



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département de Biochimie-Microbiologie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème

**Etude comparative sur l'activité antioxydante
de l'huile de figue de barbarie de deux régions
d'Algérie**

Réalisé par :

DJEMAI Aissa & N'AMAR Abdelkrim

Devant le jury composé de :

Présidente : M^{me} BEDOUHENE Samia (Maître de conférences classe A)

Examinatrice : M^{elle} DERMECHE Samia (Maître de conférences classe B)

Promotrice : M^{me} MESSAOUDI Djamila (Maître de conférences classe B)

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENTS

Au terme de notre travail nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience de le réaliser.

*Nous tenons tous particulièrement à adresser nos remerciements les plus vifs d'abord à notre Promotrice, **Mme MESSAOUDI Djamila**, et à notre Présidente, **Mme BEDOUHENE Samia**, qui nous ont fait l'honneur de nous proposer ce sujet. Nous leur sommes très reconnaissants pour leurs conseils, leur disponibilité et surtout leur patience.*

Nos sincères considérations et remerciements sont également exprimés aux membres du jury :

***Melle DERMECHE Samia** qui a accepté d'examiner ce travail et a consacré son temps à son évaluation.*

*Nos sincères considérations et remerciements sont également exprimés à **Mr MEZRED Mhamed** gérant de l'unité d'extraction **OLEA-AGRO** de nous avoir ouvert les portes de son unité d'extraction.*

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mes parents

Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de mes affectueuses gratitude.

Mes frères et sœurs, mes amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

Et à tous ceux qui nous sont chers

Djemai Aissa

Dédicaces

*Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail
que je Dédie à :*

Mes très chers parents

*Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma
reconnaissance et tout l'amour que je vous porte.*

*A ma chère mère **MALIKA**, Et mon père **ALI**.*

*Ce travail représente le fruit de votre soutien, vos sacrifices, et vos
encouragements.*

*Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de
bonheur !*

*A Mes chers frères et chères soeurs qui m'ont soutenue tout au
long de ces années d'études, merci pour votre amour fraternel, votre soutien et
votre encouragement.*

A Mes chers amis IZA Mouloud, AOUAT Salma, AIT SALAH Manix.

Que dieu les garde tous et les protège.

A tous mes amis proches.

Je vous aime tous

ABDELKRIM

SOMMAIRE

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| LISTE DES FIGURES | |
| LISTE DES TABLEAUX | |
| RESUME | |
| Introduction | 1 |
| Partie bibliographique | |
| I. Généralités sur la figue de barbarie | |
| I.1. Origine et répartition | 2 |
| I.2. Taxonomie et nomenclature | 3 |
| I.3. Description botanique | 4 |
| I.4. Espèces et variétés de figuier de Barbarie | 6 |
| I.5. Composition chimique | 7 |
| I.6. La graine de figue de barbarie | 8 |
| II. Huile des graines de figue de barbarie | 9 |
| II.1. Composition chimique de l'huile | 9 |
| II.1.1. Composition en acides gras | 9 |
| II.1.2. Les polyphénols | 10 |
| II.1.3. Vitamines et caroténoïdes | 10 |
| II.1.4. Les stérols | 11 |
| II.2. Paramètres physico chimiques | 11 |
| II.3. Méthodes d'extraction de l'huile de figue de barbarie | 12 |
| II.3.1. Extraction par pression mécanique | 13 |
| II.3.2. Extraction Par solvant | 14 |
| II.4. Effets et usages de l'huile de pépins de figue de barbarie | 16 |
| III. Activité antioxydante | |
| III.1. Le stress oxydatif | 22 |
| III.1.2. Définition | 22 |
| III.1.3. Origine du stress oxydatif | 23 |
| III.2. Les radicaux libres | 23 |
| III.2.1. Source de production des radicaux libres | 23 |
| III.2.2. Types de radicaux libres | 24 |
| III.3. Les antioxydants | 25 |
| III.3.1. Types des antioxydants | 25 |
| III.3.1.1. Les antioxydants endogènes | 25 |
| III.3.1.2. Les antioxydants exogènes | 27 |
| III.3.2. Les mécanismes d'action des antioxydants | 29 |
| III.3.3. Méthode d'évaluation de l'activité antioxydante | 30 |
| Partie pratique | |
| I. Matériel et méthodes | |
| 1.1 Matériel | 34 |
| 1.2. Méthodes | 35 |
| I.2.1. L'extraction d'huile de figue de barbarie | 35 |
| I.2.1.1. Le procédé d'extraction d'huile | 36 |
| I.2.2. Évaluation de l'activité antioxydante de l'huile de figue de Barbarie | 41 |

| | |
|---|----|
| I.2.2.1. Test de pouvoir de piégeage du radical libre DPPH | 41 |
| I.2.2.1.1. Mode opératoire | 41 |
| I.2.3. Les paramètres à déterminer | 43 |
| I.2.3.1. Rendements des extractions | 43 |
| I.2.3.2. Détermination du pourcentage d'inhibition | 43 |
| I.2.3.3. Détermination de l'IC50 | 43 |
| I.2.3.4. Étude de la cinétique de la réaction | 43 |
| I.2.3.5. Détermination du paramètre d'efficacité anti-radicalaire (EA) | 44 |
| I.2.3.6. Analyses statistiques | 44 |
| II. Résultats et Discussion | |
| II.1. Les rendement d'extractions | 45 |
| II.2. Évaluation de l'activité antioxydante | 46 |
| II.2.1. La lecture des résultats | 46 |
| II.2.2. Cinétique de la Réaction | 47 |
| II.2.3. Détermination du pourcentage d'inhibition | 50 |
| II.2.4. Détermination d'IC50 | 52 |
| II.2.5. Détermination Du TEC50 | 53 |
| II.2.6. Paramètre d'efficacité Anti-radicalaire | 54 |
| Conclusion | |
| Références bibliographiques | |

LISTE DES ABREVIATIONS

Abs: Absorbance

ABTS: Sel d'ammonium de l'acide 2,2-azinobis-(3ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)

ADN : Acide DésoxyRibonucléique

AGE : Acides gras essentiels

ANOVA : Analyse de la variance

CUPRAC: Cupric Reducing Antioxidant Capacity

DPPH : Radical 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl

EA: Efficacité anti-radicalaire

ERO: Espèces Réactives d'oxygène

GAeq : Equivalence en Acide Gallique

GLUT : Transporteurs de glucose

HDL : Lipoprotéines de haute densité

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%

LDL : Lipoprotéines de faible densité

LXR : Liver X Receptor

OFI : *Opuntia ficus indica*

PI : Pourcentage d'inhibition

SOD : Superoxyde dismutase

TEC50: Temps d'équilibre à 50%

TNF - α : Tumor Necrosis Factor - α

TPC : Total phenolic content

Rdt : Rendement

UV : Ultraviolet

LISTE DES FIGURES

| Figure | Titre | Page |
|-----------|---|------|
| Figure 1 | Distribution géographique du figuier de barbarie (Orwa et <i>al.</i> , 2009). | 2 |
| Figure 2 | Figuier de barbaries fruitiers. | 5 |
| Figure 3 | Schéma descriptif de détail d'Opuntia Ficus-Indica (Schweizer, 1997). | 5 |
| Figure 4 | Les différentes parties de la figue de barbarie. | 6 |
| Figure 5 | Formes épineuses et inermes d'OFI (A : forme inerme / B : forme épineuse) (Gaspar dos Reis, 2018). | 7 |
| Figure 6 | Coupe transversale de la graine de la figue de barbarie (Habibi, 2004). | 8 |
| Figure 7 | Schéma d'un système de pressage à froid (Pigeon et <i>al.</i> , 2012). | 13 |
| Figure 8 | Appareil de Soxhlet (Do Tiên, 2016). | 15 |
| Figure 9 | Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants. | 22 |
| Figure 10 | Origine des radicaux libres. | 24 |
| Figure 11 | structure de la vitamine E (ou α -tocophérol) (Belkheiri, 2010). | 27 |
| Figure 12 | Structure de la vitamine C (Belkheiri, 2010). | 28 |
| Figure 13 | Mécanisme réactionnel entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (RH). | 30 |
| Figure 14 | Schéma réactionnel de piégeage d'ABTS (+) par un antioxydant. | 31 |
| Figure 15 | Réduction du complexe chromogène de Cu ⁺² -Nc (Bensouici, 2014). | 31 |
| Figure 16 | Mécanisme réactionnel du test FRAP. | 32 |
| Figure 17 | Piégeage du radical superoxyde (O ₂ • ⁻) et formation du bleu de formazan. | 33 |
| Figure 18 | Huile de figue de barbarie. | 35 |
| Figure 19 | Le procédé d'extraction des huiles des graines de figue de Barbarie. | 36 |
| Figure 20 | La cueillette. | 37 |
| Figure 21 | Manutention des figues de barbaries. | 38 |
| Figure 22 | Le collecteur des figues de barbaries. | 38 |
| Figure 23 | Le broyeur des figues de barbaries. | 38 |
| Figure 24 | Le séparateur. | 39 |
| Figure 25 | L'éjecteur. | 39 |
| Figure 26 | Presse à froid. | 39 |
| Figure 27 | Le filtre. | 40 |
| Figure 28 | Conditionneuse. | 40 |
| Figure 29 | Produit finale | 40 |
| Figure 30 | Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH (Ramadan, 2010). | 41 |
| Figure 31 | Histogramme comparatif des rendements de l'huile de figue de Barbarie dans deux régions. | 45 |
| Figure 32 | Résultats du test DPPH avec l'huile de figue de Barbarie de Tizi-Ouzou (A), l'huile de figue de Barbarie de Skikda (B) et l'acide ascorbique (C). | 46 |
| Figure 33 | Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec l'acide ascorbique. | 47 |
| Figure 34 | Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec l'huile de figue de barbarie | 48 |

| | | |
|-----------|--|----|
| | (région de Tizi Ouzou). | |
| Figure 35 | Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec différentes concentrations l'huile de figue de barbarie (région de Skikda). | 48 |
| Figure 36 | Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'acide ascorbique. | 50 |
| Figure 37 | Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de huile de figue de barbarie (région de Tizi ouzou). | 51 |
| Figure 38 | Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de huile de figue de barbarie (région de Skikda). | 51 |
| Figure 39 | Valeurs d'IC50 du test DPPH en $\mu\text{g/ml}$. | 53 |

LISTE DES TABLEAUX

| N° du Tableau | Titre | Pages |
|---------------------|---|-------|
| Tableau I | Différents noms de l'espèce OFI (Zirmi-Zembri et Kadi, 2016). | 4 |
| Tableau II | Composition de la figue de barbarie (Piga, 2004). | 7 |
| Tableau III | Teneurs en acides gras (%) de l'huile de figue de barbarie (<i>Opuntia ficus-indica</i>) de différents pays (Al-Naqeb et <i>al.</i> , 2021). | 9 |
| Tableau IV | Contenu phénolique total (TPC) de l'huile de pépins de figue de barbarie. | 10 |
| Tableau V | Composition en Vitamines de l'huile de figue de barbarie. | 10 |
| Tableau VI | Composition en stérols de l'huile de figue de barbarie. | 11 |
| Tableau VII | Paramètres physico-chimiques de l'huile de figue de barbarie extraite par pression à froid (Khémiri et <i>al.</i> , (2019)) et par solvants (Boukeloua et <i>al.</i> ,2012). | 12 |
| Tableau VIII | Les différentes dilutions de la vitamine C et des volumes utilisés. | 42 |
| Tableau IX | Les résultats de calcul de l'activité antioxydante. | 54 |

Résumé

L'huile de graines de figue de barbarie est une huile précieuse extraite des graines du fruit du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*). Elle est largement utilisée dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique en raison de ses propriétés antioxydantes et nutritives.

Notre étude se focalise sur l'évaluation à la fois du rendement et de l'activité antioxydante de cette huile, extraite par pression à froid, à partir de deux régions distinctes d'Algérie : Tizi-Ouzou et Skikda. Les résultats du rendement ont révélé un taux de 4 % pour Tizi-Ouzou et de 3,33 % pour Skikda, des données en accord avec des études précédentes menées sur l'huile de figue de barbarie au Mexique.

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée à l'aide de la méthode du DPPH•. L'huile de Skikda ($IC_{50} = 376,71 \pm 0,0033 \mu\text{g/ml}$) a démontré une activité antioxydante supérieure à celle de l'acide ascorbique ($IC_{50}=698 \mu\text{g/ml}$), tandis que l'huile de Tizi-Ouzou ($IC_{50}= 531,77 \pm 0,0405 \mu\text{g/ml}$) a également présenté une activité significative, bien que légèrement inférieure à celle de Skikda.

Les résultats de notre étude nous ont permis de conclure que l'huile de graines de figue de barbarie présente une activité antioxydante remarquable, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour son utilisation potentielle dans divers domaines, notamment en santé et dans l'industrie cosmétique.

Mots clés : *Opuntia ficus-indica*, Acide ascorbique, DPPH, Activité antioxydante, pression à froid, Extraction de l'huile.

Abstract

Prickly pear seed oil is a valuable oil extracted from the seeds of the prickly pear fruit (*Opuntia ficus-indica*). It is widely used in the cosmetic and pharmaceutical industry due to its recognized antioxidant and nutritional properties.

Our study focuses on evaluating both the yield and antioxidant activity of this oil, extracted through cold pressing, from two distinct regions in Algeria: Tizi-Ouzou and Skikda. The yield results revealed a rate of 4% for Tizi-Ouzou and 3.33% for Skikda, in line with previous studies conducted on prickly pear oil in Mexico.

The evaluation of antioxidant activity was conducted using the DPPH• method. Specifically, Skikda oil ($IC_{50} = 376.71 \pm 0.0033 \mu\text{g/ml}$) demonstrated superior antioxidant activity compared to ascorbic acid ($IC_{50} = 698 \mu\text{g/ml}$), while Tizi-Ouzou oil ($IC_{50} = 531.77 \pm 0.0405 \mu\text{g/ml}$) also exhibited significant activity, albeit slightly lower than that of Skikda.

The results of our study have allowed us to conclude that prickly pear seed oil possesses remarkable antioxidant activity, thereby opening new perspectives for its potential use in various fields, particularly in health and the cosmetic industry.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, Ascorbic acid, DPPH, Antioxidant activity, Cold pressing, Oil extraction

Introduction

Introduction

Depuis la nuit des temps, les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances naturelles bioactives. En effet, les métabolites secondaires ont l'avantage d'être d'une grande diversité de structures chimiques ce qui fait qu'elles sont un centre d'application dans divers domaines à savoir en médecine, pharmacie, cosmétique et agroalimentaire. Parmi ces plantes, l'*Opuntia ficu-indica*, communément appelée figuier de barbarie, est originaire du Mexique, bien adaptée au climat du bassin méditerranéen (Butera et *al.*, 2002). Cette plante, a longtemps, été marginalisée mais sa culture est en nette progression, vue son importance socio-économique et environnementale (Maataoui et *al.*, 2006).

De nos jours, 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 telles que l'artériosclérose, le cholestérol et le diabète (Schweizer, 1997 ; Lee et *al.*, 2002).

Malgré son abondance, notamment dans la région de la Kabylie, la figue de barbarie suscite peu d'intérêts, elle n'est pas valorisée et sa consommation reste saisonnière. Les graines le sont, encore moins, puisque jusqu'à présent elles sont considérées comme des sous-produits. Et pourtant, leur importance ne cesse de prendre de l'ampleur dans d'autres pays comme le Mexique, l'Argentine, l'Espagne...et même dans les pays voisins (Maroc et Tunisie). La richesse de leur huile en matières insaponifiables et en acides gras essentielles a en fait un bon atout pour son exploitation en cosmétologie et sa consommation comme huile de table (Habibi, 2004 ; Habibi et *al.*, 2005).

L'huile de figue de barbarie renferme divers composés phytochimiques tels que les métabolites secondaires (polyphénol, flavonoïdes et tannin) qui pourrait justifier leur exploitation industrielle comme antioxydant naturel (El Kossori et *al.*, 1998 ; Cardador-Martinez et *al.*, 2011). Cependant, trop peu d'études ont été rapportées par la littérature sur cette composition phénolique ainsi que sur son activité antioxydante. En Algérie, il existe très peu d'informations disponibles sur le fruit lui-même ainsi que sur les propriétés antioxydantes de son huile.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antioxydante de l'huile de figues de barbarie d'origine locale, en mettant particulièrement l'accent sur l'huile extraite des graines provenant de deux régions différentes : la région de Kabylie à Tizi Ouzou (Agouni Gueghrane) et une région de l'est (Skikda), ce qui nous a permis de faire une étude comparative, une étude qui n'a pas été déjà faite auparavant.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur la figue de barbarie

I.1. Origine et répartition

Le figuier de barbarie (*OFI*) est une plante tropicale, cultivée dans les climats arides et semi-arides (Ginestra et al., 2009). Cette espèce ayant la plus grande importance économique dans le monde est originaire du Mexique, mais elle a été introduite dans le reste du monde, d'abord en Espagne et plus tard au 16ème siècle au nord et au sud de l'Afrique (Isaac, 2016). L'introduction du figuier de barbarie en Afrique du nord (Maroc, Tunisie, Algérie) a été favorisée par l'expansion espagnole durant le 16ème et le 17ème siècle (El Mannoubi et al., 2008) et aussi, par le retour des Maures vers leur terre natale quand ils ont finalement été expulsés d'Espagne en 1610 (ONU, 2018).

En Algérie, la répartition géographique de l'*Opuntia* n'est pas bien déterminée, on le retrouve partout sous forme sauvage ou cultivée, depuis les régions côtières jusqu'aux zones arides et semi-arides (Bouayad, 2012), 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 (Benattia,2017).

Selon Orwa et al., (2009), l'aire d'origine du figuier de barbarie (le Mexique) est présentée par la couleur verte (figure 01) et les nouvelles aires de distribution par la couleur noire : le Brésil, le Chili, les Etats Unies, l'Inde, l'Italie, l'Espagne, l'Erythrée, le Portugal, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, le Maroc, l'Afrique du Sud, l'Éthiopie, le Soudan, la Tanzanie, le Kenya et l'Ouganda.

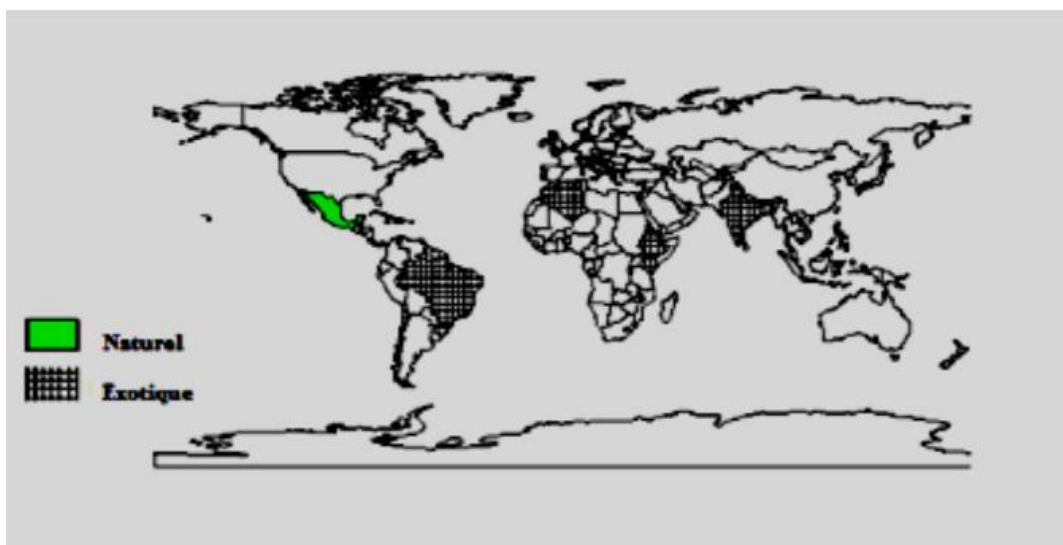


Figure 01: Distribution géographique du figuier de barbarie (Orwa et al., 2009).

I.2. Taxonomie et nomenclature

Opuntia est le genre le plus important et le plus répandu de la famille des cactacées qui sont des végétaux phanérogames, angiospermes, dicotylédones et dialypétales (Reyes-Aguero et Valiente-Banu, 2006). Elles font parties des plantes succulentes et xérophytes (Bhira, 2012). Les cactacées ont été classées près de la famille de la carotte (apiaceae), mais la découverte de bétalaïne les a placées dans l'ordre des « caryophyllales » (Lallouche, 2008).

A. Classification

Plusieurs auteurs ont élaboré des classifications du genre *Opuntia*, et celle qui est considérée comme la plus valable à ce jour et sans doute celle du Britton et Rose (1963) (Mulas M et Mulas G, 2004). D'après Wallace et Gibson (2002), leur classification systématique est rappelée ci-dessous:

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

B. Appellation

Le nom *Opuntia* est l'appellation scientifique du nopal, qui est employé pour la première fois en 1558 par l'Italien Matthiole en se référant à une plante à fleurs revêtue d'épines abondante dans la région d'Oponte ; de même, le terme «*cactus*» vient du grec «*kaktos*», désignant le chardon (Schweizer, 1997), mais la plante peut porter un nom différent selon l'idiome local, comme c'est indiqué dans le tableau (I).

Tableau I. Différents noms de l'espèce OFI (Zirmi-Zembri et Kadi, 2016)

| Nom scientifique | Nom commun en berbère | Nom commun en arabe | Nom commun en français | Nom commun en anglais | Noms vernaculaires |
|-----------------------------|--|--|------------------------|--|--|
| <i>Opuntia ficus indica</i> | - Akarmus lahlu - Tihendit -Akarmus buesnane | -Hendi - Karmous ensara -El-tin el-Choki | Figuier de barbarie | -Prickly pear - Indian fig - Barbary fig | - Nopal - Tuna -Chardon d'Afrique - Devils tongue -Figuier des Chrétiens - Raketa, etc. |

La taxonomie des espèces appartenant au genre *Opuntia* est encore un sujet de débat, ce qui s'explique par une classification incorrecte qui provient de la difficulté d'identification de tous les membres de ce genre (Hunt, 2000), ainsi que, la publication d'un grand nombre de noms d'espèces dont beaucoup sont des synonymes ou des attributions incorrectes (Labra et al., 2003).

I.3.Description botanique

Le figuier de barbarie (figure 2 et 3) est une plante arborescente qui peut atteindre de 3 à 5 mètres de haut. Son organisation en cladodes, couramment appelés « raquettes », est particulière (Bouayad, 2012).

Les cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long, qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles (Schweizer, 1997; Stintzing et al., 2005; Feugang et al., 2006).

L'appareil racinaire est superficiel, se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol, mais en revanche très étendu (Mulas et Mulas, 2004).

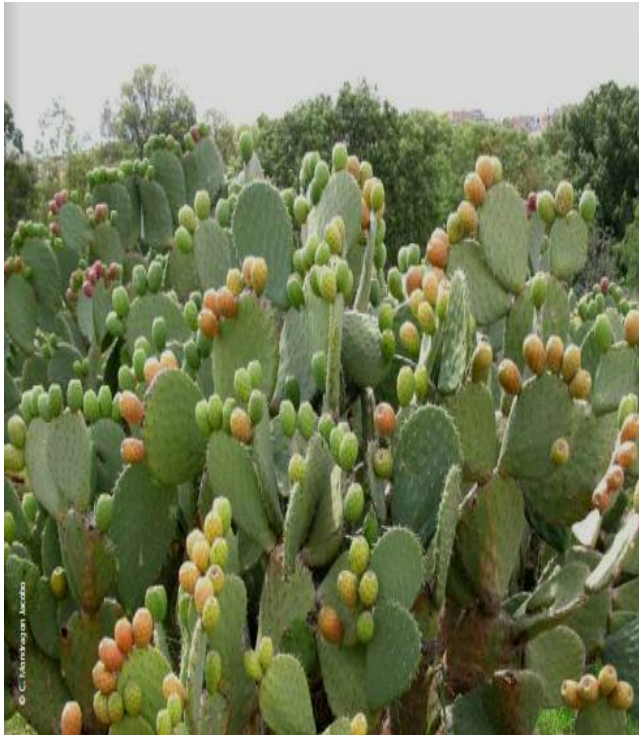


Figure 02 : Figuiers de barbaries fruitiers
(Photo originale)

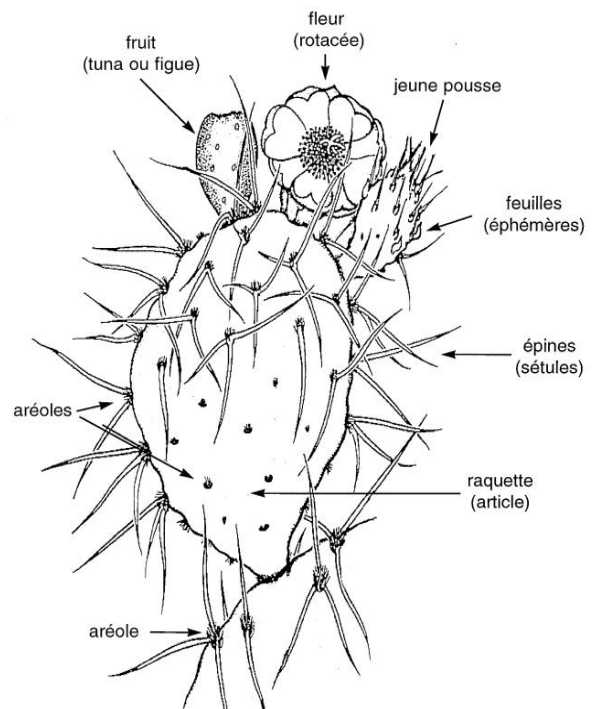


Figure 03 : Schéma descriptif de détail
d'Opuntia Ficus-Indica (Schweizer, 1997)

Les fleurs sont à ovaire infère (figure 04), avec de grandes corolles latérales jaunes, oranges ou rouges (Schweizer, 1997 ; Reyes-aguero et *al.*, 2006). Un cladode fertile peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs. Ce nombre varie selon la position du cladode sur la plante et les facteurs physiologiques (Reyes-aguero et *al.*, 2006).

Ces fleurs donnent naissance aux fruits ; une grosse baie (100 à 150g) ovale ou allongée et charnue (figure 4), avec une pulpe juteuse, en générale contenant de nombreuses graines (polysémique). La couleur et la forme du fruit sont variables selon les variétés : jaune, rouge, blanche (Schweizer, 1997 ; Piga, 2004 ; Feugang et *al.*, 2006 ; Reyes-aguero et *al.*, 2006).

Les graines sont dures, indigestes, mais riches en vitamines (figure 4). On obtient, après préparation, une huile très recherchée et une farine nourrissante (Schweizer, 1997).



Figure 04 : Les différentes parties de la figue de barbarie (Photo originale)

I.4.Espèces et variétés de figuier de barbarie

Les espèces les plus connues du figuier de barbarie sont l'*Opuntia inermis* (*Opuntia vulgaris*), très prisée en Espagne, en Afrique du Nord et dans bien d'autres pays, *O. monacantha* et *O. dillenii* privilégiées en Chine et enfin, *Opuntia ficus-indica* (figuier de barbarie) espèce comestible et médicinale qui est largement distribuée (Schweizer, 1997). La distinction entre les différents cultivars est basée sur la forme et la qualité des fruits et sur la période de floraison et de la maturité des fruits (Araba et al.,2000).

D'après Araba et al., (2000), les variétés de *cactus* se distinguent en deux groupes :

- ✧ Les variétés inermes: souvent domestiquées et cultivées sur des surfaces limitées. Les plants issus de semis sont épineux la première année et les aiguillons disparaissent à partir de la deuxième année.
- ✧ Les variétés épineuses: caractérisées par des épines longues. Il paraît que c'est une variété qui entre en production tardivement après la 6ème ou la 7ème année de plantation (figure 05). Il semble qu'il n'y ait pas de variétés absolument inermes, mais à aiguillons plus ou moins rares (Araba et al., 2000).

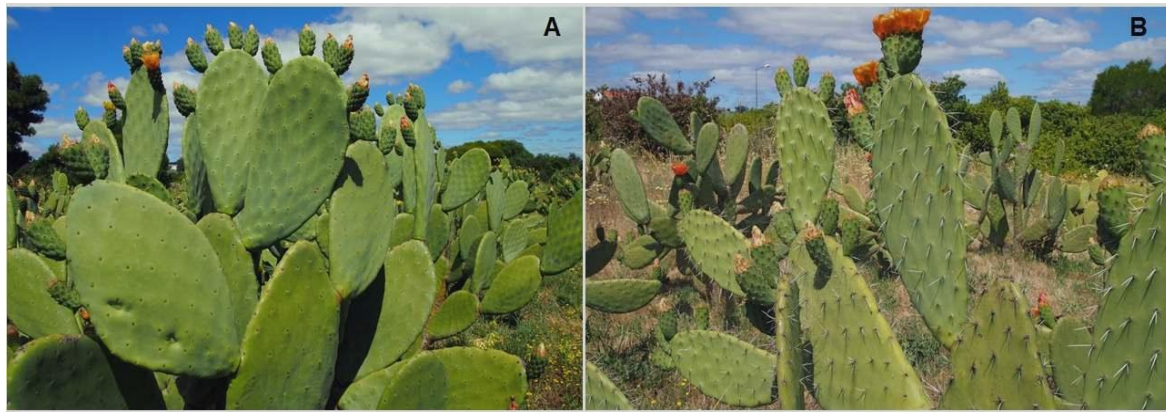


Figure 05 : Formes épineuses et inermes d'OFI (A : forme inermes / B : forme épineuse)
(Gaspar dos Reis, 2018).

I.5.Composition chimique

La figue de barbarie est un fruit succulent, peu acide et riche en sucre ; ce qui le rend délicieux et doux (Piga, 2004 ; Feugang et *al.*, 2006).

La composition moyenne de la figue de barbarie est résumée dans le tableau II.

Tableau II : Composition de la figue de barbarie(Piga, 2004).

| Paramètres | Valeur | Paramètres | Valeur |
|--------------------------------|-------------|---------------------|------------|
| <i>Pulpe (%)</i> | 43-57 | Mg (mg/100g) | 16.1- 98.4 |
| <i>Graines (%)</i> | 2 - 10 | Na (mg/100g) | 0.6 - 1.1 |
| <i>Epluchure (%)</i> | 33 - 55 | K (mg/100g) | 90 - 217 |
| <i>pH</i> | 5.3 - 7.1 | P (mg/100g) | 15 - 32,8 |
| <i>Acidité (% ac.citrique)</i> | 0.05 - 0.18 | Proline (mg/L) | 1768.7 |
| <i>Eau (%)</i> | 84 - 90 | Glutamine (mg/L) | 574.6 |
| <i>Protéines (%)</i> | 0.2 - 1.6 | Taurine (mg/L) | 572.1 |
| <i>Lipides (%)</i> | 0.09- 0.7 | Serine (mg/L) | 217.5 |
| <i>Fibres (%)</i> | 0.02 - 3.1 | Alanine (mg/L) | 96.6 |
| <i>Sucres totaux (%)</i> | 10 - 17 | A.Glutamique (mg/L) | 83 |
| <i>Vitamine C (mg/100g)</i> | 1 - 41 | Méthionine (mg/L) | 76.9 |
| <i>Calcium (mg/100g)</i> | 12.8 - 59 | Lysine (mg/L) | 53.3 |

I.6. La graine de figue de barbarie

Les graines de figue de barbarie sont caractérisées par leur dureté due à la présence de fibres dures et de formes plates, plus au moins réniformes ou lenticulaires. Le pourcentage et le nombre de graines par fruit varie en fonction de plusieurs facteurs dont la variété, la physiologie et l'environnement de culture (Habibi, 2004 ; Reyes-Aguero et *al.*, 2005). L'étude morphologique de la graine réalisée par microscopie électronique à balayage et à transmission, permet de préciser l'organisation des tissus en deux parties : le péricarpe et l'endosperme (figure 06) (Ennouri et *al.*, 2006 ; Habibi et *al.*, 2008).

❖ Le péricarpe

Le péricarpe de la graine de figuier de barbarie représente 90 à 95% du poids total de deux graines. On peut distinguer deux types de cellules : en majorité des cellules longues très compactes en forme de fibres fusiformes et quelques vaisseaux spiralés. Les fibres sont communément appelées fibres des sclérenchymes. Ce tissu de soutien est largement répandu dans les téguments des graines, les noyaux des fruits, les cellules pierreuses, les épines et les aiguillons des tiges et des feuilles. Les couches régulières de cellules, qui garnissent leur paroi épaisse, présentent un arrangement hélicoïde (Habibi, 2004).

❖ L'endosperme

Représentent jusqu'à 10 % du poids total de la graine ; il est constitué de cellules de parenchyme de réserve à paroi très fine renfermant de nombreux leucoplastes qui forment de petits grains d'amidon. Entre les tissus riches en amidon s'intercale une couche de gluten (couche à aleurone) qui donne au noyau son aspect visqueux. L'ensemble de ces cellules sont enrobées dans une paroi cellulaire épaisse en forme de tuile inverse (Habibi, 2004).

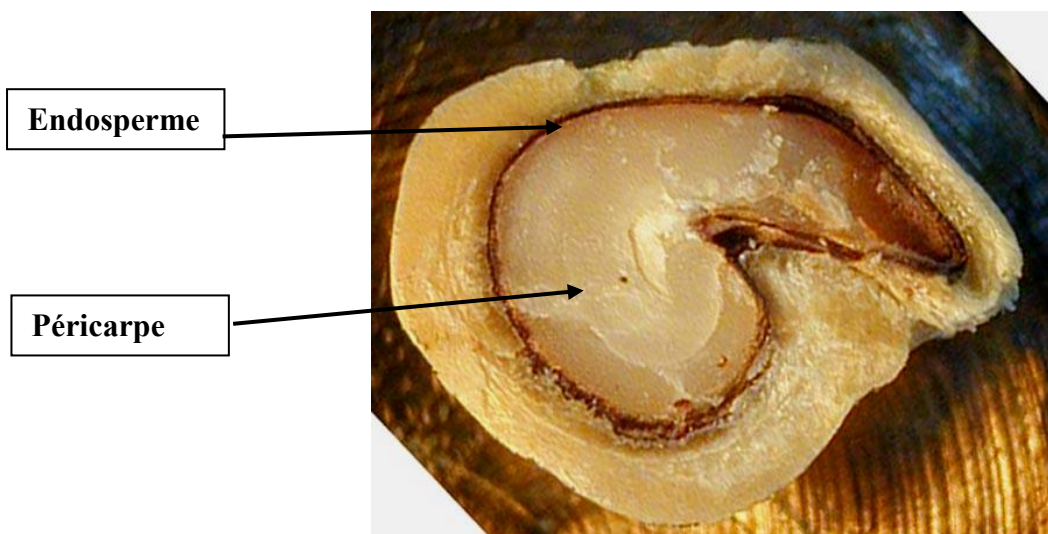


Figure 06: Coupe transversale de la graine de la figue de barbarie (Habibi, 2004).

II. Huile de graines de figue de barbarie

L'huile de pépins de figue de barbarie est une huile précieuse obtenue par pression à froid de graines. Cette huile est constituée principalement d'acides oléique (22%), palmitique (12%) et linoléique (60%) qui lui confèrent des propriétés nourrissantes et émoullientes très intéressantes en cosmétique. L'huile de figue de barbarie est 100% naturelle. Réparant, nourrissant et hydratant spectaculairement la peau, il combat également les aléas du temps grâce à son taux élevé d'antioxydants et d'acides gras essentiels (AGE) qui redonnent tonus et fermeté à la peau. Son processus rajeunissant et restructurant en fait le parfait soin anti-âge (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

II.1. Composition chimique de l'huile

II.1.1. Composition en acides gras

La composition en acides gras de l'huile de figue de barbarie varie en fonction de différents facteurs tels que la variété, le lieu de culture, les méthodes et solvants utilisés pour l'extraction de l'huile, le degré de maturité et la saison de récolte. Le tableau suivant nous montre le profil en acides gras de l'huile de différents pays (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

Tableau III. Teneurs en acides gras (%) de l'huile de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) de différents pays (Al-Naqeb et *al.*, 2021)

| PAYS | Acide gras insaturé | | | Acide gras saturé | | |
|-----------|---------------------|---------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| | Acide Linoléique | Acide Oléique | Acide Linoléinique | Acide Vaccénique | Acide palmitique | Acide stéarique |
| Allemagne | 53.5 ± 4.9 | 18.3 ± 1.6 | NR | 2.6 ± 0.2 | 20.1 ± 2.3 | 2.7 ± 0.1 |
| Algérie | 49.7 ± 56.1 | 15.6 ± 19.3 | 0.24 | 4.30 | 10.1 ± 0.2 | 2.8 ± 0.2 |
| Espagne | 57.7 - 63.1 | 19.0 - 21.8 | 0.23-1.10 | NR | 12.5 - 15.1 | 2.6 - 4.1 |
| Mexique | 66.5 - 76.1 | 9.3- 19.9 | NR | NR | 5.6 - 56.2 | 15.5 - 36.1 |
| Égypte | 54.03 | 22.41 | 0.63 | NR | 17.11 | 3.49 |
| Tunisie | 57.5 - 57.6 | 22.3 - 25.3 | 0.2 - 0.5 | NR | 11.3 -14.3 | 3.12 -4.3 |
| Maroc | 60.2 -64.6 | 18.2 - 22.3 | 0.3 | NR | 11.6 - 12.4 | 3.0 - 3.4 |
| Turquie | 49.3 - 62.1 | 13.0 - 23.5 | 0.3 | 5.0 - 6.3 | 10.6 - 12.8 | 3.3 - 5.4 |
| Yemen | 57.0 | 22.30 | 0.23 | NR | 14.0 | 3.0 |

II.1.2. Les polyphénols

Différentes études ont fourni des valeurs variables pour le contenu phénolique total (TPC) de l'huile de pépins de figue de barbarie, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. Contenu phénolique total (TPC) de l'huile de pépins de figue de barbarie.

| Source | TPC |
|-----------------------------------|--------------------------|
| (Khémiri <i>et al.</i> , 2019) | 26.5 mg GAE/g |
| (Brahmi <i>et al.</i> , 2020) | 55.82 ± 3.84 mg GAE/100g |
| (Karabagias <i>et al.</i> , 2020) | 551 ± 0.300 mg GAE/L |

Selon l'étude menée par Khémiri *et al.* (2019), le contenu phénolique total (TPC) de l'huile de pépins de figue de barbarie est de 26.5 GAEq/g d'huile (Equivalence en Acide Gallique). De plus, les flavonoïdes sont présents à une quantité de 3.1mg Quercétine eq/g les caroténoïdes sont de 10.520 mg/kg et la chlorophylle est de 4.57 mg/kg.

II.1.3. Vitamines et caroténoïdes

L'huile de pépins de figue de barbarie se distingue par sa richesse en tocotriénols (une forme non saturée de vitamine E), ainsi qu'en vitamine K1 et bêta-carotène. La quantité de ces composés peut varier considérablement selon les études, comme le met en évidence le tableau suivant:

Tableau V. Composition en vitamines de l'huile de figue de barbarie.

| | (Khémiri <i>et al.</i> , 2019)mg/kg | (Ramadan <i>et al.</i> , 2003) mg/kg | (El Mannoubi <i>et al.</i> , 2009) mg/kg |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| α-tocophérol | 11.49 ± 0.27 | 56 ± 3 | 10.98 ± 0.002 |
| β-tocophérol | 797.8 ± 0.79 | 12 ± 2 | / |
| γ-tocophérol | 53.92 ± 0.46 | 330 ± 30 | 421.08 ± 0.090 |
| δ-tocophérol | | 5 ± 1 | 15.32 ± 0.003 |
| Totale Vitamine E | 863.21 ± 1.16 | 403 ± 40 | 447.38 ± 0.140 |
| Vitamine K1 | / | 525 ± 60 | / |
| β-carotène | / | 47±8 | / |

II.1.4. Les stérols

Le beta-Sitostérol est le stérol majeur dans cette huile (jusqu'à plus de 80%). Suivant les études (tableau VI), en deuxième place on peut trouver soit du stigmastanol ou du campestérol.

Tableau VI. Composition en stérols de l'huile de figue de barbarie.

| | (Brahmi et <i>al.</i> ,2020) Algérie (mg/100g d'huile) | (Taoufik et <i>al.</i> ,2015) Maroc (%) | (El Mannoubi et <i>al.</i> , 2009) Tunisie (g/kg) | (Ramadan et <i>al.</i> , 2003) Allemagne (g/kg) |
|------------------------|--|---|---|---|
| β-Sitostérol | 387.44 ± 3.04 | 75.9-81 | 11.50 ± 0.12 | 6.75 ± 0.89 |
| Stigmastanol | 47.04 ± 0.02 | / | / | / |
| Campesterol | 21.65 ± 0.09 | 8.9-13.1 | 2.17 ± 0.10 | 1.66 ± 0.21 |
| Stigmastérol | 11.26 ± 0.51 | 1.8-3.0 | 0.76 ± 0.03 | 0.30 ± 0.04 |
| Cholestérol | / | 0.9-1.3 | 0.01 | / |
| Sitostanol | / | / | 0.57±0.02 | / |
| Δ5 -Avenastérol | / | 3.6-6.7 | 0.82 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 |
| Δ7 -Avenastérol | / | 0.1-0.9 | 0.23 ± 0.01 | 0.05 ± 0.006 |
| Δ7-Stigmastérol | / | 0.3-1.5 | / | 0.28 ± 0.05 |
| Lanostérol | / | / | / | / |
| Totale | 467.39 mg/100g | / | 16.06 ± 0.28 g/kg | 9.05 g/kg |

II.2. Paramètres physico chimiques

Les paramètres physico-chimiques de l'huile de figue de barbarie sont résumés dans le tableau ci-dessous:

Tableau VII. Paramètres physico-chimiques de l'huile de figue de barbarie extraite par pression à froid (Khémiri et *al.*, (2019)) et par solvants (Boukeloua et *al.*,2012)

| Paramètres | Khémiri et <i>al.</i> , (2019) | Boukeloua et <i>al.</i> , (2012) |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Indice acide | 1.952 ± 0.034 | 1.82 ± 0.01 |
| Indice d'iode (g d'I₂/100 g d'huile) | 108.52 ± 0.250 | 93.45 ± 0.22 |
| Indice de Saponification (mg de KOH/g d'huile) | / | 177.10 ± 0.05 |
| Indice Peroxyde (meq O₂/kg d'huile) | 2.230 ± 0.061 | 2.04 ± 0.05 |
| Densité (20°) | 0.905 ± 0.001 | 0.909 ± 0.01 |
| Densité par gravimétrie a 20°C | 0.931 ± 0.010 | / |
| Indice Réfractive (20°) | 1.475 ± 0.001 | 1.476±0.01 |
| Etat physique a température ambiante | Liquide | Liquide |
| Couleur | Jaune verdâtre | Jaune marron |
| Odeur | / | Légèrement fruité |
| Propriété | / | Huile sèche |
| Texture | / | Non comédogène |

II.3. Méthodes d'extraction de l'huile de figue de barbarie

Dans le domaine de l'extraction des huiles, différentes techniques sont utilisées pour extraire ces substances précieuses. Ces techniques peuvent être classées en deux catégories : les techniques

conventionnelles, qui sont utilisées depuis longtemps, et les techniques nouvelles, qui ont été développées plus récemment (Al-Naqeb et al., 2021).

L'huile de figue de barbarie est une huile très précieuse et rare, ce qui contribue à son coût élevé en raison de son rendement relativement faible. Selon une récente étude réalisée par Al-Naqeb et al. (2021) portant sur l'extraction de l'huile de graines de figue de barbarie, le rendement moyen obtenu par pression à froid est d'environ 8%. Cela signifie qu'environ 800 kg de figes (soit environ 25 kg de graines) sont nécessaires pour produire 1 litre d'huile. Il convient de noter que ce chiffre peut varier en fonction des paramètres mentionnés précédemment, ainsi que de la performance des équipements utilisés et du traitement réservé aux graines (Al-Naqeb et al., 2021)

II.3.1. Extraction par pression mécanique

A. Extraction par pression à froid

L'extraction par pression à froid (figure 07) sert à un passage des graines dans une presse à huile à vis qui provoque une pression croissante à environ 60°C ; l'huile récupérée est décantée, pesée puis conservée à -20°C.

Cette technique permet la préservation de la teneur en acides gras essentiels et en anti-oxydants naturels, et par conséquent évite une altération des propriétés de l'huile (Nitièma et al ., 2012).

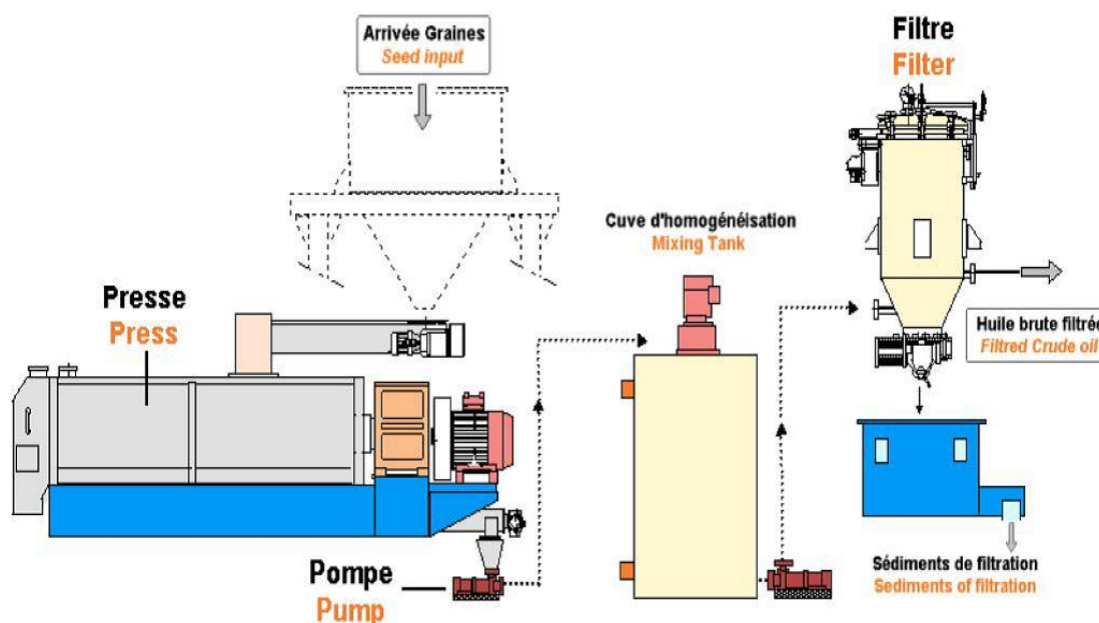


Figure 07 : Schéma d'un système de pressage à froid (Pigeon et al., 2012).

B. Extraction par pressage à chaud

L'extraction par pressage à chaud est un procédé qui nécessite le broyage et le chauffage préalables des graines avant d'être pressées. Il existe également une variante où les graines subissent d'abord une première pression à froid, puis le tourteau résultant est chauffé avant d'être pressé. La température peut atteindre jusqu'à 120°C (Pigeon et *al.*, 2012). Le traitement thermique augmente la fluidité de l'huile, ce qui améliore le rendement, d'où son utilisation dans l'industrie. Cependant, ce procédé comporte le risque d'altérer certaines propriétés de l'huile, notamment la modification des acides gras et des polyphénols.

II.3.2. Extraction par solvant

A. Extraction par soxhlet

L'extraction par soxhlet est une méthode classique pour l'extraction solide-liquide, simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec un solvant frais jusqu'à épuisement complet du soluté dans la matière première. (Wang et *al.*, 2006).

L'avantage de cette technique est que l'échantillon entre rapidement en contact avec une portion fraîche de solvant, ce qui l'aide à déplacer l'équilibre de transfert vers le solvant. Cette méthode ne nécessite pas de filtration après extraction. L'appareil soxhlet est composé d'une colonne en verre (figure 08), dans laquelle est placée une cartouche en papier-filtre épais ou en cellulose, d'une matière pénétrable

pour le solvant, d'un tube siphon et un autre de distillation. Dans le montage, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction surmonter par un réfrigérant. Le ballon est chauffé, provoquant l'évaporation du solvant qui passe dans le tube adducteur, puis se condense grâce au réfrigérant, et retombe dans le corps de l'extracteur. Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube siphon et retourne dans le ballon, accompagné des substances extraites. Ainsi, le solvant contenu dans le ballon s'enrichit progressivement de composés solubles, principalement l'huile (Wang et *al.*, 2006).

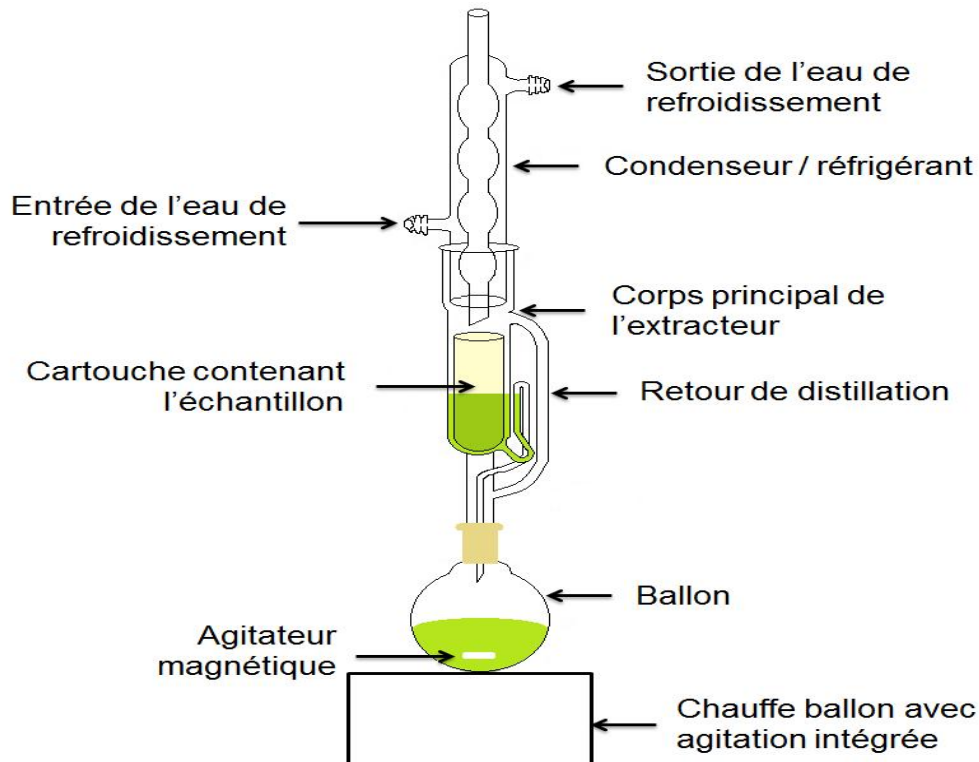


Figure 08 : Appareil de Soxhlet (Do Tiên, 2016)

B. Extraction par fluide supercritique

L'extraction par fluide supercritique et plus particulièrement par le CO₂ supercritique a été introduite comme alternative à ces procédés d'extraction par solvants (Danielski et *al.*, 2006). Il s'agit d'une technique sans résidu, qui utilise le CO₂, présentant les propriétés les plus satisfaisantes il est peu coûteux et disponible à une pureté élevée, sa pression (74 bar) et sa température (31°C) critiques sont relativement faciles à atteindre, il est inerte, non inflammable et non-toxique, et en dehors des applications radioactives il est chimiquement stable (Basevska et *al.*, 2007). Elle permet également de récupérer un extrait le plus naturel possible, sans solvant, garantissant la préservation de tous les principes actifs avec une durée d'extraction plus courte, une sélectivité élevée et la facilité d'éliminer le solvant après l'extraction par simple décompression. La méthode repose sur les propriétés particulières des fluides dans des conditions de température et de pression données, telles qu'ils aient à la fois des propriétés de gaz (pénétration dans la matière à extraire) et des propriétés liquides (dissolution de ce qui est à extraire, et notamment des molécules liposolubles). De plus, elle permet d'éviter toute dégradation de la molécule recherchée (les températures de travail sont basses), la sélectivité est meilleure, mais le coût est généralement très important (Wang et *al.*, 2006).

II.4. Effets et usages de l'huile de pépins de figue de barbarie

A. Effet antioxydant

L'effet antioxydant est l'un des effets majeurs reconnus de cette huile. La sélection adéquate du solvant utilisé ainsi que la variété du fruit jouent un rôle décisif pour obtenir une activité antioxydante optimale. Ainsi, selon Ramírez-Moreno *et al.* (2017), l'utilisation de l'hexane a donné un rendement supérieur à celui de l'éthanol et de l'éthyle acétate pour les différents fruits utilisés, cependant, l'huile extraite par l'hexane a présenté une activité antioxydante plus faible par rapport aux autres solvants.

Selon El Khemiri *et al.*, 2019, l'activité anti-radicalaire de l'huile est estimée à 95%. Les tocophérols, connus pour être des antioxydants naturels très actifs, jouent un rôle essentiel dans la protection des acides gras polyinsaturés contre la peroxydation et la neutralisation des espèces oxygénées actives (Chaalal *et al.*, 2012). De plus, Khémiri *et al.* (2019) ont rapporté que l'huile extraite par pressage à froid présentait un pouvoir de piégeage des radicaux libres de 88,41% selon le test DPPH et de 87,42% selon le test ABTS, comparée à la vitamine C (Vit. C eq/g d'huile).

B. Effet anti-inflammatoire

L'huile de pépins de figue de barbarie a démontré de manière significative son efficacité anti-inflammatoire dans une étude réalisée par Bardaa *et al.* (2020), qui l'a comparée à d'autres huiles testées (huile de citrouille et l'huile de graines de lin). L'expérimentation consistait à injecter à des rats par voie sous-cutanée du Carraghénane (polysaccharide naturel qui induit une inflammation). Les rats traités avec l'huile de figue de barbarie ont présenté des réductions significatives de la taille de l'œdème formé, du nombre de globules blancs et des plaquettes, ainsi que de la concentration des protéines C-réactives et des fibrinogènes.

L'effet anti-inflammatoire de l'huile est attribué à ses composants. Les acides gras insaturés sont considérés comme des anti-inflammatoires hautement actifs, agissant comme des inhibiteurs de la cyclooxygénase. De plus, les phytostérols, les tocophérols, les polyphénols et les caroténoïdes participent aussi à cet effet par le biais de leurs pouvoirs antioxydant en neutralisant les espèces oxygénées actives, ce qui permet d'inhiber l'oxydation des lipides et des protéines. Les flavonoïdes sont aussi connus pour leurs effets réducteurs des effets des prostaglandines qui causent la phase tardive de l'inflammation aiguë

et la perception de la douleur. Ils neutralisent aussi les oxydants libérés par les leucocytes et les autres phagocytes (Al-Naqeb et al., 2021).

Par ailleurs, le β -sitostérol peut inhiber l'activité de la myéloperoxydase et de l'adénosine désaminase et réduit aussi les niveau de IL-1 β and TNF- α (Liz et al., 2012).

C. Effet antimicrobien

Dans une étude réalisée par Khémiri et al. (2019), l'effet antimicrobien de l'huile de pépins de figue de barbarie a été rapporté contre la bactérie *Enterobacter cloacae*, ainsi que les levures *Candida parapsilosis* et *Candida sake*. De plus, l'huile a démontré un effet antifongique contre les champignons tels que *Aspergillus niger*, *Penicillium digitatum* et *Fusarium oxysporum*.

Une autre étude menée par Ramírez-Moreno et al. (2017) a également révélé l'effet antimicrobien de l'huile contre les grams positifs et négatif. L'huile a démontré une capacité d'inhibition contre deux champignon (*Saccharomyces cerevisiae* et *Candida albicans*) et quatre bactéries sur six testées. Les bactéries inhibées sont : *Escherichia coli* O58:H21, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les bactéries pour lesquelles l'huile n'a pas eu d'effets sont : *Escherichia coli* O157:H7 et *Salmonella typhi*. Le mécanisme d'action suggéré par les auteurs était la perturbation de la membrane par l'inactivation de l'adhésion microbienne, des enzymes et des protéines de transport. La non inhibition de *Salmonella typhi* qui est un gram négatif peut être expliquée par le fait que ce dernier possède une membrane externe qui empêche la pénétration des composants amphipathiques et qui expulse les toxines, en plus de la présence des plasmides qui offrent une résistance aux médicaments. L'étude conclue que l'huile a un effet anti microbien comparable à l'ampicilline, la streptomycine et le sulfaméthoxazole/triméthoprime.

Une étude ultérieure menée par Nazzaro et al. (2021) a confirmé l'efficacité de l'huile contre les bactéries grams positifs et négatifs. En effet, l'huile a pu inhiber le bio film de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginos* et *Pectobacterium carotovorum* (38.75%, 71.84%,et 63.06% d'inhibition, respectivement). L'huile a aussi bloqué à 64.97% le métabolisme de *Listeria monocytogenes*.

D. Effet anti-tumoral

L'étude menée par Becer et *al.* (2018) a montré que l'huile de pépins de figue de barbarie a eu un effet anticancéreux en inhibant la croissance des cellules Colo-320 et Colo- 741, des lignées cellulaires de carcinome du côlon. L'inhibition s'est faite d'une manière indépendante du temps et de la dose et en induisant l'apoptose. Cet effet est dû à la haute teneur en acide linoléique de l'huile. Ce dernier, composant majoritaire de l'huile est connu pour avoir un effet pro-apoptotique sur différents types de lignées cellulaires cancéreuses, comme la démontré l'étude de Zhang et *al.* (2015), ainsi l'effet de différents acides gras polyinsaturés incluant l'acide linoléique a été étudié sur des cellules *LoVo* et *RKO* qui sont des cellules cancéreuses du côlon. L'apoptose se fait par une voie médiée par la mitochondrie, par la perte du potentiel de la membrane mitochondriale, la génération d'espèces oxygénées réactives, l'accumulation de Ca^{+2} intracellulaire, l'activation de la caspase-9 et de la caspase-3, la diminution du niveau d'ATP et une augmentation dans le rapport d'expression Bax/Bcl-2. Le Bax est un facteur pro-apoptotique tandis que le Bcl-2 est un facteur anti-apoptotique qui joue un rôle dans la régulation de l'intégrité de la membrane externe de la mitochondrie.

E. Effet cardio-protecteur

L'effet cardio-protecteur de l'huile de figue de barbarie a suscité un intérêt particulier en raison de son potentiel pour lutter contre l'hypercholestérolémie qui peut constituer un facteur de risque important pour l'apparition de maladies cardiovasculaires.

Une étude menée par Ennouri et *al.* (2006) a conclu que la supplémentation de l'alimentation de rats avec 25g/kg de l'huile de pépins de figue de barbarie a diminué les taux de cholestérol total et de LDL sans effets sur les concentrations des HDL. Selon les auteurs cet effet est probablement dû à la richesse de l'huile en phytostérols notamment le beta-sitostérol (6 g/kg d'huile) qui sont connus pour faire diminuer le taux de cholestérol dans le plasma.

En outre, des recherches plus récentes menées par Al-Naqeb et *al.* (2021) ont révélé que cette huile est capable de moduler l'expression de récepteurs nucléaires clés, tels que le récepteur X du foie (LXR)- α et LXR β , ainsi que leurs gènes cibles, ABCA1 et ABCG1 qui sont impliqués dans la régulation du métabolisme du cholestérol.

F. Effet antidiabétique

L'effet anti-diabétique de l'huile de pépins de figue de barbarie a été largement étudié, et les résultats des recherches ont révélé des effets prometteurs. Berraouan et *al.*, (2015) ont rapporté l'effet protecteur de l'huile sur des rats rendus diabétiques par l'alloxane. L'administration orale de l'huile a atténué l'hyperglycémie et a amélioré le taux de survie chez les rats traités de 77.77 % contre 40 % des rats non traités. L'étude morphométrique du pancréas a révélé que l'huile a protégé les îlots de Langerhans contre les altérations induites par l'alloxane en préservant le diamètre et la surface des îlots et le nombre de cellules insulaires. L'huile a permis de prévenir l'apparition du diabète induit par l'alloxane grâce au travail synergique de ses composants antioxydants (tocophérols, beta carotène, polyphénols...) en inhibant la production des radicaux libres et/ou en neutralisant ces derniers s'ils sont produits. Les acides gras insaturés améliorent le pouvoir antioxydant et préservent l'homéostasie redox des cellules bêta pancréatiques contribuant ainsi à un effet antidiabétique.

L'étude de Berraouan et *al.*, (2014) a rapporté que l'administration orale de 1 ou 2ml/kg d'huile de pépins de figue de barbarie n'a pas affecté de manière significative le taux de glycémie à jeun des rats en bonne santé. Cependant, l'administration de l'huile a amélioré la tolérance au glucose en réduisant l'hyperglycémie postprandiale chez des rats sains chargés au glucose et des rats diabétiques (diabète induit par la streptozotocine). Cet effet réducteur du taux de glucose peut être expliqué par une augmentation de la sécrétion de l'insuline et de l'absorption extra-pancréatique du glucose. En effet, les oméga-3 augmentent l'excrétion d'insuline et les acides gras polyinsaturés améliorent la fluidité des cellules membranaires et l'absorption du glucose en augmentant l'expression des transporteurs GLUT1 et GLUT4.

Ennouri et *al.*, (2006) ont aussi constaté une diminution de la concentration sérique de glucose chez des rats traités avec l'huile de pépins de figue de barbarie, et une augmentation des niveaux du glycogène dans le foie et dans le muscle squelettique. Cette augmentation peut être expliquée par une élévation de la sécrétion en insuline, ce qui va stimuler l'incorporation du glucose en glycogène pour la régulation de la glycémie.

G. Effet anti-ulcèreux

Lors d'une étude réalisée sur des rats Wistar, l'administration d'huile a démontré une protection efficace des muqueuses gastriques contre les effets ulcérants de l'éthanol. Les résultats ont révélé des taux de guérison significatifs, avec 91% des rats traités présentant une guérison en seulement 2 jours et une guérison complète atteinte chez 99% des rats traités en 3 jours. Contrairement aux rats témoins non traités, qui n'ont pas connu de guérison notable. Cet effet anti-ulcèreux est dû à la richesse de l'huile en composants qui agissent en synergie ou de manière différée pour optimiser la guérison par leur propriétés antioxydante, ou en agissant comme antagoniste au récepteur-H2 de l'Histamine, en stimulant la production du mucus et des bicarbonates et en exerçant un effet anti inflammatoire. La présence d'acides gras et de triacylglycérols contribue aussi au processus de guérison en aidant à la réparation et à la construction des membranes cellulaires (Khémiri et Bitri, 2019).

H. Usage alimentaire

L'étude de Ennouri et *al.*, (2006) a rapporté que les rats nourris avec un régime à base d'huile de pépins de figues de barbarie possédaient une conversion alimentaire meilleure, nécessitant moins de nourriture pour augmenter leurs poids (par augmentation de la masse protéique) comparés au groupe témoin. Ces résultats s'ajoutent aux effets antidiabétiques et régulateurs du cholestérol et à la richesse de l'huile en vitamines et en acides gras insaturés, ce qui la rend intéressante pour un usage alimentaire sain.

I. Usage en cosmétique

L'huile de pépins de figue de barbarie est largement utilisée en cosmétique en raison de ses nombreuses propriétés bénéfiques pour la peau. Les études scientifiques ont démontré ses effets anti-âges, protecteurs contre les radicaux libres et hydratants. Par exemple, Al-Naqeb et *al.* (2021) ont rapporté que les composants de cette huile, tels que les antioxydants et les acides gras polyinsaturés, ont réduit la mort cellulaire due au rayonnement UV et ont protégé les fibroblastes dermiques humains. De plus, elle présente une capacité à absorber les rayonnements UV-C dans un intervalle de 100-290 nm, les UV-B à un intervalle de 290-320 nm et les UV-A à un intervalle de 320-500 nm, là où ces rayonnements causent la plupart des dommages (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

Une autre particularité de cette précieuse huile réside dans sa richesse en composés phénoliques, tels que les flavonoïdes, qui sont des antioxydants puissants. Ces composés phénoliques, présents dans les graines, contribuent à renforcer l'action antioxydante de cette huile (Boudjellaba et Yassa, 2012). De plus, elle contient des stérols et des tocophérols, qui favorisent l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée (Habibi, 2004 ; Chaaben et *al.*, 2015).

Outre son utilisation en cosmétique, cette huile est également reconnue en médecine traditionnelle pour ses propriétés curatives, notamment dans le traitement des plaies et des brûlures . Elle bénéficie également aux cheveux et aux ongles grâce à ses vertus séborégulatrices, leur offrant ainsi un soin nourrissant qui les rend doux, brillants et forts (Abdeldjalil, 2016).

III. Activité antioxydante

III.1. Le stress oxydatif

Nos cellules et tissus peuvent être soumis à une grande variété d'agression physiques (traumatisme, irradiation, hyper ou hypothermique), chimiques (acidose, toxines) et métaboliques (exposition à des xénobiotiques, privation d'un facteur hormonal ou facteur de croissance). La plupart de ces agressions débouchent sur une expression commune appelée stress oxydant, dû à l'exagération d'un phénomène physiologique, normalement très contrôlé, la production de radicaux dérivés de l'oxygène (Zbadi *et al.*, 2018).

III.1.2. Définition

Selon Zbadi *et al.* (2018), le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre de la balance de production des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les systèmes antioxydants (Figure 09). C'est un phénomène physiopathologique conduisant à un excès de radicaux oxygénés toxiques non maîtrisés par les systèmes de défense de l'organisme. Cet excès est un facteur clé favorisant l'apparition de nombreuses pathologies chroniques tels que le cancer, des pathologies oculaires, des maladies neuro-dégénératives (maladie d'Alzheimer, sclérose latérale), les maladies cardio- vasculaires, diabète et vieillissement accéléré (Zbadi *et al.*, 2018).

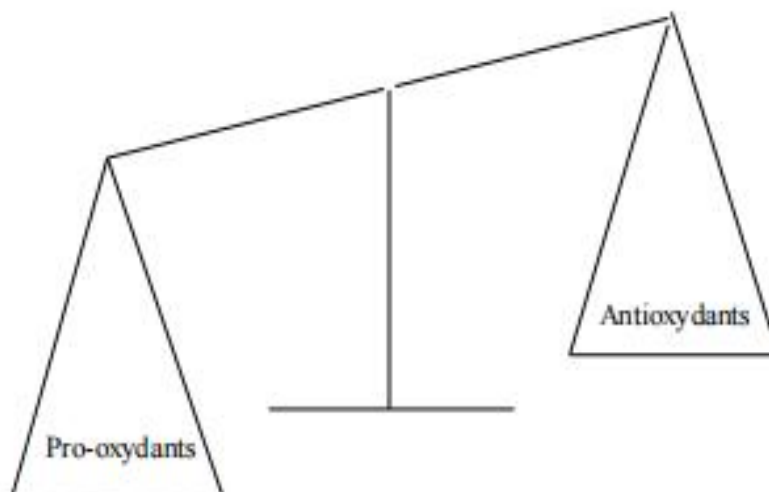


Figure 09 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants.

III.1.3. Origine du stress oxydatif

L'origine du stress oxydatif peut être attribuée aux mitochondries, qui sont responsables de la production d'ERO, au niveau de la chaîne mitochondriale, la fuite d'électrons conduit à la formation de radicaux super oxydes par liaisons de ces électrons aux molécules d'oxygène (Guillouty, 2016). Les mitochondries régulent le manque d'apport d'oxygène au niveau tissulaire par la libération d'ERO (Duplic *et al.*, 2010).

Selon Guillouty (2016), d'autres facteurs tels que les rayons UV, l'ozone (O₃), le tabac et les herbicides sont également à l'origine de la formation des ERO. En effet, les UV (320-400nm) réduisent l'O₂ en O₂⁻. L'O₃ contribue aussi à la formation d'ERO et ceci en favorisant la migration des polynucléaires neutrophiles (PNN) à la surface de l'épithélium respiratoire. Quant à la fumée du tabac, les ERO qui y résultent seront à l'origine de la peroxydation lipidique et l'activation des molécules pro-inflammatoires. Concernant les herbicides, la toxicité du paraquat est induite par la formation des radicaux libres qui provoquent la saturation des voies de détoxification enzymatiques favorisant ainsi l'apparition du stress oxydatif.

III.2. Les radicaux libres

Un radical libre est une entité chimique qui peut être soit un atome ou une molécule ayant un ou plusieurs électrons célibataires sur leur couche externe, et capable de s'attaquer aux autres molécules en vue de se stabiliser entraînant ainsi des dommages moléculaires et cellulaires. L'ensemble des radicaux libres est souvent appelé espèces réactives d'oxygène (ERO) (Favier, 2003)

III.2.1. Sources de production des radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques hautement réactives qui peuvent être générées à partir de différents processus métaboliques de l'organisme tels que la respiration cellulaire, la peroxydation lipidique et le métabolisme des médicaments. Ils sont également générés par des facteurs externes tels que l'exposition aux rayonnements ionisants, aux produits chimiques toxiques, au tabagisme, à la pollution atmosphérique et aux rayons UV (Halliwell, 2007). Les radicaux libres peuvent causer des dommages

oxydatifs aux composants cellulaires, tels que les lipides, les protéines et l'ADN (figure 10), ce qui peut entraîner des maladies chroniques et des dysfonctionnements cellulaires (Mika *et al.*, 2004).

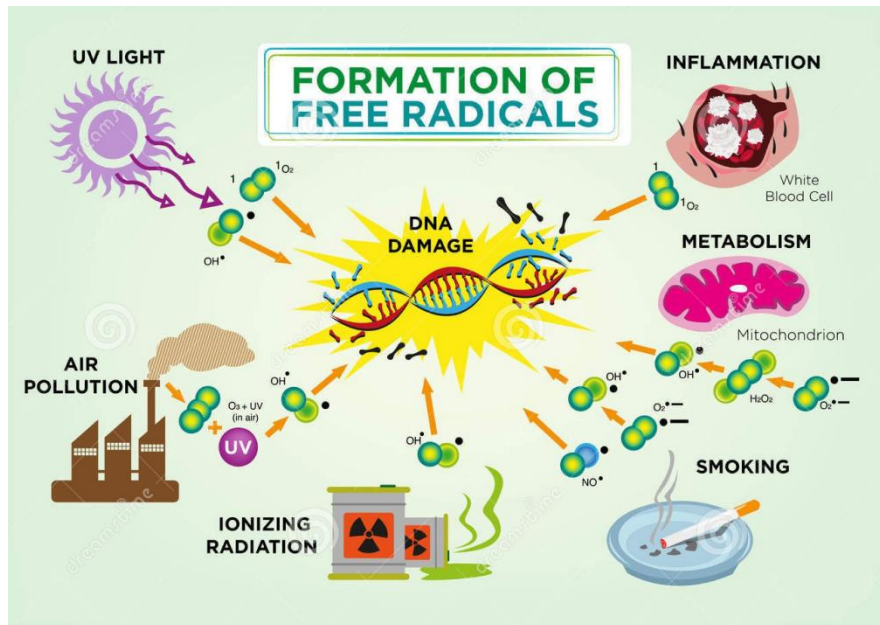


Figure 10 : Origine des radicaux libres.

III.2.2. Types des radicaux libres

D'après Halliwell et Whiteman (2004), les radicaux libres peuvent dériver de l'oxygène (Espèces réactives de l'oxygène ou ERO), de l'azote (Espèces réactives de l'azote) ou d'autres atomes tels que le chlore (Espèces réactives de chlore) qui peuvent être radicalaires ou non radicalaires :

- **Les espèces radicalaires** : anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$), radical hydroxyle (OH^\bullet), radical peroxyde (ROO^\bullet), radical alkoxyde (RO^\bullet) et monoxyde d'azote (NO^\bullet).
- **Les espèces non radicalaires** : peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), peroxyde organique ($ROOH$), oxygène singulet (1O_2), peroxydinitrite ($ONOO^-$) et acide hypochlorique ($HOCl$).

III.3. Les antioxydants

Les antioxydants jouent un rôle crucial dans la protection contre l'oxydation des substrats. Ils sont capables de ralentir ou d'empêcher les réactions d'oxydation en neutralisant les radicaux libres (Haleng et *al.*, 2007).

Il existe deux sources principales d'antioxydants. La première est endogène et comprend des enzymes telles que la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase, ainsi que des protéines telles que la ferritine, la transferrine, la céruloplasmine et l'albumine. La deuxième source est exogène et provient de l'alimentation, notamment des produits végétaux riches en vitamines E et C, en caroténoïdes et en composés phénoliques (Rock, 2003 ; Pincemail et Defraigne, 2004).

III.3.1. Types des antioxydants

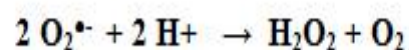
III.3.1.1. Les Antioxydants endogènes

A. Antioxydants enzymatiques

L'organisme humain possède un système enzymatique constitué principalement de trois enzymes: le superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx). Ces enzymes sont ou protéines antioxydants élaborés par notre organisme avec l'aide de certains minéraux. Elles sont présentes en permanence dans l'organisme mais leur quantité diminue avec l'âge (Haleng et *al.*, 2007).

✧ La superoxyde dismutase (SOD)

Les SOD sont les premières enzymes à intervenir dans la cascade des ROS. Ce sont des métalloprotéines. Comme l'indique son nom, la superoxyde dismutase accélère la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène :

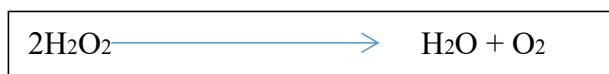


Il existe plusieurs iso-enzymes de SOD : cytosolique Cu, Zn-SOD, Mitochondriale Mn- SOD et extracellulaire EC-SOD, le rôle de chaque une est la dismutation du radical superoxyde en H₂O₂ et en O₂.

La Mn-SOD à une activité antitumorale très efficace, par ailleurs la EC-SOD à un rôle fondamental dans la protection antioxydante des surfaces cellulaires et des protéines de la matrice extra cellulaire (Haleng *et al.*, 2007).

✧ **La catalase**

Présente en particulier dans les hématies et les peroxysomes hépatiques. Elle agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) en eau (H₂O) et en oxygène (O₂) (Benaissa , 2012). Chaque minute, une molécule de Catalase peut convertir Six million de molécules d'hydrogène peroxyde en eau et oxygène (Haleng *et al.*, 2007).



✧ **Le glutathion peroxydase**

Le glutathion peroxydase (GPx) est une séléno-protéine formée de quatre sous-unités contenant chacune un atome de sélénium, elle permet d'éliminer les radicaux libres qui peuvent oxyder la molécule d'ADN (Belkheiri, 2010) et les peroxydes lipidiques (Haleng *et al.*, 2007).

B. Antioxydants non enzymatiques

✧ **La bilirubine**

La bilirubine est un composé hydrophobe résultant de la dégradation de l'hème, elle est susceptible de piéger les ROO et l'¹O₂ et protéger l'albumine en établissant des liaisons avec cette dernière (Haleng *et al.*, 2007).

✧ L'ubiquinone

Il est qualifié d'un caractère lipophile associé à sa grande chaîne latérale qui lui permet de s'insérer au niveau des lipoprotéines et les membranes essentiellement mitochondriales où il empêche la peroxydation des lipides en synergie avec la vitamine E (Haleng *et al.*, 2007).

✧ L'acide urique

L'acide urique est le produit final du métabolisme des purines chez l'Homme. C'est un piègeur puissant d' $^1\text{O}_2$, de $\text{OH}\cdot$, de $\text{ROO}\cdot$, de O_3 , et de HOCl (Haleng *et al.*, 2007).

✧ Le glutathion

Le GSH est un tripeptide composé d'acide glutamique - cystéine - glycine. Son grand pouvoir réducteur lui confère la propriété d'être le cofacteur de la GPX, le chélateur des métaux de transition et le régénérateur final des vitamines E et C (Haleng *et al.*, 2007).

III.3.1.2. Les antioxydants exogènes

✧ La vitamine E (les tocophérols)

La vitamine E est une molécule antioxydante liposoluble qui joue un rôle protecteur des membranes biologiques en limitant la lipopéroxydation par la production d'un radical tocophéryle (Haleng *et al.*, 2007). La vitamine E possède quatre isomères dont la forme la plus active est l' α -tocophérol (Gulcin, 2012) (figure 11). Elle agit de deux manières dont l'une est directe en piégeant les ERO et l'autre étant indirecte en régulant les enzymes antioxydantes (Vertuani *et al.*, 2004). La régénération de la vitamine E est possible par la vitamine C, à partir de sa forme radicalaire tocophéryle issue de sa réaction avec des radicaux lipidiques.

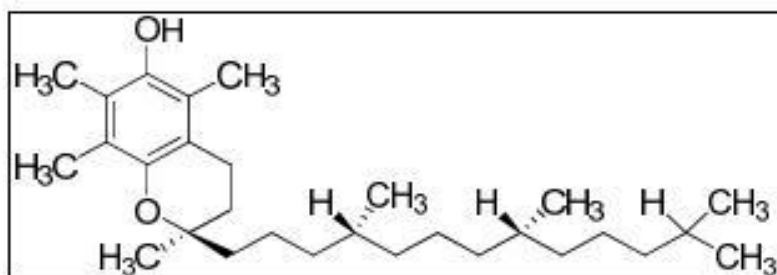


Figure 11: Structure de la vitamine E (ou α -tocophérol) (Belkheiri, 2010).

✧ **La vitamine C (Acide ascorbique)**

C'est une molécule hydrosoluble présente dans les fluides physiologiques (Vertuani *et al.*, 2004). Cette vitamine agit en piégeant directement les ERO principalement le O₂⁻ et le -OH., ainsi elle permet de recycler α – tocophérol dans le but de travailler en synergie avec la vitamine E dans la prévention de la peroxydation des lipides (Haleng *et al.*, 2007). La figure 12 illustre la structure chimique de la VitamineC.

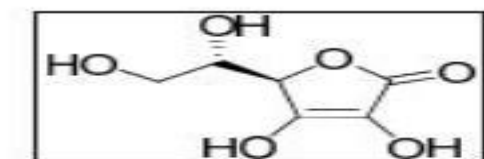


Figure 12 : Structure de la vitamine C (Belkheiri, 2010).

✧ **Les caroténoïdes**

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les ERO. Ce sont essentiellement des piègeurs d'oxygène singulet (¹O₂) en la transformant en oxygène moléculaire triplet (³O₂) plus stable, mais ils peuvent également neutraliser les radicaux libres (ROO[•]) par transfert d'hydrogène (Stahl *et al.*, 2000 ; Rock, 2003). L'activité antioxydante des caroténoïdes est liée à leur longue chaîne carbonée riche en double liaisons (Hadj Salem, 2009).

✧ **Les oligo-éléments**

Les oligo-éléments interviennent comme cofacteurs d'enzymes indispensables dans la lutte contre les radicaux libres. Parmi ces oligo-éléments on cite ; le zinc, le sélénium et le manganèse (Pastre *et al.*, 2005)

✧ **Les polyphénols**

La capacité antioxydante des polyphénols est associée à leurs caractéristiques structurales principalement le nombre et la position des groupements hydroxyles à cet effet, les flavonoïdes sont des puissants antioxydants (Zhang et Tsao, 2006). Les polyphénols préviennent les dommages oxydatifs par différents mécanismes basés sur un transfert d'électron et/ou de proton et la chélation des métaux de transition (Leopoldini *et al.*, 2011).

Beta *et al.* (2005) rapportent que les tannins condensés, les acides phénoliques et les flavonoïdes constituent les composés les plus importants dans les plantes médicinales. Les tannins permettent de piéger les radicaux libres et inactiver les ions pro-oxydants (Mayouf, 2019). Concernant les flavonoïdes, ils agissent sur les chaînes radicalaires par plusieurs mécanismes : par capture directe des radicaux libres, par chélation des métaux de transition indispensables pour la génération des ERO, comme donneurs d'hydrogène, par augmentation de la concentration de l'acide urique ou par inhibition d'enzymes pro-oxydantes telles que les oxydases (Carocho et Ferreira, 2013). En effet, les flavonoïdes sont capables de restreindre l'oxydation des lipides par la diminution de la fluidité membranaire, limitant ainsi la diffusion des radicaux libres (Vertuani *et al.*, 2004).

III.3.2. Mécanismes d'action des antioxydants

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulier, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la chélation des métaux de transition (Favier, 2004).

D'une manière générale, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'un autre Substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atome d'hydrogène ou d'électrons souvent aromatiques cas de dérivés du phénol. En plus leurs radicaux intermédiaires sont relativement stables du fait de la délocalisation par résonance et par manque de positions appropriées pour être attaqué par l'oxygène moléculaire. Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puissent réagir avec un nouvel acide gras. Tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène singlet pour la transformer en chaleur (Hellal, 2011).

III.3.3. Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

A. Test de DPPH

Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est une méthode couramment utilisée, simple et précise. Son principe repose sur l'utilisation d'un radical instable, le DPPH, qui possède un électron célibataire sur l'atome d'azote. Le DPPH se caractérise par une couleur violette et un pic d'absorbance spectral maximal à 517 nm. En présence d'antioxydants, l'électron célibataire du DPPH s'apparie, entraînant ainsi la décoloration du DPPH, passant d'une couleur violette foncée (forme radicalaire DPPH•) à une couleur violette claire (forme réduite DPPH-H) (Figure 13). Cette décoloration est due à la capacité de l'échantillon à piéger ce radical (Ramadan, 2010).

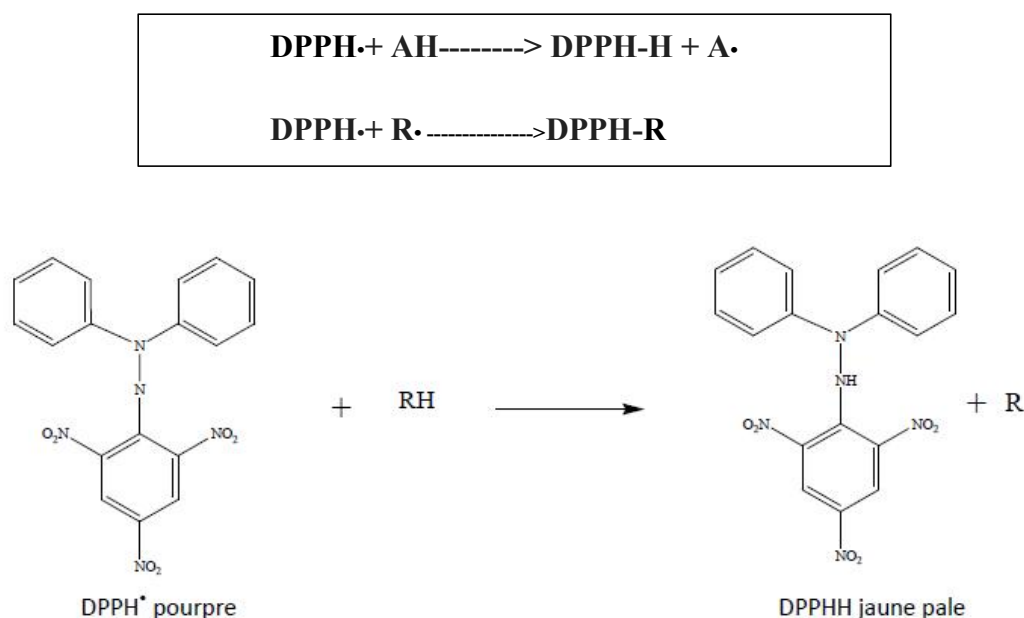


Figure 13 : Mécanisme réactionnel entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (RH)

B. Test d'ABTS

C'est une méthode récente développée par Miller et ses collaborateurs en 1993. Elle permet d'évaluer le pouvoir réducteur d'un radical ABTS (+) produit par l'oxydation enzymatique (peroxydase) ou chimique (dioxyde de manganèse, sulfate de potassium) de l'ABTS. La méthode permet de surveiller la diminution de l'absorbance de l'ABTS (+). Ce chromogène absorbe dans une gamme caractéristique de 600 à 750 nm (figure 14). (Re *et al*, 1999)

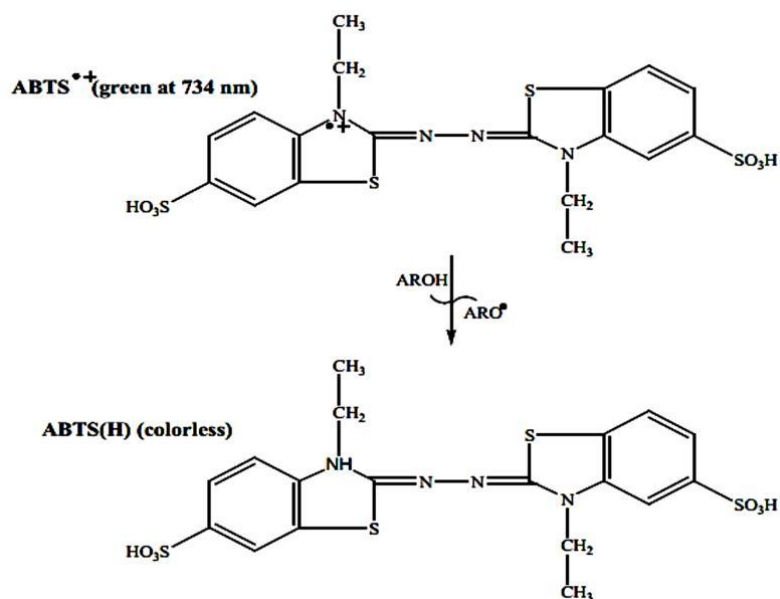


Figure 14 : Schéma réactionnel de piégeage d'ABTS (+) par un antioxydant.

C. La réduction du complexe Cuivre-Neocuproïne (méthode CUPRAC)

La méthode CUPRAC est basée sur la mesure l'absorbance du complexe cuivre- néocuproïne [Cu²⁺-Nc²⁻] formé en raison de la réaction redox entre un antioxydant et le complexe cuivre- néocuproïne. En effet, en présence d'un agent antioxydant, le complexe cuivre-néocuproïne est réduit produisant ainsi un complexe chromogène de Cu⁺-Nc (Figure 15), cette réaction est quantifiée à une longueur d'onde de 450 nm. (Apak et *al.*, 2004).

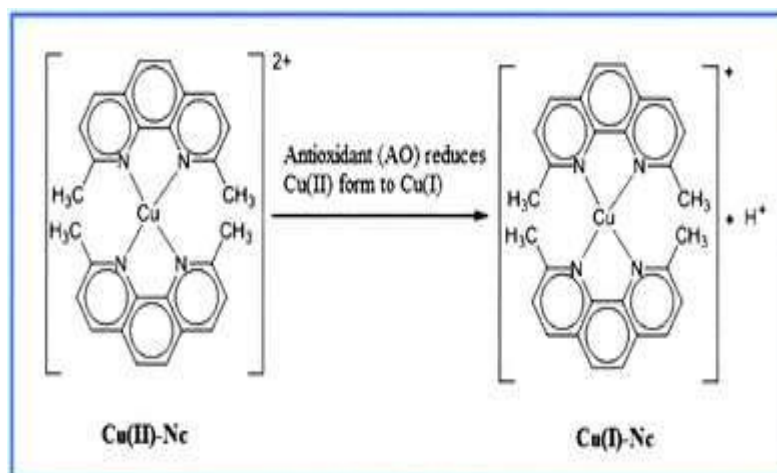


Figure 15 : Réduction du complexe chromogène de Cu²⁺-Nc (Bensouici ,2014).

D. Test FRAP (Test du pouvoir de réduction des ions de Fer)

Le test FRAP (figure 16) est un dosage colorimétrique du transfert d'électrons, basée sur l'aptitude des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) présent dans le ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) en fer ferreux (Fe^{+2}) et la formation de ferrocyanure de potassium ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$). Ceci se traduit par le virage de la couleur jaune du ferricyanure de potassium vers une couleur bleue/verte dont l'intensité dépend du pouvoir réducteur de l'antioxydant. L'absorbance du milieu réactionnel est mesurée à 700 nm (Apak *et al.*, 2004).

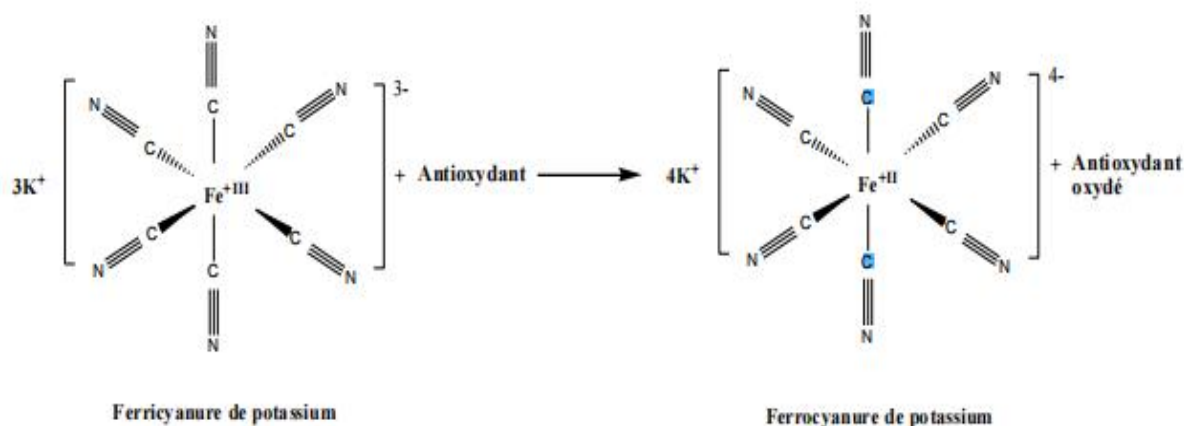


Figure 16 : Mécanisme réactionnel du test FRAP

E. Test de la capacité de Piégeage du radical superoxyde ($\text{O}_2^{\cdot -}$)

Le principe est l'évaluation de la capacité d'un produit à capter un radical libre, l'anion superoxyde $\text{O}_2^{\cdot -}$. ce radical est généré *in vitro* par le système hypoxanthine/xanthine oxydase. Dans cette méthode, le radical réduit le NBT $^{2+}$ (Nitro-Blue Tétrazolium) de couleur jaune, en bleu de formazan de couleur pourpre (figure 17) qui absorbe à 560 nm. Ainsi, un composé antioxydant capable de capter l'anion superoxyde empêchera la formation du bleu de formazan et la solution restera jaune. Les absorbances obtenues permettent de calculer un pourcentage d'inhibition de la réduction du NBT $^{2+}$ par rapport à un témoin constitué du milieu réactionnel dépourvu de composé antioxydant. On peut ensuite tracer une

courbe représentant le logarithme du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration de composé testé, et déterminer la CI50 (concentration inhibante 50% de l'activité) du composé (Parejo et al. 2002).

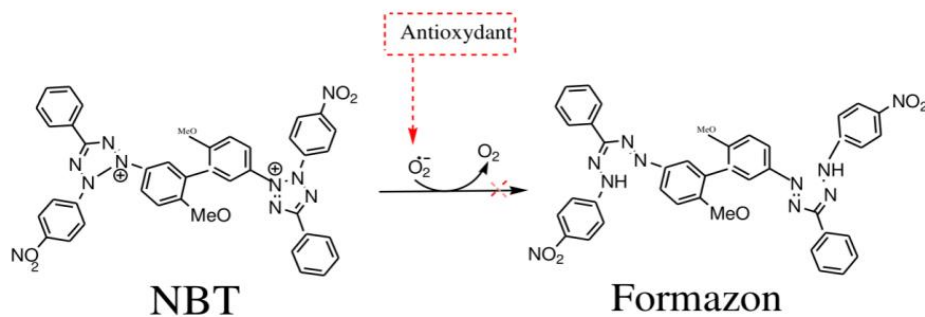


Figure 17 : piégeage du radical superoxyde (O_2^-) et formation du bleu de formazan.

PARTIE PRATIQUE

I. Matériel et méthodes

I. 1. Matériel

- **Appareillage:**

- Balance de précision.
- Balance
- Micropipette .
- Plaque magnétique agitateur
- Spectrophotomètre
- Vortex

- **Réactifs utilisés :**

- DPPH (2,2 – DIPHENYL –1- picrylhydrazyl) : $C_{18} H_{12} N_5 O_6$, $M = 394,32$ g/mol
- Ethanol ($C_2 H_5 OH$) à 96% .
- Acide ascorbique ($M=176.13$)
- Huile de figue de Barbarie

- **Verrerie:**

- L'éprouvette
- Bécher
- Tube à essai
- Flacon teinté

- **Autre:**

- Spatule
- Cuve de spectrophotomètre

I. 2. Méthodes

L'huile de figue de barbarie est extraite des graines du fruit du cactus *Opuntia ficus-indica*. Elle est reconnue pour ses propriétés antioxydantes, qui peuvent contribuer à protéger contre les dommages oxydatifs provoqués par les radicaux libres. Dans ce mémoire, nous nous intéressons à l'évaluation de l'activité antioxydante de deux échantillons d'huile de figue de barbarie provenant de deux régions différentes, l'un de la Kabylie et l'autre de la région de Skikda. Pour cela, nous avons opté pour le *test in vitro* basé sur l'utilisation du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), une méthode couramment utilisée pour évaluer le potentiel antioxydant des composés naturels.

I. 2. 1. L'extraction d'huile de graines de figue de barbarie

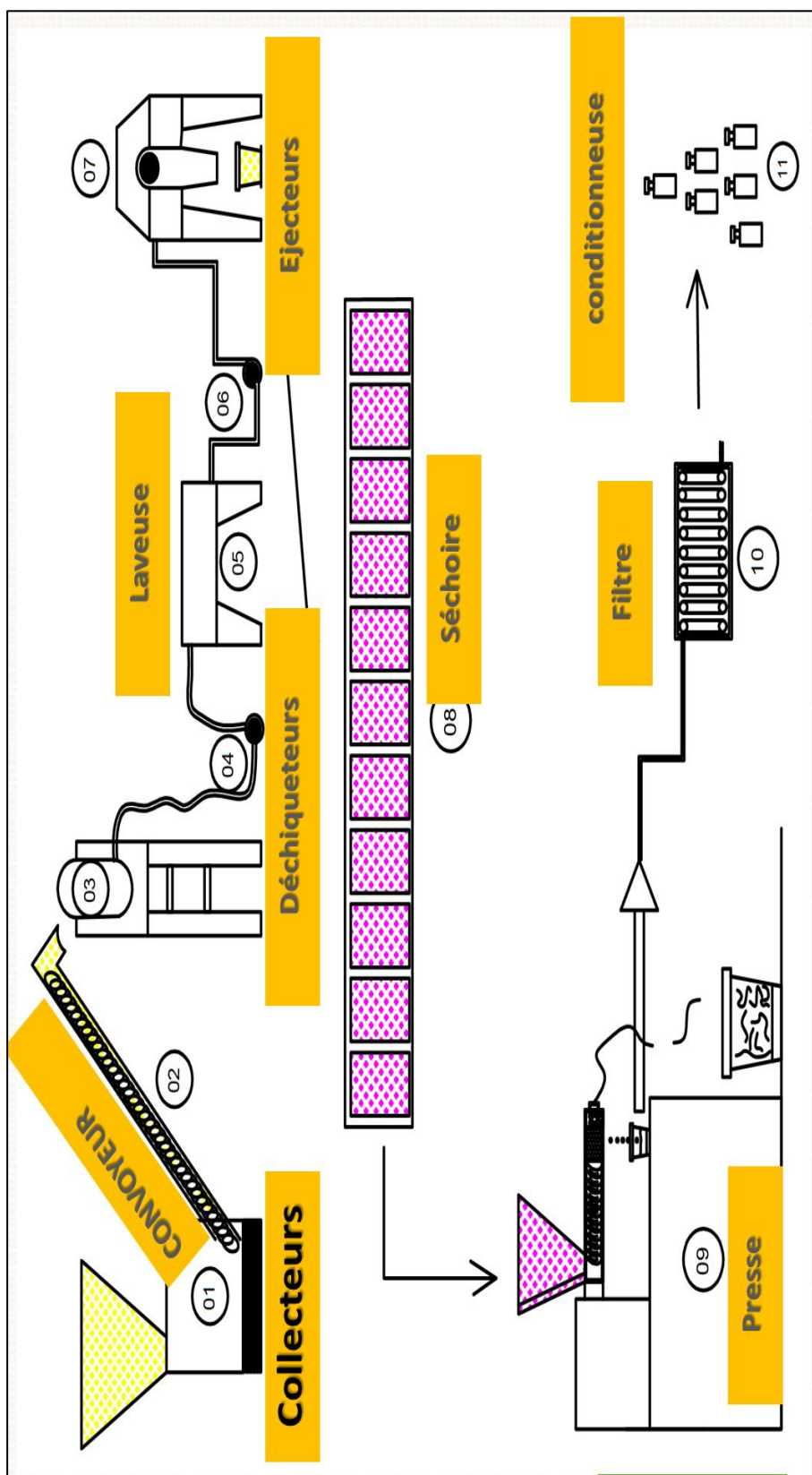
Les huiles de graines de figue de barbarie utilisées dans ce travail proviennent de l'unité pour l'extraction des huiles végétales OLEA-AGRO située sur les hauteurs du mont de la commune d'Agouni Gueghrane au sud de la wilaya de Tizi-Ouzou (figure 18). Les fruits sont récoltés dans différentes régions du pays puis ils sont acheminés dans des camionnettes légères vers l'unité d'extraction ; deux sites de récoltes sont maintenus et validés par l'unité d'extraction vu les critères de disponibilité de produits et de rendement : Pour le premier site c'est la région de la Kabylie, avec un rendement de 1 litre d'huile à partir de 25 kg de grains de fruits. Pour le deuxième site c'est la région de Skikda, avec un rendement de 1 litre d'huile à partir de 30 kg de grains de fruits.



Figure 18 : Huile de figue de barbarie

I. 2. 1. 1. Le procédé d'extraction d'huile

Cette partie se déroule en plusieurs étapes, dont certaines sont résumées dans la (figure 19):



| Legende | | | |
|---------|------------------------------------|----|----------------|
| N° | DESIGNATIONS | N° | DESIGNATIONS |
| 01 | Collecteurs de figues de barbaries | 07 | Ejecteurs |
| 02 | Convoyeurs | 08 | Sechoires |
| 03 | Dechecteurs | 09 | Presse a froid |
| 04 | Pompe N°01 | 10 | Filtre |
| 05 | Laveuse | 11 | Conditionneuse |
| 06 | Pompe N°02 | | |

Figure 20 : Le procédé d'extraction des huiles des graines de figue de Barbarie.

A. Obtention des graines

❖ Cueillette et transport

Le processus de fabrication de l'huile de graines de figue de barbarie commence par l'étape de la cueillette des fruits (figure 20). Il est très important de cueillir les fruits à la maturité, c'est pour cela que cette cueillette est saisonnière et se déroule entre le mois de juin et septembre dans les exploitations du pourtour méditerranéen et des hauts plateaux. Les fruits sont collectés à la main de façon traditionnelle avec une paire de gants et un couteau bien aiguisé ou à l'aide d'une canne ; en effet, il n'existe pas de méthode mécanisée fiable pour récolter les figues de barbarie : elles sont si fragiles qu'une simple égratignure va entraîner un pourrissement rapide du fruit. La collecte de la figue de barbarie est particulièrement difficile à cause de la présence d'épines sur son écorce et de la fragilité du fruit. Il faut beaucoup de délicatesse et de doigté pour la réussir.



Figure 20 : La cueillette.

Une fois collectés, les fruits sont soigneusement placés dans des caisses en plastiques de 25 kg suffisamment aérées pour éviter une altération prématurée (figure 21). En général, les installations d'extraction d'huile de figue de barbarie sont judicieusement placées à proximité des champs.



Manutention des Figues de Barbarie



Figure 21 : Manutention des figues de barbaries

Les fruits sont soigneusement lavés à l'eau claire, Ce premier lavage est crucial pour les débarrasser des débris, poussières et épines restés collés sur eux

Figure 22 : Le collecteur des figues de barbaries

Les figues de barbaries sont versées dans un convoyeur de forme conique dans sa base une vis sans fin qui sert à acheminer les figues vers le broyeur

Figure 23 : Le broyeur des figues de barbaries.

Sous l'action mécanique d'une hélice à lame bien aiguisée, le broyeur déchiquette et broie les fruits, et les transforme en pâte juteuse, qui sera acheminée à l'aide d'une première pompe vers le séparateur des graines



Figure 24: Le séparateur

Sous l'action d'eau, les graines sont séparées de la pâte tamisée, il est à noter que cette dernière est utilisée pour la fabrication de confiture de figue de barbarie, le jus sera utilisé pour la fabrication du vinaigre



Figure 25 : Le collecteur des figues de barbaries

Une deuxième pompe, sert à récupérer les graines et les transférer vers l'éjecteur, qui permet de se débarrasser de l'excès d'eau grâce à la force centrifuge, les graines sont ainsi récupérées dans des seaux pour la prochaine étape



Figure 26 : Presse à froid

Le pressage des pépins est l'étape cruciale de la production de l'huile de figue de barbarie. C'est un processus lent et très délicat qui dure habituellement de 8 à 10 heures pour obtenir un litre d'huile



Figure 27 : Le filtre à l'huile de figue de barbarie

Grâce à une pompe, l'huile de graines est récupérée puis injectée dans un filtre sous pression afin de filtrer tous les déchets et de récupérer l'huile de très haute qualité



Figure 28 : la Conditionneuse d'huile

L'élixir est conditionné dans des flacons en verre ambré (opaque) pour éviter l'altération causée par les rayons ultraviolet et prolonger sa durée de vie



Figure 29: Produit finale

I.2.2. Évaluation de l'activité antioxydante de l'huile de figue de barbarie

I.2.2.1. Test de pouvoir de piégeage du radical libre DPPH

Le pouvoir anti radicalaire d'une substance peut être évalué à l'aide d'une méthode colorimétrique qui utilise des radicaux de substitution. Cette méthode utilise le DPPH° (2,2-diphényl-2-picrylhydrazyle) qui est un radical libre, coloré, stable facile à doser et capable d'arracher les atomes hydrogène labile des groupements OH. En effet, à température ambiante et en solution, ce radical se caractérise par une coloration violette intense avec maximum d'absorbance à 517 nm.

En présence d'antioxydants, le DPPH libre est réduit (figure 30). Cette réduction se traduit par passage de la couleur violette de la solution à la couleur jaune ce qui conduit à la diminution de l'absorbance de radical libre à 517 nm (Ramadan, 2010).

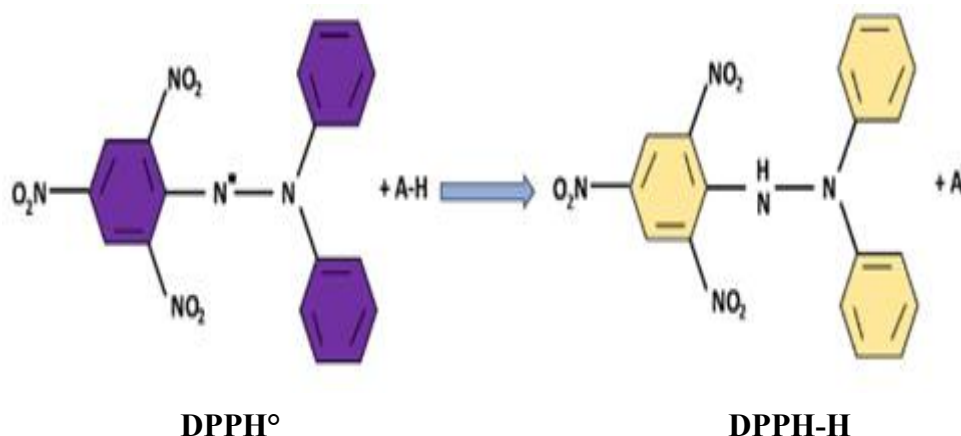


Figure 30 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH (Ramadan, 2010).

I.2.2.1.1. Mode opératoire

Afin d'évaluer l'activité anti-radicalaire de l'huile de figue de barbarie provenant de deux régions différentes, nous avons évalué leurs réactivités envers le radical libre *in vitro* en mesurant de la capacité de l'huile à piéger le radical libre DPPH. Cette évaluation a été réalisée en mesurant la diminution de l'intensité de la couleur violette d'une solution éthanolique contenant le radical DPPH, à une longueur d'onde de 517 nm.

La détermination de l'activité antioxydante par le test de DPPH a été effectuée en suivant une méthode légèrement modifiée décrite par Lopes-Lutz et *al.*, (2008). Pour cela, nous avons préparé une solution éthanolique de DPPH[•] en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 ml d'éthanol, ce qui nous a donné une concentration de DPPH de 0,004%. Ensuite, nous avons préparé 6 dilutions à différentes concentrations d'huile en utilisant une plage allant de 0,1 à 1 mg/ml. Pour déterminer les volumes à utiliser, nous avons considéré que la concentration initiale de l'huile était équivalente à son poids (100 µl équivalent à 0,09 g ce qui correspond à une concentration de 0.9 g/ml). Par la suite, chaque solution à tester a ensuite été mélangée avec 1,3 ml de solution de DPPH (0,004%).

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé l'acide ascorbique (vitamine C) comme référence. Nous avons préparé les dilutions de la vitamine C en suivant le protocole décrit par Nikhat et *al.*, (2009). Le processus de préparation des dilutions était le suivant :

Tout d'abord, nous avons pesé avec précision 1 mg de vitamine C (M. 176.13 ; 99,7%) à l'aide d'une balance analytique. Ensuite, nous avons transféré cette quantité pesée dans un flacon teinté contenant 10 ml d'éthanol, formant ainsi la solution A à une concentration de 0.1 mg/ml.

Pour les différentes dilutions, nous avons procédé comme indiqué dans le tableau (VIII) suivant :

Tableau VIII. Les différentes dilutions de la vitamine C et des volumes utilisés.

| | Tubes | | | | | | |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Concentrations (µg/ml) | 0 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Vitamine C (µL) | 0 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Ethanol (µL) | 100 | 90 | 80 | 60 | 40 | 20 | 0 |
| DPPH (µL) | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Vol Total (µL) | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |

Enfin, nous avons soigneusement homogénéisé les mélanges, puis nous les avons incubés à température ambiante, dans l'obscurité. Par la suite, nous avons mesuré l'absorbance à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre à différents moments : après 30 minutes, 1,5 heures, 3 heures et 20 heures.

I.2.3. Les paramètres à déterminer

I.2.3.1. Rendements des extractions

Les rendements d'extraction des deux huiles de figue de Barbarie par pression à froid sont calculés selon la formule suivante :

$$\text{Rdt (\%)} = (\text{M}_{\text{extrait}} / \text{M}_{\text{échantillon}}) \times 100$$

Avec :

- ♦ $\text{M}_{\text{extrait}}$: Représente la masse totale de l'extrait d'huile (en kg);
- ♦ $\text{M}_{\text{échantillon}}$: Correspond à la masse des graines de figue de Barbarie utilisées dans le processus d'extraction (en kg).

I.2.3.2. Détermination du pourcentage d'inhibition

L'activité antioxydante liée à l'effet de piégeage du radical DPPH' est exprimée en pourcentage d'inhibition (PI) en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ d'Inhibition (PI)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

- A_0 : Absorbance du blanc (DPPH dans le éthanol);

- A_1 : Absorbance de l'échantillon.

Tous les essais ont été effectués en triplicata afin de vérifier la reproductibilité

I.2.3.3. Détermination de l'IC50

Les résultats des différents tests sont rapportés en calculant les valeurs de l'IC50 ($\mu\text{g/ml}$), qui est défini comme la concentration d'antioxydant requise pour réduire la concentration initiale de DPPH de 50%.

I.2.3.4. Étude la cinétique de la réaction

Pour évaluer l'activité antioxydante de l'huile, nous avons réalisé une étude de la cinétique de réduction du radical DPPH. L'objectif de cette étude était de comprendre la vitesse et la dynamique de la réaction entre l'huile et le radical DPPH.

I.2.3.5. Détermination du paramètre d'efficacité anti-radicalaire (EA)

On utilisant les deux facteurs IC₅₀ et TEC₅₀ pour calculer l'efficacité anti radicalaire en utilisant la formule suivante :

$$EA = TEC_{50} / IC_{50}$$

I.2.3.6. Analyses statistiques

Toutes les données sur les tests d'activité antioxydante étaient les moyennes des analyses en triple. Le calcul des moyennes et des écarts types sont réalisés à partir des résultats de trois ssais avec Microsoft Excel 2013.

Les données ont été enregistrées en tant que moyennes \pm erreur. Les différences significatives entre les moyennes sont déterminées par le test ANOVA, pour les comparaisons multiples et la détermination des taux de signification. Les valeurs de $p \leq 0.05$ sont considérées significatives.

Résultats
&
Discussion

II. Résultats et Discussion

II.1. Les rendements d'extractions

Les rendements d'extraction par pression à froid ont été calculés et les résultats ont été représentés sous forme d'histogramme (figure 31).

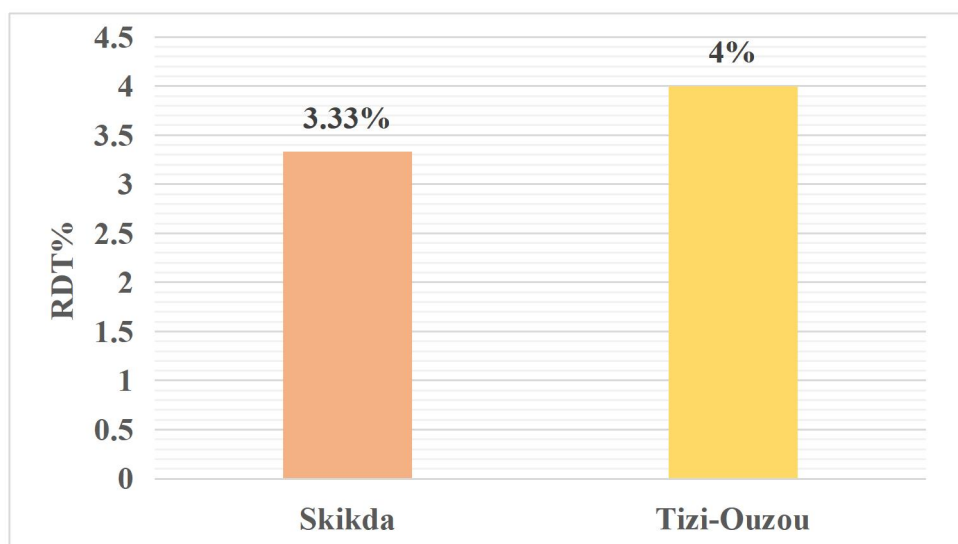


Figure 31 : Histogramme comparatif des rendements de l'huile de figue de barbarie dans deux régions.

L'analyse des résultats révèle une légère différence de rendement entre l'huile de figue de barbarie de la région de Tizi Ouzou et celle de la région de Skikda, avec un rendement de 4% pour Tizi Ouzou et de 3.33% pour Skikda. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Regalado-Rentería et *al.* (2018) sur l'huile mexicaine, où des taux de rendement allant de 0.5% à 6.1% ont été enregistrés en utilisant la méthode de pression à froid.

Cette légère différence de rendement peut être attribuée à plusieurs facteurs potentiels, tels que la qualité variable des graines de figue de barbarie dans chaque région, les conditions de croissance spécifiques des figuiers de barbarie, ainsi que les pratiques de récolte et de traitement distinctes utilisées dans chaque région. Ces facteurs peuvent influencer la teneur en huile des graines et, par conséquent, le rendement d'extraction.

Les résultats suggèrent également que la méthode d'extraction par pression à froid présente un rendement relativement faible pour obtenir cette huile, comparée à d'autres méthodes telles que l'extraction par solvant où des rendements allant de 6.2% à 15.5% ont été rapportés (Rentería et *al.*, 2018). Ce rendement relativement faible peut contribuer au coût élevé de cette huile précieuse, qui est d'environ 3500 DA pour 10 ml. Cette valeur élevée peut être attribuée à la quantité limitée d'huile obtenue par rapport à la quantité de matière première utilisée, ainsi qu'aux coûts de production associés.

II.2. Évaluation de l'activité antioxydante

II.2.1. La lecture des résultats

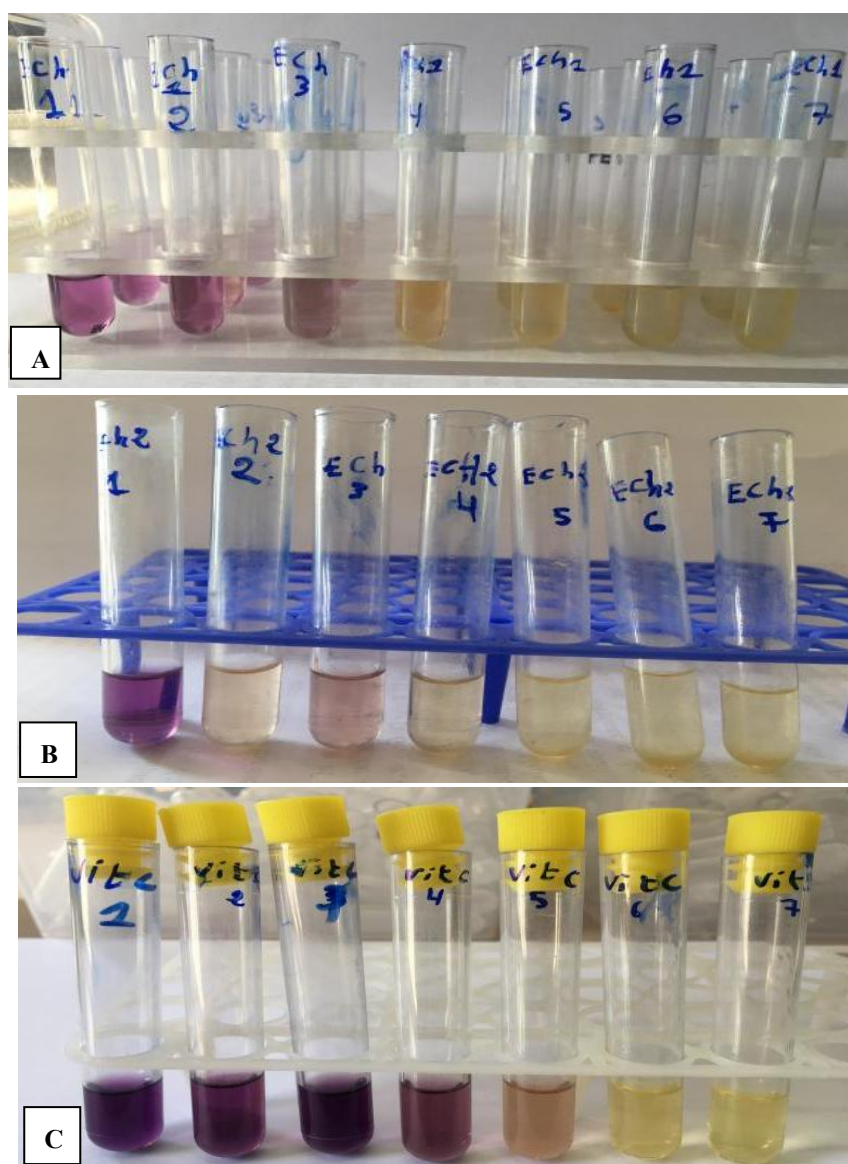


Figure 32 : Résultats du test DPPH avec l'huile de figue de barbarie de Tizi-Ouzou (A), l'huile de figue de barbarie de Skikda (B) et l'acide ascorbique (C).

II.2.2. Cinétique de la Réaction

La cinétique de réduction du radical libre DPPH obtenue est indiquée pour chaque concentration d'acide ascorbique sur la figure 33 de plus, les figures 34 et 35 présentent respectivement les cinétiques de l'huile de la région de Tizi ousou et l'huile de la région de Skikda.

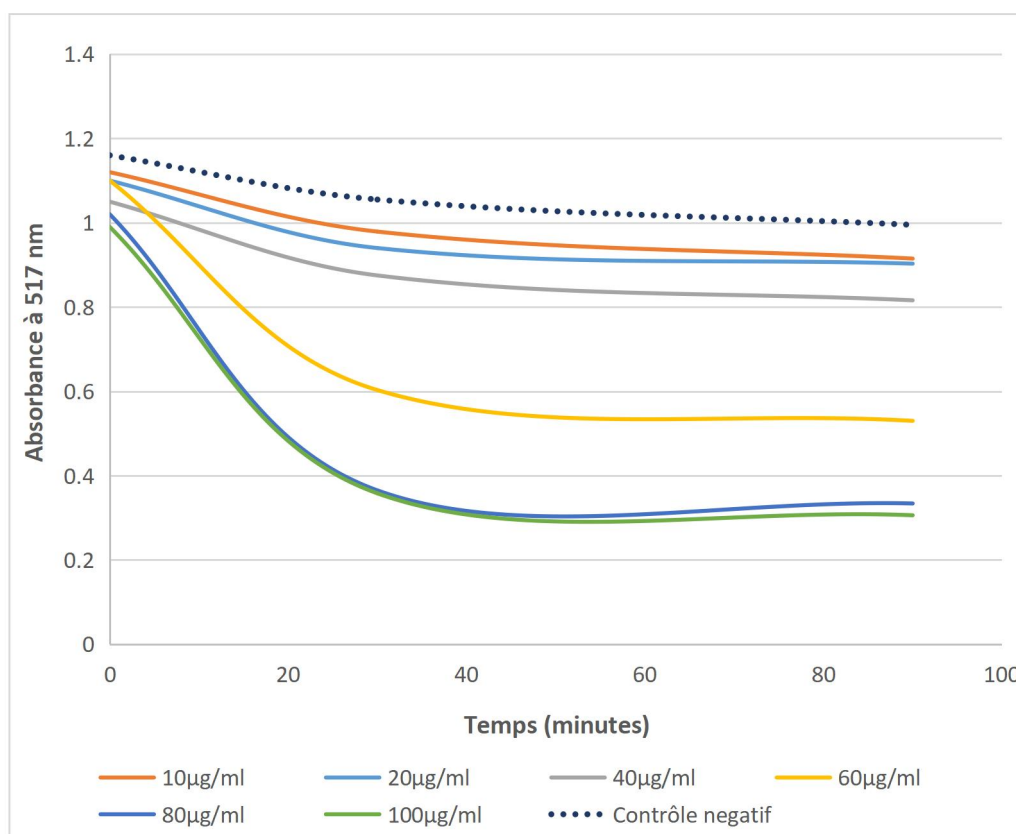


Figure 33 : Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec l'acide ascorbique.

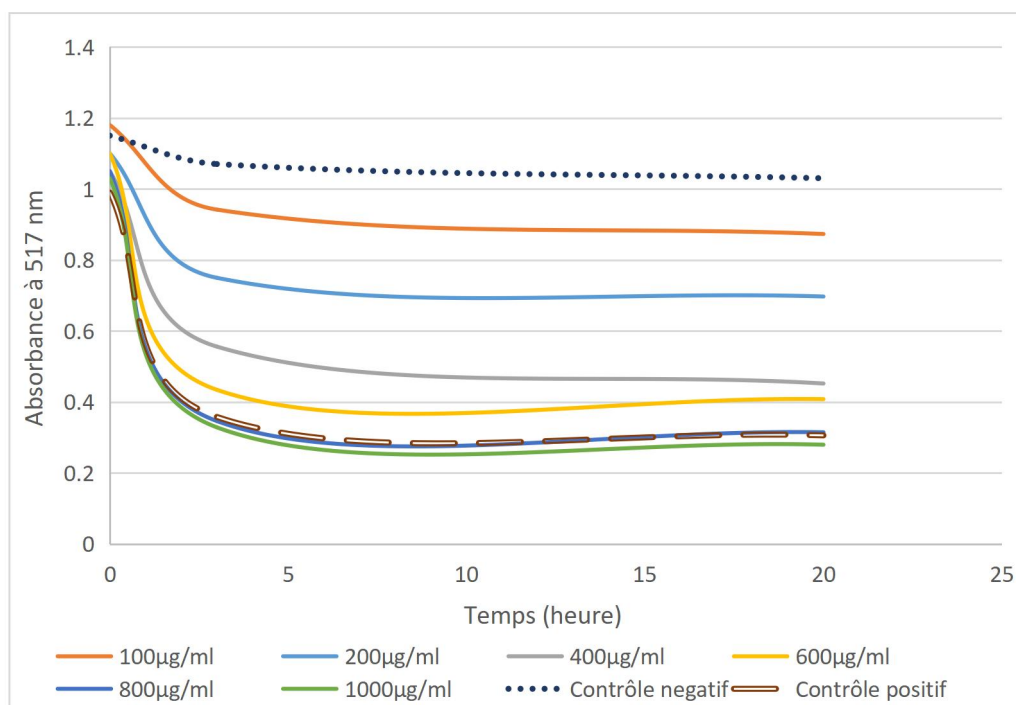


Figure 34 : Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec l’huile de figue de barbarie (région de Tizi Ouzou).

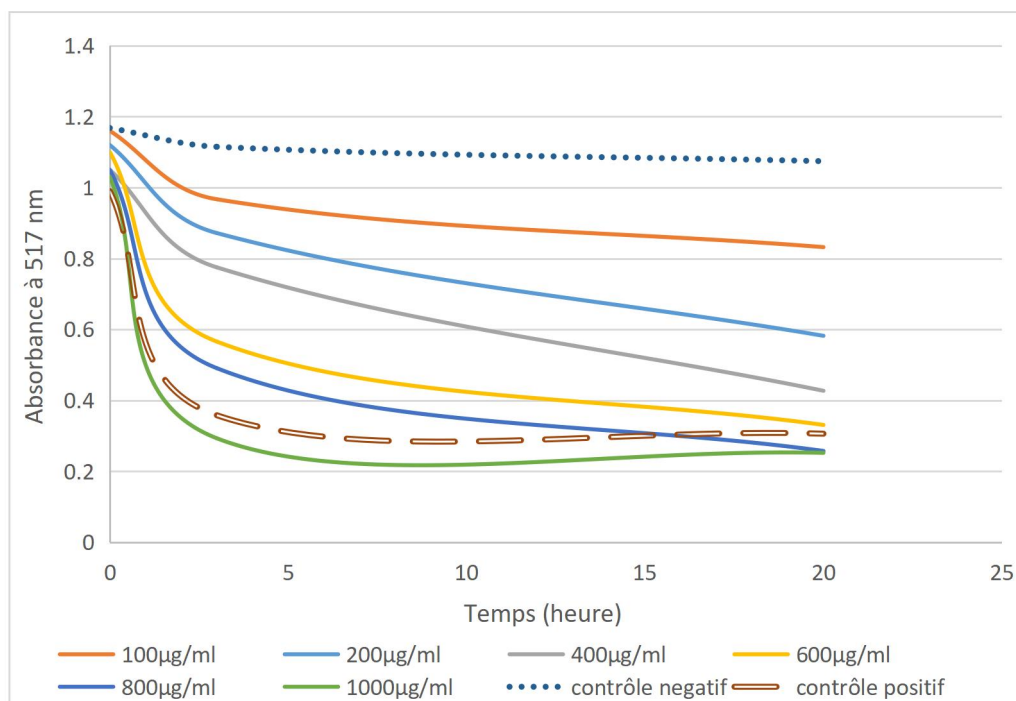


Figure 35 : Cinétique de réduction du DPPH obtenue avec l’huile de figue de barbarie (région de Skikda).

Pour les échantillons examinés (acide ascorbique et deux échantillons d'huile), la réaction est biphasée, avec une baisse rapide de l'absorbance dans les premières minutes pour l'acide ascorbique et dans les premières heures pour les échantillons d'huile de figue de barbarie, suivie d'une étape plus lente jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint (figure 33,34 et 35). Ainsi, on peut distinguer deux zones distinctes :

- Une zone à forte cinétique de piégeage du radical est observée au bout des 30 premières minutes pour l'acide ascorbique, pour toutes les concentrations utilisées. Tandis que, pour les deux échantillons d'huile (région de Tizi-Ouzou et région de Skikda), cette zone à forte cinétique de piégeage est observée au bout des trois premières heures
- Une zone à faible cinétique de piégeage du radical DPPH, ou une zone de tendance vers un équilibre constant, est observée après les 30 minutes pour l'acide ascorbique pour toutes les concentrations, à l'exception de la concentration 400 µg/ml. Pour l'huile de la région de Tizi-Ouzou et l'huile de la région de Skikda, cette zone à faible cinétique est observée après les trois heures pour toutes les concentrations, à l'exception des concentrations de 400, 600 et 800 µg/ml pour l'huile de l'Est, ainsi que la concentration de 400 µg/ml pour l'huile de Tizi-Ouzou.

Ces résultats indiquent une réaction biphasée, caractérisée par une diminution rapide de l'absorbance dans les premières heures, suivie d'une étape plus lente jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Cette observation suggère la présence de deux mécanismes de réduction distincts ou de deux réactifs réagissant à des vitesses différentes.

La réaction entre le DPPH et la vitamine C (acide ascorbique) en tant que donneuse d'hydrogène atteint rapidement un équilibre par rapport aux échantillons d'huile. Cela suggère que l'activité antioxydante dépend de la mobilité de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle des composés phénoliques présents dans l'huile de figue de barbarie (26,5 mg GAEq/g) (Khémiri et *al.*, 2019), ainsi que de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle (-OH) de la vitamine C pour neutraliser efficacement le radical libre.

Lorsque le radical libre DPPH· est exposé à la vitamine C ou à l'huile, l'atome d'hydrogène est transféré au radical, transformant ainsi le DPPH· en une molécule DPPH stable. Cette réaction provoque une diminution de la concentration du radical libre et de l'absorbance au cours du temps de réaction, jusqu'à ce que la capacité des composés phénoliques ou de la vitamine C en tant qu'antioxydants donneurs d'hydrogène soit épuisée (Villano et al., 2007).

II.2.3. Détermination du pourcentage d'inhibition

La détermination du pourcentage d'inhibition a été effectuée en mesurant l'absorbance à l'aide d'une spectrophotométrie à 517 nm. À partir des résultats obtenus, nous avons calculé les pourcentages d'inhibition pour chaque concentration. Les valeurs obtenues ont ensuite été utilisées pour tracer les courbes représentant la variation du pourcentage d'inhibition (%) en fonction des concentrations (µg/ml). Ces courbes ont permis d'analyser les effets de différentes concentrations sur l'inhibition de la réaction (figure 36, 37 et 38).

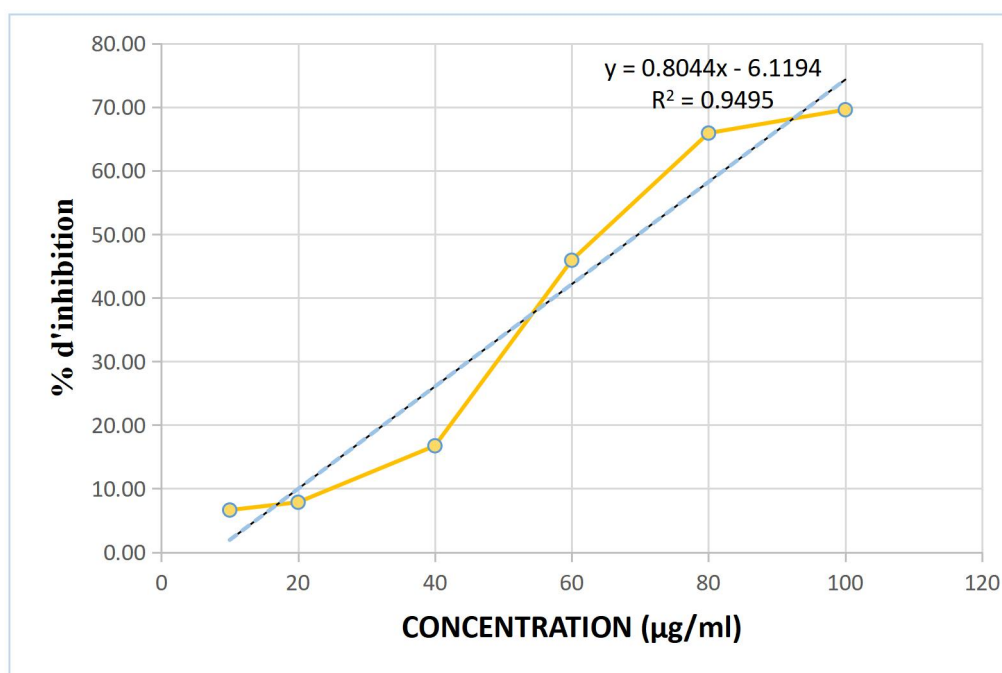


Figure 36 : Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'acide ascorbique.

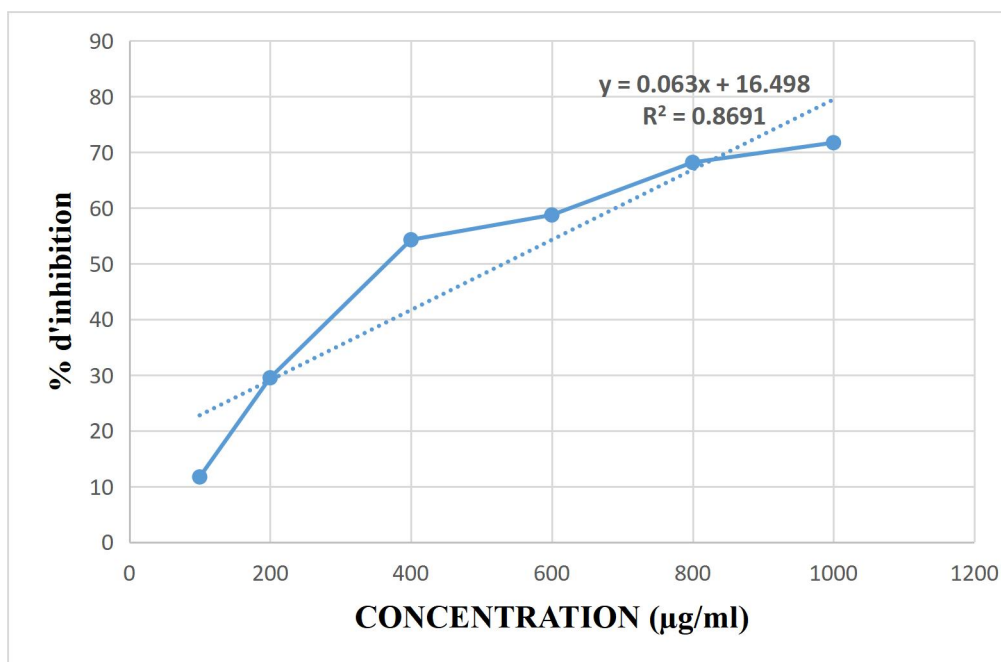


Figure 37 : Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'huile de figue de barbarie (région de Tizi ousou)

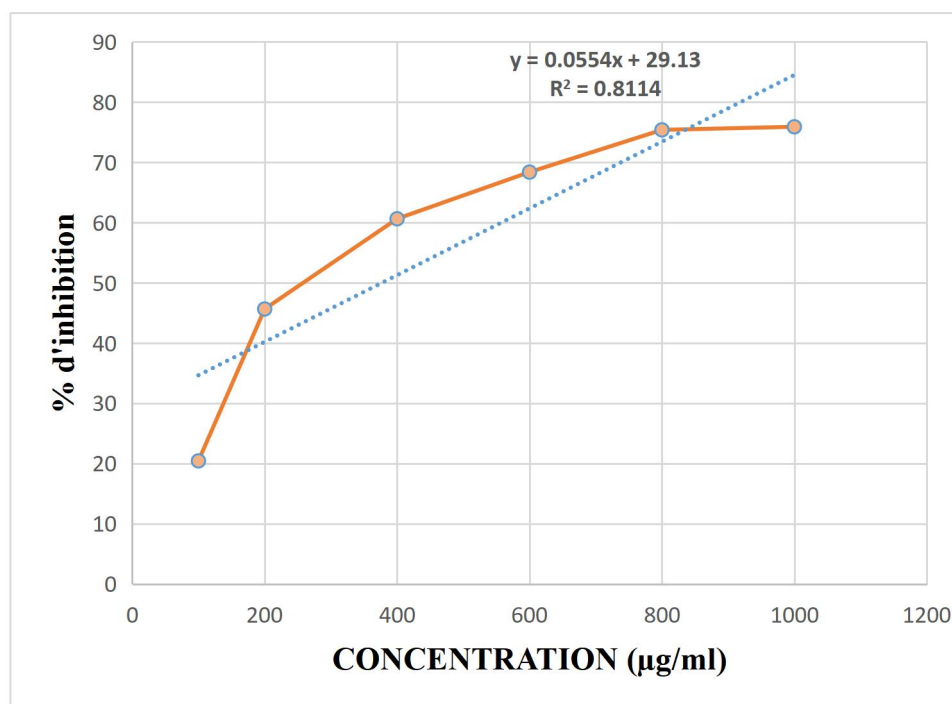


Figure 38 : Le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'huile de figue de barbarie (région de Skikda).

Les résultats obtenus pour le pouvoir anti radicalaire à différentes concentrations d'huile (provenant de la région de Tizi-Ouzou et de Skikda) ainsi que pour l'acide ascorbique ont montré une augmentation significative du pourcentage d'inhibition avec l'augmentation de la concentration.

À une concentration de 100 µg/ml, l'acide ascorbique a présenté un pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH de 69,59%. Cependant, l'échantillon d'huile de la région de Skikda a montré le pourcentage le plus élevé avec une inhibition des radicaux libres de 76,54% à une concentration de 1000 µg/ml. En comparaison, l'échantillon d'huile de la région de Tizi-Ouzou a obtenu un pourcentage d'inhibition d'environ 71,72% à la même concentration. En comparant ces résultats à ceux de Khémiri et ses collaborateurs (2019), qui ont rapporté une activité de piégeage de radicaux libres de 88,410% pour l'huile extraite par pressage à froid, nos résultats sont légèrement inférieurs.

Les différences de pourcentage d'inhibition pourraient être attribuées à des variations dans la concentration des composés chimiques présents dans l'huile tels que les acides gras, les composés phénoliques et les tocophérols (vitamine E). Ces composés sont connus pour leur activité antioxydante, ce qui renforce les propriétés protectrices contre les radicaux libres (Villano et *al.*, 2007). Plus spécifiquement, les tocophérols sont des antioxydants naturels très actifs, et leur principale fonction biochimique est de protéger les acides gras polyinsaturés contre la peroxydation (Chaalal et *al.*, 2012). De plus, ces variations de pourcentage d'inhibition peuvent également être influencées par les conditions de croissance des figes de barbarie dans différentes régions. Des facteurs tels que le climat, le sol et d'autres conditions environnementales peuvent affecter la composition chimique de l'huile, ce qui à son tour peut avoir un impact sur son activité antiradicalaire (Villano et *al.*, 2007). Ces résultats démontrent que l'huile de fige de barbarie pourrait constituer une source prometteuse d'antioxydants naturels.

II.2.4. Détermination d'IC₅₀

L'IC₅₀ est inversement proportionnel à la capacité antioxydante d'un composé, car il exprime la quantité d'antioxydant requise pour réduire la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur de l'IC₅₀ est petite, plus l'activité antioxydante d'un composé est élevée. Les valeurs d'IC₅₀ des deux échantillons d'huiles et de l'acide ascorbique sont représentées dans la figure suivante :

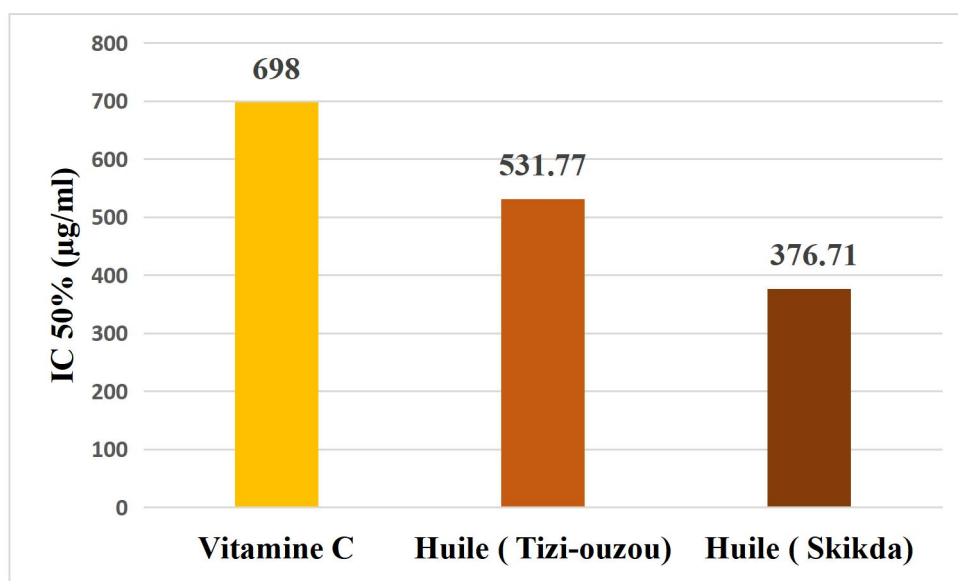


Figure 39 : Valeurs d'IC₅₀ du test DPPH en µg/ml

Les résultats des valeurs de IC₅₀ révèlent que la molécule de référence, l'acide ascorbique, présente la plus faible activité antiradicalaire (IC₅₀ = 698 ± 0.0 µg/ml), comparée à l'échantillon d'huile de la région de Tizi-Ouzou (IC₅₀ = 531.77 ± 0.0405 µg/ml) et à l'échantillon d'huile de la région de Skikda (IC₅₀ = 376.71 ± 0.0033 µg/ml). Ainsi, l'huile de la région de l'Est présente la meilleure activité anti-radicalaire, tandis que l'huile de la région de Tizi-Ouzou démontre une activité antiradicalaire significative, supérieure à celle de l'acide ascorbique, bien qu'elle soit inférieure à celle de l'huile de la région de Skikda.

II.2.5. Détermination Du TEC50

Pour déterminer le TEC50 (Temps d'équilibre à 50%), nous avons choisi l'état d'équilibre comme période de mesure. Nous avons observé que l'acide ascorbique réagit plus rapidement avec le radical libre DPPH, avec un TEC50 de 30 ± 6.72 minutes. En revanche, les échantillons d'huile de graines de figue de barbarie, notamment ceux de la région de Tizi-Ouzou et de Skikda, ont montré des temps d'équilibre plus longs, avec un TEC50 de 900 ± 183.6 minutes pour l'huile de Tizi-Ouzou et de 930 ± 205.2 minutes pour l'huile de Skikda.

Ces résultats indiquent que l'acide ascorbique réagit de manière plus rapide avec le radical libre DPPH par rapport aux échantillons d'huile de graines de figue de barbarie, qui nécessitent un temps plus long pour réduire la concentration du radical libre de 50%.

Cette différence de temps d'équilibre (TEC50) peut être attribuée à plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'acide ascorbique possède une structure chimique réactive, notamment un groupe hydroxyle (-OH), qui lui permet de donner facilement un atome d'hydrogène (H) au radical DPPH (Villano et *al.*, 2007). En revanche, les échantillons d'huile de figue de barbarie contiennent divers composés chimiques, tels que des composés phénoliques et de la vitamine E (tocophérols), qui contribuent à leur activité antioxydante (Laib et *al.*, 2011). Ces composés peuvent présenter des cinétiques de réaction différentes avec le radical DPPH par rapport à l'acide ascorbique, ce qui explique le temps plus long nécessaire pour atteindre l'état d'équilibre (Villano et *al.*, 2007).

II.2.6. Paramètre d'efficacité Anti-radicalaire

L'efficacité anti radicalaire, qui combine les deux paramètres (IC50 et TEC50), a été définie pour caractériser facilement le comportement d'une substance en tant qu'antioxydant. Les paramètres de calcul de l'activité antioxydante sont résumés dans le Tableau (IX).

Tableau IX. Résultats du calcul de l'activité antioxydante

| | IC50 (ug/ml) | TEC 50 (minutes) | EA (ml/ug.min) |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|----------------|
| Acide ascorbique | 698 | 30 ± 6.72 | 0.0429 ± 0.021 |
| Huile (région de Skikda) | 376.71± 0.0033 | 930 ±205.2 | 2.4686 ± 0.544 |
| Huile (région de Tizi-ouzou) | 531.77 ± 0.0405 | 900 ± 183.6 | 1.6931 ± 0.345 |

D'après ces résultats, il est démontré que l'huile de figue de barbarie de la région de Skikda présente une activité antioxydante plus élevée que celle de l'acide ascorbique, avec une valeur d'EA de 2.4686 ± 0.544 ml/μg.min, comparée à celle de l'acide ascorbique (0.0429 ± 0.021 ml/μg.min). Cela suggère que cette huile a une capacité plus importante à neutraliser les radicaux libres.

En revanche, l'huile de figue de barbarie de la région de Tizi-Ouzou présente également une activité antioxydante significative, avec une valeur d'EA de 1.6931 ± 0.345 ml/μg.min, supérieure à celle de

l'acide ascorbique. Bien que légèrement inférieure à celle de l'huile de la région de Skikda, cela indique que cette huile possède également une capacité notable à neutraliser les radicaux libres.

Conclusion

L'étude que nous avons réalisé a pour but d'évaluer de l'activité antioxydante de l'huile de figue de barbarie en utilisant le test de pouvoir de piégeage du radical libre DPPH. Les résultats ont montré que l'huile de la région de Skikda présente une activité antioxydante plus élevée que celle de l'acide ascorbique, avec une valeur d'EA de 2.4686 ± 0.544 ml/ μ g.min, indiquant sa capacité plus importante à neutraliser les radicaux libres. De même, l'huile de la région de Tizi-Ouzou possède une activité antioxydante significative, avec une valeur d'EA de 1.6931 ± 0.345 ml/ μ g.min, supérieure à celle de l'acide ascorbique, bien que légèrement inférieure à celle de l'huile de la région de Skikda.

Les résultats ont également révélé une réaction biphasée lors du test de DPPH, avec une diminution rapide de l'absorbance dans les premières heures, suivie d'une étape plus lente jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Cela suggère la présence de deux mécanismes de réduction distincts ou de deux réactifs réagissant à des vitesses différentes.

Les différences observées concernant l'activité antioxydante entre l'acide ascorbique et les deux échantillons d'huile de figue de barbarie peuvent être attribuées à la structure chimique réactive de l'acide ascorbique, ainsi qu'à la présence de différents composés chimiques dans les échantillons d'huile, tels que des composés phénoliques et de la vitamine E (tocophérols).

Les résultats de cette étude mettent en évidence le fort potentiel antioxydant de l'huile de figue de barbarie, en particulier celle de la région de Skikda. Ces huiles pourraient constituer une source prometteuse d'antioxydants naturels, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour leur utilisation dans l'industrie alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. D'autres études sont indispensables pour la compréhension des mécanismes d'actions de ces huiles, nous pouvons citer :

- La caractérisation complète des huiles en déterminants plusieurs paramètres tels que l'indice de peroxyde, le dosage des polyphénols totaux , des flavonoïdes, des caroténoïdes ...etc ;
- La quantification du pouvoir antioxydant en utilisant d'autres tests tels que le test d'ABTS;
- L'utilisation de la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) pour identifier et quantifier les composants spécifiques des huiles .

Ces informations vont nous permettre de valoriser davantage l'huile de figue de barbarie et d'explorer de nouvelles applications dans divers domaines.

*Références
bibliographiques*

A

Abdeldjalil M.C. (2016). Effets cicatrisants de produits à base d'huile de lentisque (*Pistacia lentiscus* L.) sur les brûlures expérimentales chez le rat. Thèse de doctorat : Sciences vétérinaires. Université des Frères Mentouri Constantine 1. Constantine, Algérie. 77p.

Al-Naqeb G., Fiori L., Ciolli M. and Aprea E. (2021). Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(16): 5018.

Apak R., Güçlü K., Özyürek M. and Karademir S.E. (2004). « Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method », *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, no 26, p. 7970- 7981.

Araba A., El Aich A., Sarti B., Belbahri L., Boubekraoui A., Ait Hammou A., Zemmouri A., and Sbaa A. (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Transfert de technologie en agriculture*, 1-4.

B

Bardaa S. Turki M. Ben Khedir S., Mzid M., Rebai T., Ayadi F. and Sahnoun Z. (2020). The Effect of Prickly Pear, Pumpkin, and Linseed Oils on Biological Mediators of Acute Inflammation and Oxidative Stress Markers. *BioMed research international*, 2020:1-11.

Becer E., Kabadayı H., Meriçli F., Meriçli A.H., Kıvançlı B. and Vatansever S. (2018). Apoptotic Effects of *Opuntia ficus indica* L. Seed Oils on Colon Adenocarcinoma Cell Lines. *Proceedings*, 2(25): 1566.

Belkheiri N. (2010). Dérivés phénoliques à activités antiathérogènes. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse III- Paul Sabatier, Toulouse, France.

Benaissa B. (2012). Conception et synthèse de dérivés phénolique hautement fonctionnalisés et étude de leurs propriétés biologique vis-à-vis des maladies cardiovasculaires (athérosclérose), Thèse pour l'obtention le grade de Doctorat de l'université de Toulouse, p15.

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.

Ben Salem M., & Sghaier-Hammami B. (2017). The Opuntia cactus: a review of its nutritional, antioxidant, and practical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2383-2391.

Berraaouan A., Abderrahim Z., Hassane M., Abdelkhaleq L., Mohammed A. and Mohamed B. (2015). Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(7): 532–537.

Berraaouan A., Ziyat A., Mekhfi H., Legssyer A., Sindic M., Aziz M. & Bnouham M. (2014). Evaluation of antidiabetic properties of cactus pear seed oil in rats. *Pharmaceutical Biology*, 52(10), 1286–1290.

Beta T., Nam S., Dexter J.E. et Sapirstein H.D. (2005). Phenolics Content and Antioxidant Activity of Pearled Wheat and Roller- Milled fractions. *Cereal Chemistry*, 82(4), 390-393.

Bhira O., (2012). Potentialités thérapeutiques d'*Opuntia ficus indica* au Maroc et en Tunisie. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Mohammed V-Rabat. Maroc.

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.

Boudjellaba S., Yassa A. (2012). Activité antioxydante des graines de quelques variétés de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) de la région de Béjaia. Mémoire de fin de cycle en Vue de l'Obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Contrôle de Qualité et Analyses. Université Abderrahmane Mira. Bejaia, Algérie.

Boukeloua A. Belkhiri A. Djerrou Z. Bahri L. Boulebda N. and Hamdi Pacha Y. (2012). Acute toxicity of *Opuntia ficus indica* and *Pistacia lentiscus* seed oils in mice. African journal of traditional, complementary, and alternative medicines : AJTCAM, 9(4): 607–611.

Brahmi F., Haddad S., Bouamara K., Yalaoui-Guellal D., Prost-Camus E., de Barros J.-P.P., Prost M., Atanasov A.G., Madani K., Boulekbache-Makhlouf L. and Lizard G. (2020). Comparison of chemical composition and biological activities of Algerian seed oils of *Pistacia lentiscus* L., *Opuntia ficus indica* (L.) mill. and *Argania spinosa* L. Skeels. Industrial Crops and Products, 151: 112456.

Butera D., Tesoriere L., Di Gaudio F., Bongiorno A., Allegra M., Pintaudi A. M., Kohen R., and Livrea M. A. (2002). Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. Journal of agricultural and food chemistry, 50, 6895-6901.

C

Chaalal M. Touati N. and Louaileche H. (2012). Extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of prickly pear seeds. Acta Botanica Gallica, 159(4): 467–475.

Chaaben H., Motri S., Ben Selma Z. and Khantouche L. (2015). Comparaison des Huiles des Graines du Laurier, de Pen d'Alep et de Figuier de Barbarie. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology .Volume 9, Issue 11 Ver. I (November). 30-33p.

Cardador-Martínez A., Jiménez-Martínez C. and Sandoval G. (2011). Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 31, 782-788.

Carocho M. and Ferreira I. C.F.R. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51, 15-25.

D

Do Tiên T.D. (2016). Évaluation des performances de la chromatographie sur couche mince haute performance (HPTLC) dans l'analyse (qualitative et quantitative) des métabolites secondaires dans les extraits naturels. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, Nice. France.

Dupic L., Huet O., Harrois A. et Duranteau J. (2010). Hypoxie et fonction mitochondriale. *Réanimation*, 19(5), 399-405.

E

El-Finti A.R., El Boullani R.F., El Ayadi N., Ait Aabd El Mousadik. A. (2012). Micropropagation in vitro of *Opuntia Ficus-Indica* in south of Morocco. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences IJCBS*. 6-10 p.

El Kossori R. L., Villaume C., El Boustani E., Sauvaire Y., and Méjean L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 52, 263-270.

El Mannoubi I., Barrek S., Skanji T., Casabianca H. and Zarrouk H. (2009). Characterization of *Opuntia ficus indica* seed oil from Tunisia. *Chemistry of Natural Compounds*, 45(5): 616– 620.

El Mannoubi I., Barrek S., Skanji T. and Zarrouk H. (2008). Étude de la composition de la fraction volatile des graines du figuier de barbarie (*Opuntia Ficus Indica*). *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 10, 61-67.

Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N. and Attia H. (2006). Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*, 97(12): 1382–1386.

F

Favier A. (2003). Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, 270, 108-115.

Favier A. (2006). « Stress oxydant et pathologies humaines », in *Annales pharmaceutiques françaises*, 2006, vol. 64, p. 390-396.

Felker P. & Mizrahi Y. (1993). The fig: Overview of an ancient fruit. In *Fruits of Warm Climates* (pp. 161-168).

Feugang J. M., Konarski P., Zou D., Stintzing F. C., and Zou C.(2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11, 2574-2589.

G

Gaspar dos Reis C.M. (2018). Characterization and evaluation of Portuguese *Opuntia* spp. Germplasm. Thesis presented to obtain the PhD degree in Biology. University of Évora.

Ginestra G., Parker M.L., Bennett R.N., Robertson J., Mandalari G., Narbad A., Waldron K.W. (2009). Anatomical chemical and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(21): 10323-10330.

Gramza A. and Korczak J. (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis* L.) as antioxidants in lipid systems. *Trends in food science & technology*, 16, 351-358.

Guillouty A. (2016). Plantes médicinales et antioxydants. Thèse de Doctorat. Université Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse, France.

Gulcin I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391.

H

Habibi Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique, Thèse soutenue en vue d'obtention du grade de Docteur de l'université Josef Fourier et l'université Cadi Ayyad.

Habibi Y., Heux L., Mahrouz M. and Vignon M. R. (2008). Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 72, 102-112.

Habibi Y., Mahrouz M. and Vignon M. R. (2005). Arabinan-rich polysaccharides isolated and characterized from the endosperm of the seed of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 60, 319-329.

Hadj Salem J. (2009). Extraction, identification, caractérisation des activités biologiques de flavonoïdes de *Nitraria retusa* et synthèse de dérivés acylés de ces molécules par voie enzymatique. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine, Nancy, France.

Haleng J., Pincemail J., Defraigne J. O., Charlier C. et Chapelle J.P. (2007). Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*, 62 (10), 628- 638.

Halliwell B. and Whiteman M. (2004). Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *British Journal of Pharmacology*, 142(2), 231-255.

Hellal Z. (2011). « Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des Citrus. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). », Thesis, Université Mouloud Mammeri.

Hunt D.R., (2000). Cactaceae. In: *Flora of Ethiopia and Eritrea*, Vol. 2, Part I. pp. 259-263. (Edwards, S., Mesfin Tadesse, Sebsebe Demissew and Hedberg, I. eds.). Addis Ababa University, Ethiopia.

I

Isaac A.A., (2016). Overview of cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) (L): a myriad of alternatives. *Journal of Ethno Medicine*, 10(2): 195-205.

K

Khémiri I., Essghaier Hédi B., Sadfi Zouaoui N., Ben Gdara N. and Bitri L. (2019). The Antimicrobial and Wound Healing Potential of *Opuntia ficus indica* L. inermis Extracted Oil from Tunisia. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2019:1-10 .

Khémiri I. and Bitri L. (2019). Effectiveness of *Opuntia ficus indica* L. inermis Seed Oil in the Protection and the Healing of Experimentally Induced Gastric Mucosa Ulcer. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019:1-17.

L

Labra M., Grassi F., Bardini M., Imazio S., Guiggi A., Citterio S., Banfi E., Sgorbati S., (2003). Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker. *Plant Sci.* 165, 1129 -1136.

Laib I., and Barkat M. (2011). Composition chimique et activité antioxydante de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis*. *Agriculture*, (2).

Lallouche B. (2008). Hybridation de l'*Opuntia ficus indica* Mill .F. inermis par quatre espèces d'*Opuntia* (*O. Robusta* var. *Robusta* ; *O. Engelmannii* var. *Languiformis* ; *O. ficus indica* Mill. F. *Amyclea* ; *O. Streptacantha* Lem.) dans les zones arides et semi-arides. Mémoire de Magister en Amélioration des productions végétales. Université Saad Dahleb de Blida, Algérie.

Liz R., Zanatta L., dos Reis G.O., Horst H., Pizzolatti M.G., Silva F.R.M.B. and Fröde T.S. (2012). Acute effect of β -sitosterol on calcium uptake mediates anti-inflammatory effect in murine activated neutrophils. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 65(1): 115–122.

Lee J. C., Kim H. R., Kim J. and Jang Y. S. (2002). Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, 6490-6496.

Leopoldini M., Russo N. et Toscano M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125(2), 288-306.

Le Houérou H. N.(1996). The role of cacti (*Opuntia* spp.) in the management of feeding animals under arid and semi-arid conditions. *Journal of Arid Environments*, 33(3), 327-350.

M

Maataoui B., Hmyene A. and Hilali S. (2006). Activites anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie. *Lebanese Science Journal*, 7, 3-8.

Mayouf N. (2019). Propriétés antioxydante, anti-inflammatoire et immunomodulatrice des extraits d'*Asphodelus microcarpus*. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie.

Mika A., Minibayeva F., Beckett R. and Lüthje S.(2004). Possible functions of extracellular peroxidases in stress-induced generation and detoxification of active oxygen species. *Phytochem. Rev.* 3 :173-193.

Mulas M. and Mulas G. (2004). Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and medium-term priority environmental action programme (SMAP). Université des études de Sassari; groupe de recherche sur la désertification, Italie. 112p.

N

Nazzaro F., Fratianni F., d'Acerno A., Caputo L., Feo V.D. and Coppola R. (2021). Antibiofilm Properties Exhibited by the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Seed Oil. International Electronic Conference on Microbiology. MDPI.

Neffar S.(2012). Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk- ahras et Tébessa. Thèse de doctorat : Biologie Végétale. Université Badji Mokhtar d'Annaba, Algérie. 20p.

Nitiéma -Y S., Son G., yé S. and Nébié R C. (2012). Optimisation des paramètres d'extraction à froid de l'huile d'azadirachta indica A.juss et effet sur quelques caractéristiques chimiques de l'huile extraite. *biotechnol.agron.soc.environ.* 16(4) :423-428.

O

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et le Centre International pour la Recherche Agricole dans les Zones Arides Rome, (2018). Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie. Université Nationale de Santiago del Estero, Argentine b Université de Palerme, Italie.

Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. and Anthony S., (2009). Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya.

P

Pastre J.O.C. (2005). « Intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. », Thèse de docteur vétérinaire., Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Parejo I., Viladomat F., Bastida J., Rosas-romero A., Flerlage N., Burillo J. and Codina C. (2002). Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *J Agric Food Chem.* 50: 6882–90.

Piga A. (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6, 9-22.

Pigeon S., Fortier C., Coderre F. et Drolet J.Y. (2012). Production d'huile végétale pure. BEIE.

Pincemail J. et Defraigne J. O. (2004). Les antioxydants : un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène.

R

Ramadan MF. (2010). Rapid antiradical method for screening deep fried oils . Journal of Consumer Protection and Food Safety, 5: 47-50.

Ramadan M.F. and Mörsel J.-T. (2003). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). Food Chemistry, 82(3): 339–345.

Ramírez-Moreno E., Cariño-Cortés R., Cruz-Cansino N. del S., Delgado-Olivares L., ArizaOrtega J.A., Montañez-Izquierdo V.Y., Hernández-Herrero M.M. and Filardo-Kerstupp T. (2017). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Cactus Pear (*Opuntia*) Seed Oils. Journal of Food Quality, 2017: 1–8.

Reyes-Aguero J.A., Aguirre J.R. and Valiente-Banuet A. (2006). Reproductive biology of *Opuntia*: A review. Journal of Arid Environments. 64, Pp 549-585.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Bio. Med. Vol (26), 1231–1237.

Rock E. (2003). Stress oxydant, micronutriments et sante. Université d'été de Nutrition Clermont-Ferrand, 37-42.

Russell C. and Felker P. (1987). The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): A Source of Human and Animal Food in Semiarid Regions. Economic Botany, 41, 433-445.

S

Schweizer M. (1997). "Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu," Aloe Plantes et Beauté.

Stahl W. and Sies H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 345-351.

Stintzing F. C. and Carle R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition & food research*, 49, 175-194.

T

Taoufik F., Zine S., El Hadek M., Idrissi Hassani L.M., Gharby S., Harhar H. and Matthäus B. (2015). Oil content and main constituents of cactus seed oils *Opuntia ficus indica* of different origin in Morocco. *Mediterr. J. Nutr. Metab.*, 8:85–92.

V

Vertuani S., Angusti A. and Manfredini S. (2004). The Antioxidants and Pro-Antioxidants Network: An Overview. *Current Pharmaceutical Design*, 10(14), 1677-1694.

Villano D., Fernandez-Pachon M.S., Moya M.L., Troncoso A.M. and Garcia-Parrilla M.C. (2007). "Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical". *Talanta* .71, p: 230–235.

W

Wallace R.S. and Gibson A.C., (2002). Cacti evolution and systematics. In: *Cacti, Biology and Uses*. Pp.1-21 (Nobel, P.S. ed.). University of California Press, Berkeley, California, United States of America.

Wang L. et Weller C.L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.

Z

Zbadi R., Mohti H. et Moussaoui F. (2018). Stress oxydatif : évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales. *Médecine translationnelle*, 24(2), 134-141.

Zhang H. et Tsao R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33-42.

Zhang C., Yu H., Shen Y., Ni X., Shen S. and Das U.N. (2015). Polyunsaturated fatty acids trigger apoptosis of colon cancer cells through a mitochondrial pathway. *Archives of medical science : AMS*, 11(5): 1081–1094.

Zirmi-Zembri N. and Kadi S.A. (2016). Guide for preparation of papers: Nutritive value of the main forage resources used in Algeria, the herbaceous natural fodders. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. Algérie, 6p.