

---

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département Biochimie-Microbiologie**



## **Mémoire de fin d'étude**



**En vue de L'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques**  
**Spécialité : Biochimie Appliquée**

### **Thème**

**Évaluation de quelques activités biologiques du  
mucilage des cladodes d'*Opuntia ficus indica* et  
d'extraits de produits de la ruche.**

**Présenté par : YACINE Sonia**

**Et**

**LACHAB Sabrina**

**Président : Madame HACID Fatma**

**Maitre de Conférences à l'UMMTO**

**Encadrant : Madame DERMECHE Samia**

**Maitre de Conférences à l'UMMTO**

**Examinatrice : Madame BEDOUHENE Samia**

**Maitre de Conférences à l'UMMTO**

**2023/2024**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à notre promotrice, Madame DERMÈCHE Samia, pour son soutien constant, ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de cette recherche. Sa rigueur scientifique et sa disponibilité ont été cruciales pour la réussite de ce travail, nous guidant avec patience et encouragement.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury, dont les évaluations rigoureuses, les remarques pertinentes et les suggestions éclairées ont grandement contribué à l'amélioration de ce mémoire. Leur expertise académique et leur implication dans l'examen approfondi de ce travail ont été des éléments essentiels dans sa finalisation. On leurs exprime notre profonde gratitude pour le temps et l'attention qu'ils ont généreusement consacrés à cette évaluation.*

*Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de cette étude. Leur aide, qu'il s'agisse de conseils, de soutien ou de ressources, a été essentielle pour surmonter les défis rencontrés et mener cette étude à bien.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à l'ensemble du personnel des laboratoires de Biochimie Analytique et Biotechnologies ainsi que d'analyses physico-chimiques du département de Biochimie et Microbiologie de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Leur soutien constant, leur patience et leur expertise ont été essentiels pour la réussite de notre recherche. Leur aide précieuse et leurs conseils sur les bonnes pratiques en laboratoire ont enrichi notre expérience et facilité l'accomplissement de ce travail.*

## *DÉDICACE*

*À l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin  
De ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

*À la mémoire de mon père,  
À ma très chère mère*

*Et mon cher frère Nadir*

*Celles qui me permettent d'avancer et de réussir ;*

*Que Dieu les garde près de moi, ancré dans mon cœur ;*

*À tous mes amis,  
À tous ceux que j'aime,  
À ma binôme Sonia*

*Sabrine*

## *DÉDICACE*

*Je dédie ce modeste travail à celle*

*Qui m'a donnée la vie,*

*Qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.*

*À mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, qui a veillé à me donner l'aide, à m'encourager et à me protéger, Que dieu les gardes et les protèges.*

*À mes adorables sœurs Lilia et Djidji et à mes frères Samir et Farid*

*À toute ma famille, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire*

*À mes très chers amis*

*À tous ceux qui m'aiment, à tous ceux que j'aime, je dédie ce travail !*

*À ma binôme sabrine*

*Sonia*

## Résumé

Cette étude est focalisée sur la valorisation des propriétés biochimiques et microbiologiques du cladode de figuier de barbarie ainsi que des produits apicoles : le pollen et la propolis, qui sont particulièrement répandus dans la région de Tizi Ouzou. L'objectif principal est de valoriser ces produits pour leur richesse en composés bioactifs, leurs extraits ont été évalués individuellement pour leur activités antioxydantes et antimicrobiennes. Une association entre le mucilage extrait des cladodes avec l'extrait du pollen a été aussi étudiée.

Les résultats du dosage au réactif de Folin-Ciocalteu ont montré que tous les extraits sont riches en polyphénols, avec des concentrations qui varient de 40,54 $\mu$ g/ml pour l'extrait du pollen à 477,48  $\mu$ g/ml pour l'extrait de la propolis. Les extraits ont révélé des capacités antioxydantes appréciables vis-à-vis du radical DPPH.

Les extraits de pollen sont particulièrement efficaces avec une valeur IC<sub>50</sub> de 2,44  $\mu$ g/ml à 22,18 $\mu$ g/ml. Des valeurs IC<sub>50</sub> de l'ordre de 71,86  $\mu$ g/ml à 136,43 $\mu$ g/ml, et de 37,11  $\mu$ g/ml à 244,61  $\mu$ g/ml ont été enregistrées, respectivement, pour les extraits de propolis et du mucilage du cladode du figuier de barbarie.

Ce qui ressort particulièrement de cette étude est la synergie notée entre le mucilage de la partie externe du cladode de figuier de barbarie et le pollen ou la propolis. L'association de ces deux produits au mucilage révèle des propriétés antimicrobiennes intéressantes. Cette combinaison entraîne une réduction significative de la flore mésophile après 72 h comparativement aux témoins. Cette synergie suggère que l'association du mucilage du cladode et de l'extrait du pollen pourrait amplifier les effets thérapeutiques et ouvrir la voie à des formulations naturelles plus efficaces.

Les résultats obtenus soulignent le potentiel antioxydants et antimicrobiens des extraits ainsi que la mélange du mucilage du cladode et de l'extrait du pollen qui pourrait être exploité pour le développement de nouvelles formulations thérapeutiques à base des différents extraits étudiés.

**Mots clés :** Cladode de figuier de barbarie, pollen, propolis, activité antioxydante, activité antimicrobienne, polyphénols, mucilage, flore mésophile, formulations naturelles.

## **Abstract**

This study focuses on the valorization of the biochemical and microbiological properties of the prickly pear cladode as well as bee products, pollen and propolis, which are particularly widespread in the Tizi Ouzou region. The main objective is to highlight these products for their richness in bioactive compounds. Their extracts were individually evaluated for their antioxidant and antimicrobial activities. An association between mucilage extracted from the cladodes and pollen extract was also investigated.

The results of the Folin-Ciocalteu assay showed that all extracts are rich in polyphenols, with concentrations ranging from 40.54  $\mu\text{g/ml}$  for pollen extract to 477.48  $\mu\text{g/ml}$  for propolis extract. The extracts demonstrated significant antioxidant capacities against the DPPH radical. Pollen extracts were particularly effective, with IC<sub>50</sub> values ranging from 2.44  $\mu\text{g/ml}$  to 22.18  $\mu\text{g/ml}$  for pollen extracts. IC<sub>50</sub> values ranging from 71.86  $\mu\text{g/ml}$  to 136.43  $\mu\text{g/ml}$ , and from 37.11  $\mu\text{g/ml}$  to 244.61  $\mu\text{g/ml}$  were recorded for propolis extracts and prickly pear cladode mucilage extracts, respectively.

A key finding of this study is the synergy observed between the mucilage from the outer part of the prickly pear cladode and pollen or propolis. The combination of these products with mucilage revealed interesting antimicrobial properties, leading to a significant reduction in mesophilic flora after 72 hours compared to the controls. This synergy suggests that the association of cladode mucilage and pollen extract could enhance therapeutic effects and pave the way for more effective natural formulations. The results underscore the antioxidant and antimicrobial potential of the extracts, as well as the mixture of cladode mucilage and pollen extract, which could be exploited for the development of new therapeutic formulations based on the studied extracts.

**Keywords:** Prickly pear cladode, pollen, propolis, antioxidant activity, antimicrobial activity, polyphenols, mucilage, mesophilic flora, natural formulations.

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **Partie bibliographique**

### **Chapitre I : Le figuier de barbarie et son mucilage**

<b>1. L'<i>Opuntia ficus indica</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Systématiques .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2- Nomenclature et terminologie du figuier de barbarie .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Cladodes .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Composition biochimique de cladodes .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Le mucilage .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1 Structure et composition chimique du mucilage .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Activités biologique de l'<i>Opuntia ficus indica</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1. Activité antioxydante.....</b>	<b>11</b>
<b>5. Domaine d'utilisation du cladode .....</b>	<b>12</b>
<b>5.1. Utilisation alimentaire.....</b>	<b>12</b>
<b>5.2. Utilisation pharmacologique .....</b>	<b>12</b>
<b>5.3. Utilisation cosmétique .....</b>	<b>13</b>
<b>5.4. Utilisation industrielle.....</b>	<b>13</b>

### **Chapitre II : Le pollen et la propolis**

<b>Introduction .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Pollen .....</b>	<b>15</b>

<b>1.1. Définition.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Structure du grain de pollen.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Récolte du pollen .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.1. Récolte du pollen par les abeilles .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2. Récolte du pollen par l’homme .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4. Conservation du pollen .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5. Propriétés biologiques du pollen .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6. Composition biochimique du pollen .....</b>	<b>19</b>
<b>1.7. Propriétés thérapeutiques du pollen.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.1. Activité antioxydante.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.2. Activité antibactérienne .....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.3. Action antifongique .....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.4. Activité anti-inflammatoire .....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.5. Propriétés anticancéreuses .....</b>	<b>22</b>
<b>2. Propolis.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Définition.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Origine de propolis.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Type de propolis.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4. Composition de la propolis .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5. Propriétés de la propolis .....</b>	<b>26</b>

## **Partie expérimentale**

### **1. Matériels et méthode**

<b>1.1 Matériel végétal .....</b>	<b>30</b>
-----------------------------------	-----------

<b>1.2 Matériel du laboratoire.....</b>	<b>31</b>
<b>2.Méthodes et protocoles expérimentaux .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Extraction du mucilage .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Protocole expérimental.....</b>	<b>33</b>
<b>3. Mode opératoire .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1. Analyses physico-chimiques de cladode figue de barbarie .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.1. Teneur en eau .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2. Teneur en cendres .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2. Activité antioxydante.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Dosage des polyphénols totaux.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4. Étude de l'activité antibactérienne .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.1. Préparation des milieux de culture.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.2. Repiquage des souches .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.3. Préparation de l'inoculum et standardisation des suspensions bactériennes ....</b>	<b>39</b>
<b>3.5. Préparation de la formulation.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5.1. Analyse microbiologique des formulations .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5.1.1. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM).....</b>	<b>41</b>
<b>II. Résultats et discussion</b>	
<b>1. Teneur en eau .....</b>	<b>46</b>
<b>2.Teneur en cendres .....</b>	<b>47</b>
<b>3. Dosage des polyphénols.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1. Dosage des polyphénols dans les différents extraits du cladode .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2. Dosage des polyphénols contenus dans les extraits de pollen.....</b>	<b>49</b>
<b>3.3. Dosage des polyphénols contenus dans les extraits de propolis .....</b>	<b>49</b>
<b>4. Activité antioxydante de différents extraits .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1. Évaluation d'activité anti radicalaire au radical DPPH.....</b>	<b>50</b>

<b>5.Résultats de l'activité antibactérienne.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1. Dénombrement de la flore mésophile totale des deux formulations.....</b>	<b>57</b>
<b>5.1.1. Evolution quantitative de la flore aérobie mésophile totale .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1.2 Évaluation de l'activité antioxydante de deux formulations par le test au radical DPPH .....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>61</b>
<b>Références bibliographiques</b>	

## ***Liste des abréviations***

**AC** : Acide Ascorbique

**TC** : Teneur en cendre

**DPPH** : 2, 2- diphenyl-1-picrylhydrazyl

**EAG** : Équivalent de l'acide gallique

**EM** : Extrait de malt

**G/L** : Gramme par litre

**GN** : Gélose nutritive

**H %** : Humidité

**IC<sub>50</sub>** : concentration inhibitrice.

**MH** : Muller Hinton Agar

**MO** : Matière Organique.

**MS** : Matière sèche

**Ms/cm** : Millisiemens par centimètre

**Nm**: Nanomètre

**PDA**: Potato-Dextrose-Agar

**Ph** : Potentiel d'Hydrogène

**UFC** : Unité formant colonie

**UV** : Ultra-Violet

## Liste des figures

N°	Titres des figures	Pages
01	L' <i>Opuntia ficus indica</i> et ses différentes parties A) l'arbre, B) les cladodes, C) les fleurs et D) le fruit (Habibi, 2004).	09
02	Structure proposée pour le mucilage d' <i>Opuntia</i> (Sáenz, 2004).	11
03	Différents granules du pollen (Jaroz, 2003).	15
04	Récolte du pollen par les abeilles.	17
05	Trappe à pollen d'entrée en bois (Jean-Louis, 2017).	18
06	Trois types de propolis : brune, verte, rouge (Compagnie des sens, 2022).	24
07	La proportion de la composition chimique de la propolis d'après (Przybyłek et Karpinski, 2019).	25
08	La zone d'échantillonnage (Google, s.d).	30
09	Aspect des extraits de mucilage et fibres des différentes parties de cladode <i>Opotunia ficus indica</i> . (Partie externe, interne et partie mélange des 2 parties).	32
10	Diagramme du protocole expérimental de l'étude	33
11	Le mucilage des différentes parties de cladode figuier de barbarie avant et après la dessiccation	35
12	Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant	37
13	Protocole de dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu.	38
14	Schéma de préparation de différentes formulations à base de l'extrait brute de cladode figuier de barbarie ( <i>Opotunia ficus indica</i> ).	41
15	Étapes de la préparation des dilutions décimales de gel de la partie externe de cladode figuier de barbarie, la formulation 1 et la formulation 2.	41
16	La teneur en eau et la matière sèche des différentes parties de cladode figuier de barbarie.	46
17	La teneur en cendre des différentes parties de cladode figuier de barbarie.	47
18	Concentration des polyphénols dans les trois parties du cladode.	48
19	Concentration des polyphénols dans les échantillons du pollen.	49
20	Concentration des polyphénols dans les échantillons de la propolis.	49
21	Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de propolis étudiés par la méthode DPPH.	51

<b>22</b>	Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de pollen étudiés par la méthode DPPH.	<b>52</b>
<b>23</b>	Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de cladodes étudiés par la méthode DPPH	<b>53</b>
<b>24</b>	Les valeurs des IC <sub>50</sub> des différents extraits phénoliques et standards donnés par le test au DPPH.	<b>54</b>
<b>25</b>	Évaluation de l'activité antibactérienne de différents extraits.	<b>55</b>
<b>26</b>	Evolution quantitative de la flore aérobie mésophile totale dans les deux formulations ainsi que le témoin.	<b>57</b>
<b>27</b>	Les pourcentages d'inhibition des deux formulations 1 et 2 données par le test de DPPH.	<b>58</b>

## *Liste des tableaux*

<b>N°</b>	<b>Titres des tableaux</b>	<b>Pages</b>
<b>I</b>	Composition chimique de cladodes de différents âges (g/100p.s)	<b>10</b>
<b>II</b>	Composition nutritionnelle du pollen d'abeille.	<b>20</b>
<b>III</b>	Les différentes propriétés de la propolis.	<b>26</b>
<b>IV</b>	Produits chimiques, la verrerie et l'appareillage utilisés pour mettre en œuvre la partie pratique de ce travail.	<b>31</b>
<b>V</b>	Diamètres des zones d'inhibition des extraits testés.	<b>56</b>

## ***Liste des annexes***

<b>N°</b>	<b>Titres des annexes</b>	<b>Pages</b>
<b>01</b>	La gamme d'étalonnage du dosage des polyphénols totaux.	<b>72</b>
<b>02</b>	Evaluation de l'activité antioxydante.	<b>74</b>
<b>03</b>	Evaluation de l'activité antioxydante par le piégeage de DPPH.	<b>75</b>
<b>04</b>	Composition et préparation des différents milieux de culture	<b>80</b>

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances naturelles bioactives. Les diverses propriétés connues des plantes sont liées à des sources importantes de biomolécules actives, qui sont exploités par l'homme dans les domaines de l'alimentation, du cosmétique, de la médecine et de la pharmacie (Mouden et al., 2016).

Le figuier de barbarie, *L.Opuntia ficus indica*, est un cactus tropical ou subtropical qui pousse dans les climats arides tels que les zones méditerranéennes et d'Amérique centrale (Ginestra et al., 2009). Le climat de notre pays, ses ressources phytogénétiques et ses terrains en zone parfaitement adaptée à la culture de ce cactus dont l'arsenal phytochimique se redécouvre avec un intérêt grandissant par la recherche médicale moderne pour des effets multiples ; pharmacologiques, alimentaire et cosmétique (Guoet al., 2003 ; Ginestra et al., 2009 ; Cherif, 2016). Le domaine de la recherche scientifique a permis la redécouverte de cette plante et ses propriétés. Des études scientifiques récentes menées sur cette dernière ont pu déterminer son immense richesse, de sa raquette (cladode) jusqu'aux graines, en molécules bioactives d'intérêt pour la médecine et la santé humaine (Guo et al., 2003).

En effet, les composés phytochimiques, présents dans cette plante à laquelle sont attribués des avantages en matière de soins de santé et de prévention des maladies, ont montré différentes activités à effet pharmacologique, cicatrisant, inhibiteur d'ulcération d'estomac et des effets neuroprotecteurs par le billet des activités antioxydantes et anti-inflammatoires (Ginestra et al., 2009). Le mucilage du cactus présente également des intérêts variés qui sont mis à profit dans l'industrie agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique.

L'Algérie représente l'endroit idéal pour cultiver les figuiers de barbarie du fait qu'elle englobe toutes les conditions idéales pour assurer un bon développement de la plante avec un meilleur rendement. Plus de quarante variétés de figuiers de barbarie qui pousse en Algérie dont six sont à fruits comestibles réputées par leur goût succulent et sucré. Elles sont caractérisées aussi par une grande quantité de graines contenues dans ce fruit comparée à celles de la Tunisie ou du Maroc. À la vue des vertus innombrables démontrées par diverses études, une valorisation de celle plante s'impose. Les industries algériennes devraient se pencher sur cet axe afin de développer ce secteur qui s'avère prometteur avec une valeur économique importante (Cherif, 2016).

Les produits de la ruche fascinaient les humains et occupaient une place particulière dans de nombreuses civilisations. Cela est dû à propriétés nutritionnelles et thérapeutiques. Généralement, lorsqu'on parle de la ruche, on pense directement à la production de miel. Pourtant,

ce n'est pas le seul résultat du travail de nos abeilles. En plus du nectar, les abeilles récoltent aussi du pollen et de la propolis. Elles fabriquent de la cire, du venin et de la gelée royale.

Le pollen est la nourriture des jeunes abeilles, contenant environ 40% de protéines, principalement riche en vitamines B, améliorant grandement Hémoglobine (Joseph et al, 2007).

La propolis est une résine délicate et complexe de 300 à 400 composés. Les Égyptiens il y a 3000 ans. Ils utilisent pour prévenir Bactéries dans les plaies. La propolis a un effet bénéfique sur le rhume, ulcères, pneumonies, arthrites et même certains cancers (Laure, 2019).

Tous ces produits de la ruche contiennent des quantités intéressantes de substances bioactives telles que les polyphénols, les flavonoïdes et les vitamines. Ces substances sont responsables de l'activité antioxydante de ces produits en agissant contre les effets néfastes des radicaux libres.

Notre travail se concentre sur l'évaluation des propriétés antioxydantes et antibactériennes des extraits de cladodes, de pollen et de propolis. En utilisant le test DPPH, nous mesurons l'activité antioxydante de chaque extrait pour déterminer son efficacité individuelle. Parallèlement, nous examinons leur activité antibactérienne afin d'évaluer leur capacité à inhiber la croissance bactérienne.

Un aspect central de notre recherche est l'analyse de l'effet synergique potentiel résultant de l'association de ces extraits. L'étude vise à mettre en évidence comment la combinaison de ces substances pourrait renforcer ou moduler leurs propriétés antioxydantes et antibactériennes respectives.

---

# **Chapitre I**

## **Le figuier de barbarie et son mucilage**

---

## 1. L'*Opuntia ficus indica*

Le figuier de barbarie connu sous l'appellation mexicaine d'origine Aztèque *Opuntia ficus indica* ou nopal, est une plante xérophyte arborescente solide appartenant à la famille des cactacées, l'ordre des Caryophyllales (Neffar, 2012). Les cactacées sont des végétaux phanérogames, font partie à la classe des angiospermes, dicotylédones, polypétales (Schweizer, 1997). Les espèces d'*Opuntia* les plus courants en Algérie sont : *Opuntia cylindrica*, *O. mieckleyi*, *O. vulgares*, *O. schumanni*, *O. megacantha*, *O. maxima* et *O. ficus indica* (Arba, 2000) avec un tronc en bois épais de forme ovoïdale et une couleur verte obscure, ce cactus peut atteindre 3 à 5 m de haut. Ses tiges modifiées de forme aplatie nommées cladodes ou raquettes, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm, subrogent les feuilles dans leur fonction photosynthétique. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse qui limite la transpiration et les protèges contre les prédateurs, leur surface est parsemée de petites aréoles et d'épines (Stintzing et al., 2005 ; Feugang et al., 2006 ; Neffar, 2012). La capacité des Cactaceae à maintenir l'eau même dans des circonstances climatiques défavorables est une propriété attribuée à la capacité de mucilage qu'elles produisent à capter l'eau (Sàenz, 2004). Au printemps, les fleurs verdâtres ou jaunes à maturité sont succédées des fruits pourvus d'épines sur la surface la plus exposée au soleil des cladodes. La forme du fruit, nommée figue de barbarie ou tuna, varie selon la variété et le temps de formation ; les premiers sont ronds et les tardifs sont allongés (Belkacem et Hammiche, 2015).

## 2. Systématiques

Selon la classification de Carl von Linné la position systématique du figuier de barbarie est :

**Règne :** ..... Plantae

**Sous règne :** ..... Tracheobionta

**Embranchement :** ..... Phanérogames

**Sous Embranchement :** ..... Magnoliophyta

**Classe :** ..... Magnoliopsida

**Sous classe :** ..... Caryophyllidae

**Ordre :** ..... Caryophyllales

**Famille :** ..... Cactaceae

Sous-famille : ..... Opuntioideae

Tribu : ..... Opuntieae

Genre : ..... Opuntia

Sous-genre : ..... Platyopuntia

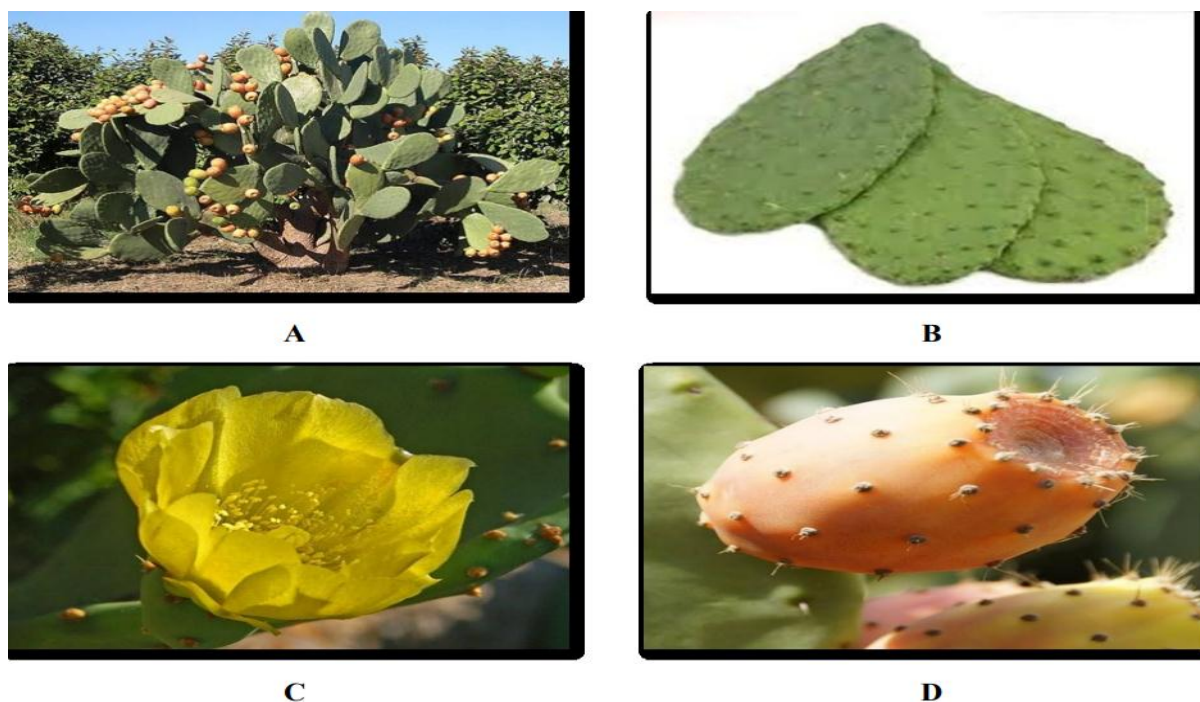
Espèce : ..... *Opuntia ficus indica* (L.) (Wallace et Gileson, 2002)

## 2.2- Nomenclature et terminologie du figuier de barbarie

Le figuier de barbarie est connu sous plusieurs noms dans le monde :

- **En Mexique** : Nopal, vient du mot nochtli en nahuatl, langue classique des Aztèques (Schweizer, 1997).
- **En Espagne** : outre Nopal, Nopallito, on l'appelle familièrement Nopalcito, Tuna, Ensada, Higos de Pala, Higos de Mauro (Benattia, 2017).
- **En Brésil** : palma de gado (FAO et ICARDA, 2018).
- **En Portugais** : palma forrageira, figo da India, figo de pitoira, figueira da India, palmatoria sem espinhos, tabaído.

La figure ci-dessous présente l'arbre de L'*Opuntia ficus indica* et ses différentes parties.



**Figure 01** - L'*Opuntia ficus indica* et ses différentes parties : A) l'arbre, B) les cladodes, C) les fleurs et D) le fruit (Habibi, 2004).

### 3. Cladodes

La dénomination « cladodes » désigne les tiges du cactus qui sont communément appelées « raquettes ». Elles sont charnues succulentes et articulés. Les cladodes sont protégés par une cuticule épaisse, parfois recouverte de cire ou de glochides qui réduisent davantage les pertes en eau. Les cladodes ont la capacité de stocker des quantités considérables d'eau, car elles possèdent un parenchyme abondant. Il s'agit d'un tissu blanchâtre dans lequel de l'eau est stockée, ce qui permet aux plantes de survivre pendant de longues périodes de sécheresse. Les cladodes ont aussi des épines. Elles ont peu de stomates par unité de surface et présentent la particularité de rester fermés le jour et ouvertes la nuit. Cela permet d'éviter la perte d'humidité par la transpiration pendant la journée et permet au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) essentiel à la photosynthèse d'être absorbé pendant la nuit. (Mazari et Mahdeb, 2021).

#### 3.1. Composition biochimique du cladode

Les cladodes sont une source précieuse pour les agro-industries. Quand ils sont tendres (10-15 cm), ils peuvent être utilisés comme légume (nopalitos). Partiellement lignifiés, au bout de 2 à 3 ans, ils peuvent être utilisés pour la production de farines et d'autres produits. Lorsqu'ils sont complètement lignifiés, ils peuvent être brûlés comme combustible. Le Tableau I montre l'évolution de la composition des cladodes d'âges différents (Flores et al, 1995) ont entrepris une étude sur 20 variétés d'*Opuntia* afin d'analyser les cladodes jeunes, matures et lignifiés. Les auteurs ont constaté que la teneur en protéines était plus élevée dans les pousses et que la teneur en fibres augmentait avec l'âge du cladode, atteignant 17.5% dans les tiges lignifiées et près de 8% dans les pousses. (Mazari et Mahdeb, 2021).

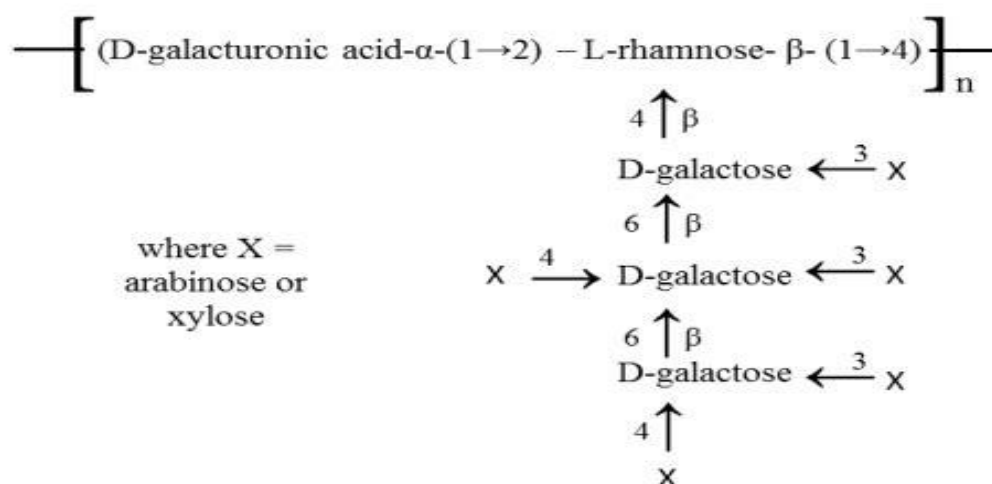
**Tableau I** : Composition chimique de cladode de différents âges (g/100p.s). (saenz et al 2013).

Ages (années)	Description	Protéines	Lipides	Cendres	Fibres brut	Extrait non-azoté
0.5	Jeunes cladodes (nopalitos)	9.4	1.0	21	8	60.6
1	Cladodes charnues (penca)	5.4	1.29	18.2	12	63.1
2	Cladodes charnues (penca)	4.2	1.4	13.2	14.5	66.7
3	Cladodes charnues (penca)	3.7	1.33	14.2	17	63.9
4	Cladodes lignifiés	2.5	1.67	14.4	17.5	63.9

### 3.2. Le mucilage

#### 3.2.1. Structure et composition chimique du mucilage

Le mucilage d'*Opuntia ficus-indica* est une substance épaisse et gommeuse ce qui fournit la capacité naturelle des cactus à stocker de grandes quantités d'eau. Le mucilage des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* contient des résidus de D-galactose, D-xylose, L-arabinose, L-rhamnose et acide D-galacturonique (Figure 2) (Habibi, 2004). Les études indiquent que la structure du mucilage est essentiellement ramifiée et formé par un noyau contenant de l'acide galacturonique, du rhamnose et du galactose, auxquels le xylose et l'arabinose sont attachés dans des positions périphériques (Peters et al., 2015) comme illustré dans la figure ci-dessous.



**Figure 02-** Structure proposée pour le mucilage d'*Opuntia* (Sáenz, 2004).

## 4. Les activités biologiques de l'*Opuntia ficus indica*

### 4.1. Activité Antioxydante

Les propriétés antioxydantes des fruits du cactus sont attribués à la présence de bétalaïnes (Osuna-Martínez et al., 2014 ; Stintzing et al., 2002). Diverses études in-vitro ont montrés l'effet bénéfique des composés phénoliques et des bétalaïnes (Tesoriere et al., 2004). Celles-ci sont généralement attribuées à la capacité des antioxydants à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène.

---

## 5. Domaine d'utilisation

### 5.1. Utilisation alimentaire

Une des principales contributions économiques du cactus à l'échelle mondiale réside dans la production de fruits comestibles. Ces fruits juteux sont réputés pour leur teneur élevée en sucre, ainsi que leur richesse en minéraux et en vitamines. Ils sont cultivés et commercialisés dans de nombreux pays, disponibles frais ou transformés sous diverses formes telles que séchées, congelées, en confiture, en jus ou même en alcool (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010).

De manière particulière, les jeunes cladodes d'*Opuntia* sont également consommés comme légumes au Mexique et dans le sud des États-Unis. Leur texture tendre et fibreuse, leur forte teneur en vitamine C et en calcium en font des aliments nutritifs, comparables en valeur à la laitue et aux épinards. D'autre part, il est utilisé comme un biomatériau durable pour le développement des films comestibles (Gheribi et al., 2018).

Les fruits sont réputés au Maroc pour leur capacité à soulager les coliques et les diarrhées (Schweizer, 1997 ; Arba et al., 2000).

### 5.2. Utilisation pharmacologique

En Australie et en Afrique du Sud, les « Nopalitos » sont utilisés pour leur effet hypoglycémique dans le traitement des diabètes non dépendants de l'insuline. La poudre séchée des cladodes est également réputée pour ses effets amincissants et anti glycémiqes, grâce à la présence de pectine qui diminue le taux de glucose dans le plasma (Fрати et al., 1988). De plus, les cladodes sont une source de glucides et de fibres, notamment de pectine, de lignine, de mucilage et de cellulose, reconnues pour leur impact positif sur le métabolisme du glucose et des lipides, le contrôle de l'obésité, ainsi que pour leur fonction prébiotique dans le microbiote intestinal. Ces cladodes contiennent également des composés bioactifs tels que des flavonoïdes et des acides hydroxycinnamiques (acides piscide et eucomique), rarement observés dans la nature, et sont riches en minéraux et en vitamines, ce qui contribue à réguler les maladies ostéoporotiques. La recherche moderne confirme non seulement les bienfaits du Nopal, traditionnellement reconnu en médecine, mais découvre également de nouvelles propriétés chaque année (Fрати et al., 1988).

## 5.3. 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 (stéroïdes 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 Pêche maritime, 2010).

## 5.4. Utilisation industrielle

Selon Cuba par Lopez (2000), le mucilage est utilisé comme agent de purification de l'eau. Il permet d'éliminer les métaux ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) et les coliformes totaux, sans laisser une mauvaise odeur (Stintzing et al., 2005).

---

## **Chapitre II**

### **Le pollen et la propolis**

---

### Introduction

Les produits de la ruche, véritables trésors de la nature façonnés par le travail incessant des abeilles, incarnent une symbiose millénaire entre l'homme et l'incalculable écosystème qu'est la ruche. Ces précieux produits notamment le miel, la cire d'abeille, la propolis, le pollen, la gelée royale et le venin d'abeille présentent une richesse nutritionnelle, des propriétés thérapeutiques et des applications diverses dans l'alimentation, la médecine, la cosmétique et d'autres domaines, faisant ainsi l'objet d'un intérêt croissant pour leur potentiel bienfait pour la santé et leur contribution à l'économie et à l'écologie.

### 1. Pollen

#### 1.1. Définition

Le terme "pollen", issu de l'étymologie grecque "palé" signifiant "farine" ou "poussière", désigne une fine substance granuleuse. Sa couleur varie selon la plante dont il est issu, allant du blanc au jaune, en passant par le vert, le rouge ou le marron. Sous une forme généralement sphérique à ovoïde. Le pollen est une composante essentielle de la reproduction des plantes à fleurs. Cette même racine grecque a donné naissance au domaine scientifique de la "palynologie", qui étudie le pollen et les spores à des fins de recherche et d'identification botanique (Almeida LB-Muradian et al., 2005). Figure 04 présente les différents granules du pollen d'abeille.



**Figure 03** -Différentes granules du pollen (Jaroz, 2003).

Le pollen est l'organe reproducteur mâle des fleurs, transportant les gamètes mâles vers les cellules reproductrices (Yildiz et al., 2013) est formé par l'agglutination des grains collectés par les abeilles ouvrières, maintenus ensemble par du nectar, du miel et des sécrétions glandulaires, puis stockés dans la ruche (Denisow et al., 2016). Il est apprécié pour sa richesse en nutriments

bénéfiques pour la santé, tels que les protéines, les fibres, les lipides, les glucides et les minéraux (Sun et al., 2015). De plus, il est considéré comme un "aliment complet" en raison de son potentiel antioxydant élevé, grâce à des composés tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les vitamines (Kumari et al., 2016) Des études scientifiques ont démontré ses effets bénéfiques sur la santé, notamment ses propriétés antioxydantes (Alyane et al., 2008) hypoglycémiantes (Jin et al., 2015) anti-inflammatoires (Barros Silva et al., 2013) antibactériennes (Izuta et al., 2009) et anticancéreuses (Bazmandegan et al., 2017). Ainsi, le pollen d'abeille a été officiellement reconnu comme médicament par le ministère fédéral allemand de la Santé (Baltas et al., 2016). Il est aussi reconnu comme un complément alimentaire important en raison de ses constituants nutritionnels abondants et trouve une application largement répandue dans les cosmétiques, les produits alimentaires santé et la médecine moderne (Aylanc et al., 2021, Wu et al., 2019)

### 1.2. Structure du grain de pollen

Malgré les différences morphologiques que présentent les grains de pollen, mais ils ont une structure anatomiquement constante.

- La membrane s'imprègne de cutine pour se différencier en deux couches dans le grain mur : l'exine et l'intine qui forment le sporoderme.
- L'exine est la membrane externe, formée de fibres celluloseuses protectrices des éventuels écrasements.
- L'intine est la membrane interne, constituée de polysaccharides et de cellulose.
- Le cytoplasme accumule des réserves et divers composés comme les caroténoïdes qui donnent la coloration au pollen (Percie , 2003 ; Cousin, 2014).

### 1.3. Récolte du pollen

#### 1.3.1. Par les abeilles

La récolte du pollen se concentre principalement à la fin de l'hiver et au printemps. En moyenne, chaque ruche produit environ 2 à 3 kg de pollen par mois, bien que cette quantité puisse varier considérablement d'une colonie à l'autre, avec des écarts allant jusqu'à un facteur de 1 à 10. Selon Louveaux et Jean-Prost (2005), la quantité de pollen collectée est proportionnelle à la surface occupée par le couvain. Pour collecter le pollen, les abeilles butineuses quittent généralement la ruche tôt le matin, avant 10-11 heures. Leur vol de récolte dure entre 3 et 15 minutes (Jean-Prost,

2005). Elles utilisent leurs mandibules pour mordiller les anthères des fleurs, recueillant ainsi les grains de pollen qu'elles agglutinent avec de la salive, du nectar ou du miel.

Le processus de collecte du pollen se déroule en plusieurs étapes, tel que décrit par Apimondia (2001) :

- **Etape 1** : piégeage des grains de pollen dans les poils du corps de l'abeille et recueillis par ses mandibules
- **Etape 2** : rassemblement du pollen accumulé sur la partie antérieure du corps de l'abeille par leurs les pattes antérieures.
- **Etape 3** : transfère de pollen est aux pattes médianes, qui nettoient également le pollen piégé sur le thorax et l'abdomen.
- **Etape 4** : transportation du pollen par les pattes médianes jusqu'aux corbeilles, soit directement, soit en passant par la brosse des pattes postérieures.
- **Etape 5** : glissement d'une patte médiane entre les tarse des pattes postérieures, où le pollen est retenu grâce à leur peigne.
- **Etape 6** : rassemblement du pollen par le peigne de la patte postérieure opposée et compacté en une pelote dans la corbeille. L'aspect des pelotes peut varier d'une espèce à l'autre.

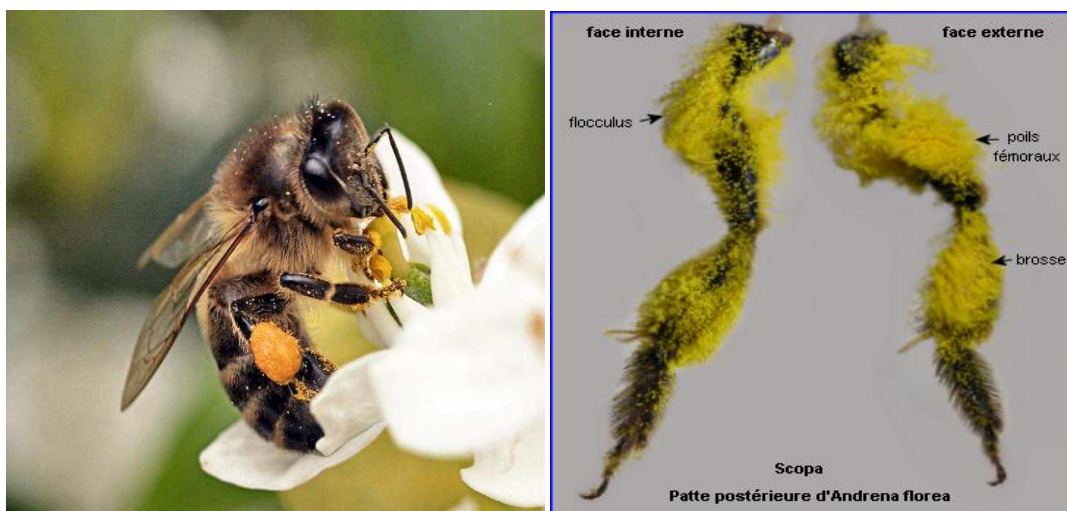


Figure 04 - Récolte du pollen par les abeilles.

### 1.3.2. Par l'homme

Les apiculteurs utilisent des trappes à pollen pour collecter les pelotes fraîchement apportées par les abeilles butineuses. Ces dispositifs se présentent sous différentes formes, avec des mailles de tailles variables, et sont placés devant l'entrée de la ruche.

Pour permettre aux abeilles d'entrer dans la ruche, les mailles de la grille doivent être assez larges, mais suffisamment étroites pour détacher les pelotes de pollen. Sous la trappe, un tiroir recueille les pelotes détachées. Il est équipé d'un tamis de 3 mm au-dessus, permettant aux pelotes de tomber à travers tout en empêchant les abeilles de récupérer leur récolte.

Après la collecte, un processus de tri est effectué : les petits lots sont triés à la main, tandis que pour les quantités plus importantes, les débris chitineux tels que les pattes et les ailes sont éliminés en étant attirés par une plaque en plastique électrisée par frottements. Les poussières sont ensuite éliminées à l'aide d'un souffle d'air ou d'un système d'aspiration, ou encore à l'aide d'un tarare, un appareil utilisé en milieu rural pour le nettoyage des grains.



**Figure 05-** Trappe à pollen d'entrée en bois (Jean-Louis, 2017).

### 1.4. Conservation du pollen

Le pollen peut être conservé par deux méthodes :

- Séché afin d'éviter les moisissures ou la contamination par des levures, il sera ensuite stocké dans un endroit sec pour limiter son oxydation à l'abri de la lumière et de la chaleur.
- Ou congelé le jour de sa récolte pour conserver ses propriétés thérapeutiques (Blanc, 2010).

### 1.5. Les propriétés biologiques du pollen

D'après les études menées sur le pollen, il a été démontré que le pollen possède plusieurs propriétés biologiques (Katarzyna, 2015).

Des recherches pharmaceutiques réalisées sur des rats et des lapins ont démontré que le pollen possède des propriétés hypolipidémiques, est-à-dire ; il réduit les taux de lipides dans le sang. Une étude menée sur des patients a également confirmé cette réduction, allant de 20 à 35%, ce qui suggère son efficacité dans le traitement d'hyperlipidémie et d'athérosclérose (Katarzyna, 2015).

Le pollen est considéré comme un complément alimentaire précieux en raison de sa richesse en vitamines, acides aminés et autres biomolécules. Il favorise une prise de poids plus rapide qu'un régime alimentaire normal et augmente les niveaux hémoglobine ainsi que le nombre de globules rouges dans le sang (Campos et al., 2010). Le pollen démontre des propriétés anti-inflammatoires grâce à la présence de composés phénoliques et acides gras tels que les phytostérols. Ces éléments inhibent l'action des enzymes cyclo-oxygénase et lipo-oxygénase, responsables de la transformation de l'acide arachidonique en substances exacerbant l'inflammation, comme la prostaglandine et leucotriène (Pascoal et al., 2014).

Il a été établi que le pollen possède des propriétés détoxifiantes en réduisant les niveaux de certaines

Substances telles que l'aspartate transaminase, l'acide phosphatase et la bilirubine dans le sérum sanguin, les ramenant à des valeurs physiologiques normales (Katarzyna, 2015).

Le pollen exhibe également une activité anti-prostatique attribuable à la quercétine présente dans ses composants. Cette dernière démontre un effet anti-prostatique en inhibant le cancer androgènes-Indépendant à une dose de 100  $\mu$ M, tout en entravant le cycle cellulaire à diverses phases, agissant ainsi comme un répresseur des oncogènes (Katarzyna, 2015).

### 1.6. Composition biochimique du pollen

Le pollen d'abeille fait partie des super aliments magiques en raison de sa gamme extrêmement large de composés nutritionnels et de microéléments. Cependant, cette composition peut être affectée par l'origine botanique, la saison de récolte et les méthodes de stockage (durée de lyophilisation). Compte tenu de cette grande variabilité, sa composition

nutritionnelle et chimique a été largement étudiée, résumée et standardisée (Asmae El Ghouizi et al., 2023).

Les différentes propriétés du pollen sont rassemblées dans le tableau II.

**Tableau II** : Composition nutritionnelle du pollen d'abeille : Principaux nutriments, vitamines et minéraux (Hurd ; 2003, Cousin ; 2014, Asmae El Ghouizi et al., 2023).

<b>Nutriments</b>	<b>Importance</b>
<b>Eau</b>	20-30% dans le pollen frais, doit être rapidement gelée pour éviter la croissance bactérienne et fongique ; législation sur le taux d'humidité autorisé dans le pollen séché varie selon les pays.
<b>Protéines</b>	Variabilité de 10 à 40% du poids sec du pollen ; essentielles pour la nutrition des abeilles et des humains, fournissant des éléments nécessaires à divers processus biologiques.
<b>Acides aminés</b>	Quantité variable selon l'origine botanique et géographique, essentiels pour la synthèse des protéines et des hormones ; profil inclut des acides aminés essentiels et non essentiels, avec variations selon les régions.
<b>Glucides</b>	Constituent la fraction majeure du pollen d'abeille (13 à 55%) ; la teneur en sucre est un paramètre de qualité important, dominé par le glucose et le fructose, influencé par divers facteurs de production et de stockage.
<b>Lipides</b>	Variabilité de 1 à 13 g/100 g de pollen ; essentiels pour la production de gelée royale et peuvent être une source d'acides gras essentiels ; profil lipidique influencé par l'origine botanique, la saison de récolte et les méthodes de production.
<b>Vitamines</b>	Présence de presque toutes les vitamines en quantités variables ; le pollen d'abeille est une source riche en vitamines hydrosolubles et liposolubles, essentielles pour les fonctions métaboliques et la santé humaine.
<b>Vitamines hydrosolubles</b>	Groupe B et vitamine C essentiels pour diverses fonctions métaboliques et la santé ; présentes en quantités variables dans le pollen d'abeille, nécessitant un apport quotidien.
<b>Vitamines liposolubles</b>	Vitamines D, K, E et A ( $\beta$ -carotène) présentes en quantités faibles et variables, impliquées dans la vision, la santé des os, la fonction immunitaire et la coagulation ; profil influencé par l'origine botanique et la saison de récolte.
<b>Enzymes</b>	De nombreuses enzymes sont présentes dans le pollen comme l'amylase, la pepsine, la trypsine et la phosphatase.
<b>Antioxydants</b>	Le pollen d'abeille est une source importante d'antioxydants y compris les polyphénols, Les flavonoïdes et la beta carotène.

### 1.7. Les propriétés thérapeutiques du pollen

#### 1.7.1. Activité antioxydante

Les résultats obtenus par Percie du Sert (2017), sur les différents pollens en utilisant le test ORAC, montrent que l'activité antioxydante du pollen est beaucoup plus élevée que celle des fruits et légumes, 15 ou 20g de pollen sont équivalents 900g de légumes. La richesse du pollen en antioxydants (provitamine A, vitamines E et C, sélénium, flavonoïdes) lui donne une capacité à éliminer les radicaux libres et le peroxyde d'hydrogène en agissant contre le vieillissement accéléré des cellules (Gharbi, 2011). Sur le plan expérimental, le pollen induit sur les cerveaux des rats une augmentation de l'activité antioxydante, dans ce cas le pollen peut être utilisé comme un adjuvant pour les traitements du cancer.

#### 1.7.2. Activité antibactérienne

Plusieurs études convergentes pour mettre en évidence les effets bactériostatiques et bactéricides des pollens, déterminant de leur origine géobotanique. In-vitro, la croissance de certaines souches est inhibée, notamment *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* (Apimondia, 2001).

Des recherches supplémentaires ont confirmé l'activité antimicrobienne du pollen (Pascoal, Rodrigues, Teixeira, Feás et Estevinho, 2014). Différentes espèces bactériennes ont été testées, notamment *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* et *Escherichia coli*. Le pollen démontre son efficacité contre toutes ces espèces, bien que de manière variable.

#### 1.7.3. Action antifongique

Les extraits alcooliques de pollen à des concentrations de 2% et 5% présentent une activité contre *Alternaria alternata* et *Fusarium oxysporium*, bien que l'inhibition observée dans ces cas soit inférieure à 50% (Ozcan et al., 2004).

Par ailleurs, des études ont démontré qu'à des concentrations minimales compris entre 0,002 et 0,25 µg/ml, une solution de pollen possède des effets antioxydants contre *Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. krusei* et *Trichosporon spp* (Koç et al., 2011).

#### 1.7.4. Activité anti-inflammatoire

Le pollen inhibe la peroxydation lipidique, les cyclo-oxygénases (Moita, Gillzquierdo, Sousa, Ferreres, Silva, Valentão, Domínguez-Perles, Baenas et Andrade, 2013), les lipoxygénases

et la hyaluronidase (Pascoal, Rodrigues, Teixeira, Feás et Estevinho, 2014). Il diminue aussi la perméabilité capillaire. Cela a pour conséquence de diminuer le processus inflammatoire. L'extrait d'éthanol de pollen a montré un effet significatif sur l'inhibition de l'inflammation induite chez le rat. En effet, administrée oralement à 100 ou 300 mg/kg juste avant l'induction de l'inflammation, le pollen inhibe la formation d'œdème et les productions de NO et l'activité COX-2. L'inhibition de la formation des PGE2 et PGI2 et des cytokines inflammatoires est le fait des nombreux flavonoïdes présents dans le pollen (Maruyama et al., 2010).

### 1.7.5. Propriétés anticancéreuses

Dans une cellule cancéreuse, les pigments respiratoires (cytochrome), les catalases, succinates déshydrogénases, diastases, invertases, phosphatases acides et alcalines, ATP-ase ont une activité diminuée. Le pollen y joue un rôle de biocatalyseur et de régulateur de la fonction respiratoire cellulaire. Une étude chinoise a montré que le pollen induisait sur des cerveaux des rats une augmentation de l'activité antioxydante du superoxyde dismutase et de la catalase. Le pollen pourrait donc être considéré comme adjuvant des traitements du cancer (Apimondia, 2001).

#### ❖ Pollen d'abeille dans les cosmétiques

L'influence bénéfique du pollen d'abeille sur l'état de la peau est connue depuis l'Antiquité. Récemment, alors qu'on observe le retour aux agents de médecine naturelle, certaines études ont été réalisées dans le but de clarifier le mécanisme de ces effets (L. Sun et al ,2017) dans leur étude expérimentale, a confirmé la possibilité d'utiliser le pollen d'abeille en thérapie cutanée, liée à sa capacité antioxydante. Des scientifiques chinois ont étudié la composition, l'activité antioxydante, ainsi que son influence sur la mélanogénèse de deux extraits de pollen d'abeille de colza contenant des composés phénoliques libres ou liés. Les deux extraits présentaient une capacité antioxydante mesurée par les méthodes DPPH, ABTS et FRAP, bien que l'extrait phénolique libre se soit révélé beaucoup plus efficace en tant qu'antioxydant. Dans l'étape suivante de l'étude, l'effet sur la synthèse de mélanine a été étudié. L'activité de la tyrosinase a été inhibée de manière dose-dépendante par les deux extraits, l'extrait libre étant plus efficace. Étant donné que certains composés phénoliques ont également montré le même effet, les auteurs ont supposé l'existence d'une certaine relation entre le profil phénolique et l'influence inhibitrice sur l'activité de la tyrosinase. L'inhibition de la tyrosinase a été étudiée en tenant compte du fait que la mélatonine, malgré son rôle protecteur pour la peau, en quantité excessive, peut elle-même exercer des effets nocifs tels que la génération d'espèces réactives de l'oxygène et la pigmentation. L'effet de l'extrait

phénolique libre de pollen d'abeille sur la mélanogenèse a également été étudié à l'aide de cellules de mélanome de souris B16. La substance étudiée a diminué l'activité de la tyrosinase intracellulaire et la teneur relative en mélanine d'une manière très distincte et dépendante de la dose.

### 2. Propolis : « Colle d'Abeille »

#### 2.1. Définition

La propolis, généralement connue sous le nom de « colle d'abeille », est un mélange résineux que les abeilles produisent en mélangeant leur salive contenant certaines enzymes et la cire d'abeille avec des exsudats recueillis principalement à partir des feuilles et des boutons floraux, des tiges et des fissures de l'écorce de nombreuses espèces d'arbres. Le mot *propolis* est dérivé de deux mots grecs *pro* et *polis*, qui signifient respectivement « défense » et « ville » ou « communauté ». Les abeilles l'utilisent principalement comme produit d'étanchéité et désinfectant. La propolis est utilisée pour sceller les trous et les fissures, lisser la surface intérieure et retenir la température interne de la ruche ainsi que pour prévenir les intempéries (par exemple, elle est utilisée pour diminuer la taille de l'ouverture de sortie pendant les périodes de temps froid) et l'invasion de prédateurs (Sun et al., 2015 ; Pasupuleti et al., 2017). En raison de son activité antimicrobienne, il contribue également à un environnement interne aseptique et est utilisé pour recouvrir (« momifier » – pour éviter la pourriture) le corps des insectes morts qui ont envahi les ruches (ex. : musaraignes et souris), qui sont trop gros à retirer à l'extérieur (Bonamigo, 2017).

#### 2.2. Origine de propolis

Des études scientifiques sont montrées que la composition de la propolis provient de trois sources différentes :

**Végétal** : La propolis est récoltée par les abeilles sur les bourgeons de certains arbres comme les aulnes, les bouleaux, les saules, les ormes, les chênes, ... mais surtout sur ceux de peupliers. On peut également trouver de la propolis sur les écorces d'arbres résineux comme les pins, les sapins ou encore les épicéas (Fruleux, 2019) Bankova V.S., De Castro S.L et Marcucci M.C. (2000).

- **Animal** : sont des substances sécrétées par les abeilles (cire, salive) (Marghitas et al., 2013).
- **Excipients** : introduits lors de la fabrication de la propolis (pollen, nectar ou miel) Marghitas et al., 2013).

### 2.3. Type de propolis

Il existe une pléthore de variétés de propolis, chacune enracinée dans des terroirs géographiques distincts, chacun apportant ses nuances caractéristiques à ce précieux produit apicole.

La propolis brune, prédominante en Europe, tire son essence des essences forestières telles que le peuplier, le bouleau, le frêne, et d'autres arbres majestueux qui ornent nos paysages. Cette variété, omniprésente et chérie des apiculteurs locaux, se distingue par son abondance et sa proximité géographique, offrant ainsi une propolis facilement accessible aux communautés locales.

Quant à la propolis verte, issue des étendues luxuriantes de l'état du Paraná au Brésil, elle puise sa force dans un environnement d'une pureté incomparable, préservé de toute pollution humaine. Les feuilles du romarin composé, baignées dans cet écrin de nature immaculée, confèrent à cette propolis une richesse unique en artémisinine C, un composé aux vertus médicinales reconnues, surpassant de loin sa contrepartie brune en termes de concentration et de potentiel thérapeutique.

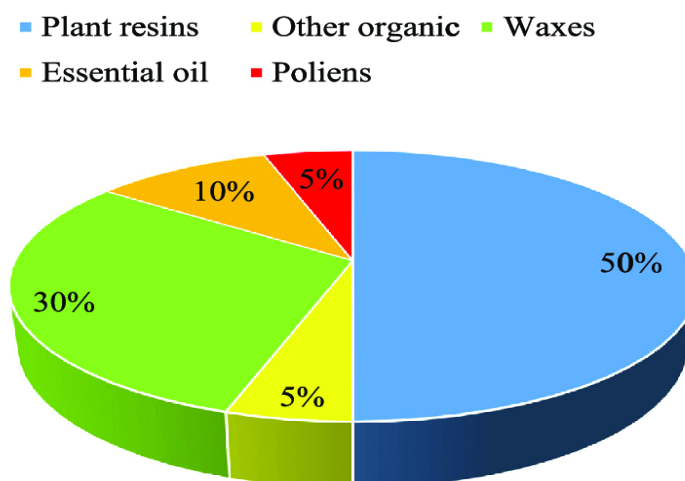
Enfin, la propolis rouge, récoltée dans les mangroves enchantées de la côte nord-est du Brésil, tire son éclat et son efficacité d'un processus naturel fascinant. Les larves de coléoptères, nichées dans les tiges des palétuviers, libèrent un exsudat rouge et résineux, teintant ainsi la propolis d'une couleur vibrante. Célébrée pour son pouvoir antibactérien exceptionnel, cette propolis est souvent considérée comme le joyau de la couronne, la quintessence même de la puissance apicole (Compagnie des sens, 2022). Figure 07 présente variétés de propolis.



**Figure 06** -Trois types de propolis : brune, verte, rouge (Compagnie des sens, 2022).

#### 2.4. Composition de la propolis

La composition de la propolis est exceptionnellement incohérente en raison de la variété des espèces végétales qui se développent autour la ruche, à partir de laquelle les abeilles recueillent l'exsudat nécessaire. Elle est très influencée par l'altitude, illumination, variations saisonnières et alimentation des abeilles. De nombreuses recherches ont été menées sur la composition chimique et biologique de la propolis. Jusqu'à présent, plus de 300 composés différents ont été reconnu dans la propolis récoltée dans diverses zones géographiques. Les principaux constituants présents dans la propolis sont des flavonoïdes, des composés phénoliques et des mélanges de matières aromatiques. De plus, la propolis contient également des huiles instables, ter-pénis et cire d'abeille (Almuhayawi, 2020). La figure 08 représente la proportion de la composition chimique de la propolis d'après Przybyłek et Karpinski (2019).



**Figure 07-** La proportion de la composition chimique de la propolis d'après Przybyłek et Karpinski (2019).

Ces composants agissent de manière synergique pour renforcer les propriétés et l'efficacité de la propolis, composée de 30% de cires, 10% d'huiles essentielles, 5% de pollens, 5% d'autres substances organiques, et 50% de résines végétales. La qualité de la propolis est un attribut essentiel qui influence des caractéristiques physiques telles que son épaisseur, sa viscosité et sa capacité à cristalliser. Ces aspects jouent également un rôle déterminant dans son utilisation pratique, affectant son goût, sa dissolution et sa capacité de conservation, optimisant ainsi ses propriétés thérapeutiques et fonctionnelles.

## 2.5. Propriétés de la propolis

Les différentes propriétés de la propolis sont rassemblées dans le tableau III

**Tableau III : Les différentes propriétés de la propolis.** Synthèse d'après Kujumgiev et al. (1999), Kumazawa et al. (2004), Özcan, (2004), Okutan et al. (2005), Sobočanec et al. (2006) Dalben-Dota et al. (2010), Cardinault et al. (2012), Florence, (2014).

Propriété	Description
<b>Anti bactérienne</b>	Activité bactéricide étendue, agissant efficacement contre les bactéries Gram+ et Gram- anaérobies et aérobies, incluant les staphylocoques, bacilles, proteus, pseudomonas, salmonelles, etc.
<b>Activité antifongique et antivirale</b>	-Activité fongicide contre les germes appartenant au genre <i>Candida</i> , mais aussi contre les champignons de type <i>Aspergillus</i> et <i>Microsporium</i> ainsi que contre les levures. Activité antivirale : myxovirus, poliovirus, coronavirus, rotavirus, adénovirus. La propolis de peupliers et l'un de ses principaux composés, l'ester phényléthylique d'acide caféique (CAPE), ont un potentiel anti-VIH (comme agent anti-intégrase du virus) et un effet additif avec l'AZT (inhibiteur de la transcriptase reverse)
<b>Cicatrisante</b>	Cicatrisation des plaies et des brûlures en stimulant la division cellulaire et la multiplication des fibroblastes, accélérant ainsi la réparation tissulaire.
<b>Activité antioxydante</b>	-Riche en composés antioxydants (vitamines E et C et polyphénols). Activité antioxydante de la propolis positivement corrélée avec son contenu en polyphénols. -La propolis de peupliers plus riche en polyphénols possède un potentiel antioxydant supérieur à celui de la propolis verte du Brésil par exemple. -réduit significativement la peroxydation lipidique au niveau de différents organes (foie, rein, poumon, cerveau) -module l'expression des enzymes antioxydantes (catalase, superoxyde dismutase, glutathion Peroxydase).

### ❖ La propolis comme additif cosmétique

La recherche a révélé qu'il peut agir comme agent de protection solaire (Couteau et al., 2008) et pourrait être utilisé comme ingrédient dans les cosmétiques de protection solaire (E. Gregoris et al., (2011), Gismondi. et al.,( 2014)) a étudié son utilisation comme huile essentielle agent protecteur, ajoutée aux crèmes solaires dans le but de prévenir les effets cytotoxiques et proradicaux de leurs composants, contre les dommages causés par les rayons UV. Des échantillons d'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* Miller, pure ou additionnée d'une solution éthanolique de propolis à 30% à la dose de 1%, ont été soumis à un rayonnement UV. L'exposition aux UV a épuisé l'activité antioxydante de l'huile essentielle (test DPPH, ABTS et FRAP). La supplémentation en propolis a non seulement empêché cet effet, mais a également augmenté considérablement ce paramètre dans les échantillons exposés et non exposés. Ces résultats prometteurs ont été confirmés par des expériences réalisées sur des cellules de mélanome murin B16-F10 hautement métastatiques.

---

# Partie expérimentale

---

---

## **Chapitre III**

### **Matériels et méthodes**

---

## Objectif de l'étude

Le travail présenté a été réalisé au laboratoire de recherche en Biochimie Analytique et Biotechnologie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, au sein de la faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques durant la période comprise entre mois de mars et juin de l'année universitaire 2024. Cette étude est focalisée sur la valorisation des propriétés biochimiques et microbiologiques du cladode de figuier de barbarie ainsi que des produits apicoles tels que le pollen et la propolis, obtenus à partir d'échantillons collectés dans la région de Makouda de la wilaya de Tizi-Ouzou.

## 1. Matériels

### 1.1 Matériel végétal

La récolte des cladodes matures du figuier de barbarie ayant des dimensions de 30-50 cm de longueur et de 15-30 cm de largeur, a été faite aléatoirement en 13 Mai 2024 à partir de plusieurs arbres vivants de la région de Makouda ( $36^{\circ}48'18.8N$   $4^{\circ}06'01.9E$ ) située à 20 km au nord-ouest de TIZI-OUZOU. Les échantillons ont été nettoyés et leurs épines éliminées, pour être ensuite lavés par l'eau de robinet, rincés à l'eau distillée puis congelés jusqu'à leur utilisation. La zone d'échantillonnage de cladode figuier de barbarie est indiquée dans la figure 09.

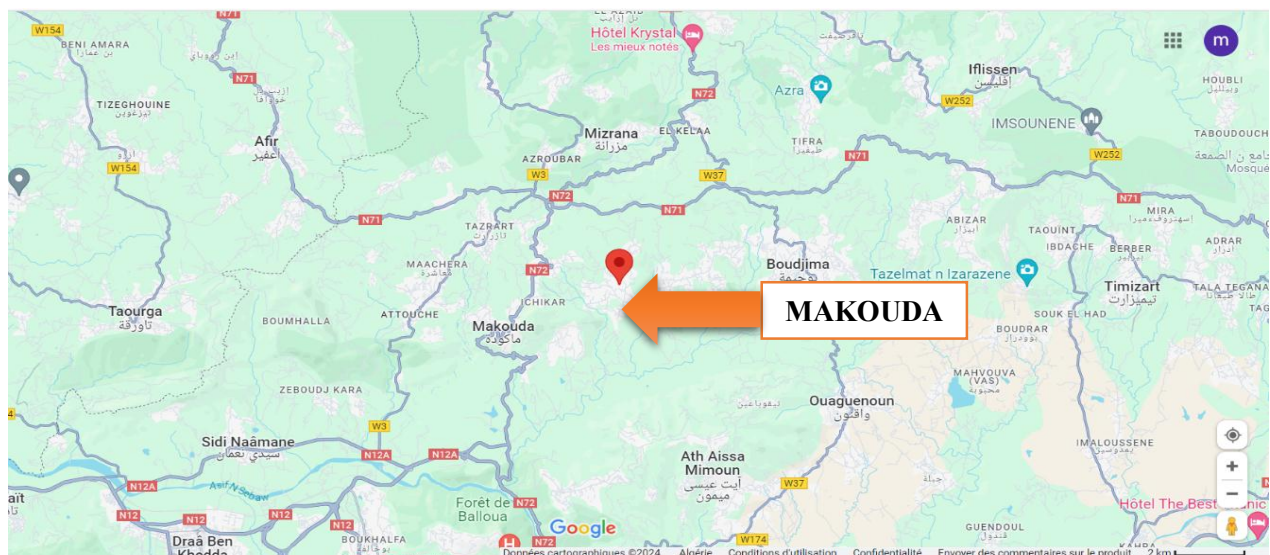


Figure 08 - La zone d'échantillonnage (Google, s.d).

### 1.2 Matériel du laboratoire

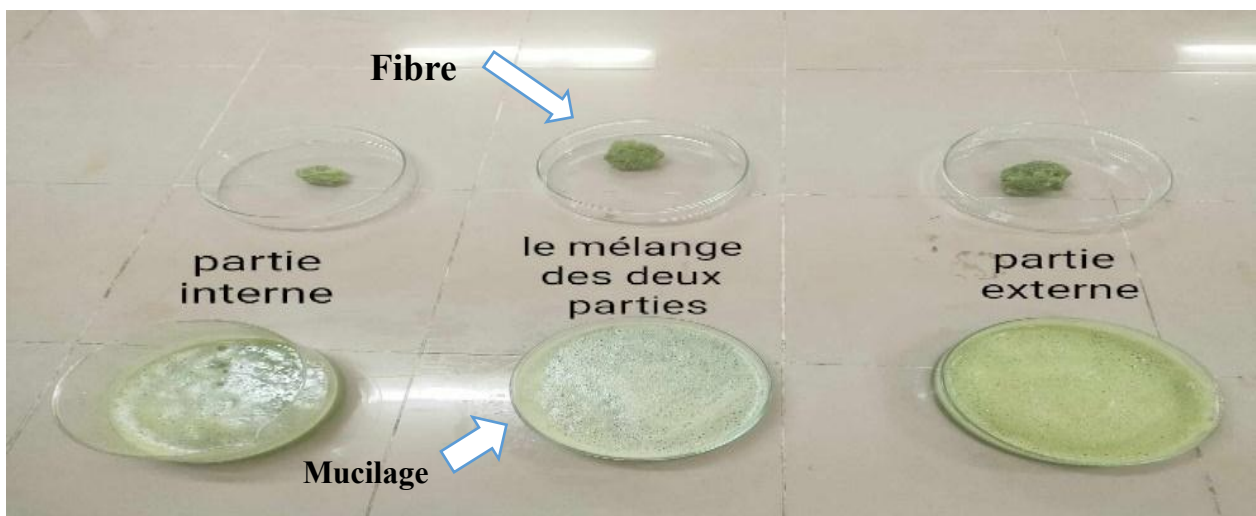
Le Tableau IV illustre les produits chimiques, la verrerie et l'appareillage utilisés pour mettre en œuvre la partie pratique de ce travail.

Appareils et Verreries	Consommables	Réactifs	Milieux de culture
Bain marie	Boîtes de pétri	Carbonate de Sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Milieu Muller Hinton Agar (MH)
Barreaux magnétiques			
Béchers différents volumes	Cuves de spectrophotomètre	Eau distillée	
Centrifugeuse		Éthanol	Milieu Gélose nutritive (GN)
Éprouvettes	Embouts jaunes et bleus	Folin-Ciocalteu.	
Erlenmeyers		DPPH.	
Étuve	Pipettes pasteur		Milieu extrait de malt (EM)
Micropipettes réglables		Eau distillée	Milieu PDA (Potato-Dextrose-Agar)
Microscope optique	Tissu de mousseline		
Mixeur		Eau physiologique	
Mortier	Eppendorf		
PH-mètre (HANNA)		Éthanol 99°	
Réfrigérateur	Écouvillons		
Spectrophotomètre UV-VI		Acide ascorbique.	
Verres de montre	Tubes ECBU	Acide gallique.	
Balance de précision			
Boîtes de pétri en verre	Les tubes à centrifugation		
Agitateur magnétique			
Bec Bunsen			
Broyeur électrique			
Flacons			
Speed vack			

## 2. Méthodes et protocoles expérimentaux

### 2.1. Extraction du mucilage

Les cladodes du figuier de Barbarie ont été séparées en trois parties distinctes : le mucilage, qui représente la partie intérieure, la partie extérieure, et enfin une troisième partie constituée d'un mélange des deux précédentes. Chaque partie a été soigneusement découpée, puis broyée à l'aide d'un mixeur. Ensuite, le mucilage obtenu de chaque partie a été extrait en utilisant un tissu de mousseline, ce qui a permis de filtrer et de collecter le mucilage dans trois récipients distincts, correspondant aux trois parties séparées initialement. Les fibres ont été séparées du mucilage au cours de ce processus de filtration. Cette méthode a permis d'obtenir des échantillons de mucilage spécifiques pour chaque partie de cladode figuier de Barbarie.



**Figure 09** - Aspect des extraits de mucilage et fibres des différentes parties de cladode *opuntia ficus indica*. (Partie externe, interne et partie mélange des 2 parties).

2.2. Protocole expérimental

La Figure 10 résume l'ensemble des étapes suivies durant la partie pratique de notre étude.

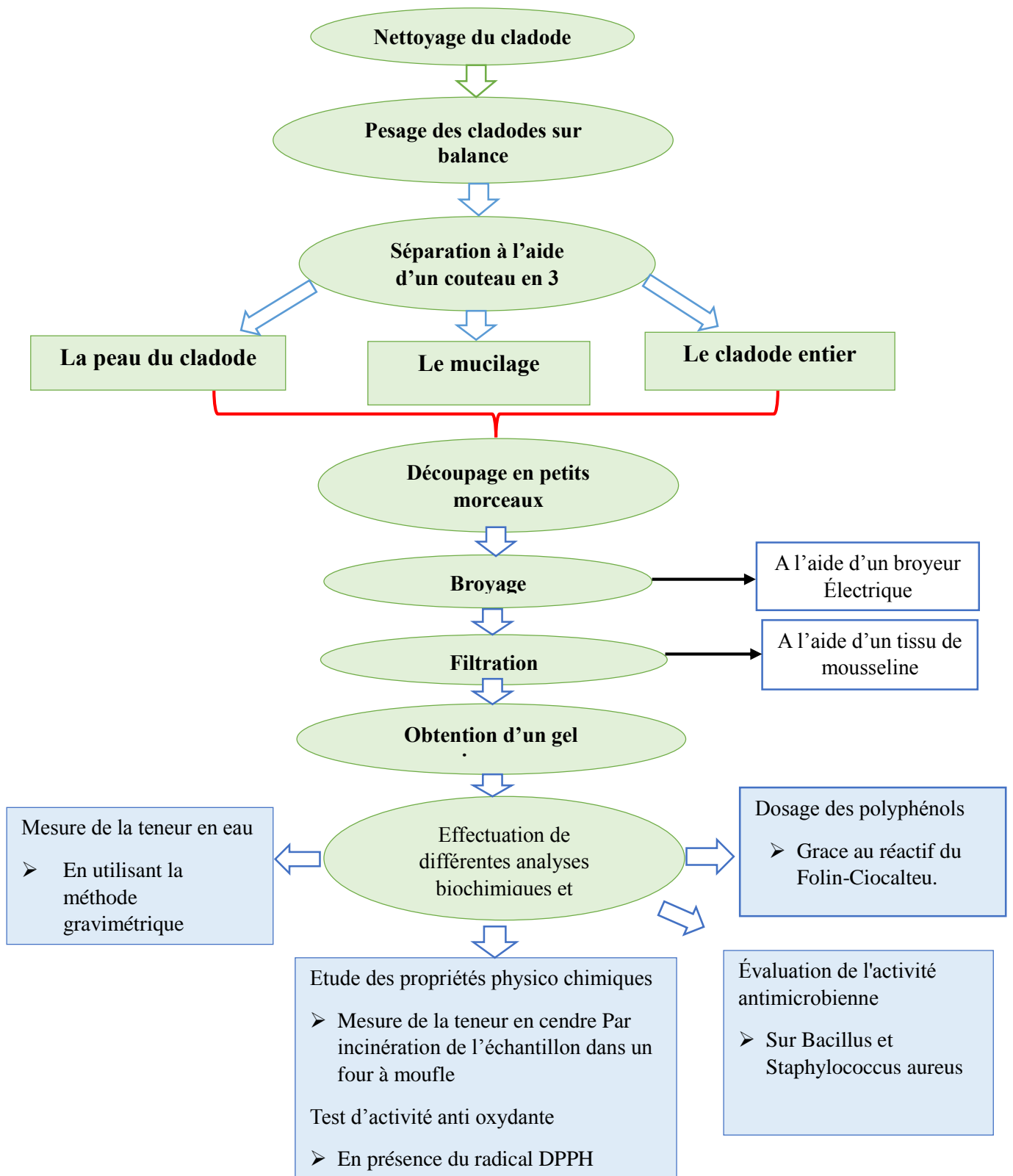
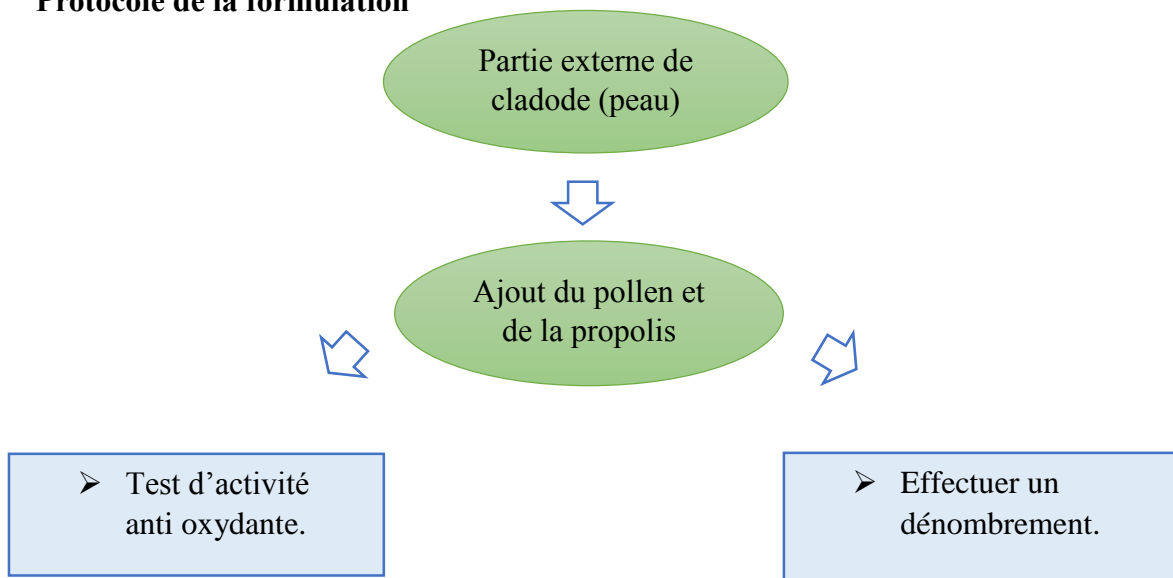


Figure 10. Diagramme du protocole expérimental de l'étude

**Protocole de la formulation****3. Mode opératoire**

Le mucilage extrait des trois parties mentionnées auparavant a été extrait afin d'évaluer la teneur en eau de la biomasse entière. La teneur en eau et en cendres des trois parties (peau, mucilage et le mélange des deux parties du cladode) a été déterminée. Les échantillons ont été placés dans une étuve à 105°C jusqu'à obtention d'un poids sec constant.

**3.1. Les analyses physico-chimiques de cladode figue de barbarie**

Le mucilage extrait des trois parties mentionnées auparavant a été extrait afin d'évaluer la teneur en eau de la biomasse entière. La teneur en eau et en cendres des trois parties (peau, mucilage et le mélange des deux parties du cladode) a été déterminée. Les échantillons ont été placés dans une étuve à 105°C jusqu'à obtention d'un poids sec constant.

**3.1.1. La teneur en eau****❖ Principe**

La teneur en eau consiste à un étuvage de 15 grammes de chaque partie de cladode à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant. Le taux d'humidité est exprimé en pourcentage (Nabas et al., 2014).

**❖ Mode opératoire**

15 grammes de chaque partie est pesé dans des boîtes pétris en verre et placé dans l'étuve à 105°C durant 3 heures. Les boîtes Petri sont retirées de l'étuve puis placées dans le

dessiccateur afin d'être pesées après refroidissement. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

Où :

H % : Humidité ;

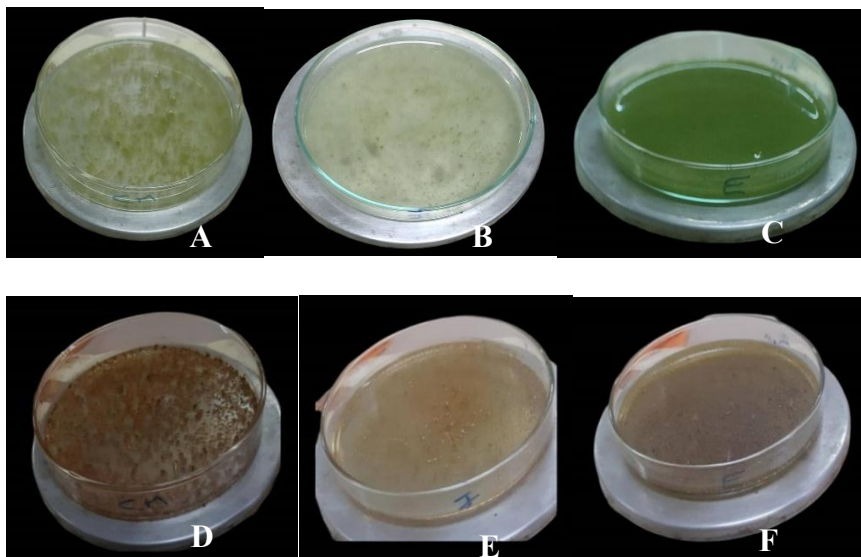
M1 : Masse de la capsule plus la matière fraîche avant étuvage ;

M2 : Masse de l'ensemble après étuvage

P : Masse de la prise d'essais.

La matière sèche est obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H$$



**Figure 11** – Le mucilage des différentes parties de cladode figuier de barbarie avant et après la dessiccation **A**) : matière fraîche partie mélange ; **B**) : matière fraîche partie interne ; **C**) : matière fraîche partie externe ; **D**) : matière sèche partie mélange ; **E**) : matière sèche partie interne ; **F**) : matière sèche partie externe. (Photographie original).

### 3.1.2. La teneur en cendres

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode AOAC (2000) utilisée par Human et al. (2006).

**❖ Principe**

Le principe de la détermination de la teneur en cendres dans un échantillon alimentaire repose sur la mesure de la matière inorganique résiduelle après incinération de la matière organique à 600°C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention des cendres blanchâtres de poids constant.

**❖ Mode opératoire**

Peser 2.5 g de chaque partie d'échantillon dans des capsules, placer les échantillons dans un four à moufle à 600°C pendant 3 heures, jusqu'à l'obtention d'une couleur blanchâtre. Les capsules sont ensuite retirées du four et les mettre à refroidir dans le dessiccateur, puis les peser.

Le pourcentage de cendres est donné par :

$$\text{MO}\% = \frac{\text{M1} - \text{M2}}{\text{P}} \times 100$$

**MO** : matière organique.

**M1** : Masse de la capsule plus la prise d'essai ;

**M2** : Masse de la capsule plus cendres

**P** : Masse de la prise d'essai.

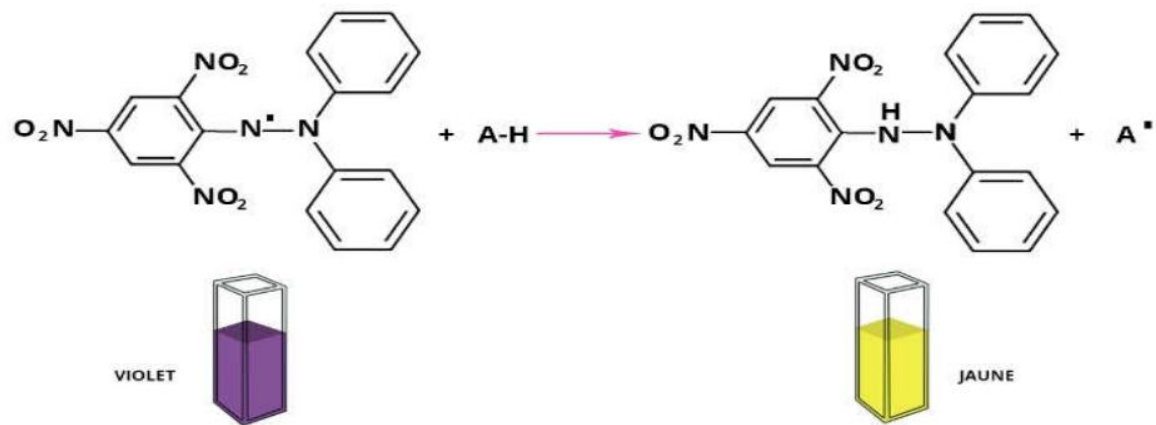
La teneur en cendres (CT) est, alors, déterminée par la formule suivante :

$$\text{CT} (\%) = 100 - \text{MO} (\%)$$

**3.2. Activité antioxydante**

Activité anti radicalaire (DPPH) Le principe de Test DPPH Le DPPH (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) est le substrat le plus largement utilisé pour l'évaluation directe et rapide de l'activité antioxydante en raison de sa simplicité et de sa stabilité sous forme de radicaux libres (Kholkhal, 2013). Les radicaux ont un électron libre sur l'atome d'azote, la délocalisation de cet électron donne la couleur bleu-violet caractéristique du détecteur (Amandine G, 2016).

La figure 12 montre la réaction de DPPH en présence d'antioxydant.



**Figure 12** - Structure du DPPH avant et après la réaction avec un antioxydant.

Le test antioxydant a été réalisé avec la méthode au DPPH (Sanchez-Moreno et al., 1998).

#### ❖ Mode opératoire

Un volume de 100 µl de l'extrait brute des différentes parties de cladode ainsi de pollen et propolis sont ajoutés à 1ml de la solution éthanolique du DPPH.

Parallèlement, un contrôle négatif est préparé en mélangeant 100ul d'éthanol avec 1ml de la solution éthanolique de DPPH.

La lecture de l'absorbance est faite contre un blanc préparé pour chaque concentration à 517nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante.

Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons et pour chaque concentration le test est répété 3fois. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (I %).

$$I\% = \frac{[(Abs\ contrôle - Abs\ ext)]}{Abs\ contrôle} \times 100$$

**I%** : pourcentage d'inhibition

**Abs contrôle** : Absorbance de control négatif

**Abs ext** : Absorbance d'extrait

La réalisation de la cinétique de cette activité permet de déterminer les concentrations qui correspondent à 50 % d'inhibition (IC50) ; la valeur d'IC50 la plus faible correspond à

l'efficacité de l'extrait la plus élevée. La valeur de l'IC50 est exprimée en  $\mu\text{g/ml}$  (3 répétitions pour chaque concentration).

### 3.3. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques totaux du pollen est estimée selon la méthode de Folin-Ciocalteu décrit par (Moreira et al., 2008)

#### ❖ 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 ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $\text{H}_3\text{PMoO}_4$ ). Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif Folin-ciocalteu en un complexe ayant une couleur constituée d'oxyde de tungstène ( $\text{W}_8\text{O}_{23}$ ) et de molybdène ( $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$ ), l'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés (Biozot et Charpentier, 2006).

#### ❖ Mode opératoire

Un volume de chaque extrait a été ajouté, avec un mélange un volume de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois, avec une solution de carbonate de sodium à 7,5 %. Les mélanges sont agités et conservés pendant 1 heure. L'absorbance est mesurée à 765 nm contre un blanc. Les concentrations en composés phénoliques totaux des extraits sont déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue à différentes concentrations d'acide gallique dans l'eau distillé.

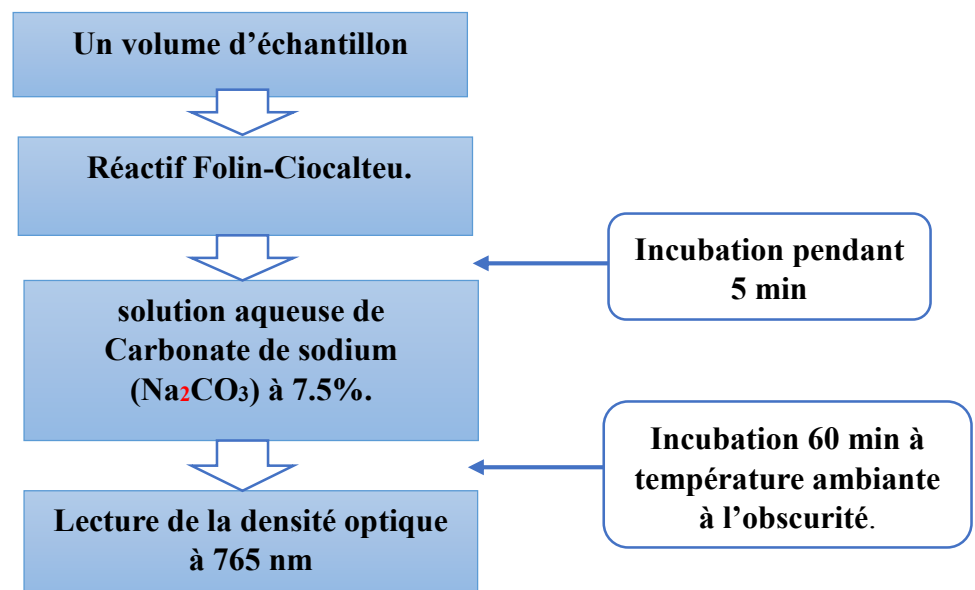


Figure13- Protocole de dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu.

**3.4. Étude de l'activité antibactérienne**

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

L'évaluation de l'activité antimicrobienne de nos extraits a été réalisée sur 2 souches bactériennes *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Bacillus cereus* ATCC 14579.

**3.4.1. Préparation des milieux de culture**

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

La gélose Muller Hinton (MH) pour l'activité antibactérienne contre les deux souches testées et la gélose nutritive pour leurs repiquages.

**3.4.2. Repiquage des souches**

Le repiquage des souches bactériennes a pour objectif l'obtention d'une culture pure et jeune. Elle consiste à réaliser par la méthode des stries. Les cultures sont incubées à l'étuve à 37°C pendant 18 h.

**3.4.3. 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 5 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 625 nm et doit être comprise entre 0,08 et 0,1.

**Mode opératoire**

- Des boîtes de Pétri stériles préalablement coulées de gélose Muller–Hinton 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.
- Faire des Puits dans la gélose.
- A l'aide d'une micropipette réglable, verser 100ul d'extraits aqueux des mucilages de cladode des deux espèces à tester.
- 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.

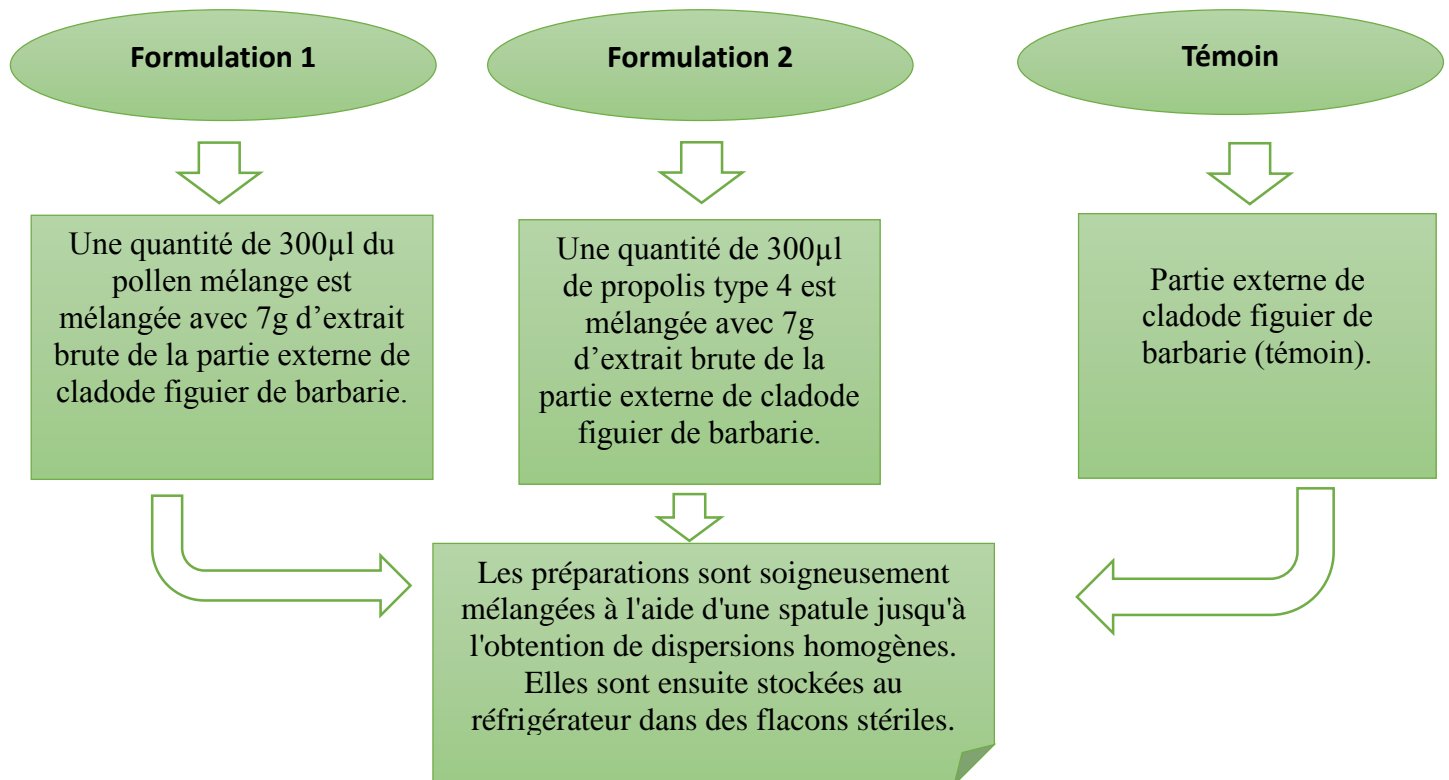
L'activité antimicrobienne est déterminée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition produite autour des puits après la durée d'incubation.

#### ❖ 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)

### 3.5. Préparation de la formulation

Les étapes de préparation des deux formulations démontrées dans la figure 17 sont effectuées dans une zone stérile afin d'éviter toute contamination. Les formulations sont ensuite stockées dans des conditions appropriées pour maintenir leurs propriétés et leur stabilité.



**Figure 14** - Schéma de préparation de différentes formulations à base de l'extrait brute de cladode figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*).

#### 3.5.1. Qualité microbiologique des formulations

##### 3.5.1.1. Dénombrement de la flore mésophile (FTAM)

Le dénombrement de la flore mésophile totale permet de quantifier les bactéries mésophiles dans un échantillon, ce qui indique la qualité microbiologique et la sécurité d'un

environnement. Cette mesure est essentielle pour évaluer le respect des normes d'hygiène, détecter les sources de contamination et garantir des conditions stériles.

---

# **Chapitre IV**

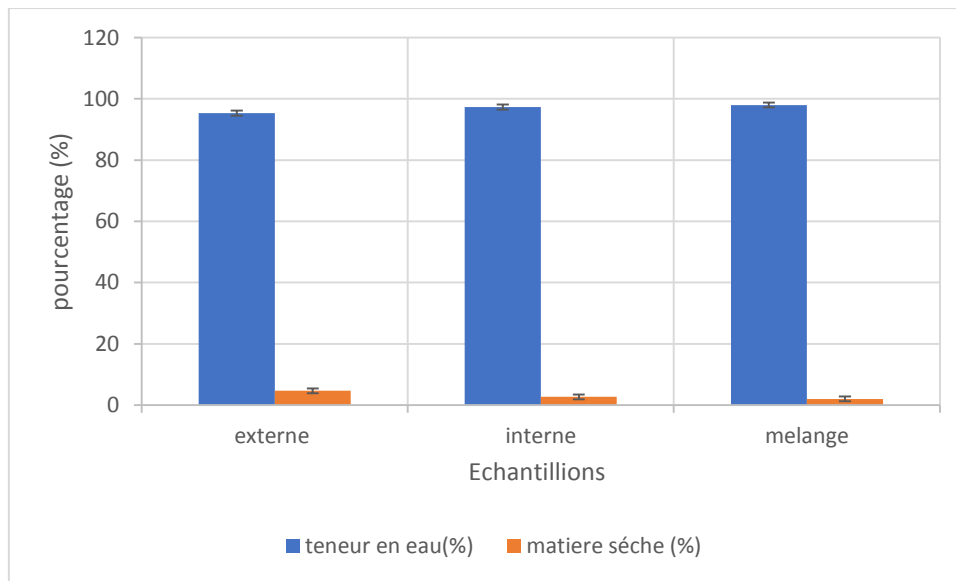
## **Résultats et discussion**

---

## 1. La teneur en eau

La teneur en eau est un paramètre crucial pour la conservation des aliments. Elle est étroitement liée à l'activité de l'eau, qui influence les réactions chimiques et enzymatiques, ainsi que la vitesse de développement des micro-organismes. Pour réduire l'activité de l'eau et améliorer la conservation, le séchage et la congélation sont deux techniques efficaces utilisées pour les différentes parties de cladode et autres aliments.

La figure 20 illustre les résultats de l'analyse de la teneur en eau et en matière sèche des différentes parties du cladode de figuier de Barbarie qui montrent des variations significatives.



**Figure 16** - Teneur en eau et matière sèche des différentes parties de cladode figuier de barbarie.

La figure illustre la teneur en eau et la matière sèche des différentes parties de cladode figuier de barbarie, il apparaît que la partie externe du cladode contient 95,33 % d'eau et 4,66% de matière sèche, tandis que la partie interne montre une teneur en eau plus élevée de 97,33% et une matière sèche de 2,66%. Le mélange des deux parties présente une teneur en eau maximale de 98% et une matière sèche minimale de 2%. Ces résultats indiquent que les deux parties du cladode sont extrêmement riches en eau, avec la partie interne et le mélange des deux parties ayant les pourcentages les plus élevés. Ces résultats concordent avec les données rapportées par Abdi et al. (2022).

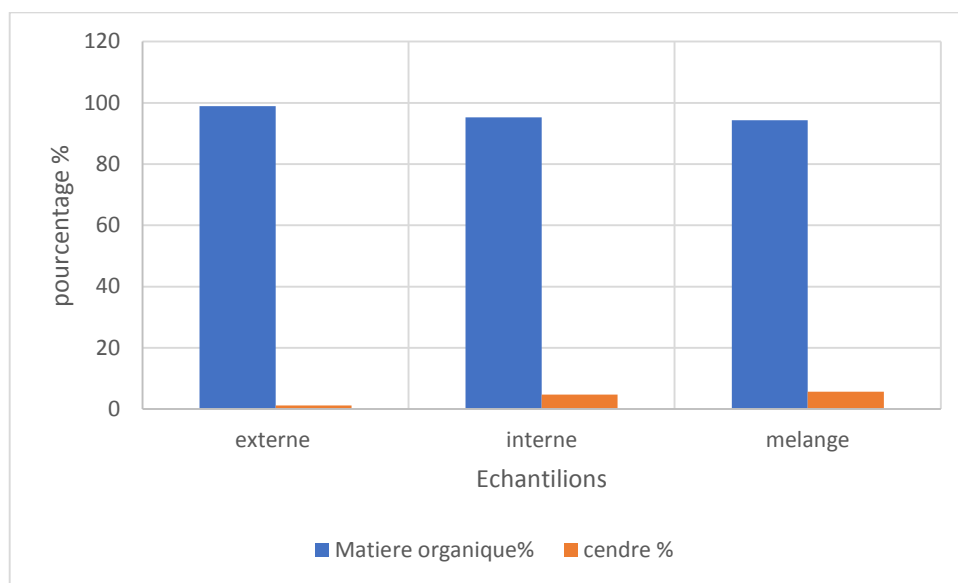
La partie externe du cladode, bien que riche en eau, à une teneur en eau légèrement inférieure par rapport aux autres parties analysés. Cela pourrait être dû à la présence de structures protectrices ou cuticulaires qui réduisent la perte d'eau et augmentent la résistance mécanique de cette partie, Contrairement à la partie interne qui semble être plus spécialisée

dans le stockage de l'eau. Cependant, la faible teneur en matière sèche dans toutes les parties analysées souligne que le cladode est principalement constitué d'eau, et reflétant l'adaptation du figuier de Barbarie aux environnements arides où la capacité de stockage d'eau est essentielle pour la survie.

## 2. Teneur en cendre

La teneur en cendre désigne la quantité de résidus minéraux restants après la combustion complète de la matière organique d'un échantillon et comme tous les végétaux la teneur en matière minérale augmente pendant la croissance et la consolidation des raquettes.

La figure 21 illustre les résultats de l'analyse de la teneur en cendre et en matière organique de différentes parties du cladode de figuier de Barbarie qui montrent des variations significatives.



**Figure 17** - Teneur en cendre des différentes parties de cladode figuier de barbarie.

La partie externe du cladode présente une teneur en cendre de 1,11 % et une matière organique de 98,89 %. En revanche, la partie interne a une teneur en cendre plus élevée de 4,75% et une matière organique de 95,25 %. Le mélange des deux parties affiche une teneur en cendre de 5,71 % et une matière organique de 94,29 %, ce sont des résultats qui concordent avec les données rapportées par Abdi et al. (2022).

La teneur en cendre, représentant les résidus inorganiques après combustion, est plus élevée dans la partie interne, suggérant une accumulation accrue de minéraux essentiels à la croissance et aux fonctions métaboliques de la plante. La partie externe, principalement dédiée à la protection, contient moins de minéraux, d'où une teneur en cendre plus faible et une proportion plus élevée de matière organique, composée notamment de composés protecteurs et structuraux. Le mélange des deux parties, avec une teneur en cendre de 5,71 %, reflète une

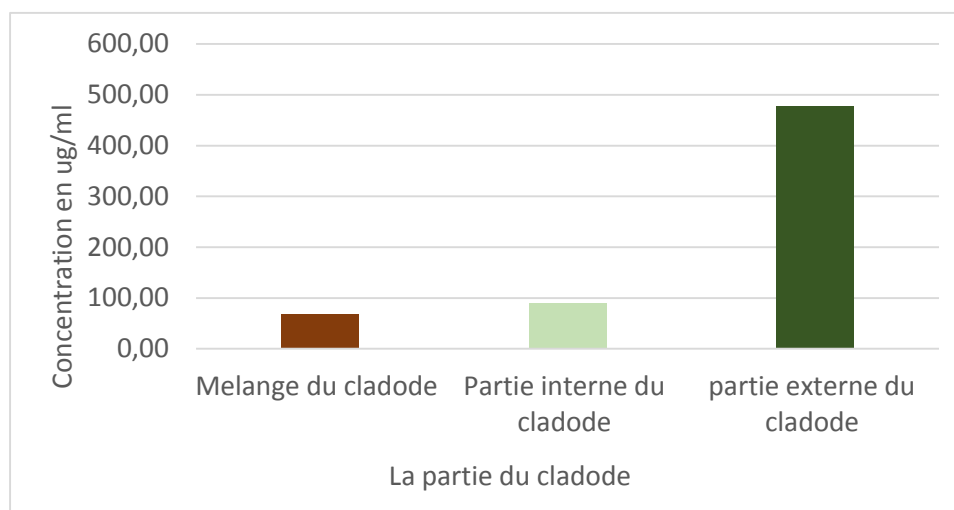
combinaison des caractéristiques des parties interne et externe, mais montre une prédominance de l'apport minéral de la partie interne. Ces différences reflètent les rôles spécifiques de chaque partie du cladode dans la physiologie de la plante.

### 3. Dosage des polyphénols

#### 3.1. Dosage des polyphénols contenus dans les différents extraits du cladode

La mesure de l'absorbance d'une solution d'acide gallique, pris comme standard, à différentes concentrations, nous a permis de tracer une courbe d'étalonnage. L'analyse quantitative des polyphénols est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimée en  $\mu\text{g}$  d'acide gallique par g de matière sèche. La figure suivante résume les teneurs obtenus en phénols totaux des extraits étudiés.

La figure 22 illustre les résultats de l'analyse de la concentration en polyphénols de différentes parties du cladode de figuier de Barbarie qui montrent des variations significatives.



**Figure 18** - Concentration des polyphénols dans les trois parties du cladode.

La représentation graphique des taux de polyphénols dans nos extraits révèle une teneur de  $477 \mu\text{g}$  EAG/ml pour la partie externe,  $90,69 \mu\text{g}$  EAG/ml la partie interne, et  $67,57 \mu\text{g}$  EAG/ml pour le cladode entier. Ces résultats concordent avec les travaux apportés par El. -Hawary et al. (2020).

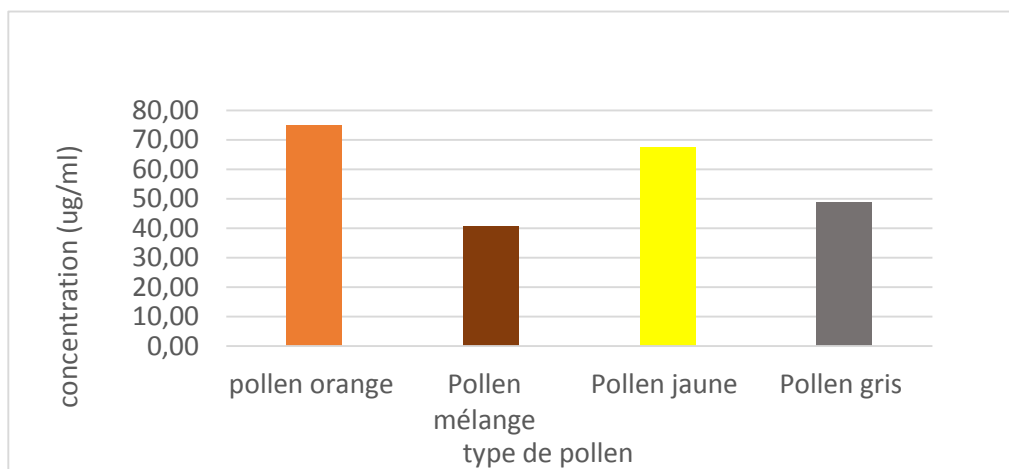
En comparant les concentrations des différents extraits (mucilage), nous observons que la partie externe présente la concentration la plus élevée ( $477 \mu\text{g}$  EAG/ml), suivie de la partie interne ( $90,69 \mu\text{g}$  EAG/ml), tandis que le cladode entier affiche la concentration la plus basse ( $67,57 \mu\text{g}$  EAG/ml). Cette hiérarchie pourrait refléter des différences dans la répartition des polyphénols au sein des différentes parties de la plante. La partie externe, étant exposée aux

conditions environnementales, peut accumuler une concentration plus élevée de polyphénols en réponse aux stress externes. En revanche, la partie interne, généralement plus protégée, montre une concentration plus faible. Le cladode entier, qui combine les différentes sections, présente une concentration inférieure à celle de la partie externe, possiblement en raison de la dilution ou de la présence d'autres composés dans le tissu global. Ces variations mettent en lumière l'influence des caractéristiques biologiques et structurelles spécifiques de chaque partie de la plante sur les concentrations mesurées de polyphénols.

### 3.2. Dosage des polyphénols contenus dans les différents extraits de pollen

La représentation ci-dessous présente le taux de polyphénols dans les différents types de pollen. Les résultats montrent que les teneurs en polyphénols varient légèrement d'un extrait à l'autre avec une teneur de 40ug EAG/ml à 74ug EAG/ml. Les écarts restent relativement faibles, indiquant une certaine homogénéité dans les concentrations de polyphénols entre les différents types de pollen étudiés. Ces résultats concordent avec les travaux rapportés dans l'étude de Kadry et al. (2019), ce qui suggèrent la richesse de nos échantillons en composés phénoliques.

La figure 23 illustre les résultats de l'analyse de la concentration en polyphénols de différents extraits de pollen qui montrent des variations non significatives.



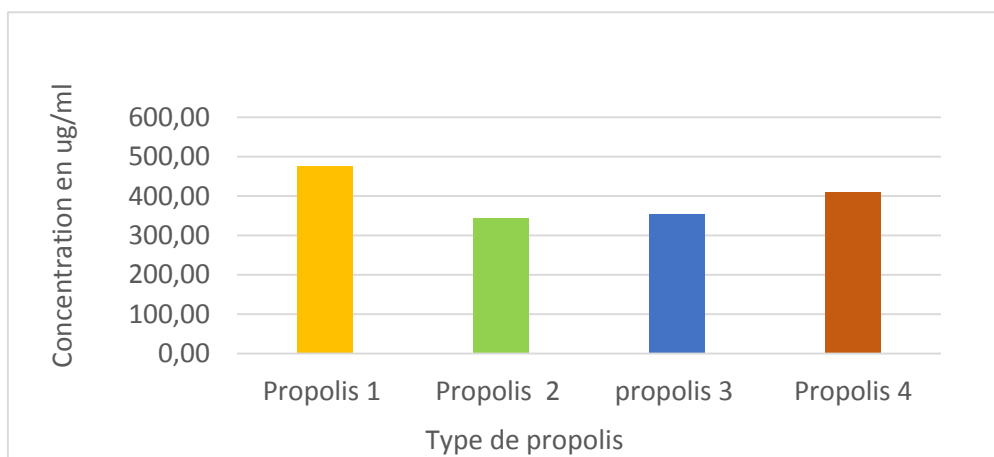
**Figure 19** - Concentration des polyphénols contenus dans les différents extraits du pollen.

### 3.3. Dosage des polyphénols des extraits de propolis

La représentation graphique montre que les extraits de propolis analysés présentent des concentrations de polyphénols intéressante. Les valeurs varient entre 343 ug EAG/ml et 477 ug EAG/ml d'extrait. Ces résultats s'accordent avec les travaux rapportés par Khayyal et al. (2003).

Cette richesse accrue en polyphénols dans les échantillons analysés, suggérant un potentiel antioxydant plus élevé et une meilleure neutralisation des radicaux libres, ce qui pourrait offrir une protection accrue contre le stress oxydatif et ses effets néfastes.

La figure 24 illustre les résultats de l'analyse de la concentration en polyphénols de différents extraits de propolis.



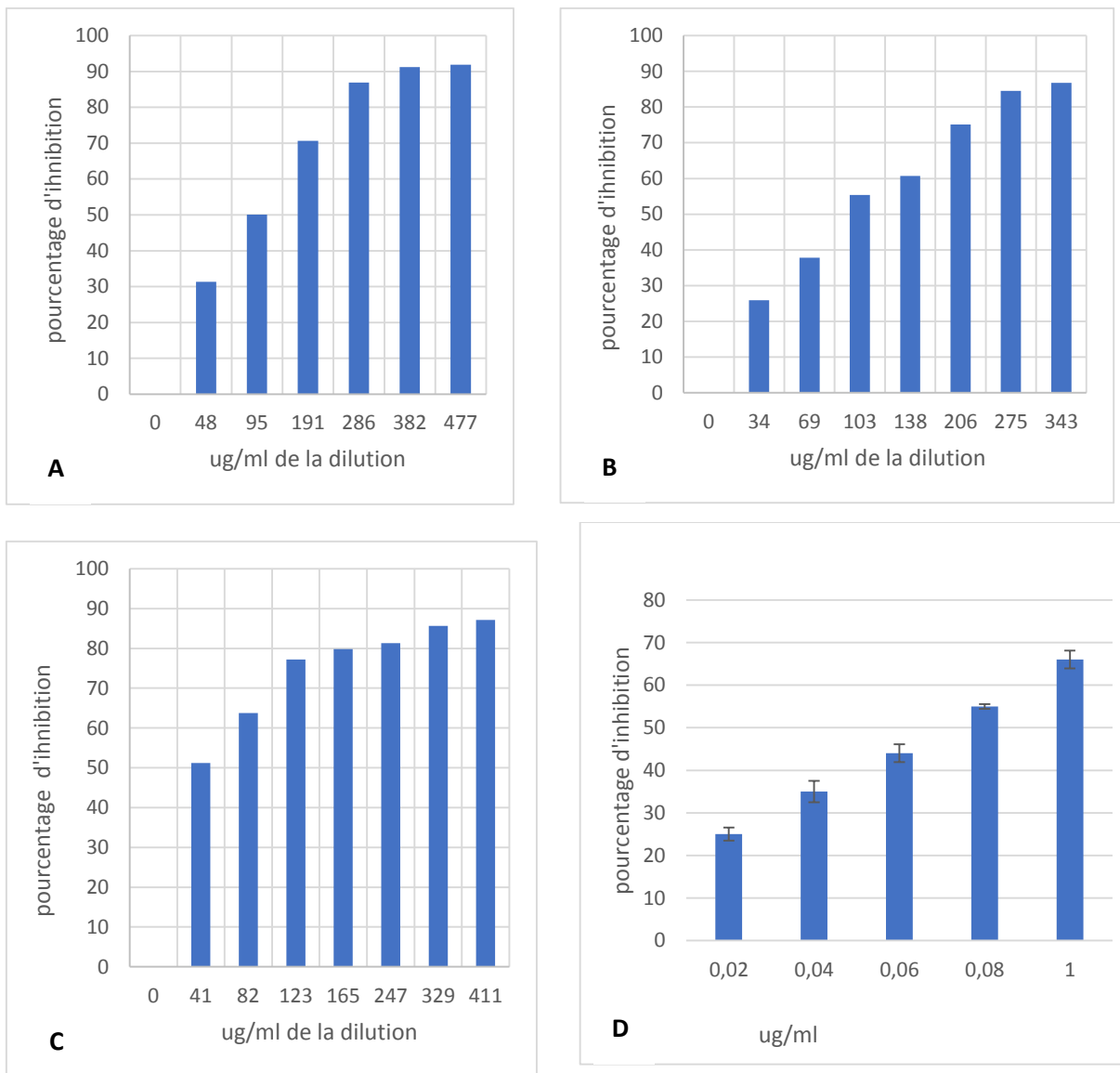
**Figure 20** - Concentration des polyphénols contenus dans les différents extraits de la propolis.

#### 4. Activité antioxydante de différents extraits

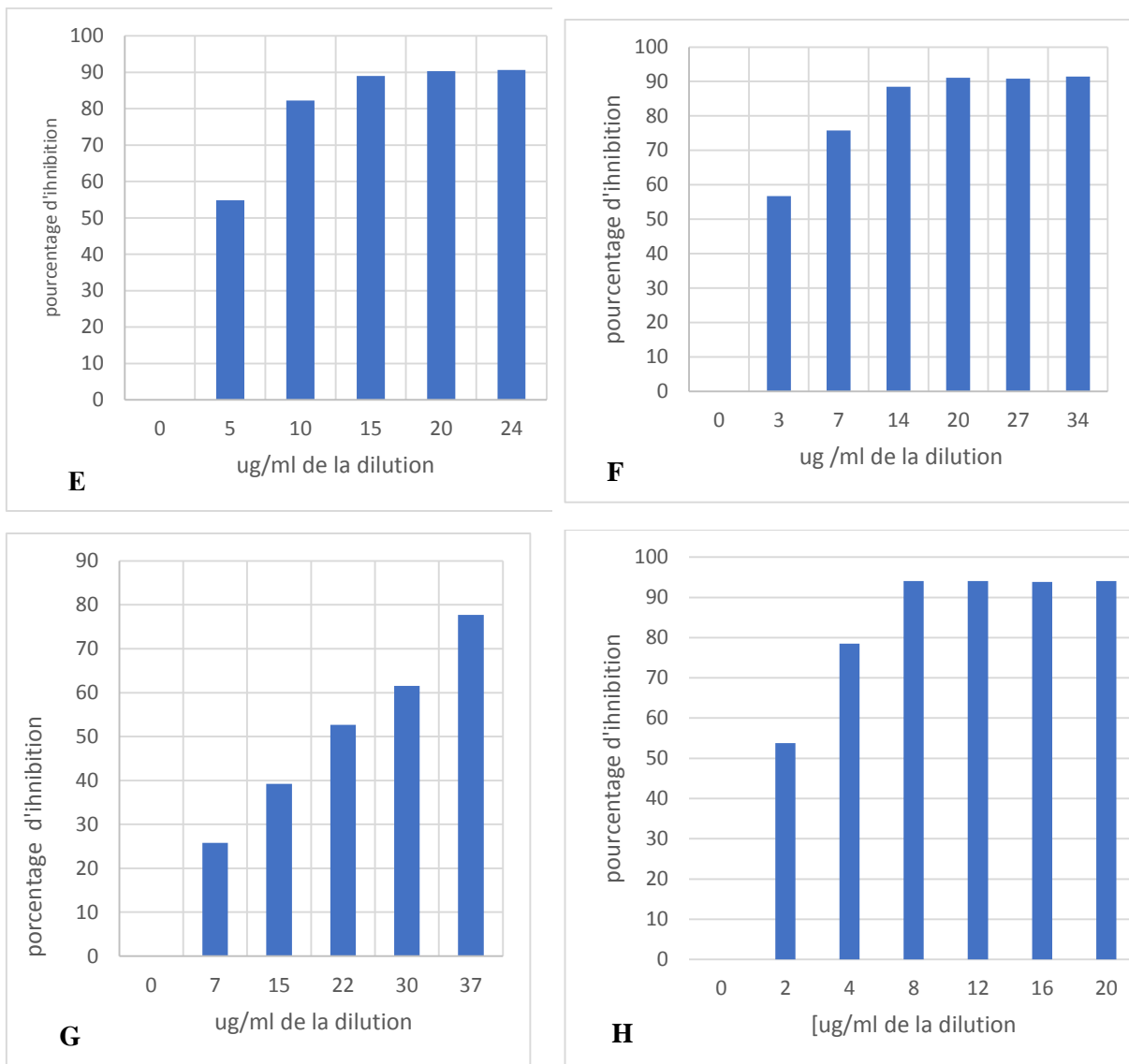
##### 4.1. Évaluation d'activité anti-radicalaire

D'après les résultats présentés dans les figures 24, 25 et 26, le pourcentage de réduction du DPPH augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits étudiés. Cela montre que l'activité antioxydante des extraits est dose-dépendante. Les histogrammes du pollen et de la propolis indiquent presque une inhibition complète, ce qui peut s'expliquer par la saturation des courbes, suggérant que la capacité antioxydante des extraits a atteint son maximum à ces valeurs concentrées.

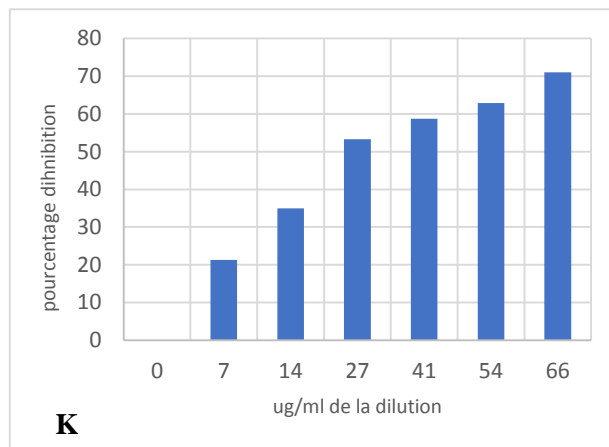
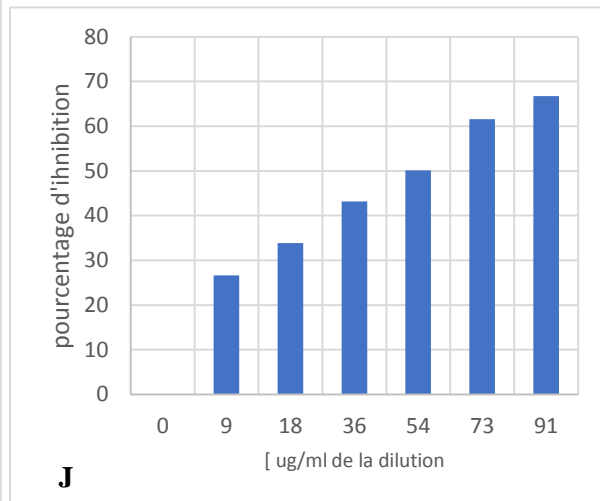
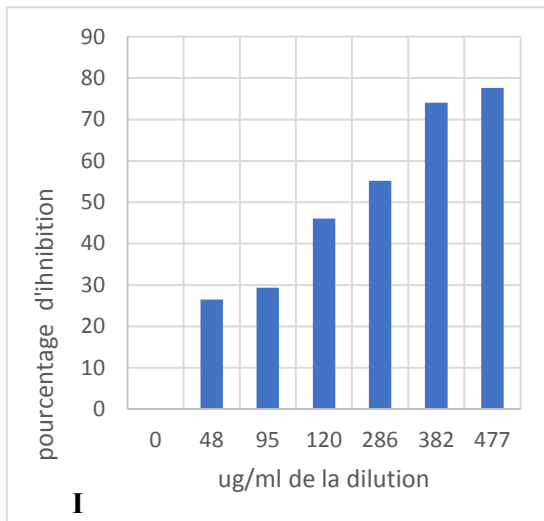
L'activité antioxydante des extraits a été aussi évaluée par la détermination de l'IC50, qui représente la concentration d'extrait nécessaire pour atteindre 50 % d'inhibition du radical DPPH. Une valeur d'IC50 plus faible est indicative d'une plus grande capacité antioxydante de l'extrait. Les valeurs d'IC50 sont calculées à partir de la régression linéaire des données, dépendantes des pourcentages d'inhibition mesurés à différentes concentrations des extraits testés.



**Figure 21** – Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de propolis étudiés par la méthode DPPH : **A)** propolis de type 1 ; **B)** propolis de type 2 ; **C)** propolis de type 4 ; **D)** acide ascorbique.



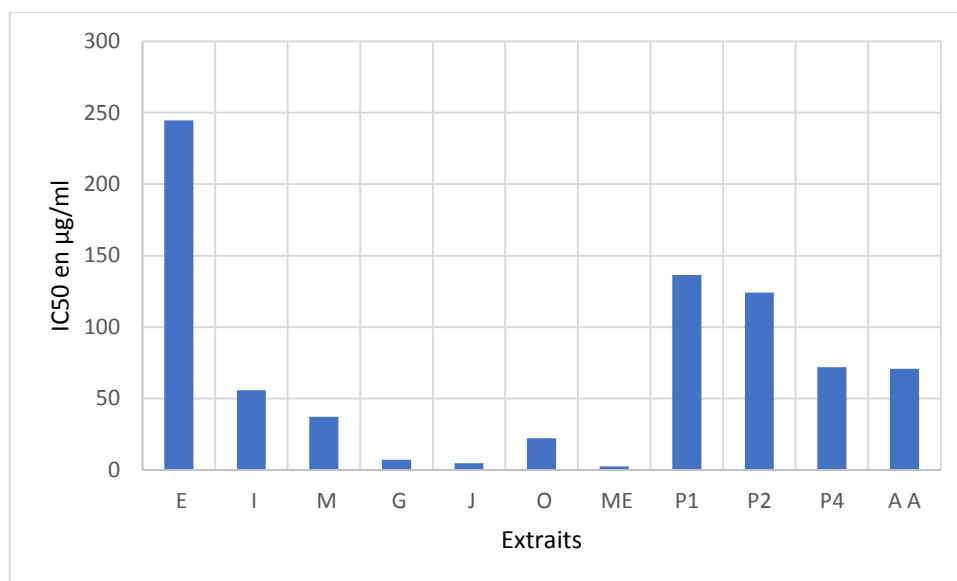
**Figure 22** - Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de pollen étudiés par la méthode DPPH : **E)** pollen type gris ; **F)** pollen type jaune ; **G)** pollen type orange ; **H)** pollen type mélange.



**Figure 23-** Cinétique de l'activité antioxydante des différents extraits de cladodes étudiés par la méthode DPPH : **I)** partie externe de cladode figuier de barbarie ; **J)** partie interne de cladode figuier de barbarie ; **K)** le mélange des deux parties (interne et externe).

## ❖ Les valeurs d'IC<sub>50</sub>

Les valeurs d'IC<sub>50</sub> des différents extraits sont présentées dans la figure 28.



**Figure 24** -Les valeurs IC<sub>50</sub> des différents extraits phénoliques et standards donnés par le test au radical DPPH (E : partie externe ; I : partie interne ; M : partie mélange ; G : pollen gris ; J : pollen jaune ; O : pollen orange ; ME : pollen mélange ; P1 : propolis type 1 ; P2 : propolis type 2 ; P4 : propolis type 4 ; AA : acide ascorbique).

Les résultats de l'analyse de l'activité anti-radicalaire des extraits testés révèlent des différences notables par rapport à l'acide ascorbique, témoin avec une valeur d'IC<sub>50</sub> de 70,78µg/ml. Parmi les extraits de pollen, le pollen mélange (ME) présente l'activité anti-radicalaire la plus élevée avec une valeur d'IC<sub>50</sub> de 2,44 µg/ml, suivi par le pollen jaune(J) avec 4,70 µg/ml. Le pollen orange(O) et le pollen gris(G) montrent des activités plus faibles, avec des valeurs d'IC<sub>50</sub> respectives de 22,19 µg/ml et 7,02 µg/ml. Ces résultats indiquent que le pollen mélange est particulièrement efficace, possiblement en raison de la combinaison des propriétés antioxydantes de différents types de pollen qui pourraient interagir synergétiquement pour renforcer l'activité anti-radicalaire globale.

En ce qui concerne les extraits de propolis, les valeurs d'IC<sub>50</sub> varient de 124,10 µg/ml pour P2 à 71,87 µg/ml pour P4, montrant une activité anti-radicalaire inférieure à celle des extraits de pollen mais toujours notable par rapport à l'acide ascorbique (AA). Ces observations sont en accord avec les travaux de Tebina et al. (2023) qui ont souligné que le pollen et la propolis, présentent des activités antioxydantes significatives par rapport aux produits de la ruche.

Pour les extraits de cladodes, les valeurs d'IC50 varient considérablement : 244,62 µg/ml pour la partie externe(E), 55,68 µg/ml pour la partie interne(I), et 37,11 µg/ml pour le mélange(M). Comparés à l'acide ascorbique, tous les extraits de cladodes montrent des valeurs d'IC50 beaucoup plus élevées, indiquant une activité anti-radicalaire moins efficace. Contrairement aux résultats de Abdi et al. (2022), qui rapportaient une activité anti-radicalaire importante pour la partie externe des cladodes, cette étude montre que la partie interne et le mélange ont une meilleure activité anti-radicalaire. Cette divergence peut être expliquée par des différences dans les méthodes d'extraction ou les conditions expérimentales.

Les résultats suggèrent que les extraits de pollen et de propolis présentent des activités anti-radicalaires supérieures et plus significatives par rapport aux extraits de cladodes, malgré leur efficacité notable.

### 5. Résultats de l'activité antibactérienne

Nous avons évalué in vitro l'activité antimicrobienne de l'extrait brut des différentes parties de cladodes d'*Opuntia ficus indica* en utilisant la méthode de diffusion en milieu solide avec la technique des puits. Cette méthode, appliquée sur un milieu gélosé de Mueller-Hinton sur deux souches de références qui sont *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) et *Bacillus cereus* (ATCC 14579) (Harrar, 2012).

L'évaluation de l'activité antibactérienne des différentes parties de cladode figuier de barbarie contre les souches *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) et *Bacillus cereus* (ATCC 14579) sont exprimées en termes de présence d'inhibition autour des puits comme illustré ci-dessous dans la figure (29)



**Figure 25** - Évaluation de l'activité antibactérienne de différents extraits (1 : extrait brute de partie mélange de cladode figuier de barbarie ; 2 : extrait brute de partie interne de cladode figuier de barbarie ; 3 : extrait brute de partie externe de cladode figuier de barbarie. (Photographie originale).

Les résultats sont exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition des souches vis -à-vis de l'extrait selon l'échelle suivante décrite par Konan et al. (2014).

Résistante : diamètre inférieur à 8mm.

- Sensible : diamètre compris entre 9 et 14mm.
- Très sensible : diamètre compris entre 15 et 19mm.
- Extrêmement sensible : diamètre supérieur à 20mm.

Les diamètres d'inhibitions induites par des échantillons étudiés : la partie externe de cladode (peau) partie interne (mucilage) et le mélange des 2 parties (interne et externe) sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau V** : Diamètres des zones d'inhibition des extraits testés.

Microorganismes testés	Valeurs des diamètres d'inhibition (mm)		
	Partie externe de cladode d' <i>opuntia ficus indica</i>	Partie interne de cladode d' <i>opuntia ficus indica</i>	Mélange de la partie externe et interne d' <i>opuntia ficus indica</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	13,5	0	0
<i>Bacillus cereus</i>	9	0	0

Les résultats obtenus montrent que la partie externe (peau) des cladodes du figuier de Barbarie présente une activité antibactérienne significative contre les souches de référence *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus*, avec une zone d'inhibition atteignant 13,5 mm. Ces résultats suggèrent une certaine sensibilité de ces deux souches vis-à-vis de la peau des cladodes, et une activité antibactérienne plus élevée que celle rapportée par Abdi et al. (2022).

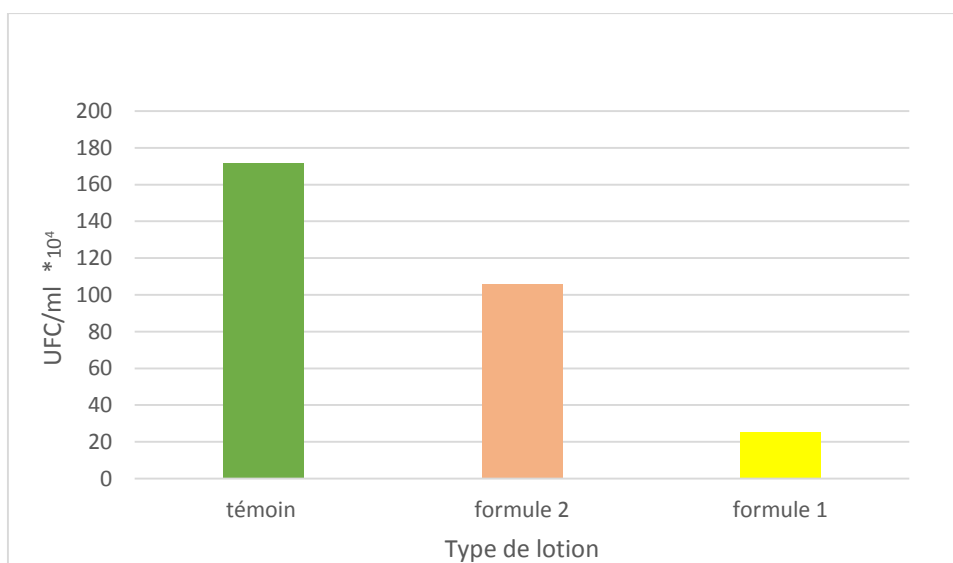
En revanche, les deux autres parties étudiées (partie interne et mélange) n'ont montré aucune activité antibactérienne contre les souches de référence, ce qui indique une résistance de ces dernières à ces parties du cladode. Ces observations sont en accord avec les travaux de Khattouf et al. (2018), qui n'ont également relevé aucune activité antibactérienne contre *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus*.

## 5.1. Dénombrement de la flore mésophile et évaluation de l'activité antioxydante des deux formulations

### 5.1.1 Evolution quantitative de la flore aérobie mésophile totale

La représentation graphique (figure 30) montre que la formule 2, qui combine propolis et cladode, présente un niveau de flore intermédiaire, tandis que la formule 1, composée principalement de cladode et de pollen, affiche le taux le plus faible de flore mésophile. En comparaison, le témoin présente une flore nettement plus élevée. Cela suggère que les produits apicoles, tels que le pollen et la propolis, peuvent jouer un rôle dans la réduction de la flore mésophile. Les études de Fatrcová-Šramková et al. (2013) et Carpes et al. (2007) ont déjà démontré l'activité antimicrobienne significative du pollen, en particulier contre *Staphylococcus aureus* et *Salmonella enterica*. De même, les résultats in vitro de Noronha et al. (2014) confirment l'efficacité antibactérienne de la propolis. Le pollen se distingue par une activité antimicrobienne plus large, grâce à sa richesse en composés bioactifs variés, tandis que la propolis, bien qu'efficace, tend à agir de manière plus ciblée en raison de la spécificité de ses composants.

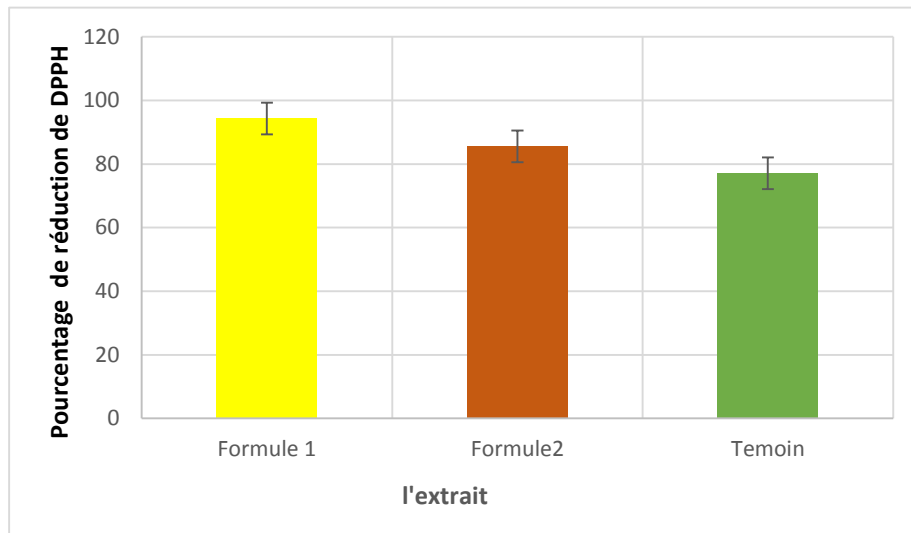
Evolution quantitative de la flore aérobie mésophile totale dans les deux formulations ainsi que le témoin a été exprimée en UFC/ml dans la figure 30.



**Figure 26-** Evolution quantitative de la flore aérobie mésophile totale dans les deux formulations ainsi que le témoin.

### 5.1.2 Évaluation de l'activité antioxydante de deux formulations par le (DPPH)

L'efficacité des deux formulations pour neutraliser le radical DPPH a été évaluée, et les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition dans la figure 31.



**Figure 27-** Les pourcentages d’inhibition des deux formulations 1 et 2 données par le test de DPPH (**Formule 1** mucilage de la partie externe de cladode *opotunia ficus indica* avec le pollen ; **Formule 2** : mucilage de la partie externe de cladode *opotunia ficus indica* avec la propolis ; **témoin** : mucilage de la partie externe de cladode *opotunia ficus indica*).

La figure 31 démontre l'analyse comparative des formulations en mettant en évidence des différences significatives dans leur capacité antioxydante, soulignant l'impact des ingrédients ajoutés au mucilage de cladode de figuier de barbarie. La Formule 1, qui combine le mucilage de cladode avec du pollen, affiche une activité antioxydante nettement supérieure à celle du Témoin, constitué uniquement du mucilage de cladode comme le confirment les résultats de l'étude rapportés par dos Santos et al. (2024), qui ont mis en évidence que le pollen peut être utilisé comme une thérapie naturelle contre les maladies d'Alzheimer en raison de son potentiel antioxydant élevé. En comparaison, la Formule 2, qui incorpore de la propolis au mucilage de cladode, montre également une amélioration notable de l'activité antioxydante par rapport au Témoin, validant l'efficacité de la propolis, comme le montrent les recherches de Benchabane et al. (2020). Cependant, l'activité antioxydante de la Formule 2 reste légèrement inférieure à celle de la Formule 1. Cela suggère que, bien que la propolis soit un puissant antioxydant, le pollen offre une protection antioxydante encore plus prononcée, probablement en raison de la diversité et de la concentration plus élevée de bioactifs qu'il contient.

---

**Conclusion  
Et  
Perspectives**

---

### Conclusion

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) est une plante largement étudiée pour ses composés bioactifs, qui sont de plus en plus recherchés comme alternatives aux produits synthétiques pour traiter diverses pathologies.

Les résultats obtenus à partir des différentes analyses effectuées sur les extraits des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, du pollen et de la propolis ont permis d'évaluer leur teneur en eau, en cendres, en polyphénols ainsi que leurs propriétés biologiques, notamment l'activité antioxydante et antibactérienne.

Tout d'abord, l'analyse de la teneur en eau a révélé que les différentes parties du cladode sont riches en eau, avec des pourcentages très élevés allant jusqu'à 98 % pour le mélange des parties interne et externe. Cette haute teneur en eau reflète l'adaptation de la plante aux environnements arides. Quant à la teneur en cendres, la partie interne a montré des niveaux plus élevés en résidus minéraux plus que la partie externe, indiquant une accumulation accrue de minéraux nécessaires à la croissance de la plante.

Le dosage des polyphénols a montré une variabilité entre les différentes parties du cladode, ainsi que pour les échantillons de pollen et de propolis. La partie externe du cladode a révélé la concentration la plus élevée en polyphénols, suivie par la partie interne et le mélange des 2 parties. En comparaison, les concentrations en polyphénols dans les échantillons de pollen et de propolis étaient nettement supérieures, renforçant leur potentiel antioxydant. Ces résultats suggèrent que la partie externe du cladode, étant plus exposée aux conditions environnementales, accumule davantage de polyphénols pour se protéger des stress externes.

Concernant l'activité antioxydante, les extraits de pollen et de propolis ont démontré une activité supérieure, comme le montre leur faible IC50, particulièrement pour le mélange de pollen, qui a présenté la meilleure activité anti-radicalaire. Les extraits de cladodes, bien qu'actifs, se sont révélés moins efficaces en comparaison avec le pollen et la propolis, avec la partie interne et le mélange montrant des valeurs d'IC50 plus importantes que la partie externe. Tandis que les formulations combinant du mucilage de cladode avec du pollen mélange ou de la propolis P4 montrent une amélioration notable par rapport au témoin. Toutefois, l'activité antioxydante de la Formule 2 reste légèrement inférieure à celle de la Formule 1, ce qui suggère que le pollen contient une plus grande diversité et concentration de composés bioactifs.

Sur le plan de l'activité antibactérienne, les résultats indiquent que seule la partie externe des cladodes a exercé une inhibition significative contre les souches de *Staphylococcus aureus*

et *Bacillus cereus*, avec des diamètres de zones d'inhibition de 13,5 mm et 9 mm respectivement. En revanche, ni la partie interne ni le mélange n'ont montré d'activité antibactérienne. Les extraits de pollen et de propolis, bien que non directement testés ici, sont soutenus par des études antérieures montrant leur efficacité antimicrobienne contre plusieurs souches pathogènes.

En ce qui concerne les formulations à base de cladode, de pollen et de propolis, les résultats montrent une réduction significative de la flore mésophile, particulièrement dans la Formule 1 contenant du pollen, qui a affiché le taux le plus faible de flore bactérienne. Cela suggère que ces formulations, en raison de leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, pourraient être utilisées comme agents additifs conservateurs naturels ou dans des produits cosmétiques pour prolonger la durée de conservation.

À la lumière de ces résultats, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour la poursuite de cette étude :

1. Une optimisation des méthodes d'extraction pourrait permettre d'améliorer les rendements en composés bioactifs, notamment les polyphénols, afin de renforcer les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des extraits.
2. L'étude pourrait être élargie à d'autres souches microbiennes et fongiques pour mieux comprendre l'étendue de l'activité antimicrobienne et antifongique des différentes parties du cladode, ainsi que des formulations à base de pollen et de propolis.

Ces recherches pourraient contribuer au développement d'applications pratiques dans les industries agroalimentaires, cosmétiques, et pharmaceutiques, en exploitant les potentiels antioxydants, antimicrobiens et conservateurs des produits naturels étudiés.

---

## **Références bibliographiques**

---

1. **Abdi R., Alileche S., Kadem L. (2022).** Extraction et évaluation de quelques activités biologiques de différents constituants de cladodes du figuier de barbarie « Polyphénols et polymères ». Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 43 p.
2. **Agence Ecofin. (2015).** L'Algérie s'enorgueillit de sa première usine de transformation de figue de barbarie (available at <http://www.agenceecofin.com/fruits/0510-32871-l-algerie-senorgueillit-de-sa-premiere-usine-de-transformation-de-figue-de-barbarie>).
3. **Al Marghitas L., Dezmirean D.S. and Bobis O. (2013).** Important development in Romanian propolis research. Evidence-Based complementary and Alternative Medicine, p: 9.
4. **Almeida-Muradian et al. (Février 2005).** « Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets », Journal of Food Composition and Analysis 18, n° 1: 105-111, doi: 10.1016/j.jfca.2003.10.008.
5. **Apimondia., (2001).** Standing commission of apitherapy Traité d'Apithérapie, La médecine par les abeilles [cédérom] v.1.01 PC-Mac Produit par Api-Ar Internat.
6. **Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbehri, L., Boubkraoui, A., Ait Hamou, A., Zemmouri, A., Sbaa, H. (2000).** Valorisation du figuier de barbarie en élevage.
7. **Arba, M. (2009, May).** Le cactus Opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. In Actes du Symposium International AGDUMED durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol (pp. 14-16). Rabat : Cana Print
8. **Asmae, E.G., Nawal, E.M., Bakour, M., Lyoussi, B. (2021).** Pollen d'abeille monoflorale marocaine : origine botanique, caractérisation physico-chimique et activités antioxydantes. J. Qualité alimentaire 2021, 1-10. [Google Scholar] [Réf. croisée] International SA R Brussels. 2001 ISBN : 2-9600270-0-0.
9. **Bankova V.S., De Castro S.L. et Marcucci M.C. (2000).** Propolis: recent advances in chemistry and plant origin. Apidologie ; 31 : 3-15.
10. **Benattia, F. K. (2017).** Analyse et application des Extraits de Pépins de Figue de Barbarie. Thèse de doctorat : Chimie Bio-Organique et Thérapeutique. Algérie, Tlemcen. Université Aboubekr Belkaid. 5-20 p.

11. **Benchabane O., Hazzit M., Bousta L., et Abbou B. (2020).** Etude comparée des propriétés anti oxydante et anti microbienne de la propolis de quelques régions d'Algérie. Algerian Annals of Agronomy – ex. Annales de l'Institut National Agronomique El-Harrach – Vol 32 n° 2. 2328p.
12. **BOUTAKIOUT2 A., ELOTHMANI D., MAHROUZ M., H MID I., HANINE H. (2015).** Phytochemical constituents and in vitro radical scavenging activity of different cladodes juice of cactacea cultivars from different areas in Morocco. International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research, 1 (03), 56-66.
13. **Campos, M.G.R., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., Ferreira, F. (2008).** Composition du pollen et normalisation des méthodes analytiques. J. Apic. Res., 47, 154 à 161.
14. **Campos, M.G.R., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., Ferreira, F. (2008).** Composition du pollen et normalisation des méthodes analytiques. J. Apic. Res., 47, 154 à 161.
15. Compagne des sens.3 type de propolis : Brune, Verte et Rouge. Apithérapie.propolis. <https://www.compagnie-des-sens-fr/differentes-propolis/proprieté de propolis>.
16. **Cousin N. (2010).** Les trésors de la ruche, miel, gelée royale, pollen...Paris, Editions du Club France Loisier avec l'autorisation des Edidionts Rustica, 143p.
17. **Dib H., Beghdad M.C., Belarbi M. (2013).** Phytochemical study of Algerian Opuntia ficus-indica. Annals of Biological Research, 4 (2):185-189.
18. **El-Hawary. S., Mansoursobeh., wafaa k. badr., Mohamed A.O. Abdelfattah., Zeinab Y. ali mona E. el-tantawy, MohamedA. RAbeh. et Michael wink. (2020).** hplc-pda-ms/ms profiling of secondary metabolites from **El Kharrassi, Y. (2015).** Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (Opuntia spp.) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issus de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2 (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
19. **El-Kholy, W., Soliman, T., & Darwish, A. (2019).** Evaluation of date palm pollen (Phoenix dactylifera L.) encapsulation, impact on the nutritional and functional properties of fortified yoghurt. PLoS ONE. , 14 (10), 23p.
20. **El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, MHS, ... & Cherkaoui-Malki, M. (2014).** Cactus nopal (Opuntia ficus-indica)

comme source de composés bioactifs pour la nutrition, la santé et les maladies. *Molécules*, 19 (9), 14879- 14901.

21. **Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N., Attia H., (2006).** Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*. Vol. 97(12): 1382-1386.
22. **Felker P, Rodriguez S, Casoliba R.M, Filippini R, Medina D, & Zapata R. (2005).** Comparison of *Opuntia ficus indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 60:405-422.
23. **Flores H.A., Murillo M., Borrego F., & Rodríguez J.L., (1995).** Variación de la composición química de estratos de la planta de 20 variedades de nopal. In *Memorias del VI Congreso Nacional y IV Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Guadalajara, Mexico, pp. 110–115.6.
24. **Fortin, F. (2006).** *L'Encyclopédie visuelle des aliments*. Montréal : Éditions Quebec Amérique. 256.
25. **Gharbi M., (2011).** *Les produits de la ruche : Origines - Fonctions naturelles - Composition Propriétés thérapeutiques Apithérapie et perspectives d'emploi en médecine vétérinaire*. Thèse de Doctorat en Médecine-pharmacie, Université Claude-Bernard - Lyon I, p. 221.
26. **Gheribi, R., Puchot, L., Verge, P., Jaoued-Grayaa, N., Mezni, M., Habibi, Y., & Khwaldia, K. (2018).** Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate polymers*, 190, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.085>
27. **Habibi Y., (2004).** Contribution à l'étude morphologique, ultra structurale et chimique de la figue de barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique. Thèse doctorat, université Joseph Fourier. Grenoble I, et Université Cadi Ayyad. Marrakech, 2004, 264 pp.
28. **Huffposte Algérie. (2015).** La figue de Barbarie, un fruit venu d'ailleurs devenu produit du terroir en Algérie. Disponible sur: ([https://www.huffpostmaghreb.com/2015/08/04/la-figue-de-barbarie-un-fruit-venudailleurs-devenu-produit-du-terroir-en-algerie\\_n\\_7932698.html](https://www.huffpostmaghreb.com/2015/08/04/la-figue-de-barbarie-un-fruit-venudailleurs-devenu-produit-du-terroir-en-algerie_n_7932698.html)) (Consulté le: 04/04/2019).
29. **Human H., Nicolson S.W., (2006).** Nutritional content of fresh, bee-collected and stored pollen of *Aloegreatheadii* var. *davyana* (Asphodelaceae). *Phytochemistry* 67, pp 1486–1491.

30. **Jean-louis., (2017).** Trappe à pollen d'entrée en bois. Bulletin n° 82.
31. **Jean-Prost P., (2005).** Apiculture : connaître l'abeille. Conduire le rucher. Edition 7. 698
32. **Jean-Prost P., Medori P., (2005).** Matière première. In Apiculture. Lavoisier : Yves le conte. Paris, pp : 161-183.
33. **Kadry, M., Megeed, R., Ghanem, H., Abdoon, A. S., Abdel-Hamid, A. Z. (2019).** Does glycogen synthase kinase-3  $\beta$  signaling pathway has a significant role in date palm pollen cancer therapy. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 18 (3) : 208-215.
34. **Kaškonienė, V. ; Adaškevičiūtė, V. ; Kaškonas, P. ; Mickienė, R. ; Maruška, A. (2020).** Activités antimicrobiennes et antioxydantes du pollen d'abeille naturel et fermenté. *Biosci.*, 34, 100532.
35. **KHATTOUF Naouel., KHELIFI Wafa Sarah. (2018).** Mémoire de master. Université Ibn Khaldoun –Tiaret.27p dos Santos, N.C.L., Malta, S.M., Franco, R.R. et al. Potentiel antioxydant et anti-Alzheimer du pollen d'abeille sans dard de *Tetragonisca angustula* (Jataí). *SciRep* 14, 308 (2037).
36. **Khayyal M.T., El-Ghazaly M.A., El-Khatib A.S. (2003).** A clinical pharmacological study of the potential beneficial effects of a propolis food product as an adjuvant in asthmatic patients. *Fundam Clin Pharmacol* 17: 93–102.24). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51091-3>
37. **Kieliszek, M. ; Piwowarek, K. ; Kot, A.M. ; Błażej, S. ; Chlebowska-Śmigiel, A., Wolska, I. (2018).** Le pollen et le pain d'abeille en tant que nouveaux produits axés sur la santé : une revue. *Tendances Food Sci. Technol.*, 71, 170 à 180.
38. **Knox, R.B. (1984).** Le grain de pollen. Dans *Embryologie des angiospermes* ; Johri, B.M., éd. ; Springer : Berlin/Heidelberg, Allemagne, p. 197 à 271. ISBN 978-3-642-69302-1.
39. **Koç AN., Silici S., Kasap F., Hörmet-Oz HT., Mavus-Buldu H., Ercal BD., (2011).** Antifungal activity of the honeybee products against *Candida* spp. And *Trichosporon* spp. *J. Med. Food* 14(1- 2):128-34.
40. **Kumazawa S., Goto H., Hamasaka T., Fukumoto S., Fujimoto T., Nakayama T. (2004).** A new prenylated flavonoid from propolis collected in Okinawa, Japan. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*.

41. **Maruyama, H. ; Sakamoto, T. ; Araki, Y. ; Hara, H. (2010).** Effet anti-inflammatoire de l'extrait d'éthanol de pollen d'abeille de *Cistus* sp. D'espagnol sur l'œdème de la patte postérieure de rat induit par la carraghénine. *Complément BMC. Altern. Med.*, 10, 30.
42. **Mohamed, N.A. ; Ahmed, O.M. ; Hozayen, W.G. ; Ahmed, M.A. (2018).** Effets améliorateurs du pollen d'abeille et du pollen de palmier dattier sur l'état glycémique et les dysfonctionnements sexuels masculins chez les rats Wistar diabétiques induits par la streptozotocine. *Biomed. Pharm.*, 97, 9-18.
43. **Moita., Eduarda., Gil-Izquierdo., Angel., Sousa., Carla., Ferreres, Federico., Silva., Luís R., Valentão., Patrícia., Domínguez-Perles., Raúl., Baenas., Nieves., Andrade., Paula B., (2013).** Integrated analysis of COX-2 and iNOS derived inflammatory mediators in LPSstimulated RAW macrophages pre-exposed to *Echium plantagineum* L. bee pollen extract. Vol. 8, n° 3, pp.59-131.
44. **Moreira L., Dias L.G., Pereira J.A., Estevinho L. M., (2008).** Antioxidant properties total phenols and pollen analysis of propolis samples from Portugal. *Food and Chemical Toxicology* 46, 3482-3485.
45. **Nabas Z., Haddadin M. S.Y., Haddadin J., Nazer I. K. (2014).** Chemical Composition of Royal Jelly and Effects of Synbiotic with Two Different Locally Isolated Probiotic Strains on Antioxidant Activities. *Food Nutr. Sci*, Vol. 64, No. 3, pp. 171-180.
46. **Neffar S., (2012).** Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk-ahras et Tébessa. Thèse de doctorat : biologie végétale. Annaba: Université Badji Mokhtar, 199 p.
47. Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11: 2574-2589.
48. **Osuna-Martínez U., Reyes-Esparza, J., Rodríguez-Fragoso, L. (2014).** Cactus (*Opuntia ficusindica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases: *Natural Products Chemistry & Research*. Vol. 2.
49. **Ozcan M. (2004).** Inhibition of *Aspergillus parasiticus* by pollen and propolis extracts. *J Med Food*, 7: 114 – 6.
50. **Ozcan M., Unver A., Ceylan DA., Yetisir R., (2004).** Inhibitory effect of pollen and propolis extracts *Nahrung* 48(3):188-194.

- 51. Pascoal., Ananias., Rodrigues., Sandra., Teixeira., Alfredo., Feás., Xesus., Estevinho., Leticia M., (2014).** Biological activities of commercial bee pollens: antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association. Vol. 63, pp. 233-239.
- 52. Percie du Sert P. (2003).** Ces pollens qui nous soignent Guy Trédaniel Editeur, 2nde édition, p211.
- 53. Percie du Sert P. (2017).** La force des produits de la ruche.
- 54. Piga, A. (2004).** Le figuier de Barbarie : un fruit d'importance nutraceutique et fonctionnelle. J. Prof. Assoc. Cactus Dev., 6, 9–22.
- 55. Prieto, P. ; Pineda, M. ; Aguilar, M. (1999).** Quantification spectrophotométrique de la capacité antioxydante par la formation d'un complexe phosphomolybdène : application spécifique à la détermination de la vitamine E. Anal. Biochem., 269, 337 à 341.
- 56. Przybyłek I., Karpinski T.M., (2019).** Antibacterial properties of propolis. Molecules 24, 2047; doi: 10.3390/molecule24112047. www.mdpi.com/journal/molecule.
- 57. Psomiadou E. & Tsimidou M., (2001).** Pigments in Greek virgin olive oils: occurrence and levels. Journal of The Science of Food and Agriculture. Vol. 81 : 640–647.
- 58. Ramadan, MF ; Mörsel, JT. (2003).** Lipides récupérés à partir de la peau de figue de Barbarie [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] : une bonne source d'acides gras polyinsaturés, de vitamines antioxydantes naturelles et de stérols. Food Chem., 83, 447–456.
- 59. Sáenz C., Berger H., Rodríguez-Félix A., Galletti L., García J. C., Sepúlveda E., Varnero M. T., de Cortázar V. G., García R. C., Arias E., Mondragón C., Higuera I., Rosell C., (2013).** Agro-industrial utilization of cactus pear. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp 1-150. E-ISBN 978-92-5-107987-4.
- 60. Saenz, C., Sepulveda, E., Matsuhira, B. (2004).** *Opuntia* spp mucilage's a functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environments. 57: 275-290.
- 61. Saenz. (2004).** Cactus pear fruit and cladodes: A source of functional components for foods. Acta hort 581, 253-263.
- 62. Samarakoon S.R., Thabrew I., Galhena P.B., Dilip D.S., Kamani H., Tennekoon K.H. (2010).** A comparison of the cytotoxic potential of standardized aqueous and ethanolic extracts of a polyherbal mixture comprised of *Nigella sativa* (seeds), *Hemidesmus indicus*

(roots) and *Smilax glabra* (rhizome). Cytotoxic role of a standardized poly-herbal mixture, 2(6) : 335-342. E-mail: ranganath148@yahoo.com; DOI: 10.4103/0974-8490.75451

63. **Schweizer M. (1997)**. Docteur Nopal le médecin du bon dieu. Paris, France : Aloe Plantes et Beauté. 19 p.
64. **Stintzing F.C., Carle R. (2005)**. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*, 49: 175-194. DOI 10.1002/mnfr. 200400071.
65. **Stintzing F.C., Schieber A., Carle R. (2002)**. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography–electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.50 : 2302-2307.
66. **Tebina M., Selikh M. (2023)**. Activité antioxydante de quelques produits de la ruche Algérienne. Mémoire de master Université Mohamed Khider Biskra. 37p
67. **Tesoriere L., Allegra M., Butera D., Livrea M.A., (2004)**. Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: Potential health effects of betalains in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*. Vol.80: 941–945.
68. **Trejo-González A., Gabriel-Ortiz G., Puebla-Pérez A.M., Huízar-Contreras M.D., del Rosario Munguía-Mazariegos M., Mejía-Arreguín S., Calva E., (1996)**. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology*. Vol.55: 27-33
69. **Wallace RS, Giles AC. (2002)**. Evolution and systematic. *Biology and Uses*, P.S. Nobel Ed, 1-21 pp. Disponible sur : [https://opuntiads.com/records/Cacti%20-%20Biology%20and%20Uses%20\(UC%20Press,%202003\).pdf](https://opuntiads.com/records/Cacti%20-%20Biology%20and%20Uses%20(UC%20Press,%202003).pdf) (Consulté le : 14/05/2019).
70. **Wang, B.; Diao, Q.; Zhang, Z.; Liu, Y.; Gao, Q.; Zhou, Y.; Li, S. (2013)**. Activité antitumorale des polysaccharides de pollen d'abeille de *Rosa Rugosa*. *Mol. Med. Rep.* 2013, 7, 1555-1558.

