire de l'Université de Boumerdès respectivement où l'analyse rhéologique et la lyophilisation des gels des cladodes ont été réalisés.

Le travail pratique est subdivisé en deux parties :

- Screening phytochimique des gels des cladodes effectuées d'*O.fi* et d'*O.sd*.
- Etude de l'activité antimicrobienne des gels et des mucilages des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd*.

### III.2. Matériel

#### III.2.1. Matériel du laboratoire

L'ensemble des appareils, solvants, réactifs chimiques et milieux de culture utilisés est cité dans l'annexe 01.

#### III.2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre travail est composé de deux échantillons :

Les gels des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*

Les cladodes d'*O.fi* ont été récoltés de la région de Mekla de la wilaya de Tizi-ouzou, et ceux d'*O.sd* de la région de Béni-Zmenzer de la même wilaya durant le mois de mai 2021.

Après leur récolte, les cladodes sont soumis à un lavage à l'eau courante puis éponger avec du papier absorbant pour éliminer l'excès de l'eau, ensuite à l'aide d'un couteau, les cladodes sont coupés en deux morceaux, à l'intérieur le gel se trouve, ce dernier est récupéré à l'aide d'une cuillère et conservé au congélateur pour des analyses de caractérisation et de lyophilisation.

### III.2.3. Matériel biologique

L'activité antibactérienne des extraits éthanoliques et aqueux des gels des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii* a été effectuée contre trois bactéries photogènes qui sont citées dans le tableau I. Ces souches nous ont été fournies par le Laboratoire de Microbiologie de l'UMMTO.

**Tableau I - Souches bactériennes testées**

| Nom de la souche                 | Référence  | Type   | Famille                  |
|----------------------------------|------------|--------|--------------------------|
| <i>Enterococcus<br/>Faecalis</i> | WDCM 00009 | Gram + | <i>Enterococcaceae</i>   |
| <i>Staphylococcus<br/>aureus</i> | ACTS25923  | Gram + | <i>Staphylococcaceae</i> |
| <i>Staphylococcus<br/>Aureus</i> | MU50       | Gram+  | <i>Staphylococcaceae</i> |

### III.3. Analyse phytochimique des gels des cladodes

La mise en évidence des différentes classes des métabolites secondaires constituant les gels des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* a été faite selon les méthodes standards de screening phytochimique (Dohou et al.2003 ; Kumar et al. 2010).

La quantité de la substance recherchée est proportionnelle soit à l'intensité du précipité formé (la turbidité) ou à l'intensité de la couleur.

#### III.3.1. Préparation de l'infusé

20g de gel sont macérés dans 100ml d'eau distillée ;

- Porter le mélange à l'ébullition pendant 15 min puis filtrer ;
- Le filtrat est ajusté à 100ml d'eau distillée.

L'infusé ainsi obtenu a été utilisé pour la recherche des différents composés phytochimiques.

#### III.3.2. Recherche des anthocyanes

Introduire dans un erlenmeyer 5ml de l'infusé, puis on ajoute quelques gouttes d'HCl. Une réaction positive donne une coloration rouge en présence des anthocyanes.

#### III.3.3. Recherche des tanins

Quelques gouttes de la solution de FeCl<sub>3</sub> (5%) sont ajoutées à 5 ml de l'infusé. La présence des tanins est identifiée par une coloration bleue noire de la solution.

### III.3.4. Recherche des tanins galliques

On sature le filtrat par l'acétate de sodium ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ), puis on lui ajoute quelques gouttes de  $\text{FeCl}_3$ . La réaction est dite positive lorsque la coloration bleu foncé apparaît.

### III.3.5. Recherche des flavonoïdes

5ml d' $\text{HCl}$ , un copeau de Mg et 1 ml d'alcool iso butanol sont ajoutés à 5 ml de l'infusé. La réaction est dite positive lorsque la coloration est rouge orangé.

### III.3.6. Recherche des saponosides

Dans deux tubes à essai fermés, on met dans l'un 5ml d' $\text{HCl}$ , dans l'autre 5ml  $\text{NaOH}$ ; on introduit dans chacun deux à trois gouttes de l'infusé, ensuite on l'agite verticalement pendant 30 secondes et laisser reposer 15 min. Une réaction positive est déterminée par la présence ou non d'une mousse persistante.

Deux cas sont possibles :

- 1<sup>er</sup> cas : en présence des saponines stéroïdiennes, on obtient dans les deux tubes, le même volume de la mousse.
- 2<sup>ème</sup> cas : si la plante contient des saponines tri terpéniques, en milieu basique il y'aura formation d'une mousse quelque fois plus grande par stabilité et par volume.

### III.3.7. Recherche des quinones libres

2ml d' $\text{HCl}$  (1N) et 20ml de chloroforme sont ajoutés à 2g du gel, puis on laisse le mélange pendant 3 heures. Après filtration, on ajoute 5 ml d'ammoniaque (1 /2V ; V).

La réaction est dite positive lorsque la coloration rouge violette apparaît.

### III.3.8. Recherche des quinones combinées

5ml d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  (2N) ont été ajoutés à 2g du gel des cladodes, on porte le mélange à reflux pendant 2h. Le mélange est filtré à l'aide du papier filtre. Par la suite, 20ml de chloroforme sont ajoutés au filtrat, puis on évapore à sec suivi d'une reprise à l'ammoniaque.

La réaction est dite positive lorsqu'une coloration rouge se manifeste.

### III.3.9. Recherche des alcaloïdes

20ml d'ammoniaque (1 /2) et 50 ml du mélange éther-chloroforme (3/2V : V) ont été ajoutés à 5g du gel des cladodes. Le filtrat obtenu est épuisé par HCl (2N).

L'identification des alcaloïdes a été réalisée grâce au réactif de Dragendorff qui donne un précipité rouge.

### III.3.10. Recherche des glucosides

Quelques gouttes d' $H_2SO_4$  ont été ajoutées à 2 g du gel des cladodes.

Une coloration rouge brique ensuite violette se manifeste en présence des glucosides.

### III.3.11. Recherche des coumarines

20 ml du mélange (éthanol/eau distillée v : v) sont ajoutés à 2 g du gel des cladodes. Bouillir la suspension obtenue pendant 15 min à reflux puis filtrer et laisser refroidir. L'identification des coumarines se fait par l'ajout de 10 gouttes de la solution KOH (10%) à 3 ou 5 ml de filtrat et quelques gouttes d'HCl à 10% jusqu'à l'obtention d'un milieu fortement acide. L'apparition d'un trouble indique la présence des coumarines.

### III.3.12. Recherche des sennosides

On introduit 2,5g du gel des cladodes dans une fiole conique plus 50ml d'eau distillée plus 2ml d'HCl concentré. On chauffe le mélange au bain-marie pendant 15 min. Refroidir le mélange puis lui ajouter 40 ml d'éther. On sépare la phase organique étherée de la phase aqueuse. On sèche la phase étherée sur sulfate de sodium anhydre ( $Na_2SO_4H_2O$ ). Ensuite on évapore. Lorsque le résidu est refroidi, on lui ajoute 5ml d'ammoniaque (1/2).

La présence des sennosides est identifiée par une coloration jaune ou orange de la solution. Le chauffage de cette solution au bain-marie pendant 2 min donne une coloration violette rouge.

## III.4. Analyses physico-chimiques des gels des cladodes

### III.4.1. Mesure du pH

Le pH a été déterminé en mesurant celui d'une dilution au dixième du gel dans de l'eau distillée chaude.

### III.4.2. Acidité titrable (NF V 05-101,1974)

- **Principe**

Il s'agit d'un tirage avec une solution de NaOH (0.1 N) en présence de phénophtaléine comme indicateur de couleur.

- **Mode opératoire**

- Peser 5g du gel,
- Placer l'échantillon dans une fiole conique suivie de l'ajout de 50 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie, puis agiter le mélange,
- Chauffer le contenu au bain-marie pendant 30 min puis refroidie,
- Verser le mélange dans une fiole jaugée de 100ml en complétant avec l'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie jusqu'au trait de jauge puis agiter,
- Après filtration, prélever 10 ml du filtrat les mélanger avec 10ml d'eau distillée,
- Ajouter des gouttes de phénophtaléine, puis titrer à l'aide d'une solution NaOH (0,1N) jusqu'à l'obtention d'une coloration rose persistante pendant 30 secondes,
- On fait la lecture sur la burette graduée pour avoir noté le volume de NaOH ayant décoloré la solution.

- **Expression des résultats**

L'acidité titrable est exprimée en gramme d'acide citrique pour 100g d'échantillon, qui a été déterminée selon la formule suivante :

$$A\% = 250 \times V_0 \times 100 / (V \times M \times 10) \times 0.07 = 175 \times V_1 / (V_0 \times M)$$

**Soit :**

- V0 : Volume en millilitres de la prise d'essai  
 V1 : Volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium (0,1N)  
 0,07 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique  
 M : Prise d'essai.

### III.4.3. Dosage des sucres

Pour ce dosage, on met en évidence trois catégories des sucres à savoir ; le saccharose, les sucres totaux et réducteurs.

Avant de lancer les dosages, on prépare deux solutions Fehling A et B et les deux

filtrats (1) et (2) de compositions suivantes :

▪ **Filtrat (1)**

- Peser 10g de l'échantillon dans un bécher de 100ml ;
- Ajouter 2,5 ml l'acétate de plomb,
- Remplir jusqu'au 2 /3 du volume de bécher avec l'eau distillée ;
- Agiter à plusieurs reprises et laisser reposer pendant 15 min ;
- Ajuster avec l'eau distillée à 100ml ;
- Homogénéiser et filtrer sur un papier filtre et récupérer le filtrat.

▪ **Filtrat (2)**

- Prélever 50 ml du filtrat (1) et ajouter 5ml d'HCl concentré ;
- Chauffer le mélange au bain-marie à 70°C pendant 5 min ;
- Neutraliser avec NaOH (10N) en présence de phénolphtaléine à 1%.

### III.4.3.1. Dosage des sucres totaux

▪ **Mode opératoire**

- Prélever 5ml de la solution Fehling A et 5ml de la solution Fehling B ;
- Ajuster jusqu'à 100ml avec l'eau de robinet ;
- Chauffer le contenu jusqu'à l'ébullition durant 2min ;
- Titrer par le filtrat (2) obtenu jusqu'à la disparition de la couleur bleue ;
- Ajouter 2 gouttes de bleue de méthylène jusqu'à ce que la coloration bleue soit remplacée par la coloration marron cuivrée ;
- Noter le volume du filtrat (2)  $V_2$ .

▪ **Expression des résultats**

La quantité des sucres totaux dans la prise d'essai est donnée par la formule suivante :

$$S_t = \frac{500}{V \times (V_2 - 0.05)} \times 10$$

Soit :

$S_T$ : Quantité des sucres totaux (g /100ml)

$V$ : Volume de la prise d'essai (ml)

$V_2$ : Volume du filtrat (2) utilisé au titrage (ml)

### III.4.3.2. Dosage des sucres réducteurs

- **Mode opératoire**
  - Introduire 5 ml de la solution Fehling A et 5 ml de la solution Fehling B dans un bécher de 500 ml ;
  - Ajuster jusqu'à 100 ml avec l'eau de robinet ;
  - Titrer avec le filtrat (1) jusqu'à l'ébullition durant 2 mn ;
  - Ajouter deux gouttes de bleu de méthylène et continuer le titrage jusqu'à ce que la coloration bleue devienne rouge brique ;
  - Arrêter le titrage et noter le volume du filtrat (1) dépensé  $V_1$ .
- **Expression des résultats**

La quantité de sucres réducteurs dans la prise d'essai est calculée selon la formule suivante :

$$S_R = \frac{240}{V \times (V_1 - 0.05)}$$

Soit :

- $S_R$  : Quantité des sucres réducteurs (g /100ml);  
 $V$  : Volume de la prise d'essai (ml) ;  
 $V_1$  : Volume du filtrat (1) utilisé au titrage (ml).

### III.4.3.3. Taux de saccharose

La quantité de saccharose est calculée selon la formule suivante :

$$S = (S_t + S_r) \times 0.95$$

Soit :

- $S$  : Quantité de saccharose en g /l ;  
 $S_T$  : Quantité des sucres totaux en g/l ;  
 $S_R$  : Quantité des sucres réducteurs en g/l.

### III.4.4. Dosage de l'acide ascorbique

Le dosage direct par la méthode iodométrique a été adopté.

- **Principe**

Cette méthode est basée sur la réaction d'oxydation de l'acide ascorbique par l'iode en milieu acide.
- **Mode opératoire**
  - Prendre 50ml de filtrat ;
  - Ajouter 3ml de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 0,1N et quelques gouttes d'amidon à 0,5% comme indicateur coloré ;

- Titrer le mélange par une solution d'iode à 0,05% jusqu'à l'apparition de la couleur bleue ;

#### ▪ Expression des résultats

La quantité d'acide ascorbique que contient 1l du filtrat est donnée par la formule suivante :

$$Y = N \times 20 \times 4.4 \text{ d'acide ascorbique par litre}$$

Soit :

N : nombre de ml d'iode versé ;

Y : quantité de la vitamine C dans l'échantillon (mg/l).

### III.4.5. Dosage des polyphénols totaux

#### ▪ Principe

Les polyphénols ont été déterminés par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-ciocalteu (Singleton et *al.* 1999). Ce réactif de couleur jaune est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $H_3PMoO_{40}$ ).

Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif Folin-ciocalteu en un complexe ayant une couleur constituée d'oxyde de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ), l'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés (Biozot et Charpentier, 2006).

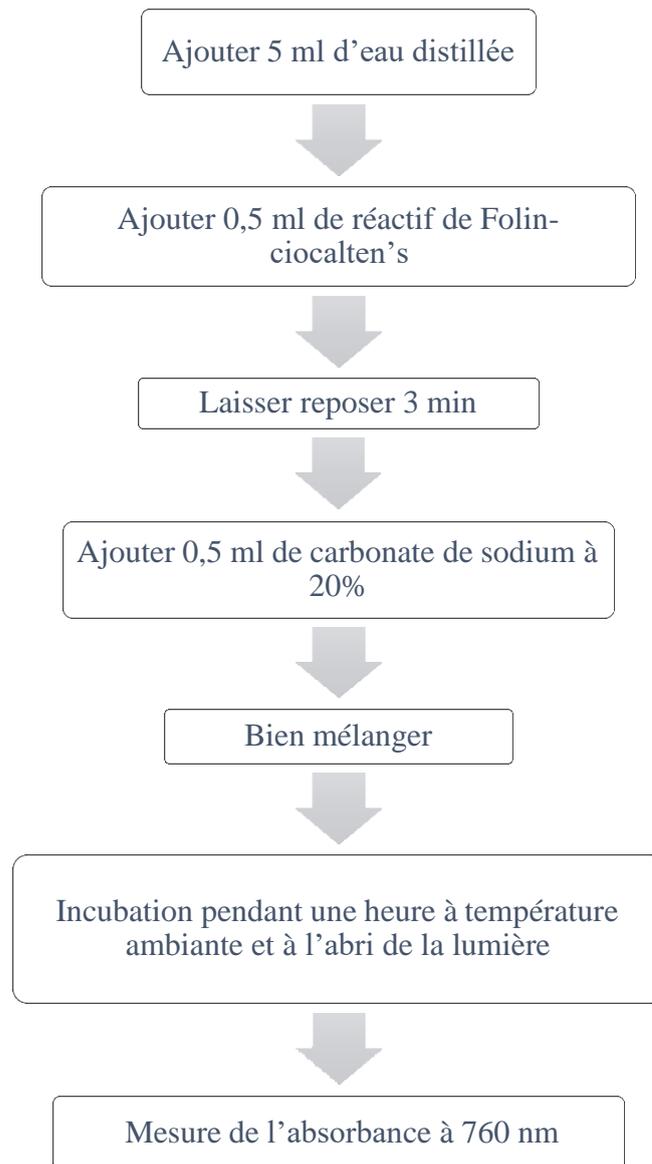
#### ▪ Mode opératoire

Le gel des cladodes (0,25g) est soumis à une extraction par macération dans de l'eau distillée (10ml) et de l'éthanol (10ml) pendant 72h puis les extraits sont filtrés (figure8).



**Figure 8** - Filtration des extraits aqueux et éthanoliques des gels des cladodes

Le dosage des polyphénols dans chaque extrait du gel est adopté selon le diagramme suivant :



**Figure 9** - diagramme de dosage des PPT (Singleton et *al.* 1999)

▪ **Courbe d'étalonnage**

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

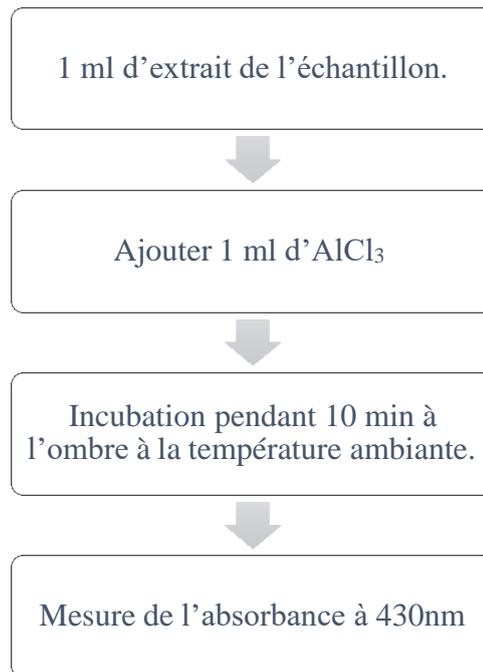
▪ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligramme d'Equivalent d'Acide Gallique par gramme de matière sèche de gel (mg EAG/g MS).

#### **III.4.6. Dosage des flavonoïdes**

La méthode du trichlorure d'aluminium  $AlCl_3$  (Kosalec et *al.* 2004) a été adoptée pour quantifier les flavonoïdes dans les différents extraits de gels des cladodes obtenus.

Le diagramme ci-dessous montre les différentes étapes respectées pour doser les flavonoïdes.



*Figure 10* - Etapes de dosage des flavonoïdes (Kosalec et *al.*, 2004)

#### III.4.7. Dosage de la chlorophylle

- **Gel pur des cladodes**

La densité optique du gel frais est déterminée par spectrophotométrie.

- **Extrait aqueux du gel des cladodes**

5g du gel sont macérés dans 5 ml d'eau distillée pendant 30 min.

Les densités optiques des gels frais et du mélange (gels frais + eau distillée) ont été déterminées à 660nm et à 642,5nm (Ramesh, 2000). On détermine la quantité de la chlorophylle (a) et (b) selon les formules suivantes :

$$\text{Chlorophylle totale} = 7,12 \times A_{660} + 16,8 \times A_{642,5}$$

$$\text{Chlorophylle (a)} = 9,93 \times A_{660} - 0,777 \times A_{642,5}$$

$$\text{Chlorophylle (b)} = 17,6 \times A_{660} - 2,81 \times A_{642,5}$$

#### III.5. Evaluation de l'activité antioxydante par DiPhényl-Picryl-Hydrazyl (DPPH)

La capacité antioxydante des extraits des gels des cladodes a été déterminée selon la méthode de Kim et *al.* (2002). L'extrait du gel (0,1 ml) est ajouté à 2,9 ml de DPPH à 0,004% (P/V) dans de l'éthanol- eau (8 : 2).

La lecture de l'absorbance est faite à 517 nm après 30 mn d'incubation dans l'obscurité. Un blanc constitué de 50 % d'éthanol et la solution de DPPH accompagne la lecture de chaque série. La solution radicalaire de DPPH a été préparée fraîchement et les essais sont repris au moins trois fois (Kim et *al.* 2002). Le pourcentage de l'activité de piégeage des radicaux DPPH a été déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = \frac{\text{DO du blanc} - \text{DO de l'échantillon}}{\text{DO du blanc}}$$

### III.6. Mesure de la viscosité

La méthode utilisée dans notre étude est basée sur la mesure des forces de cisaillement qui permet de mesurer la viscosité dynamique exprimée en pascal /seconde des gels des cladodes selon la British Pharmacopée, (2009).

L'appareil utilisé est un viscosimètre de marque (AR 2000). Cette analyse a été réalisée au niveau du laboratoire de rhéologie de l'Université de Boumerdès.

### III.7. Extraction du mucilage des gels des cladodes

30 ml d'eau distillée sont ajoutés à 30g du gel des cladodes puis chauffés au bain-marie à 50°C pendant 96 min, une précipitation est faite par 35ml d'éthanol puis le mélange est séché à 46°C.

### III.8. Etude de l'activité antimicrobienne

La méthode de diffusion sur un milieu gélosé a été utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits aqueux et éthanoliques des gels des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta*. *Var. Dillenii* élaborée selon la méthode décrite par Benjillali et *al.* (1986).

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de nos extraits a été réalisée sur 3 souches bactériennes (*Staphylococcus aureus* (ACTS 25923), *Staphylococcus aureus* (MU 50) et *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009).

#### III.8.1. Préparation des extraits

0,25 g du gel a été macéré dans 10 ml de l'eau distillée et 10 ml d'éthanol respectivement pendant 72 h puis les extraits sont filtrés.

#### III.8.2. Préparation des milieux de culture

Dans notre travail nous avons utilisé les milieux de culture suivants :

La gélose Muller Hinton (MH) pour les trois souches testées et la gélose nutritive pour leurs revivifications.

### III.8.3. Préparation des disques

Des disques de papier filtre de 6 mm de diamètre ont été préparés, ensuite sont mis dans un tube à essai, à stériliser dans un autoclave et les garder jusqu'à leur utilisation.

### III.8.4. Revivification des souches

La revivification des souches bactériennes a pour objectif l'obtention d'une culture pure et jeune. Elle consiste à réaliser par la méthode des stries (quatre cadres). Les souches sont alors revivifiées à partir des tubes de conservation sur milieu GN. Les cultures sont incubées à l'étuve à 37°C pendant 18 h.

### III.8.5. Préparation de l'inoculum et standardisation des suspensions bactériennes

A l'aide d'une pipette Pasteur, nous avons prélevé 4 à 5 colonies bien isolées et parfaitement identiques et ont été mises dans 10 ml d'eau physiologique stérile à 0,9 % de sel (NaCl). La suspension bactérienne est bien homogénéisée.

L'absorbance (DO) de chaque suspension est mesurée à une longueur d'onde de 620 nm et doit être comprise entre 0,08 et 0,1. Cela selon Benhamou et *al.* (2008).

#### ▪ Mode opératoire

- Des boîtes de Pétri stériles préalablement coulées sontensemencées par écouvillonnage à l'aide d'un écouvillon stérile, en tournant à chaque fois la boîte environ 60 °C de telle sorte à assurer une distribution homogène des bactéries.
- À l'aide d'une pince stérile, 3 disques de papier filtre stériles sont déposés à la surface de la gélose.
- Les disques du papier filtre sont imbibés par (10 µl) d'extraits aqueux ou éthanoliques des gels des cladodes des deux espèces à tester.
- Un disque d'ATB témoin est déposé sur la surface de la boîte Pétri.
- Les boîtes de Pétri sont ensuite fermées et laissées à diffuser à température ambiante et mises à l'étuve à 37 °C pendant 24 heures.

L'activité antimicrobienne est déterminée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition produite autour des disques après la durée d'incubation.

---

- **Lecture des résultats**

La lecture des résultats se fait par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition et peut être représentée par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis de l'extrait (Ponce *al.* 2003).

**Tableau II - Classement des souches en fonction du diamètre de la zone d'inhibition**

| <b>Diamètre de la zone d'inhibition (cm)</b> | <b>Sensibilité des souches</b> |
|--|--------------------------------|
| $\emptyset < 0,8$                            | Non sensible / résistante (-)  |
| $\emptyset [0,9-1,4]$                        | Sensible (+)                   |
| $\emptyset [1,5-1,9]$                        | Très sensible (++)             |
| $\emptyset > 2$                              | Extrêmement sensible (+++)     |

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

### IV.1. Résultat du screening phytochimique

Les résultats du screening phytochimique des gels des cladodes des deux espèces d'*Opuntia* étudiées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III - Résultats du screening phytochimique des gels des cladodes**

| Métabolites secondaires   | <i>Opuntia ficus indica</i>                   |           | <i>Opuntia stricta.var.Dillenii</i>           |           |
|---------------------------|---|-----------|---|-----------|
|                           | Observations                                  | Résultats | Observations                                  | Résultats |
| <b>Anthocyanes</b>        | Absence de la coloration rouge                | -         | Absence de la coloration rouge                | -         |
| <b>Tanins</b>             | Absence de la Coloration bleue noire          | -         | Absence de la coloration bleu noir            | -         |
| <b>Tanins galliques</b>   | Absence de la coloration bleu foncé           | -         | Absence de la coloration bleu foncé           | -         |
| <b>Flavonoïdes</b>        | Absence de la coloration rouge orangé         | -         | Absence de la coloration rouge orangé.        | -         |
| <b>Saponosides</b>        | Absence d'une mousse Persistante              | -         | Absence d'une mousse persistante              | -         |
| <b>Quinones libres</b>    | Absence de la coloration rouge violette       | -         | Absence de la coloration rouge violette       | -         |
| <b>Quinones combinées</b> | Absence de la coloration rouge                | -         | Absence de la coloration rouge                | -         |
| <b>Alcaloïdes</b>         | Absence de précipité Rouge                    | -         | Absence du précipité rouge                    | -         |
| <b>Glucosides</b>         | Apparition d'une couleur marronne très claire | -         | Apparition d'une couleur marronne très claire | -         |
| <b>Coumarines</b>         | Présence d'un trouble                         | +         | Présence d'un trouble                         | +         |
| <b>Senosides</b>          | Apparition d'une coloration violette foncée   | +++       | Apparition d'une coloration violette claire   | ++        |

(+, +, +) : abondance, (+) : présence, (-) : absence

Les résultats du screening phytochimique réalisé montrent que les gels des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* sont riches en coumarines, ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Halmi et al. (2015) qui ont travaillé sur des extraits aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi*. Cependant, les senosides sont abondantes chez les cladodes d'*O.fi* en comparaison avec les cladodes d'*O.sd* qui possèdent des teneurs moyennes en ces composés.

Les tanins, les flavonoïdes et les saponosides sont absents dans les gels des cladodes des deux espèces. Halmi et al. (2015) ont rapporté que ces composés sont présents dans l'extrait aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi*.

Les alcaloïdes sont absents dans les gels des cladodes des deux espèces, ces résultats

rejoignent ceux avancés par Halmi et *al.* (2015) analysant l'extrait aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi.*

Concernant les anthocyanes, les tanins galliques, les quinones (libres et combinées) et les glucosides sont absents dans les gels des cladodes des deux espèces.

Il y a lieu de signaler que, les coumarines identifiées sont responsables de l'odeur caractéristique du gel des cladodes et présentent diverses activités : activité anti tumorale, anti viral, antibiotique et anti inflammatoire (Gonzalez et Estevez-Braun, 1997).

La richesse des gels des cladodes des deux espèces en coumarines et en sennosides leur confère des propriétés pharmacologiques importantes d'où leur utilisation dans le domaine médical.

## IV.2. Résultats des paramètres physico-chimiques des gels des cladodes

Tableau IV - Résultats des paramètres physico-chimiques des gels des cladodes

| Paramètres                  | Teneurs moyennes $\pm$ (ET) |             |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
|                             | <i>O.fi</i>                 | <i>O.sd</i> |
| pH                          | 5,033                       | 5,26        |
| Acidité titrable (g /100 g) | 1,4                         | 0,7         |
| Sucres totaux (g /l)        | 12,62                       | 9,34        |
| Sucres réducteurs (g /l)    | 0,083                       | 0,080       |
| Saccharose (g/l)            | 11,91                       | 8,79        |
| Acide ascorbique (mg/l)     | 111 ,76                     | 145,2       |

D'après les résultats obtenus, les gels des cladodes des deux espèces étudiées présentent un pH acide. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Ayadi et *al.* (2009), qui ont trouvé une valeur de pH de  $4,02 \pm 0,4$  de la poudre des cladodes d'*O.fi.* Le gel d'*O.fi* est plus acide que celui d'*O.sd* qui est légèrement acide. Cette acidité serait probablement due à sa richesse en acide ascorbique.

Le gel d'*O.fi* présente une acidité titrable de valeur double à celle du gel des cladodes de l'espèce d'*O.sd* et à celle de la poudre des cladodes d'*O.fi* déclarée par Ayadi et *al.* (2009). Cette acidité s'explique par la teneur en acide ascorbique que présente le gel d'*O.sd* qui est de 145,2 mg/l, cette valeur est plus élevée que celle d'*O.fi*, qui est de 111,76 mg/l.

En ce qui concerne les sucres, nous constatons que le gel des cladodes des deux

espèces étudiées sont riches en sucres totaux et en saccharose. Néanmoins, les sucres réducteurs sont présents dans les deux gels à très faible quantité.

En effet, les gels des cladodes des deux espèces étudiées sont riches en mucilage qui est un mélange de polysaccharides acides et neutres, composé d'environ 55 résidus de sucres principalement d'arabinose, de galactose, de rhamnose et de xylose (Barka , Ouzaouit et *al.*, 2013), ce qui explique la richesse des gels des cladodes des deux espèces étudiées en sucres.

### IV.3. Résultats du dosage de la chlorophylle

Tableau V - Résultats du dosage de la chlorophylle des gels des cladodes

|                            | Gel pur     |             |  | Extrait aqueux |             |  |
|----------------------------|-------------|-------------|--|----------------|-------------|--|
|                            | <i>O.fi</i> | <i>O.sd</i> | Mélange des gels ( <i>O.fi</i> + <i>O.sd</i> ) | <i>O.fi</i>    | <i>O.sd</i> | Mélange des gels ( <i>O.fi</i> + <i>O.sd</i> ) |
| <b>Chlorophylle a</b>      | 25,015      | 21,497      | 23,520   | 23,384         | 19,035      | 17,904   |
| <b>Chlorophylle b</b>      | 40,569      | 34,784      | 38,220   | 37,874         | 30,662      | 28,456   |
| <b>Chlorophylle Totale</b> | 63,586      | 55,595      | 58,868   | 60,038         | 50,914      | 52,533   |

Les gels purs et dilués des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* présentent de la chlorophylle totale en quantités importantes. Le gel pur des cladodes d'*O.fi* contient une quantité plus élevée en chlorophylle totale par rapport au gel pur des cladodes de la deuxième espèce de cactus.

Ayadi et *al.* (2009) ont rapporté que la chlorophylle totale de la poudre des cladodes d'*O.fi* était de  $131,08 \pm 9,36$  mg/100 g de matière sèche qui est supérieur à celle du gel des cladodes d'*O.fi*.

La richesse en chlorophylle confère un pouvoir antioxydants et du fait qu'elle induit un bon équilibre acido-basique induisant une activité anti-inflammatoire. En effet, la chlorophylle permet une régénération et cicatrisation des tissus en stimulant la production des globules rouges, qui offrent une meilleure oxygénation et en éliminant les odeurs liées aux infections (Jonquères et *al.* (2019). D'après (Jonquères et *al.* (2019) on peut déduire que le gel des cladodes des deux espèces étudiées pourra être utilisé pour son effet cicatrisant, antioxydant et anti-inflammatoire en cosmétologie et en pharmacologie.

#### IV.4. Résultats du dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes

**Tableau VI - Résultats du dosage des PPT totaux des extraits aqueux et éthanoliques et du dosage des flavonoïdes des gels des cladodes**

|   | Teneurs en polyphénols (mg EAG/g MS) |                     | Teneur en flavonoïdes (mgEQ/g MS) |
|---|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
|   | Extrait Aqueux                       | Extrait Ethanolique | Gel pur                           |
| <b>Gel d'<i>O.fi</i></b>                            | 0,708                                | 4,156               | 8,34                              |
| <b>Gel d'<i>O.sd</i></b>                            | 0,937                                | 0,708               | 9,05                              |
| <b>Mélange des gels (<i>O.fi</i> + <i>O.sd</i>)</b> | 0,458                                | 2,885               | 7,87                              |

Les résultats du dosage des PTT montrent que les extraits éthanoliques du gel des cladodes d'*O.fi* et du mélange des gels des deux espèces sont plus riches en polyphénols en comparaison avec les extraits aqueux qui présentent des valeurs un peu faibles. En effet, la solubilité des polyphénols est gouvernée par le type de solvant utilisé, pour une récupération importante de polyphénols, l'éthanol est le solvant le plus approprié en raison de sa forte polarité (Falleh et *al.* 2008).

En comparant nos résultats à ceux rapportés par Halmi et *al.* (2015), on constate qu'ils ont trouvé une valeur supérieur  $35,2 \pm 0,64$  mg EAG /g en PPT, en analysant les extraits aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi*.

Cette variation serait probablement due à la quantité de la matière végétale (0,25g) soumise à la macération dans de l'eau distillée.

Les résultats du dosage des flavonoïdes révèlent que les gels des cladodes des deux espèces étudiées et leur mélange présentent des valeurs proches en flavonoïdes qui sont de l'ordre de 8,34, 9,05, 7,87 mg EAG /g MS respectivement.

La teneur en flavonoïde des gels des cladodes d'*O.fi* est nettement supérieure au résultat trouvé par Belmadadi et *al.* (2018), en analysant le gel et la poudre des raquettes de la figue de barbarie, qui est de l'ordre de 0,0305 mg EAG /g MS et 0.1082 mg EAG /g MS, respectivement.

Toutefois, il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie car l'utilisation de différentes méthodes d'extraction réduit la fiabilité d'une comparaison entre les études

#### IV.5. Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante par DPPH

Tableau VII - Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante par DPPH

|                    | %<br>d'inhibition |                   |                        |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
|                    | Gel pur           | Extrait<br>aqueux | Extrait<br>éthanolique |
| Gel d' <i>O.fi</i> | 68,26%            | 48,325%           | 32,51%                 |
| Gel d' <i>O.sd</i> | 84,29%            | 56,403%           | 18,585%                |

Selon les résultats enregistrés, les gels purs des cladodes des deux espèces sont dotés d'un pouvoir antioxydant important que les extraits aqueux et éthanoliques des gels des deux espèces.

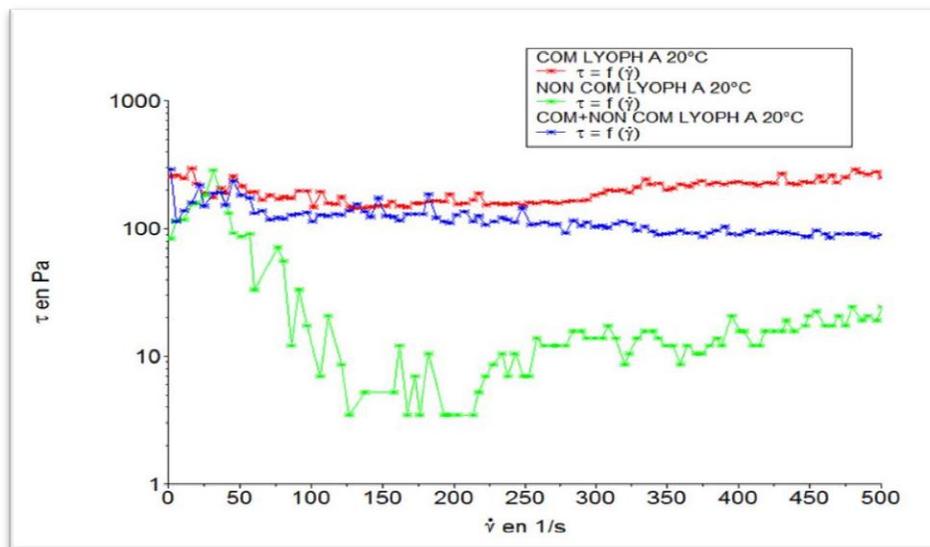
Le gel d'*O.sd* présente une activité antioxydante plus élevée que celles présentées par les gels de la figue de barbarie et de l'*Aloe vera* à des pourcentages de 29,07% et 20,65%, respectivement (Belmadadi, et *al.*, 2018).

Les extraits aqueux des gels des deux espèces présentent des pourcentages d'inhibition importants en comparaison avec celui de l'extrait aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi* présenté par Halmi et *al.* (2015).

Il a été démontré que les molécules antioxydantes telles que l'acide ascorbique, les flavonoïdes, réduisent et décolorent le DPPH en raison de leur capacité à céder l'hydrogène (De Pooter et *al.* 1986). Les polyphénols contenus dans les gels des cladodes des deux espèces étudiées sont probablement responsables de l'activité antioxydante de ces différents extraits. Des études montrent que l'activité anti-radicalaire est corrélée avec le taux des polyphénols et des flavonoïdes dans les extraits des plantes médicinales (Mariod et *al.*, 2009 ; Locatelli et *al.*, 2010).

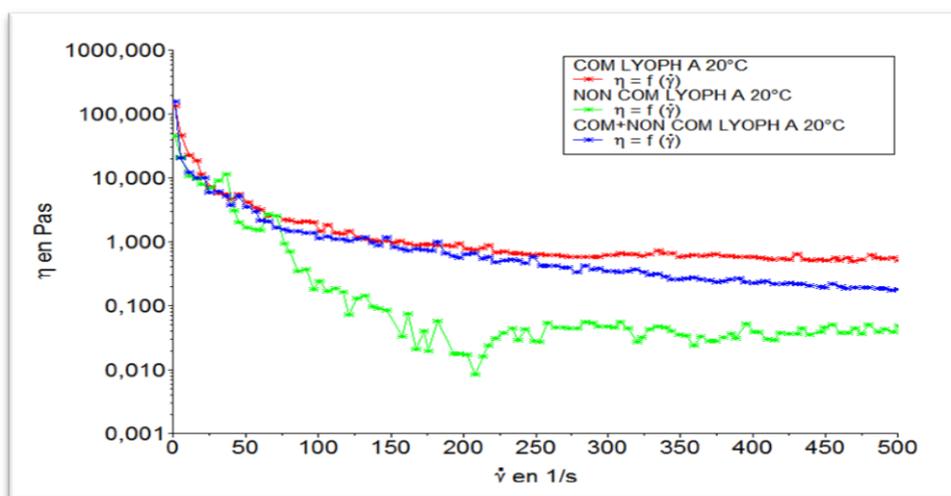
#### IV.6. Résultats de la mesure de la viscosité

Les résultats des viscosités des différents gels purs des cladodes des deux espèces étudiées à 20°C sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 11** - Viscosités des gels purs des cladodes d'*O.fi*, d'*O.sd* et leur mélange en fonction de taux de cisaillement mesurés à 20°C

Les résultats des viscosités des différents gels lyophilisés à 20°C sont présentés dans la figure suivante :

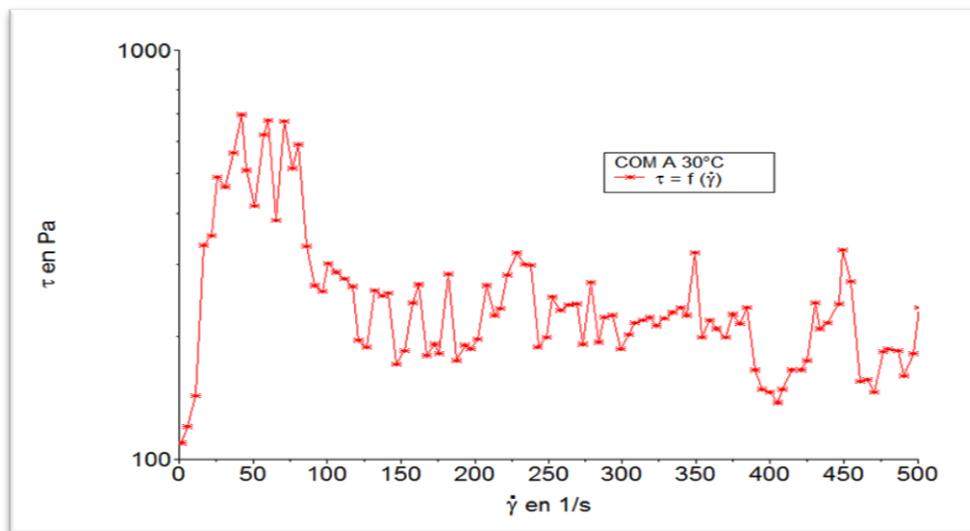


**Figure 12** - Viscosités des gels lyophilisés des cladodes d'*O.fi*, d'*O.sd* et leur mélange lyophilisé en fonction de taux de cisaillements mesurés à 20°C

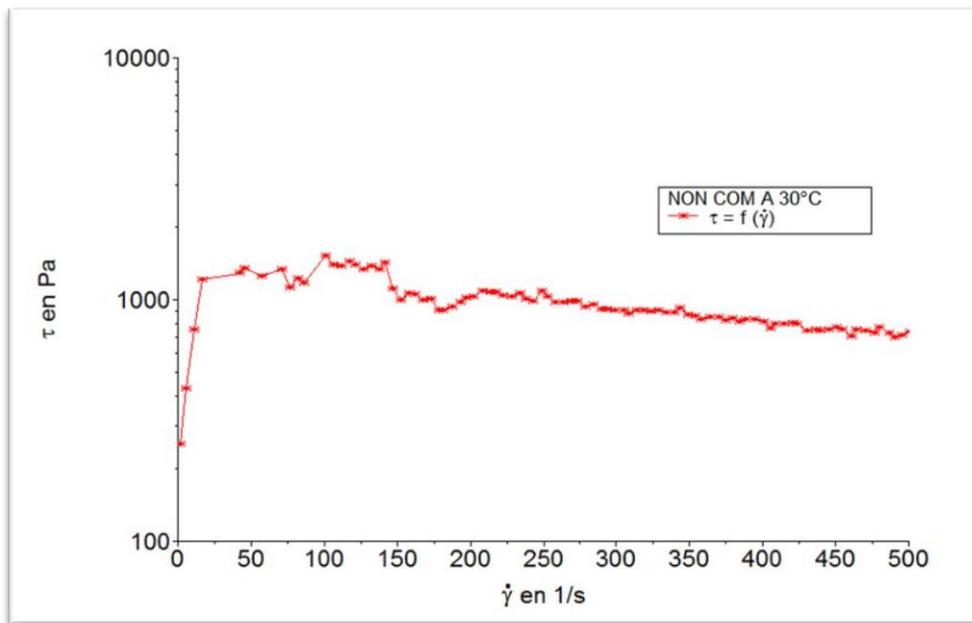
Les deux figures 11 et 12 indiquent que les gels des cladodes des deux espèces de figue de barbarie et leur mélange sont du type dit "rhéofluidifiant" car leur viscosité diminue lorsque le taux de cisaillement augmente, ce qui veut dire qu'ils possèdent les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide. C'est le cas des bons gels qui

sont fluides à l'étalement mais plus visqueux au toucher. Cependant, ces gels sont dits à seuil. Par définition, un seuil d'écoulement décrit la contrainte requise pour produire l'écoulement d'une substance plastique (Dridi, 2005). Nous pouvons conclure, que les gels des cladodes des deux espèces analysées à 20°C peuvent être considérés comme des fluides plastiques, ce qui signifie qu'ils s'écoulent à partir d'une certaine valeur de contrainte ( $\tau$ ). Les résultats obtenus sont conformes à certaines pommades cosmétiques, la nature des pommades est du type « fluide non newtonien pseudoplastique » (Benahmed Djilail et al. 2017).

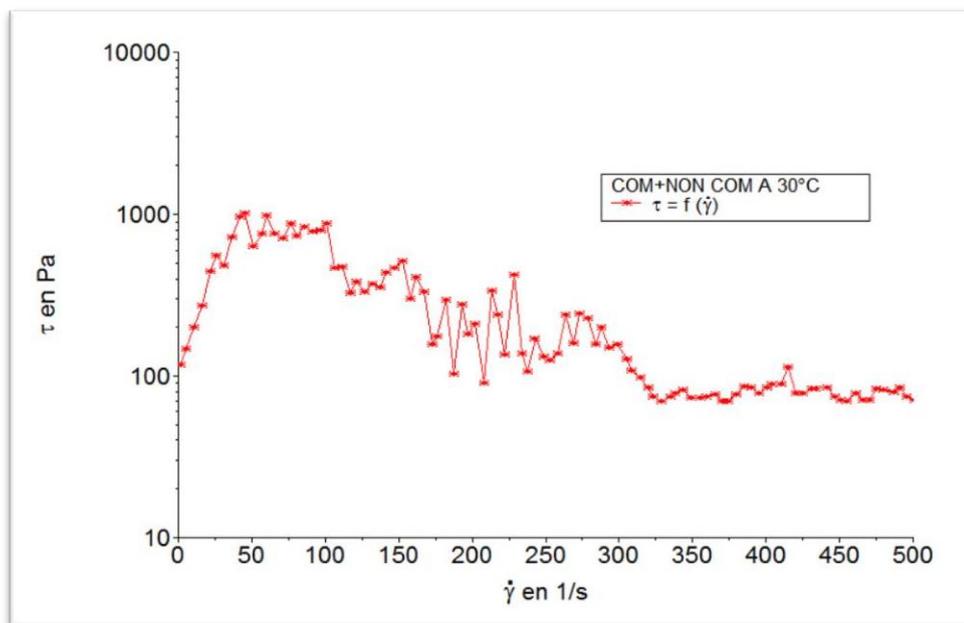
Les résultats des viscosités des différents gels purs des cladodes mesurées à 30°C sont présentés dans les figures (13, 14, 15).



**Figure 13** - Viscosité du gel pur des cladodes d'*O. fi* en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C

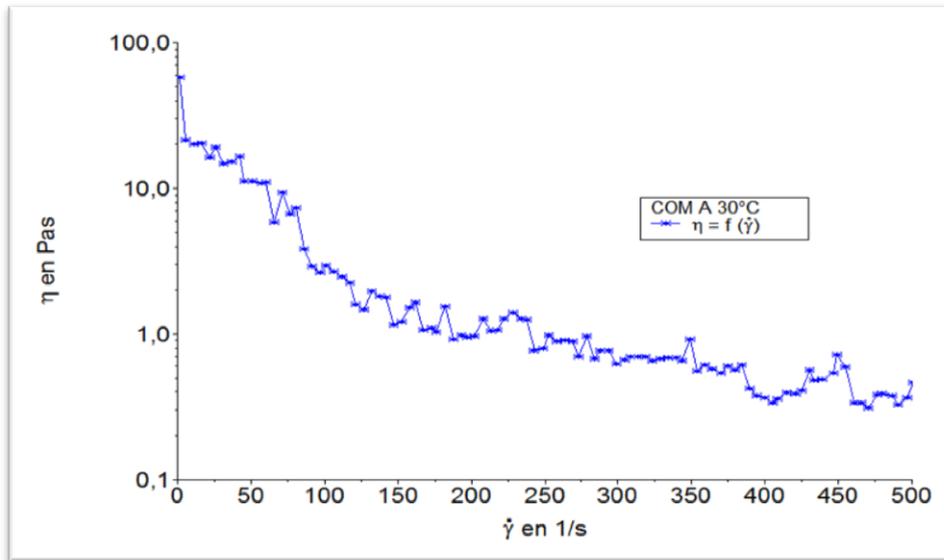


**Figure 14** - Viscosité du gel pur des cladodes d'*O.sd* en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C

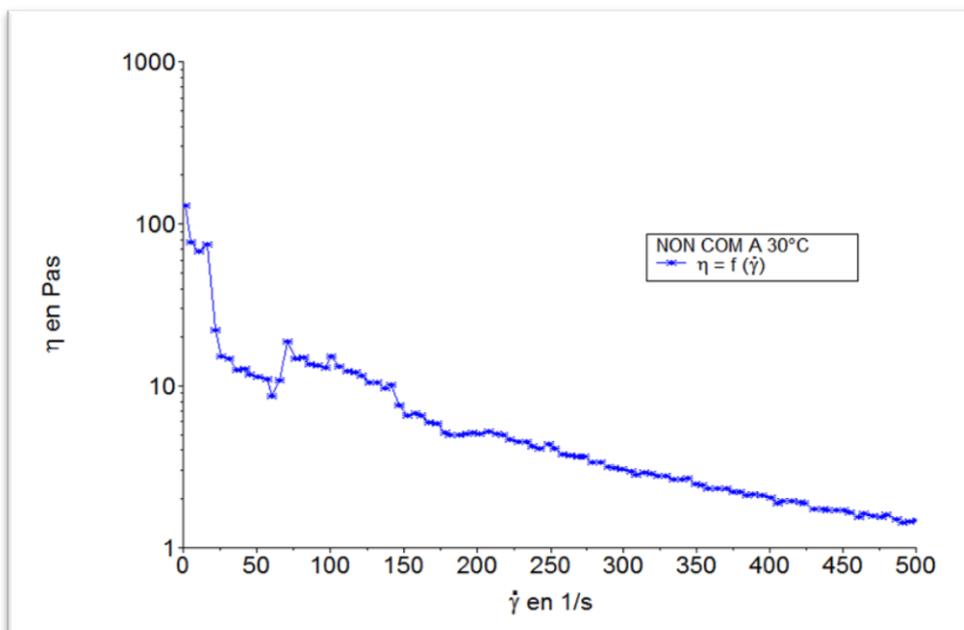


**Figure 15** - Viscosité du mélange des gels purs des cladodes des deux espèces du cactus en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C

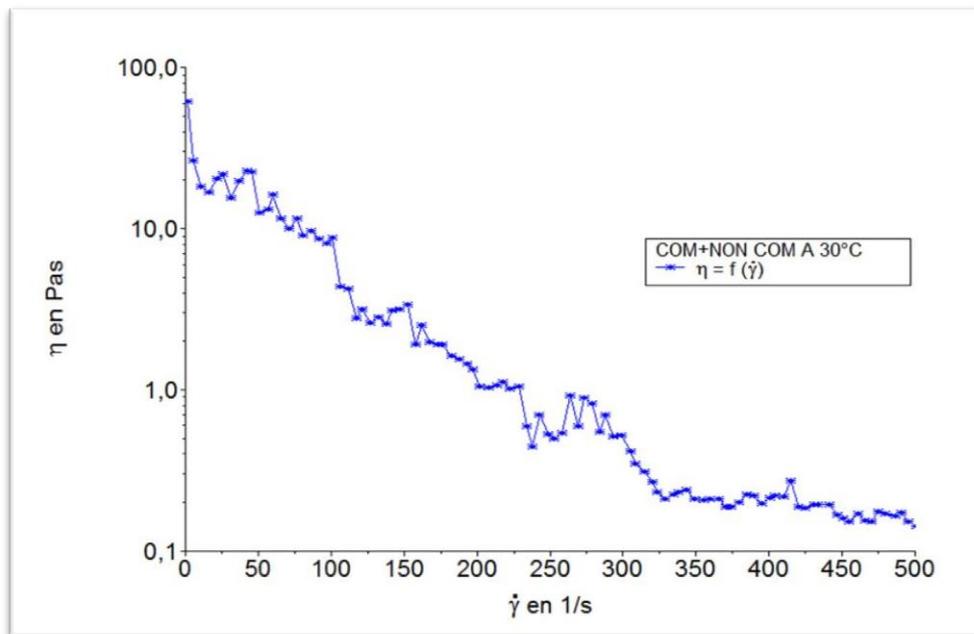
Les résultats des viscosités des différents gels des cladodes des deux espèces lyophilisés mesurées à 30°C sont présentés dans les figures suivantes :



**Figure 16** - Viscosité du gel lyophilisé des cladodes d'*O. fi* en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C



**Figure 17** - Viscosité du gel des cladodes d'*O. sd* lyophilisé en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C



**Figure 18** - Viscosité du mélange des gels lyophilisés des cladodes des deux espèces du cactus en fonction de taux de cisaillement mesurée à 30°C

Les graphes (figures 16-18) des viscosités des gels des cladodes des figues de barbarie (lyophilisés et non lyophilisés) mesurées à 30°C sont du type rhéofluidifiant similaires à ceux mesurés à 20°C. Cependant, une diminution plus importante de la viscosité mesurée à 30°C pour l'ensemble des gels des cladodes (lyophilisés et non lyophilisés) a été constaté. Alors, nous pouvons conclure que, l'augmentation de la température influence la viscosité des gels des cladodes et améliore les propriétés rhéologiques (bon écoulement). Il serait intéressant de conserver ces gels à 30°C afin de préserver les substances bioactives.

#### IV.7. Résultats de l'activité antibactérienne

Les diamètres d'halo d'inhibition des souches testées (mesurés en cm) obtenus par la moyenne de trois répétitions sont représentés dans les tableaux VIII, IX, X.

##### IV.7.1. Résultat de l'activité antibactérienne des extraits aqueux éthanoliques des gels testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923) :

- **Extrait aqueux :**
  - Ø de la zone d'inhibition d'ATB = 0,6 cm
  - Ø de la zone d'inhibition du disque d'ED témoin = négatif.
- **Extrait éthanolique :**
  - Ø de la zone d'inhibition d'ATB = 0,6 cm
  - Ø de la zone d'inhibition du disque d'éthanol témoin = 0,1 cm

**Tableau VIII - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et éthanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d'*O.fi*, d'*O.sd* et leurs mélanges testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).**

| Espèce                          | <i>Staphylococcus aureus</i> (ACTS25923) |                |          |                       |                |          |
|---------------------------------|--|----------------|----------|-----------------------|----------------|----------|
|                                 | Extraits aqueux                          |                |          | Extraits éthanoliques |                |          |
|                                 | Gel pur                                  | Gel lyophilisé | Mucilage | Gel pur               | Gel lyophilisé | Mucilage |
| <i>O.ficus indica</i>           | -  | -              | -        | Ø=0,2cm               | -              | Ø=0,3cm  |
| <i>O.stricta.var.dillenii</i>   | -  | -              | -        | Ø=0,1cm               | Ø=0,1cm        | -        |
| <b>Mélange des deux espèces</b> | -  | -              | -        | Ø=0,2cm               | Ø=0,4cm        | Ø=0,5cm  |

Pour les extraits aqueux, l'examen des différentes boîtes de Pétri a révélé l'absence d'halo d'inhibition autour des disques, ceci affirme que la souche *Staphylococcus aureus* (ACTS25923) est non sensible aux extraits aqueux des différents gels testés. Cette résistance est confirmée par Halmi et *al.* (2015) en testant l'effet antibactérien de l'extrait aqueux de la poudre des raquettes d'*O.fi* sur *Staphylococcus aureus* (ATCC).

Par ailleurs, un développement de cette souche a été constaté autour des disques. Ce développement est probablement lié à la composition des gels qui sont riches en mucilages de nature polysaccharidique.

Pour les extraits éthanoliques, les diamètres des zones d'inhibition obtenus sont inférieurs à 0,8 cm ce qui signifie que la souche testée est non sensible vis-à-vis les extraits éthanoliques des différents gels et mucilages utilisées, et aussi est inférieur au diamètre d'inhibition de *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) induit par l'extrait éthanolique de cladode de figuier de barbarie rapporté par Msaddak et *al.* (2018).

#### **IV.7.2. Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques des gels testés contre *Staphylococcus aureus* (MU50)**

- Ø de la zone d'inhibition du disque d'ATB = 0,6 cm
- Ø de la zone d'inhibition du disque d'éthanol témoin = 0,1cm

**Tableau IX - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d'*O.fi*, d'*O.sd* et leurs mélanges testés contre *Staphylococcus aureus* (MU50).**

| <i>Staphylococcus aureus</i> (MU50) |                       |                |            |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------|------------|
| Espèce                              | Extraits éthanoliques |                |            |
|                                     | Gel Pur               | Gel lyophilisé | Mucilage   |
| <i>O.ficus indica</i>               | Ø = 0,2 cm            | Ø = 0,3cm      | -          |
| <i>O.stricta.var.dilleni</i>        | Ø = 0,2 cm            | -              | Ø = 0,1cm  |
| Mélange des deux espèces            | Ø = 0.1 cm            | Ø = 0,2 cm     | Ø = 0,2 cm |

D'après les diamètres des zones d'inhibition obtenus on constate que la souche *Staphylococcus aureus* (MU50) est résistante aux différents gels et mucilages utilisés.

#### **IV.7.3. Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques des gels testés contre *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009)**

- Ø de la zone d'inhibition du disque d'ATB = 0,7 cm
- Ø de la zone d'inhibition du disque d'éthanol témoin = 0,3 cm

**Tableau X - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques des gels purs, lyophilisés et des mucilages des cladodes d'*O.fi*, d'*O.sd* et leurs mélanges testés contre *Enterococcus feacalis* (WDCM 00009).**

|                              |                       | <i>Enterococcus feacalis</i> (WDCM 00009) |            |  |
|------------------------------|-----------------------|---|------------|--|
| Espèce                       | Extraits éthanoliques |   |            |  |
|                              | Gel Pur               | Gel lyophilisé                            | Mucilage   |  |
| <i>O.ficus indica</i>        | Ø = 0,2 cm            | Ø = 0,2 cm                                | Ø = 0,3 cm |  |
| <i>O.stricta.var.dilleni</i> | Ø = 0,3 cm            | Ø = 0,3 cm                                | Ø = 0,2 cm |  |
| Mélange des deux espèces     | Ø = 0,2 cm            | Ø = 0,2 cm                                | Ø = 0,3 cm |  |

D'après le tableau ci-dessus, les diamètres des zones d'inhibition sont inférieurs à 0,8cm, ces résultats révèlent que les extraits éthanoliques des différents gels et mucilages utilisés ne sont pas actifs sur *Enterococcus feacalis* (WDCM 00009), contrairement aux résultats présentés par Msaddak et *al.* (2018) qui révèlent la sensibilité d'*Enterococcus feacalis* (ATCC 29212) vis-à-vis de l'extrait éthanolique des cladodes de figuier de barbarie.

L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques et aqueux des différents gels et mucilages des cladodes étudiés vis à vis les souches testées (*Staphylococcus aureus* (ACTS25923), *Staphylococcus aureus* (MU50) et *Enterococcus feacalis* (WDCM 00009), révèle que ces extraits ne sont pas actifs contre ces souches. En effet, la résistance de ces souches s'explique d'une part, par la faible dose testée pour chaque extrait (10µl) et d'autre part, par la nature des solvants utilisés pour l'extraction des substances bioactives (Hayouni et *al.* 2007).

# **Conclusion**

Dans le présent travail les propriétés biochimiques, biologiques et rhéologiques des gels des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii* ont été étudiées.

Les résultats d'analyse phytochimique réalisée révèle la richesse des gels des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* en coumarines et en sennosides qui sont disponibles en fortes quantités dans le gel d'*O.fi* en comparaison avec celui du gel d'*O.sd*, qui contient une teneur moyenne.

L'analyse physicochimique des gels des cladodes des deux espèces démontre que ces gels sont acides (pH =5), et leur faible acidité est expliquée par la teneur élevée en acide ascorbique qui est de l'ordre de 111,76 mg/l et de 145,2 mg/l pour le gel des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* respectivement. En outre, les gels des cladodes des deux espèces sont riches en sucres totaux et en saccharose avec des teneurs moyennes de 12,62 ; 11,91 g/l pour l'*O.fi* et de 9,34 ; 8,79 g/l pour l'*O.sd* respectivement.

Les résultats obtenus indiquent que les gels des cladodes d'*O.fi* ainsi d'*O.sd* possèdent des teneurs élevées en chlorophylle totale avec des valeurs proches qui se situent entre 55 et 63.

L'estimation quantitative des polyphénols totaux et des flavonoïdes montre que l'extrait éthanolique du gel des cladodes d'*O.fi* présente des valeurs élevées en polyphénols totaux et que le gel pur des cladodes d'*O.sd* est riche en flavonoïdes.

L'activité antioxydante évaluée par diphényl-picryl-hydrazyl (DPPH), démontre que les gels purs des cladodes du cactus exercent une forte activité anti radicalaire au DPPH avec des pourcentages d'inhibition de 84,29% pour l'*O.sd* et de 68,26% pour l'*O.fi*.

L'étude rhéologique réalisée démontre que les gels des cladodes des deux espèces sont des fluides plastiques de type dit « rhéofluidifiant ».

L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et éthanoliques et du mucilage des gels des cladodes des deux espèces de cactus étudiées, révèle l'absence des zones d'inhibition de ces extraits vis à vis (*Staphylococcus aureus* (ACTS25923), *Staphylococcus aureus* (MU50) et *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009),) en testant un volume de 10 µl de chaque extrait.

Au terme de notre étude, le gel des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii* possèdent des propriétés phytochimiques, physico-chimiques et biologiques similaires.

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les gels des cladodes des deux espèces étudiées sont riches en acides ascorbique, en flavonoïdes et en chlorophylle et possède une forte activité antioxydante, ce qui permet à ces deux espèces d'être une source très importante de substances bioactives avec des propriétés technologiques et fonctionnelles intéressantes dans les domaines alimentaire, cosmétiques et pharmacologique et aussi d'être une base d'élaboration des produits nutraceutiques, des pommades à effet cicatrisant et des gels gastriques anti-inflammatoires pour soulager les

différentes maladies, permettant ainsi de justifier les indications thérapeutiques des préparations traditionnelles à base d'Opuntia.

Comme perspectives à ce travail, une identification à l'échelle moléculaire est nécessaire pour purifier et isoler les substances bioactives des deux espèces d'Opuntia étudiées afin d'élaborer des formes médicamenteuses (pommades, gélules, comprimés ...etc.) à effet cicatrisant et anti-inflammatoire, et une étude de la stabilité et des moyens de conservation des gels des cladodes de ces deux plantes sera primordial pour une meilleure transformation et valorisation.

**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Abidi, S., Salem, H. B., Vasta, V., and Priolo, A. (2009). 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 Ruminant Research*. 87 (1-3):9–16.
2. Angulo-Bejarano, P., Martínez-Cruz, O., and Paredes-López, O. (2014). Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*. 10 (3): 196–217.
3. Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*. 30, 40–47.
4. Arba, M. (2006). *Dellahia* a cactus pear cultivar from the Mediterranean coast of northern Morocco. *Acta Horti*. 723, 37-41.
5. Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *J. Hortic. Sci.*, 1992, 3:307-312.
6. Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. Past and role of the Indian fig prickly pear (*Opuntia Ficus indica* (L.) Miller, *Cactaceae*) in the agriculture of Sicily, *Economic Botany*, 1992, 46:10-20.
7. Benkaddouri, A. (2011). Etude des huiles essentielles de l'*Opuntia Ficus indica*, Région de Mascara. Mémoire de magister en chimie organique, université d'Oran. 1-131.
8. Benattia, K. f. (2017). Analyse-et-Application-des-Extraits-de-pepins-de-Figues-de-Barbarie. Thèse de doctorat en Chimie, Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen. 1-184.
9. Boullard, B. 2001. *Plantes médicinales du monde (Réalité & croyance)* ESTEM, 2-84371-117-7.
10. Boutakiout, A. (2015). Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit: jus de cladode du figuier de Barbarie. Thèse de doctorat en Agronomie, Université d'Angers. 1-212.
11. Bruneton J. *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. Paris 3 Ed, Tec & Doc, Paris, 1999.

12. Cottiglia, F., Loy, G., Garan, D., Floris, C., Casu, M., Pompei, R., Bonsignore, L. (2001). Antimicrobial evaluation of coumarins and flavonoids from the stems of *Daphne gnidium* L. *Phytomedicine*, 8(4):302-305.
13. Donner, H., Robbins, T., Jorgensen, R. (1991). Genetic and developmental control of anthocyanin in biosynthesis. *Annual review of genetics*. (25):173-19.
14. Dugrand-Judek, A. (2015). Contribution à l'étude phytochimique et moléculaire de la synthèse des coumarines et furocoumarines chez diverses variétés d'agrumes du genre *Citrus*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques université de Lorraine. 1-286.
15. Hadj Sadouk, T., Aid F., Doumandji, A., Bellal, M. Effet du jus de cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques, publié dans la revue *Nature et technologie*, 2013.n°13:29 à 40.
16. Hartmut, B. (2008). "Opuntia dillenii" – An Interesting and Promising Cactaceae. Changes in Physical Properties and Chemical Composition. 1-23.
17. Holmes, K. (2016). Morphological and Ecological Characterization of *Opuntia Milleron* the Coast of South Carolina. Mémoire de master en sciences des plantes et sciences environnementales. 1-102.
18. Inglese, P., Barbera G., LaMantia, T. Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *J. Arid. Envir.*, 1995, 29:455-468.
19. Inglese, P., Mondragon, C., Queretaro, J., Nefzaoui, A., Saenz, C. (2018). Ecologie, culture et utilisations de Figuiers de Barbarie. L'organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture. 1-250.
20. Lévillé, H.M. (1892). Le monde des plantes. *Revue mensuelle de botanique*, 1892. n°1 :1-260.
21. Medina, E. D., Rodriguez, E., & Romero, E. C. (2006). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Science Direct*. Vol 103.n°1. 38-45.
22. Missaoui, M., D'Antuono, I., D'Imperio, M., Linsalata, V., Boukhchina, S., Logrieco, A., Cadinali, A. I. d. (2020). Characterization of Micronutrients, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Prickly Pear Cladodes as Functional Ingredient. 25 (9), 2176.
23. Muniz, M. N. (2007). Synthèse d'alcaloïdes biologiquement actifs : la (+)-anatoxine-a et la (±)- camptothécine. Thèse de doctorat en chimie. Université de

- Joseph Fourier Grenoble I. 1-195.
24. Nerd, A., Karadi, A., Mizhari, Y. (1991). Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant soil*. 137:201-207.
  25. Petrovska, B. (1991). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy Reviews*. 6 (11):1-5.
  26. POISSON, J. (s.d.). Alcaloïdes, Origine et répartition naturelle. *Encyclopædia Universalis*. 1-9.
  27. Reza, S., Vafa, B. R., Ashrafali Rezaie, K., Amirhossein, S., Hassan, R., Vahid, R. A. (2019). *Opuntia dillenii*: A Forgotten Plant with Promising Pharmacological Properties; 2:016-027.
  28. Rakotoarivonona, H. T. (2019). Effets D'incorporation du Cactus Rouge Broyé (*OPUNTIA STRICTA*) dans l'alimentation des caprins. Mémoire de master en sciences agronomiques et environnementales. Université d'Antananarivo. PP.1-71.
  29. Russel, C., Felker, P. (1987). The prickly pears (*Opuntia* spp, Cactaceae): A source of Human and Animal food in semiarid regions. *Economic botany*. 41 :433-445. [37].
  30. Saenz, C. (2000). Processing technologies: An alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *J of Arid Envir.*, 46:209-225.
  31. Sharma, C., Rani, S., Kumar, B., Kumar, A., Raj, E. V. (2015). Plant *Opuntia dillenii* A Review on It's Traditional Uses, Phytochemical and Pharmacological Properties. *EC Pharmaceutical Science* 1.1. 29-43.
  32. Shirazinia, R., Rahimi, V. B., Kehkhaie, A. R., Sahebkar, A., Rakhshandeh, H., & Askari, V.R. (2019). *Opuntia dillenii*: A Forgotten Plant with Promising Pharmacological Properties. *Journal of pharmaco puncture*. 22,16-27.

# **Annexes**

- **Annexe 1**

**Tableau XI - Appareillages, matériels de laboratoire, solvants et réactifs chimiques utilisés pour l'analyse phyto et physicochimique**

| Appareillages   | Matériels de laboratoire  | Solvants / Réactifs  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agitateur- magnétiques</li> <li>▪ Bain marie</li> <li>▪ Balance</li> <li>▪ Balance de précision 0,001g (KERN 770)</li> <li>▪ Chauffe ballons</li> <li>▪ Lyophilisateur</li> <li>▪ PH-mètre (INOLAB)</li> <li>▪ Plaque chauffante</li> <li>▪ Spectrophotomètre UV-visible (EV 9200)</li> <li>▪ Viscosimètre de marque (AR 2000).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ampoule a décanté</li> <li>▪ Béchers (50ml, 100ml,250ml, 500ml)</li> <li>▪ Burette graduée</li> <li>▪ Entonnoirs</li> <li>▪ Erlenmeyers</li> <li>▪ Fioles (coniques, jaugées)</li> <li>▪ Passoire</li> <li>▪ Pipettes graduées</li> <li>▪ Pipeteur</li> <li>▪ Spatules</li> <li>▪ Tubes à essais</li> <li>▪ Verre de montre</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acétate de plomb</li> <li>▪ Acétate de sodium</li> <li>▪ Acide chlorhydrique (HCl)</li> <li>▪ Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>▪ Alcool iso butanol</li> <li>▪ Ammoniaque</li> <li>▪ Anhydre</li> <li>▪ Bleu de méthylène</li> <li>▪ Chloroforme</li> <li>▪ Copeau de Mg</li> <li>▪ DppH</li> <li>▪ Eau distillée</li> <li>▪ Ethanol</li> <li>▪ Ether</li> <li>▪ Hydroxyde de potassium (KOH)</li> <li>▪ Hydroxyde de sodium(NaOH)</li> <li>▪ Phénophtaléine</li> <li>▪ Réactif de dragendroff</li> <li>▪ Solution d'amidon</li> <li>▪ Solution de chlorurede fer (Fe cl<sub>3</sub>)</li> <li>▪ Solution Fehling A</li> <li>▪ Solution Fehling B</li> <li>▪ Solution d'iode</li> <li>▪ Sulfate de sodium</li> </ul> |

**Tableau XII - Appareillage, matériels de laboratoire, solutions et milieux de culture utilisés pour l'activité antimicrobienne**

| Appareillages   | Matériels   | Solutions et milieux de culture   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Autoclave</li> <li>▪ Bain-marie</li> <li>▪ Etuve bactériologique</li> <li>▪ Réfrigérateur</li> <li>▪ Spectrophotomètre UV-visible</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anse de platine</li> <li>▪ Bec bunsen</li> <li>▪ Boîtes Pétri</li> <li>▪ Cuves</li> <li>▪ Disques de papier Wattman</li> <li>▪ Ecouvillons</li> <li>▪ Embouts stériles</li> <li>▪ Micropipettes</li> <li>▪ Pince</li> <li>▪ Pipettes Pasteur</li> <li>▪ Portoir</li> <li>▪ Tubes à essais</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eau distillée</li> <li>▪ Eau de javel</li> <li>▪ Eau physiologique stérile (9g/l)</li> <li>▪ Gélose nutritive</li> <li>▪ Gélose Muller Hinton</li> </ul> |

▪ **Annexe 2**

**Tableau XIII - Résultats du screening photochimique**

| Métabolites secondaires | <i>O.fi</i> | <i>O.sd</i> |  |
|-------------------------|-------------|-------------|--|
| <b>Anthocyanes</b>      | -           | -           |  |
| <b>Tanins</b>           | -           | -           |  |
| <b>Tanins galliques</b> | -           | -           |  |
| <b>Flavonoïdes</b>      | -           | -           |  |

|                    |     |    |  |
|--------------------|-----|----|--|
| Saponosides        | -   | -  |    |
| Quinones libres    | -   | -  |  |
| Quinones combinées | -   | -  |  |
| Alcaloïdes         | -   | -  |    |
| Glucosides         | -   | -  |   |
| Coumarines         | +   | +  |  |
| Sennosides         | +++ | ++ |  |

### ▪ Annexe 3

#### Préparation de la gamme d'étalonnage des polyphénols

On fait dissoudre 200mg d'acide gallique dans 100ml d'éthanol, soit une solution mère (S<sub>1</sub>) ensuite, on réalise une série de dilution de cette solution comme suit :

- On prélève 5ml de la solution mère puis on additionne 5ml de l'eau distillée et on obtient la dilution S<sub>1</sub>/2.
- On prélève 5ml de la solution précédente S<sub>1</sub>/2 puis on ajoute 5ml de l'eau distillée et on obtient la solution S<sub>1</sub>/4.
- On procède la même manière pour les autres dilutions.
- Ajouter à tous les tubes 0.5ml du réactif de Folin-Ciocalteu, et ce à l'abri de la lumière.
- Laisser agir 5min.
- Ajouter 0.5ml de carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (20%).
- Incuber à l'abri de la lumière et à la température ambiante pendant 1 heure.

L'absorbance est mesurée à 760 nm contre un blanc (sans acide gallique).

| Tubes         | 1     | 2      | 3      | 4    | 5    | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11   |
|---------------|-------|--------|--------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| Concentration | 0.5   | 1      | 1.5    | 2    | 3    | 4     | 6     | 8    | 10    | 12    | 14   |
| DO à 760nm    | 0.001 | 0.0048 | 0.0096 | 0.15 | 0.24 | 0.336 | 0.528 | 0.67 | 0.914 | 1.106 | 1.29 |

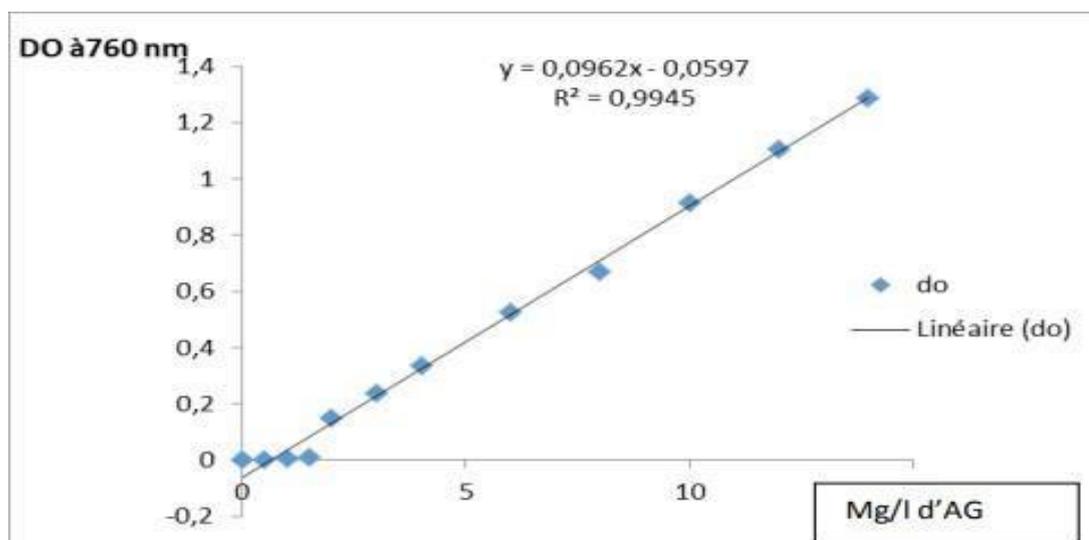


Figure 19 - Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

#### Annexe 4

##### Préparation de la gamme d'étalonnage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode d'AlCl<sub>3</sub> en utilisant comme standard la Quercétine, les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en mg EQ/g d'extrait.

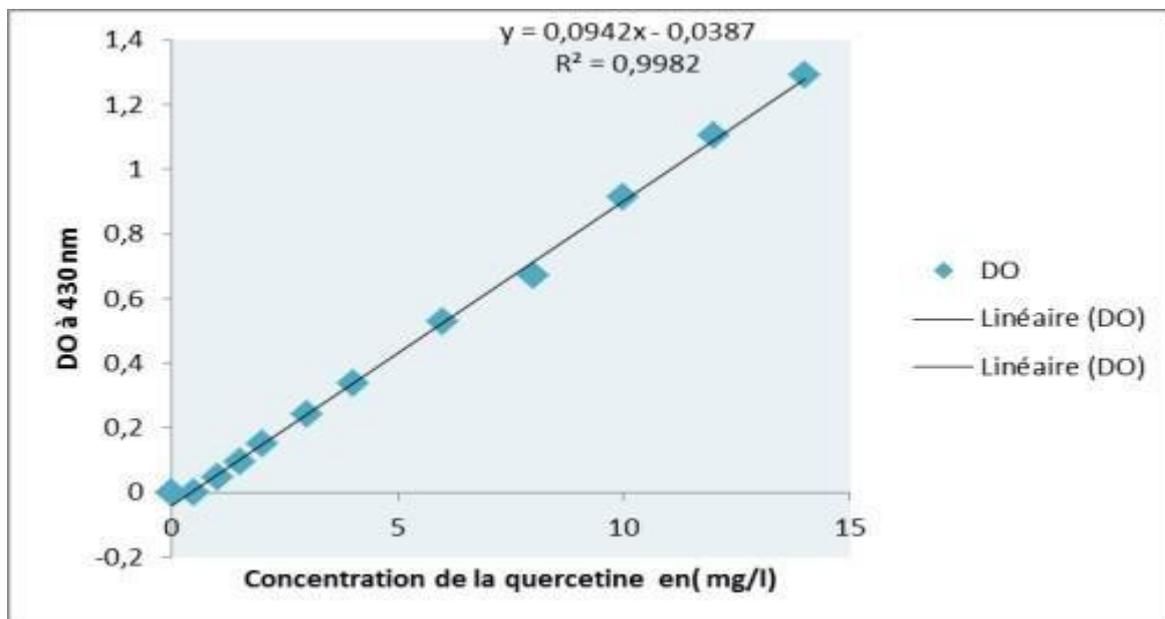
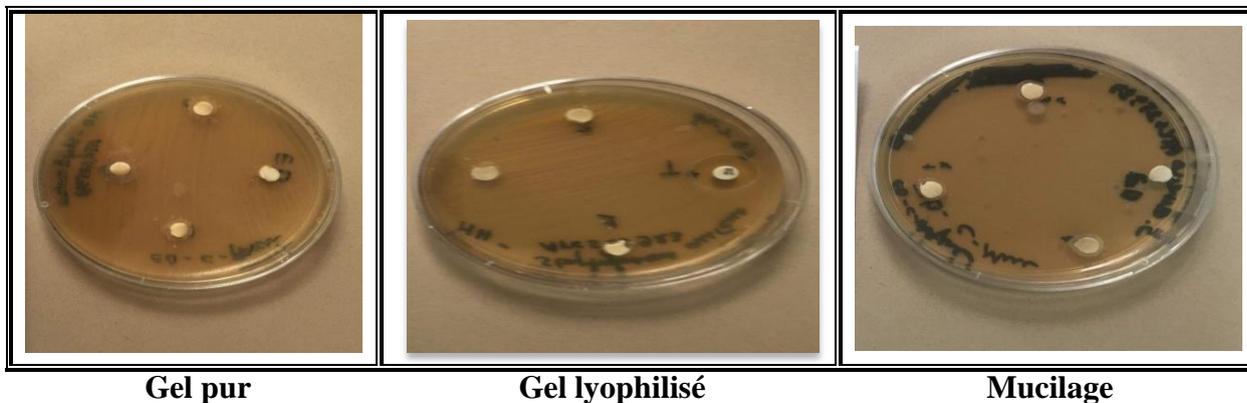


Figure 20 - Courbe d'étalonnage des flavonoïdes (Quercétine)

## Annexe 05

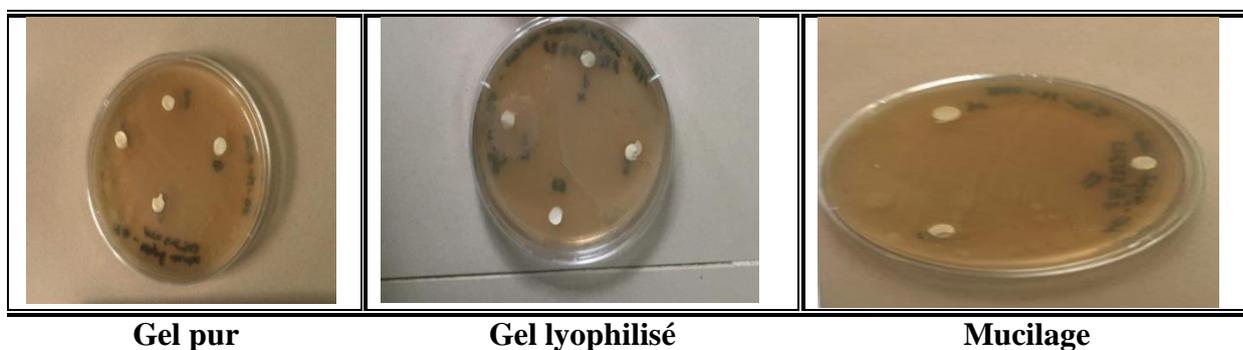
Résultats de l'activité antibactérienne des différents gels et mucilage des deux espèces ainsi que le mélange testés contre trois souches bactériennes.



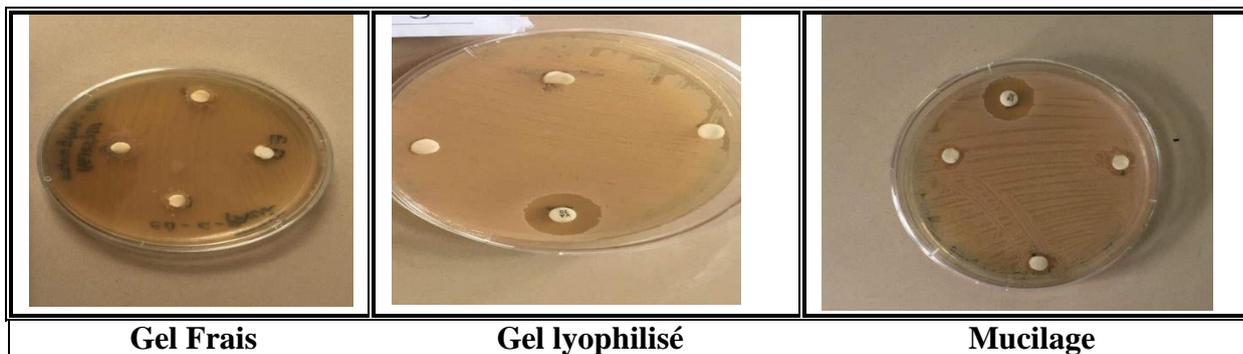
**Figure 21** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.fi* testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).



**Figure 22** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.sd* testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).



**Figure 23** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits aqueux du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).

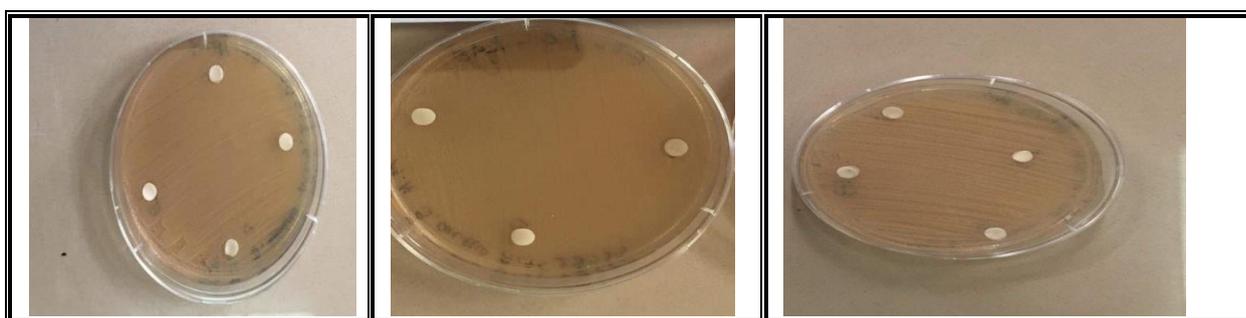


Gel Frais

Gel lyophilisé

Mucilage

**Figure 24** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.fi* testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).



Gel pur

Gel lyophilisé

Mucilage

**Figure 25** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.sd* testés contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923)

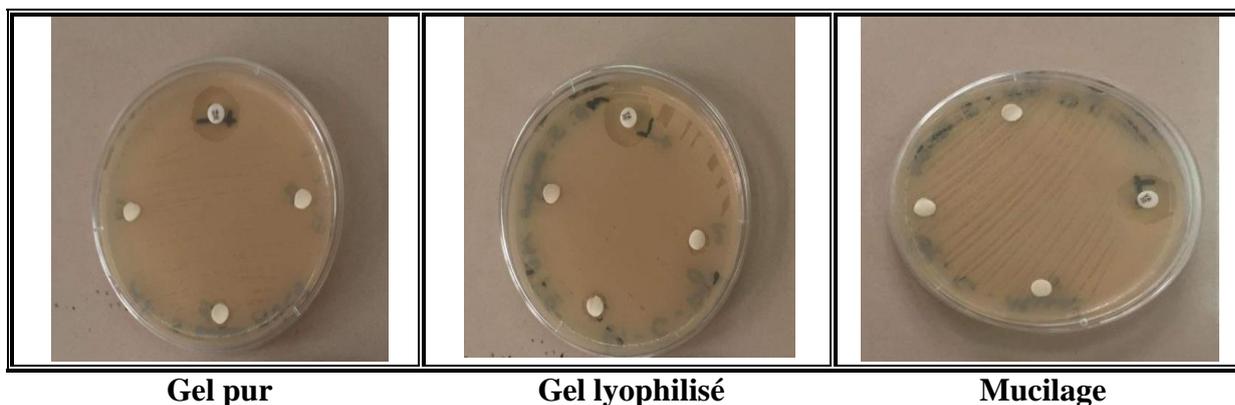


Gel pur

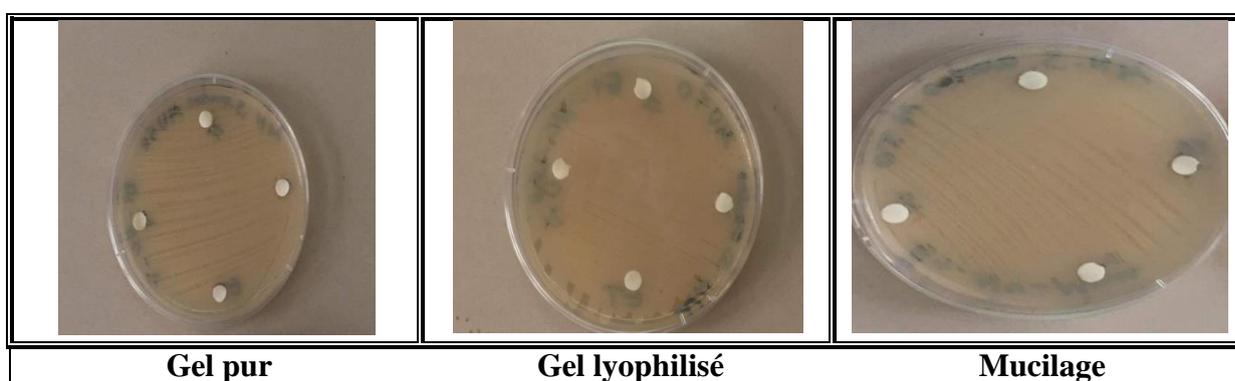
Gel lyophilisé

Mucilage

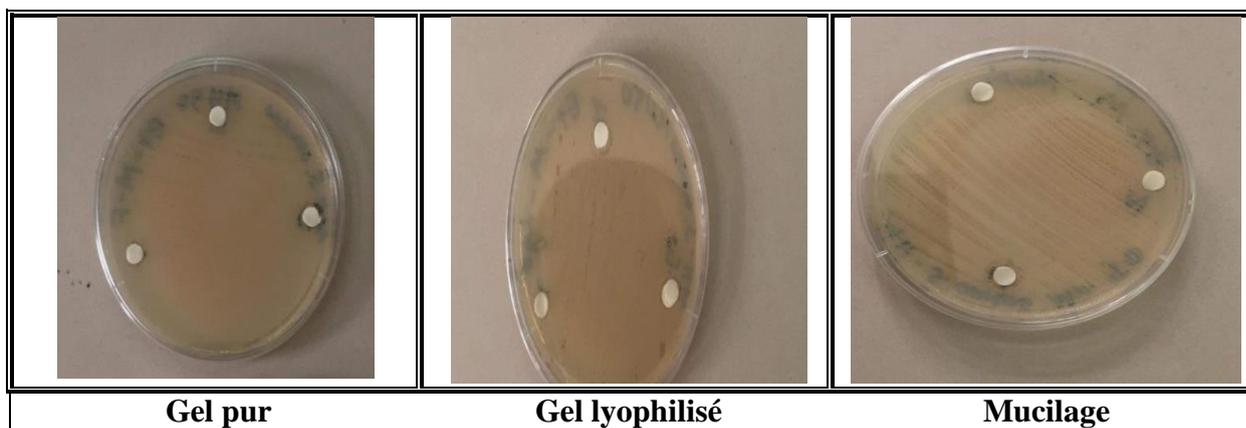
**Figure 26** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, gel lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre *Staphylococcus aureus* (ACTS25923).



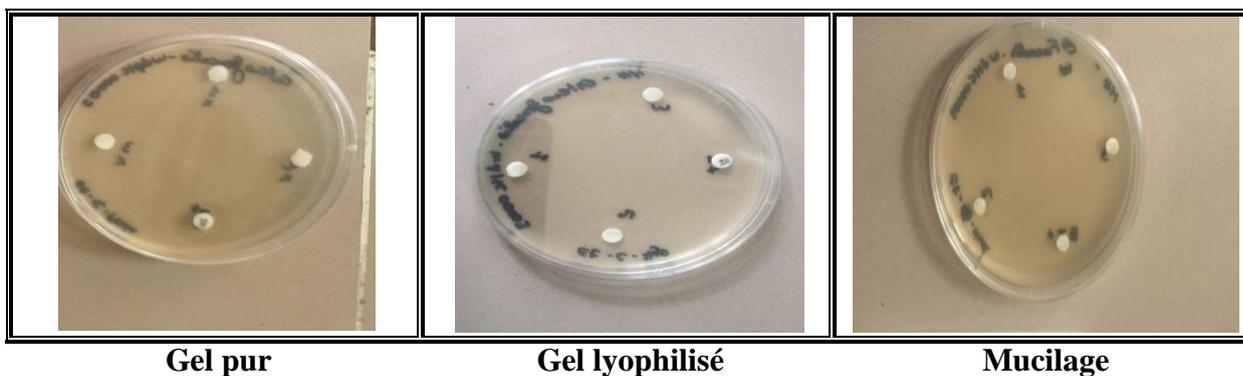
**Figure 27** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.fi* testés contre *Staphylococcus aureus* (MU50).



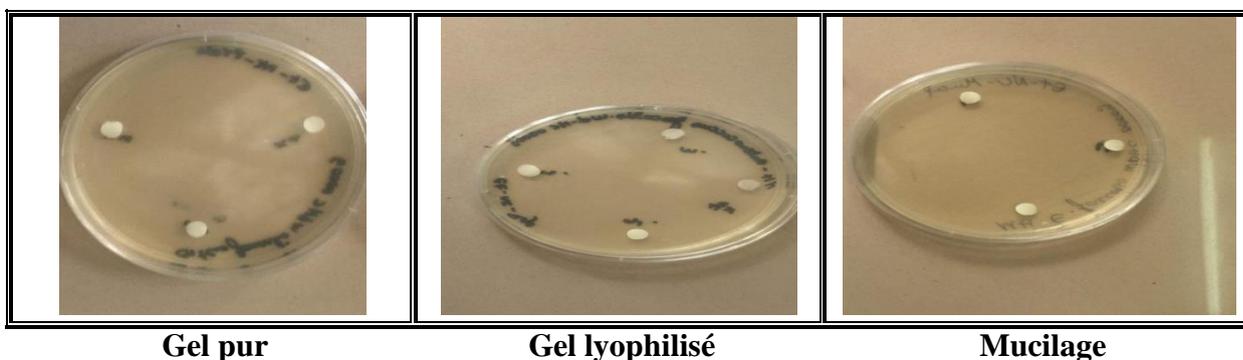
**Figure 28** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.sd* testés contre *Staphylococcus aureus* (MU50).



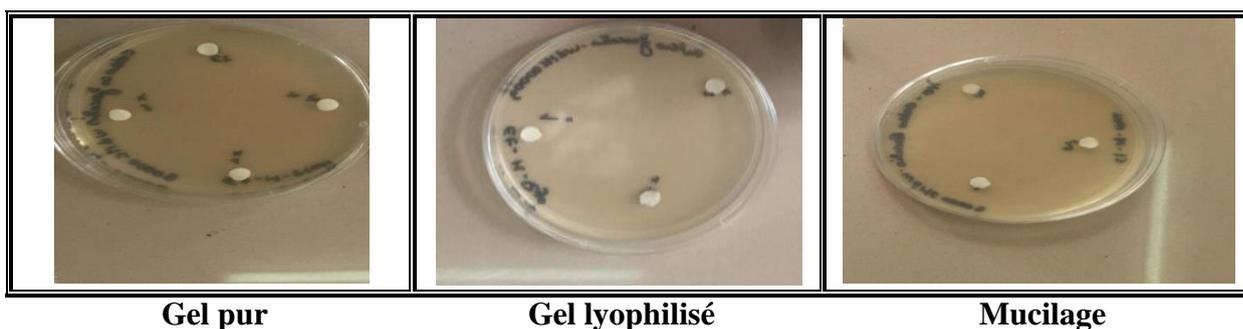
**Figure 29** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre *Staphylococcus aureus* (MU50).



**Figure 30** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.fi* testés contre *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009).



**Figure 31** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes d'*O.sd* testés contre *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009).



**Figure 32** - Résultats de l'activité antibactérienne des extraits éthanoliques du gel pur, lyophilisé et du mucilage des cladodes du mélange des deux espèces testées contre *Enterococcus faecalis* (WDCM 00009).

## Annexe 06



**Figure 33 :** Photographie du gel pur des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* et leur mélange.



**Figure 34 :** Photographie du gel lyophilisé des cladodes d'*O.fi* et d'*O.sd* et leur mélange.

---

## Résumé

Ce présent travail a pour objectif l'étude des propriétés biochimiques, biologiques et rhéologiques des gels des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et d'*Opuntia stricta.var.dillenii*. L'analyse phytochimiques et physicochimiques ont été réalisé afin de connaître la composition de ces gels en biomolécules, les résultats obtenus montrent que les gels des cladodes des deux espèces sont de nature acide, riches en coumarines, en sennosides, en acide ascorbiques, en sucres totaux et en saccharose.

Cette analyse est complétée par le dosage des polyphénols et des flavonoïdes qui indique que l'extrait éthanolique du gel des cladodes d'*O.fi* présente des valeurs élevées en polyphénols totaux et que le gel pur des cladodes d'*O.sd* est riche en flavonoïdes.

L'activité antioxydante évaluée par DPPH, révèle que les gels des cladodes possèdent un potentiel antioxydant élevé.

L'étude rhéologique réalisée démontre que les gels des cladodes des deux espèces sont des fluides plastiques de type dit « rhéofluidifiant ».

L'analyse de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et éthanoliques et du mucilage des gels des cladodes des deux espèces de cactus étudiées, révèle des réactions négatives de ces extraits vis à vis les souches testées.

**Mots clés :** *Opuntia ficus indica*, *Opuntia stricta.var.dillenii*, gels, cladodes, biomolécules, polyphénols, flavonoïdes.

## Abstract

This work aims to study the biochemical, biological and rheological properties of gels of cladodes of *Opuntia ficus indica* and *Opuntia stricta.var.dillenii*. Phytochemical and physicochemical analysis is were carried out in order to know the composition of these gels in biomolecules, the results obtained show that the gels of the cladodes of the two species are of acid nature, rich in coumarins, sennosides, ascorbicacid, total sugars and sucrose.

This analysis is completed by the determination of polyphenols and flavonoids which indicates that the ethanolic extract of the *O.fi* cladode gel has high values of total polyphenols and that the pure gel of *O.sd* cladodes is rich in flavonoids.

The antioxidant activity evaluated by DPPH, reveals that the gels of cladodes have a high antioxidant potential.

The rheological study carried out shows that the gels of cladodes of both species are plastic fluids of the type known as "rheofluidizing".

The analysis of the antibacterial activity of the aqueous and ethanolic extracts and of the mucilage of the gels of the cladodes of the two studied cactus species, reveals negativ reactions of these extracts to wards the tested strains.

**Keywords :** *Opuntia ficus indica*, *Opuntia stricta.var.dillenii*, gels, cladodes, biomolecules, polyphénols, flavonoids.