

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

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département Ecologie Et Environnement**



**Mémoire de fin d'études**

**En Vue d'Obtention Du Diplôme Master En Ecologie Et Environnement**

**Spécialité : Biodiversité et Environnement**

**Etude de l'activité antibactérienne et  
antioxydante d'un gel à base de composés  
naturels**

**Présenter par**

**BOUAZIZ Yamina & TOUATI Alicia**

**Devant le jury**

**Présidente : Mme. CHIBANE. G**

**Maitre assistante (A)**

**Promotrice : Mme LARDJANE. N**

**Professeur**

**Co-promotrice : Mme DERMECHE. S**

**Maître de conférences (B)**

**Examinatrice : Mme. YAKOUBL. S**

**Maitre assistante (A)**

**Année universitaire : 2024/2025**

# Remerciement

Nos Remerciements Les Plus Sincères Et Les Plus Chaleureux S'adressent :

**À ALLAH**, Le Tout-Puissant, Qui Nous A Guidée Et Soutenue Tout Au Long De Ce Parcours. L'homme Propose, Mais Allah Dispose.

Nous Tenons A Exprimer Nos Profonds Remerciements A Notre Promotrice Madame **LAARDJEN.N**, Pour Sa Disponibilité, Ses Conseils Eclairés, Son Encadrement Rigoureux Et Sa Bienveillance Tout Au Long De Ce Travail. Merci Pour Votre Patience Et Votre Soutien Constant.

Nos Remerciements Vont Egalement A Notre Eco-Promotrice Madame **DERMECHE.S**, Pour Son Accompagnement, Sa Présence Et Ses Précieux Conseils Tout Au Long De Cette Etude.

Nos Remerciements S'étendent Egalement A Madame **Chenna.M**, Pour Son Aide Précieuse Et Ses Contributions Qui Nous Ont Grandement Soutenues Dans L'élaboration De Ce Mémoire.

Nous Adressons Aussi Nos Vifs Et Sincères Remerciements Aux **Membres Du Jury**, Pour L'intérêt Qu'ils Portent A Ce Travail, Le Temps Qu'ils Y Ont Consacré Et La Richesse De Leurs Remarques.

Nous Remercions Tout Particulièrement Le Personnel Des **Laboratoires De Physico-Chimie Et De Microbiologie** Pour Leur Accueil, Leur Disponibilité Et

Leur Aide Technique, Qui Ont Eté Essentiels A La  
Réalisation De Ce Mémoire, Même Si Nous Ne  
Connaissons Pas Tous Leurs Noms.

Enfin, Nos Remerciements Vont A Toutes Les  
Personnes Qui, De Près Ou De Loin, Ont Contribué A  
La Réussite De Ce Travail.

# Dédicace

*Avant toute chose, je remercie Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir guidée et soutenue tout au long de ce parcours.*

*À mes parents, il n'existe aucun mot assez fort pour exprimer l'amour, la reconnaissance et l'immense respect que je vous porte. Merci pour vos sacrifices, votre bienveillance et votre soutien constant. Que Dieu vous accorde santé et longue vie.*

*À mon frère Ghiles et son épouse Yasmine, à mon petit frère Faïz, à ma nièce Emma, ainsi qu'à ma sœur Fazia, je vous remercie pour votre présence, votre affection et votre encouragement tout au long de ces années.*

*Je tiens également à adresser ma gratitude à toutes les personnes qui ont compté dans ce chemin :*

*Mes amis chers à mon cœur — Amine, Ihssane — ainsi qu'à ma binôme Alicia, avec qui j'ai partagé cette belle aventure universitaire.*

*À tous mes camarades de la promotion Master 2 Biodiversité et Environnement, merci pour les échanges, les entraides et les souvenirs inoubliables.*

*Enfin, je remercie sincèrement l'ensemble de mes enseignants, depuis le début de mes études jusqu'à aujourd'hui, pour leur savoir, leur pédagogie et leur dévouement.*



# Dédicace

*Avant toute chose, je rends grâce à **Dieu**, Le Très-Haut, pour la force, la patience, la santé et les opportunités qu'Il m'a accordées tout au long de ce parcours.*

*Que ce mémoire soit, Incha'Allah, une source de satisfaction et d'élévation.*

*Je dédie ce mémoire, fruit de plusieurs années d'efforts et de persévérance, à ma famille **Touati**, source inépuisable de force, d'amour et de valeurs.*

*À **mes parents**, pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur foi constante en mes capacités.*

*À **ma sœur Asma**, et à **mes frères Yanis, Islam et Adem**, pour leur affection et leur inspiration quotidienne*

*À **mes oncles, mes tantes**, pour leur présence et leurs encouragements.*

*À **ma binôme Yamina**, pour son engagement, son soutien et les moments partagés et son amitié sincère.*

*À **mes enseignants**, pour leur dévouement, leur rigueur et la richesse de leurs enseignements.*

*À **mes amis**, pour leur bienveillance, leur écoute et leur motivation dans les moments de doute.*

*À toutes les personnes portant fièrement le nom **Touati**, symbole d'unité et d'honneur.*

*À **vous tous**, je rends hommage avec gratitude et respect.*

III



**ALICIA**

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

# **Sommaire**

# Sommaire

---

Liste des figures .....	VI
Liste des tableaux .....	VIII
Résumé : .....	Error! Bookmark not defined.
introduction .....	Error! Bookmark not defined.

## Synthèse bibliographique

1.Généralités sur l'olivier .....	4
I.1.Origine de l'olivier .....	4
I.2. Classification botanique de l'Olivier.....	5
I.3. Description botanique de l'Olivier .....	5
I.4.Répartition géographique de l'Olivier.....	7
I.4.1. Répartition géographique dans le monde.....	7
I.4.2. Répartition géographique dans l'Algérie .....	7
I.5.Les produits de l'Olivier .....	8
I.5.1. L'Olive .....	8
I.5.2. L'huile d'olive .....	9
I. Généralités sur le figuier de Barbarie .....	10
II.1. Origine et étymologie .....	10
II.2. Aire de répartition géographique .....	10
II.2.1. Le figuier de Barbarie dans le monde .....	10
II.3. Classification botanique .....	11
II.4. Description botanique.....	12

## Matériels et Méthodes

II. Matériels et méthodes .....	Error! Bookmark not defined.
II.1. Matériels .....	18
II.1.1. Matériel végétale .....	18
II.1.2. Matériel du laboratoire .....	19
II.2. Méthodes et protocoles expérimentaux.....	20
II.2.1. Préparation des solutions .....	20
II.2.2. Extraction des polyphénols totaux .....	21
II.2.3. Dosage des polyphénols totaux.....	21
II.2.3.1. Principe .....	21

# Sommaire

---

II.2.3.2. Mode opératoire .....	21
II.2.4. La courbe d'étalonnage .....	22
II.2.5. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode DPPH .....	23
II.2.6. Activités antibactériennes.....	25

## Résultats et discussions

III.1. Dosage des polyphénols :.....	29
III.2. Evaluation de l'activité antibactérienne :.....	30
III.3. Evaluation de l'activité antioxydante : .....	32
III.3.1. Activité antioxydante des extraits des cladodes avant broyage fin (1 <sup>ère</sup> essai DPPH ;100µl) .....	32
III.3.2. Activité antioxydante des extraits de cladodes à l'éthanol et à l'huile d'olive 1 <sup>ère</sup> essai (100 µL) .....	34
III.3.3. Activité antioxydante des cladodes avant broyage fin (2 <sup>ème</sup> essai avec volume d'extrait : 50µl) .....	36
III.3.4. Activité antioxydante des extraits de cladodes à l'éthanol et à l'huile d'olive 2 <sup>ème</sup> essai (50 µL) .....	38
III.3.5. Activité antioxydante des extraits de cladodes après broyage fin mesurée par le test DPPH avec un volume d'extrait : 100µl .....	39
III.3.5. Activité antioxydante des extraits de cladodes après broyage fin mesurée par le test DPPH avec un volume d'extrait : 50µl .....	42
III.4. Modalisation des résultats de l'activité antioxydante .....	44
III.4.1. Application de plan d'expérience pour surface de réponse dpph .....	44
III.4.2. Analyse globale des résultats d'essai.....	45
III.4.3. Analyse mathématique des résultats d'essai .....	47
III.4.4. Analyse statistique du modèle .....	47
III.4.4.1. Analyse de la variance.....	48
Conclusion et perspectives.....	59
Références bibliographiques .....	Error! Bookmark not defined.

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

**Liste des  
figures**

<b>Figure 1:</b> Distribution géographique des six sous espèces d'Olea europaea.....	4
<b>Figure 2:</b> Répartition géographique de l'olivier dans le bassin méditerranéen .....	7
<b>Figure 3:</b> Répartition de l'oléiculture en Algérie par régions .....	8
<b>Figure 4:</b> Répartition mondiale d'Opuntia ficus-indica .....	11
<b>Figure 5:</b> Localisation des zones d'échantillonnages .....	18
<b>Figure 6:</b> Echantillons de cladodes utilisés .....	19
<b>Figure 7:</b> Poudre obtenue après séchage .....	19
<b>Figure 8</b> Poudre de cladodes et éthanol .....	21
<b>Figure 9:</b> Poudre de cladodes et huile d'olive .....	21
<b>Figure 10:</b> Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	22
<b>Figure 11:</b> Extraits de cladodes testés par la méthode DPPH .....	24
<b>Figure 12:</b> Repiquage des souches tester.....	26
<b>Figure 13:</b> Imbibition des disques .....	27
<b>Figure 14:</b> Teneur en polyphénols totaux de différents stades de maturité des cladodes...	29
<b>Figure 15:</b> Activité antibactérienne des extraits de cladodes selon la maturité (1 <sup>ère</sup> essai).	30
<b>Figure 16:</b> Activité antibactérienne des extraits de cladodes selon la maturité (2 <sup>ème</sup> essai) .....	31
<b>Figure 17:</b> Résultats de l'activité antioxydante des cladodes avant broyage fin (DPPH 1 <sup>ère</sup> essai) .....	34
<b>Figure 18:</b> Résultats de l'activité antioxydante des cladodes après broyage fin (DPPH ;100µl).....	41
<b>Figure 19:</b> Résultats de l'activité antioxydante des cladodes après broyage fin (DPPH ;50µl).....	43
<b>Figure 20 :</b> Graphe d'adéquation du modèle de l'activité antioxydante du cladodes et l'huile d'olive .....	50
<b>Figure 21:</b> Diagramme de Pareto.....	50
<b>Figure 22:</b> Tracé de l'interaction moyenne.....	51



A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

**Liste des  
tableaux**

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1:</b> Classification de l'huile d'olive .....	9
<b>Tableau 2:</b> Principaux composants des cladodes .....	13
<b>Tableau 3:</b> Activités biologiques rapportées dans les cladodes .....	14
<b>Tableau 4:</b> Appareillages, verreries et réactifs chimiques utilisés .....	20
<b>Tableau 5:</b> souches de référence testées .....	25
<b>Tableau 6:</b> Activité antioxydante des extraits de cladodes avant broyage fin (test DPPH, volume d'extrait : 100 $\mu$ L).....	33
<b>Tableau 7:</b> Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'éthanol (test DPPH, 100 $\mu$ L).....	35
<b>Tableau 8:</b> Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'huile d'olive (test DPPH, 100 $\mu$ L) .....	35
<b>Tableau 9:</b> Activité antioxydante des extraits de cladodes avant broyage fin (DPPH, 50 $\mu$ L) .....	37
<b>Tableau 10:</b> Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'éthanol (test DPPH, 50 $\mu$ L .....	38
<b>Tableau 11:</b> Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'huile d'olive (test DPPH, 50 $\mu$ L.....	38
<b>Tableau 12:</b> Activité antioxydante des extraits de cladodes (après broyage fin) mesurée par le test DPPH (volume d'extrait : 100 $\mu$ L .....	40
<b>Tableau 13:</b> Activité antioxydante des extraits de cladodes (après broyage fin) mesurée par le test DPPH (volume d'extrait : 50 $\mu$ L.....	42
<b>Tableau 14:</b> Domaine expérimentale pour l'étude .....	45
<b>Tableau 15:</b> Matrice d'expérience, plan d'expérience et résultats expérimenté .....	46
<b>Tableau 16:</b> Analyse des coefficients .....	47
<b>Tableau 17:</b> coefficient du modèle. ....	48
<b>Tableau 18:</b> Analyse de régression.....	45



A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

# **Introduction**

# Introduction

---

L'industrie cosmétique et pharmaceutique est aujourd'hui confrontée à des défis croissants liés à l'efficacité, la sécurité et la durabilité des produits mis sur le marché. Face à la résistance accrue des micro-organismes aux agents antimicrobiens classiques et à l'intérêt croissant des consommateurs pour des produits d'origine naturelle, l'utilisation des ressources végétales constitue une alternative prometteuse pour le développement de formulations bioactives (**Salehi et al., 2019 ; Antunes-Ricardo et al., 2017**).

Dans ce contexte, l'huile d'olive (*Olea europaea L.*) et les cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) suscitent un intérêt particulier en raison de leur richesse en composés phénoliques, flavonoïdes, polysaccharides et vitamines, leur conférant des propriétés biologiques multiples : antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, voire protectrices contre certaines maladies métaboliques (**Nuñez-López et al., 2013 ; Filannino et al., 2016**).

L'huile d'olive, pilier de l'alimentation méditerranéenne, est largement reconnue pour ses effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire et son potentiel antioxydant élevé dû à sa teneur en acides gras mono-insaturés et composés phénoliques (**Kalua et al., 2007 ; Galanakis, 2011**). Elle est utilisée en cosmétique pour ses propriétés hydratantes, protectrices et réparatrices de la barrière cutanée. De son côté, le figuier de Barbarie, plante résistante aux conditions arides, produit des cladodes riches en mucilage, en antioxydants et en composés antimicrobiens naturels (**Avila-Nava et al., 2017 ; Msaddak et al., 2017**). Ces propriétés lui confèrent un fort potentiel dans la formulation de gels ou crèmes naturelles, notamment pour le soin de la peau. La combinaison de ces deux extraits naturels dans une seule formulation topique peut représenter une stratégie innovante pour concevoir un gel aux effets antioxydants et antibactériens, tout en valorisant les ressources végétales locales, peu coûteuses et renouvelables. L'usage excessif d'agents de conservation de synthèse et d'antibiotiques a conduit à des problèmes majeurs tels que les réactions allergiques, l'irritation cutanée et l'augmentation de la résistance bactérienne. Parallèlement, la demande des consommateurs pour des produits plus sûrs, plus naturels et respectueux de l'environnement pousse la recherche à explorer de nouvelles voies, notamment à partir d'extraits végétaux.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les activités antioxydante et antibactérienne d'un gel formulé à partir de composés naturels extraits des cladodes de figuier de Barbarie et d'huile d'olive. Il s'agit de :

# Introduction

---

- Formuler un gel à base de ces extraits ;
- tester l'activité antioxydante du gel par la méthode DPPH ;
- Comparer l'efficacité selon les méthodes d'extraction (solvant polaire ou lipidique) et l'état des échantillons (frais, broyés ou entiers) et d'évaluer son activité antibactérienne contre plusieurs souches bactériennes

Le présent mémoire est structuré en trois grandes parties. La première est consacrée à une synthèse bibliographique qui expose les principales caractéristiques botaniques, chimiques et biologiques de l'huile d'olive et du figuier de Barbarie, ainsi que leurs usages traditionnels et thérapeutiques. La deuxième partie décrit en détail le matériel et les méthodes utilisées pour la préparation des extraits, la formulation du gel et l'évaluation de ses activités biologiques. Enfin, la troisième partie présente les résultats expérimentaux, suivis d'une discussion, en les confrontant aux données de la littérature existante. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale et des perspectives.



**Synthèse  
bibliographique**

# Synthèse bibliographique

## 1. Généralités sur l'olivier

### 1.1. Origine de l'olivier

L'olivier (*Olea europaea*) est l'un des arbres les plus emblématiques du bassin méditerranéen. Cultivé depuis plus de 7 000 ans (Langgut et al., 2019), il est apprécié pour ses olives et son huile, des produits de base dans l'alimentation méditerranéenne, reconnus pour leurs bienfaits nutritionnels et thérapeutiques (Sébastien, 2010 ; Galanakis, 2011). Sa culture, fortement ancrée dans les traditions agricoles des pays méditerranéens, contribue également à la préservation des paysages et à la stabilisation des sols (Sekour, 2012).

L'olivier appartient au complexe *Olea europaea* pour lequel six sous espèces ont été définies en utilisant les caractères morphologiques (Green et Wickens, 1989 ; Vargas et Kadereit, 2001). Chacune de ces sous espèces a une distribution spécifique (figure 01) :

- *Olea europaea* subsp. *Europaea* : l'olivier méditerranéen composé de deux formes (l'olivier sauvage appelé oléastre et l'olivier cultivé) ;
- *Olea europaea* subsp. *Marocana* : endémique du sud du Maroc ;
- *Olea europaea* subsp. *Laperrinei* : montagnes du Sahara (Hoggar) ;
- *Olea europaea* subsp. *Cerasiformis* : endémique de l'île Madeira ;
- *Olea europaea* subsp. *Guanchica* : endémique des îles Canaries ;
- *Olea europaea* subsp. *Cuspidata* : du sud de l'Afrique à la Chine ;

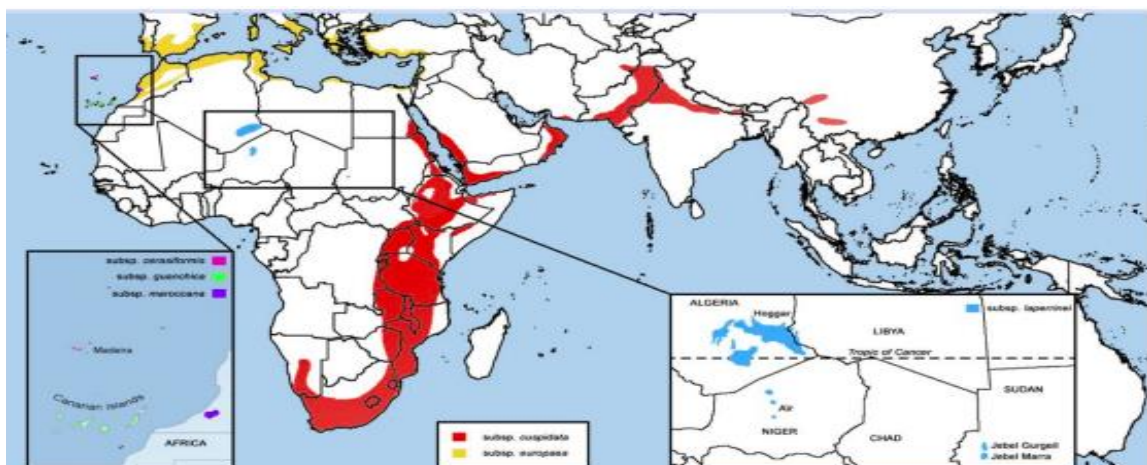


Figure 1: Distribution géographique des six sous espèces d'*Olea europaea* (Kassa et al., 2019)

# Synthèse bibliographique

---

Aujourd'hui l'olivier a franchi les frontières de la Méditerranée pour se répandre sur tous les continents, excepté... en Antarctiques : on trouve en effet des oliveraies en Afrique du sud, en Chine et au Vietnam, en Océanie méridionale, en Amérique du Nord, en Amérique Centrale et en Amérique du sud, et la production mondiale d'huile d'olive ne cesse d'augmenter depuis les années 1900. Cependant l'Italie et l'Espagne sont les deux plus grands producteurs d'huile d'olive au monde; derrière eux, on trouve la Grèce, la Turquie, la Tunisie et le Maroc (Villa, 2003).

## I.2. Classification botanique de l'Olivier

La classification botanique de l'olivier selon (Ghedira, 2008) est la suivante

**Règne** : Plantae ;

**Sous Règne** : Tracheobionta ;

**Division** : Magnoliophyta ;

**Classe** : Magnoliopsida ;

**Sous-classe** : Asteridae ;

**Ordre** : Scrophulariales ;

**Famille** : Oleaceae ;

**Genre** : *Olea* ;

**Espèce** : *Olea europaea* L ;

**Variété** : *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *europaea*.

## I.3. Description botanique de l'Olivier

L'olivier (*Olea europaea* L.) est un arbre emblématique du climat méditerranéen, largement cultivé dans les régions arides subtropicales (Lavee, 1997). Il s'adapte facilement à des conditions environnementales extrêmes, notamment la sécheresse, la salinité (Maas et Hoffman, 1977). La chaleur et les basses températures. Toutefois, il reste sensible au gel et peut se développer avec une pluviométrie d'environ 220 mm par an. L'olivier possède des racines, elles sont bandées et avec beaucoup de ramifications superficielles s'étendent de 2 à 3 fois la hauteur de la plante et poussent en profondeur

# Synthèse bibliographique

---

dans les sols fertiles, jusqu'à 1,5 à 2 mètres (**Amouretti et Comet, 1985**). Le système racinaire a les fonctions suivantes :

- Ancrage de l'arbre ;
- Absorption de l'eau et des nutriments ;
- Synthèse de diverses matières organiques ;
- Stockage des nutriments .

Les fonctions du système racinaire dépendent de la variété, des conditions du sol et des pratiques culturales (**Therios, 2009**).

## Tronc

Il est variable en aspect et en couleur selon l'âge. Chez les jeunes arbres, il est droit, circulaire, lisse et de couleur gris-verdâtre. En vieillissant, il devient noueux, crevassé et élargi à la base, prenant une couleur gris foncé presque noire (**Loussert et Brousse, 1978**).

## Feuilles

Les feuilles sont relativement petites, opposées, ovales et lancéolées aux bords entiers de couleur vert foncé et vert argenté au verso. Elles apparaissent sur les branches du printemps à l'automne et vivent une année voir plus. À l'aisselle de chaque feuille, un bourgeon qui peut donner naissance à une inflorescence (bourgeon floral) ou à un bourgeon à bois. La structure anatomique des feuilles de l'olivier lui permet de s'adapter au milieu de haute température (transpiration élevée) pour la minimisation des pertes d'eau (**Belguerri, 2016**).

## Inflorescences

Ils sont constitués de grappes de fleurs blanches, généralement regroupées en grappes de 4 à 6 ramifications secondaires, avec un nombre total de fleurs par grappe allant de 10 à 40 (**Loussert et Brousse, 1978**).

## Fruit

Il est une drupe appelée olive, qui peut être sphérique, ovoïde ou allongée. À maturité, les olives passent d'une couleur verte à une couleur noire (**Therios, 2009**).

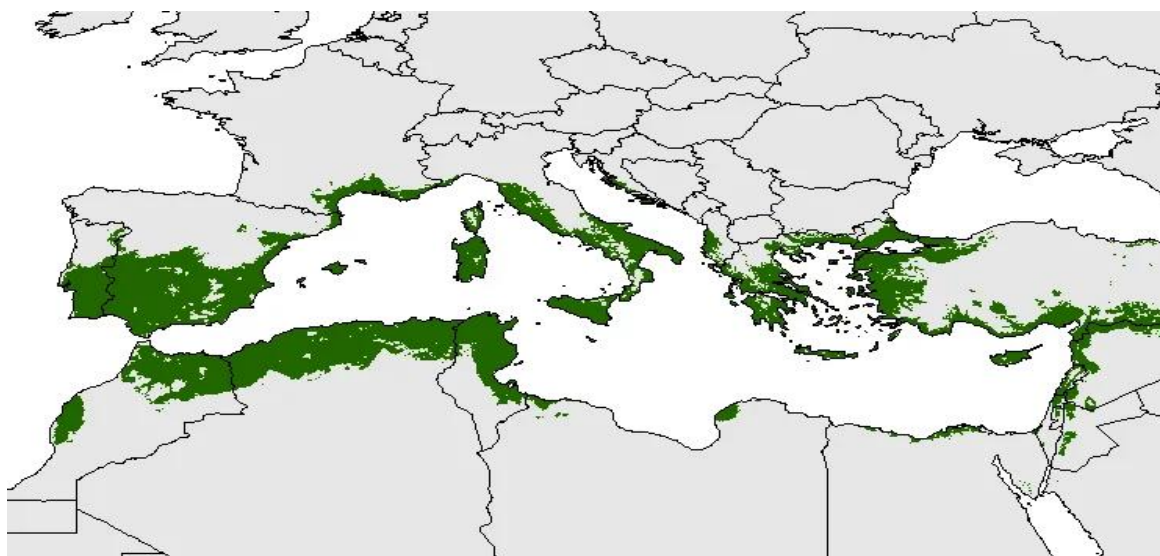
# Synthèse bibliographique

---

## I.4. Répartition géographique de l'Olivier

### I.4.1. Répartition géographique dans le monde

L'olivier est désormais cultivé dans toutes les régions du monde situées entre les latitudes 30 et 45 des deux hémisphères, notamment en Amérique (Californie, Mexique, Brésil, Argentine, Chili), en Australie, ainsi qu'en Chine, au Japon et en Afrique du Sud. Actuellement, on dénombre plus de 900 millions d'oliviers cultivés à travers le globe, bien que le bassin Méditerranéen demeure sa région de prédilection, représentant près de 95 % des superficies oléicoles mondiales (**Lazzeri, 2009**), (**figure 2**).



**Figure 2 : Répartition géographique de l'olivier dans le bassin méditerranéen (Argenson, 2008)**

### I.4.2. Répartition géographique dans l'Algérie

La superficie totale du verger oléicole national s'élève, à environ 389 000 ha pour plus de 25 millions d'arbres (**Lamani et Ilbert, 2016**). L'oléiculture est concentrée exclusivement au niveau de 6 principales wilayas, trois wilayas de la région du Centre, qui représente plus de 50 % de la surface oléicole nationale (Bejaia, Tizi-Ouzou, Bouira) et trois de la région Est (BordjBourreridj, Sétif et Jijel). (**Figure 3**).

# Synthèse bibliographique

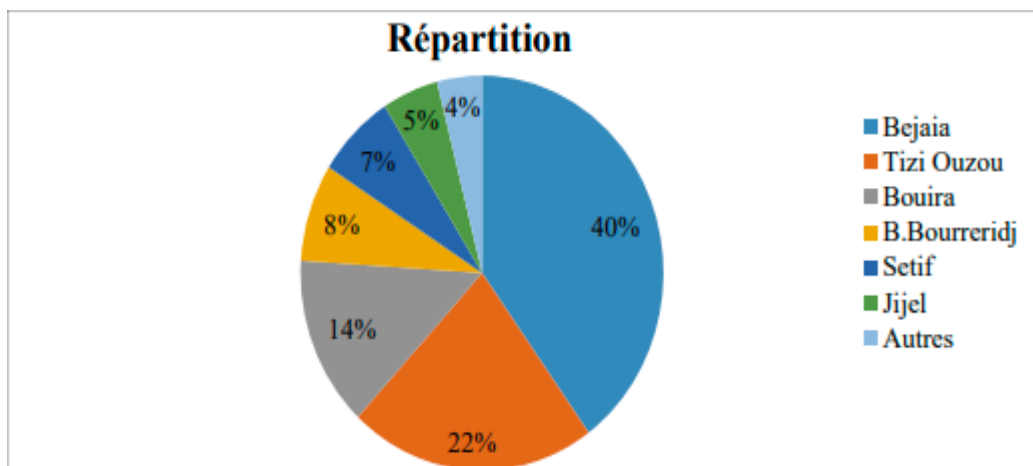


Figure 3 : Répartition de l'oléiculture en Algérie par régions (Hadjou et al 2013).

## I.5. Produits de l'Olivier

L'olivier est une source précieuse de deux produits majeurs : les olives, destinées à la consommation directe, et l'huile d'olive, obtenue après trituration. D'autres ressources, comme les feuilles, les margines, le grignon et le bois, peuvent également être exploitées pour différents usages.

### I.5.1. Olive

L'olive, fruit de l'olivier, est une drupe composée de trois parties : l'exocarpe, qui correspond à sa peau, le mésocarpe, représentant la partie comestible et constituant entre 70 et 90 % du poids total (Galanakis, 2011) et l'endocarpe, qui renferme le noyau et représente environ 10 à 30 % du poids du fruit. Son développement, de la floraison à la récolte, s'étend sur environ cinq mois dans des conditions climatiques normales (Ghanbari et al., 2012). La taille des olives dépend de plusieurs facteurs, notamment la disponibilité en eau, la fertilité du sol, la température et les caractéristiques génétiques de chaque variété (Hammami et al., 2011).

Les olives ne peuvent être consommées directement en raison de leur forte amertume, causée par la présence d'oleuropéine et de ses dérivés dans la pulpe (Vinha et al., 2005). Sur le plan nutritionnel, elles sont constituées de plus de 50 % d'eau, tandis que les fibres et les protéines sont présentes en quantités plus modestes (respectivement 5 à 6 % et 1,6 à 3 %) (Conde et al., 2008). Cependant, leur richesse principale réside dans leur forte teneur en huile, qui varie entre 14 et 30 %. (Rallo et al., 2018).

# Synthèse bibliographique

## I.5.2. L'huile d'olive

L'huile d'olive est l'huile provenant uniquement du fruit de l'olivier (*Olea europaea L*), à l'exclusion des huiles obtenues par solvants ou par des procédés réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autres nature (Codex Alimentarius, 2017). D'après le conseil oléicole international (C.O.I, 2018), l'huile d'olive vierge est toute huile extraite du fruit de l'olivier (*Olea europaea. L*) uniquement par des procédés mécanique ou autres procédés physique, dans des conditions notamment thermiques qui ne dégradent pas l'huile.

L'huile d'olive vierge ne doit avoir été soumise à aucune autre agression telle que traitement par lavage, clarification, centrifugation et filtration. Le tableau 1 présente la classification des huiles d'olives selon le (Conseil Oléicole International, 2018).

Tableau 1: Classification de l'huile d'olive (C.O.I, 2018).

Catégories de l'huile d'olive		Acidité (%)
Huile d'olive vierge	Huile d'olive extra vierge	$\leq 0.8$
	Huile d'olive vierge	$\leq 2$
	Huile d'olive vierge courante	$\leq 3.3$
	Huile d'olive lampante	$\geq 3.3$
Huile d'olive raffiné (obtenue des huiles d'olive vierge par des techniques de raffinage)		$\leq 0.3$
Huile d'olive (obtenue par coupage d'huile d'olive raffinée et d'huile d'olive vierge propre à la consommation)		$\leq 1$
Huile de grignon d'olive	Huile de grignon d'olive brute	-
	Huile de grignon d'olive raffiné	$\leq 0.3$
	Huile de grignon d'olive	$\leq 1$

### I.5.2.1. Composition chimique de l'huile d'olive

L'huile d'olive est un système chimique complexe constituer de plus de 250 composés (Angerosa et al 2004 ; Aparicio et al., 1994 ; Kiritsakis.,1993). La composition de l'huile d'olive change selon la variété du fruit, la région de culture et des conditions climatiques (Kalua et al., 2007). Comme toutes les huiles végétales, l'huile

# Synthèse bibliographique

---

d'olive est composée d'une fraction saponifiable (triglycérides) et d'une fraction insaponifiable (composants mineurs) (Ollivier et al., 2004).

- ✚ **La fraction saponifiable** (des éléments majeurs, 98 % du poids total d'huile) : triglycérides et acides gras ;
- ✚ **La fraction insaponifiable** (des composants mineurs, 2 % du poids total d'huile).

## I. Généralités sur le figuier de Barbarie

### II.1. Origine et étymologie

L'*Opuntia ficus indica* est un grand genre d'arbustes succulents avec plus de 360 espèces appartenant à la famille des cactaceae (Kalegowdaet al.,2016). Le figuier de barbarie, figuier d'inde ou figuier épineux est originaire des régions arides et semi arides du Mexique (Nharingo et Moyo, 2016).

Il vit principalement dans les régions aux précipitations peu abondantes, aux longues périodes de sécheresse et à l'ensoleillement intense. Il a été utilisé par l'homme depuis 6500 ans AJC et fut l'une des alimentations de base des populations indigènes (Araba et al., 2000) . On compte de nos jours 1500 espèces de cactus appartenant au genre *Opuntia* ; distribuées dans de nombreux pays à l'exemple du Mexique, des Etats Unis, la Chine, l'Afrique et l'Italie (El kassori et al., 1998 ; Feugang et al., 2006). L'étymologie d'*Opuntia ficus indica* diffère selon les régions et les cultures. Les noms vernaculaires varient d'At-tîneach-chûkî en Arabe, à Hendi, Karmous en neçara ou Sobbaïra en Targui ou berbère, tandis que cette baptismation devient Figuier de Barbarie, nopal ou Figuier d'inde en Français (Oued et al., 1990 ; Beloued, 2009 ; Moussaoui, 2014).

### II.2. Aire de répartition géographique

#### II.2.1. Figuier de Barbarie dans le monde

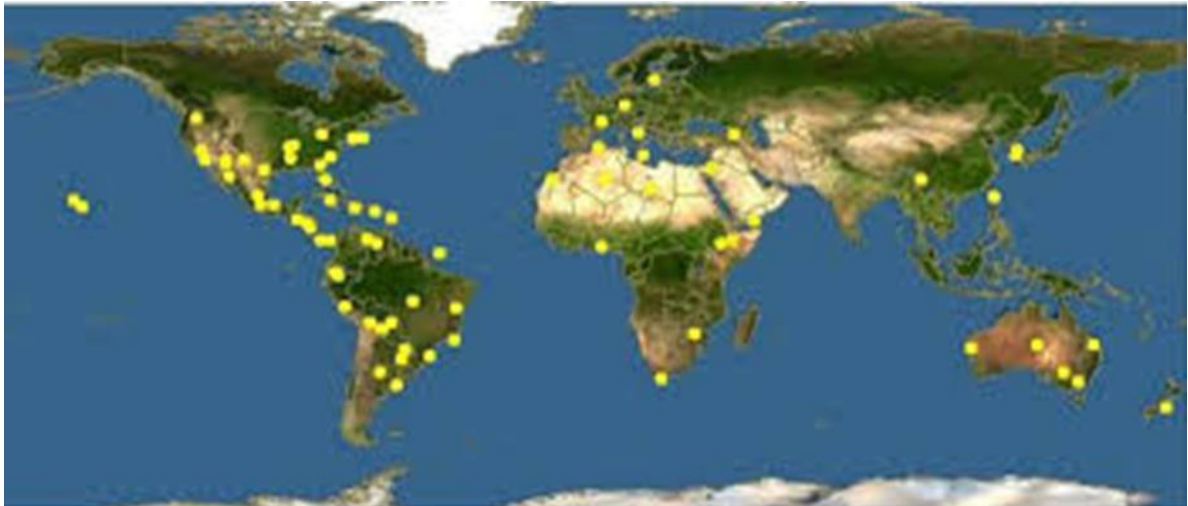
La distribution géographique de *l'Opuntia ficus-indica* est très large, se trouve au Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine et Afrique du Nord (Berbera et al., 1992). De même sa culture est largement rependue dans le bassin Méditerranéen

# Synthèse bibliographique

---

(Italie, Espagne, Grèce, Algérie, Tunisie et Maroc ...etc.), On le trouve également au Canada, en Argentine et au Pérou à une altitude élevée.

De nos jours, le figuier de Barbarie est introduit et cultivé dans plus de 30 pays comme plante cosmopolite servant de fourrage et de production de fruits. (**Anonyme, 2010**). (**Figure 4**).



**Figure 4: Répartition mondiale d'*Opuntia ficus-indica* (Bennatia F, 2017)**

## II.3. Classification botanique

Selon **Dubeux et al, (2006)**, la position systématique du figuier de barbarie est la suivante :

- ✓ **Règne** : Plantae ;
- ✓ **Sous règne** : Tracheobionta ;
- ✓ **Division** : Magnoliophyta ;
- ✓ **Classe** : Magnoliopsida ;
- ✓ **Sous-classe** : Caryophyllidae ;
- ✓ **Ordre** : Caryophyllales ;
- ✓ **Famille** : Cactaceae ;
- ✓ **Sous-famille** : Opuntioideae ;
- ✓ **Tribu** : *Opuntieae*

;

# Synthèse bibliographique

---

✓ **Genre** : *Opuntia* ;

✓ **Sous-genre** : *Platyopuntia* ;

✓ **Espèce** : *Opuntia ficus indica*.

## II.4. Description botanique

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente, succulente, appelée communément plante grasse (vivace), qui peut mesurer de 3 jusqu'à 5 mètres de hauteur (**Bouayad, 2012**). Il peut vivre très longtemps (permanent) grâce à sa capacité à emmagasiner l'eau dans ses racines ou dans ses tiges et feuilles de manière à limiter la transpiration (**El Kharrassi, 2015**).

Chaque partie de la plante possède ses propres particularités que ce soit au niveau morphologique ou fonctionnel (**Chougi et al., 2015**).

### ❖ Cladodes

Les cladodes ou raquettes sont des tiges aplaties pouvant atteindre 40 à 50 cm de longueur et 20 à 30 cm de large. Elles sont pourvues d'aréoles, organe important dans la formation des épines, des fleurs et des rameaux (**HCDS, 1994**). L'épiderme des cladodes contient des stomates en nombre réduit et enfoncés dans ces tissus (**Kadik, 1974**). Le suc cellulaire du cladode concentré et mucilagineux permet à la plante de limiter la transpiration et donc de résister à la sécheresse (**Khouri, 1970**).

La variété inerme peut cependant devenir épineuse lorsqu'elle est transplantée brusquement dans un autre environnement. Comme ce fut le cas en 1964, lorsque l'*Opuntia* a été transféré de Tunisie au Togo ; Il a été observé le même phénomène dans les zones désertiques, la variété inerme qui se comporte bien dans ces zones devient épineux dès la deuxième année (**Mahmoudi, 2000**).

Le tableau 2 présente les principaux composants des cladodes (**Moussaoui, 2020**).

# Synthèse bibliographique

---

Tableau 2: Principaux composants des cladodes (Moussaoui, 2020)

Constituants	Matière fraîche (g /100g)	Matière sèche (g/100g)
Eau	88-95	/
Protéines	0.5-1.00	4-10
Matière grasse	0.2	4-10
Cendre	1-2	1-4
Fibre	1-2	19-23
Carbohydrates	37	64-71

De plus, les cladodes sont particulièrement riches en polymères des hydrates de carbone, appelé le mucilage.

## ❖ Fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites, généralement grande et belle, comprend un style unique et stigmaté digité entouré de nombreux verticilles d'étamines et d'un nombre défini des tépales. la couleur des tépales est souvent jaune, orange ou rougeâtre (H.D.C.S, 1994).

## ❖ Fruits

Les figues de Barbarie sont des fruits arrondis ou pyriformes, de couleur pourpre plus ou moins foncée, ou parfois jaunâtre. Ces fruits contiennent une pulpe juteuse et sucrée, rouge ou jaune, qui contient de nombreuses petites graines (Mulas, 2004).

Il est distingué jusqu'à trois types de fruits selon l'importance de jus, de la pulpe et des grains.

## ❖ Graines

Présentes dans le fruit sont nombreux. Elles sont libres ou adhérentes à la pulpe peuvent représenter jusqu'à 15 % du poids du fruit (LOPEZ et BURGOS, 1973). C'est la présence des graines et des glochides sur la peau qui réduit leur acceptabilité par les consommateurs occidentaux non habitués (HADJ SADOK, 2010).

# Synthèse bibliographique

## ❖ Système racinaire

L'enracinement de l'Opuntia est généralement de type fasciculé mais lorsque le sol est meuble les racines peuvent aller à plusieurs mètres de profondeur (**Kadik, 1974**).

- Par restriction de la surface des racines en diminuant leur perméabilité à l'eau ;
- Par une absorption rapide de faibles quantités d'eau provenant du rosé du matin à partir des racines fines qui peuvent se développer juste après une averse, puis disparaître par la suite.

## ❖ Activités biologiques des cladodes

Les cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) sont riches en composés bioactifs tels que les polyphénols, polysaccharides et certains pigments naturels. Ces substances leur confèrent un large éventail d'activités biologiques démontrées par plusieurs études. En effet, les extraits de cladodes ont montré des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antidiabétiques, antimicrobiennes et même neuroprotectrices. Leur richesse en antioxydants permet de neutraliser les radicaux libres, tandis que leurs effets hypoglycémiant et hypocholestérolémiant les rendent intéressants pour la prévention de certaines pathologies métaboliques comme le diabète de type 2 ou les maladies cardiovasculaires (**Antunes-Ricardo et al., 2017 ; Nuñez-López et al., 2013 ; Filannino et al., 2016**).

**Tableau 3: Activités biologiques rapportées dans les cladodes**

Activité biologique	Composé bioactif	Référence
Anti-inflammatoire	Glycosides d'isorhamnétine	<b>Antunes-Ricardo et al. (2017)</b>
	Conjugués d'isorhamnétine	<b>Antunes-Ricardo et al. (2015)</b>
	Flavonoïdes	<b>Filannino et al. (2016)</b>
Antidiabétique	Farines obtenues à partir de différents stades de maturité	<b>Nuñez-López et al. (2013)</b>
	Glucides et leucine	<b>Deldicque et al. (2013)</b>

## Synthèse bibliographique

Activité antimicrobienne et anti-biofilm	Polyphénols	<b>Avila-Nava et al. (2017)</b>
Antioxydants	Polysaccharides	<b>Nuñez-López et al. (2013)</b>
	Cladode déshydraté	<b>López-Romero et al. (2014)</b>
	Polyphénols	<b>Avila-Nava et al. (2014)</b>
	Flavonoïdes	<b>Filannino et al. (2016)</b>
	Polyphénols	<b>Msaddak et al. (2017)</b>
	Polyphénols	<b>Smida et al. (2017)</b>
	Polyphénols	<b>Kechebar et al. (2017)</b>
	Polyphénols	<b>Smida et al. (2017)</b>
	Polyphénols	<b>Petruk et al. (2017)</b>
	Polyphénols	<b>Andreu et al. (2018)</b>
	Polyphénols	<b>De Santiago et al. (2018)</b>
	Quercétine, isorhamnétine et kaempférol	<b>Salehi et al. (2019)</b>

## Synthèse bibliographique

	Cladodes de cactus fermentés	<b>De Santiago et al. (2019)</b>
Propriétés hypoglycémiantes	Farines obtenues à partir de différents stades de maturité	<b>Slimen et al. (2019)</b>
Hypercholestérolémie	Dérivés d'isorhamnétine et acide piscidique	<b>Antunes-Ricardo et al. (2017)</b>
Activité neuroprotectrice	Polyphénols	<b>Antunes-Ricardo et al. (2015)</b>
Immunoprotecteur	Polyphénols	<b>Nuñez-López et al. (2013)</b>
Propriétés thermoprotectrices	Bétanine	<b>Deldicque et al. (2013)</b>
Antiprolifératif dans le carcinome du côlon humain	Polyphénols	<b>Serra et al. (2013)</b>
Potentiel prébiotique	Polyphénols, Cladodio	<b>Sánchez Tapia et al. (2017)</b>

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, framing the central text.

**Matériels et  
Méthodes**

# Matériels et Méthodes

La partie expérimentale de notre travail a été menée au sein des laboratoires de recherche en physico- chimie et en microbiologie de l'université MOULOUD MAMMERI de Tizi Ouzou (UMMTO), durant la période comprise entre le mois de février 2025 et mois d'avril 2025.

Cette étude a permis de valoriser des cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) de différentes tailles, en évaluant leur activité antioxydante à travers des extraits éthanoliques et de l'huile d'olive, ainsi que leur activité antibactérienne sur les différentes souches.

## II.1. Matériels

### II.1.1. Matériel végétal

Des échantillons de cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus -indica*), ont été récoltés à l'état frais au niveau de village Azouza commune Larbaa Nath Irathen de la wilaya de Tizi Ouzou, au mois de février et Mars 2025, un échantillon de l'huile d'olive (*Olea europaea*), a été pris d'une huilerie traditionnelle dans la commune de Frikat de la wilaya de Tizi-Ouzou. (Figure 5).

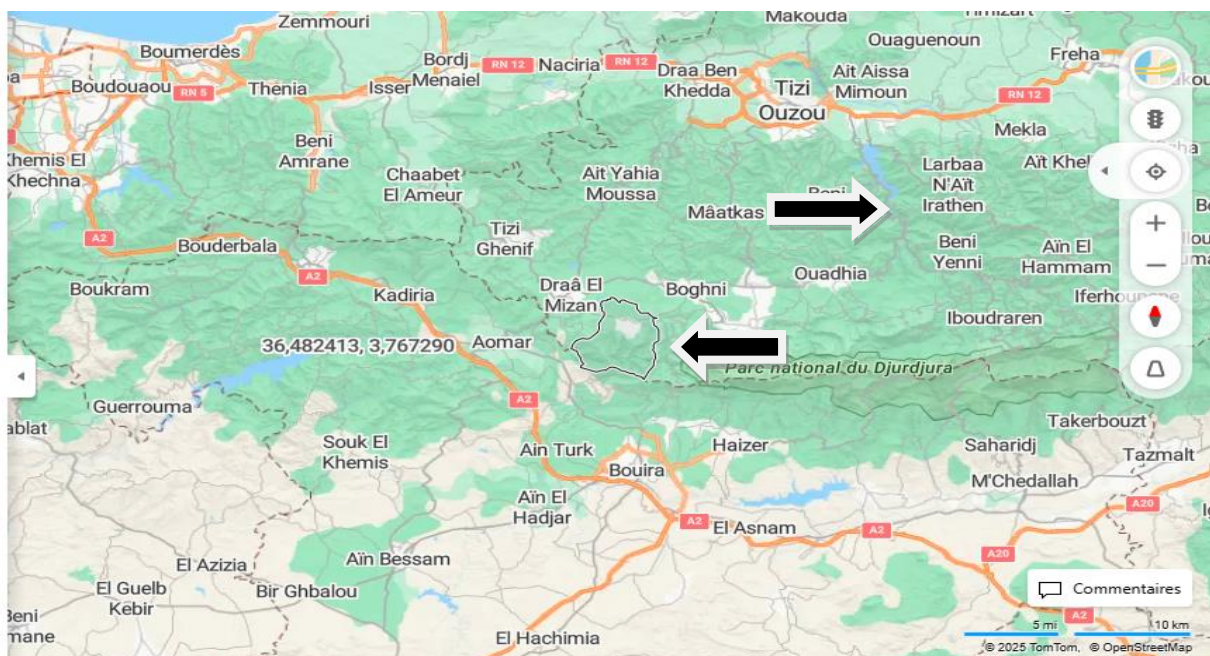


Figure 5 : Localisation des zones d'échantillonnages (Google maps ; 2025)

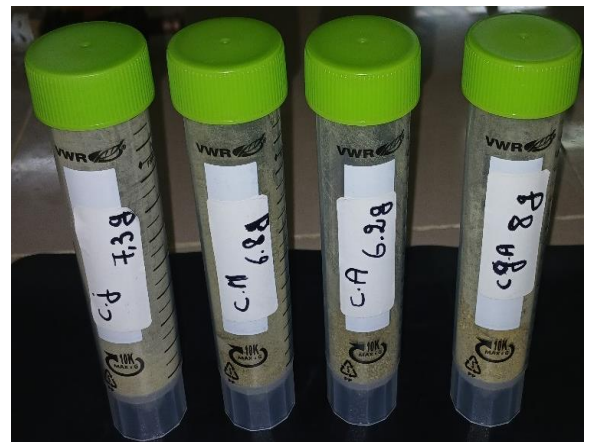
# Matériels et Méthodes

---

**Préparation des échantillons** : des cladodes ont été nettoyés et leurs épines éliminées, pour être ensuite lavés par l'eau de robinet et rincés à l'eau distillée. Par la suite, les échantillons ont été divisés en deux parties. La première a été directement broyée afin d'être conservée à l'état frais par congélation en vue d'analyses ultérieures. La seconde partie a été séchée à l'étuve à une température de 50 °C, puis broyée à l'aide d'un moulin à café pour obtenir une poudre fine. Cette poudre a ensuite été stockée dans des flacons hermétiquement fermés (**Figures 6 et 7**) photo originale.



**Figure 6: Échantillons de cladodes utilisés**



**Figure 7: poudre obtenue après séchage**

## II.1.2. Matériel du laboratoire

Le tableau récapitule la verrerie, le matériels et les réactifs utilisés pour réaliser la partie pratique de ce travail.

# Matériels et Méthodes

Tableau 4: Appareillages, verreries et réactifs chimiques utilisés

Appareils et verreries	Produits consommables	Produits chimiques	Milieux de culture
Autoclave	Boîtes de pétri	Carbonate de Sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	Milieu Muller Hinton (MH)
Bain marie	Cuves de Spectrophotomètre	Eau distillée	Milieu Gélose nutritive (GN)
Barreaux magnétiques	Embouts jaunes et bleus	Ethanol 96°	
Béchers différents volumes	Pipettes pasteur Eppendorf	Folin-Ciocalteu.	
Centrifugeuse	Éprouvettes	DPPH	
Étuve	Écouvillons	(2,2Diphenyl-1picrylhydrazyl)	
Micropipettes réglables	Tubes à essais	Eau physiologique	
Mixeur	Tubes ECBU	Acide ascorbique.	
Moulin à café	Les tubes à Centrifugation	Acide gallique.	
Réfrigérateur et congélateur	Flacons	Vitamine C	
Spectrophotomètre	Spatules		
Verres de montre	Papier wattman		
Balance de précision	Papier aluminium		
Balance	Papier film		
Agitateur magnétique			
Bec Bunsen			
Broyeur électrique			
Vortex			

## II.2. Méthodes et protocoles expérimentaux

### II.2.1. Préparation des solutions

Les solutions suivantes ont été préparées pour les différentes étapes expérimentales :

- Carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) : 7,5 g dissous dans 100 ml d'eau distillée ;
- Acide gallique : 10 mg dissous dans 100 ml d'eau distillée ;
- Solution physiologique : 0,9 g de NaCl dissous dans 100 ml d'eau distillée ;
- DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) : 4 mg dissous dans 100 ml d'éthanol.

# Matériels et Méthodes

## II.2.2. Extraction des polyphénols totaux

L'extraction des polyphénols totaux a été réalisée à partir de huit tubes contenant chacun un échantillon de cladodes à différents stades de maturité. Les quatre premiers ont été préparés avec 1g de poudre macérée dans 10 ml d'éthanol 96° (**Figure 8**), tandis que les quatre suivants contenaient la même quantité de poudre mais en utilisant 10 ml d'huile d'olive comme solvant (**Figure 9**). Tous les extraits ont été conservés à l'obscurité jusqu'à leur utilisation.



Figure 6: Poudre de cladodes et éthanol



Figure 7: Poudre de cladodes et huile d'olive

## II.2.3. Dosage des polyphénols totaux

### II.2.3.1. Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est composé de deux substances chimiques, le phosphotungstate ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et le phosphomolybdate ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ), qui réagissent avec les composés phénoliques en milieu alcalin. Lors de cette réaction, les composés phénoliques transfèrent des électrons aux éléments chimiques tungstène et molybdène, ce qui provoque un changement de couleur (**Ribéreau-Gayon, 1968**). La couleur bleue qui apparaît est mesurée à une longueur d'onde de 765 nm, et son intensité est directement liée à la quantité de phénols présents dans l'échantillon (**Georgé et al., 2005**). Cette méthode permet ainsi d'estimer la teneur totale en composés phénoliques.

### II.2.3.2. Mode opératoire

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé à partir des mêmes extraits issus lors de l'étape d'extraction, en utilisant la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu,

## Matériels et Méthodes

largement employée pour quantifier les composés phénoliques dans les matrices végétales (Volf et al.,2014). Pour chaque échantillon, une dilution initiale a été préparée en mélangeant 100 µl d'extrait avec 900 µl d'eau distillée. À partir de cette solution, des dilutions successives ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$ ) ont été réalisées. Chaque dilution a été analysée en triplicata afin de garantir la reproductibilité des résultats. Après préparation des dilutions, 500 µl de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés à chaque eppendorf. L'ensemble a été incubé pendant 8 min à l'obscurité. Ensuite,400 µl de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ont été ajoutés, suivis d'une incubation de 30 min à l'obscurité. La lecture de l'absorbance a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre, à une longueur d'onde de 765 nm, contre un blanc sans extrait. La quantification des composés phénoliques totaux a été effectuée en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire de la forme ( $y= a x$ ) à base d'acide gallique.

### II.2.4. Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage a été établie à l'aide de solutions d'acide gallique de concentrations croissantes, préparées à partir d'une solution mère. Pour chaque concentration, 500 µL du réactif de Folin-Ciocalteu sont ajoutés, suivis d'une incubation de 8 minutes à l'obscurité. Ensuite, 400 µL de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sont ajoutés les mélanges sont incubés pendant 30 minutes à l'obscurité. La lecture de l'absorbance est effectuée à 765 nm contre un blanc.

La courbe d'étalonnage, illustrée dans la figure ci-dessous (**Figure 10**), a été réalisée dans les mêmes conditions expérimentales que celles appliquées aux extraits, en utilisant différentes concentrations d'acide gallique.

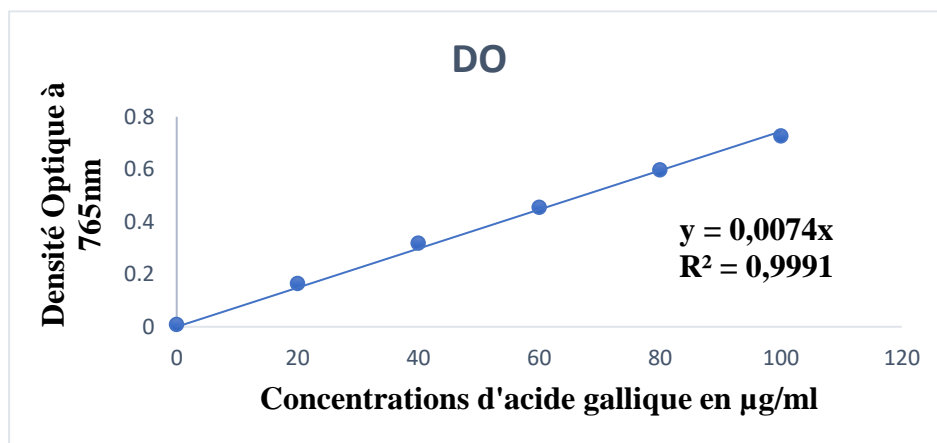


Figure 8: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

# Matériels et Méthodes

---

## II.2.5. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode DPPH

L'activité antioxydante de nos différents extraits ont été évaluée par la méthode du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), présentant une forte coloration violette due à la délocalisation de son électron célibataire autour de la molécule, est utilisé pour estimer l'activité antiradicalaire. L'efficacité d'un antioxydant (capacité à réparer les radicaux libres) est mesurée en suivant la diminution de la coloration violette à 517 nm. Lorsqu'un antioxydant est présent dans l'environnement, un proton est libéré et se fixe au DPPH, ce qui entraîne une diminution de l'intensité de la couleur (**Gulcin et al., 2003**).

- **Préparation de la solution de DPPH**

La solution mère de DPPH a été préparée en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 ml d'éthanol à 96 %, pour assurer une homogénéisation complète on agite la solution avec agitateur magnétique pendant 15 min La solution est gardée à l'abri de la lumière jusqu'à son utilisation afin d'éviter toute dégradation du radical, puis on mesure la densité optique (DO) de cette solution à 517 nm, qui doit avoir une absorbance comprise entre 0.9 et 1.2 afin d'assurer la validité du test et de répondre aux recommandation méthodologie .

- **Préparation des extraits**

Trois types d'extraits ont été testés :

- **Mélanges cladodes / huile d'olive**

Un total de 18 extraits a été préparés en mélangeant des quantités variables de cladode frais broyé et d'huile d'olive. Les proportions varient d'un échantillon à l'autre. Cette diversité permet d'évaluer l'effet des proportions sur l'activité antioxydante. Les mesures ont été réalisées en deux reprises pour chaque échantillon pour assurer la reproductibilité des résultats.

- **Extraits hydroalcooliques de cladode**

Quatre échantillons ont été préparés en dissolvant 1g de poudre sèches de cladode dans 10 ml d'éthanol à 96 %. Ces extraits correspondent à des cladodes récoltés à différents stades de maturité : jeunes, moyennes, âgés et plus âgés.

## Matériels et Méthodes

---

- **Extraits huileux de cladode séché**

Quatre autres extraits ont été obtenus en mélangeant 1 g de poudre de cladode séchée dans 10 ml d'huile d'olive. Ces préparations visent à tester l'efficacité de l'huile comme solvant d'extraction des composés antioxydants liposolubles. Ces extraits correspondent à des cladodes récoltés à différents stades de maturité : jeunes, moyennes, âges et plus âgé.

- **Traitement des extraits avec le DPPH**

Pour chacun des échantillons, 50  $\mu$ L d'extrait ont été ajoutés à 1 ml de la solution de DPPH, Après une homogénéisation au vortex, les mélanges ont été incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. La densité optique a ensuite été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Comme aussi un Témoin positif a été préparé, 50  $\mu$ L d'éthanol à 96 % ont ajouter à 1ml de la solution de DPPH dans l'éthanol à 96 %. Elle permet de comparer l'efficacité des extraits étudiés à celle d'un antioxydant standard. En complément les 18 autres échantillons ont été testés dans deux conditions distinctes : l'une avec 50  $\mu$ L et l'autre avec 100  $\mu$ L d'extrait, chacun mélangé à 1 ml de solution de DPPH. Ces variations ont permis d'évaluer l'effet de la concentration de l'extrait sur l'activité antioxydante. (**Figure 11**).



**Figure 9: Extraits de cladodes testés par la méthode DPPH**

# Matériels et Méthodes

---

## II.2.6. Activités antibactériennes

L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits peut être réalisée à l'aide de la méthode de l'antibiogramme par diffusion sur gélose. Cette méthode repose sur la capacité d'un composé antibactérien à diffuser dans un milieu solide (généralement une gélose Mueller-Hinton) en présence d'une suspension bactérienne étalée de manière homogène à la surface du milieu (Jeannot et al., 2023).

Après application, la substance diffuse autour du point de dépôt et inhibe la croissance bactérienne si elle est active. L'efficacité de l'extrait est ensuite déterminée par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition, qui reflète à la fois la sensibilité de la souche testée et la capacité de diffusion du composé (Bovo et al., 2023 ; Kolesnik-Goldmann et al., 2023).

Des disques de papier stériles, généralement de 5 à 6 mm de diamètre, sont imprégnés avec des volumes définis d'extrait à tester, puis placés à la surface de la gélose ensemencée. Après incubation, la taille de la zone d'inhibition est mesurée en millimètres, permettant une interprétation quantitative ou semi-quantitative de l'activité antibactérienne (Jeannot et al., 2023 ; MacLeod et al., 2024).

Les différentes souches bactériennes présentées dans le tableau 5 ont été fournies par le laboratoire de recherche de la faculté (LABAB). Elles incluent à la fois des espèces à Gram positif et à Gram négatif, afin d'assurer une évaluation représentative de l'activité antibactérienne des extraits

**Tableau 5: souches de référence testées**

Souches	Références
<i>LGA</i>	259
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Bacillus cereus</i>	ATCC 14579

## Matériels et Méthodes

---

- **Préparation des Milieux de culture**

Le premier jour, des géloses nutritives sont préparées et versées dans des boîtes de pétri. Après solidification, elles sont incubées à 37° pendant 24 h afin d'assurer la stérilité du milieu.

- **Repiquage des souches bactériennes**

Le deuxième jour, les souches bactériennes à tester sont repiquées à l'aide d'une pipette pasteur et inoculées dans une gélose GN. Cette étape permet de réactiver les souches avant leur mise en culture sur milieu MH. (**Figure 12**).



**Figure 10: Repiquage des souches tester**

- **Préparation des disques**

Les disques utilisés ont été préparés du papier wattman, d'un diamètre de 5 mm. Ils ont été stérilisés à l'autoclave, puis conservés dans des tubes en verre hermétiquement fermés jusqu'à leur utilisation.

Lors de l'expérimentation, chaque disque a été imbibé progressivement avec les extraits de cladodes (jeune, moyenne, âgé, plus âgée) à tester. Un volume de 10 µl a été ajoutée à la fois jusqu'à atteindre un volume total de 100 µl par disque (**Figure 13**).

## Matériels et Méthodes

---



**Figure 11: Imbibition des disques**

- **Standardisation et préparation de l'inoculum**

Le troisième jour, les inoculas ont été préparés à partir des souches bactériennes à tester. À l'aide d'une pipette Pasteur, plusieurs colonies isolées ont été prélevées et transférées dans de l'eau physiologique stérile. Les bactéries en suspension ont ensuite été diluées, puis la densité optique des suspensions a été mesurée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 625 nm. Les valeurs retenues étaient comprises entre 0,08 et 0,1, correspondant à une concentration standardisée permettant un ensemencement homogène.

### **Premier essai : méthode des disques**

#### **Ce test a été réalisé en deux étapes :**

Lors de la première étape, les suspensions bactériennes standardisées ont été utilisées sans dilution supplémentaire. Dans la seconde étape, les mêmes suspensions ont été diluées à  $10^6$  UFC/ml afin de tester l'efficacité des extraits dans des conditions de faible charge bactérienne.

Pour chaque condition, un ensemencement en tapis a été effectué sur des boîtes de gélose Mueller-Hinton (MH) à l'aide d'écouvillons stériles. Chaque boîte a été ensemencée en trois passages : un premier en ligne droite, un second après rotation de la boîte de  $60^\circ$  à  $90^\circ$ , puis un troisième en bordure afin de couvrir toute la surface.

Quatre disques stériles imbibés d'extraits de cladodes à différents stades de maturité ont été placés en périphérie de chaque boîte, tandis qu'un disque de vitamine C a été placé

## **Matériels et Méthodes**

---

au centre en tant que témoin positif. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 18 heures.

### **Deuxième essai : méthode des puits**

Lors de ce second essai, l'activité antibactérienne a été évaluée par la méthode des puits. Après ensemencement en tapis sur les boîtes de gélose MH avec des suspensions standardisées, des puits de 6 mm de diamètre ont été creusés à l'aide d'un emporte-pièce stérile. Chaque puits a été rempli avec 100 µL d'extrait de cladodes. Un puits contenant de la vitamine C a été utilisé comme témoin positif. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 18 heures.

- **Expression des résultats**

Les résultats ont été analysés par la mesure des diamètres (mm) d'inhibition autour de chaque disque les résultats sont exprimés par la mesure du diamètre de cette dernière et peuvent être symbolisé par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis des extraits (**Ponce et al., 2003**).

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

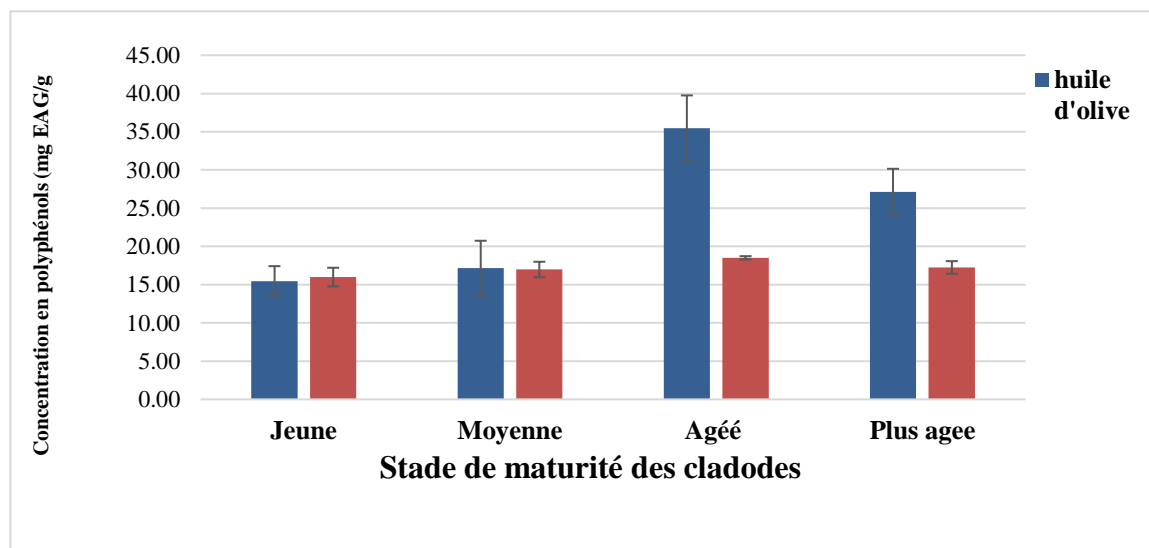
**Résultats et  
discussions**

# Résultats et discussions

## III.1. Dosage des polyphénols

### • Extraction à l'huile d'olive et à l'éthanol

Les résultats de l'extraction des polyphénols à partir des cladodes de différentes maturités, en utilisant l'huile d'olive et l'éthanol, sont présentés dans la **figure 14**.



**Figure 12: Teneur en polyphénols totaux de différents stades de maturité des cladodes.**

Les teneurs en polyphénols obtenues avec l'huile d'olive augmentent significativement avec la maturité des cladodes.

Nous observons une concentration maximale chez les cladodes âgées, suivi d'une diminution chez les plus âgées, probablement due à une dégradation partielle des composés phénoliques à un stade avancé de maturité.

L'éthanol présente une capacité d'extraction des polyphénols relativement stable, quel que soit le stade de maturité des cladodes, mais avec des concentrations plus faibles que celles obtenues avec l'huile d'olive pour les cladodes les plus âgées.

Une étude réalisée par **Ait Maamar et al. (2019)**, a permis d'observer une teneur en polyphénols totaux de  $35,83 \pm 3,12$  mg EAG/g MS pour des cladodes *d'Opuntia ficus-indica* de la région de Bir-Essalam, utilisant une extraction assistée par ultrasons avec 50 % d'éthanol. Cette valeur est comparable à celle obtenue dans notre étude pour les cladodes âgées extraites à l'huile d'olive.

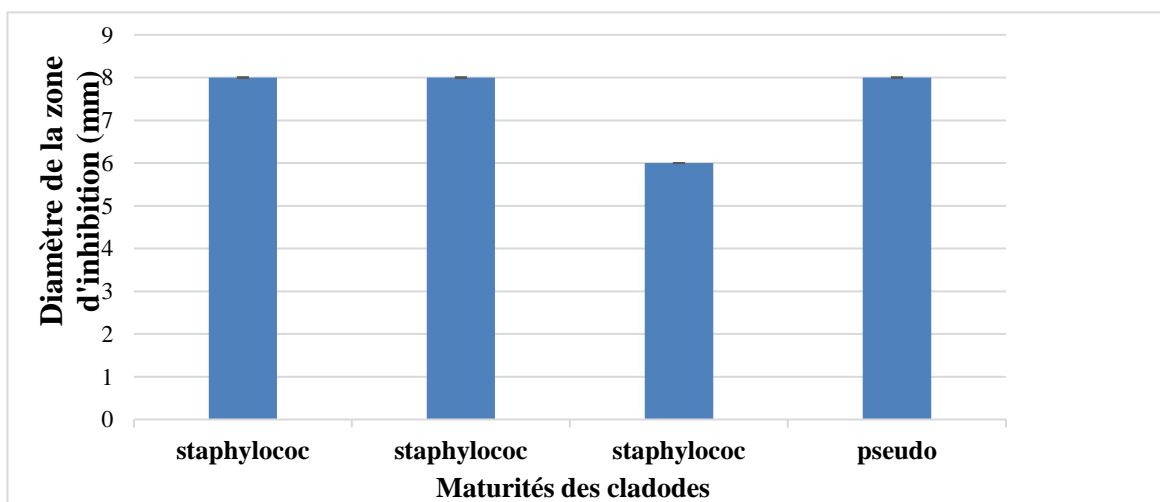
## Résultats et discussions

Dans une autre étude menée par **Boulaaba et al. (2014)**, une concentration de  $13,96 \pm 0,3$  mg EAG/g MS a été obtenue pour des extraits aqueux de cladodes jeunes, cette valeur proches de nos valeurs pour les extraits à l'éthanol, confirmant la plus faible efficacité des solvants aqueux ou peu lipophiles sur les jeunes tissus.

Nos résultats montrent que les extraits à l'huile d'olive présentent une concentration en polyphénols significativement plus élevée ( $35,45 \pm 4,30$  mg EAG/g) que ceux extraits à l'éthanol ( $18,51 \pm 0,21$  mg EAG/g). Cela montre que l'utilisation de l'huile d'olive comme un solvant d'extraction offre des avantages significatifs pour l'extraction des polyphénols des cladodes matures.

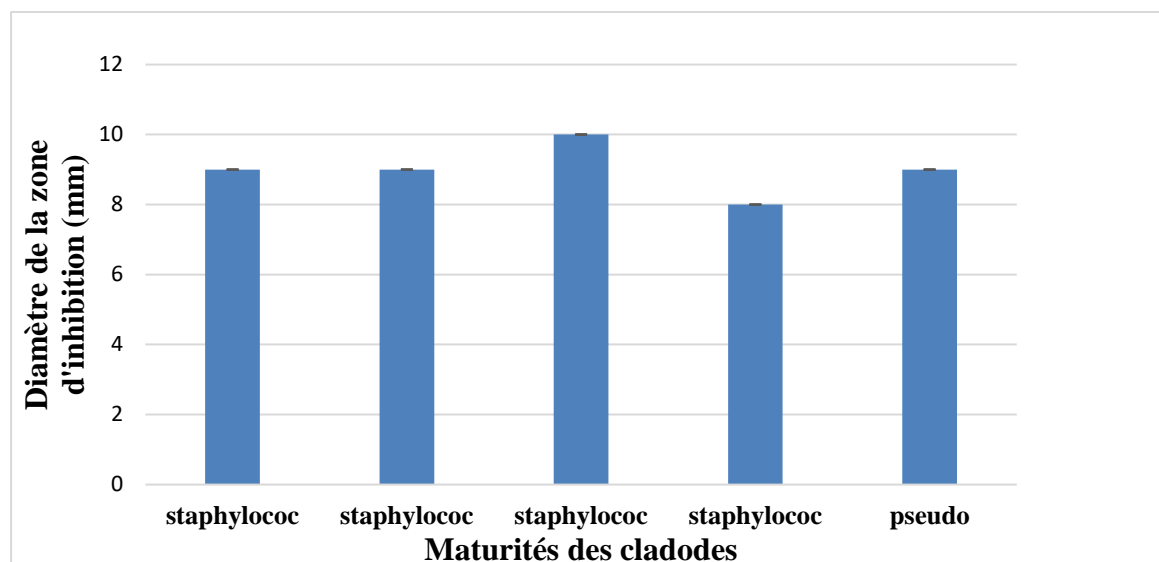
### III.2. Evaluation de l'activité antibactérienne

Les résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits ont été obtenus à l'aide de la méthode des disques. Deux essais ont été réalisés : le premier sans dilution de la suspension bactérienne, et le second avec une dilution au facteur  $10^7$ . Les données issues de ces deux essais sont présentées dans les **figures (15 et 16)**.



**Figure 13: Activité antibactérienne des extraits de cladodes selon la maturité (1<sup>ère</sup> essai).**

## Résultats et discussions



**Figure 14: Activité antibactérienne des extraits de cladodes selon la maturité (2<sup>ème</sup> essai)**

À partir des deux figures présentées, et les deux essais réalisés par la méthode des disques certains extraits éthanoliques de cladodes ont montré une activité antibactérienne vis-à-vis de certaines souches testées, notamment *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 et, dans une moindre mesure, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853. En revanche, aucune activité n'a été détectée contre les souches *Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus cereus* ATCC 14579 et *Listeria innocua* (LGA), que ce soit lors du premier ou du deuxième essai. Ces résultats suggèrent une sélectivité des extraits en fonction des espèces bactériennes, et confirment une efficacité modérée principalement contre les bactéries à Gram positif.

Ces observations concordent partiellement avec celles rapportées par **Rocchetti et al. (2018)**, qui ont mis en évidence une activité antibactérienne des extraits éthanoliques et méthanoliques de cladodes contre *Staphylococcus aureus*, mais également contre *Escherichia coli*, ce qui n'a pas été reproduit dans notre cas. Par ailleurs, **Gebrekidan et Aragaw (2017)** ont démontré que des extraits au méthanol, à l'éthanol ou au chloroforme de cladodes et de fruits *d'Opuntia ficus-indica* possèdent une large activité antimicrobienne contre des bactéries à Gram positif et Gram négatif.

L'absence de sensibilité chez *E. Coli* et *P. aeruginosa* dans notre étude pourrait s'expliquer par leur structure de paroi cellulaire plus complexe et leur potentiel élevé de résistance, comme l'ont également mentionné **Benattia (2017)** et **Nazzaro et al. (2013)**. La membrane externe des bactéries Gram négatif joue en effet un rôle protecteur majeur face à l'action de nombreux agents antimicrobiens. Enfin, la faible efficacité observée

## Résultats et discussions

---

uniquement pour les extraits issus de cladodes âgés suggère que le stade de maturité végétale peut influencer la concentration ou la nature des composés bioactifs responsables de l'activité antibactérienne.

L'absence de zones d'inhibition observée lors de l'utilisation de la méthode des puits pour les extraits sous forme de gel (mélange de cladodes frais et d'huile d'olive) peut s'expliquer par la viscosité élevée de la matrice et la nature lipidique des composés extraits. En effet, les gels riches en substances huileuses ont une faible capacité de diffusion dans les milieux gélosés, ce qui limite la migration des agents antimicrobiens vers les bactéries (**Borges et al., 2015 ; Koczura et al., 2021**). De plus, les composés lipophiles extraits par l'huile d'olive ont une biodisponibilité restreinte dans un environnement aqueux, comme celui de l'agar, réduisant ainsi leur efficacité en méthode de diffusion (**Dumas et al., 2016**). Par ailleurs, la méthode des puits est connue pour être moins adaptée aux extraits huileux ou très visqueux, car elle repose sur la diffusion passive des substances actives, qui est compromise dans ces conditions (**Balouiri et al., 2016**). Ces observations indiquent que le choix de la méthode de test antibactérien doit être adapté à la nature physico-chimique des extraits testés, en particulier pour les formulations à base d'huile ou de gel.

### III.3. Evaluation de l'activité antioxydante

#### III.3.1. Activité antioxydante du gel avant broyage fin (1<sup>ère</sup> essai DPPH : 100 µl)

Le tableau suivant (Tableau 6) présente les résultats du premier essai d'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de cladodes avant broyage fin, réalisés avec un volume d'extrait de 50 µl selon la méthode du test DPPH.

## Résultats et discussions

---

**Tableau 6 : Activité antioxydante du gel avant broyage fin (test DPPH, volume d'extrait : 100  $\mu$ L).**

Échantillons	Moyennes	Ecart type
1	94.49	0.91
2	95.17	3.81
3	94.62	0.12
4	90.26	0.12
5	87.09	1.93
6	92.74	1.45
7	94.66	1.03
8	96.41	0.73
9	94.36	1.09
10	94.91	1.63
11	93.89	0.79
12	94.44	1.81
13	94.19	0
14	93.38	0.66
15	87.22	0.42
16	95.64	0.97
17	92.86	1.03
18	93.12	0.91

## Résultats et discussions

Les résultats du premier essai DPPH montrent que le gel de cladodes présentent une activité antioxydante très élevée. Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH sont compris entre 85,7 % et 97,8 %, avec une moyenne générale supérieure à 90 % pour la plupart des échantillons. Les écarts types sont faibles, témoignant d'une bonne reproductibilité des mesures. Ces valeurs traduisent une forte capacité des extraits à neutraliser les radicaux libres, ce qui est attribuable à la richesse des cladodes en composés antioxydants, notamment les polyphénols, flavonoïdes et autres métabolites secondaires (Butera et al., 2002 ; Stintzing & Carle, 2005). Des études antérieures ont déjà démontré que les cladodes de figuier de Barbarie possèdent une activité antioxydante significative, comparable à celle de plantes médicinales reconnues (Sáenz, 2000). La faible variation entre les duplicatas confirme la robustesse de la méthode (Figure 17).

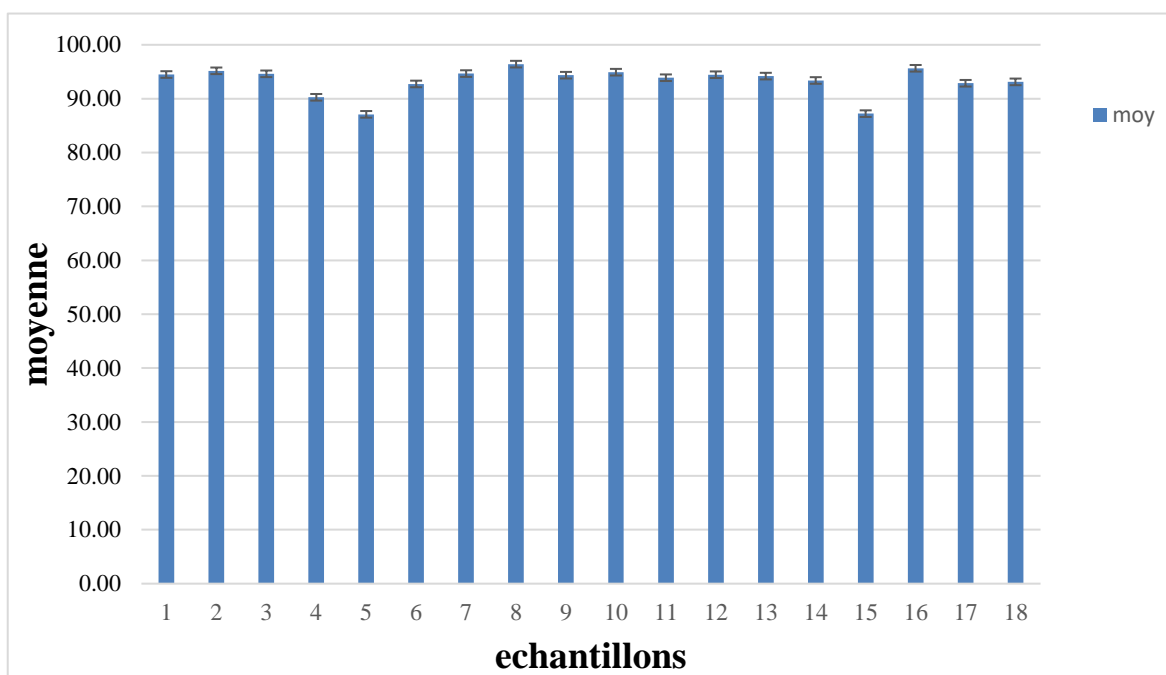


Figure 15: Résultats de l'activité antioxydante du gel avant broyage fin (DPPH 1<sup>ère</sup> essai)

### III.3.2. Activité antioxydante du gel avec l'éthanol et avec l'huile d'olive 1<sup>ère</sup> essai (100 µL)

L'activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés a été évaluée à l'aide du test DPPH lors d'un premier essai réalisé avec un volume d'extrait de 100 µL. Les extraits ont été préparés en utilisant deux solvants différents : l'éthanol et l'huile d'olive. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

## Résultats et discussions

**Tableau 7: Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'éthanol (test DPPH, 100 µL)**

Echantillons	Moyenne	Ecart type
<b>Jeune</b>	69.40	0.36
<b>Moyenne</b>	57.86	0.24
<b>Agé</b>	54.66	0.42
<b>Plus Agé</b>	49.57	0.12

**Tableau 8: Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés – Extraction à l'huile d'olive (test DPPH, 100 µL)**

Échantillons	Moyenne	Ecart type
<b>Jeune</b>	90.60	0.73
<b>Moyenne</b>	58.46	0.12
<b>Agé</b>	86.62	0.66
<b>Plus Agé</b>	86.54	0.42

Le Tableau "DPPH poudre" présente l'activité antioxydante des poudres de cladodes en fonction de leur âge, testées seules et en association avec l'huile d'olive.

Poudre seule : l'inhibition DPPH diminue avec l'âge des cladodes, passant de 69,4 % pour les jeunes à 49,6 % pour les plus âgées.

Poudre + huile d'olive : l'inhibition reste élevée et stable (entre 86,5 % et 90,6 %) quelle que soit la maturité des cladodes.

La diminution de l'activité antioxydante dans la poudre seule avec l'âge pourrait s'expliquer par une réduction progressive de la teneur en composés phénoliques ou une dégradation naturelle des antioxydants au fil du temps (Ramirez-Moreno et al., 2017).

## Résultats et discussions

---

En revanche, l'association avec l'huile d'olive permet de maintenir une activité antioxydante élevée, même pour les cladodes plus âgés. Cela suggère un effet synergique ou protecteur de l'huile, probablement grâce à sa propre richesse en antioxydants (hydroxytyrosol, tocophérols) et à sa capacité à extraire ou stabiliser les composés liposolubles présents dans les cladodes (**Bendini et al., 2007**).

Des travaux similaires ont montré que l'utilisation de solvants lipidiques ou la formulation en huile permet d'augmenter la disponibilité et la stabilité des antioxydants naturels (**Benzie & Wachtel-Galor, 2011**).

Cette stratégie pourrait donc être particulièrement intéressante pour valoriser les cladodes de tout âge dans des applications alimentaires ou cosmétiques.

### **III.3.3. Activité antioxydante du gel avant broyage fin (2<sup>ème</sup> essai avec volume d'extrait : 50 µl)**

Le tableau suivant (**tableau 9**) présente les résultats du deuxième essai d'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de cladodes avant broyage fin, réalisés avec un volume d'extrait de 50 µL, selon la méthode du test DPPH.

## Résultats et discussions

Tableau 9: Activité antioxydante du gel avant broyage fin (DPPH, 50  $\mu$ L)

Echantillons	Moyenne	Ecart type
1	86.36	0.54
2	80.51	1.32
3	90.39	0.18
4	94.42	0.45
5	93.83	0.22
6	87.15	0.64
7	92.30	0.59
8	85.53	0.15
9	75.53	0.93
10	78.68	1.26
11	96.64	0.92
12	94.56	0.93
13	89.62	1.98
14	59.79	0.18
15	88.97	1.93
16	86.47	0.52
17	96.04	0.69
18	86.98	1.52

Le second essai (**Tableau 9**) confirme la forte activité antioxydante des extraits de cladodes, avec des pourcentages d'inhibition compris entre 74,9 % et 97,3 %. La moyenne reste élevée, supérieure à 85 % pour la majorité des échantillons, et les écarts types sont faibles. La cohérence des résultats entre les deux essais valide la méthode et confirme la robustesse de l'activité antioxydante des cladodes. Les légères variations

## Résultats et discussions

peuvent être dues à des différences de concentration ou d'extraction des composés actifs. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature, qui soulignent le potentiel antioxydant élevé des extraits de cladodes, notamment grâce à leur contenu en flavonoïdes et autres composés phénoliques (Galati et al., 2003 ; Tesoriere et al., 2004).

### III.3.4. Activité antioxydante des extraits de cladodes à l'éthanol et à l'huile d'olive 2<sup>ème</sup> essai (50 µL)

L'activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés a été évaluée à l'aide du test DPPH lors de 2<sup>ème</sup> essai réalisé avec un volume d'extrait de 50 µL. Les extraits ont été préparés en utilisant deux solvants différents : l'éthanol et l'huile d'olive. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants

**Tableau 10 : Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés –  
Extraction à l'éthanol (test DPPH, 50 µL)**

Echant	Moyenne	Ecart type
<b>Jeune</b>	55.76	0.479
<b>Moyenne</b>	44.66	0.120
<b>Agé</b>	42.92	0.300
<b>Plus Agé</b>	32.88	0.719

**Tableau 11 : Activité antioxydante des poudres de cladodes d'âges variés –  
Extraction à l'huile d'olive (test DPPH, 50 µL)**

Echant	Moyenne	Ecart type
<b>Jeune</b>	83.47	1.079
<b>Moyenne</b>	75.42	0.959
<b>Agé</b>	70.97	0.300
<b>Plus Agé</b>	77.58	0.779

Poudre seule : l'inhibition DPPH diminue de 55,7 % (jeunes) à 32,9 % (plus âgées).

Poudre + huile d'olive : l'inhibition reste élevée, de 83,5 % à 77,5 %, même pour les cladodes les plus âgées.

## Résultats et discussions

---

Ces résultats confirment l'effet bénéfique de l'huile d'olive sur la préservation ou l'augmentation de l'activité antioxydante des extraits de cladodes. L'huile d'olive, riche en composés phénoliques et en acides gras insaturés, agit non seulement comme solvant extracteur mais aussi comme agent protecteur contre l'oxydation (Servili et al., 2014). La synergie entre les antioxydants hydrophiles des cladodes et les antioxydants lipophiles de l'huile d'olive a déjà été observée dans d'autres matrices végétales (Bendini et al., 2007; Cossu et al., 2018).

La valorisation des cladodes par cette approche mixte ouvre des perspectives pour la formulation de compléments alimentaires ou de produits cosmétiques naturels à haute valeur ajoutée.

La comparaison directe des résultats entre les poudres seules et les poudres associées à l'huile d'olive, pour tous les âges de cladodes, démontre clairement que l'huile d'olive permet de maintenir, voire d'augmenter, l'activité antioxydante des extraits. Cette observation est conforme à la littérature, qui indique que l'utilisation d'huiles végétales comme solvant ou support peut améliorer l'efficacité des extraits antioxydants issus de plantes (Benzie & Wachtel-Galor, 2011 ; Cossu et al., 2018). En résumé, l'association cladodes/huile d'olive apparaît comme la stratégie la plus efficace pour exploiter le potentiel antioxydant des cladodes, indépendamment de leur âge

### III.3.5. Activité antioxydante du gel après broyage fin mesurée par le test DPPH avec un volume d'extrait : 100 µl

Les résultats du test DPPH appliqué au gel de cladodes après broyage fin, avec un volume d'extrait de 100µl, sont présentés dans le tableau suivant (Tableau12).

## Résultats et discussions

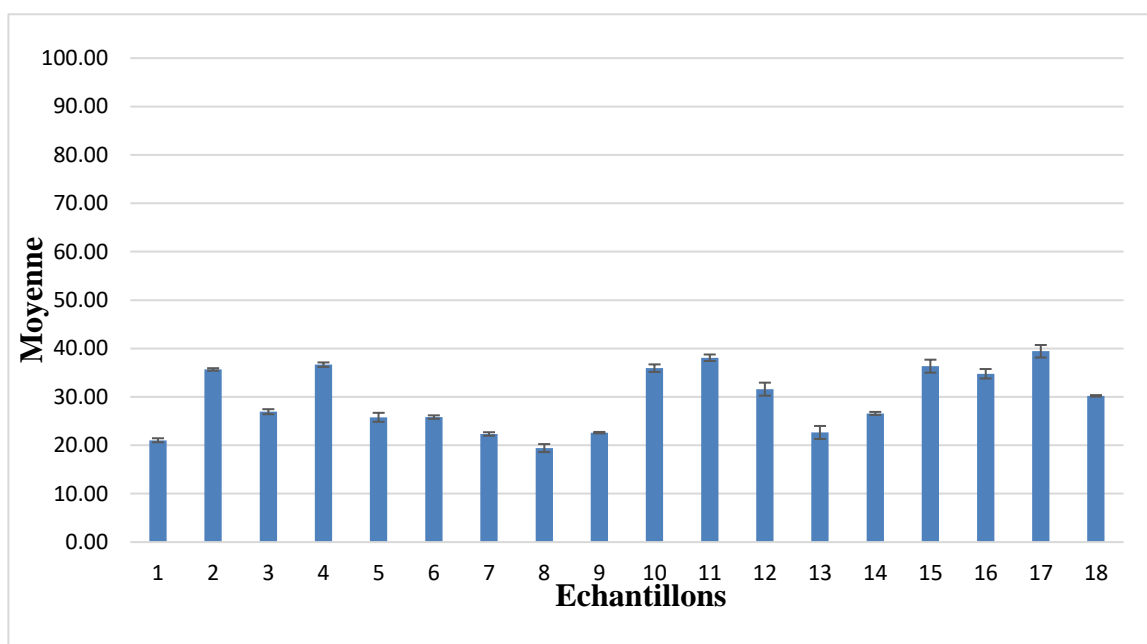
**Tableau 12 : Activité antioxydante du gel de cladodes (après broyage fin) mesurée par le test DPPH (volume d'extrait : 100  $\mu$ L).**

Échantillons	Moyennes	Ecart type
1	21.04	0.41
2	35.68	0.26
3	26.95	0.52
4	36.66	0.47
5	25.78	0.93
6	25.83	0.36
7	22.34	0.36
8	19.43	0.83
9	22.61	0.16
10	35.94	0.78
11	38.09	0.67
12	31.60	1.34
13	22.65	1.34
14	26.35	0.31
15	36.35	1.34
16	34.78	0.98
17	39.44	1.29
18	30.21	0.16

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de cladodes, réalisée à l'aide du test DPPH avec un volume de 100  $\mu$ L, a révélé des pourcentages d'inhibition variant entre 19,43 % et 39,44 %. Ces résultats traduisent une capacité modérée à élever des extraits à piéger les radicaux libres. La moyenne générale des valeurs oscille autour de 30 %, ce qui témoigne d'un potentiel antioxydant appréciable. Les résultats les plus

## Résultats et discussions

élevés, avoisinant les 40 %, sont comparables à ceux observés dans des extraits de plantes riches en antioxydants, telles que certaines variétés de cactus. Cette activité antioxydante peut être corrélée à la présence de composés phénoliques, de flavonoïdes et de pigments naturels dans les cladodes, connus pour leur aptitude à neutraliser les radicaux libres par transfert d'électrons ou d'atomes d'hydrogène (Brand-Williams et al., 1995). La reproductibilité des résultats est globalement satisfaisante, comme en témoignent les faibles écarts types dans plusieurs duplicatas, notamment 0.16, ce qui souligne la fiabilité de la méthode employée. Toutefois, quelques dispersions plus importantes (jusqu'à 1.34) peuvent être attribuées à des variations instrumentales ou à une légère hétérogénéité des échantillons. Comparés à des données de la littérature sur *Opuntia ficus-indica*, où les pourcentages d'inhibition peuvent aller de 20 % à plus de 80 % selon les conditions expérimentales (Butera et al., 2002 ; Galati et al., 2003). (figure18).



**Figure 18 : Résultats de l'activité antioxydante du gel de cladodes après broyage fin (DPPH ;100µl)**

## Résultats et discussions

---

### III.3.5. Activité antioxydante du gel de cladodes après broyage fin mesurée par le test DPPH avec un volume d'extrait : 50 $\mu$ l

Les résultats du test DPPH appliqué aux extraits de cladodes après broyage fin, avec un volume d'extrait de 50  $\mu$ l, sont présentés dans le tableau suivant (**Tableau 13**).

**Tableau 13 : Activité antioxydante des extraits de cladodes (après broyage fin) mesurée par le test DPPH (volume d'extrait : 50  $\mu$ L).**

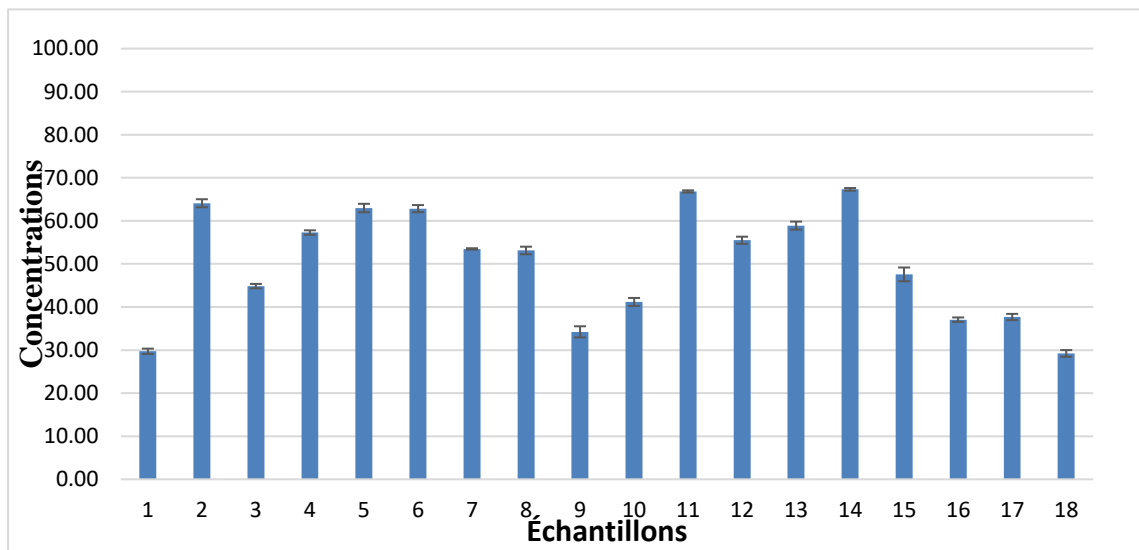
Échantillons	Moyennes	Ecart type
1	29.72	0.62
2	64.10	0.93
3	44.85	0.52
4	57.30	0.52
5	62.98	0.98
6	62.85	0.83
7	53.49	0.16
8	53.13	0.88
9	34.24	1.29
10	41.18	0.93
11	66.83	0.26
12	55.51	0.83
13	58.91	0.93
14	67.32	0.31
15	47.58	0.60
16	37.06	0.52
17	37.69	0.72
18	29.23	0.78

## Résultats et discussions

---

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de cladodes mesurée par le test DPPH, avec un volume d'extrait de 50  $\mu$ L, met en évidence une capacité antioxydante significativement élevée, avec des pourcentages d'inhibition allant de **28,56 % à 67,32 %**, et une moyenne globale dépassant fréquemment les **50 %**. Cette augmentation de l'inhibition du radical DPPH par rapport à celle observée avec 50  $\mu$ L confirme que le volume d'extrait influence positivement l'efficacité antioxydante. Ce résultat est attribuable à une plus grande concentration de composés bioactifs, notamment les **acides phénoliques, flavonoïdes, et pigments hydrosolubles**, bien connus pour leurs propriétés antiradicalaires. Des études antérieures ont démontré que les extraits de cladodes d'*Opuntia ficus-indica* contiennent une diversité de composés phénoliques tels que la quercétine, l'acide férulique et la kaempférol, contribuant directement à l'activité antioxydante par transfert d'électrons ou de protons (**Zhou et al., 2010 ; Sáenz et al., 2004**). Par ailleurs, les valeurs élevées d'inhibition obtenues ici sont comparables à celles rapportées pour des extraits aqueux et méthanoliques de cladodes dans des travaux récents, où des pourcentages supérieurs à 60 % ont été observés (**Stintzing et al., 2005 ; Villa-Jiménez et al., 2013**). Les faibles écarts types enregistrés dans la majorité des échantillons (entre 0.16 et 1.60) traduisent une bonne reproductibilité des mesures (**Figure19**).

## Résultats et discussions



**Figure 19 : Résultats de l'activité antioxydante des cladodes après broyage fin (DPPH ; 50 µl)**

Ces résultats confirment que les cladodes représentent une source prometteuse d'antioxydants naturels, utilisables pour le développement de produits fonctionnels, notamment dans les domaines alimentaires, cosmétique et pharmaceutique.

### III.4. Modélisation des résultats de l'activité antioxydante

#### III.4.1. Application de plan d'expérience pour surface de réponse sur DPPH

Nous avons étudié, dans cette partie, l'influence de quatre facteurs et deux niveaux (-1 ; +1), à savoir : (U1) le volume d'huile, (U2) la masse de cladodes, (U3) le temps, et (U4) la vitesse d'agitation, sur l'activité antioxydante. Nous avons adopté une méthodologie de recherche expérimentale basée sur la surface de réponse (Goupy et al., 2006). En général, les modèles polynomiaux sont les plus utilisés. Ils se développent en série de Taylor et peuvent être exprimés de la manière suivante :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{14}X_1X_4 + a_{23}X_2X_3 + a_{24}X_2X_4 + a_{34}X_3X_4 + a_{123}X_1X_2X_3 + a_{124}X_1X_2X_4 + a_{134}X_1X_3X_4 + a_{234}X_2X_3X_4 + a_{1234}X_1X_2X_3X_4.$$

Avec :

$Y$  : réponse expérimentale ;

$X_i$  : variables codées (-1 ou +1) ;

## Résultats et discussions

$a_i$  : estimation de l'effet principal du facteur  $i$  pour la réponse  $Y$ ;

$b_{ij}$  : estimation de l'effet d'interaction entre le facteur  $i$  et le facteur  $j$  pour la réponse  $Y$ .

- La réponse étudiée dans notre travail est l'activité antioxydante, à partir d'extraits de cladodes de figuier de Barbarie mélangés à de l'huile d'olive.

Une fraction du plan factoriel intégrant toutes les interactions possibles entre les différents facteurs nous a conduits à réaliser une matrice factorielle  $2^{4-1}$ . La transformation des variables codées de la matrice d'expériences en variables naturelles correspondantes conduit au plan d'expérimentation donné dans le tableau 14.

**Tableau 14: Domaine expérimentale pour l'étude.**

Variables Domaine expérimental Codées( $X_i$ )	Facteurs ( $U_i$ )	unité	Niveau	
			<i>Inférieur</i>	<i>supérieur</i>
$X_1$	$U_1$ : le volume d'huile	ml	10	20
$X_2$	$U_2$ : la masse de cladodes	G	10	20
$X_3$	$U_3$ : le temps	Min	30	60
$X_4$	$U_4$ : la vitesse d'agitation	Rt/min	150	300

Les réponses mesurées  $Y_i$ , quantitatives et continues dans le domaine expérimental, sont représentées dans le plan d'expérimentation. Nous avons calculé pour cette réponse les effets directs des facteurs  $X_i$  et les effets interactions. Les résultats obtenus sont représentés sous forme diagramme en bâtons et de diagrammes d'interactions.

### III.4.2. Analyse globale des résultats d'essai

Les résultats obtenus pour la réponse sont résumés dans le tableau suivant :

## Résultats et discussions

**Tableau 15 : Matrice d'expérience, plan d'expérience et résultats expérimenté**

Expérience N°	Matrice d'expérience				Plan d'expérience				DPPH
	<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>X3</i>	<i>X4</i>	<i>U1</i>	<i>U2</i>	<i>U3</i>	<i>U4</i>	
1	-1	-1	-1	-1	10	10	30	150	0.057
2	+1	-1	-1	-1	20	10	30	150	0.025
3	-1	+1	-1	-1	10	20	30	150	0.064
4	+1	+1	-1	-1	20	20	30	150	0.115
5	-1	-1	+1	-1	10	10	60	150	0.167
6	+1	-1	+1	-1	20	10	60	150	0.097
7	-1	+1	+1	-1	10	20	60	150	0.054
8	+1	+1	+1	-1	20	20	60	150	0.048
9	-1	-1	-1	+1	10	20	30	150	0.057
10	+1	-1	-1	+1	20	10	30	300	0.046
11	-1	+1	-1	-1	10	10	30	300	0.065
12	+1	+1	-1	+1	20	20	30	300	0.050
13	-1	-1	+1	+1	10	10	60	300	0.068
14	+1	-1	+1	+1	20	10	60	300	0.072
15	-1	+1	+1	+1	10	20	60	300	0.153
16	+1	+1	+1	+1	20	20	60	300	0.059
17	0	0	0	0	15	15	45	225	0.075
18	0	0	0	0	15	15	45	225	0.073

## Résultats et discussions

La quantité de cladodes joue un rôle déterminant dans les résultats obtenus. Nous observons en effet que l'augmentation de cette variable exerce une influence significative sur l'activité antioxydante mesurée. Une analyse plus approfondie permet de confirmer l'importance de cet effet, soulignant ainsi la richesse des cladodes en composés bioactifs responsables de l'inhibition du radical DPPH.

### III.4.3. Analyse mathématique des résultats d'essai

L'analyse mathématique consiste à estimer, grâce à la méthode des moindres carrés, les coefficients du modèle et les N résidus, à savoir les écarts entre les valeurs mesurées (ou simulées) et les valeurs prévues par le modèle pour chacun des traitements du plan d'expérience (Tableau 16).

**Tableau 16: Analyse des coefficients**

Coefficient	Valeur	Ecart type	Statistique t	Prob> t
Constante	92,315584	3,093351	29,84	<,0001
X <sub>1</sub>	-2,208678	1,374006	-1,61	0,1591
X <sub>2</sub>	1,956447	1,206703	1,62	0,1561
X <sub>3</sub>	1,531053	1,206703	1,27	0,2515
X <sub>4</sub>	-1,964815	1,262732	-1,56	0,1707
X <sub>1</sub> *X <sub>1</sub>	-3,669652	3,265909	-1,12	0,3041
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	0,5366439	1,246008	0,43	0,6817
X <sub>1</sub> *X <sub>3</sub>	-1,236644	1,246008	-0,99	0,3593
X <sub>2</sub> *X <sub>3</sub>	-3,707848	1,153141	-3,22	0,0182
X <sub>1</sub> *X <sub>4</sub>	1,6426667	1,308311	1,26	0,2560
X <sub>2</sub> *X <sub>4</sub>	1,4118258	1,175917	1,20	0,2751
X <sub>3</sub> *X <sub>4</sub>	0,4306742	1,175917	0,37	0,7267

### III.4.4. Analyse statistique du modèle

Les différents coefficients du modèle peuvent aussi être analysés statistiquement. Un test statistique visant à rejeter l'hypothèse (H<sub>0</sub>) selon laquelle le modèle ne permet pas de décrire la variation des essais est alors étudiée pour chacun des coefficients, selon laquelle ceux-ci sont nuls. La probabilité associée à cette hypothèse notée Significatif est

## Résultats et discussions

---

obtenue à partir d'un test statistique de comparaison d'une moyenne à la valeur zéro. Pour ce faire, la statistique  $t_{exp}$  qui dépend de l'estimation de l'écart type de  $b_i$  est alors calculée :

$$t_{exp} = \frac{b_i}{S(b)}$$

De faibles valeurs de Significatif (souvent inférieure à 5 %) indiquent la bonne significativité du coefficient du modèle (Tableau 17). Il est alors possible de déterminer quels sont les coefficients à conserver.

**Tableau 17: coefficient du modèle**

Coefficient	T statistique	T théorique	Résultat
Constante	29.84	4.03	Non-Significative
X <sub>1</sub>	-1.61	4.03	Significative
X <sub>2</sub>	1.62	4.03	Significative
X <sub>3</sub>	1.27	4.03	Significative
X <sub>4</sub>	-1.56	4.03	Significative
X <sub>1</sub> *X <sub>1</sub>	-1.12	4.03	Significative
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	0.43	4.03	Significative
X <sub>1</sub> *X <sub>3</sub>	-0.99	4.03	Significative
X <sub>2</sub> *X <sub>3</sub>	-3.22	4.03	Significative
X <sub>3</sub> *X <sub>4</sub>	1.26	4.03	Significative
X <sub>2</sub> *X <sub>4</sub>	1.20	4.03	Significative
X <sub>3</sub> *X <sub>4</sub>	0.37	4.03	Significative

### III.4.4.1. Analyse de la variance

L'analyse de variance, des quatre facteurs X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, sont significatifs au niveau de 99% environ. Nous avons 1% de risque pour rejeter à tort l'hypothèse d'égalité avec la variance résiduelle. Le test de Fisher opéré dans L'ANOVA étant réalisé en prenant la variance résiduelle comme référence, ses résultats en dépendant, Ainsi, le nombre de facteurs rejetés peut être différent suivant le modèle

## Résultats et discussions

---

calculé. Par contre le teste de Fischer est vérifié ( $F_{obs}$  supérieur à  $F_{crit}$ ) donc l'hypothèse  $H_0$  est acceptée. D'après les résultats obtenus par le logiciel JMP (Goupy, 1999) les réponses mesurées sont quantitatives et continues dans le domaine expérimental. Les équations du modèle faisant intervenir le poids des facteurs et des interactions influentes s'écrit donc :

$$Y=29.84-1.61*X1+1.62*X2+1.27*X3-1.56*X4-1.12X1*X1+0.43X1*X2-0.99X1*X3-3.22X2*X3+1.26X3*X4+1.20X2*X4+0.37X3*X4$$

**Tableau 18: Analyse de régression**

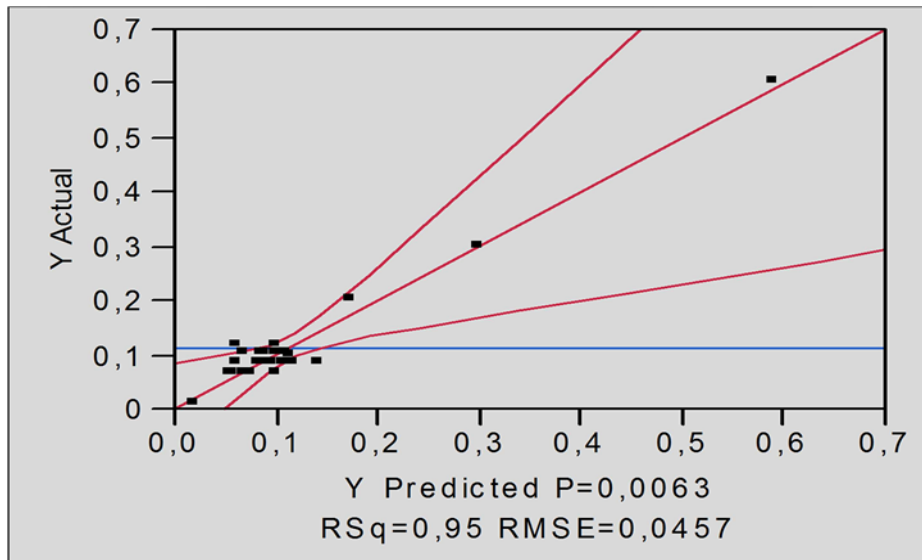
Source	DDL	Somme des carrés	Carré moyen	Fisher
Liaison	11	483.94849	43.9953	2.3561
Résidus	6	112.03714	18.6729	Prob>F
C. Total	17	595.98563		0.1520

- **Graphe d'adéquation du modèle**

Il est possible d'observer la qualité descriptive grâce à un graphique d'adéquation du modèle comme le montre la figure (20)

Les résultats obtenus peuvent alors être représentés graphiquement afin de comparer dans un premier temps les réponses mesurées et les réponses estimées par le modèle. Pour cela, il est nécessaire de tracer le graphe d'adéquation du modèle. Les réponses mesurées (expérimentales) sont placées en abscisse et les réponses estimées (calculées par le modèle) en ordonnée.

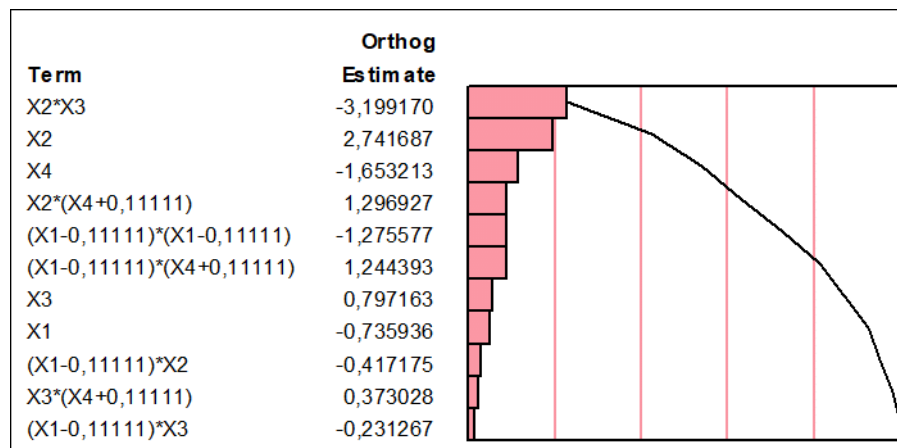
## Résultats et discussions



**Figure 20: Graphe d'adéquation du modèle de l'activité antioxydante du cladodes et l'huile d'olive**

Le nuage de points est aligné sur la droite d'équation  $y = x$ , la qualité descriptive du modèle sera excellente (on considère que les valeurs calculées par le modèle sont très proches des valeurs mesurées).

### • Diagramme de Pareto



**Figure 21: Diagramme de Pareto**

La figure (21) montre que les facteurs  $X_2 * X_3$  et  $X_2$  et  $X_4$  sont les facteurs les plus déterminants sur la constante cinétique car il présente plus de 50% de la réponse pour l'activité antioxydante. Il est usuel de représenter l'effet d'un facteur par un segment de droit dont le coefficient directeur vaut cet effet. Il s'agit simplement de la transcription graphique des relations générales de calcul de ces grandeurs.

# Résultats et discussions

## • Tracé des interactions

Dans un système complexe, les paramètres sont souvent couplés. La connaissance des effets de chaque paramètre sur la réponse n'est pas possible car lorsqu'on change le niveau d'un facteur, on modifie les effets de tous les autres facteurs. Une interprétation basée uniquement sur les effets principaux des facteurs serait source d'erreurs. Il faut donc une information sur l'influence de la variation de chacun des facteurs sur l'effet des autres facteurs. Cette notion, appelée interaction, est représentée graphiquement par la figure (22).

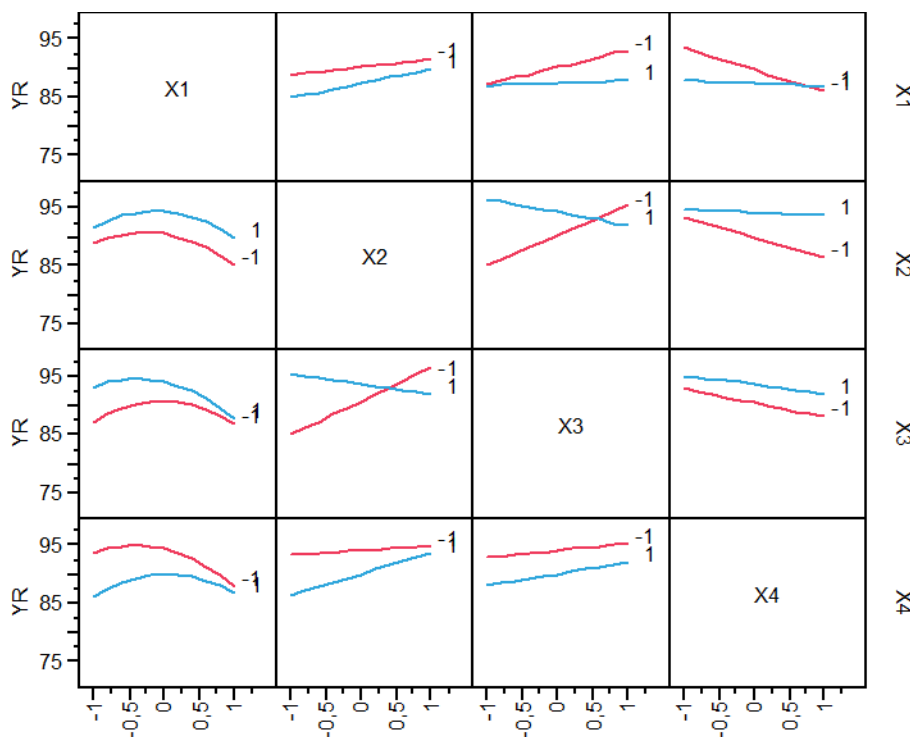


Figure 22: Tracé de l'interaction moyenne

A l'observation des graphes on note qu'il y a une forte interaction entre la masse de cladode et le temps par contre l'interaction entre le volume de l'huile et la vitesse d'agitation sont des faibles interactions.

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the central text.

**Conclusion et  
perspectives**

## Conclusion et perspectives

---

Notre travail a porté sur la valorisation des ressources végétales locales, à travers l'étude des activités antioxydante et antibactérienne des cladodes du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), associées à l'huile d'olive (*Olea europaea*).

Les différentes méthodes d'extraction testées (hydroalcoolique et huileuse) ainsi que les états des échantillons (frais, broyés, à différents stades de maturité) ont permis d'obtenir des extraits présentant une activité antioxydante variable. Les résultats du test DPPH ont révélé que l'association cladodes/huile d'olive offre une inhibition radicalaire élevée, atteignant plus de 90 % pour certains mélanges, notamment ceux à base de cladodes frais ou âgés. Cette synergie entre les deux extraits naturels pourrait s'expliquer par la richesse de l'huile d'olive en antioxydants lipophiles et sa capacité à stabiliser ou solubiliser les composés actifs des cladodes.

Par ailleurs, les extraits éthanoliques testés par la méthode des disques ont montré une activité antibactérienne modérée, ciblée principalement sur *Staphylococcus aureus*, une bactérie Gram positif, tandis qu'aucune inhibition significative n'a été observée contre les souches Gram négatif comme *Escherichia coli* ou *Pseudomonas aeruginosa*. Ces résultats confirment les limites d'efficacité des extraits selon la nature des parois bactériennes et suggèrent que l'action antibactérienne des cladodes dépendrait à la fois de la maturité végétale et du mode d'extraction.

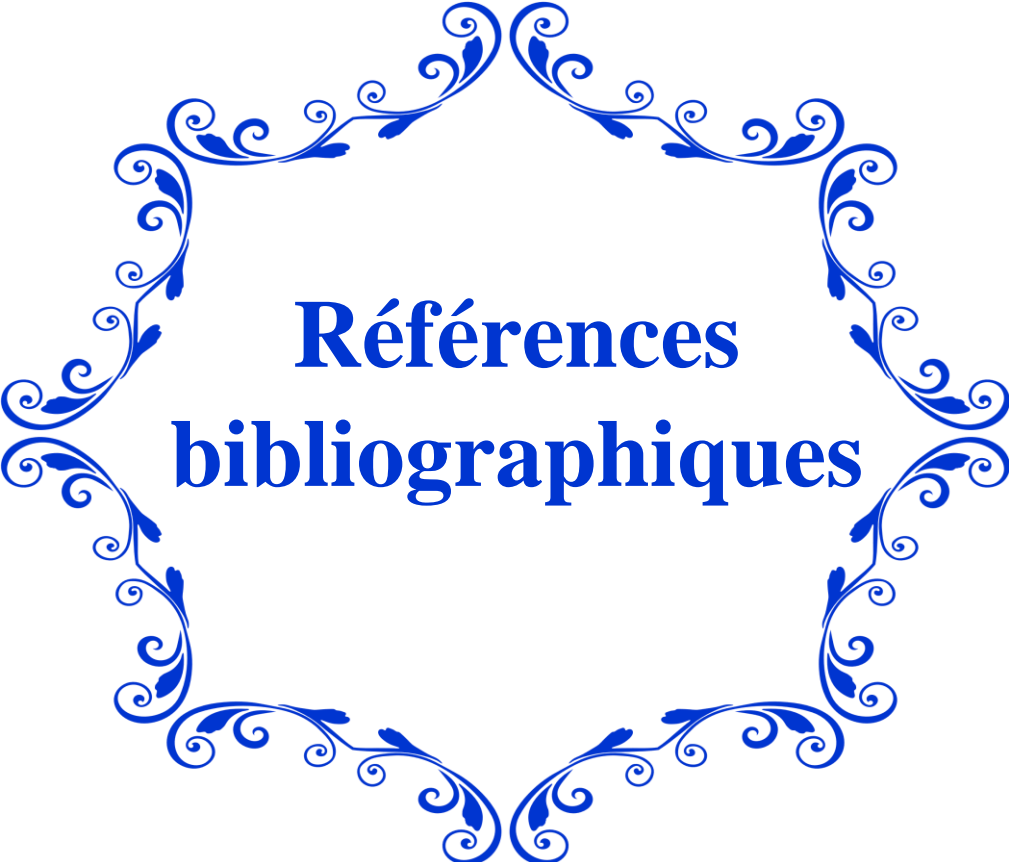
L'ensemble de ces résultats met en lumière le potentiel d'une formulation naturelle à base de cladodes et d'huile d'olive pour des applications dans les domaines cosmétique, dermatologique ou pharmaceutique, notamment pour des gels antioxydants ou antiseptiques doux. Cette approche contribue aussi à la valorisation de déchets végétaux peu exploités dans un contexte de développement durable.

## **Conclusion et perspectives**

---

Au terme de ce travail, plusieurs pistes peuvent être envisagées pour prolonger et approfondir cette étude :

- Tester d'autres proportions de cladodes et d'huile d'olive dans le mélange pour optimiser l'activité antioxydante ;
- Évaluer la stabilité du gel formulé sur une période prolongée (conservation, pH, efficacité) ;
- Étendre l'étude antibactérienne à d'autres types de souches pathogènes, y compris des levures ou champignons ;
- Utiliser d'autres méthodes d'extraction pour améliorer le rendement en composés bioactifs (macération, ultrasons, etc.) ;
- Tester l'activité du gel sur des modèles cellulaires ou cutanés in vitro pour évaluer sa biocompatibilité ;
- Étudier l'effet des conditions de séchage ou de transformation des cladodes sur leur pouvoir antioxydant et antibactérien ;
- Intégrer les extraits dans des formulations cosmétiques ou pharmaceutiques pour en tester l'effet en formulation réelle.

A decorative blue floral wreath with intricate scrollwork and leaf patterns, forming a circular frame around the text.

**Références  
bibliographiques**

---

Amouretti M. C et Comet G, 1985. Le livre de l'olivier. Edisud. 56 – 90 pages.

Andreu, L., Nuncio- Jáuregui, N., Carbonell- Barrachina, Á. A., Legua, P., & Hernández, F. (2018). Antioxidant properties and chemical characterization of Spanish *Opuntia Ficus-indica* Mill. cladodes and fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1566–1573.

Angerosa, F., Servili, M., Selvaggini, R., Taticchi, A., Esposito, S., & Montedoro, G. (2004).

Antunes- Ricardo, M., Gutiérrez- Uribe, J. A., & Guajardo- Flores, D. (2017). Extraction of isorhamnetin conjugates from *Opuntia Ficus-indica* (L.) Mill using supercritical fluids. *The Journal of Supercritical Fluids*, 119, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.09.003>

Antunes- Ricardo, M., Gutiérrez- Uribe, J. A., López- Pacheco, F., Alvarez, M. M., & Serna- Saldívar, S. O. (2015). In vivo anti- inflammatory effects of isorhamnetin glycosides isolated from *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill cladodes. *Industrial Crops and Products*, 76, 803– 808. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.089>

Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J. A., Arámbula-Villa, G., & Serna-Saldívar, S. O. (2017). Bioactive compounds in cladodes of *Opuntia ficus-indica*: antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial properties. *Industrial Crops and Products*, 97, 389–398.

Aparicio, R., Ferreiro, L., & Alonso, V. (1994). Effect of climate on the chemical composition of virgin olive oil. *Analytica Chemical Acta*, 292(3),235-241.

Arba, M., Aich, E. L., Sarti, A., Belbahri, B., Boubkraoui, L. L., AitHammou, A., ... & Sbaa, A. H. (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull Mens Inf Liaison PNTTA*, 68, 1-4.

Argenson, C. (2008). La culture de l'olivier dans le monde, ses productions, les tendances. *Le Nouvel Olivier*. 61 :8-11.

Avila- Nava, A., Calderón- Oliver, M., Medina- Campos, O. N., Zou, T., Gu, L., Torres, N., Tovar, A. R., & Pedraza- Chaverri, J. (2014). Extract of cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes scavenges reactive oxygen species in vitro and enhances plasma antioxidant capacity in humans. *Journal of Functional Foods*, 10, 13– 24.

---

Avila- Nava, A., Noriega, L. G., Tovar, A. R., Granados, O., Perez- Cruz, C., Pedraza- Chaverri, J., & Torres, N. (2017). Food combination based on a pre- Hispanic Mexican diet decreases metabolic and cognitive abnormalities and gut microbiota dysbiosis caused by a sucrose- enriched high- fat diet in rats. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(1), 1501023.

Avila-Nava, A., Calderón-Oliver, M., Medina-Campos, O. N., et al. (2017). Antioxidant and antimicrobial properties of *Opuntia cladodes* extract. *Journal of Functional Foods*, 32, 1–9.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79.

Barbera, G., Carimi, F., & Inglese, P. (1992). Past and present role of the Indian-fig prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany*, 46(1), 10–20.

Belguerri, H. 2016. Contribution À L'étude De L'effet De L'irrigation Et La Fertilisation Azotée Et Potassique Sur Les Performances Productives Et Qualitatives De L'olivier Super-Intensif, Thèse doctorat Université De Lleida De 201p.

BELOUED, A. (2009). Plantes médicinales d'Algérie.

Benattia, F. (2017). Évaluation de l'activité antimicrobienne des extraits des raquettes d'*Opuntia ficus-indica* [Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen].

Bennatia, F. (2017). Répartition mondiale d'*Opuntia ficus-indica*. [PDF].

Bensidhoum, M., Djebabra, M., & Chellal, M. (2021). Étude comparative de l'activité antibactérienne d'extraits végétaux selon le type de solvant utilisé. *Revue Algérienne des Sciences*, 15(1), 55–63.

Borges, A., Ferreira, C., Saavedra, M. J., & Simões, M. (2015). Antibacterial activity and mode of action of selected phytochemicals against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 1–10.

Bouayad, N. (2012). Écologie, systématique et phénologie, de l'*Opuntia*, possibilité d'utilisation dans le développement et la préservation de la biodiversité. Mémoire de Magister en Écologie et environnement. Université des Sciences et de la Technologie « Houari Boumediene », Algérie.

---

Boulaaba, A., El Feki, A., & Ghorbel, H. (2014). Antioxidant and antimicrobial activities of *Opuntia ficus-indica* prickly pear peels and seeds extracts. *Industrial Crops and Products*, 62, 212–219.

Bovo, F., Lazzarotto, T., Ambretti, S., & Gaibani, P. (2023). Comparison of broth microdilution, disk diffusion and strip test methods for cefiderocol antimicrobial susceptibility testing on KPC-producing *Klebsiella pneumoniae*. *Antibiotics*, 12(3), 614.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.

Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., & Livrea, M. A. (2002). Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6895–6901.

Chougui N., Djerroud N., Naraoui F., Hadjal S., Aliane K., Zeroual B., Larbat, R. (2015). Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. *Food chemistry*, 173, 382-390.

Codex Alimentarius, 2017. Norme pour les huiles d'olive et les huiles de grignon d'olive P02.

Conde, C., Delrot, S., Geros, H. (2008). Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. *Journal of Plant Physiology*, 165,1545-1562.

Conseil oléicole international, 2018a. Norme commerciale applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC n°3/Rév. 12. Juin 2018.

De Santiago, E., Domínguez- Fernández, M., Cid, C., & De Peña, M. P. (2018). Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 240, 1055–1062.

---

De Santiago, E., Gill, C. I., Carafa, I., Tuohy, K. M., De Peña, M. P., & Cid, C. (2019). Digestion and colonic fermentation of raw and cooked *Opuntia ficus-indica* cladodes impacts bioaccessibility and bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(9), 2490–2499.

Deldicque, L., Van Proeyen, K., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H., & Hespel, P. (2013). Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 1–6.

Dubeux Jr, J. C. B., Dos Santos, M. F., de Andrade Lira, M., Dos Santos, D. C., Farias, I., Lima, L. E., & Ferreira, R. L. C. (2006). Productivity of *Opuntia ficus indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 357-372.

Dumas, E., Silva, V., & Arraiano, C. M. (2016). Lipid-based antimicrobial formulations: From preparation to activity. *Antibiotics*, 5(4), 23.

El kassori, Villaume, C., El, E. B., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.). *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 52(3), 263-270

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. Thèse de doctorat en biochimie, biologie Moléculaire et Cellulaire. Université Hassan I-Settat, Université Bourgogne–Dijon.

Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front Biosci*, 11(1), 2574-2589.

Filannino, P., Cavoski, I., Thlien, N., Vincentini, O., De Angelis, M., Silano, M., Gobbetti, M., & Di Cagno, R. (2016). Lactic acid fermentation of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica* L.) generates flavonoid derivatives with antioxidant and anti-inflammatory properties. *PLoS One*, 11(3), e0152575.

---

Filannino, P., Cavoski, I., Thlien, P., et al. (2016). Functional compounds of *Opuntia ficus-indica* cladodes: From recovery to health-promoting applications. *Frontiers in Plant Science*, 7, 45–53.

Galanakis, C. M. (2011). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 68–87.

Galanakis, C. M., (2011). Olive fruit dietary fiber: components, recovery and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 175-184.

Galati, E. M., Mondello, M. R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi, S., & Taviano, M. F. (2003). Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. fruit juice: Antioxidant and antiulcerogenic activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(17), 4903–4908.

Gebrekidan, M., & Aragaw, T. (2017). Antimicrobial activity of *Opuntia ficus-indica* extracts against Gram positive and Gram negative bacteria. *International Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2(4), 174–181.

Georgé, S., Brat, P., Alter, P., and Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin c in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5) :1370–1373.

Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K. M., Gilani, A. H., Saari, N., (2012). Valuable Nutrients and Functional Bioactives in Different Parts of Olive (*Olea europaea* L.) -A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 3291-3340.

Ghedira K, 2008. L'olivier. *Phytothérapie*, vol 6 (2) :83-89.

Goupy, J., Creighton, L. (2006). *Introduction aux plans d'expérience*. 3<sup>ème</sup> édition, EAN13 : 9782100497447.

Green, P.S. et Wickens, G. E. (1989). The *Olea europaea* complex. In: Tan K (Ed) *The Davis and Hedge Festschrift*, Edinburgh University Press, UK, pp 287-299.

---

GÜLÇİN I., OKTAY M., KIRREÇCI E. ET KUFREVIOGLU O.I. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. *Food Chemistry*.83:371-381.

H.C.D.S. ,1994.Haut Commissariat Au Développement De La Steppe, L'opuntia ; technique de mise en place et d'exploitation.INA.

HADJ SADOK.T. ,2010. Composition chimique des jeunes cladodes D'opuntia Ficus Indica et possibilité de valorisation alimentaire. INA. Thèse de doctorat.

Hadjou, L., Lamani, O., & Cheriet, F. (2013). Labellisation des huiles d'olive algériennes : contraintes et opportunités du processus ? *New Medit*, 12(2), 35-46.

Hammami, S.B.M., Manrique, T., Rapoport, H. F., (2011). Cultivar-based fruit size in olive depends on different tissue and cellular processes throughout growth. *Scientia Horticulturae*, 130, 445-451.

Hii, S. Y. F., Zaiful Bahrina, N. N., Mohd Zaidi, M. N., Tee, T. S., Abdullah, N. A., & Ponnampalavanar, S. (2024). Assessing the colony morphotypes and antibiotic susceptibility profile of Malaysian clinical *Burkholderia pseudomallei* to support the use of EUCAST disk diffusion breakpoints. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 43, 373–378.

Jeannot, K., Gaillot, S., Triponney, P., Brémont, S., Delaire, A., Kieffer, N., & Fortineau, N. (2023). Performance of the disc diffusion method, MTS gradient tests and two commercially available microdilution tests for the determination of cefiderocol susceptibility in *Acinetobacter* spp. *Microorganisms*, 11(8), 1971.

KADIK.B., 1974. Les plantations semi forestières et leur possibilité dans l'aménagement pastoral. In revue de la recherche agronomique (INRA).

Kalegowda, P., Singh, A., & Yadav, D. N. (2016). Isolation and characterization of mucilage from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes and its application as a suspending agent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 581–588.

Kalua, C. M., Allen, M. S., Bedgood Jr, D. R., Bishop, A. G., & Prenzler, P. D. (2007). Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: A critical review. *Food Chemistry*, 100, 273–286.

---

Kalua, C. M., Allen, M. S., Bedgood Jr, D. R., Bishop, A. G., Prenzler, P. D., & Robards, K. (2007). Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: A critical review. *Food chemistry*, 100(1), 273-286.

Kechebar, M. S. A., Karoune, S., Laroussi, K., & Djellouli, A. (2017). Phenolic composition and antioxidant activities of *Opuntia ficus Indica* L. cladodes related to extraction method. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(6).

Khouri MS . , 1970 .opuntia ,bilan écologique en Algérie MARA CARET Alger

Kiritsakis, A. K. (1993). La chimie de l'arome de l'huile d'olive. *Olivae*, 45, 28-33.

Koczura, R., Bartosik, D., & Krzysciak, P. (2021). Challenges in the diffusion-based antimicrobial activity tests of lipophilic substances. *Journal of Applied Microbiology*, 130(6), 1883–1890.

Kolesnik-Goldmann, N., Seth-Smith, H. M. B., Haldimann, K., Egli, A., & Endimiani, A. (2023). Comparison of disk diffusion, E-test, and broth microdilution methods for testing in vitro activity of cefiderocol in *Acinetobacter baumannii*. *Antibiotics*, 12(7), 1212.

Lamani, O., & Ilbert, H. (2016). Spécificités de l'oléiculture en montagne (région kabyle en Algérie) : pratiques culturelles et enjeux de la politique oléicole publique. L'oléiculture au Maroc de la préhistoire à nos jours : pratiques, diversité, adaptation, usages, commerce et politiques. Montpellier: CIHEAM, 149-159.

Langgut, D., Cheddadi, R., Carrión, J. S., Cavanagh, M., Colombaroli, D., Eastwood, W. J., Greenberg, R., Litt, T., Mercuri, A. M., Miebach, A., Roberts, N., Woldring, H., & Woodbridge, J. (2019). The origin and spread of olive cultivation in the Mediterranean Basin. *The Holocene*, 29(6), 902–922.

Lavee, S. (1997). Biologie et physiologie de l'olivier. *Encyclopédie Mondiale de L'Olivier*, Ed. COI, Madrid, Espagne, pp. 60-110.

Lazzeri, Y. (2009). Les défis de la mondialisation pour l'oléiculture méditerranéenne. In *Conférence Centre Culturel Française de Tlemcen-Algérie (Novembre 2009)*. Institut Français à Tlemcen (p. 24).

---

López- Romero, P., Pichardo- Ontiveros, E., Avila- Nava, A., Vázquez- Manjarrez, N., Tovar, A. R., Pedraza- Chaverri, J., & Torres, N. (2014). The effect of nopal (*Opuntia ficus indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and antioxidant activity in Mexican patients with type 2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(11), 1811–1818.

LOPEZ, P.O ET BURGOS, R, R., 1973 . Camed Prickly Pear Juice .Technologie des aliments .237p.

Loussert, R et Brousse, G (1978). L'olivier. Techniques agricoles et Productions méditerranéennes. PP/51-54-56.

Maas, E., Hoffman, G. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2),115-134.

MAHMOUDI F., 2000. détermination de la composition chimique et mesure de la digestibilité des raquettes terminales et sub-terminales de l'opuntia ficus indica dans l'alimentation des ruminants. Thèse. Ing. Int d'agro. Mostaganem. Dépt. Zootechnie 65p.

McLeod, S. M., Carter, N. M., Huband, M. D., Creswell, D. R., Waites, K. B., & Alm, R. A. (2024). Sulbactam-durlobactam susceptibility test method development and quality control ranges for MIC and disk diffusion tests. *Journal of Clinical Microbiology*, 62(1), e01228-23.

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 26(2), 211–219.

Moussaoui B., (2020). Les propriétés biologiques d'extraits des cladodes d'*Opuntia ficus indica* (L.).Thèse de doctorat en Sciences Biologiques. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Algérie.

MOUSSAOUI. M (2014) : plantes Médicinales de Méditerranée et d'Orient .

Msaddak, L., Abdelhedi, O., Kridene, A., Rateb, M., Belbahri, L., Ammar, E., Nasri, M., & Zouari, N. (2017). *Opuntia ficus-indica* cladodes as a functional ingredient: Bioactive compounds profile and their effect on antioxidant quality of bread. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 32.

---

Msaddak, L., Hassini, L., Elfalleh, W., et al. (2017). Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of extracts from cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(4), 083–089.

Mulas M., Mulas G., 2004. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes de genre *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari, groupe de recherche sur la désertification. PP:1-112

Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>

Nharingo, T., & Moyo, M. (2016). Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. *Journal of environmental management*, 166, 55-72

Núñez- López, M. A., Paredes- López, O., & Reynoso- Camacho, R. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10981–10986.

Núñez-López, M. A., García-Cayuela, T., Ángeles Gutiérrez-Méndez, M., et al. (2013). Nutritional and bioactive potential of *Opuntia ficus-indica* cladodes as an ingredient in functional food. *Food Science and Nutrition*, 1(5), 396–403.

Ollivier, D., Boubault, E., Pinatel, C., Souillol, S., Guérère, M., & Artaud, J. (2004). Analyse de la fraction phénoliques des huiles d'olive vierges. In *Annal Expert Forum Chem Toxicol*. Vol. 965, pp. 169-196.

Optimisation de l'extraction des composés phénoliques à partir des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* de la région de Bir-Essalam. (émoire de Master, Université de Bejaia.)

Oued, H., & Chougi, M. (1990). Noms vernaculaires d'*Opuntia ficus-indica* en arabe et en berbère. [PDF].

Petruk, G., Di Lorenzo, F., Imbimbo, P., Silipo, A., Bonina, A., Rizza, L., Piccoli, R., Monti, D. M., & Lanzetta, R. (2017). Protective effect of *Opuntia ficus-indica* L. cladodes against UVA- induced oxidative stress in normal human keratinocytes. *Bioorganic &*

---

Medicinal Chemistry Letters, 27(24), 5485– 5489. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.10.043>

PONCE A.G., FRITZ R., DEL VALLE C.ET ROURA S.I. (2003). antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic swiss chard. *libensmittelwissenschaftund technology*.

Rallo, L., Diez, C.M., Morales -Sillero, A., Miho, H., Priego-Capote, F., Rallo, P. (2018). Quality of olives: A focus on agricultural preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233,491-509.

Rapport du ministère de l’Agriculture et de la Pêche Maritime (2010). Rapport sur la culture du figuier de barbarie dans le bassin méditerranéen. [PDF].

Ribéreau-Gayon, P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod, paris. Francia

Rocchetti, G., Lucini, L., Giuberti, G., Montesano, D., & Cossignani, L. (2018). Phytochemical composition and antimicrobial activity of *Opuntia ficus-indica* cladode extracts. *Food Research International*, 105, 403–411.

Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp mucilage’s: A functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275–290.

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Sharifi-Rad, M., et al. (2019). Medicinal plants used in the treatment of microbial infections: A review on their antibacterial and antifungal properties. *Microbial Pathogenesis*, 134, 103580.

Salehi, E., Emam- Djomeh, Z., Askari, G., & Fathi, M. (2019). *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 206, 565–572.

Sánchez- Tapia, M., Aguilar- López, M., Pérez- Cruz, C., Pichardo- Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S. M., Tovar, A. R., & Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific reports*, 7(1), 1–16.

---

Sébastien, V., (2010). Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation (Université D'Avignon Et Des Pays De Vaucluse).

Sekour, B., (2012). Phytoprotection de l'huile d'olive vierge par ajout des plantes végétales (Université Mhamed Bougara Boumerdes).

Serra, A. T., Poejo, J., Matias, A. A., Bronze, M. R., & Duarte, C. M. (2013). Evaluation of *Opuntia* spp. derived products as antiproliferative agents in human colon cancer cell line (HT29). *Food Research International*, 54(1), 892–901.

Smida, A., Ncibi, S., Taleb, J., Saad, A. B., Ncib, S., & Zourgui, L. (2017). Immunoprotective activity and antioxidant properties of cactus (*Opuntia ficus indica*) extract against chlorpyrifos toxicity in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 88, 844–851

Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2005). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear (*Opuntia* spp.). *Planta Medica*, 71(08), 701–713.

Therios, I. N., (2009). Olives, CABI. Toxicity in rat hepatocyte culture by Natural phenolic compounds. *Toxicology in Vitro*.9: 695-702.

Vargas, P. et Kadereit, J.W. (2001). Molecular fingerprinting evidence (ISSR, Inter-Simple Sequence Repeats) for a wild status of *Olea europaea* L. (Oleaceae) in the Euro Siberian North of the Iberian Peninsula. *Flora* 196, 142-152.

Villa, P., (2003). La culture de l'olivier. De. Vitthi. pp 95.

Villa-Jiménez, Y., Cárdenas-Torres, F. I., & Jaramillo-Flores, M. E. (2013). Phenolic content and antioxidant activity of *Opuntia ficus-indica* cladodes from different maturity stages. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(10), 607–614.

Vinha, A.F, Ferreres, F., Silva, M.S., Valento, P., Goncalves, A., Pereira, J.A., Oliveira, M.B., Seabra, R.M., Andrade, P.B. (2005). Phenolic profiles of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): Influence of cultivar and geographical origin. *Food Chemistry*, 89(4): 561-568.

Volatile compounds in virgin olive oil: occurrence and their relationship with the quality. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 17-31.

---

Volf, I., Ignat, I., Neamtu, M., & Popa, V. I. (2014). Thermal stability, antioxidant activity, and photo-oxidation protection of natural polyphenols. *Food Chemistry*, 156, 77-85.

Zhou, K., & Yu, L. (2010). Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1155–1160.

---

## Résumé :

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à la valorisation des cladodes de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) en tant que source naturelle de composés bioactifs. Le travail a porté sur l'évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH et de l'activité antibactérienne par les méthodes de diffusion sur disque et sur gélose en puits. Des extraits ont été préparés à partir de cladodes dans différents états : frais, séchés, et à différents stades de maturité. Plusieurs méthodes d'extraction ont été utilisées (éthanol et huile d'olive). L'influence de différents paramètres (quantité de cladodes, volume d'huile, temps et vitesse d'agitation) sur la capacité antioxydante a été étudiée à l'aide d'un plan d'expérience. Les résultats ont montré une activité antioxydante élevée, en particulier pour les mélanges à base de cladodes frais associés à l'huile d'olive. L'activité antibactérienne a été observée principalement sur les souches Gram positif (*Staphylococcus aureus*), avec une faible efficacité sur les bactéries Gram négatif. Ces résultats suggèrent le potentiel des cladodes dans des formulations naturelles à usage cosmétique ou thérapeutique.

## Mots-clés :

Cladodes, *Opuntia ficus-indica*, huile d'olive, DPPH, activité antioxydante, activité antibactérienne, plan d'expérience.

## Abstract :

This study focuses on the valorization of prickly pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*) as a natural source of bioactive compounds. The work aimed to evaluate antioxidant activity using the DPPH assay and antibacterial activity through disk diffusion and well agar methods. Extracts were prepared from cladodes in different conditions: fresh, dried, and at various maturity stages. Several extraction methods were used (ethanol and olive oil). The influence of multiple parameters (cladode quantity, oil volume, stirring time and speed) on antioxidant capacity was analyzed using an experimental design. The results revealed high antioxidant activity, especially in mixtures based on fresh cladodes and olive oil. Antibacterial activity was mainly observed against Gram-positive strains (*Staphylococcus aureus*), with limited effects on Gram-negative bacteria. These findings highlight the potential of cladodes for use in natural cosmetic or therapeutic formulations.

## Keywords:

Cladodes, *Opuntia ficus-indica*, olive oil, DPPH, antioxidant activity, antibacterial activity, experimental design.

## الملخص:

في إطار هذه الدراسة، تم التركيز على تثمين صبار التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica*) كمصدر طبيعي للمركبات النشطة بيولوجياً. تمحور العمل حول تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار DPPH، والنشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقتي الانتشار على الأقراص وعلى الأوساط الصلبة بواسطة الأبار. تم تحضير مستخلصات من ألواح الصبار في حالات مختلفة: طازجة، مجففة، وفي مراحل نضج مختلفة. كما تم استخدام عدة طرق استخلاص (الإيثانول وزيت الزيتون). تمت دراسة تأثير عدة عوامل (كمية الألواح، حجم الزيت، مدة وسرعة التحريك) على القدرة المضادة للأكسدة باستخدام تصميم تجريبي. أظهرت النتائج نشاطاً مضاداً للأكسدة مرتفعاً، خاصة في الخلطات التي تحتوي على الألواح الطازجة مع زيت الزيتون. أما النشاط المضاد للبكتيريا، فقد لوحظ بشكل رئيسي على السلالات الموجبة لصبغة غرام (*Staphylococcus aureus*)، مع فعالية ضعيفة ضد البكتيريا السالبة لصبغة غرام. تشير هذه النتائج إلى إمكانية استخدام ألواح الصبار في التركيبات الطبيعية لأغراض تجميلية أو علاجية.

## الكلمات المفتاحية:

ألواح الصبار، زيت الزيتون، DPPH، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، التصميم التجريبي.

## Agzul:

Deg usenfa n tamedyazt-agi, nezrey ad nesneflay iyersayen n taknartut n *Opuntia ficus-indica* (aqcic n tazult) d amasal n yimezzyanen imuraren s wudem azir. Axeddam yettwasel yef usestemhel n tmidelt tusnakt s uşşan DPPH, akked tmidelt taddayt n yibakteriyen s tarrayin n wesqed yef wigur akked yef ufus n igelwazen. Tettwawid-d tigejda n tigejda n uqcic n tazult deg yimezdalen yemgaraden: d imayyanen, d ifukkaren, akked deg yismnalen n temtut. Ttuseqdac-d kra n tarrayin n wiestemhel (tament n ethanole akked zzit n zzit). Yettwaqleđ-d aybalu n kra n yixfaren (lqim n uqcic, lhajm n zzit, wakud akked aruray n uksal) yef tezmert tusnakt s waymis n usenfa. Ijwidēn d-yefkan d tmidelt tusnakt tafellayt, s waţas deg yirmen yettweslen s uqcic amayyan yettmerzen s zzit. Tmidelt taddayt n yibakteriyen tettwalan afus yef tlila n yibakteriyen Gram + (*Staphylococcus aureus*), s tallalt mezzyan yef yibakteriyen Gram –. Ijwidēn-agi d-nnan belli tigejda n uqcic zemrent ad ttwaseqdec di tferkitin imuraren n lheqq ney n uzir.

## Awalen n tsleđt:

Uqcic, *Opuntia ficus-indica*, zzit n zzit, DPPH, tmidelt tusnakt, tmidelt taddayt n yibakteriyen, usenfa n tajerrabt.