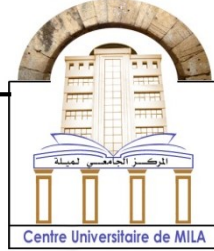


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

**Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila**

**Institut des Sciences et de la Technologie**

**Département des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

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

**Filière : Biotechnologie**

**Spécialité : Biotechnologie végétale**

**Thème :**

**Etude des propriétés antioxydantes des extraits des cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*L.Miller) en Algérie**

**Présenté par : - BENSLIMANE Saida**

**- FENKOUH Marwa**

**Devant le jury :**

**Dr. BOUGUERIA Hassiba      MCA      Présidente**

**Dr. BOUKERIA Sabah      MCAExamineur**

**Dr.BERRABAH Hicham      MCB      Promoteur**



## تشكر

أولاً وقبل كل شيء نحمد الله على توفيقنا لهاته اللحظة وتيسير أمورنا طيلة هاته السنوات.

نقدم جزيل شكرنا الى أستاذنا الفاضل براج هشام الذي اشرف على هاته المذكرة منذ بدايتها،

على كل الجهود التي بذلها والمعلومات التي قدمها.

نشكر أساتذتنا: أعضاء اللجنة، الأستاذة بوقرية حسيبة كرئيسة والأستاذة بوقرية صباح كممتحنة.

نشكر كل الأساتذة الذين درسونا في كل مراحل تعليمنا الجامعي

أساتذة قسم علوم الطبيعة والحياة

وكل من قدم لنا معلومة في يوم ما.

وفي الأخير نشكر كل من ساهم في هذا العمل من قريب وبعيد.

إهداء...

الحمد لله الذي وفقني لهذا ولم أكن لأصل إليه لولا فضل الله علي.

أهدي هذا العمل إلى والدي العزيزين. تفتحه الحروف مجازة عن التعبير عن مدى امتناني لكما، وعن عمق المشاعر التي أشعر بها ناحيتكما، تقبلوا مني هذا النجاح المتواضع جزاء كل جهودكما معي.

أدامكما الله نعمة.

إلى اخوي العزيزين حسين وعمار (إبراهيم) نعم الأخ والسند أدامكما الله نعمة.

والى زوجتيهما العزيزتين وأبنائهما أحبتي فلق، رند، أسيل، رضوان،

إلى أخواتي حبيبتي قلمي هديتي من الحياة 'فتيحة' جميلة 'سارة' أدامكن الله نعمة.

إلى أزواجهم وأبنائهم أحبتي 'عبد الغفور' محمد 'إسلام' ريدان،

إلى أستاذي المشرف الذي لم يبخل علينا يوما بمجموعه ونصائحه في سبيل إنهاء هاته المذكرة

وفقك الله لما يحبه ويرضاه.

إلى عائلتي الكبيرة فردا فردا وأخص بالذكر خالتي العزيزة وابنة عمي فطيمة.

إلى صديقاتي ورفيقات دربي من أكن لمن كل الحب، وسام، زينب، حسبية، زينب، منال، ياسمين،

'رانيا' هبة، شهيناز،

وكل من لم يسعمن قلمي ولكن وسعمن قلبي.

إلى صديقتي وزميلتي في العمل 'مروة' كانت شيئا جميلا صدفة التقائنا ذات يوم.

إلى كل أساتذتي على طول مشواري الدراسي. إلى كل من علمني حرفا

كان له نورا في الجنة إن شاء الله.

إلى زملائي الذين أتمنى لهم التوفيق فيما هو آت.

وأخيرا وليس آخرا إلى كل من سيقراً عملي هذا أتمنى أن أكون قد أفدتك ولو بالقليل.....

سعيدة

إهداء

آخر يوم بحياتي الدراسية والحمد لله على إكمال عدد السنين اهدي تخريفي

إلى من علمني إن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، إلى الذي لم يبخل علي بأي شيء، إلى من

سعى لأجل راحتي ونجاحي، إلى أعظم واعز رجل في الكون "أبي العزيز"

إلى من ساندتني في صلاتها وذكورها، إلى من سهرت الليالي مني درسي، إلى من تشاركتني

أفراحي وأسأتي، إلى أروع امرأة في الكون "أمي الحبيبة"

إلى سندي في شدتي وبهم اقوي على دنيتي إخوتي "خالد" "عبد الرحيم" و "إسلام"

وأخواتي "مريم" "رميساء" و "هيام" وزوجة أخي ماهر

والى أخي الصغير "زياد"

إلى كتاكيب العائلة أبناء أختي "همام" و "أبرار" وابنة أخي "رزان"

إلى كل فرد من العائلة الكبيرة

إلى أستاذي المشرف "بالرابع هشام" على كل إرشاداته ونصائحه

إلى من علموني الحرف الأول وبصروني بالعلم إلى من أخذوا بيدي في هذا المجال وجعلوا من

العلم احلي آيات المنال "أساتذتي الأفاضل"

إلى من شاركتني مذكرتي صديقتي وزميلتي "سعيدة"

إلى من حفروا بصورهم الرقيقة على جدران قلبي ذكرى لم يمحوها نهار "زملائي" و "أصدقائي"

الطيبين"

مروة

## **Résumé :**

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable des composés bioactifs tels que les composés phénoliques. Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L), cactus appartenant au genre *Opuntia* qui recèle de multiples propriétés médicinales, alimentaires et industrielles nécessitent des études plus approfondies sur leurs composants et leurs activités biologiques.

Dans le but de valoriser les plantes médicinales en Algérie, nous nous sommes intéressés à l'évaluation des propriétés antioxydantes des extraits des cladodes (*Opuntia ficus indica* L) jeunes et âgés d'une part, épineux et inermes d'autre part.

L'estimation quantitative des composés phénoliques montre que les extraits de la plante contiennent une variation de ces composés en fonction de présence ou absence des épines où l'extrait des cladodes âgés épineux a marqué les teneurs les plus importants par rapport aux autres extraits.

L'évaluation de l'activité antioxydante par le teste de DPPH montre que les cladodes d'OFI ont un pouvoir antioxydant très important ; ces valeurs élevées sont dues aux teneurs des composés phénoliques qu'ils sont la base de cette activité.

## **Mots clés**

Figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica* L Miller, cladodes, métabolites secondaire, activité antioxydante.

## الملخص :

تمثل النباتات الطبية مصدرًا مهمًا للمركبات النشطة بيولوجيًا مثل المركبات الفينولية. التين الشوكي (*Opuntia ficus indica* L) ، صبار ينتمي إلى جنس *Opuntia* الذي له خصائص طبية وغذائية وصناعية متعددة تتطلب مزيدًا من الدراسات حول مكوناتها وأنشطتها البيولوجية. من أجل تعزيز النباتات الطبية في الجزائر ، قمنا بتقييم الخصائص المضادة للأكسدة لمستخلصات ألواح التين الشوكية الصغيرة والكبيرة من جهة ، الشائكة وغير الشائكة من جهة أخرى. يظهر التقدير الكمي للمركبات الفينولية أن المستخلصات المائية تحتوي على تباين في هذه المركبات حسب وجود أو عدم وجود الأشواك حيث تميز مستخلص الألواح الكبيرة الشائكة بأعلى المستويات مقارنة بالمستخلصات الأخرى. يُظهر تقييم النشاط المضاد للأكسدة بواسطة اختبار DPPH أن الألواح لها قوة عالية جدًا من مضادات الأكسدة ؛ هذه القيم العالية ترجع إلى محتويات المركبات الفينولية التي تشكل أساس هذا النشاط.

## الكلمات المفتاحية

التين الشوكي ، *Opuntia ficus indica* L ، الألواح ، المستقلبات الثانوية ، النشاط المضاد للأكسدة.

## **Abstract:**

Medicinal plants represent an inexhaustible source of bioactive compounds such as phenolic compounds. The prickly pear (*Opuntia ficus indica* L), cactus belonging to the genus *Opuntia* which has multiple medicinal, food and industrial properties require further studies on their components and biological activities.

In order to enhance the medicinal plants in Algeria, we are interested in the evaluation of the antioxidant properties of the extracts of cladodes (*Opuntia ficus indica* L) young and old on the one hand, spiny and inermes on the other hand.

The quantitative estimation of the phenolic compounds shows that the plant extracts contain a variation of these compounds according to the presence or absence of the spin where the extract of the spiny aged cladodes marked the highest levels compared to the other extracts.

The evaluation of the antioxidant activity by the DPPH test shows that the cladodes of OFI have a very high antioxidant power; these high values are due to the contents of the phenolic compounds that are the basis of this activity.

## **Key words**

Prickly pear, *Opuntia ficus indica* L, cladodes, secondary metabolites, antioxidant activity.

## Liste des abréviations

**FDB** : figuier de barbarie

**O.fi** : *Opuntia ficus indica*

**AE** : âgée épineuse

**AI** : âgée inerme

**JE** : jeune épineuse

**JI** : jeune inerme

**DPPH** : Diphényl -picryl-hydrazyl

**MS** : matière sèche

**EAG** : Equivalent d'Acide Gallique

**RL.s** : Radicaux libres

**PP** : polyphénole

**MeOH** : Méthanol

**ROS** : réactif oxygène species

[ ] : Concentration

**AlCl<sub>3</sub>** : trichlorure d'aluminium

**TCs** : tanin condensés

**IC 50** : Concentration inhibitrice a 50%.

**RF** : réactif de Folin -Ciocalteu

**AAO** : activité antioxydant

**EQ mg/g** : équivalent de cursitine

**ER/g.MS** : équivalent de rutine par gramme de matière sèche



## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Les organes de la plante de figuier de barbarie.....	7
<b>Figure 2</b> :Principales étapes de la défense enzymatique contre les espèces réactive...	11
<b>Figure 3</b> :Les systèmes de défense contre les radicaux libres.....	12
<b>Figure 4</b> : La balance d'équilibre entre les systèmes pro et antioxydants.....	15
<b>Figure 5</b> : Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant.....	18
<b>Figure 6</b> : Sources de production des radicaux libres (1).....	19
<b>Figure 7</b> : Structure générale des flavonoïdes.....	20
<b>Figure 8</b> : Classification des tanins selon leur structure chimique.....	21
<b>Figure 9</b> : les variétés des cladodes utilisée.....	22
<b>Figure10</b> :Préparationdes échantillons .....	23
<b>Figure 11</b> : Méthode de macération a froid des extraits.....	24
<b>Figure 12</b> : résultats de polyphénole .....	25
<b>Figure 13</b> : résultats de flavonoïde .....	26
<b>Figure 14</b> : résultats de sucre soluble.....	27
<b>Figure 15</b> : DPPH.....	27
<b>Figure16</b> :résultats d'activité antioxydant.....	28
<b>Figure 17</b> : Variation de la teneur en polyphénols dans les différents extraits des cladodes d' <i>O. ficus-indica</i> L .....	29
<b>Figure 18</b> : Variation de la teneur en flavonoïdes dans les différents extraits des cladodes d' <i>O. ficus-indica</i> L.....	30
<b>Figure 19</b> :Variation de la teneur en sucres solubles dans les différents extraits des cladodes d' <i>O. ficus-indica</i> L.....	31
<b>Figure 20</b> : Variation de la teneur en polyphénols dans les différents extraits des cladodes d' <i>O. ficus-indica</i> L.....	32

### Liste des tableaux :

<b>Tableaux 1 :</b> Composition chimique des cladodes.....	8
<b>Tableaux 2 :</b> Principaux antioxydants non enzymatiques et sources alimentaires associées.....	13
<b>Tableaux 3 :</b> Les principaux radicaux libres.....	16
<b>Tableaux 4 :</b> Pharmacologiques et biologiques de certaines classes de composés phénoliques.....	20

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction ..... 1

Synthèse bibliographique..... 3

1. Généralités sur le figuier de barbarie..... 3

1.1 Origine et historique: ..... 3

1.2 Fiquier de barbarie en l'Algérie :..... 3

1.3 Propriétés biologique : ..... 5

1.4 Utilisation de plante : ..... 5

1.5 La culture de plante : ..... 5

1.6 Description de plante..... 6

1.7 Importance et utilisation des cladodes : ..... 7

2. Les métabolites secondaires..... 9

2.1. Les alcaloïdes ..... 9

2.2. Les polyphénols..... 10

3. Les antioxydants..... 14

3.1. Définition des antioxydants ..... 14

3.2 Classification des antioxydants suivant la nature chimique ..... 14

3.3 Classification des antioxydants par rapport à leur mécanisme d'action..... 17

3.2.Stress oxydatif..... 18

Matériel et méthodes ..... 22

1. Matériel végétale : ..... 22

2. Récolte de la plante..... 22

3. Préparation des échantillons ..... 23

<b>4. Extraction par macération à froid :</b>	24
<b>5. Quantification des métabolites :</b>	24
<b>5.1. Dosage de polyphénols :</b>	24
<b>5.2. Dosage des Flavonoïdes :</b>	25
<b>5.3 Dosage des sucres solide :</b>	26
<b>6. Evaluation de l'activité antioxydant</b>	27
<b>6.1. Méthodes de Di-Phényl-Picryl-Hydrazyl (DPPH)</b>	27
<b>Résultat et discussion</b>	29
<b>a. Quantification des métabolites</b>	29
<b>1. Polyphénols</b>	29
<b>2. Flavonoïdes</b>	30
<b>3. Sucres solubles</b>	32
<b>b. Evaluation de l'activité antioxydant</b>	32
<b>1. Activité anti-radicalaire</b>	32
<b>Conclusion</b>	34
<b>Références bibliographiques</b>	34

# Introduction

## Introduction

Les plantes peuvent être considérées comme des bibliothèques des petites molécules de métabolites secondaires des composés organiques avec une diversité structurale qui autrement ne pourrait pas être disponibles dans un laboratoire de synthèse chimique **(Benattia, 2017)**.

Cette matière végétale contient un grand nombre de molécule qui ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie, l'alimentation, la cosmétologie et en dermopharmacie **(Benattia, 2017)**.

L'Algérie, connue par son étendue vaste et diversifié sur le plan climat et sol, possède un patrimoine floristique riche et varié dans lequel de nombreuses plantes médicinales sont recensées. Dans diverses plantes médicinales, différentes molécules bioactives, telles que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tanins, les caroténoïdes ont été identifiées **(Mansouri et al. 2005)**.

Le Figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) est une plante arborescentes xérophYTE originaire du continent américain caractéristique des zones arides et semi-arides, produit des fruits comestibles et du fourrage pour le bétail **(Odoux et Dominguez, 1995)**.

Certains des effets bénéfiques des cladodes de (*Opuntia ficus indica* L. Miller) ont été attribués à ses fibres alimentaires. De plus, la plante contient d'autres composés phytochimiques, tels que des acides phénoliques, des flavonoïdes, des caroténoïdes et des vitamines. Ces dernières années, l'intérêt a augmenté l'étude des composés phytochimiques associés aux cladodes d'*Opuntia* ainsi que leur mécanisme d'action **(Santos-Zea, 2011)**.

En effet, la recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant cette espèce et les propriétés des molécules actives qui la composent pour permettre de lutter efficacement contre quelques maladies telles que l'artériosclérose, le cholestérol et le diabète **(Lee et al. 2001)**. Les métabolites secondaires sont à la base de toutes les études sur les molécules actives notamment les composées phénoliques qui ont des intérêts bénéfiques prouvées en pharmacologie **(Vauzour.2010)**. Ces composés sont doués d'activités biologiques potentielles comme l'activité anti-hyperglycémiant, antioxydant, cytotoxique, anti-inflammatoire et anti-tumorale **(Rauter et al. 2009)**.

L'importance économique du figuier de barbarie réside dans la production du fruit destiné à l'alimentation directe par la population locale durant une courte période de l'année qui s'étale du mois d'Août à la mi-septembre en Algérie. Cela ne permet pas d'exploiter

malheureusement la grande partie de la production de l'année (cladodes) qui reste attachée sur pieds est par conséquent perdue.

Dans ce contexte, notre travail porte sur l'étude des propriétés antioxydants des cladodes d'*Opuntia ficus-indica* L. épineuses et inermes en Algérie afin de cibler le cultivar le plus riche en molécules bioactives d'une part et de valoriser et exploiter les cladodes de la plante d'autre part.

Le présent travail est une contribution dans la valorisation de figuier de barbarie est présenté comme suit:

- La première partie est consacrée à une étude bibliographique sur le figuier de barbarie d'*Opuntia ficus indica* L, les antioxydants et les métabolites secondaires.
- Le second décrit le matériel et les méthodes utilisés dans notre travail.
- La troisième partie sera consacrée à la discussion des résultats obtenus dans cette étude.





# **Synthèse bibliographique**

# Synthèse bibliographique

## 1. Généralités sur le figuier de barbarie

Les cultures de cactus bénéficient d'une attention croissante à travers le globe, en particulier le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L), grâce à leurs caractéristiques uniques qui lui confèrent de la résilience aux conditions extrêmes. Le figuier de barbarie est capable de pousser sur des terres où aucune autre culture n'est capable de croître ; il peut être utilisé pour restaurer des sols dégradés et constitue dans de nombreux pays l'unique culture sur laquelle on peut compter lorsque toutes les autres sont vouées à l'échec (**Paolo et al. 2018**).

Dans nos jours, le cactus offre de nombreuses possibilités d'utilisation. Il est utilisé dans l'alimentation humaine, l'alimentation animale, comme produit de soins et de beauté, pour soigner certains maux et maladies et pour de multiples divers usages industriels (**Bergaoui,2020**).

### 1.1 Origine et historique:

Nopal (*Opuntia*) est le nom mexicain, d'origine aztèque de notre figuier de barbarie. Selon (**schweizer,1997**) dans son célèbre livre « Nopal » c'est une plante riche, belle, originale et très utile, et le figuier de barbarie appartient aux plantes médicinales le plus utilisées où la recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses propriétés. Elle étudie les molécules actives qui la composent et lui permettent de lutter efficacement contre quelques-unes des affections les plus graves de notre temps : l'anxiété, l'artériosclérose, le cholestérol, le diabète, l'obésité, la spasmophilie, le stress. (**Schweizer,1997**).

Le cactus est originaire de l'Amérique Centrale découvert par les Espagnols, il fut ramené en Europe dans les années 1500. Il nous est parvenu par l'intermédiaire des andalous à la fin du XVIe siècle. OÙ à l'aube du seizième siècle, la plante s'est répandue dans le bassin méditerranéen suite aux expansions espagnoles. La plantation du figuier de barbarie a été considérablement étendue dans la région du sud de l'Afrique (année 1772), l'Inde (1780), les Philippines (1695), la Chine (1700) et l'Indochine (1790) (**Bergaoui,2020**) et (**Houerou,1996**).

### 1.2 Fiquier de barbarie en l'algérie

En Algérie, environ 80% de la surface est aride ou semi-aride, offrant un terrain idéal pour la culture de figuier de barbarie, elle dispose d'une surface plantée de 52 000 ha, avec une production annuelle de 75 000 tonnes. Le figuier de Barbarie est généralement utilisé comme

clôture ou encore comme source de fourrage dans les périodes de sécheresse (**le bureau ADMEDERA,2021**).

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-Bou-Argeridj, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres Ain-Sefra. Du centre à l'ouest l'Opuntia occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares par exemple, on le trouve sur les hauteurs de Chréa, Bouarfa (wilaya de Blida), dans les wilayas de, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, AinTemouchent, Oran, Mascara, Sidi-bel Abbès, Tlemcen, dont la meilleure cueillette des figues de barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux, à l'exception des montagnes et des zones sahariennes (**Boudilmi et Mehoulas,2020**).

Dernièrement on commence à voir des efforts de valorisation du fruit suite au passage à l'industrie de transformation. La création d'une coopérative d'agriculteurs, de scientifiques et de commerçants à Souk Ahras, dans le but d'exploiter et de commercialiser les sous-produits de figuier de barbarie. Cette coopérative a créé une première unité de production en 2015 à Sidi Fredj, dédiée aux huiles, aux vinaigres et aux jus et une deuxième usine en 2017 dans la même région dont l'activité principale est la création d'une marque d'huile de pépins de figue de barbarie. L'usine a fabriqué 300 litres d'huile en 2017, 1000 litres en 2018 et 7000 litres en 2019 (selon les estimations). La marque est exportée vers la France, l'Allemagne et le Qatar et vise le marché américain pour le futur (**Le bureau ADMEDERA, 2021**).

### **Classification d'*Opuntia ficus-indica***

Selon (**Mahrez et Mazari,2020**)

Règne :	Plantae
Sous règne :	Tracheobionta
Embranchement :	Phanérogames
Sous Embranchement :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous classe :	Caryophyllidae
Ordre :	Opuntiales, Caryophyllales.
Famille :	Cactaceae
Sous-famille :	Opuntioideae
Tribu :	Opuntieae
Genre :	Opuntia
Sous-genre :	Platyopuntia

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.)

### 1.3 Propriétés biologique

Le figuier de barbarie appartient depuis toujours aux plantes médicinales les plus utilisées. La recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses propriétés, le figuier de barbarie renferme des molécules bioactives appelées bétacyanines (une classe de pigments rougeâtres) qui possèdent des propriétés antioxydants et anticancéreuses et peuvent par conséquent être employée dans le cadre des traitements naturels **(Fernandez et al.1990)**.

Les fleurs et l'extrait de l'*Opuntia ficus indica* L exercent des effets anti-inflammatoires sur l'organisme, efficace contre les douleurs gastro-intestinales, l'angoisse, l'artériosclérose, l'asthénie, le stress, les allergies et les brûlures, antidiabétique, efficace contre l'obésité en empêche l'assimilation des sucres et les graisses dans l'organisme **(Fernandez et al.1990)**.

### 1.4 Utilisation de plante

Le fruit, les fleurs ou encore les raquettes du figuier de barbarie peuvent être utilisés dans les industries comme les industries alimentaire et des boissons alcoolisées et non alcoolisées à base de fruits et de jeunes raquettes aussi dans l'alimentation animale où il y a des compléments et des aliments pour animaux provenant de raquettes et de déchets de fruits, et utilisée aussi dans la pharmacutique ( les comprimés et les capsules de poudre de cladode et de pépins de FDB), la cosmétique (les crèmes, les shampoings et les lotions), et les compléments alimentaires (la poudre de pépins et de raquettes de FDB ) **(le bureau ADMEDERA, 2021)**.

Mais malgré les grands utilisations et exploitations de plante dans des nombreuse pays, il reste moins exploité dans nos pays, là où ses usages sont limités selon **(Halimi,2014)**, pour ses fruits comestibles et le fourrage de ses raquettes en particulier pendant les périodes de sécheresse. Il est utilisé également pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne, ainsi que pour la protection et la mise en valeur des sols dans les régions arides et semi arides **(Halimi,2014)**.

### 1.5 La culture de plante

**(Barthes et al.2016)** décrit la méthode traditionnelle, où la plantation s'effectue simplement en déposant un cladode (tige aplatie du cactus) sur le sol, recouvert d'une pierre afin d'éviter qu'il ne soit déplacé par le vent et les animaux et le maintenir en permanence en contact avec le sol. Le cladode développe alors rapidement des racines pour donner naissance à une nouvelle plante. Il s'agit donc d'une culture assez facile à mettre en place, même dans des exploitations peu capitalisées. Plus récemment, les plantations s'effectuent en ligne, dans

des trous profonds d'une vingtaine de centimètres, avec de jeunes plants (environ 3 raquettes), ce qui assure une croissance plus rapide. On peut ensuite apporter une fumure organique, à intervalle plus ou moins régulier, voire même une irrigation au goutte à goutte, mais ce n'est pas indispensable. **(Barthes et al.2016).**

## **1.6 Description de plante**

La plante de figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) comprendre les parties suivantes :

### **1.6.1 Les fleurs**

Les fleurs apparaissent sur le dessus des raquettes, larges de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Ces fleurs sont comestibles **(Barkaoui,2021).**

La fleur séchée peut être utilisée comme remède pour de nombreux maux (problèmes de reins, de la prostate, douleurs gastro-intestinales, coup de soleil...). Le cactus peut être considéré comme plante mellifère, les fleurs butinées par les abeilles donnent un miel d'excellente qualité. **(Bergaoui,2020).**

### **1.6.2 Les fruites**

La figue de barbarie est présente sous la forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, dont la peau verte jaunâtre est, elle aussi, ornée de petites épines **(Barkaoui,2021)** Le fruit est une baie de forme variable, sphérique, ovoïde, pyriforme, juteuse jusqu'à maturité, la couleur de la pulpe peut être verdâtre, jaune orange et même rouge, la taille des fruits est très variable, leur poids varie de 30 à 60 g (gramme) et peut atteindre 250 g. La forme du fruit varie selon la variété et la période de formation: les précoces sont arrondis et les tardifs sont allongés **(Benabdallah et Daoud,2018).**

Le fruit est une baie charnue à nombreuses graines (polyspermiq)ue) dont la masse peut varier de 150 à 400 g. **(Msadak,2018)**

Le fruit est consommé frais, il peut être utilisé pour en faire un jus, du sirop, de la confiture, l'huile essentielle des graines de fruits est le produit phare des dérivés du cactus. Très riche en antioxydants, elle est utilisée comme produit cosmétique antirides et anti-âge. L'huile des graines de cactus est parmi les huiles essentielles les plus chères sur le marché **(Bergaoui,2020).**

### **1.6.3. Les graines de fruits du figuier de barbarie**

Présentent une variation de forme, taille, structure, caractéristiques de l'embryon. Ils représentent environ 10-15 % des aliments comestibles **(Mahrez et Mazari,2020)**

### **1.6.4 Les raquettes (les cladodes)**

La tige de l'Opuntia est formée d'articles ovales, charnus et aplatis, de couleur verte, communément appelés "raquettes" dont la surface est parsemée d'alvéoles. Parfois protégées par des poils barbelés regroupés en touffes et armés de redoutables épines (sétules), elles constituent chacune un "point végétatif dormant et polyvalent. (Schweizer1997).

Les raquettes sont également une partie comestible de la plante pouvant atteindre 3 à 4 mètres de haut, Les raquettes, appelées cladodes, mesurent 30 à 40 centimètres de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur, elles s'unissent les unes aux autres, en formant des sortes de branches. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration de la plante et la protège tout en assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles (Barkaoui,2018).



**Figure 1 :** Les organes de la plante de figuier de barbarie: **a**: cladode; **b** : fleur ; **c** : fruit ; **d**: grains ; **e** : pulpe ; **f** : écorce.

### 1.7 Importance et utilisation des cladodes

La poudre de raquettes de figuier de barbarie est fabriquée à travers la déshydratation et la mouture des raquettes. Grâce à son apport en fibres, en vitamines et en minéraux, qui permet d'abaisser la glycémie et le cholestérol, la poudre est vendue comme complément alimentaire soit sous la forme de gélule soit dans des sachets. La poudre de raquettes de figuier de barbarie peut servir comme ingrédient pour la fabrication de la farine de raquettes (fabriquée à travers le mélange de la poudre de raquettes avec la mouture de céréales)(Makoto,2018).

Les jeunes raquettes sont l'équivalent de légumes frais et rafraichissants. C'est un produit très prisé surtout au Mexique et en Sicile où il fait partie intégrante de la cuisine

traditionnelle. L'utilisation des raquettes comme fourrage pour l'alimentation des animaux est connue et très courante surtout en période de sécheresse. Le mucilage des raquettes peut être utilisé dans la fabrication de shampoings, assouplissants, crèmes dermiques et laits hydratants. Les raquettes sont utilisées pour l'élevage des cochenilles et la production du colorant naturel rouge carmin très demandé de nos jours (Bergaoui,2020).

### 1.7.1 Les variétés des cladodes (inermes et épineuses)

Il y a deux variétés, la variété inerme et l'épineuse. Les épines sont blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées et longues de 1 à 2 cm. Les glochides sont de fines épines de quelques millimètres de couleur brunâtre, se décrochent facilement, munies de minuscules écailles en forme d'hameçons s'implantant solidement dans la peau. Ils sont présents même chez la variété inerme (Msadak,2018).

La domestication d'*Opuntia ficus-indica* L a commencé il y'a environ 8000 ans. Il en existe une forme épineuse et une forme inerme. De nombreux auteurs considèrent l'*Opuntia megacantha* comme un synonyme d'*Opuntia ficus-indica* L, toujours considérée comme la forme inerme.

Cependant, selon (Roberto et Detlev,2018) l'explication la plus probable est qu'ils aient un ancêtre commun. Tous deux résultent d'hybridations naturelles et de nombreux croisements sporadiques. *O. megacantha* comme un taxon cultivé et un synonyme de *O. ficus-indica* L sous sa « forme épineuse » et rejette les catégories de variété ou forme, *O. megacantha* est une réversion d'un *O. ficus-indica* L inerme vers une plante épineuse.

**Tableau 1 : Composition chimique de cladode (raquettes) du nopal**

(1) Eau	92%
(2) Glucides	4,3%
(3) Cellulose	1,2%
(4) Protéines	0,6%
(5) Matière grasse	0,15%
(6) Cendres	1,5%

Des chercheurs ont signalé dans la composition du figuier de barbarie la présence d'un tannin, des traces de berbérine et d'un autre alcaloïde indéterminé. La substance mucilagineuse qui fait la richesse de l'*Opuntia* c'est la pectine (1 kg de tiges fraîches fournit 7,5 grammes de pectatecalco-magnésium), ses cendres sont riches en fer. (Schweizer,1997).

## 2. Les métabolites secondaires

Les plantes ont une importance capitale pour la survie de l'homme et des différents écosystèmes. Elles renferment une partie importante des composés qui interviennent dans l'ensemble des réactions enzymatiques ou biochimiques ayant lieu dans l'organisme. On distingue ainsi deux groupes de métabolites : les métabolites primaires et les métabolites secondaires (**Hartmann, 2007**).

- a. Les métabolites primaires** : Selon **Epifano et al(2007)**, sont des molécules organiques qui se trouvent dans toutes les cellules de l'organisme d'une plante pour y assurer sa survie.
- b. Les métabolites secondaires** : d'après **Jeun et al(2005)** ont une répartition limitée dans les différentes espèces de végétaux. Ils ont des fonctions très importantes pour la survie et la propagation des plantes qui les produisent, comme signaux chimiques, pour défendre leur producteur contre les herbivores et les pathogènes. Comme ils participent à des réponses allopathiques (compétition entre les plantes pour la germination et croissance).

**Krief,(2003)** explique alors que on peut classer les métabolites secondaires en trois grands groupes : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes. Chacune de ces classes renferme une très grande diversité de composés qui possèdent une très large gamme d'activité en biologie humaine.

### 2.1. Les alcaloïdes

Un alcaloïde est une substance organique azotée relativement stable d'origine végétale (**Mauro,2006**), et de distribution restreinte à caractère alcalin et présentant une structure moléculaire hétérocyclique complexe. Ils existent à l'état de sels et ils sont bio synthétiquement formés à partir d'un acide aminé(**Reynier,2007**). Par ailleurs **Roux et Catier(2007)** assurent que les alcaloïdes existent rarement à l'état libre dans la plante, le plus souvent ils sont combinés à des acides organiques ou à des tanins.

#### 2.1.1. Rôles des alcaloïdes

**Zenk et Jueng (2007)**, soulignent qu'ils possèdent une activité pharmacologique significative. Bien que beaucoup d'entre eux sont employés pour leurs propriétés analgésiques (comme la morphine, la codéine), dans le cadre de protocoles de sédation (anesthésie,



atropine) souvent accompagnés des hypnotiques, ou comme agents antipaludéens (quinine, chloroquinine) ou agents anticancéreux (taxol, vinblastine, vincristine), mais certains d'entre eux soient toxiques (comme la strychnine ou l'aconitine).

## **2.2. Les polyphénols**

D'après **Fleuriet et al (2005)**, Le terme « polyphénols » est fréquemment utilisé dans le langage courant et même dans des articles scientifiques ou de vulgarisation pour désigner l'ensemble des composés phénoliques des végétaux donc la désignation générale « composés phénoliques » concerne à la fois les mono, les di et les polyphénols dont les molécules contiennent respectivement une, deux ou plusieurs fonctions phénoliques.

Les composés phénoliques forment un groupe diversifié de métabolites secondaires (**Hattenschwiler et Vitousek 2000**), d'un poids moléculaire élevé (**Harbone, 1994**). Ces molécules constituent le groupe majoritaire le plus important dans le règne végétal.

Les différentes parties de la plante possèdent des quantités en polyphénols variables selon l'espèce végétale et le groupe phénolique considéré (**Bamforth, 2000**). Ils sont constitués des composés chimiques aromatiques contenant au moins une fonction phénol, c'est-à-dire d'un noyau aromatique lié à un ou plusieurs groupement(s) hydroxyle(s), en plus d'autres constituants, modifié(s) ou non (**Lattanzio et al., 2006**).

### **2.2.1. Classification des polyphénols**

Une classification de ces substances a été proposée par **Harborne (1980)** On peut distinguer les différentes classes des polyphénols en se basant d'une part, sur le nombre d'atomes constitutifs et d'autre part, sur la structure de squelette de base.

Deux principales classes sont largement répandues :

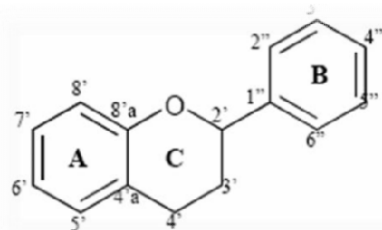
- Les flavonoïdes.
- Les tanins.

#### **2.2.1.1. Les flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont désignés sous le nom de vitamine P (P étant la première lettre demot perméabilité), en raison de leur efficacité à normaliser la perméabilité des vaisseaux sanguins (**Nijveldt et al., 2001**).

Ces premiers renferment une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (**Seyoum et al., 2006**), ils sont considérés comme des pigments quasiment universels des végétaux qui sont en partie responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (**Guignard, 1996 ; MEDIC et al., 2003**). À l'état naturel les flavonoïdes se trouvent le plus souvent sous forme d'hétérosides (**Ghestem et al., 2001 ; Brumeton, 1999**) **Figure2**.

Selon **EffendietYajun (2008)**, les flavonoïdes peuvent être subdivisés en plusieurs classes dont les plus importantes sont : flavones, isoflavandiols, flavonols, flavondiols, aurones, chalcones, anthocyanins.



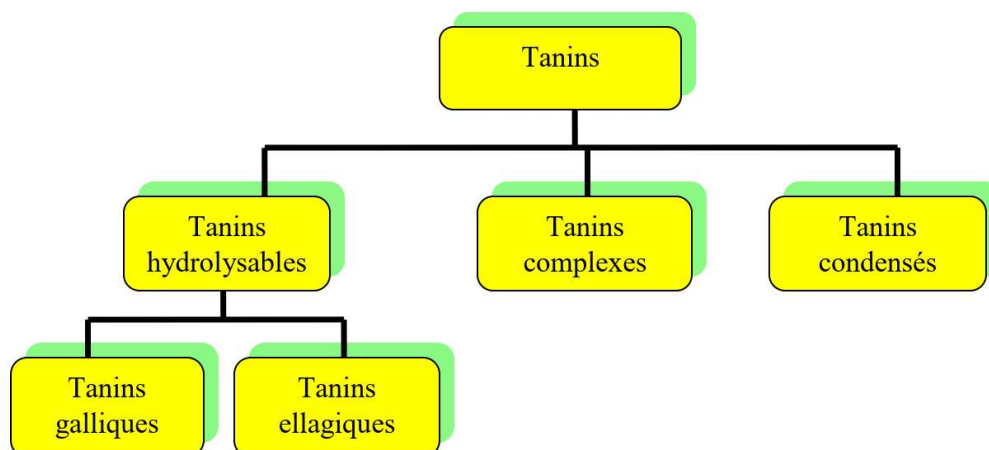
**Figure 2** : Structure générale des flavonoïdes

### 2.2.1.2. Les tanins

Selon **Hurabielle, (1981)** les tannins (ou tanins) sont des substances polyphénoliques hydrosolubles de structure variée, de saveur astringente, aussi **Bruneton(1999)** affirme que naturellement produits par les plantes qui ont la propriété de transformer la peau fraîche en un matériau imputrescible : le cuir. Cette propriété de tannage provient de la création de liaisons entre les molécules de tannins et les fibres de collagène de la peau, et à leur aptitude à se combiner à des macromolécules (protéines, polysaccharides...) et à d'autres polymères organiques tels que des glucides, des acides nucléiques, des gélatines, des stéroïdes et des alcaloïdes pour former un précipité.

Ils sont très répandus dans le règne végétal, mais ils sont particulièrement abondants dans certaine famille comme les Conifères, les Fagacée, les Rosacée (**Ghestern et al, 2001**). Ils peuvent exister dans divers organes : l'écorce, les feuilles, les fruits, les racines et les grains (**Khanbabeet Ree, 2001**).

Selon **Bruneton, (1999)** on distingue habituellement chez les végétaux supérieurs trois groupes de tanins différents par leur structure aussi bien que par leur origine biogénétique : les tanins hydrolysables, les tanins non hydrolysables (condensés) et les tanins complexes comme nous montre la figure 3.



**Figure 3 : Classification des tanins selon leur structure chimique (WILFRED et RALPH, 2006).**

#### **2.2.1.2.1. Les tanins hydrolysables**

Les tanins hydrolysables sont des polyesters d'un sucre (majoritairement le glucose) et d'un nombre variable de molécules d'acides phénols qui sont considérés comme des non flavonoïdes (éllagitanine, gallotanins) (Delluc, 2004). Comme leur nom l'indique, ces tanins subissent facilement une hydrolyse acide et basique, ils s'hydrolysent sous l'action enzymatique et de l'eau chaude (Conrad et al., 1998).

Selon la nature des tanins hydrolysables on distingue :

- Tanins galliques : ils donnent par l'hydrolyse des oses et de l'acide gallique.
- Tanins ellagiques : ils sont scindés par les enzymes en oses et en acides ellagiques (Paris et Hurabielle, 1981).

#### **2.2.1.2.2 Les tanins condensés**

Les tanins condensés (TCs), ou proanthocyanidols sont des polyphénols appartenant à la famille des flavonoïdes, cette dernière famille est présente chez la vigne (Mueller-Harvey et MC ALLAN, 1992 ; Brunton, 1999). Sont chimiquement définis comme étant des oligomères ou des polymères d'unités de flavonoïdes et le plus importants les flavanediols 3,4 et le flavon-3-ol (catéchine) qui est l'unité de base de TCs (Brunton, 1999 ; Schofield et al, 2001).

#### **2.2.1.2.3 Les tanins complexes**

D'après Brunton (2009), sont à la fois des tanins hydrolysables et des tanins condensés. Dans ce cas le tanin hydrolysable qui peut être gallique ou ellagique est lié à une ou plusieurs unités Flavon-3-ol qui sont caractéristiques de tanins condensés.

### **2.2.2. Rôles des composés phénoliques**

Fleuriet et al, (2005) assurent que les composés phénoliques possèdent des propriétés biologiques diverses d'où leur utilisation en thérapeutique.

Ils participent dans la protection contre certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leur propriétés antioxydants.

En outre, Un certain nombre de molécules polyphénoliques ont été testés cliniquement comme des antiagrégants plaquettaires, ou hypotenseurs avec des résultats moins probants (Martin et Sitohaina, 2002).

Certains composés sont dotés de certaines activités résumées dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Activités pharmacologiques et biologiques de certaines classes de composés phénoliques**

Certaines classes Des polyphénols	Activités	Références
Flavonoïdes	Anti tumorales Anti carcinogènes Anti-inflammatoires Hypotenseurs et diurétiques Antioxydants	(STAVRIC et MATULA, 1992)  (DAS et al., 1994) (BIDET et al., 1987) (BRUNETON, 1993) (ARUOMA et al., 1995)
Tannins	Antioxydant Antibactérienne et anti-inflammatoire Anti tumoral Anti diarrhéique Digestibilités des protéines	(OKUDA et al., 1983) (MOTA et al., 1985)  (PAOLINI et al., 2003)
Tannins galliques	Antioxydants	(OKUDA et al., 1983)

### 3. Les antioxydants

De nombreuses espèces oxydantes sont produites et bien qu'elles soient souvent indispensables à l'organisme, elles ne sont pas moins responsables de dégâts importants. Pour faire face à ces produits oxydants délétères, le corps humain possède tout un arsenal de défenses que l'on qualifie d'antioxydants. Mais bien que le terme « antioxydant » soit fréquemment utilisé, il est difficilement définissable car il couvre un large nombre de molécules et des domaines très divers comme l'alimentation, l'industrie chimique, l'industrie pharmaceutique (**Halliwell et Gutteridge, 1999**).

#### 3.1. Définition des antioxydants

Les antis oxydants ont plusieurs définitions selon **Helliwell et Gutteridge (1999)**, un antioxydant est toute substance, présente à une concentration inférieure à celle du substrat oxydable, qui est capable de retarder ou de prévenir l'oxydation de ce substrat.

Selon **Pincemail et Defraigne (2004)**, les antioxydants sont des composés puissants qui peuvent neutraliser les radicaux libres impliqués dans la dégradation cellulaire, et nous aident ainsi à garder une vie active et saine. Quelques antioxydants sont fabriqués par le corps humain, d'autres telles les vitamines et polyphénols, doivent être apportés par notre alimentation.

La classification de tous les antioxydants connus est difficile, ils sont classés généralement par leur mécanisme d'action ou par leur nature chimique :

#### 3.2 Classification des antioxydants suivant la nature chimique

Selon **Barlow (1990)** et **Evans et al (1992)**, plusieurs antioxydants synthétiques et quelques composés naturels (tocophérol, acide ascorbique, Béta-carotène) sont officiellement autorisés pour l'utilisation dans l'alimentation. Leur présence s'avère également nécessaire au sein des produits pharmaceutiques et de cosmétiques afin d'éviter leur dégradation.

Cependant, des études toxicologiques ont jugé certains antioxydants synthétiques comme sources de danger. La recherche de nouveaux antioxydants naturels est l'objectif de nombreux industriels et scientifiques. Dans la littérature, des milliers de publications ayant pour sujet les antioxydants naturels ainsi que leur effet sur l'organisme humain peuvent être consultées. Confirme par (**Namiki, 1990; Wanasundara et al., 1994; Larson, 1997; Pietta, 2000; Moure et al., 2001**).

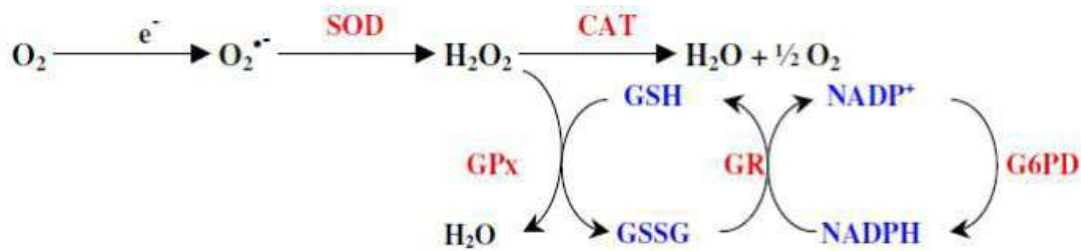
##### 3.2.1 Les antioxydants naturels

**Diplock (1991)**, rapport que l'organisme possède des systèmes de défense très efficaces, de deux types :

Les antioxydants enzymatiques et les antioxydants non enzymatiques. Ces antioxydants sont d'autant plus importants que certains peuvent être utilisés en thérapeutique pour tenter de prévenir le stress oxydatif.

### 3.2.1.1 Les antioxydants enzymatiques

Selon **Kanoun (2011)**, les antioxydants enzymatiques (le superoxydedismutase, la catalase, la glutathionperoxydase et la glutathion reductase) sont considérés comme la première ligne de défense de notre organisme contre les ERO.



**Figure 4 :** Principales étapes de la défense enzymatique contre les espèces réactives

### 3.2.1.2 Les antioxydants non enzymatiques

**Kanoun(2011)**, affirme que les antioxydants non enzymatiques contrairement aux enzymes antioxydantes, la plupart de ces composants ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation. Dans cette catégorie d'antioxydant nous retrouvons les oligoéléments, la glutathion réduit (GSH), les vitamines E et C et les polyphénols ces derniers suscitent depuis une dizaine d'année un intérêt croissant de la part des nutritionnistes, des industriels de l'agro-alimentaire et des consommateurs une des raisons principales est la reconnaissance de leurs propriétés antioxydantes et ainsi leur implication probable dans la prévention des diverses pathologies associées au stress oxydant.

Par ailleurs **Rock (2003)**, explique qu'un très grand nombre de données expérimentales plaide aujourd'hui en faveur de l'implication des polyphénols, dans la prévention des maladies dégénératives telles que cancers, maladies cardio-vasculaires, ostéoporose ou maladies inflammatoires.

Aussi **Boizot et Charpentier (2006)**, soulignent que les anthocyanes, les flavonoïdes et les tanins sont les polyphénols les plus représentés.

**Tableau 3:** Principaux antioxydants non enzymatiques et sources alimentaires associées  
**Koechlin-Ramonatxo,C. (2006)**

Réactives d'oxygène	Sources alimentaires
Vitamine C	Agrume, melon, brocoli, fraise, kiwi, chou, poivron
Vitamine E	Huile de tournesol, de soja, de maïs, beurre, œufs ,noix
β-carotène	Légumes et fruits orangés, et vert foncés
Sélénium	Poisson, œufs viandes, céréales, volaille
Zinc	Viande, pain complet, légumes verts, huîtres, produits laitiers
Flavonoïdes	Fruits, légumes, thé vert
Tanins	Lentilles, thé, raisins, vin
Métabolisme decystéine, glutathion	Caséine, Lactalbumine (petit-lait), produits laitiers Brocoli, chou Œufs, poissons, viandes
Acides phénoliques	Céréales complètes, baies, cerises

### 3.2.2 Les antioxydants synthétiques

Selon **Lisu et al., 2003**, dans l'industrie alimentaire, les antioxydants synthétiques, tel que le butylhydroxyanisole (BHA), butylhydroxytoluène (BHT) gallate propylée (PG) et le tétrabutylhydroquinone (TBHQ), sont largement utilisés parce qu'ils sont efficaces et moins chers que les antioxydants naturels.

Cependant, leur sécurité est très discutée car ils génèrent un besoin de recherche comme matière de substitution d'après des sources naturelles comme antioxydants de la nourriture. Cependant, il a été démontré que ces antioxydants de synthèse pouvaient être toxiques (**Yu et al.,2000**).

En effet, le BHA convertirait certains produits ingérés en substances toxiques ou carcinogènes en augmentant la sécrétion des enzymes microsomaux du foie et des organes extra-hépatiques (**Barlow, 1990**).

Le BHT présenterait des effets carcinogènes chez le rat (**Ito et al., 1985**).

### **3.3 Classification des antioxydants par rapport à leur mécanisme d'action**

Selon **Gardès et Albert, (2003)**, indépendamment de leur localisation, les antioxydants peuvent agir à deux niveaux :

En prévenant la formation de radicaux libres oxygénés ou en épurant les radicaux libres oxygénés. En complément de cette double ligne de défense, l'organisme est en outre capable de réparer ou d'éliminer les molécules endommagées par l'attaque radicalaire.

#### **3.3.1 Antioxydants du groupe I**

D'après **Frankel et al., (2000)**, **Huang et al., (2005)**, Plusieurs noms ont été attribués à ce groupe par exemple, antioxydants primaires, chainbreaking, piègeur des radicaux libres.

Ce genre d'antioxydants peut inhiber la réaction d'initiation et la propagation de l'oxydation en participant au processus d'oxydation et en convertissant les radicaux libres vers leurs formes inactives. Les antioxydants primaires sont généralement des composés phénoliques (AH) capables de donner un atome d'hydrogène au radical libre et le convertir en un composé stable non radicalaire. Les antioxydants de ce groupe réagissent de façon prédominante avec les radicaux peroxyés, pour deux raisons : la concentration élevée de ces radicaux et la faible énergie du groupement ( $\text{ROO}^\cdot$ ), en comparaison avec les autres radicaux comme le ( $\text{RO}^\cdot$ ) et la faible concentration du piègeur duradical libre dans l'aliment. Un piègeur du radical libre, même à des concentrations faibles, entre en compétition avec les lipides pour rendre le radical libre inactif par l'intermédiaire d'une réaction de libération d'un électron, suivie d'une déportation.

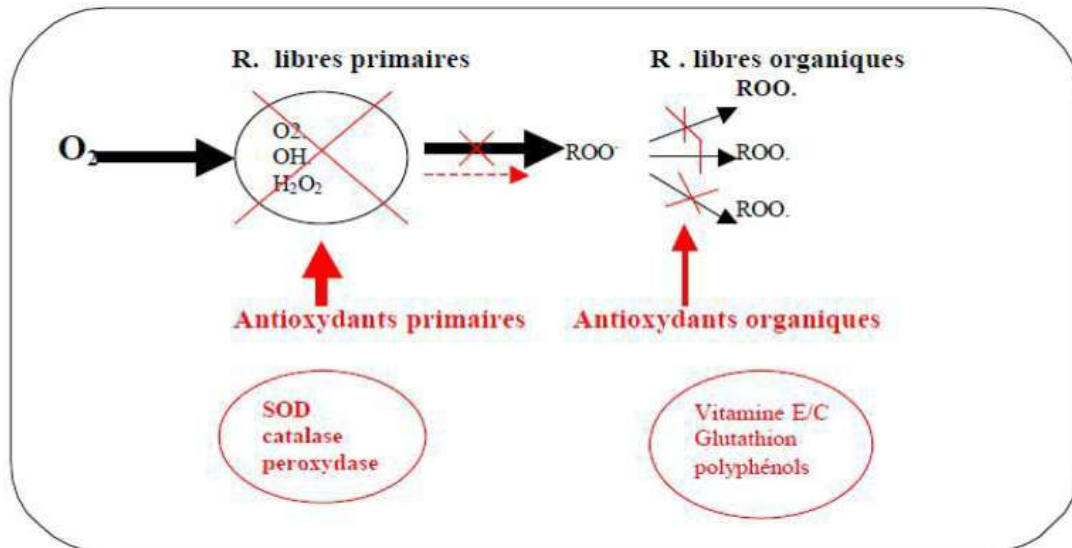
#### **2.3.2 Antioxydant du groupe II**

**Miller et al., (1996)**, soulignent que les composés de ce groupe sont catalogués comme préventifs ou antioxydants secondaires. Ils englobent une large gamme de différentes substances chimiques qui inhibent l'oxydation des lipides par différents mécanismes et ne transfèrent pas le radical libre sous sa forme non-radicalaire. Avec quelques exceptions, les antioxydants secondaires sont généralement reliés à l'inhibition de facteurs initiant l'oxydation. Le groupe II inclut : des chélateurs de métaux pro-oxydatifs, des désactivateurs de l'oxygène singulet, des piègeurs de la molécule d'oxygène, inhibiteurs des enzymes pro-



oxydative, enzymes antioxydantes et destructeurs des hydroperoxides. (Figure 5)

Parfois, quelques antioxydants peuvent exercer plusieurs fonctions anti-oxydatives, par exemple, l'acide ascorbique peut être un piègeur du radical libre, désactivateur des oxygènes singulets dans une solution aqueuse et effectivement régénérer du tocophérol. Plusieurs flavonoïdes sont des piègeurs de radicaux libres et chélateurs de métaux.



**Figure 5 :** Les systèmes de défense contre les radicaux libres (Binov, 2001).

### 3.2. Stress oxydatif

#### 3.2.1. Définition

Selon **Suresh et al. (2008)**, les radicaux libres sont des molécules instables et fortement réactives. Entraînant le stress oxydant, qui est défini comme un déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants (**Ratnam et al., 2006**). Il peut se produire en raison de la surproduction d'oxydants, la diminution de la défense antioxydante ou une combinaison de ces deux facteurs (**Ece et al., 2007**). Les protéines ainsi que les lipides sont les cibles principales des ROS (**Serdar et al., 2006**). Ces derniers causent la peroxydation lipidique, l'oxydation des protéines et les altérations de l'ADN (**Deaton, 2003**), provoquant ainsi le développement du cancer, du diabète, des maladies neurodégénératives et des maladies cardio-vasculaires (**Ratnam et al., 2006**). L'organisme humain a développé des systèmes de défense pour traiter ce phénomène (stress oxydant) et lutter contre les espèces réactives qui sont préjudiciables à la vie humaine (**Prior et Cao, 1999 ; Laguerre et al, 2007**).

**Mercan (2010)** affirme que, le stress oxydatif n'est pas une maladie mais un

mécanisme physiopathologie. Un excès d'espèces réactives mal maîtrisé favorisera une maladie ou un vieillissement accéléré.

### 3.2.2. Origine du stress oxydatif

Magder (2006) affirme que le stress oxydatif peut avoir diverses origines, telles que la surproduction endogène d'agents prooxydants d'origine inflammatoire, un déficit nutritionnel en antioxydants ou même une exposition environnementale à des facteurs prooxydants (Tabac, alcool, médicaments, rayons ultraviolets, pesticides, ozone, amiante, métaux toxiques). (Figure 6)

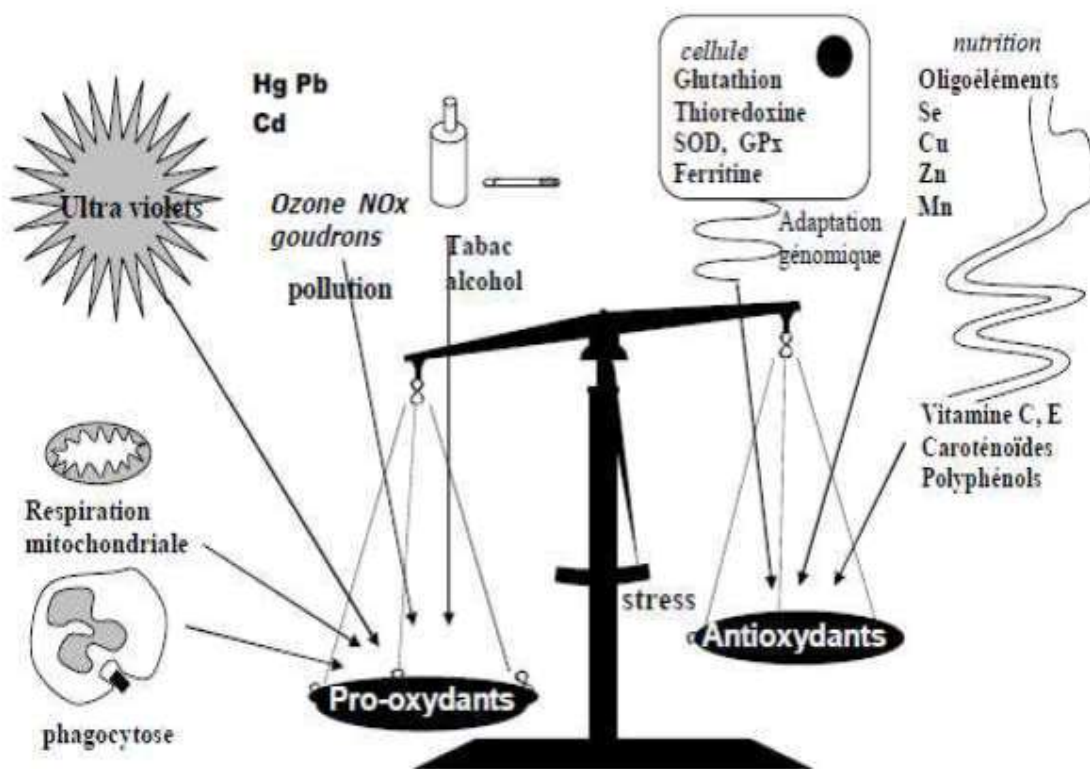
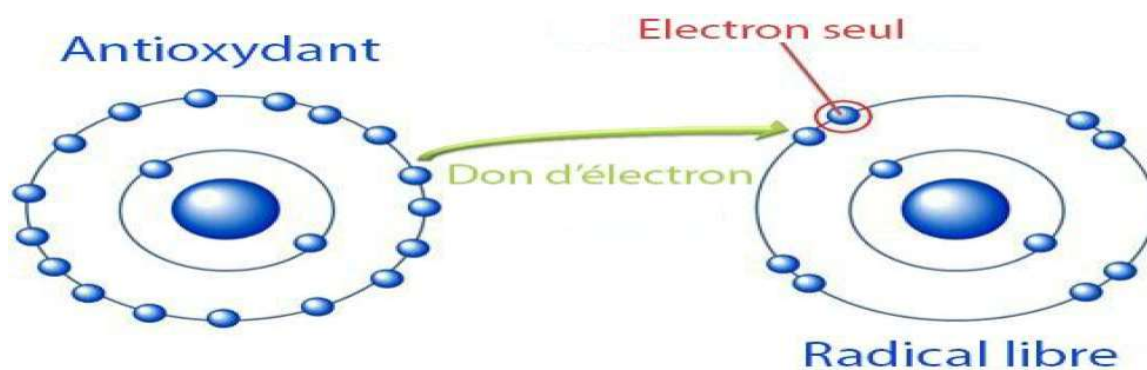


Figure 6 : La balance d'équilibre entre les systèmes pro et antioxydants (Favier, 2006).

### 3.2.3. Les radicaux libres

#### 3.2.3.1. Définition

D'après Carange(2010), un radical libre est une espèce chimique qui possède un ou plusieurs électrons non appariés sur sa couche externe (Figure 7) La présence d'un électron non apparié confère à ces molécules une grande instabilité, c'est-à-dire qu'elles sont extrêmement réactives et que leur durée de vie est courte.



**Figure 7** : Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant.

### 3.2.3.2. Les différents types des ROS

Selon **Favier (2003)**, parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer trois groupes :

Les radicaux primaires, qui constituent un ensemble restreint de composés radicalaires et dérivent de l'oxygène par des réductions à un électron tels l'anion superoxyde  $O_2^{\bullet -}$  et le radical hydroxyle  $OH\bullet$ , ou de l'azote tel le monoxyde d'azote  $NO\bullet$ . Ils jouent un rôle particulier en physiologie.

Les radicaux secondaires se forment par réaction des radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule.

D'autres espèces dérivées de l'oxygène dites espèces actives de l'oxygène, comme l'oxygène singulet ( $^1O_2$ ), le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) ou le nitroperoxyde ( $ONOOH$ ), ne sont pas des radicaux libres, mais sont aussi réactives et peuvent être des précurseurs de radicaux.

**Tableau 4** : Les principaux radicaux libres (**Haton, 2005**).

Oxygène	<b>O<sub>2</sub></b>
Oxygène singulet	<b><sup>1</sup>O<sub>2</sub></b>
Anion super oxyde	<b>O<sub>2</sub><sup>•-</sup></b>
Radical hydroxyle	<b>OH</b>
Radical hydroperoxyde	<b>HOO</b>
Radical peroxyde	<b>ROO</b>
Hydroperoxyde	<b>ROOH</b>
Radical alkoxyde	<b>RO•</b>
Peroxyde d'hydrogene	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>
Radical oxyde nitrique	<b>NO•</b>

### 3.2.4. Sources de production des radicaux libres

Favier (2006) affirme que les êtres humains sont constamment exposés aux radicaux libres. En effet, les sources de radicaux libres sont variées : la pollution atmosphérique, la cigarette, le rayonnement UV, les radiations ionisantes, les radiations cosmiques, le métabolisme cellulaire (activité mitochondriale, réactions enzymatiques), l'inflammation et les métaux toxiques



**Figure 8 :** Sources de production des radicaux libres.

# Partie expérimentale

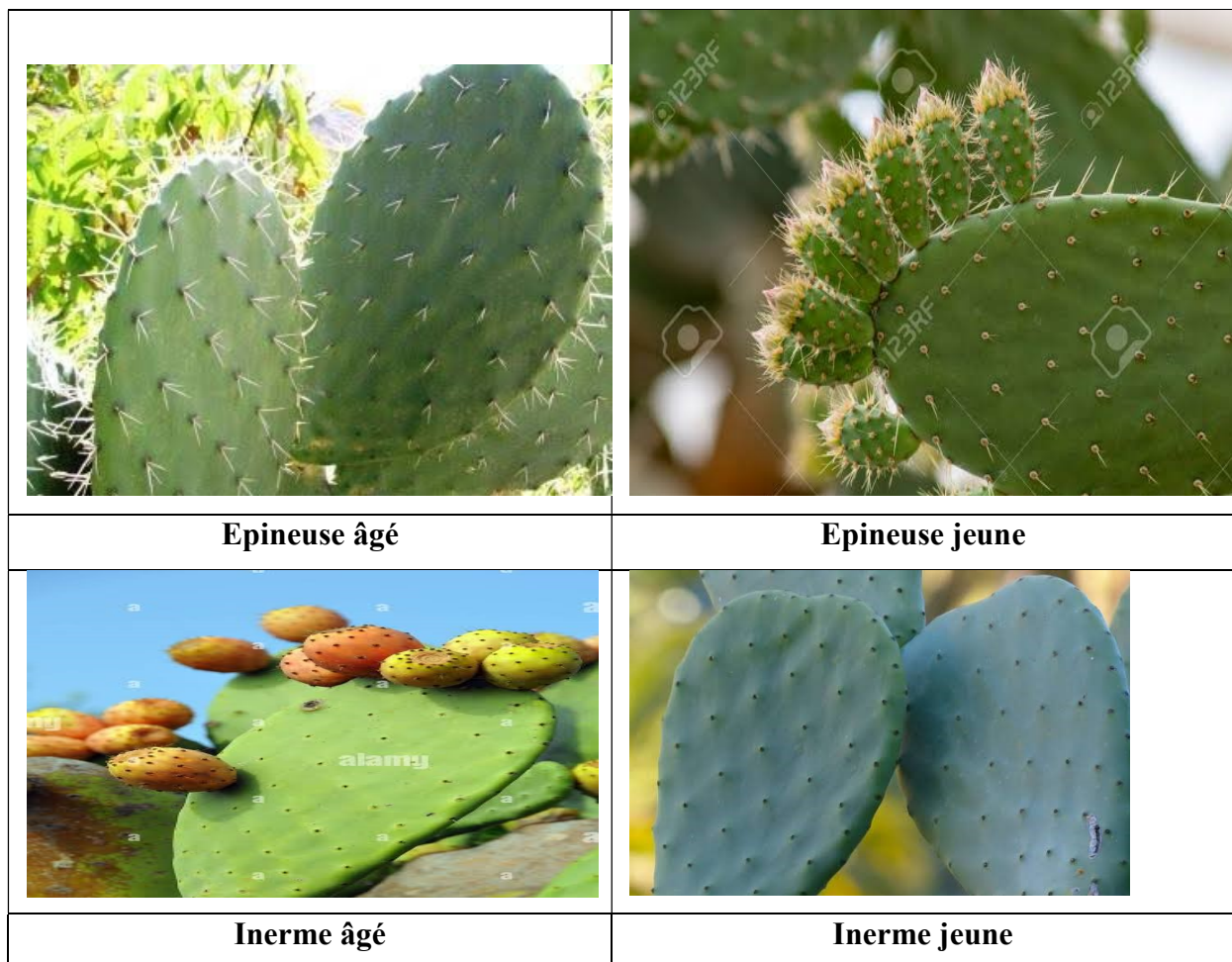
## Matériels et méthodes

### 1. Matériel végétale :

Les cladodes de la plante *opuntia ficus indica* L utilisés dans cette étude ont été récoltés de la région de Ferdjioua située à 35 Km de la wilaya de Mila et la région de Minar Zaraza située à 55 Km au nord-ouest de la wilaya de Mila.

### 2. Récolte de la plante

Les cladodes épineuses et inermes d'*O. ficus-indica* ont été récoltés durant le mois de Mars (2022) ; les cladodes ont été prélevés aléatoirement, ensuite les échantillons ont été placés immédiatement dans une glacière et transportés au laboratoire. Les échantillons ont été rincés à l'eau puis séchés immédiatement avec du papier buvard avant leur conservation dans un réfrigérateur à 4 °C.



**Figure 9** : Les cladodes utilisés.



### 3. Préparation des échantillons

Les cladodes ont été coupés en tranches fines nettoyée et laissée sécher à l'étuve à 40°C pendant 72 heures, puis broyée à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres obtenues sont ensuite conservées dans un bocal hermétique à température ambiante pour que ça soit ultérieurement utilisé pour la préparation des extraits.



**Figure 10** : Préparation des échantillons

#### 4. Extraction par macération à froid :

5 g de la poudre ont été macérés dans 50 ml d'eau distillée sous agitation mécanique pendant 24 heures à une température ambiante. La solution obtenue a été filtrée sur papier filtre (Sanogo et al. 2006).



Figure 11 : Méthode de macération à froid et filtration

#### 5. Quantification des métabolites :

##### 5.1. Dosage de polyphénols :

La méthode de Folin–Ciocalteu (Li et al. 2007) a été utilisée pour le dosage des composés phénoliques totaux. L'ensemble de ces composés est oxydé par le réactif de Folin-Ciocalteu, ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $WO_4$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $MoO_4$ ) qui sont réduits en milieu alcalin lors de l'oxydation, des phénols en mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration bleue produite est proportionnelle au taux de composés phénoliques et possède une absorption maximale à 750 nm.

Cette méthode consiste à mettre un volume de 200  $\mu$ l de l'extrait dans un volume de 1.5 ml du réactif Folin-Giocalteu (dilué dix fois). Après 4 mn de réaction, un volume de 1.5 ml de Carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ , 5%) a été versé sur la solution et les tubes ont été placés à l'obscurité. Après deux heures, les résultats ont été lus par spectromètre UV Visible à 750 nm.



Le teneur en polyphénols Totaux a été déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire déduite de la courbe d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG /g extrait). La formule suivante permet le calcul de la teneur en phénols totaux :

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

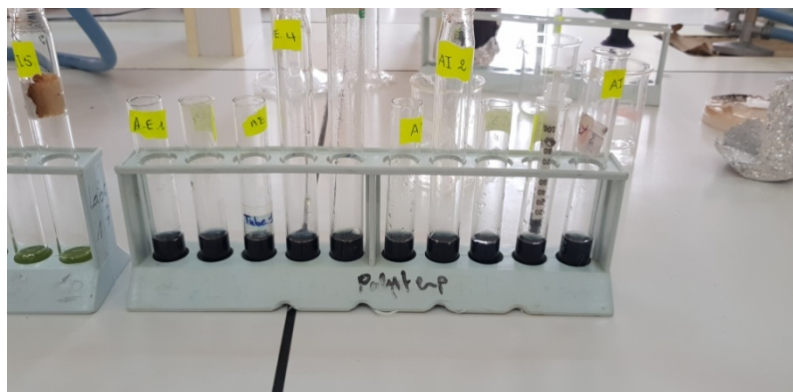
T : teneur en phénols totaux,

C : concentration des polyphénols en équivalent d'acide gallique déduit de la courbe

V : Volume de l'extrait

D : facteur de dilution,

Ps : poids de la matière sèche.



**Figure 12 : résultats de polyphénole**

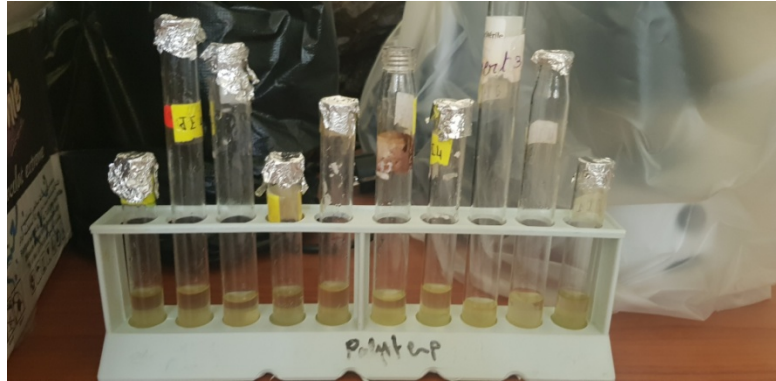
### 5.2. Dosage des Flavonoïdes :

La méthode du trichlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) a été utilisée pour quantifier les flavonoïdes (**Bahorun et al .1996**) les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons.

1ml de chaque extrait (avec la dilution convenable) a été ajouté à 1ml de la solution d' $AlCl_3$  (2% dans le méthanol). Après 10mn de réaction, l'absorbance est mesurée à 430nm.

La concentration des flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercitrine (0-100 $\mu$ g/ml).

La teneur en flavonoïdes a été déterminée à partir d'une équation de la courbe d'étalonnage et exprimée en milligramme équivalent de rutine par gramme d'extrait (mg ER/g extrait).

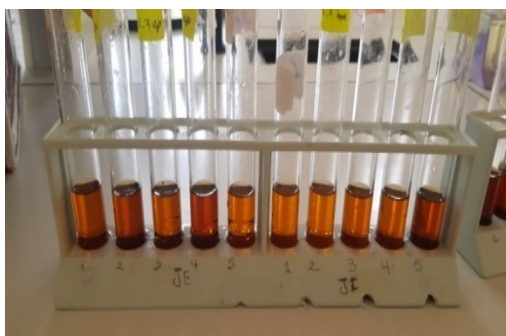


**Figure 13 : résultats de flavonoïde**

### 5.3 Dosage des sucres soluble :

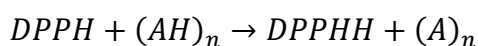
Les sucres solides ont été dosés par la méthode de (Dubois et al 1956), cette méthode consiste à prendre 100 mg de poudre dans un tube à essai, ont été ajouté 20ml d'éthanol à 80% à chaque échantillon pour faire l'extraction des sucres puis les tubes ont été conservés à température ambiante à l'obscurité. Après 48 heures d'extraction, les tubes ont été transférés dans un bain marie à 70°C pour faire évaporer l'alcool. Après refroidissement, 10 ml d'eau distillée a été ajoutée à chaque échantillon.

Par la suite, à chaque 1 ml de la solution d'extraction. 1ml de phénol (5%) puis 5ml d'acide sulfurique concentré ont été ajoutés à la solution qui a été homogénéisée par agitation au vortex. Les tubes ont été laissés au repos pendant 10 mn puis ont été placés ensuite une autre fois dans le bain marie pendant 15 mn sous une température de 30°C. la longueur d'onde de la solution a été déterminée à 490 nm et les densités optiques ont été converties selon la courbe d'étalonnage en  $\mu$ g.g<sup>-1</sup> MF.



**Figure 14 : résultats de sucre soluble****6. Evaluation de l'activité antioxydant****6.1. Méthodes de Di-Phényl-Picryl-Hydrazyl (DPPH)**

Le diphényle picryl-hydrazine (DPPH), un radical libre stable, violet en solution et présentant une absorbance caractéristique à 517 nm. Cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine par un composé à propriété antiradicalaire, entraînant ainsi une décoloration (l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu donner des protons) (Sanchez Moreno2002). On peut résumer la réaction sous la forme de l'équation :



Où  $(AH)_n$  représente un composé capable de céder un hydrogène au radical DPPH (violet) pour le transformer en diphényle picryl hydrazine (jaune). Ceci permet de suivre la

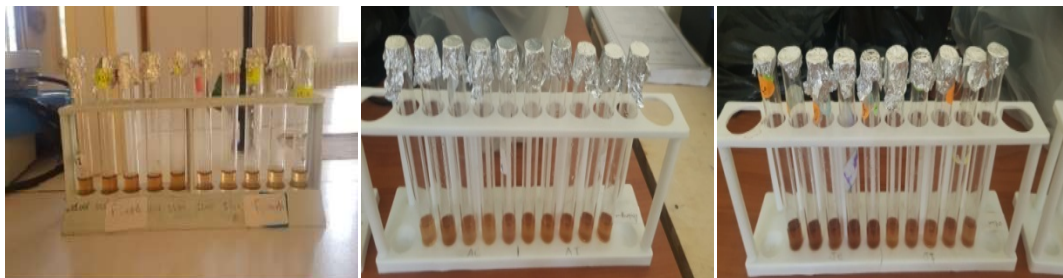
cinétique de décoloration à 517 nm.

Un volume de 1ml de chaque extrait (avec dilution convenable) est incubé (30 mn) avec 5 ml d'une solution méthanolique de DPPH (33 mg/l). Les absorbances à 517 nm ont été enregistrées. Les résultats obtenus pour chaque extrait testé sont comparés à ceux obtenus pour l'acide Ascorbique pris comme un antioxydant standard. L'activité anti radicalaire est estimée selon l'équation suivante (Prakash et al 2007)

$$\text{Activité antiradicalaire}(\%) = \left[ \frac{\text{Abscontrôle} - \text{Abséchantillon}}{\text{Abscontrôle}} \right] \times 100$$



**Figure 15 : DPPH**



**Figure 16 : résultats d'activité antioxydant**

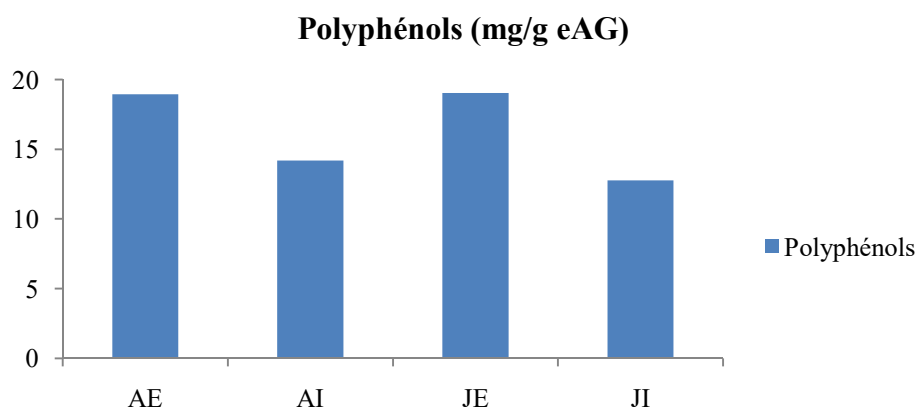
# Résultats et discussion

## Résultats et discussion

### a. Quantification des métabolites

#### 1. Polyphénols

Il ressort de ces histogrammes que la valeur la plus élevée en composés phénolique a été enregistrée dans l'extrait des cladodes épineuses âgé(AE) et jeune (JE) d'*Opuntia ficus indica* L avec 19mg/g eAG, Suivit par l'extrait des cladodes âgés inermes (AI) avec 14mg/g eAG, et par l'extrait des cladodes jeunes inermes (JI) avec presque la même valeur 13 mg/g eAG respectivement.



AE : Agé Epineuse - AI : Agé Inerme - JE : Jeune Epineuse -JI : Jeune inerme

**Figure 17** : Variation de la teneur en polyphénols dans les différents extraits des cladodes d'*O. ficus-indica*L

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en polyphénols totaux mesurée dans les cladodes du plantes jeunes inermes de figuier est inférieure que celle décrite par **Msaddak, 2018** (24,85 mg EAG/g) et par **Mahdeb et al, 2021** (30,17±1,26mg/gEAG), aussi **Nouar et Youmbai,2019** avec une teneur 39,5mg/gEAG, et aux résultats enregistrés par **Moussaoui, 2020** où il enregistré un teneur très élevée (63,54 ±1,13mg/gEAG). Pour les cladodes de la même espèce.Par contre elles sont très importantes par rapport aux résultats enregistrés par **Aknouch et Ariche, 2018** où elles registrent des teneurs très faible (0,91±0,07 mg/gEAG) et (0,28±0,15 mg/gEAG).

Pour les cladodes jeunes épineuses, les résultats obtenus ont montré que la teneur en polyphénols totaux mesurée est très importante que celle décrite par **AduToit et al, 2018**(1,19 mg EAG/g) et par **Aiboude et Amara, 2019** (1,85mgEAG/g et 1,45mgEAG/g), et en accord

avec les résultats marqués par **Figuroa et al, 2010**(4,9 à 20mgEAG/g) et inférieure par rapport aux résultats décrit par **Belmadad et Mekhalfia 2018**(60,20mgEAG/100g).

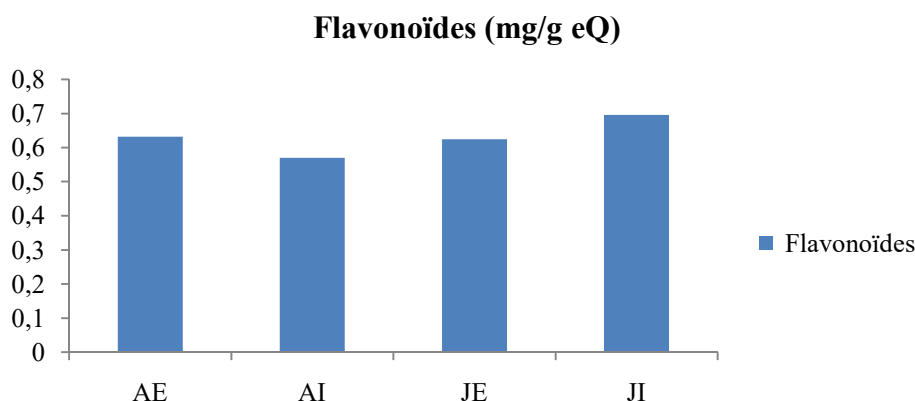
Pour les cladodes âgés épineuse Les résultats obtenus ont montré que la teneur en polyphénols totaux mesurée est très importante que celle décrite par **Aiboude et Amara, 2019**(1,9 mg EAG/g).

Pour les cladodes âgés inermes, les résultats obtenus ont montré que la teneur en polyphénols totaux mesurée est très inférieure par **Boukhalfa et Hamdi,2016** où il enregistré un teneur très élevée (280mg/gEAG) et par **Ait Maamar et Ait Abdlouahab,2019** (35,83 ±3 ,12 mg/gEAG) dans la région de Bejaia.

Les teneurs trouvées dans ces résultats sont en générale très inférieurs que les teneurs présentés par **Boukhalfa et Hamdi,2016** où elles obtenus une teneur très important (250 mg/g) mais il est important par rapport aux résultats trouvée par **Defdaf et Ben kahoul, 2019**(119,078 µg/mg).

## 2. Flavonoïdes

Nous remarquons que la teneur en flavonoïdes varient entre 0 et 0.7 mg/g eQ, la plus élevée a été enregistrée au niveau d'extrait des cladodes jeunes inermes (JI) (0.7 mg/g eQ), suivit de l'extrait des plantes épineuses jeunes et âgés (JE) et (AE) presque la même valeur (0.64 mg/g eQ), puis une faible teneur pour l'extrait des plantes âgés inermes (AI) (0.57 mg/g eQ).



AE : Agé Epineuse - AI : Agé Inerme - JE : Jeune Epineuse -JI : Jeune inerme

**Figure 18 :** Variation de la teneur en flavonoïdes dans les différents extraits des cladodes d'*O. ficus-indica*L.

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en flavonoïdes mesurée dans les cladodes du plantes jeunes inermes de figuier est moins inférieure que celle décrite par **Msaddak,2018** (10,63 mg eQ /g) et par **Nouar et Youmbai,2019**(26,1mg eQ /g).

**Mehdab et al 2021** décris aussi une teneur plus que nos résultats avec (2,88±0,04 mg eQ /g), et par rapport aux résultats donnes par **Figueroa et al,2010** qui sont de (2,00 à 3,8mgEQ/g). Pour les cladodes jeunes épineuses, les résultats obtenus ont montré que la teneur en flavonoïdes mesurée est très inferieur que celle décrite par **Moussaaoui,2020** (18,07±0,77 mg eQ /g) et par **Belmadadiet Mekhalfia2018**(10,82 mg eQ /100g).

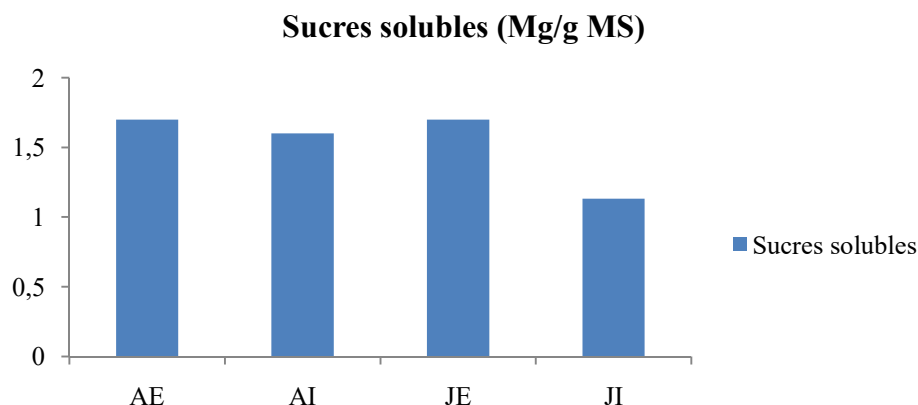
Pour les cladodes âges inermes, les résultats obtenus ont montré que la teneur en flavonoïdes mesurée est très inferieure par rapport aux résultats en enregistré par **Boukhalfa et Hamdi,2016** (280 mg eQ /g) et proche aux résultats enregistrée par **Ait Maamar et Ait Abdlouahab,2019** (1,2mg eQ /g) et par **boutakiot,2015** (1,24±0,01 mg ER /100ml).

Les résultats trouvées dans notre expérience sont en générale très inferieur que les teneurs présentées par **Boukhalfa et Hamdi,2016** où elles obtenus une teneur très important (240mg/g) et aussi que les résultats marqués par **defdaf et ben kahoul,2019** avec (52,896 µg EQ/mg).



### 3. Sucres solubles

Les teneurs en sucre solubles varient entre 0 et 1.7 Mg/g MS, la teneur la plus élevée est marqué chez les cladodes épineuses jeunes (JE) et âgés (AE) avec la même teneur 1.7 Mg/g MS suivi au niveau des plantes âgées inermes(AI) avec une teneur proche à la première 1.6 Mg/g MS, la plus faible teneur est enregistrée au niveau des extraits des cladodes jeunes inermes(JI) avec 1.1 Mg/g MS.



AE : Agé Epineuse - AI : Agé Inerme - JE : Jeune Epineuse -JI : Jeune inerme

**Figure 19 :** Variation de la teneur en sucres solubles dans les différents extraits des cladodes d'*O. ficus-indica*L

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en sucres solubles mesurée dans les cladodes jeunes épineuses est inférieure que celle décrite par **Moussaoui,2020**(4,50 ±0,22 Mg/g MS) et par **Figureroa et al, 2010** où elle enregistrée une teneur très élevée (80Mg/g MS). Pour les cladodes âgés inermes, ces résultats sont important par rapport aux résultats indiquée par **Boutakiot 2015** (0,76±0,01gEG/100ml).

Les teneurs en sucres solubles trouvées dans cette étude sont en générale très inférieure que les teneurs présentées par **Tamine,2019** (8±1%).

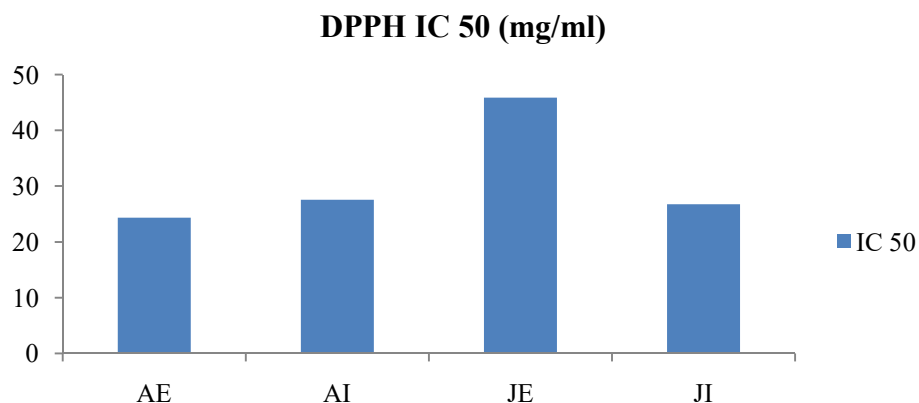
#### b. Evaluation de l'activité antioxydant

##### 1. Activité anti-radicalaire

Le test DPPH permet de mesurer le pouvoir antiradicalaire d'extrait des cladodes de figuier de barbarie aussi la capacité d'un antioxydant à réduire le radical chimique.

Dans nos résultats la valeur inférieure est enregistré chez les extraits âgés épineuses (24 mg/ml IC50) ce qui indique que l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant. Suivit par les extraits des plantes inermes jeunes et âgés avec une valeur très précieuse (27 et 28 mg/ml IC50).

Enfin la valeur la plus élevée est marquée au niveau des plantes jeunes épineuses avec 47mg/ml IC50 donc l'extrait est considéré comme le plus faible antioxydant.



**AE** : Agé Epineuse - **AI** : Agé Inerme - **JE** : Jeune Epineuse - **JI** : Jeune inerme

**Figure 20** : Variation de capacité antioxydant dans les différents extraits des cladodes d'*O. ficus-indica L*

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que le pouvoir antiradicalaire des cladodes jeunes inermes est faibles que celles décrites par **Msaddak,2018** (1.45 mg/ml IC50) où son extrait est considéré comme un antioxydant puissant par rapport à nos extraits pour les cladodes de la même espèce.

Les résultats obtenus chez les cladodes âgés inermes sont aussi inférieurs par rapport aux résultats décrite par **Boutakiot,2015** du jus des cladodes ( $1,78 \pm 0,03 \mu\text{molTE}/\text{mg}$ ) et par **Aiboude et Amara,2019** où elles marquée des valeurs très petites 12.94  $\mu\text{g}/\text{ml}$  et 14.49  $\mu\text{g}/\text{ml}$  IC50 donc l'extrait considéré comme un antioxydant puissant.

# Conclusion

## Conclusion

L'*Opuntia ficus indica* L appartenant à la famille des cactaceae, connu communément sous le nom du figuier de barbarie. Elle revient donc sur le devant de la scène et se place parmi les principales plantes médicinales étudiées par les chercheurs, principalement la valorisation biotechnologique des cladodes du figuier de barbarie (OFI),

*Opuntia ficus indica* L c'est une plante ayant de nombreux avantages pour la santé humaine, ainsi que pour son intérêt croissant dans plusieurs secteurs (agro-alimentaire, médicinale, etc.) où il contient des quantités importantes des métabolites secondaires ayant des activités biologiques telles que les vitamines, les composés phénoliques, les flavonoïdes et les sucre solubles , donc il renferme des intérêts multiples, il est utilisé pour la consommation humaine en tant que fruit et légume, aussi la composition des jeunes cladodes leurs confère la possibilité de les utiliser comme légumes ou dans diverses préparations alimentaires, les cladodes sont une matière végétale contenant plusieurs composés lui conférant un grand nombre de propriétés multifonctionnelles, mais malgré que elle renferme beaucoup de caractéristiques qui sont mal exploitées où qui sont encore inconnues.

Notre travail a été basé sur l'étude des propriétés antioxydants des cladodes épineuses et inermes d'*Opuntia ficus indica* L pour une meilleure valorisation de cette partie de la plante non exploité en Algérie.

Nous avons révélé la richesse de notre plante en métabolites secondaires où nous avons constaté la présence des polyphénols et flavonoïdes mais avec des teneurs plus importants dans les extraits aqueux des cladodes épineux (Agés et jeune) que dans les cladodes inermes.

L'évaluation de l'activité antioxydante avec la méthode de réduction du radical (DPPH) a permis de constater que les cladodes d'*Opuntia ficus indica* L présentent des activités antioxydantes intéressantes, dépendantes du contenu en polyphénols totaux et flavonoïdes, une relation linéaire a été établie ; les extraits les plus riches en polyphénols étant les plus actives.

Ces résultats constituent une base d'information sur le patrimoine national des plantes médicinales qui pourra servir une meilleure valorisation et exploitation de cette espèce en Algérie.

En perspective, cette étude reste à accomplir par :

- Des études approfondies et complémentaires *in vivo* de l'activité antimicrobienne, antioxydante et antiinflammatoire des composés polyphénoliques.
- Evaluation de l'activité antioxydantes par d'autres test
- La détermination des molécules bioactives des cladodes d'OFI par HPLC

# Références bibliographiques

## A

**Aiboude L et Amara W (2019)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé **Évaluation** de quelques activités biologiques d'extraits de cladodes d'*Opuntia ficus indica* jeunes et matures issus de deux régions. Sciences Biologiques, (UNIVERSITE MOULOUD MAMMER, TIZI OUZOU) 32-34p.

**Ait Maamar D et Ait Abdlouahab K(2019)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : étude des polyphénole totaux des cladodes du figuier de barbarie : optimisation de l'extraction et comparaison des teneurs entre différentes espèces de différentes régions. Qualité des produites et sécurité alimentaire. (Université A.Mira-Bejaia). 37-39 p.

**Aknouch S et Ariche A, (2018)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé :Bioactivités de biomolécules extraites à partir de biomasse de coproduits agricoles : propolis, cladodes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus- indica*).et grignons d'olives. Sciences Biologiques. (Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou) 47p.

**Berkaoui A (2021)** *Figuier de Barbarie : Plantation, Entretien et multiplication*. Jardiner Malin : jardinage et recettes de saison. (2021, March 12). from <https://www.jardiner-malin.fr/fiche/fleur/figuier-de-barbarie.html> .

**Aruoma, O., Spencer, J., Butler, J., et Halliwell, B., (1995).**Commentaryreaction of plant derived and syntheticantioxidantswithtrichloromethylperoxyradicals. Free RedRes, 22, 187-190p.

## B

**BAMFORTH, C.W., (2000).** Perceptions of deer foam.J.Inst.brew,106:229-38p.

**Barlow, S.M. (1990).** Toxicological aspects of antioxidantsused as food

**Barthes, A., Baudot, P., Alifriqui, M., Michon, G., Genin, D., Kamil, H., Romagny, B., & Simenel, R. (2016).** Chapitre 7. Dynamiques d'innovations des arrières-pays Arides Marocains. *Les Terroirs Au Sud, Vers Un Nouveau Modèle ?*, 145–158.

<https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.25931> additives. Ed. Hudson, B.J.F, Food Antioxidants: 253-307.

**Belmadadi Iet MekhalfiaA, (2018)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : Etude du potentiel antioxydant d'Aloe Vera et de la figue de Barbarie, Qualité des produits et sécurité alimentaire, ( Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.) 27-28 p.

**Ben abdallah H et Daoud N 2018** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique,Intitulé : Effet du stress salin sur le comportement de quelques écotypes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* Mill.) dans la région de Hodna,(UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA ,2017/2018) .

**Benattia F.K., (2017).** Analyse et application des extraits de pépins de figes de barbarie. Thèse de doctorat en chimie bio-organique et thérapeutique. Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen, Algérie.

**Bergaoui R 2020** *Le cactus : Une Plante Pleine de qualités et d'opportunités socio-économiques*. Leaders. (n.d.).From <https://m.leaders.com.tn/article/30179-le-cactus-une-plante-pleine-de-qualites-et-d-opportunités-socio-economiques>

**Boutakiout A., (2015).** Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit: jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*). Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Université d'Angers, France.

**BIDET, D., GAIGNULT, J.C., GIRARD, P., et TROTINE, F., (1987).**Inflammation, allergies, douleur et acide arachidonique : du jardin des hespéridés a la cascade de l'acide arachidonique : les flavonoïdes. L'actualité chimique, 89-97p.

**Boukhalfa S et Hamdi S, (2016)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé Évaluation phytochimique et étude des activités biologiques des extraits bruts des plantes médicinales locales : *Opuntia ficus indica* et *Thymus lanceolatus*. Microbiologie (Université des Frères Mentouri Constantine) 26-27p.

**Boudilmi I et Mehoulas Y,2020** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : Huile essentielle de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*)Chimie (UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA) 23p.



**BRUNETON, J., (1993).** Pharmacognosie et phytochimie et phytochimie, plantes médicinales. Lavoisier, Paris., France, 278-279p.

**BRUNETON, J., (1999).** Les tannins. Ed. Edition médicales internationales. Paris, 369-404p.

**BRUNETON, J., (2009).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4<sup>ème</sup> Ed. Lavoisier, 1268p

### C

**Carange, J. (2010).** Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassinostéroïdes, une nouvelle stratégie de neuroprotection ? Thèse de doctorat. Université du Québec Trois-Rivières.

**CONRAD, J., VOGLER, B., KLAIBER, I., ROOS, G., WALTER, U., ET KRAUS, W., (1998).** Two triterpene esters from *Terminalia macropterabark*. *Phytochemistry* 48: 647 – 650p.

### D

**DAS, H.C., WANG, J.H., et LIEN, E.J., (1994).** Carcinogenicity and cancer preventing activities of flavonoides: A Structure-activity relationship (SSAR) analysis. *Jucker Ed*, 133-136p.

**Deaton, CM. Marlin, DJ. (2003).** Exercise-associated oxidative stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*, Vol 2(3), pp. 278-291.

**Defdaf Dj et Ben kahoul L (2019)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé contribution à l'étude de l'effet antidiabétique d'un extrait aqueuse de deux plantes (*Opuntia ficus indica L et Nigella sativa L*) issus de la région de Batna - sur des souris (*wistar albinose*) diabétiques à l'Alloxane . *Biochimie appliquée*, (université Mohammed khider, de Biskra) 35 -37p.

**Delattre, J. Beaudoux, JL. Bonnefont, R. (2005).** Radicaux libres et stress oxydant : aspects biologiques et pathologiques. Lavoisier édition TEC & DOC éditions médicales internationales  
Paris, pp 1 - 405.

**DELLUC, L., (2004).** Identification et caractérisation fonctionnelle de deux gènes régulateurs du métabolisme des composés phénoliques de la baie de raisin. Thèse de doctorat de l'université Bordeaux, 310p.

**Du Toit, A., de Wit, M., Osthoff, G., & Hugo, A. (2018).**Antioxidant properties of fresh and processed cactus pear cladodes from selected *Opuntia ficus-indica* and *O. Robusta* cultivars. *South African Journal of Botany*, 118, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.06.014>

## E

**Ece, A. Gurkan, F. Celik, F. Boşnak, M. Yel, S. Balik, H. Erel, O. (2007).**Paraoxonase, total antioxidant activity and peroxide levels in marasmic children: relationships with leptin. *Clinical Biochemistry Journal*, Vol 40(9-10), pp. 634-639.

**Effendi, L., et Yajun, Y.,(2008).**Pharmacologie 2ème Ed Médecine □ Flammarion. Paris, 289p.

**Evans, R.J; Reynhout, G.S. (1992).** Alternates to synthetic antioxidants, *Food Science and human Nutrition*, 29: 27-42.

## F

**Favier A. (2003).** Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, pp. 108-115.

**Favier, A. (2006).** Stress Oxydant et pathologies humaines, *Annals of Pharmacotherapy* SAGE Journal, Vol 64, pp. 390-396.

**Fernandez et al., (1990)** .Pectin isolated from Prickly pear (*Opuntia* sp) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr.* Pp 1283-1290.

**Fleuriet, A., JAY-Allemand, C., et Macheix, J.J., (2005).** Composés Phénoliques des végétaux un exemple des métabolites secondaires d'importance économique. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 121-216p.

**Frankel, E. N; Meyer. A. S. (2000).** "The problems of using one-dimensional Methods to evaluate multidimensional food and biological antioxidants", *Journal of Science and Food Agriculture*, 80: 1925-1941.

## G

**Ghesterm, A., Seguin, E., Paris, M., et Orecchioni, A.M., (2001).** Le préparateur en pharmacie dossier 2<sup>ème</sup> Ed TEC&DOC.Paris,275p. (cited in Djemai Zoueglache S, 2008).

**Guignard, J.L., (1996).** Abrégé de biochimie végétale, Ed. Masson, Paris, 160 p.

## H

**Halliwell, B; Gutteridge, J.M.C. (1999).** Free radicals in biology and medicine, Oxford, UK

**Halmi S. (2015).** Etude botanique et phytochimique : Approche biologique et pharmacologique d'Opuntia ficus indica. Thèse de doctorat. Frères Mentouri de Constantine. Algérie.

**Hartmann, T., (2007).** From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68: 2831-2846p. *Interrestrial ecosystem nutrient cycling. Trends in Ecology and Evolution*, 15(6), 238–242p.

**HARBONE, J B., (1994).** Phenolics in natural products: their chemistry and biological Eds .Mann J. Davidson RS, Hobbs JB .Longman (London),chap,vol(6):361- 388p

**Haton, C. (2005).** Effets des rayonnements ionisants sur la structure et la fonction de la cellule épithéliale intestinale. Thèse de doctorat. Université de Paris VI.

**Hattenschwiler, S., et Vitousek, P.M., (2000).** The rôle of polyphénols

**Huang, D; Ou, B; Prior, R.L. (2005).** "The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (6): 1841-1856.

**HURABIELLE, M., (1981).** Flavonoids of *artemisia campestris* sp. *Glutinosa*. *Planta Med*, 46(2) :124-125p

## I

**Ito N. (1986).** Hirose M Fukushima, Tsuda H, Shirai T, Tatematsu M. Studies on antioxidants: Their carcinogenic and modifying effects on chemical carcinogenesis. *Fd Chem Toxic*;24:1071-1082.

**Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui A., Saenz C. 2018.** Ecologie, Culture Et Utilisations Du Figuier De Barbarie. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et le Centre International pour la Recherche Agricole dans les Zones Arides Rome. pp. 208

## J

**Jeun, J. M., Annie.,F.,et Chrystian, J. L. ,(2005).** les composés phénoliques des végétaux, 203- 204p.

## K

**K. Kanoun (2011).** Contribution à l'étude phytochimique et activité antioxydante

**KHANBABE, K., REE, T.R., (2001).** Tannins:Classification and Defenition. Journal ofRoyal Society of Chemistry, Vol. (18): 641-649p.

**KRIEF, S., (2003).** Métabolites secondaires des plantes et comportement animal, thèse doctorat, muséum national d'histoire naturelle,32p .

## L

**Laguerre, M. Lecomte, J. Villeneuve, P. (2007).**Evaluation of the ability of antioxidants to counteractlipidoxidation: existingmethods, new trends and challenges. Progress in Lipid Research, Vol 46(5), pp. 244-282.

**Larson, R.A. (1997).** Naturallyoccurringantioxidants, Ed. Boca raton

**Lattanzio, V., Lattanzio, V.M.T., et Cardinali, A., (2006).** Role ofphenolics in the resistancemechanisms of plants againstfungalpathogens and insects. Phytochemistry: Advances in Research (F. Imperato, ed.), 23–67p.

**Lehouerou H.N. (1996).** The role of cacti (Opuntia spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. Journal of Arid Environments. 33, 135-159.

**Le bureau ADMEDERA CONSULTING EXPORT, (2021)** projet d'accès aux Marchés des produits agroalimentaires et de terroir, Intitulé : identification des marchés cible (pour la filière de la figue de barbarie Tunisienne) l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUUDI)16-59 p.

**Lisu, W; Jui-Hung, Y; Hsiao-Ling, L; Ming-Jiuan, W. (2003).** Antioxydant effect of methanolextracts from Lotus Plumule and Blossom (*Nelumbonucifeca* Gertn), *Journal of food and drug analysis*, 11(1): 60-66.

**L. Santos-Zea,, J. A Gutierrez-Uribe. &S. O SernaSaldivar, (2011)** (Comparative analyses of total phenols, antioxidant activity, and flavonol glycoside profile of cladode flours from different varieties of *Opuntia* spp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 7054–7061, 2011).

## M

**Magder, S. (2006).** Reactiveoxygenspecies: Toxicmolecules or spark of life? *Critical Care Med Journal*, Vol 10, pp. 208-216.

**MAURO, N. M., (2006).** Synthèse d'alcaloïdes biologiquement actifs : la (+)-anatoxinea et la (±)-camptothécine, thèse doctorat, 13, 16-28p.

**Makoto, I. 2018 (n.d).** Figuier de Barbarie, *opuntia ficus-indica*. Gerbeaud. August 1, 2018, from <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/figuier-barbarie-opuntia,1822.html>

**Mahdeb A, Adjeroud-Abdellatif N, Mazari A, Portillo L, Ait Abdelouhab K, Aït Maamer D et Madani KH (2021),** Identification de certains *Opuntiaspp*. De deux régions algériennes et extraction assistée par ultrasons de leurs composés phénoliques, l'Association professionnelle pour le développement des cactus · Juin 2021.

**Mahrez H et Mazari S, (2020)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : Figuier de Barbarie : Composition et Intérêt des cladodes. Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire (Université A. MIRA-BEJAIA) 5p.

**MEDIC, M., JASPRICA, I., SMOLCICBUBALO, A., et MOMAR, A., (2003).**

Optimization of chromatographic conditions in Thin Layer Chromatography of Flavonoids and PhenolicAcids. *Croatica ChemicaActa*, 77(1-2): 361-366p. (CITED IN Mohammedi Z, 2005).

**Miller, N.J; Sampson, J; Candeias, L.P., et al. (1996).** Antioxydantactivities of carotenes and xanthophylls, *FEBS Lett*, 384: 240-2.

**Mercan, MD. (2010).** Le stress oxydatif. Unilabs A.R.L., Lausanne. pp 3-15.

**Mota, R., Thomas, G., Barbosa Filho, J.M.,( 1985).** Anti-inflammatoryactions of tannins isoled from the bark of *Anarcadiumoccidentale* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 13,

289300p.

**Moure, A; Cruz, J.M; Franco, D; Dominguez , J.M. et Sineiro, J. (2001).** Natural antioxidants from residual sources, Food Chemistry, 72: 145-171. des extraits de *Myrtus communis* L. (Rayhane) de la région de Tlemcen (Honaine) Mémoire de Magister Université de Tlemcen. p 26-29-48-49.

**MUELLER-HARVEY, I., MC ALLAN, A.B., (1992).** Tannins: their biochemistry and nutritional properties, Adv. Plant Cell Biochem. Biotechnol, 1, 151-217p.

**Msaddak L., (2018).** Propriétés techno-fonctionnelles et substances bioactives de deux ingrédients alimentaires: cladodes du figuier de barbarie et feuilles de vigne. Thèse de doctorat en biologie. Université de Gabès, Tunisie.

**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.

## N

**Namiki, M. (1990).** Antioxidants/Antimutagens in Food. CRC critical reviews in Food Science and Nutrition, 29: 273-300.

**Nijveldt, R., Van nood, E., Van hoorn, D.E.C., Boelens, P.G., Vannorren ,K. et Van leewwwen, P.A.M.,(2001).** Flawonoïdes : areview of probable mechnannisms of action and potential applications. American journal of clinical nutrition, 74 :418-425p.

**Nouar N et Youmbai D, (2019)** Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : Effet de l'activité antioxydante de plante médicinale cactus les deux espèces : *Opuntia ficus- indica* L et *Aloe vera*. Génie Chimique (Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued) 53- 54 p.

## O

**Okuda, T., Kimura, Y., Yoshida, T., Hatano, T., Okuda, H., et Arichi, S.,1983).** Studies on the activities of tannins and related compounds from medicinal plants and dugs. Inhibitory effects of lipid peroxidation in mitochondria and microsome of liver. Chem. Phar.

Bull, 31p.

## P

**Paolini, V., Dorchies, P.H., Hoste, H., (2003).** Effet des tanins condensés et des plantes à tanins sur les strongyloses gastro-intestinales chez le mouton et la chèvre. *Alter. Agri.*, 17-19p.

**Paris, M., et Hurabielle, M., (1981).** Matière médicale (pharmacognosie). Ed.Masson, T. 1, Paris,26-67p.

**Pietta, P.G. (2000).** Flavonoids as antioxidants. *Journal of naturalproducts*, 63:1035-1042.

**Pincemail ,J ; Defraigne, J.D. ( 2004).** Les antioxidants un vaste réseau dedefenses pour latter contre les effets toxiques de l'oxygène. Service de Chirurgie Cardio-vasculaire, Pro biox SA. SartTilman 4000 Liège, Belgique.

**Prior, RL. Cao, G. (2006).** In vivo total antioxidantcapacity: comparison of different Analyticalprophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Control Release Journal*, Vol 113(3), pp. 189-207.

## R

**Ratnam, VD. Ankola, DD. Baradwaj, V. Sahana, DK. Ravi Kumar, MNV. (2006).**Rôleof antioxidants in Sciences, Vol 81, pp. 895-905.

**Reynier, A., (2007).** Manuel de viticulture.10<sup>e</sup> édition.J.B. Bailliere.Paris.532P.

**Roux, D., Catier, O., (2007).** Botanique, pharmacognosie, phytothérapie.3ème édition. Ed. Wolters Kluwer, Dalian. China, 141 p.

## S

**Schofield, P., Mbugua, D.M., et Pell, A.N., (2001).** Analysisofcondensedtannins, a review. *Anim. FeedSci. Technol*, 91, 21-40p.

**Serdar, Z. Aslan, K. Dirican, M. Sarandol, E. Yeşilbursa, D. Serdar, A. (2006).**Lipid and proteinoxidation, Vol 39(8), pp. 794-803.

**Seyoum, A., Asres, K., et El-fiky, F.K., (2006).**Structure-radical scavengingactivity

relationships of flavonoids. *Phytochemistry*, 76 : 2058-2070p

**Schweizer, M. (1997).** Docteur Nopal : le médecin du bon Dieu. APB, Aloe plantes et beauté.

**Stavric, B., et Matula, T.I.,(1992).** Flavonoids in food. Their significance for nutrition and health. In: ONG ASH et Paker L, Eds, Lipid soluble and antioxidants: □ Biochemistry and clinical applications, Basel: Birkhauser Verlag, 274-294p.

**Suresh Kumar, K. Ganesan, K. Subba Rao, PV. (2008).** Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty – An edible seaweed. *Food Chemistry*. 107(1), pp. 289-295.

## T

**T. Guevara-Figueroa, H. Jimenez-Islas, M. L. Reyes Escogido, A. G. Mortensen, B. B. Laursen, , L. Linet al. x** Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 525–532, 2005.

**Tamine M (2019)** Thèse de doctorat, production d'acide lactique par *Lactococcus lactis* subse. *Lactis* sur jus de figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*). Microbiologie (université Ferhat abbas, Sétif 1) 81p.

## W

**Wilfred, V., et Ralph, N., (2006).** Phenolic compound biochemistry Ed Springer. USA, 24p.

## Y

**Yu, BP. (1994).** Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiological Reviews*, Vol 74(1), pp. 139-62.

**Yu, R; Mandlekar, S; Tony Kong, A.N. (2000).** "Molecular mechanisms of butylated hydroxytoluene induced toxicity: induction of apoptosis through direct release of cytochrome c". *Molecular Pharmacology*, 58: 431- 437. EPHE.

## Z



**Zenk, MH., et Jueng, M., (2007).** Evolution and current status of the phytochemistry of nitrogenous compounds. *Phytochemistry*, 68: 2757- 2772p.