

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN-TIARET

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité : Génétique Moléculaire et Amélioration Des Plantes

Présenté et soutenu publiquement par:

- DJEMLI Mohamed
- MAHRAZ Abdellah
- HAMADOUCHE Oukacha

Thème

Caractérisation Physico-chimique Biochimique et
Phytochimique des jeunes
Cladodes du Figuier de Barbarie "*Opuntia ficus indica*"

Soutenu le 04/07/2018

Jury:

| | | |
|-------------------|----------------------------------|-----|
| Président: | D ^r FETTOUHI Khaled | MCA |
| Examineur: | M. CHOUHIM Kada Mohamed El Amine | MAA |
| Promoteur: | M. MOUSSAOUI Badr Eddine | MAA |

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

Nous remercions ALLAH «الله» le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience afin d'accomplir ce modeste travail.

*Nous exprimons nos profonds remerciements et nos vives reconnaissances à **M. Moussaoui Badr Eddine** pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. La qualité de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il nous a accordé, nous ont permis de réaliser le présent travail dans les meilleures conditions.*

*Nos sincères remerciements au **M. Fettouhi Khaled** d'avoir accepté de présider le jury d'examen et de bien vouloir juger ce travail.*

*Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à **M. Chouhim Kada Mohamed El Amine** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*Nous témoignons toute notre gratitude pour **M. Adda Ahmed**, responsable du Master Génétique moléculaire et amélioration des plantes pour les conseils que nous a donné.*

Nous exprimons aussi notre reconnaissance à tous les techniciens des laboratoires de "Technologie Alimentaire", et "Physiologie végétale" pour leur gentillesse, leur aide et précieux conseils durant notre travail au laboratoire.

Un merci spécial pour nos camarades et amis qui ont participé de près ou de loin pour accomplir notre recherche.

Dédicace

Je dédie ce travail :

*A mes parents, qui avaient été tellement fiers de voir leurs espoirs
mis en moi*

A mes frères, et ma grande mère.

*Je tiens à témoigner mon respect et ma reconnaissance A tous mes
amies et collègues.*

Djemli Mohamed



Dédicace

Avant tous, mes profonds remerciements vont à «ALLAH » qui m'a aidé et ma donnée le courage et la patience pour effectuer ce travail.

Je dédie ce modeste travail à

A mes très chers parents qui ont été toujours à mes côtés pour leur générosité et leurs sacrifices.

Merci beaucoup et je vous aime beaucoup

A mes chères frères et sœurs

A mes collègues oukacha et mohamede

A tous mes amis(es) sans exception surtout : Hichem, Ali ,Hamza, Amine,dahman, oussama, imad,yacine,yocef,nouredin.

A tous mes collègues d'études surtout de la promotion de master génétique moléculaire et amélioration des plantes (2017-2018).

MAHRAZ ABDELLAH

Dédicace

Avant tous, mes profonds remerciements vont à «ALLAH » qui m'a aidé et ma donnée le courage et la patience pour effectuer ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents

A tous mes frères et mes sœurs

A tous la famille

A tous mes amis sans exception

A tous les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leur aide

HAMADOUCHE OUKACHA

Table Des Matières

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Liste des abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction générale..... | 1 |

Chapitre I : Etude bibliographique

| | |
|---|----|
| I. Généralités sur l'<i>Opuntia ficus indica</i> | 3 |
| I.1. Définition, taxonomie et étymologie | 3 |
| I.2. Distribution | 4 |
| I.3. Description morphologique | 5 |
| I.3.1. La racine | 5 |
| I.3.2. La tige | 5 |
| I.3.3. La fleur | 6 |
| I.3.4. Le fruit | 6 |
| I.3.5. Les graines | 6 |
| I.4. Culture | 6 |
| I.5. Reproduction et Technique de multiplication | 8 |
| I.6. Physiologie | 8 |
| I.7. Importance | 9 |
| I.7.1. Utilisation alimentaire et technologique | 9 |
| I.7.2. Vertus cosmétiques et pharmaceutiques | 9 |
| II. Les parties utilisées ; les cladodes | 11 |
| II.1. approche structurale | 11 |
| II.2. Composition chimique | 12 |
| II.3. Applications | 13 |
| II.3.1. Applications pharmaceutiques | 13 |
| II.3.2. Applications cosmétiques | 13 |
| III. Les métabolites secondaires | 14 |
| III.1. Généralités | 14 |
| III.2. Classification | 14 |
| III.2.1. Les polyphénols | 14 |
| III.2.1.1. Composés polyphénoliques non flavonoïdiques | 15 |
| III.2.1.1.A) Les acides phénoliques | 15 |
| III.2.1.1.B) Les stilbènes | 16 |
| III.2.1.1.C) Les lignanes | 16 |
| III.2.1.1.D) Les coumarines | 16 |
| III.2.1.1.E) Les xanthones | 18 |
| III.2.1.2. Composés polyphénoliques flavonoïdiques (Flavonoïdes) | 18 |
| III.2.1.2.A) Les isoflavones | 20 |
| III.2.1.2.B) Les flavanones | 20 |
| III.2.1.2.C) Les Flavonols | 20 |

| | |
|---|-----------|
| III.2.1.2.D) Les flavones | 20 |
| III.2.1.2.E) Les anthocyanes | 20 |
| III.2.1.2.F) Les tanins | 21 |
| III.2.1.3. Biosynthèse des polyphénols | 23 |
| III.2.1.3.A) <i>La voie de Shikimate</i> | 23 |
| III.2.1.3.B) La voie de l'acétate malonate..... | 23 |
| III.2.1.4. Importance des polyphénols | 24 |
| III.2.1.4.A) Les propriétés biologiques des polyphénols | 24 |
| III.2.1.4.B) Applications industrielles..... | 24 |
| III.2.2. Terpénoïdes et stéroïdes | 25 |
| III.2.3. Alcaloïdes | 25 |

Chapitre II: Matériel et méthodes

| | |
|---|-----------|
| IV.1.Objectif | 26 |
| IV.2. Lieu et durée d'étude..... | 26 |
| IV.3.Matériel..... | 26 |
| IV.3.1.Matériel végétal | 26 |
| IV.3.2.Matériel du laboratoire | 27 |
| IV.4. Méthodes..... | 27 |
| IV.4.1. Protocole expérimental | 27 |
| IV.4.2. Préparations préliminaires | 27 |
| IV.4.3. Analyses physico-chimiques de base | 29 |
| IV.4.3.1. Humidité et matière sèche | 29 |
| IV.4.3.2.Teneur en cendre | 29 |
| IV.4.3.3. Le pH..... | 30 |
| IV.4.3.4. Acidité titrable..... | 30 |
| IV.4.3.5. Le taux des solides solubles | 30 |
| IV.4.3.6. la conductivité électrique..... | 31 |
| IV.4.4. Les Analyses biochimiques | 31 |
| IV.4.4.1. les sucres totaux | 31 |
| IV.4.4.2.Protéine..... | 32 |
| IV.4.4.3. Les lipides | 33 |
| IV.4.4.4. Les fibres brutes | 33 |
| IV.4.4.5. Les pectines | 34 |
| IV.4.4.6. La vitamine C | 34 |
| IV.4.4.7. Les pigments | 34 |
| IV.4.4.8. Les minéraux | 35 |
| IV.4.5. Caractérisation phyto-chimique..... | 35 |
| IV.4.5.1. Extraction des polyphénols | 35 |
| IV.4.5.2. Dosage des polyphénols | 36 |
| IV.4.5.2.A) Dosage des polyphénols totaux | 36 |
| IV.4.5.1.B) dosage des flavonoïdes | 36 |
| IV.4.5.1.C) Tanins condensés | 37 |
| IV.4.5.1.D) Tanins hydrosolubles | 37 |

Chapitre III: Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| V. La caractérisation des jeunes cladodes d'<i>OpuntiaFicus indica</i> | 38 |
| V.1. Les caractéristiques physico-chimiques de base | 38 |
| V.1.1. L'Humidité, la matière sèche et les cendres | 38 |
| V.1.2. Le pH et l'acidité titrable | 39 |
| V.1.3. Conductivité et solides solubles (degré brix)..... | 40 |
| V.2. Les caractéristiques biochimiques | 40 |
| V.2.1. Les sucres totaux | 40 |
| V.2.2. Les protéines totales | 41 |
| V.2.3. Lipides | 42 |
| V.2.4. Fibres brutes (cellulose brute) | 42 |
| V.2.5. Les pectines | 43 |
| V.2.6. La vitamine C | 43 |
| V.2.7. Les pigments | 43 |
| V.2.8. Les minéraux | 44 |
| V.3. Les caractéristiques phytochimiques | 45 |
| V.3.1. Les polyphénols totaux | 45 |
| V.3.2. Les flavonoïdes | 45 |
| V.3.3. Les tanins condensés et les tanins hydrosolubles | 46 |
| | |
| <i>Conclusion générale et perspectives</i> | 48 |
| <i>Références bibliographiques</i> | 50 |
| <i>Annexes</i> | |
| <i>Résumé</i> | |

Liste des abréviations

CAM : crassulacean Acide Métabolisme

PEP : phospho énoypyruvate

IPP : pyrophosphate d'isopentényle

DMAPP : pyrophosphate diméthylallyl

H% : Humidité.

MS : Matière Sèche

TC : taux de cendre

TL(%) : taux de lipides

FB (%) :taux de fibre brutes

ST : taux de sucres totaux

Ca : calcium

Na : Sodium

K : Potassium

EAT : Equivalent Acide Tannique.

mgEAG/g MS : milligramme d'Acide Gallique/gramme de Matière Sèche.

mg EQ/g MS : milligramme d'Equivalent Quercetine/gramme de Matière Sèche.

RMMAPM : Rapport du Ministère De L'agriculture et de la Pêche Maritime.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Répartition mondiale d' <i>Opuntia ficus indica</i> | 04 |
| Figure 02 : Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie | 05 |
| Figure 03 : Photos a) des racines; b) des tiges; c)des fleurs; d) du fruit e) et des graines d' <i>Opuntia ficus indica</i> | 07 |
| Figure 04 : Schéma illustrant la technique de bouturage | 10 |
| Figure 05 : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM..... | 10 |
| Figure 06 : les polyphénols non flavonoïdes..... | 17 |
| Figure 07 : Structure de base des flavonoïdes | 19 |
| Figure 08 : Les différents types de flavonoïdes à partir du squelette flavane | 19 |
| Figure 09 : Les structures des différentes classes des flavonoïdes. | 22 |
| Figure 10 : Structure chimique d'un anion phénoxyde..... | 24 |
| Figure 11 : structure chimique d'un Terpénoïde et d'un alcaloïde. | 25 |
| Figure 12 : photo d'une raquette découpée d' <i>Opuntia ficus indica</i> | 26 |
| Figure 13 : Schéma du protocole expérimental..... | 28 |
| Figure 14 : La courbe d'étalonnage du sérum bovine albumine | 41 |
| Figure 15 : la courbe d'étalonnage du glucose | 41 |
| Figure 16 : Droite d'étalonnage de l'acide gallique | 47 |
| Figure 17 : Droite d'étalonnage de la quercitine | 47 |
| Figure 18 : courbe d'étalonnage pour dosage des tannins condensés..... | 47 |
| Figure 19 : courbe d'étalonnage pour dosage des tannins hydrosolubles..... | 47 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 01 : Classification botanique d' <i>Opuntia ficus</i> | 03 |
| Tableau 02 : Utilisations d' <i>Opuntia ficus indica</i> | 11 |
| Tableau 03 : Composition chimique et phytochimique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> | 13 |
| Tableau 04 : Matériel et réactifs utilisés. | 27 |
| Tableau 05 : Caractéristiques physicochimiques des cladodes..... | 38 |
| Tableau 06 : récapitulatif des résultats de la caractérisation biochimiques. | 40 |
| Tableau 07 : teneur des chlorophylles et caroténoïdes. | 43 |
| Tableau 08 : les proportions des principaux minéraux des jeunes cladodes..... | 44 |
| Tableau 09 : caractéristiques phytochimiques des cladodes. | 45 |

Introduction générale

Introduction

L'Opuntia ficus indica appelé communément le figuier de barbarie, est une espèce de cactus adéquate pour une agriculture durable en Algérie grâce à sa résistance à la sécheresse, la lutte contre la désertification et à son utilisation dans l'alimentation de l'homme et du bétail. C'est une plante qui est économiquement importante, mais qui reste très peu exploitée. Elle peut être valorisée en produits agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques ; ce sont des produits à haute valeur ajoutée qui vont jouer un rôle socio-économique important pour les agriculteurs et les populations rurales et contribuer au développement durable en milieu rural (**Arba M, 2009**).

L'importance économique de la culture du figuier de Barbarie réside actuellement dans la commercialisation de ses fruits et dans ses ressources fourragères pour l'alimentation du bétail (**Arba M, 2009**). Les autres utilisations du figuier de Barbarie (confiture, fruit confit ou séché, poudre de cladode, ...) n'existent pas dans notre pays et restent encore négligées par rapport à nos voisins qui ont au minimum une exploitation au stade des coopératives ou des petites et moyennes entreprises.

Les cladodes du figuier de Barbarie restent encore sous-exploités en Algérie, une valorisation est alors nécessaire vu les innombrables vertus qui ont été démontrées dans plusieurs études, ainsi, les industriels locaux devraient se pencher sur cet axe afin de développer ce secteur qui s'avère très promoteur.

Afin de mettre en valeur le figuier de Barbarie, nous nous sommes orientés vers les jeunes cladodes, appelés aussi nopalitos dans le pays d'origine (Mexique), qui sont encore mal connues par le grand public, mais largement consommées comme légume par les populations de différentes couches sociales au sud des Etats-Unis (**Russel et Felker, 1987; Cantwell, 1991; Sáenz ., 2002.**). Ces parties sont également valorisées dans l'industrie alimentaire et cosmétique, sans oublier qu'elles sont pourvues également de vertus médicinales, et facilement utilisable comme fourrage (**FAO 1971; Saézn-Hernandez, 1995; Galati et al, 2001; Carmen Saézn, 2006; Sepúlveda et al, 2007**) .

Nous avons entrepris des analyses et des approches physico-chimiques, biochimiques et phytochimiques qui vont aider à ouvrir un nouveau volet sur l'exploitation des jeunes cladodes du figuier inerme algérien, à savoir, l'appréciation de leur valeur alimentaire et la mise en évidence leur potentialité thérapeutique.

Ce présent travail visera alors à construire une solide base scientifique aux industriels qui veulent investir dans ce domaine et fera l'objet de création d'entreprises et d'emplois. Il est composé de trois grandes parties :

La première partie expose dans une revue bibliographique, l'état de connaissances actuelles sur le figuier de barbarie et ses cladodes, et elle développe dans un second lieu les métabolites secondaires d'intérêt biologiques.

La deuxième partie porte le nom de matériel et méthodes, et traite les analyses effectuées pour quantifier les biomolécules importantes des nopalitas inermes récoltés de la wilaya de Tiaret.

Dans la troisième et dernière partie, celle des résultats et discussion, nous détaillons les données obtenues durant cette expérience, et nous proposons une interprétation pour chaque examen fait.

Chapitre I :
Etude bibliographique

I. Généralités sur *Opuntia ficus indica*

I.1. Définition, taxonomie et étymologie :

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) est une plante xérophytique succulente de type CAM (Crassulacean Acid Métabolism), présentant des adaptations morphologiques et physiologiques aux zones arides et semi-arides qui lui permettent de résister à la sécheresse, aux chaleur torrides, aux vents violents, et aux tempêtes de sable (**Hadj Sadok et al., 2008 ; Hernández-Urbiola et al., 2011**).

La famille des Cactacées renferme environ 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces. Le genre *Opuntia*, comprend 150 à 300 espèces, (**Guzman et al., 2003**).

Selon la classification botanique, les cactacées sont des végétaux phanérogames appartenant à la classe des angiospermes, dicotylédones, Polypétales. La famille des *Cactaceae* compte environ 130 genres et 1600 espèces, dont presque 300 appartiennent au genre *Opuntia* (**Mulas et al., 2004**).

L'espèce *Opuntia ficus indica* connue sous le nom de figuier de Barbarie, renferme une deux variétés dont l'une est épineuse et l'autre inerme ou sans épines. C'est cette dernière qui intéresse notre étude. (**Hadj Sadok et al., 2013 ; Bou-idra et al., 2015**). La classification botanique d'*Opuntia ficus indica* est indiquée dans le **Tableau 01**:

Tableau 01 : Classification botanique d'*Opuntia ficus indica* (**Wallace et al., 1997 ; Griffith et Portery, 2009**).

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Règne | Végétal (plantes vasculaire) |
| Embranchement | Phanérogames |
| Sous embranchement | Angiospermes |
| Classe | Dicotylédones |
| Sous classe | Dialypétales |
| Ordre | Caryophyllacées |
| Famille | Cactacées |
| Genre | <i>Opuntia</i> |
| Espèce | <i>Opuntia ficus indica</i> |

Nopal ou le nom mexicain de la plante, vient du mot *Nochtli* en nahuatl, langue classique des Aztèques, *alors que* son appellation savante "*Opuntia*" vient du latin *Opuntius*, d'Oponthe (Schweizer, 1997).

I.2. Distribution :

Opuntia ficus indica est originaire du Mexique (El Finti et al., 2012). Sa distribution géographique est très large : Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine, Pérou et Afrique du Nord. Il s'est également répandu dans l'hémisphère sud, notamment en Afrique du Sud, à Madagascar, à l'île Maurice, en Inde, à Ceylan et en Australie. (Barbera et al., 1992 ; Orwa et al., 2009; Rapport du ministère marocain de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2010).

Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 17^{ème} siècle au Nord et au Sud de l'Afrique (Ghazi et al., 2013). Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen et s'y est naturalisé au point de devenir un élément caractéristique du paysage (Le Houerou, 1996).

Il est par essence développé sur la partie Ouest de la Méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) (Bensalem et al., 2002 ; Arba, 2009).

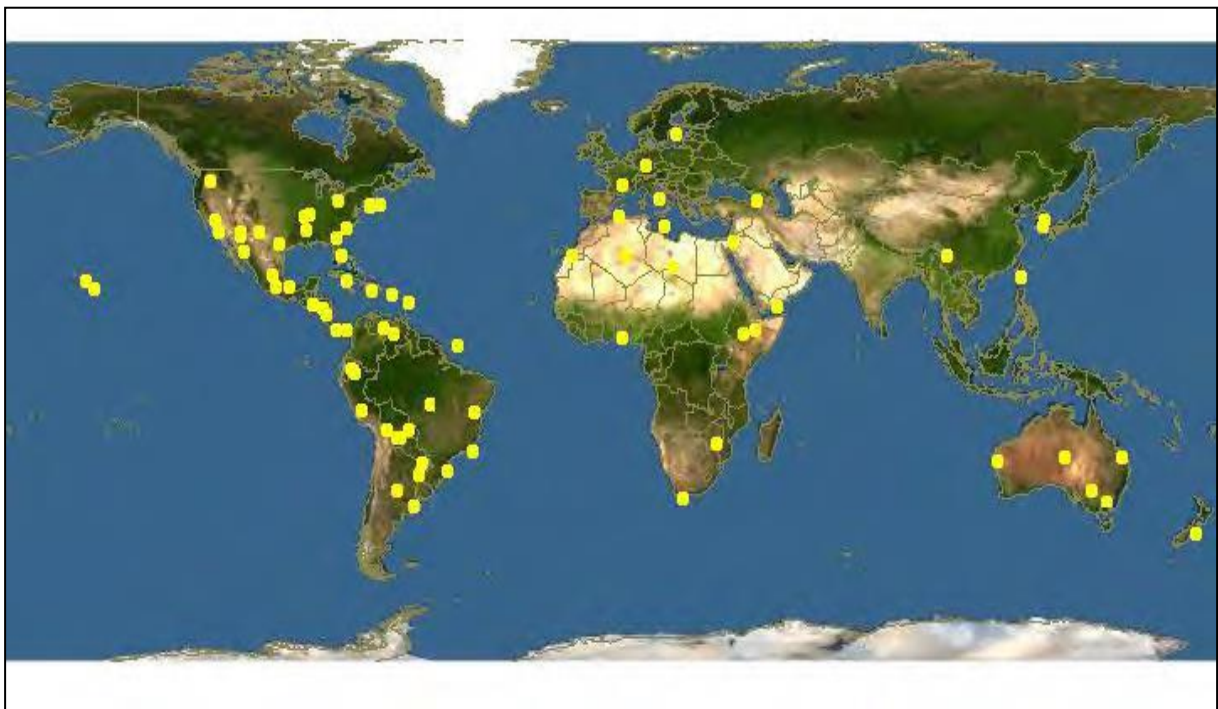


Figure 01 : Répartition mondiale d'*Opuntia ficus indica*

I.3. Description morphologique :

I.3.1. La racine:

Le figuier de barbarie est une plante arborescente, caractérisée par des racines superficielles et charnues, en expansion horizontale. Dans les milieux fortement arides, à partir des racines principales, se développent des racines secondaires charnues en mesure d'atteindre les couches de sol plus profondes, ou elles trouvent plus d'humidité (**Nefzaoui et Bensalem, 2002**).

I.3.2. La tige:

Elle a des tiges en forme de raquettes plates charnues et ovales pouvant atteindre 3 à 4 mètres de haut. Les raquettes sont appelées cladodes, mesurent 30 à 40 cm de long sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm de l'épaisseur (**Boutakiout A, 2015**). De couleur verte, elles s'unissent les unes aux autres, en formant des sortes de branches. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration de la plante et la protège tout en

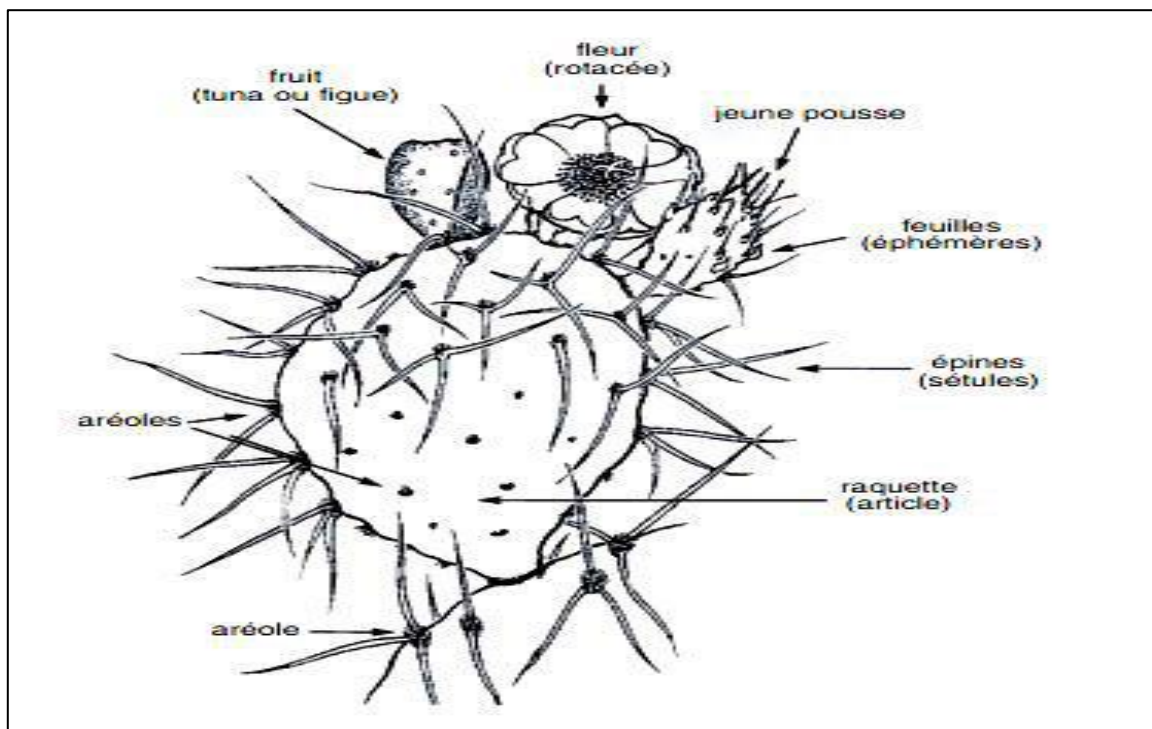


Figure 02 : les différentes parties du figuier de Barbarie (**Schweizer, 1997**).

assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles (**Schweizer, 1997**). Leur surface est parsemée d'alvéoles au sein desquelles naissent, sur les cladodes en formation, des feuilles fragiles, éphémères et caduques. Elles portent de redoutables épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base. Les cladodes de la base, en vieillissant, finissent par se lignifier pour former un véritable tronc (**Boutakiout A, 2015**).

I.3.3. La fleur:

Le figuier de barbarie donne des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs apparaissent sur le dessus des raquettes, large de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Ces fleurs sont comestibles, comme le fruit auquel elles donnent naissance.

I.3.4. Le fruit:

Appelé figue de barbarie, ce fruit se présente sous la forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, dont la peau verte jaunâtre et, elle aussi, ornée de petites épines. Dans les climats tempérés, la floraison a lieu en avril,-mai et les fruits sont cueillis fin juillet à septembre, dès qu'ils deviennent un peu mous. Dans certaines contrées arides et chaudes, la plante peut donner des fruits deux fois par an. Ce fruit a une chair d'une couleur variant du jaune clair au rouge violacé et dont le goût se révèle délicieux et subtil (**Schweizer, 1997**).

I.3.5. Les graines :

Ses graines, riches en vitamines et en oligoéléments, lui confèrent de nombreuses propriétés et c'est à partir de ces graines que l'on obtient une huile très recherchée (**Boutakiout A, 2015**).

I.4. Culture :

A l'exception des zones sahariennes, le figuier de barbarie est largement représenté dans le paysage rural algérien, en plantations plus ou moins régulières, autour des villages ou en haies limitant les parcelles de cultures ou les vergers (**Arba M, 2000**).

Notons que l'Algérie demeure à la traîne concernant la culture du figuier de barbarie, alors que les voisins ont intégré depuis plusieurs années sa filière de culture et de transformation.



A



B



C



D



E

Figure 03 : Photos a) des racines; b) des tiges; c)des fleurs; d) du fruit e) et des graines d'*Opuntia ficus indica* (Nefzaoui, 2005; 2007; 2010; El Finti et al., 2012; Ghazi et al., 2013)

I.5. Reproduction et Technique de multiplication :

Pratiquement tous les cactus ont des fleurs normalement hermaphrodites, où La partie réceptrice de l'organe femelle reçoit le pollen pour qu'ait lieu la fécondation aboutissant finalement à la formation des graines (**Lamb, 1991**).

Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage des cladodes, en laissant sécher au préalable les sections pendant deux semaines et parfois plus. A la plantation, les deux tiers de la cladode placée inclinée en hauteur, sont mises dans le sol, dans un sillon de 15 cm; le sol est alors tassé autour de la cladode (**Figure 04**). Les distances de plantation sont variables en fonction de la pluviométrie et du degré d'intensification de la culture (**Walali Loudyi, 1995**).

L'*Opuntia* peut également se reproduire spontanément à partir d'un article tombé sur le sol. Il prend racine du simple contact d'un de ses alvéoles avec la terre (**Schweizer, 1997**).

I.6. Physiologie :

Le figuier de Barbarie est une plante qui a une photosynthèse de type CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Elle a la particularité de stocker le CO₂ uniquement la nuit, car l'ouverture des stomates n'est faite qu'à ce moment-là, où la température est plus basse et le taux d'humidité est plus élevé que durant la journée. (**Stintzing et al., 2005**)

Cette fixation de CO₂ est réalisée dans le chloroplaste par la phosphoénolpyruvate carboxylase (PEP), pour donner l'oxaloacétate, qui sera immédiatement réduit en malate, puis stocké dans une vacuole sous forme d'acide malique. En effet, le figuier de Barbarie fait "le plein" de CO₂ sous forme d'acide malique durant la nuit, mais il a besoin de l'énergie lumineuse du jour, comme toutes les autres plantes, pour le décomposer et compléter le cycle de Calvin et pour ainsi accomplir la photosynthèse en entier (**Goldstein et al., 1991**).

Une telle stratégie présente entre autre une différence fondamentale avec les plantes ordinaires (mésophytes), pour que la photosynthèse s'effectue le jour à partir du dioxyde de carbone fraîchement importé de l'atmosphère, et permet de ce fait d'éviter les pertes en eau par évapotranspiration qui peuvent avoir lieu le jour et d'optimiser ainsi l'utilisation d'eau (**Leuttge1993 . Sudzuki, 1995. Stintzing et al., 2005**).

I.7. Importance:

I.7.1. Utilisation alimentaire et technologique:

La production de fruits reste l'aspect le plus recherché et le plus développé. Ces fruits sont commercialisés à l'état frais ou transformés: en jus, en nectar, en jus concentré, en conserve, en miel, en marmelade..... (Kenny, 1965. Arba, 2009. RMMAPM, 2010)

Le fruit de cactus de couleur rouge ou pourpre contient de la bétalaine, qui peut être utilisée principalement comme colorant d'aliments qui ne requièrent pas de traitement thermique tels que les glaces alimentaires, les yaourts, les dessert.....(RMMAPM, 2010)

Les jeunes cladodes sont consommées en tant que légume car elles sont tendres et fibreuses, par contre cladodes âgés sont utilisés le plus souvent comme aliments de bétail. (Stintzing and Carle, 2005)

I.7.2. Vertus cosmétiques et pharmaceutiques :

Cette plante offre la possibilité de production des aliments naturels à fonctions thérapeutiques ou alicaments, sous forme de gélules ou capsules, pour la régulation du transit intestinal et le traitement des maladies comme l'obésité, l'hypercholestérolémie, la constipation et les coliques. (Arba M, 2009. RMMAPM, 2010)

La poudre de nopal à un effet sur le contrôle du sucre et du cholestérol dans le sang, à côté de son rôle amincissant et anti-glycémique (Frati et al., 1988. Fernandez et al., 1990). Les fleurs sont utilisées comme remède aux maux des reins, au dysfonctionnement de la prostate, aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil, et comme un régulateur diurétique (Arba M, 2009). Les graines servent également pour la préparation de crème à usage dermatique, et présentent une source d'une huile végétale antiride à valeur cosmétique très intéressante (Arba M, 2009)

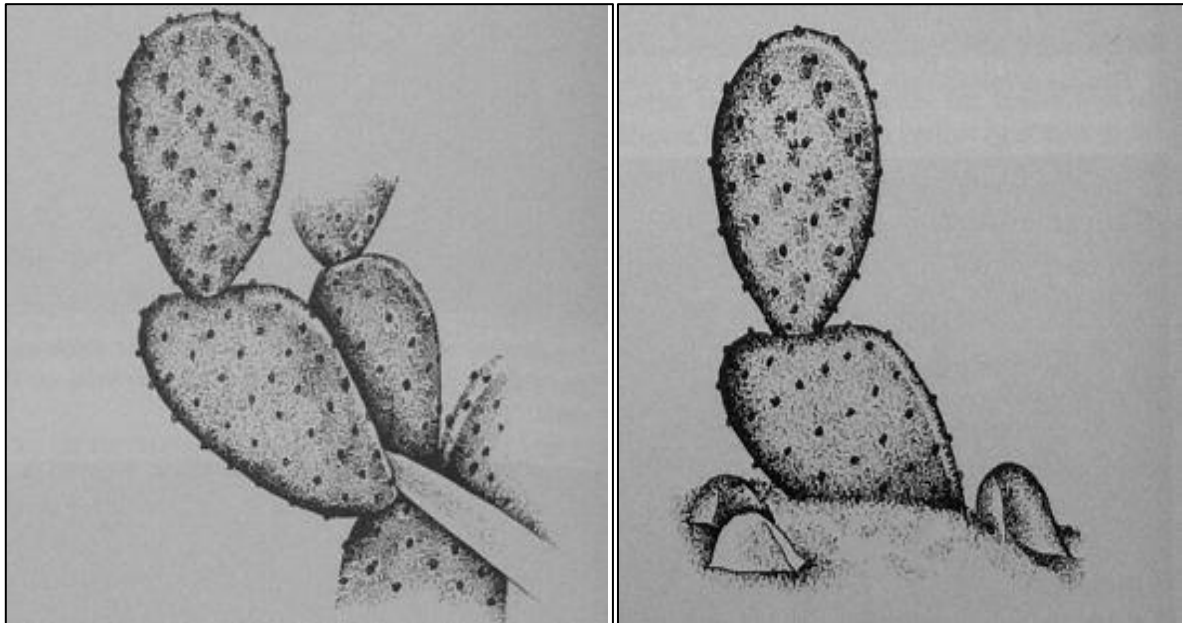


Figure 04: Schéma illustrant la technique de bouturage (Lamb, 1991).

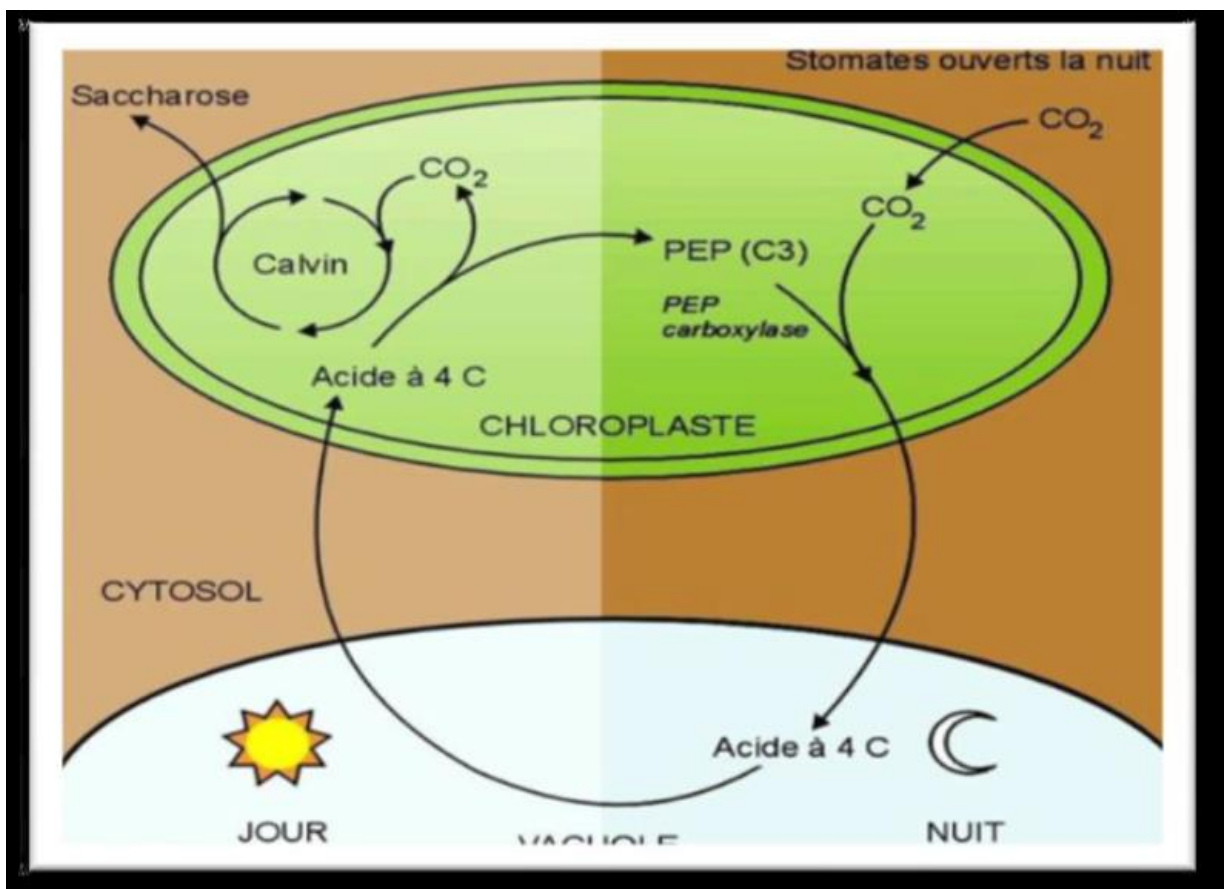


Figure 05: Cycle photosynthétique des plantes de type CAM

Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants, comme il permet de réduire le taux de cholestérol dans le sang. (**Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010**).

Le **Tableau 02** présente les différentes utilisations d'*Opuntia ficus indica*.

Tableau 02 : Utilisations d'*Opuntia ficus indica* (**Inglese et al., 1992**).

| Aires commerciales | Usages spécifiques |
|--------------------------------|--|
| Production alimentaires | Fruit, Nopalitos, jus de fruit, extraction d'huiles des graines. |
| Production d'énergie | Alcool, biomasse fraîche. |
| Aliment des bétails | Fourrage, déchets de fruits. |
| Usage médicales | Fleurs pour les diurétiques, cladodes pour diabètes, mucilages. |
| Usage agronomique | Fixation du sol, source d'eau complémentaire, brise-vent. |
| Colorants | Bétalaïne dans les fruits, acide carminique. |

II. Les parties utilisées ; les cladodes:

II.1. approche structurale :

Les tiges de cactus, les raquettes de cactus ou cladodes synonyme de « nopales », sont les termes corrects pour désigner les segments aplaties de la plante qui remplacent les feuilles dans leurs fonctions. Elles sont composées d'un parenchyme blanc (tissu de base) et contenant de la chlorophylle au sein du chlorenchyme (tissu de cortex). Ce dernier est recouvert d'épines (feuilles modifiées) et poils ou trichomes multicellulaires, qui forment l'aréole et qui est une caractéristique des membres de la famille des cactacées (**Anderson, 2001**).

Les épines mesurent 1 à 3 cm de longueur et forment 8,4% du poids total de la cladode. Leurs fonctions comprennent la protection mécanique face aux herbivores, la réflexion de la lumière, l'ombre pour la tige, et donc permettent la réduction de la perte en eau ainsi que la condensation du brouillard (**Anderson, 2001**).

II.2. Composition chimique:

La composition chimique des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante. Par conséquent, les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues (**Stintzing and Carle, 2005**).

Les jeunes cladodes ont des valeurs élevées en glucides, en protéines et en eau (**Pimienta-Barrios et al., 1994**). Au cours de la croissance, l'ossature fibreuse est décomposée dans le parenchyme, mais se développe dans le cortex. Cependant, les protéines totales et les fibres diminuent avec l'âge. Le jus de cladodes présente un pH de 4,6 avec 0,45% d'acidité titrable et 6,9 g /100 g de matières sèches (**Stintzing and Carle, 2005**)

Généralement, la teneur en eau des cladodes varie entre 88 à 95%, d'où leur pauvreté calorique (27 kcal /100 g) (**Murillo-Amador et al., 2002**). Les glucides constituent un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes, dont une teneur moyenne de 85 à 171 mg/ g de poids sec d'amidon (**Retamal et al., 1987; Ginestra et al., 2009**).

La teneur en protéine est de 11g /100 g de poids frais ou de 0,5 g/100 de poids sec, et l'acide aminé majoritaire est la glutamine (**Teles et al., 1997; El-Mostafa et al., 2014**). Alors que pour les lipides, l'acide linoléique et l'acide linoléinique constituent l'essentiel des acides gras polyinsaturés des cladodes (67,7%) (**Abidi et al., 2009**).

Les cladodes ont une haute teneur en fibres; la teneur moyenne de la cellulose est de 11%, de l'hémicellulose 8% et de la lignine 3,9% par rapport à la matière sèche (**Ben-Thlija, 2002; Stintzing and Carle, 2005**). Outre, des études récentes ont démontré que la composition minérale est de 50 mg /100g de poids sec, auquel le potassium et le calcium sont les principaux minéraux (**Munoz de chaves et al., 1995**).

La teneur totale de la vitamine C (acide ascorbique et déhydroascorbique) dans 100g de matière fraîche s'élève à 22 mg, et est entre 11,3 et 53,5 µg pour le b-carotène (**Stintzing and Carle, 2005**)

Finalement, La teneur en polyphénols totaux dans les cladodes mexicains représentent 8 à 9 mg/ 100 g de poids frais (**Rodrigues-Felix, 2002**)

Le **Tableau 03** illustre la composition chimique et phytochimique des cladodes:

Tableau 03 : Composition chimique et phytochimique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* (Hadj Sadok et al., 2013 ; El-Mostafa et al., 2014).

| Composant | | Valeur |
|--------------------|----|--------------------------|
| Teneur en eau | | 91 à 93% |
| Minéraux | Ca | 5,64 -17,95 mg/100g |
| | Mg | 8,80 mg/100g |
| | K | 2,35 - 55,20 mg/100g |
| Sucres totaux | | 1,66 - 8,79% (MS) |
| Fibres | | 08 - 11% (MS) |
| Vitamine C | | 9 - 15mg/100g (MF) |
| Polyphénols totaux | | 41,6 - 23,4 mg/100g (MF) |
| Tanins | | 6,45 - 6,93 mg/100g (MF) |

II.3. Applications:

II.3.1. Applications pharmaceutiques :

En médecine populaire, les cladodes de cactus sont utilisées pour le traitement de la gastrite, de la fatigue, de la dyspnée et des maladies du foie suite à l'abus d'alcool (**Stintzing et Carle, 2005**). Les cladodes chauffées ont été utilisées pour traiter le rhumatisme, les érythèmes et les infections chroniques de la peau, mais aussi pour améliorer la digestion et améliorer le processus général de désintoxication (**Schweizer, 1997**).

Des effets positifs des cladodes ont été démontrés sur l'hyperglycémie, l'acidose, et l'artériosclérose. Le rôle des polysaccharides des cladodes dans le secteur des médicaments est intéressant comme la réduction du cholestérol et son action préventive du diabète et les thérapies adipeuses (**Galatieta et al., 2001 ; Mofolorunso et al., 1996**).

II.3.2. Applications cosmétiques :

Pour soigner leurs mains malmenées par les rudes travaux auxquels elles sont soumises, et préserver leurs visages agressés par le soleil, les Indiennes préparent du savon et des onguents à base de mucilage d'*Opuntia ficus indica* (**Schweizer, 1997**).

III. Les métabolites secondaires:

III.1. Généralités:

Le terme métabolite secondaire est utilisé pour décrire une large gamme de composés chimiques dans les plantes qui ne sont pas impliqués dans les processus biochimique de la croissance et de la reproduction des plantes (**Amlan & jyotisna, 2010**).

Ils ont un rôle important dans les interactions de la plante avec son environnement tel que la protection contre les pathogènes, herbivores, la concurrence entre les plantes et le stress abiotique comme dessiccation et radiation UV (**Greathead, 2003**). Plus de 200.000 structures de métabolites secondaires ont été identifiées (**Hartmann, 2007**).

Les métabolites secondaires sont classés en plusieurs grands groupes : parmi ceux-ci, les composés phénoliques, les terpènes et stéroïdes et les composés azotés dont les alcaloïdes. Chacune de ces classes renferme une très grande diversité de composés qui possèdent une très large gamme d'activité biologique (**Ali et al., 2001 . Li et al., 2007**) .

III.2. Classification:

III.2.1. Les polyphénols :

Ils constituent le groupe de métabolites le plus large et le plus répandu du règne végétal, avec plus de 8000 structures phénoliques qui sont actuellement connues (**Marin et Andriantsitohaina, 2002**).

L'élément structural fondamental qui caractérise les composés phénoliques est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel il est directement lié au moins à un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester, hétéroside (**Bruneton, 2009**).

Ce sont des pigments qui n'exercent pas une fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, mais ils généralement responsables des teintes automnales des feuilles et des couleurs des fleurs et fruit (jaune, orange, rouge). Ils sont présent partout dans les racines, les tiges, les fleurs, les feuilles de tous les végétaux. Par ailleurs, les polyphénols font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale. Les principales sources alimentaires sont les fruits, légumes et les céréales...etc (**Edeas, 2007**).

Les polyphénols peuvent se regrouper en deux grands groupes :

- **Les non flavonoïdes** dont les principaux composés sont: les acides phénoliques, les stilbènes, les lignanes, les coumarines et les xanthones.

- *Les flavonoïdes* dont on caractérise principalement : les flavones, flavanones, flavonols, isoflavonones, anthocyanines, proanthocyanidines et flavanols.

Les effets bénéfiques des polyphénols sont attribués à leurs propriétés antioxydantes et à leur capacité de capter les radicaux libres. Ces substances présentent des propriétés anticancéreuses, antimutagènes et antibactériennes non négligeables (**Redoyal et al., 2005 ; Hatano et al., 2005**).

III.2.1.1. Composés polyphénoliques non flavonoïdiques

III.2.1.1.A) Les acides phénoliques

Ce sont les principaux polyphénols alimentaires, ils sont présents dans tous les fruits et les légumes et représentent environ un tiers de la teneur totale de l'alimentation en polyphénols (**Watson et al., 2013; Sharma et al., 2015**).

Les acides phénoliques constituent un groupe important de composés organiques naturels avec un large spectre d'activités pharmacologiques, ils possèdent des propriétés non seulement antioxydantes, mais également des propriétés antivirales et antibactériennes. L'activité anti-oxydante phénolique est généralement combinée avec des groupes hydroxyles trouvés dans leurs molécules (**Cazes, 2005**).

Les acides phénoliques existent sous deux formes: dérivés de l'acide benzoïque et dérivés de l'acide cinnamique (**watson et al., 2013**).

✓ **Les acides hydroxybenzoïques:**

Ces dérivés de l'acide benzoïque ont une formule de base de type (C6-C1) (**Macheix et al., 2005**). Les variations dans les structures de l'acide hydroxybenzoïque individuel se trouvent dans l'hydroxylation et la méthylation du cycle aromatique (**Shankar et al., 2012**). Les acides benzoïques les plus connus sont : l'acide p-hydroxybenzoïque, vanillique, gallique, et salicylique (**Collin & Crouzet, 2011**).

✓ **Les acides hydroxycinnamique:**

Leur structure de base (C6-C3) dérive de celle de l'acide cinnamique. Les molécules de base de cette série sont : L'acide p-coumarique, caféique, férulique, et l'acide sinapique (**Macheix et al., 2005**).

III.2.1.1.B) Les stilbènes:

Les stilbènes font partie des dérivés de l'acide cinnamique (phénylpropanoïdes). Ils sont présents dans toutes les sources végétales (**Leray, 2010**). La structure chimique de base est composée de deux cycles aromatiques joint par un pont méthylène (C6-C2-C6). Les deux formes isomères des stilbènes (cis et trans) ont des propriétés chimiques et biologiques différentes (**Collin & Crouzet, 2011**).

Les stilbènes possèdent un large spectre d'effets pharmacologiques et thérapeutiques tels que l'effet anti-épileptique, anti-oxydant, anticancéreux, les activités anti-athérosclérose, antibactériennes et antifongiques. En plus ils possèdent un effet cardioprotecteur, hépatoprotecteurs et des effets neuroprotecteurs (**Ahuja & Ramawat, 2014**).

Le resvératrol est le stilbène le plus étudié, en raison de sa présence dans les produits issus du raisin et de ses nombreuses propriétés pharmacologiques (anticancéreuses, cardioprotecteurs, antioxydantes...) (**Leray, 2010**).

III.2.1.1.C) Les lignanes:

Ce sont des composés dimères (C6-C3)₂, formés par le couplage de deux fragments (C6-C3) monomères dérivées de la voie des phénylpropanoïdes (**Gilani & Anderson, 2002**). Les lignanes phénoliques se trouvent dans la plupart des plantes riches en fibres, y compris les graines, les céréales, les fruits et les légumes (**Imran et al., 2015**).

Les lignanes possèdent un certain nombre de propriétés utiles pour les humains, certains protègent contre l'apparition de divers cancers, tandis que d'autres sont antimutogènes, antivirales, antibactériennes, et antifongiques (**Costa et al., 1999**).

III.2.1.1.D) Les coumarines:

Les coumarines sont des composés aromatiques naturels, largement distribués dans le règne végétal, ils inhibent la croissance et la sporulation des champignons et autres microorganismes qui sont pathogènes pour les plantes (**Edardes, 2008**).

Les coumarines ont une structure de base (C6-C3) dérivant des acides orthohydrocinnamiques, synthétisées à partir de la fusion des noyaux benzènes et α -pyrone. (**Collin & Crouzet, 2011**). Ils ont des activités antithrombotiques, anti-inflammatoires et vasodilatatrices (**Cowan, 1999**).

Différents dérivés coumariniques ont été isolés; ex : l'ombelliférone, L'hierniarine, l'aesculétine, la scopolétine, l'osthenol, l'osthol... (**Cazes, 2001**).

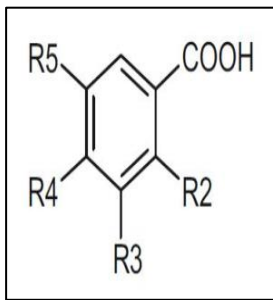
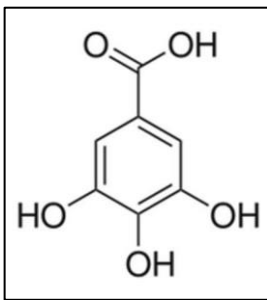
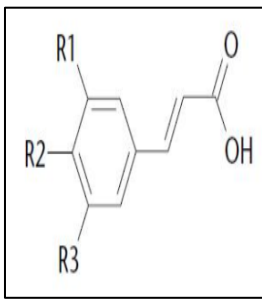
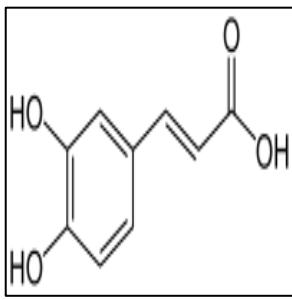
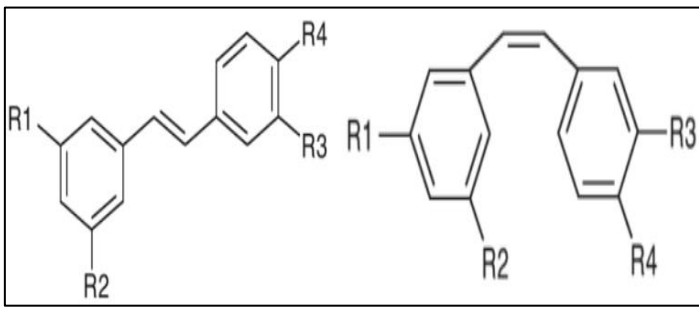
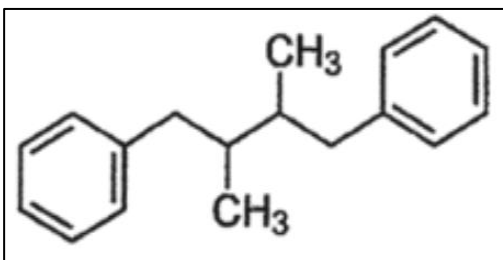
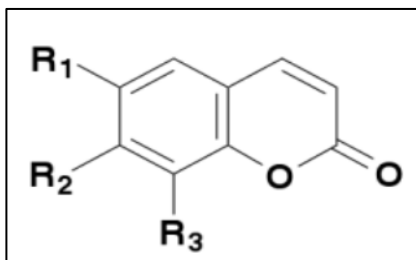
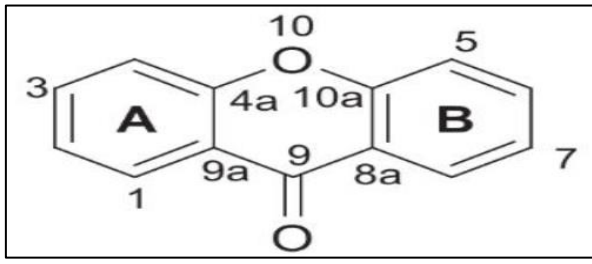
| | | | |
|--|--|--|---|
|  |  |  |  |
| <p>l'acide benzoïque</p> | <p>L'acide gallique</p> | <p>l'acide hydroxycinnamique.</p> | <p>Acide caféique</p> |
| <p>Les acides phénoliques (Cowan, 1999; Laguerre <i>et al.</i>, 2007; Chira <i>et al.</i>, 2008)</p> | | | |
|  | | | |
| <p>Stilbènes (tran ou cis) (Collin & Crouzet, 2011)</p> | | | |
|  |  | | |
| <p>Lignane (Jost & Jost - Tse, 2016)</p> | <p>Coumarine (Bruneton, 2009).</p> | | |
|  | | | |
| <p>Xanthone (Kuete, 2013)</p> | | | |

Figure 06: les polyphénols non flavonoïdes

III.2.1.1.E) Les xanthones:

Le terme xanthone dérive du grec (xanthos) qui signifie jaune. Ils sont des métabolites secondaires trouvés dans quelques plantes supérieures, les champignons et les lichens.

(Khan & Ather, 2006; Tiwari et al., 2013).

La structure chimique d'un xanthone prend la forme d'un système cyclique conjugué en (C6-C1-C6) composé d'un cycle aromatique A relié à un cycle aromatique B, et contenant plusieurs groupes fonctionnels **(Gongbo et al., 2013; Kuete, 2013).**

La diversité structurale et les propriétés chimiques des xanthones peuvent jouer un rôle majeur dans la prévention, y compris les activités anti-inflammatoires, antioxydantes, et anticancéreuses **(Gongbo et al., 2013).**

III.2.1.2. Composés polyphénoliques flavonoïdiques (Flavonoïdes) :

Les flavonoïdes représentent une classe de métabolites secondaires de plus de 6000 composés quasiment universels chez les plantes vasculaires **(Erlund, 2004)**. Ce sont des pigments dissous dans la vacuole des cellules ou comme constituants des chromoplastes, et responsables des colorations jaune, orange, et rouge de différents organes végétaux. Ils sont rencontrés dans les fruits et les légumes, le thé et le café, et également dans plusieurs plantes médicinales **(Guignard, 1996; Di- Carlo et al., 1999; Havsteen, 2002).**

Les flavonoïdes sont formés d'un squelette (C6-C3-C6) à 15 atomes de carbone correspondant à la structure du diphenylpropane. Autrement dit, ils sont constitués d'un cycle benzoïque présentant plusieurs groupements hydroxyles, d'où leur dénomination de polyphénols, et leur fonction antioxydante **(Descheemaeker & provoost, 1999; Collin & Crouzet, 2011).**

La croissance continue de la liste des flavonoïdes est dû au survenu des nouveaux modèles structuraux, suite aux nombreuses substitutions primaires; à l'exemple des groupes hydroxyles qui peuvent être glycosylés ou acylés, et parfois par un phénomène de complexation **(D'Archivio et al., 2007).**

L'activité la mieux décrite des flavonoïdes, est l'activité antioxydante et la capacité de piégeage des radicaux libres (radicaux hydroxyles OH·, anions superoxydes O₂⁻ et radicaux peroxy lipidiques). Les autres activités biologiques comprennent un maintien d'une perméabilité vasculaire normale, une activité antidiabétique, et des effets hypoglycémiant et hypotryglycéridémiant **(Ong et Khoo, 1997 ; Ong et Khoo, 2000).**

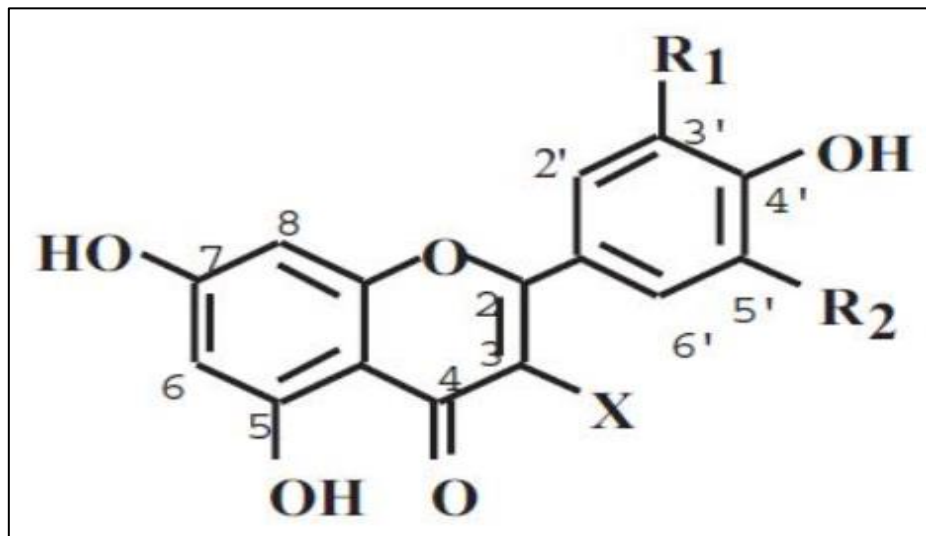


Figure 07 : Structure de base des flavonoïdes (Lugasi et al., 2003).

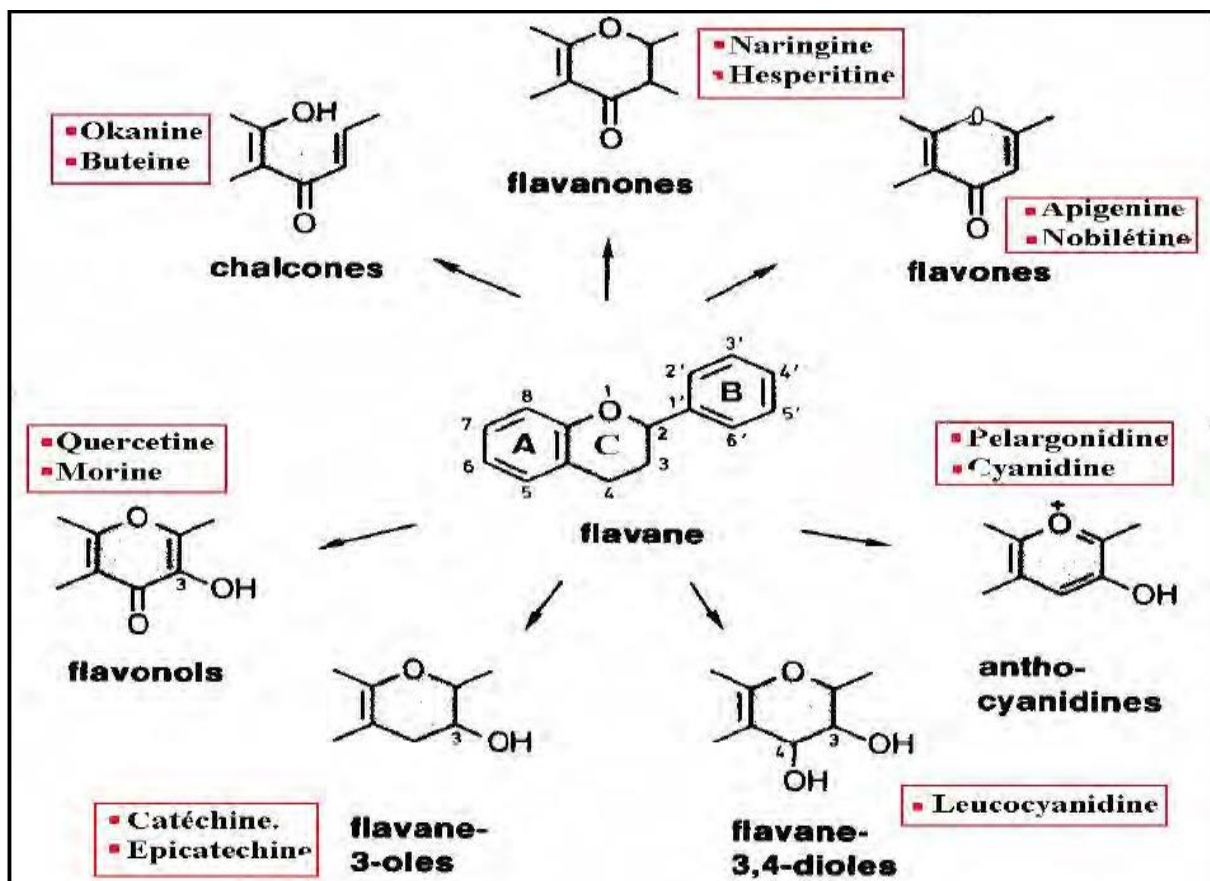


Figure 08: Les différents types de flavonoïdes à partir du squelette flavane (Louis, 2004).

Les classes des flavonoïdes varient dans leurs caractéristiques structurales par la diversité fonctionnelle autour de l'oxygénation de l'hétérocycle, les principales d'entre elles sont :

III.2.1.2.A) Les isoflavones:

Les isoflavones ont des similitudes structurales avec les oestrogènes, à savoir des groupes hydroxyles dans les positions C7 et C4, comme molécule d'oestradiol. Ils peuvent se lier à l'œstrogène récepteur et sont classés ainsi que les phytoestrogènes. Les isoflavones sont contenues presque exclusivement dans les légumineuses (**Tapas et al., 2008 ; D'Archivio et al., 2007**).

III.2.1.2.B) Les flavanones:

Ils sont caractérisés par la présence d'un hétérocycle saturé à trois carbones en chaîne et un atome d'oxygène dans la C4. Ils sont généralement glycosylé par un disaccharide en C7. Les flavanones sont présents en haute dans les agrumes, mais ils sont également trouvé dans les tomates et certaines plantes aromatiques tels que la menthe (**Tapas et al., 2008**).

III.2.1.2.C) Les Flavonols:

Ils sont formés par un hétérocycle saturé avec un groupe hydroxyle en position 4. Ils peuvent avoir un groupe OH ou OCH₃ en haut à trois positions dans le noyau B (**Fraga & Oteiza, 2011**).

III.2.1.2.D) Les flavones:

Les flavones sont structurellement très proches des flavonols, la différence provenant de l'absence de l'hydroxyle en C3. Il existe aussi de très nombreuses substitutions des flavones, telles que l'hydroxylation, la méthylation, les O- et C- alkylation et glycosylation (**Chira et al., 2008**).

III.2.1.2.E) Les anthocyanes:

Les anthocyanes, du grec "anthos" = fleur et "cyan" = bleu; sont des pigments colorés responsables de la pigmentation des fleurs, des fruits et des grains, mais aussi jouent un rôle important dans la physiologie végétale comme attracteurs des insectes dans la dispersion des grains (**Samouelian et al., 2003; Valls et al., 2009; Shipp et al., 2010**).

Ils possèdent une structure de base, constituée de trois cycles aromatiques, jouant le rôle du chromophore, et qui porte plusieurs fonctions hydroxyles dont l'une est glycosylée par

des différents oses (glucose, galactose, rhamnose, arabinose) ou hétérosides (**Samouelian et al., 2009**).

III.2.1.2.F) Les tanins:

Le terme tanin provient d'une pratique ancienne qui utilisait des extraits de plantes pour «tanner» les peaux d'animaux, c'est-à-dire, pour transformer une peau en cuir. Ces dérivés phénoliques sont responsables de l'astringence de nombreux fruits et légumes et des produits qui en sont dérivés (thé, vin ...) (**Hopkins, 2003**).

Les tanins sont des composés polyphénoliques fortement hydroxylés, hydrosolubles, de masse moléculaire comprise entre 500 et 3000, capables de former des complexes insolubles lorsqu'ils sont associés aux glucides, aux protéines et aux enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments, comme ils peuvent être liés à la cellulose et aux nombreux éléments minéraux (**Alkurd et al., 2008; Gazengel & Orecchioni, 2013**). Chez les végétaux supérieurs, il existe deux groupes de tanins différents par leur structure aussi bien que par leur origine biogénétique :

✓ *Les tanins condensés:*

Les tanins condensés (Tannins vrais ou tannoïdes) résultent de la condensation de molécules élémentaires de type flavane 3 ol (catéchines) ou flavane 3-4 diols (leucoanthocyanidines). Les liaisons formées sont de type carbone-carbone ce qui rend ces molécules difficilement hydrolysables. Les tannins condensés sont également appelés proanthocyanidines ; en effet leur oxydation en milieu alcool-acide à chaud entraîne la formation de pigments anthocyaniques tels que cyanidine et delphinidine. Ce type de molécules dotées de propriétés remarquables chez les plantes qui en sont pourvues (**Merghem, 2009**).

✓ *Tanins hydrolysables:*

Les tanins hydrolysables, ou acide tanique, sont des polymères de l'acide gallique ou de son produit de condensation, l'acide ellagique. Ils sont caractérisés par un poids moléculaire plus faible (de 500 à 3000), et un effet précipitant des protéines moins poussé que les tanins condensés, et susceptibles en plus d'être dégradés par hydrolyse chimique ou enzymatique. (**Jarrige et al., 1995; Macheix et al., 2005**).

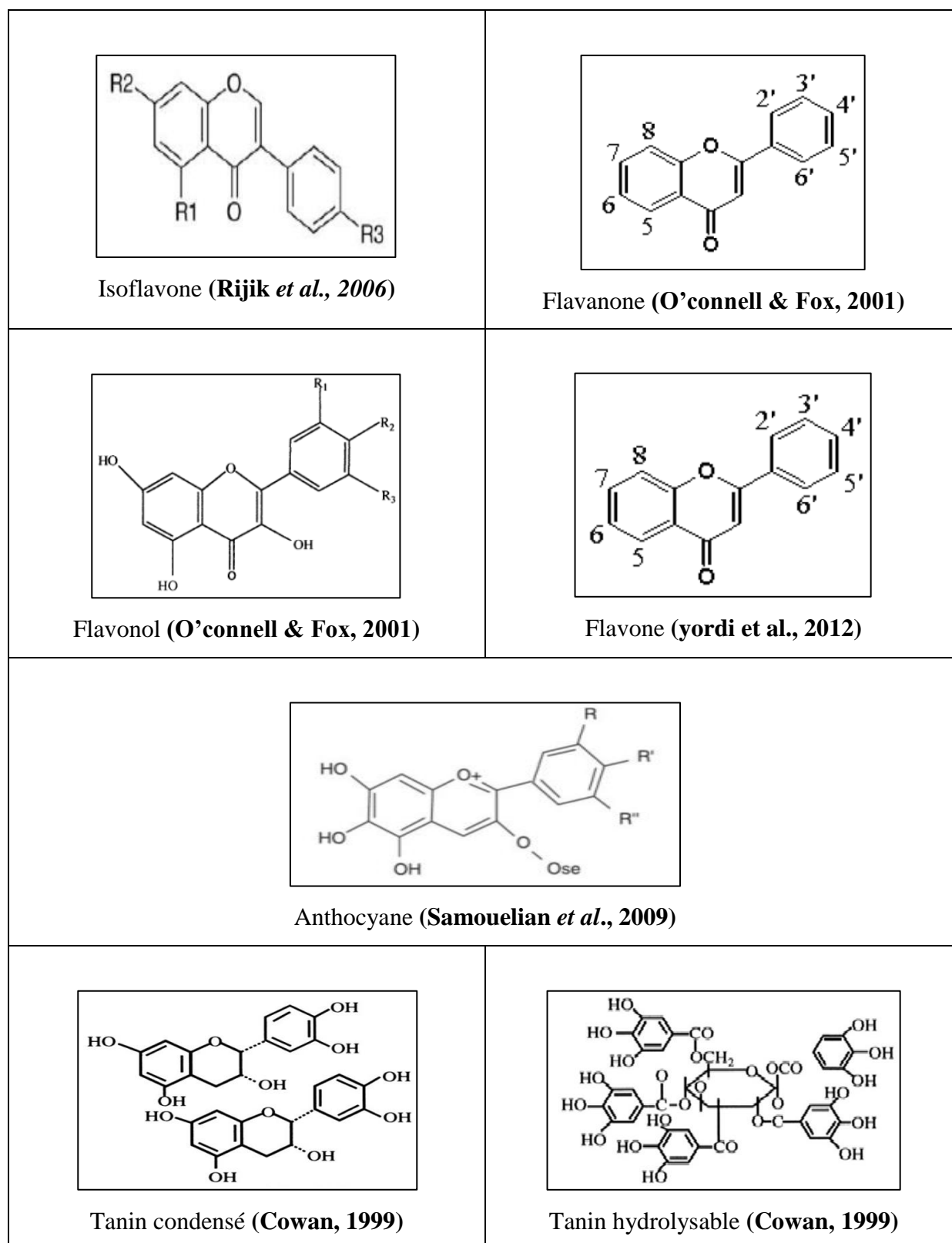


Figure 09: Les structures des différentes classes des flavonoïdes.

III.2.1.3. Biosynthèse des polyphénols:

Les deux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) sont présents dans les protéines, mais sont également à l'origine de la formation de la plupart des molécules phénoliques chez les végétaux (**Richard et al., 1995**).

Ils sont formés, à partir de sucres simples issus du métabolisme primaire, par la voie bien connue de l'acide shikimique, conduisant à la formation de phénylalanine, qui par désamination, donne le précurseur immédiat des phénols et de l'acide cinnamique (**Richard et al., 1995**).

La séquence de biosynthétique qui suit, dénommée séquence des phénylpropanoïdes, permet la formation des principaux acides hydroxycinnamiques : acides coumariques, caféïques, féruliques et sinapiques, généralement présents dans le matériel végétal sous forme d'esters (esters quiniques comme l'acide chlorogénique, esters glucosés, etc.) ou de glucosides (fig. 26) (**Richard et al., 1995**).

Les composés phénoliques sont principalement synthétisés à partir des hydrates de carbone via la voie de l'acide shikimique et la voie de l'acétate malonate (**Chira et al., 2008**):

III.2.1.3.A) *La voie de Shikimate:*

C'est la voie de biosynthèse principale des composés aromatique (**Kening et al., 1995**).

Les acides aminés aromatiques : la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane, sont des métabolites primaires qui, donnent par désamination le précurseur immédiat des phénols et de l'acide cinnamique. La séquence de biosynthétique qui suit aboutit aux flavonoïdes, acide phénoliques, coumarines, alcaloïdes... (**Richard et al., 1995; Ghasemzadeh & Ghasemzadeh, 2001**).

III.2.1.3.B) *La voie de l'acétate malonate:*

Ce mode de formation plus secondaire consiste à la cyclisation des chaînes polycétonique, elles-mêmes obtenus par condensation de groupement acétates. La condensation des groupements acétates ne se fait qu'après carboxylation de l'acétyle CoA en malonylCoA (**Merghem, 2009**).

III.2.1.4. Importance des polyphénols:

III.2.1.4.A) Les propriétés biologiques des polyphénols:

Les acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques se caractérisent par une amertume ou une astringence relativement élevés. Cependant, leurs dérivés décarboxylés génèrent des arômes phénoliques (clou de girofle, fumé). (Meilgaard, 1975).

A l'instar des propriétés gustatives des polyphénols, leur capacité à piéger les radicaux libres, reste de loin la qualité la plus importante. Ils peuvent agir comme des antioxydants ou complexer les ions métalliques pro-oxydants (Buggey, 2001).

La perte des protons du groupement hydroxyle du phénol, entraîne la formation d'anion phénoxyde ayant la possibilité de céder l'électron célibataire pour un radical libre, alors que sa structure aromatique lui attribue plus de stabilité, et moins de réactivité (Sartori-Thiel, 2003; Leopoldini et al., 2011).

En outre, les stilbènes et les gallotannins, peuvent exercer une activité antifongiques et antibactérienne (Jeandet et al., 2002; Collin et al., 2011).

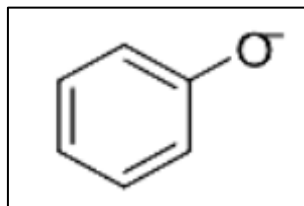


Figure 10: Structure chimique d'un anion phénoxyde.

Enfin, l'impact des polyphénols sur la santé humaine est marqué dans leur effet cardio-protecteur, anti-cancérigène, anti-inflammatoire, voir même antiviral (contre le virus de l'immunodéficience (Prior et al., 2001; Sartori-Thiel, 2003; Collin et al., 2011).

III.2.1.4.B) Applications industrielles:

Selon les propriétés qu'ils possèdent, les polyphénols, ont été exploitées, et trouvent des applications dans de nombreux domaines industriels : en agroalimentaire, en cosmétique et dans l'industrie pharmaceutique.

Les propriétés antimicrobiennes de certains polyphénols offre la possibilité de développer des conservateurs alimentaires et de nouvelles thérapies dans de nombreuses maladies infectieuses (Daglia, 2012). Leur capacité antioxydante est utilisée dans

l'alimentation pour lutter contre la peroxydation lipidique et ainsi permettre une meilleure stabilisation des denrées alimentaires (Moure et al., 2001).

Les polyphénols sont également préconisés pour améliorer la stabilité de pigments de jus colorés, d'arômes alimentaires, et rentrent dans la composition des produits pharmaceutiques et cosmétiques. (Moure et al., 2001).

III.2.2. Terpénoïdes et stéroïdes :

Les métabolites terpéniques sont des substances généralement lipophiles dérivant d'unités isopréniques à cinq atomes de carbones, ayant généralement des structures multi-cycliques différentes les unes des autres par leurs squelettes basiques, mais aussi par leurs groupes fonctionnels (Hopkins, 2003; Modolo et al., 2009).

Selon Hanson, (2003), la famille des terpènes comprend:

- des hormones,
- des pigments caroténoïdes à l'image du β -carotène de carottes et du lycopène des tomates,
- des stérols responsables de la formation de mousse produite par de nombreuses plantes,
- le latex qui est à la base du caoutchouc naturel,
- ainsi qu'une grande partie des huiles essentielles qui confèrent aux plantes leur parfum ou leur gout.

III.2.3. Alcaloïdes :

Ce sont des composés azotés au gout amer aux propriétés chimiques basiques; qui forment des sels avec les acides. A l'instar des deux exemples les plus connus, la morphine et la caféine, ces substances figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et en médecine, en tant que médicaments, stimulants, narcotiques, et poisons. (Reven et al., 2000; Schauenberg et Paris, 2005).

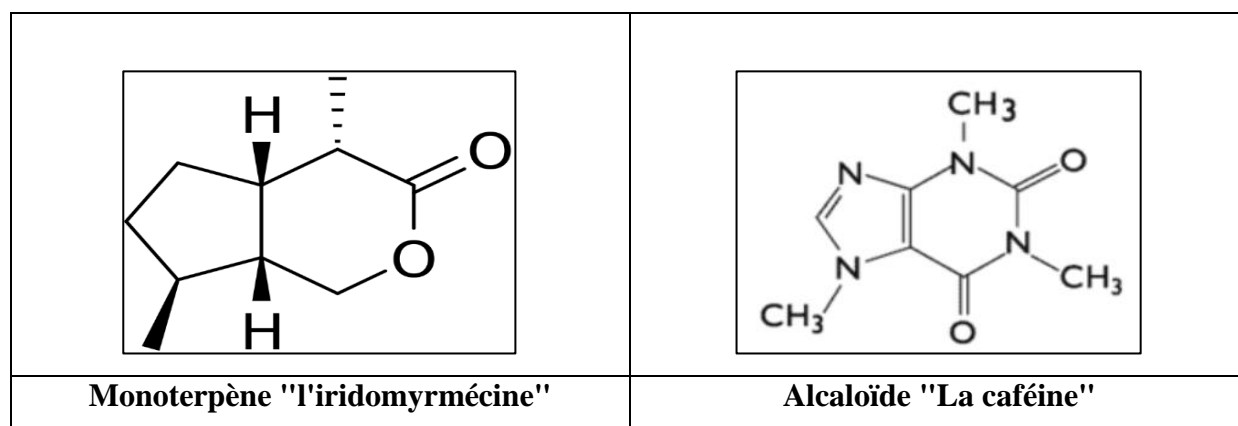


Figure 11: structure chimique d'un Terpénoïde et d'un alcaloïde.

Chapitre II :

Matériel et méthodes

IV.1.Objectif :

L'objectif de notre travail est :

- Etudier les caractéristiques physico-chimiques et phyto-chimiques des jeunes cladodes de figuier de barbarie récoltés à la région de Tiaret.
- Optimiser, en perspective, la valorisation de ces cladodes dans le domaine alimentaire et médical.

IV.2. Lieu et durée d'étude:

Notre étude expérimentale a été réalisée dans les laboratoires de "Technologie Alimentaire" et "Physiologie Végétale" au niveau de la faculté des Sciences de la nature et de la vie, à l'université IBN KHALDOUN de Tiaret, durant une période qui s'étale du 11/02/2018 au 30/03/2018.

IV.3.Matériel

IV.3.1.Matériel végétal:

Les jeunes cladodes de moins de 03 mois de la variété inerme d'*Opuntia ficus indica*, ayant une longueur et une largeur comprise entre 12 - 20 cm et 6 – 9 cm respectivement; ont été prélevé le mois de décembre 2017, à partir de plusieurs sujets de la commune de Takhmaret, située à 90 km de Tiaret.

Les échantillons sont ensuite débarrassés de leurs épines, nettoyés et séchés, puis conservés au congélateur jusqu'à leur utilisation.



Figure 12: photo d'une raquette découpée d'*Opuntia ficus indica*.

IV.3.2. Matériel du laboratoire:

Le matériel du laboratoire utilisé pour cette étude est rassemblé dans le tableau suivant:

Tableau 04: Matériel et réactifs utilisés.

| Appareils | Réactifs | Verreries et autres |
|--|---------------------------------|---------------------|
| - Agitateur magnétique thermique (IKA RCT basic) | -Folin-ciocalteu | -Ballons |
| -Autoclave | -carbonate de sodium | -Béchers |
| -Balance analytique (SARTORUS) | -méthanol et éthanol | -Barreaux |
| -Bec Bunsen | -H ₂ SO ₄ | magnétiques |
| -Broyeur | -Rouge de méthyle | -Eprouvettes |
| -Centrifugeuse (Hettich) | -HCl et NaOH | -Erlenmeyers |
| -Etuve (MEMMERT) | -Iodate de potassium | -Micropipettes |
| -Microscope optique | -chlorure d'aluminium | -Pipettes |
| -Evaporateur rotatif (Heidolph 2) | -diode | -Tubes à essais |
| -Spectrophotomètre(UV. Visible) | -thiosulfate de sodium | -Verres de montres |
| | -l'emploi d'amidon | |

IV.4. Méthodes

IV.4.1. Protocole expérimental :

La pratique effectuée dans ce travail est scindée en trois catégories d'analyses: physicochimiques, biochimiques et phytochimiques. Le protocole expérimental suivi est résumé dans le diagramme de la **Figure 13**.

IV.4.2. Préparations préliminaires:

Les jeunes raquettes sont utilisées de trois manières différentes, où chaque préparation végétale conserve les classes moléculaires visées dans un état intact et respecte la spécificité des analyses corrélées:

- Une fraction est découpée en morceaux afin d'être fraîchement utilisée à l'état originaire.
- La deuxième fraction s'est rendue en purée par centrifugation à 15000 tr/min à 4 °C pendant 20 min.
- Le surnageant récupéré est utilisé frais. Une partie est séchée à 40°C pendant 7 jours, puis broyée et tamisée pour donner une poudre qui sera conservée à l'abri de l'air et de la lumière.

N.B: Il faut noter que toutes les analyses sont effectuées en triple, et que le résultat final représente la moyenne de ces répétitions.

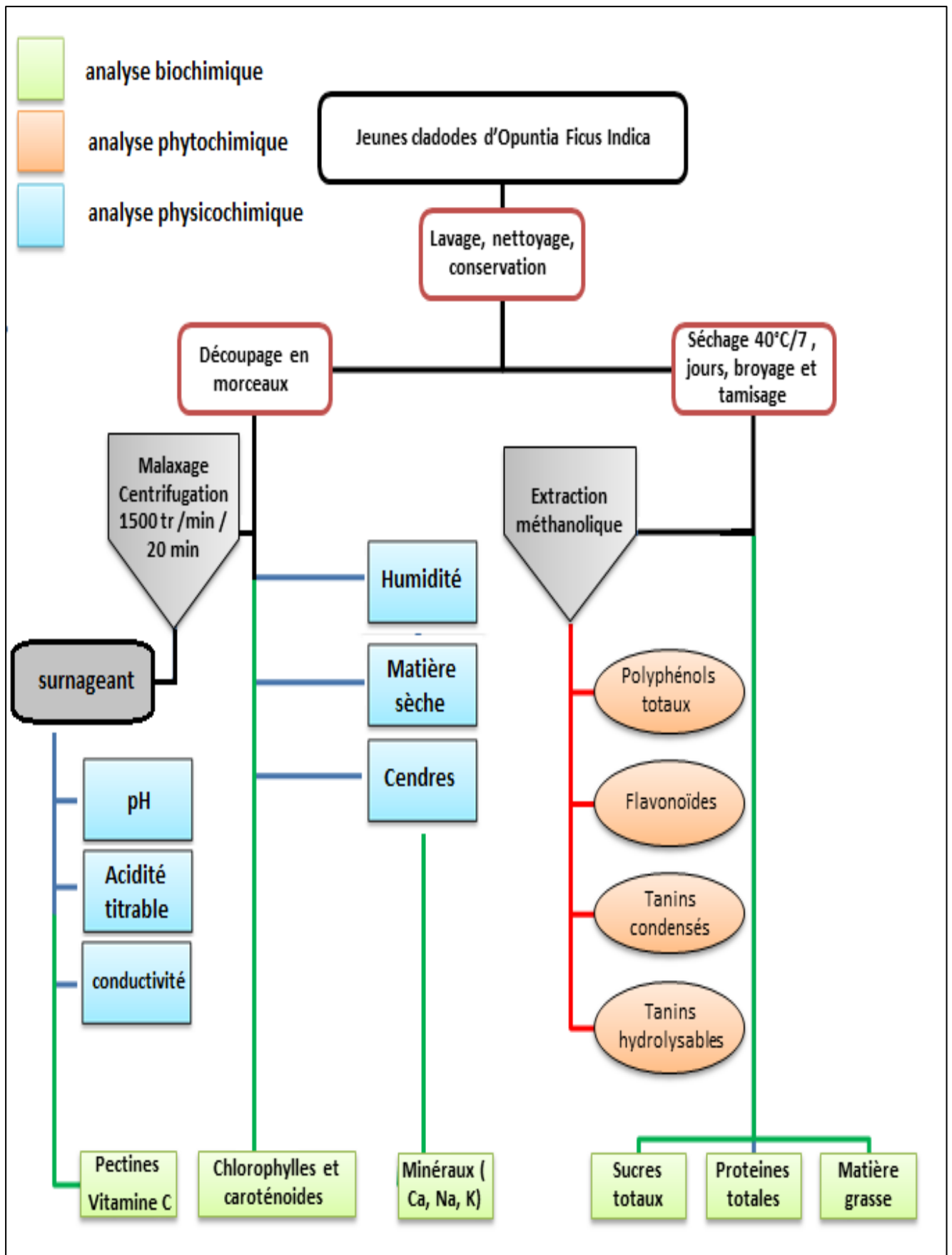


Figure 13: Schéma du protocole expérimental (Boutakiout A, 2015. Rsaissi et al., 2013).

IV.4.3. Analyses physico-chimiques de base :

IV.4.3.1. Humidité et matière sèche:

La teneur en eau est définie comme étant la perte de poids subit lors de la dessiccation des échantillons dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant (Audigié et al., 1978). La méthode utilisée consiste à dessécher des prélèvements de 2g d'échantillon dans des creusets placés dans une étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant (AFNOR NF V03-40).

La teneur en eau se calcule par la détermination de la différence de poids avant et après la dessiccation selon la formule suivante (Audigié et al., 1978) :

$$H\% = \frac{M1 - M2}{PE} \cdot 100$$

Dont :

H% : Humidité.

M1 : Poids de la capsule + échantillon avant dessiccation.

M2 : Poids de la capsule + échantillon après dessiccation.

PE : La Prise d'Essai.

La matière sèche (MS) quant à elle, présente ce que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau d'un produit:

$$MS\% = 100\% - H\%$$

IV.4.3.2. Teneur en cendre

La détermination de la teneur en cendres est basée sur la destruction de toute matière organique sous température élevée à 550 °C (Linden ,1981).

Pratiquement, des quantités de 2 g d'échantillon placées dans des capsules en porcelaine, sont incinérées dans un four à moufle à 550°C pendant 5 h jusqu'à l'obtention d'une couleur grise claire ou blanchâtre. On procède ensuite à la pesée des capsules refroidies dans un dessiccateur pour obtenir le poids final (AOAC ,2000).

Le taux de cendre est calculé par la différence entre le poids initial et final (avant et après incinération) par la formule suivante (AOAC ,2000) :

$$TC(\%) = \frac{P2 - P1}{P0} \cdot 100$$

Dont :

TC : taux de cendre (%).

P0 : poids de la prise d'essai (g).

P1 : poids du creuset vide (g).

P2 : poids de l'échantillon après incinération (g).

IV.4.3.3. Le pH:

Le pH exprime la concentration de l'ion Hydrogène dans une solution. Cette grandeur chimique mesure le caractère acide ou basique d'une solution aqueuse (Nerd, 1991).

Préparer une solution de cladodes à 10%, en mélangeant des morceaux frais dans de l'eau distillée pendant 5 minutes jusqu'à l'obtention d'un jus. La mesure a été réalisée en plongeant l'électrode du pH mètre dans la solution (AOAC, 2000).

IV.4.3.4. Acidité titrable:

L'acidité titrable est déterminée par neutralisation de l'acide présent dans une quantité connue d'échantillon en utilisant une base (NaOH), en présence d'un indicateur de couleur; phénolphtaléine (Nielsen, 2010)

L'acidité totale libre contenue dans 25 ml de jus obtenu par malaxage des cladodes fraîches, a été mesurée par neutralisation avec une solution de NaOH (0.1 N) jusqu'à l'atteinte d'un pH de 8,1, en présence de phénol phtaléine comme indicateur de couleur (AOAC, 2002). L'acidité titrable est exprimée par rapport à la teneur en acide malique (Celikel et al., 2008)

IV.4.3.5. Le taux des solides solubles:

Le taux de solides solubles (TSS), exprimé en degré Brix, est déterminé à l'aide d'un réfractomètre. Une goutte de la fraction liquide de la purée de cladodes a été mise sur la plaque du réfractomètre préalablement nettoyé et séché avec l'eau distillée. Le degré Brix a été lu directement sur l'échelle à l'intersection de la limite entre la frange claire et la frange foncée (AOAC, 2002).

IV.4.3.6. la conductivité électrique:

La conductivité électrique exprime l'aptitude de la solution aqueuse à conduire un courant électrique; elle est en corrélation avec la teneur en sels solubles (**Rodier, 1997**). L'électrode de conductimètre a été plongée dans une solution à 20 % de matière sèche (**Amellal, 2008**).

IV.4.4. Les Analyses biochimiques :

IV.4.4.1. les sucres totaux:

Le dosage des sucres a été déterminé selon la méthode de **Dubois, (1965)** en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune-orange dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides, les résultats sont exprimés par rapport une gamme étalon de glucose à une densité optique de 490 nm (**Nielsen, 1997**).

La démarche de **L'AOAC, (2000)** est adoptée:

- L'extraction des sucres a été faite à partir de 0.1g de l'échantillon par l'ajout de 30ml d'éthanol à 80% suivi d'un repos de 48 heures à température ambiante.
- Au moment du dosage les tubes ont été placés dans l'étuve à 80°C afin d'évaporer l'alcool, par la suite 20 ml d'eau distillée ont été ajoutés à l'extrait (solution à analyser).
- Dans un tube à essai, 1 ml de la solution à analyser est additionné d'1 ml de phénol (5%) et de 5 ml d'acide sulfurique concentré (96%). Après 10 minutes, le mélange a été placé dans un bain marie pendant 20 minutes à 20-30°C et la lecture de l'absorbance a été faite à 490 nm.
- La concentration en sucres totaux a été déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le glucose comme solution standard d'étalonnage.

La formule de calcul est la suivante :

$$ST(\%) = \frac{X \cdot V \cdot D}{P} \cdot 100$$

Dont :

ST : taux de sucres totaux (%).

X : quantité de sucres calculée à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml).

D : Facteur de dilution; **V** : volume de la solution analysée (ml); **P** : poids de la prise d'essai (g).

IV.4.4.2. Protéine

La teneur en protéines totaux a été réalisée par la méthode de **Lowry et al. (1951)**. En milieu alcalin, les ions Cu^{2+} se chélatent sur les protéines et se réduisent en Cu^+ . L'ajout du Folin-Ciocalteu à ce mélange, en milieu acide, entraîne sa réduction en espèces moléculaires bleues présentant une absorbance maximum entre 745 et 750 nm.

- ***Préparation de la solution de prétraitement cupro-alcalin***

Peser 20g d'hydroxyde de sodium, 100g de carbonate de sodium, 2g de tartrate de potassium et de sodium et 0,5 g de sulfate de cuivre II pentahydraté et compléter par 1000 mL d'eau distillée.

- ***Préparation des échantillons***

Préparer une solution à partir de la poudre (1:20) (m/v) avec de l'eau distillée.

- ***Préparations de la gamme étalon du Serum Albumin Bovine***

Préparer une gamme d'étalonnage allant de 1 à 20 mg/100 ml du Serum Albumin Bovine dans de l'eau distillée.

- ***Réaction***

Dans une cuve, déposer 1 ml de l'échantillon dilué ou du SAB + 1 ml de la solution de prétraitement. Laisser le mélange reposer pendant 10 min à température ambiante puis ajouter 4 ml du réactif de Folin-Ciocalteu dilué à 1:8 avec de l'eau distillée.

La solution est incubée pendant 5 min à 55 ± 1 °C, ensuite elle est refroidie dans de l'eau froide pendant 30 min.

- ***Le blanc***

Il suit les mêmes étapes à l'exception de la substitution de l'extrait de cladodes par l'eau distillée

- ***Lecture***

Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 750 nm. Les résultats sont obtenus selon la courbe d'étalonnage du Serum Albumin Bovin et ils sont exprimés en mg ESAB (Equivalent Serum Albumin Bovin) /ml.

IV.4.4.3. Les lipides

Les lipides sont des substances organiques qui peuvent être extraites à partir des végétaux par des solvants liquides au moyen de l'appareil de «Soxhlet» (**Lecoq, 1965**).

- 10 g de l'échantillon ont été pesés et versés dans une cartouche qui a été fermée par un morceau de coton et placé dans l'extracteur Soxhlet, 150 ml du même solvant a été mise dans l'extracteur.
- Après 4 h d'extraction, la totalité du solvant est éliminée par étuvage à 150 °C, et le ballon chassé de solvant et renfermant la matière grasse est pesé (**AOAC ,1995**).

Le taux de lipides est calculé par la formule développé par l'**AOAC, (1965)**:

$$TL(\%) = \frac{P2 - P1}{P0} \cdot 100$$

Dont :

TL(%) : taux de lipides (%).

P0 : poids de la prise d'essai (g).

P1 : Poids du ballon vide (g).

P2 : Poids du ballon + matière grasse (g).

IV.4.4.4. Les fibres brutes:

Les fibres sont déterminées par la méthode de **Weende (1967)** qui consiste en une double hydrolyse acido-basique à chaud dans un but de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibre alimentaires et des sel minéraux (**Gaouar, 2011**).

La technique est faite comme suit:

- Un mélange d'1g d'échantillon préalablement séché à 105°C / 3 h et broyé, et de 150ml d'acide sulfurique (1,25%) a été porté à ébullition pendant 30 min, le résidu est ensuite filtré et lavé 3 fois avec l'eau distillé chaude.
- 150ml de l'hydroxyde de potassium (1,25%) ont été ajoutés au résidu et le mélange a été bouilli une deuxième fois durant 30 min, et reçoit alors le triple lavage par l'eau distillée chaude, suivi d'un autre par l'eau distillée froide (**AOAC ,2000**).
- Un lavage final a été réalisé à 3 reprises par 25 ml d'acétone; par la suite, on sèche à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

- Le résidu composé de fibres et de minéraux, est calciné dans un four à moufle pendant 3 h à 550°C (AOAC ,2000).

La formule suivante permet d'estimer le taux de fibres (AOAC ,2000) :

$$FB(\%) = \frac{P1 - P2}{P0} . 100$$

Dont :

FB (%) : taux de fibres brutes (%).

P1 : poids du creuset après étuvage (g).

P2 : poids du creuset après incinération(g).

P0 : prise d'essai (g).

IV.4.4.5. Les pectines:

Le dosage des pectines a été réalisé selon la méthode de **Nilesh et al. (2014)**. Un volume de 2 ml de jus est mélangé avec 6 ml d'éthanol à 80% dans un milieu acide (pH =1,5).

Ce mélange est soumis à une centrifugation (8000 tr/min, 15 min) et le culot récupéré est mis en étuve à 50 °C. Ainsi, le pourcentage de pectine dans le jus est calculé par une différence de masses.

IV.4.4.6. La vitamine C:

L'acide ascorbique est dosé directement par iodométrie (**NF ISO 3961 9-96**). L'acide ascorbique est oxydé par une solution de diiode en excès, le diiode restant est dosé par une solution de thiosulfate de sodium.

La solution d'analyse de ce test est composée de 5 ml de jus, 5 ml d'une solution de diiode (I₂) à une concentration de 0,005 M et quelques gouttes de l'empois d'amidon. Un titrage est réalisé avec l'ajout du thiosulfate de sodium (0,005 M) jusqu'à disparition de la couleur foncée.

La concentration d'acide ascorbique du jus est calculée par soustraction du nombre de moles de diiode qui ont réagi avec le thiosulfate de celles de départ (**Boutakiout,2015**).

IV.4.4.7. Les pigments

Le taux de chlorophylle a été mesuré selon la méthode préconisée par **Lichtenthaler (1987)**, qui consiste à extraire 0,1 g de matière fraîche avec 10 ml d'acétone (80%).

La solution est filtrée sur papier filtre et placée dans des tubes Eppendorff, qui seront centrifugés à 13000 tours/min pendant 20 min afin d'éliminer tous les débris végétaux précipités en culot.

La quantité en chlorophylle a (Ca), b (Cb) ($\mu\text{g/ml}$), ainsi que les taux de caroténoïdes et de Xanthophylles ($\mu\text{g/ml}$) ont été déterminées selon la formule de **Lichtenthaler (1987)**, sachant que ces pigments absorbent la lumière à 663,2, 646,8 et 470 nm respectivement.

- Chlorophylle a : $\text{Ca} = 12,25 \text{ A}_{663,2} - 2,79 \text{ A}_{646,8}$ ($\mu\text{g} / \text{ml}$ solution)
- Chlorophyll b : $\text{Cb} = 21,50 \text{ A}_{646,8} - 5,10 \text{ A}_{663,2}$ ($\mu\text{g} / \text{ml}$ solution)
- Total carotenoids : $\text{Cx+c} = (1000 \text{ A}_{470} - 1,82 \text{ Ca} - 85,02 \text{ Cb})$ ($\mu\text{g} / \text{ml}$ solution)

IV.4.4.8. Les minéraux:

Les macroéléments; calcium (Ca), potassium (K) et le sodium (Na), sont quantifiés par spectrophotométrie à flamme (**Lutts S et al, 1996**).

- Une pincée de 0.05g de cendre préparée par incinération à 450 °C/3 heures, est mélangée par 4 ml d'acide Nitrique(HNO_3), puis placée au bain de sable jusqu'à l'évaporation de l'acide nitrique. On ajoute 10ml d'HCl (0.1 N), et on filtre,
- Le dosage des ions est procédé par spectre à flamme
- L'eau bi-distillée est employée pour étalonner l'appareil à 0 ppm, tandis que chaque standard est utilisé pour l'ajuster à 1000 ppm avant chaque mesure.
- La valeur lue sur l'afficheur est projetée sur une courbe d'étalonnage propre à chaque élément.

IV.4.5. Caractérisation phyto-chimique

IV.4.5.1. Extraction des polyphénols:

L'extrait polyphénolique des cladodes a été préparé selon la méthode de **Rsaissi et al (2013)** après modification, où 5g de la poudre sont macérés dans 200 ml de méthanol, sous agitation mécanique pendant 24 heures à température ambiante.

Le macérât subit successivement une filtration sur papier filtre et une centrifugation à 8000 tr/min pendant 80 min, il donne un surnageant qu'on sèche totalement à 40°C à pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif.

Le résidu sec finale est reconstitué dans de l'eau distillée et est conservé hermétiquement, au froid et loin de la lumière.

IV.4.5.2. Dosage des polyphénols :

IV.4.5.2.A) Dosage des polyphénols totaux:

La méthode de dosage des polyphénols totaux est celle de Follin-Ciocalteu (**Li et al., 2007**). Ce réactif qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phospholydique ($H_3PW_{12}O_{40}$) est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux.

Un volume de 200 μ l de l'extrait est ajouté à 1,5 ml du réactif Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois). Après 4 minutes de repos, on verse 1,5 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 5 % et on place les tubes à l'obscurité pendant deux heures.

Les résultats étaient lus à une longueur d'onde égale 750 nm, et la concentration des polyphénols totaux exprimée en milligramme d'équivalent d'acide gallique par 100 g d'extrait (mg EAG/100g extrait sec), est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec de l'acide gallique (0-100 μ g/ml) (**Yeddes et al ., 2013**)

On se sert de la formule suivante pour calculer le taux des polyphénols:

$$T = \frac{C \cdot V \cdot D}{p} \cdot 100$$

Dont :

T : teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100g extrait).

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

V : volume de la solution analysée (ml).

D : facteur de dilution.

P : poids de l'échantillon (g)

IV.4.5.1.B) dosage des flavonoïdes

La teneur totale en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de **Lamaison et Carnat, (1990)**. Cette méthode est basée sur la formation d'un complexe d'aluminium-flavonoïde, ayant une absorption maximale à 430 nm:

- Dans une cuve, déposer 1 ml de l'extrait ou de la quercétine + 1 ml de chlorure d'aluminium à 2 %.
- Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 430 nm.
- La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) réalisé par un standard étalon "la quercétine" à différentes concentrations dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EQ/mg}$).

IV.4.5.1.C) Tanins condensés

Ce dosage a été réalisé selon la méthode colorimétrique de **Joslyn (1970)**, elle basée sur la réduction de l'acide phosphomolybdique et tungstique en milieu alcalin, en présence de tanins pour donner une coloration bleue dont l'intensité est mesurée à 760nm:

- Dans une cuve, déposer 0,5 ml de l'extrait ou de l'acide tannique + 2,5 ml de la solution de Folin-Ciocalteu + 5 ml de carbonate de sodium à 7,5 %.
- Laisser le mélange reposer pendant 30 min à température ambiante dans l'obscurité.
- La solution est incubée pendant 5 min à 55 °C, ensuite elle est refroidie dans de l'eau froide pendant 30 min.
- Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 760 nm.

Les résultats sont exprimés selon une courbe d'étalonnage de l'acide tannique allant de 100 à 1000 mg/l et ils sont exprimés en mg EAT (Equivalent Acide Tannique) / ml.

IV.4.5.1.D) Tanins hydrosolubles:

Les tanins hydrosolubles sont déterminés par la méthode de **Willis et Allen (1998)** Qui les détermine par mesure de l'absorbance de la solution à 550 nm avec un spectrophotomètre:

- Déposer 0,5 ml de l'extrait ou de l'acide tannique dans une cuve, + 2,5 ml de la solution d'iodate de potassium à 2,5%.
- Laisser le mélange reposer pendant 4 min à température ambiante dans l'obscurité.
- Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 550 nm.

Les résultats sont exprimés selon la courbe d'étalonnage de l'acide tannique allant de 100 à 1000 mg/l, et ils sont exprimés en mg EAT (Equivalent Acide Tannique)/ml.

Chapitre III :

Résultats et discussion

V. La caractérisation des jeunes cladodes d'*Opuntia Ficus indica*:

La composition des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, du site de culture, des saisons et de l'âge de la plante (**Retamal et al., 1987**). Par conséquent, les valeurs respectives varient à la fois entre les espèces et les variétés et ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues (**Rodriguez-Felix, 2002**).

V.1. Les caractéristiques physico-chimiques de base:

Les résultats trouvés pour le taux d'humidité, de matière sèche, et de cendres, ainsi que ceux de pH, d'acidité titrable, de conductivité et de solides solubles, sont récapitulés dans le **Tableau 05**:

Tableau 05 : Caractéristiques physicochimiques des cladodes.

| Paramètre | Valeur | Paramètre | Valeur |
|---------------------|-----------|--|-----------|
| Humidité (%) | 87.1±0,9 | Acidité titrable (%) | 0,44±1.18 |
| Matière sèche (%) | 12.19±1,1 | | |
| Taux de cendres (%) | 11.84±0,5 | Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) | 382±2,01 |
| pH | 4.05±0.31 | Solides solubles (Brix°) | 4.80±0,55 |

V.1.1. L'Humidité, la matière sèche et les cendres:

Le taux d'humidité des jeunes raquettes d'*Opuntia* est estimé à **87.1±0,9%**, une teneur très comparable aux résultats rapportés par **Chiteva et Wairagu, (2013)** (87%), **Ulises-Osuna et al., (2014)** (80-95%) et **Sarbojeet, (2012)** (84-90%).

Notre résultat reste quand même inférieur aux valeurs données par **Nefzaoui et al., (1995)** (94%), **Hadj Sadok et al., (2008)** (91-93%) et **Abdessemed et al., (2014)** (91.9%).

La teneur en eau des cladodes fluctue en général, entre 88 et 95% en fonction des espèces, des conditions pédoclimatiques, et de la répartition géographique. Cette proportion importante d'eau dans les cladodes, peut être expliquée en partie par le fait que ces organes assurent un rôle de stockage d'eau, de cette plante xérophytique adaptée aux régions arides et semi-arides. (**Murillo-Amador et al., 2002; Mulas et al., 2004; Gungor et Sengul, 2008**).

Le taux de cendre enregistré pour nos cladodes, a une valeur de $18,40 \pm 0,5\%$ par rapport à la matière sèche. Ce résultat est proche du taux de 12,00 à 15,49% observé par **Hadj Sadok et al., (2008)**, mais il reste sans doute très inférieur par rapport à celui trouvé par **Nefzaoui et al. en 1995**, qui est de 28% pour les cladodes d'*Opuntia ficus indica* de la région aride de Tunisie.

La teneur en cendres est une mesure de la totalité de minéraux présente dans la partie analysée. Elle varie selon les facteurs environnementaux comme le sol et le climat, comme elle peut être modifiée suivant les facteurs génétiques (**Athamena, 2009; Gaouar, 2011**).

V.1.2. Le pH et l'acidité titrable:

La détermination du PH nous informe sur l'évolution de l'acidité du milieu, alors que l'acidité titrable nous renseigne sur la quantité en acides organiques présente dans l'échantillon (**Ould El Hadj et al. 2003; Farhoum, 2010**).

Les jeunes cladodes que nous avons étudié avec leur pH de l'ordre de 4.05 ± 0.31 , sont plus acide que ceux analysés par **Hadj Sadouk; (2008)** et **Boutakiout (2015)** dont les valeurs étaient égales à 4.62 et 4.7, respectivement.

Par contre, nous avons noté une acidité titrable similaire à celle trouvée par **Hadj Sadok et al., (2008)**, **Dehbi et al., (2013)** et **Stintzing et Carle, (2005)**. Nous enregistrons une valeur de $0,44 \pm 1,18\%$ pour notre échantillon contre leurs valeurs respectives de 0,44 % 0,49% et 0,45%.

Les acides organiques sont, en général des intermédiaires des processus métaboliques, les cladodes connaissent une tendance à l'acidification en cours de croissance, contrairement à celle des fruits en cours de maturation (**Sawaya et al, 1983**). La variation de l'acidité est due à la différence dans les procédures d'estimation, les conditions climatiques et au processus de maturation (**Baaziz et al ; 2005**).

Selon **Hadj Sadouk; (2008)**, ces cladodes légèrement acides à ce stade de croissance, paraissent appropriées pour une utilisation alimentaire et culinaire. Globalement, l'acidité de ces nopales influencent directement la croissance des micro-organismes, et affectent, en effet, la qualité de conservation des produits. Elle influe, entre autre sur leurs propriétés sensorielles (**Jadhav et Andrew, 1997; Siebert, 1999; Al-Farsi et al., 2005**)

V.1.3. Conductivité et solides solubles (degré brix):

La valeur estimée est $382 \pm 2,01 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Selon **Rodier, (1997)**, la conductivité électrique est influencée par le pH de la solution, la valence des ions et le degré d'ionisation.

Quant au pourcentage des solides solubles des jeunes cladodes est apprécié par un degré Brix° équivalent à $4.80 \pm 0,55$; une teneur proche de l'intervalle de 5,1 à 11 cité par **Boutakiout (2015)**

Les solides solubles représentent l'ensemble de tous les solides dissous dans l'eau, incluant les sucres, les sels, les protéines et les acides carboxyliques. Les différents paramètres qui peuvent influencer cette grandeur sont le climat, la nature du sol et le processus de maturation des fruits (**Messaïd, 2008**).

V.2. Les caractéristiques biochimiques:

Les paramètres biochimiques sont donnés par le tableau ci-dessous:

Tableau 06: récapitulatif des résultats de la caractérisation biochimiques.

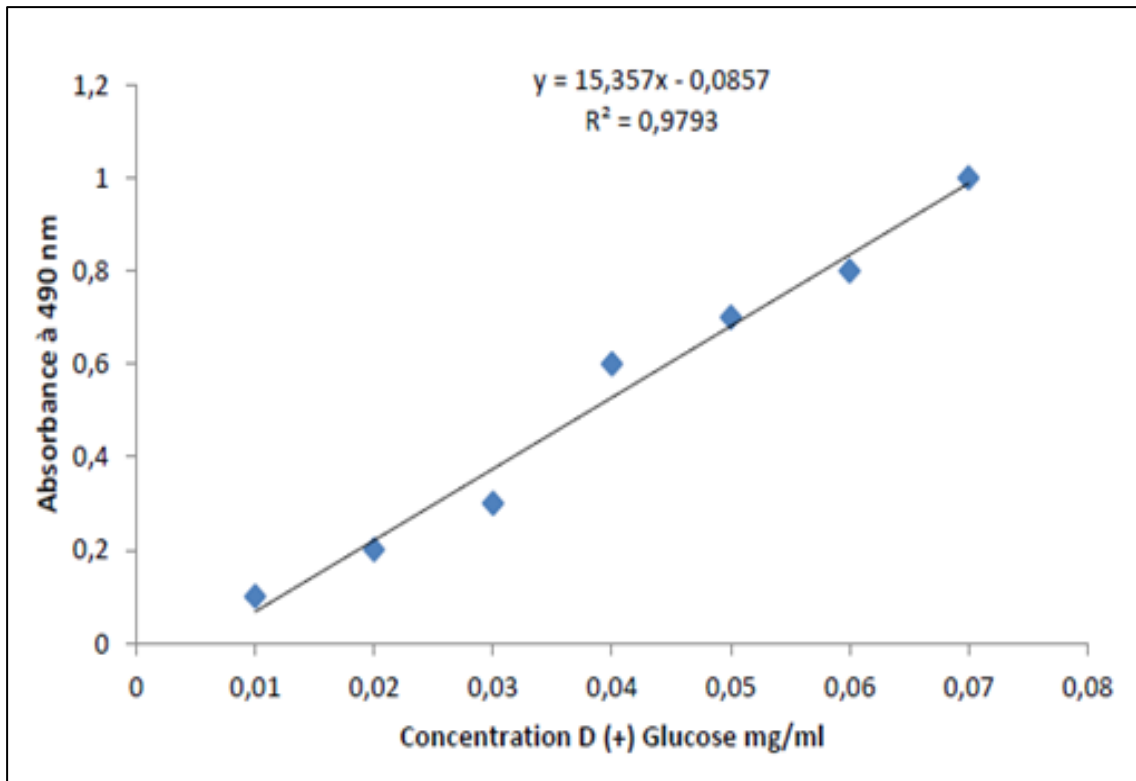
| Paramètre | Sucres | Protéines | Lipides | Fibres brutes | Pectines | Vitamine C |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| Teneur | $0.5 \pm 0,22\%$ | $0.24 \pm 0,49\%$ | $3,4 \pm 0,92\%$ | $9.14 \pm 0,3\%$ | $1,69 \pm 0,65\%$ | $7,04 \pm 0,30$ |
| | MS | MS | MS | MS | MF | mg/100ml |

V.2.1. Les sucres totaux:

Nos résultats montrent que la teneur en sucre totaux chez les raquettes d'*Opuntia ficus indica* est égale à $0.5 \pm 0,22\%$, ce qui est en contradiction avec le résultat rapporté par **Hadj Sadok et al. (2008)**. Ce dernier a obtenu un taux de 1,66% pour le même stade de croissance, et confirme une richesse des jeunes cladodes inermes d'*Opuntia ficus indica* en sucres totaux.

Cependant, la teneur reportée par **Boutakiout, (2015)** varie entre $1,45 \pm 0,03$ et $0,66 \pm 0,01$ g /100 ml de jus, et atteint 0,32 g /100 g selon **Munoz et al., (1995)**.

En effet, les cladodes sont un aliment faible en calories avec 27 kcal /100 g (**Stintzing et Carle, 2005**)



V.2.2. Les protéines totales:

La valeur obtenue pour les protéines est de $0,24 \pm 0,49$ g, elle est adéquate aux résultats de **Boutakiout, (2015)**, qui varie de 0,18 à 0,50 g /100 ml de jus, et comprise dans

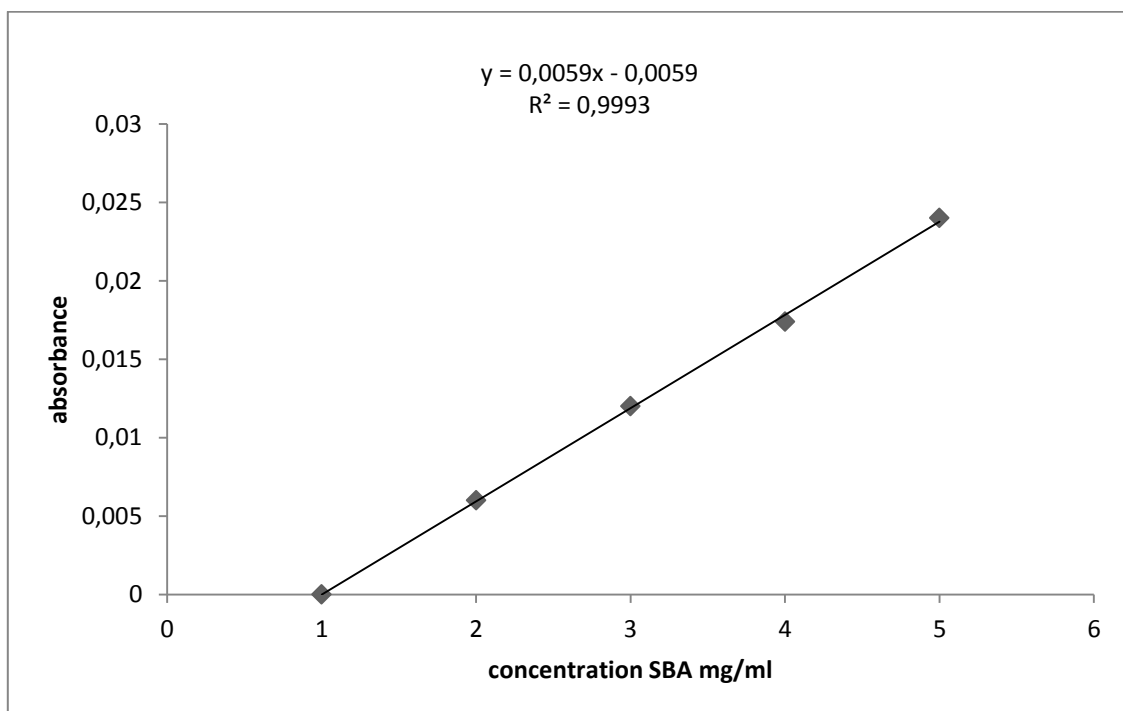


Figure 14: La courbe d'étalonnage du sérum bovine albumine

l'intervalle 0,1 à 1 g/100 g rapporté par **Stintzing et Carle, (2005)** pour les cladodes du figuier de Barbarie.

La richesse en protéines est régie par la fertilisation azotée et l'âge des cladodes (**Pimienta-Barrios et al., 1994; Stintzing et Carle, 2005**)

V.2.3. Lipides:

Les lipides sont un ensemble hétérogène dont la structure chimique et les propriétés physico-chimiques sont très différents, contrairement aux autres familles biogènes comme les protéines ou les sucres (**Ndounga et al ; 1997**).

Les analyses montrent que le contenu des cladodes en lipides atteint le $0,34\pm 0,77$ g, aboutissant à un pourcentage de $3,4\pm 0,92\%$ de la matière sèche. Des quantités analogues à celles de **Stintzing et Carle, (2005)** qui s'étendent de 1 à 4% de la matière sèche. Quoique, **Angulo-Bejarano, (2015)**, a obtenu 0.2% pour les cladodes de la même espèce *Opuntia ficus Indica*.

Plusieurs paramètres influent sur le taux de lipides comme la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée (**Gaouar ,2011**).

V.2.4. Fibres brutes (cellulose brute) :

Les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques d'origine végétale, associées ou non, dans la plante, à la lignine ou à d'autres constituants non glucidiques (polyphénols, cires, saponosides, phytostérols...) (**AFSSA, 2008**).

En ce qui concerne la cellulose Weende ou fibres brutes, nos échantillons renferment un taux de $9.14\pm 0,3\%$, assez conforme aux données de **Hadj Sadouk, (2008)** et **Nefzaoui et al., (1991)** qui sont de 8,84 à 11.62g/100g de MS.

D'après **Ramlu et Rao (2003)**, la teneur en fibres est modulée par la localisation géographique, la constitution génétique, l'état du sol, les conditions agronomiques et climatiques de la culture, mais aussi par la méthode de dosage utilisée.

Du point de vue nutritionnel, les fibres alimentaires ont plusieurs effets bénéfiques sur la santé, notamment l'augmentation du bol fécal, la diminution de la cholestérolémie et du taux de LDL (Lipoprotéine de basse densité) plasmatique et la diminution de la glycémie et de l'insulinémie post- prandiale (**Bruneton, 1999**).

V.2.5. Les pectines :

Les substances pectiques sont des macromolécules de nature glucidique, d'origines exclusivement végétales. Ce sont des colloïdes qui forment des pseudo-solutions faiblement visqueuses (**Jeantet et al. 2006**). La pectine est une composante de la fibre soluble ayant des applications technologiques intéressantes dans la gélification (**Roger, 2003**).

Le contenu total en pectine a atteint un pourcentage de $1,69 \pm 0,65\%$ pour un résultat de $0,33 \pm 1,21\text{g}$. Nous pouvons le comparer avec le 0,10 à 2,25% de **Boutakiout, (2015)**.

Cette différence peut être due aux conditions de culture, et à la période de récolte mais aussi à la méthode de dosage utilisée (**Ancos et al., 2000; Amellal, 2008**)

V.2.6. La vitamine C:

La proportion de la vitamine C touche les $7,04 \pm 0,30\text{ mg}/100\text{ml}$. Il a été reporté que pour les cladodes du figuier de Barbarie, la teneur moyenne en acide ascorbique varie entre 7 et 22 mg /100mL (**Stintzing et Carle, 2005**). Par ailleurs, selon **De Kock, (1965)** et **Felker, (1995)** la teneur en vitamine C est en général de 10mg/100g et peut atteindre jusqu'à 30 mg.

La teneur en vitamine C des cladodes atteint un chiffre comparable aux fruits et légumes de large consommation (**Hadj sadok, 2008**)

V.2.7. Les pigments:

La teneur en pigments (chlorophylles et caroténoïdes) est détaillée dans le tableau ci-dessous:

Tableau 07: teneur des chlorophylles et caroténoïdes.

| Pigment | Chlorophylle A | Chlorophylle B | Totale caroténoïde |
|-------------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Teneur (mg /100g PF) | $0,322 \pm 0,34$ | $0,131 \pm 0,69$ | $0,065 \pm 0,76$ |

La fraction chlorophyllienne est estimée à $0,322 \pm 0,34\text{ mg}/100\text{g PF}$ et $0,131 \pm 0,69\text{ mg}/100\text{g PF}$ pour la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b). Par conséquence, la quantité totale se situe aux alentours de $0,453\text{ mg}/100\text{g PF}$ pour être incluse entre $0,347\text{mg}$ et $0,432\text{mg}/100\text{g PF}$; la teneur mentionnée par **Hadj Sadouk, (2008)**.

La chlorophylle dont les dérivés ont un rôle préventif du cancer, s'accroît en teneur avec l'âge des cladodes et au début de la fructification, suite à l'intensification de l'activité métabolique aboutissant aux sucres (mucilages) (**Chernomorsky,1999; Hadj Sadouk, 2008**).

Pour les caroténoïdes, notre valeur ($0,065 \pm 0,76$ mg /100gPF) est en accord avec celles de **Hadj sadouk, (2008)** auxquelles il y a une augmentation durant la croissance de ($0,047$ mg à $0,077$ mg pour 100g PF).

Cette hausse est faible mais reste plus élevée comparée à celle observée par **Rodriguez-Felix et Cantwell, (1988)** au Mexique, elle est cependant proche de celles des autres légumes, avec $0,01$ à 9 mg pour 100g PF (**Tirilly et Bourgeois, 1999**)

V.2.8. Les minéraux:

Les résultats de la quantification des minéraux sont unis dans le **Tableau 07**:

Tableau 08: les proportions des principaux minéraux des jeunes cladodes

| Minéral | Ca ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| Taux (% par MS) | $13.04 \pm 1,21$ | $1.07 \pm 0,85$ | $1.108 \pm 0,43$ |

L'analyse de la composition minérale met en évidence la prédominance du calcium (Ca²⁺) pour un taux égal à $13.04 \pm 1,21\%$, supérieur tout de même à l'intervalle variant de $5,18$ à $7,27\%$ donné par les travaux de **Hadj sadok, (2008)**, auxquels la dominance remarquée pour le calcium comparé aux autres minéraux, est en concordance avec nos résultats.

La teneur en calcium est, quelque soit le stade de croissance, plus élevée que celle trouvée dans les épinards et la carotte (**Tirilly et Bourgeois, 1999; Répertoire générale des aliments, 1996**).

La teneur en potassium (K⁺) vaut $1.07 \pm 0,85\%$ de la MS, une teneur incluse dans l'étendu $1,66$ à $2,75\%$ cité par **Hadj sadok, (2008)**. On observe aussi une faible teneur en (Na⁺), $1.108 \pm 0,43\%$, ce qui est en entente avec les résultats du même auteur ($0,043$ à $0,079\%$).

Par conséquent, le jus de cladode contient une quantité considérable en Ca, mais pauvre en Na et K. Encore une fois, ces valeurs doivent être considérées comme approximatives puisque les teneurs en minéraux varient avec les espèces, le site de culture et l'état physiologique du tissu de cladode (**Stintzing et Carle, 2005**). Il est à noter que le calcium joue un rôle crucial dans la rétention d'eau des tissus succulents (**Stintzing et Carle, 2005**).

V.3. Les caractéristiques phytochimiques:

Le **Tableau 08** représente les caractéristiques phytochimiques des cladodes.

Tableau 09: caractéristiques phytochimiques des cladodes.

| Paramètre | Polyphénol totaux (mg EAG /100g) | Flavonoïdes (mg EQ /100g) | Tanins condensés (mg EAT/100g) | Tanins hydrosolubles (mg EAT /100g) |
|---------------|--|------------------------------|--------------------------------------|---|
| Teneur | 192±1,01 | 2,02±0,80 | 17,2±0,63 | 6,4±1,13 |

Avec:

mg EAG/100g : mg d'équivalent d'acide gallique

mg EQ /100G: mg d'équivalent de quercétine

mg EAT/100g: mg d'équivalent de l'acide tannique

V.3.1. Les polyphénols totaux:

Le dosage des polyphénols totaux des extraits de jeunes raquettes d'*Opuntia ficus indica* a été estimé à une valeur de 192±1,01 mg EAG /100g d'extrait sec.

La valeur de ces composés connus pour leur rôle antioxydant, varie d'une étude à l'autre: de 41,6 à 23,4 mg /100g de cladodes fraîches (**Hadj Sadouk, 2008**), à 45,6-52,6mg EAG/100ml de jus (**Boutakiout, 2015**), en passant par 218,8 mg EAG /100g (**Angulo et al., 2014**).

Les composés phénoliques pourraient permettre de prévenir de nombreuses pathologies comme les cancers, les maladies dégénérative et cardiovasculaires (**Bravo, 1998; Pagana et al, 1999**).

Des études faites par **Aganga et Mosase, (2003)**, **Pedneault et al., (2001)** et **Giddey, (1982)** ont montré que les facteurs extrinsèques (géographiques et climatiques), les facteurs génétiques, mais également le degré de maturation de la plante et la durée de stockage ont une forte influence sur le contenu en polyphénols

V.3.2. Les flavonoïdes:

On rapporte une dose de flavonoïdes allant à 2,02±0,80 mg EQ/100g. Il faut tenir compte que la teneur en flavonoïdes dans la pulpe du figuier de barbarie est de 0,98 ± 3,0 mg/100g (**Kuti, 2004**)

La variation de la teneur en flavonoïde est associée avec le type de cultivar, les méthodes d'extraction et de dosage, et les conditions environnementaux. (**Maataoui et al ; 2006**).

V.3.3. Les tanins condensés et les tanins hydrosolubles:

Nous apprécions une valeur de (17,2±0,63 mg EAT/100g) pour les tanins condensés, et un taux de (6,4±1,13 mg EAT /100g) pour les tanins hydrosolubles. La richesse en tanins condensés comparés aux tanins hydrosolubles est signalé par **Boutakiout, (2015)** où le jus des cladodes est plus riche en tanins condensés (18, 23 ± 0, 36 mg / 100 mL) qu'aux tanins hydrosolubles (1,36 ± 0,15 mg /100 mL). Les tanins condensés représentent 6,45 à 6.93 mg/100g de matières fraîches (**Hadj Sadouk, 2008**)

Les tanins sont responsables de l'astringence de certains fruits et boissons (**Tirilly et Bourgeois, 1999; Scalbert et Williamson, 2000**). Leur taux dans la plante dépend de deux facteurs principaux : le stade de développement végétatif et les conditions environnementales. Leur concentration varie considérablement entre les différentes espèces végétales et au sein de la même espèce où elle dépend du degré de maturité, de l'âge des feuilles, des fleurs et de la saison (**Skadhauge B et al. 1997**).

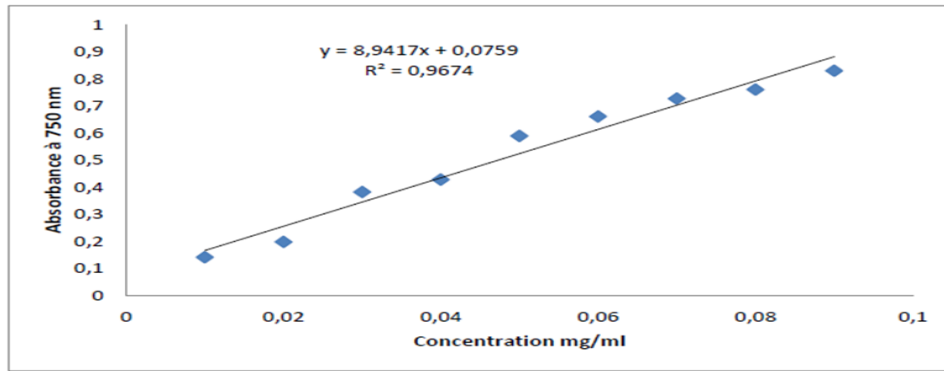


Figure 16: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

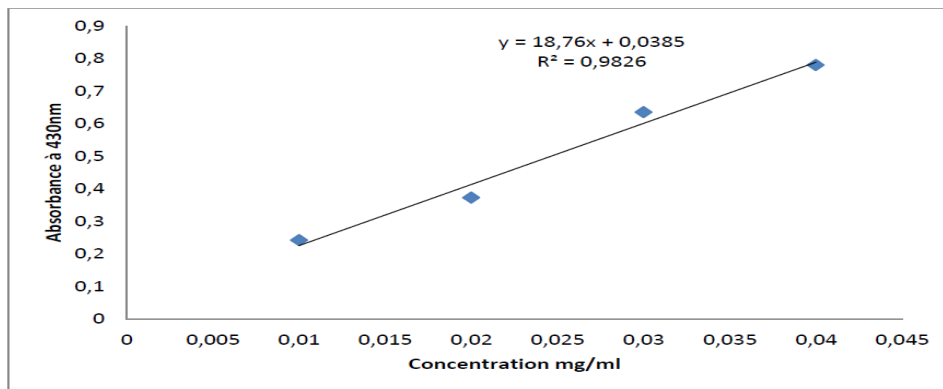


Figure 17 : Courbe d'étalonnage de la quercitine

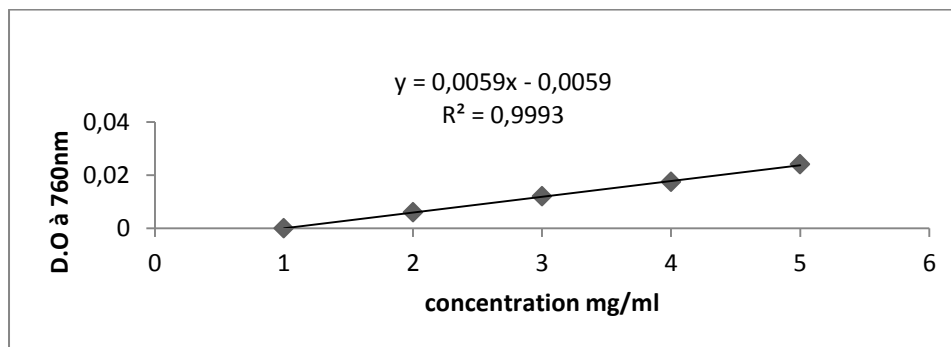


Figure 18: courbe d'étalonnage de l'acide tannique pour dosage des tannins condensés.

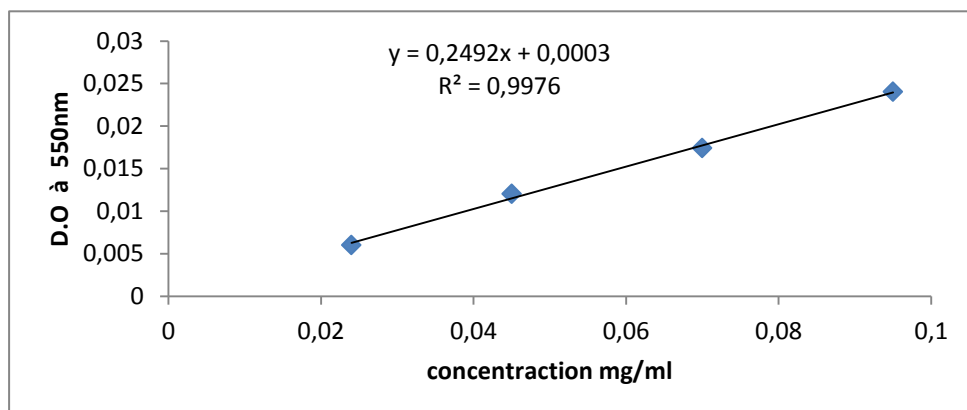


Figure 19: courbe d'étalonnage de l'acide tannique pour dosage des tannins hydrosolubles.

Conclusion générale

Conclusion

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) est une plante vasculaire peu exigeante et capable de se développer dans les conditions d'aridités extrêmes et de marginalité absolue.

En Algérie, l'exploitation de cette source de richesse fournit une véritable valeur ajoutée, et ce n'est pas fortuit s'il constituerait un créneau d'investissement à part entière pour révolutionner le secteur agricole du pays.

Les travaux réalisés dans ce mémoire, déverse dans le cadre d'une réhabilitation alimentaire interférant avec une revalorisation thérapeutique de ce cactus, dont l'éclat de son image assombrie par la négligence, passe tout d'abord par la détermination de ses propriétés physico-chimiques, et l'exploration de ses qualités biochimiques et phyto-chimiques.

L'ensemble des résultats montre des valeurs appréciables en protéines, fibres brutes insolubles et fibres solubles pectiques, avec des taux considérables en vitamine C et en calcium, sans négliger la richesse en métabolites secondaires et en pigments chlorophylliens et caroténoïdes.

Néanmoins, cette partie végétale renferme des taux mineurs en lipides et en sucres, tout en gardant une humidité assez élevée; une spécificité de composition biochimique exceptionnelle, pour un aliment diététique probable, doué d'une faible densité calorique et muni d'une gamme de biomolécules anti-radicalaire, hypoglycémiant et hypocholestérolimiant rassemblées rarement dans un seul arsenal de polyvalence irréprochable.

Ce capital constitutionnel est enrobé dans une structure guère fibreuse, tendre et modérément acidulé, pour être agréablement appréciée par le consommateur, laissant la porte grand ouverte vers la possibilité d'une utilisation alimentaire et culinaire, voir même curative et pharmaceutique. Cette utilisation reste toutefois tributaire de la vulgarisation pour convaincre et faire admettre ce "légume" dans les habitudes alimentaires.

En perspective, nous pouvons envisager de:

- Etablir une base de données plus développée par des analyses plus sophistiquées (HPLC, SAA....) sur les classes de métabolites secondaires des jeunes cladodes algériens.

Approfondir, par des tests sur les propriétés biologiques de ces classes de molécules les connaissances sur les vertus thérapeutiques des jeunes raquettes de cette plante succulante.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

A.A. Aganga et K.W. Mosase. Tannins content, nutritive value and dry matter digestibility of *Lonchocarpus capassa*, *Ziziphus mucronata*, *Sclerocarya birrea*, *Kirkia acuminata* and *Rhus lancea* seeds. *Animal Feed Science and Technology*. 91 (2003) 107-113.

Abdessemed .D, Nezari .M, Mohamed Hadj .A. R, Abdessemed .DJ, Bahadi .F et Halitim. A ;(2014) : Emulsifying effect of pectin from *Opuntia ficusindica* Cladode. Vol .6(12):198-201.

Abidi S., Ben Salem H., Vasta V., Priolo, A. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.*, 2009, 87, 9–16.

AFSSA. Table CIQUAL. Composition nutritionnelle des aliments. (2008).

Ahuja, M. R., & Ramawat, K. G. (2014). Biotechnology and biodiversity. Edition *Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London*, p 216.

Alkurd, A., Hamed, T. R., & Al-Sayyed, H. (2008).Tannin contents of selected plants used in Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, **4**, 265 – 274.

Amale Boutakiout. Etude physico-chimique, biochimique et stabilit_e d'un nouveau produit jus de cladode du _guier de Barbarie marocain (*Opuntia _cus-indica* et *Opuntia megacantha*).. Agronomie. Universit_e d'Angers, 2015. Fran_cais. < NNT : 2015ANGE0004.

Amlan, K., & Jyotisna, P. S. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, **71**, 1198 – 1222.

Anderson E. F.The Cactus Family, TimberPress, Portland, 2001, p. 15–72.

Ali N.A.A., Julish W.D., Kusunick C., Lindesquist U., 2001. Screening of yamanimedical plant for antibacterial and cytotoxicactivities. *Journal of Ethnopharmacology*. Pp173-179.

Arba. M ; (2009) : Le cactus opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc Rabat. Maroc. Pp14-16.

Aeba. M ;(2000). Les Opuntias à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. Dans 2ème journée nationale sur la culture du cactus. 2000. El Kelaa Des raghna Maroc.p73.

Arif T., Bhosale J.D., Kumar N., Mandal T.K., Bendre R.S., Lavekar S., Dabur R. 2009. Natural products-antifungal agents derived from plants. *J Asian Nat Prod Res.* Pp 626-638.

Athamena, S.(2009). Etude quantitative des flavonoïdes des grains *Cuminum Cyminum* et les feuilles de *Rosemarinus officinalis* et l'évaluation de l'activité biologique. Thèse de magister en biologie appliqué. Université de Batna .p88.

Angulo- Bejarano, P.I ,Martinez-Cruz,O AND Paradez-Lopez,O.(2014). Phytochemical content, Nutraceutical Potential and Biotechnological Application of an Ancient Mexican Plant :Nopal (*Opuntia ficus indica*).Pp 196-217.

Ancos B , Gonzalez ,E ,M ; Cano,M.P.(2000). Ellagic acid ,Vitamin c and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit . *Journal of agriculture and food chemistry* , 48(10) :4565-4570.

Audigie. C, Figarella. J et Zonszain .F ; (1978). : Manipulation d'analyse biochimique. Doin Edition, Paris. P 247.

(AOAC ,2000). Official Methods of Analyses. 17 Ed. Maryland USA. 360 p.

(AOAC ,1995). Official Methods of Analyses. 17 Ed. Maryland USA. 83 p.

B

Barbera. G, Carimi .F, et Inglese. P; (1992): Past and role of the Indian-fig pricklypear (*Opuntia ficus-indica*(L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany.* pp 10-20.

Bahorun T., Grinier B., Trotin F., Brunet G., Pin T., Luncky M., Vasseur J., Cazin M., Cazin C., Pinkas M., 1996. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from Hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Journal of Arzneimittel-Forschung.* Pp1086-1089.

Ben-Thlija, A. Nutritional value of several *Opuntia* species. Master Thesis, Oregon State University, Corvallis/USA, 1987; cit. in: Nefzaoui, A., Ben Salem, H., Forage, fodder, and animal nutrition, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 2002, p. 199–210.

Ben Salem .H, Nefzaoui .A, et Ben Salem .L ;(2002): Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or old man salt bush (*Atriplex nummularia* L.). Effects on intake, digestion and sheep growth. *J. Agric. Sci. Camb.* Pp85-92.

Baaziz,M ;Khales,A(2005). Quantitative and qualitative aspects of peroxidases extracted from cladode of *Opuntia ficus indica* Pp209-218.

Beret A., Cazenave J.P., 1991. Old and new natural products as the source of modern antithrombotic drugs. *Planta Med.* Pp68-72.

Bravo L., 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews.* Pp317-333.

Bruneton J., 1999. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition. France : Tech & Doc – Lavoisier.

Bruneton, J. (2009). Pharmacognosie: Phytochimie, Plantes médicinales. 4ème édition. Edition *Lavoisier Tec & Doc. Médicales Internationales, Paris*, p 261 , 308 , 571.

Bou-Idra. M, ED-DRA .A, Rhazi Filali. F et Bentayeba ;(2015) : Chemical characteristics of the cladodes juice of *Opuntia ficus indica* harvested Zerhoun (Morocco) and its effect on the growth of lactic bacteria. vol. 7(8):337-343.

Boutakiout , A ; Elothamani ; D ,Mahrouz, M ;Hanine,H. (2015). Phytochemical constituent and in vitro radical scavenging Activity of different cladode juice of cactacea cultivars from different areas in Morocco. *International Journal Of Technology and Emergin EGINEERING Research Vol 3, Issue 01 Issn 2347-4289.*

Buggey L.A. A review of polyphenolic antioxidants in hops, brewing and beer. *The brewer international*, 2001, 4, 21-25.

C

Cantwell M., 1991. Quality and postharvest physiology of napolitos and tunas. *Proc. Second annual Texas prickly pear conferences Mc Allen. Texas :* 50-66p.

Cazes, J. (2005). Encyclopedia of chromatograph. Second Edition. Edition *Taylor & Francis*, p 1250.

Cazes, J. (2001). Encyclopedia of Chromatography (Print). Edition *Marcel Dekker*, p 206.

C. Giddey. Les produits à humidité intermédiaire : Cas particulier du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire .Ed. *APRIA. Paris. 1982.* pp : 21-28.

Chernomorsky S., Segelman A and Poretez R, 1999 .Effect of Dietary Chlorophyll Derivatives on Mutagenesis and Tumor Cell Growth. *Teratogenesis, Carcinogenesis, and Mutagenesis.*, 79 : 313-322

Chira, K., Suh, j. H., Saucier, C., & Teissédre, P. L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6 ,75 – 82.

Chiteva.R et Wairagu.N ;(2013) : Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica*(L.).vol.12(21), pp.3309-3312.

Collin, S., & Crouzet, J. (2011). Polyphénols et procédés. *Edition Lavoisier TEC & DOC*, p 5 , 13 , 16 , 235.

Collin S., Crouzet J. Polyphénols et procédés: Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Agence universitaire de la francophonie, Edition Lavoisier, 2011, p.1-300.

Costa, M. A., Xia, Z. Q., Davin, L. B., & Lewis, N. G. (1999). Toward Engineering the Metabolic Pathways of Cancer-Preventing Lignans in Cereal Grains and Other Crops. Edition Springer. *Recent Advances in Phytochemistry*, **33**, 67 – 87.

Cowan M.M., 1999. Plants products as antimicrobialactivity. *ClinicalMicrobiologyReviews*. Pp 564-582.

D

Daglia, M., 2012.Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*. Pp174-181.

D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann. Ist. Super Sanità*, **43** (4), 348 – 361.

Dehbi, Fatima ; Hassib,A.Tilaoui ,Mounir,ElBatalle ,H ;ZAKIL ,Ouatmane ,Abdelmajid (2013). Bioactive constituentsantioxidant and in vitro cancer celleytotoxicity of Morrocanpricklypear (opunta ficus indica L.) juices .*Journal OF Natural Science Research* Vol.3.No14.ISSN 2224-3186.

Descheemaeker, K., & Provoost , C .(1999). L'impacte de la nutrition sur la santé, dveloppements rcebt-1. Edition. *Louvin-Garant*, p 95.

De Kock G.C., 1965 Manejo y utilizacion del nopal sin espinas. En congreso Internacional de pasturas.90 Anales Sao Paulo, Brazil ,2:147.

Di Carlo G., Mascolo N., Izzo A.A., 1999.Flavonoids: old and new aspects of a class of naturaltherapeuticdrugs. *Life Sci*. PP 337-53.

Dr. LahcenKENNY ,Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Agadir.

Droge, K . S. (2002). Free radicals in physiological control of cell fuction. *Physiol.Rev*, **82**, 47 –95.

Dubois M., Gilles K., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 1965, 28, 350-356

E

- Edeas, M. (2007).** Les polyphenols et les polyphenols de thé. *Phytothérapie*, **5**, 264 – 270.
- Edardes, J. P. (2008).** Coumarin Anticoagulant Research Progress. Edition *Nova Biomedical Books*, p 100.
- El Gharras H., 2009.** Polyphenols: Food sources, properties and applications - A review. *International Journal of Food Science and Technology*. Pp 2512-2518.
- El Finti .A, El Boulani .R, El Ayadi. F, Ait Aabd. N et El Mousadik. A ;(2012) :** Micropropagation in vitro of *Opuntia Ficus-Indica* in south of Morocco. *IJCBS*, 1 p 6-10.
- El-Mostafa. K, El Kharrassi. Y, Badreddine. A, Reoletti .P, Vameco. J, El Kebbraj. M’hammed S., Latruffe. N, Gerard L, Boubker .N et CHERKAOUI-MALIKI .M ;(2014) :** Nopal Cactus (*Opuntia ficusindica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease
Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease ; *Molecules* **19**, 14879-14901.
- Erlund I., 2004.** Review of the flavonoids quercetin, hesperetin, and naringenin. Dietary sources, bioactivities, bioavailability and epidemiology. *NutrRes*. Pp851-874.

F

- FAO., (1971)** "Techniques de développement pastoral", vol.3, plantation d'arbustes fourragers, projet FAO Tun. 71/540, Ariana -Tunisie (1971), 17p.
- Farhoum,F.(2010).** Analyse physico – chimique de la propolis local selon les étages bioclimatiques et les deux race d’abeilles locales (*apis mellificaintermissa* et *apis mellificasahariensis*). Thèse de magister en Technologie Alimentaire. Université M’hamedBougara –Boumerdés,122p
- Felker B., (1995).** Résultats d'un essai sur l'alimentation du mouton en période de disette fourragère au centre d'Oussetta. Tunis , FAO. Projet TUN/176P.
- Fernandez M.L., Trejo A., Mc Namara D.J.** Pectin isolated From Prickly pear (*Opuntia* sp) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J. Nutr.*, 1990, **120**, 1283-1290.
- Fraga, C. J., & Oteiza, P. I. (2011).** Dietary flavonoides : Role of (-) – epicatechin and related procyanidins in cell signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, **51**, 813 – 823.
- Frati A.C., Gordillo B.E., Altamirano P., Ariza C.R.** Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in non-insulin-dependent diabetes. *Diabetes Care*, 1988, **11**, 63-66

G

Galatie E. M, Monfort.M.T, Tripodo .M.M, D'aqinao et

Mondello. M.R; (2001) : Antiulceractivity of *Opuntia ficus indica*(L.) Mill.

(Cactaceae): ultrastructuralstudy. *Journal of Ethnopharmacology* 76 (2001) 1–9.

Gazengel, J. M., & Orecchioni, A. M. (2013). Le préparateur en pharmacie, Guide théorique et pratique. 2^{ème} édition. Edition *Lavoisier TEC & DOC, Paris*, p 1174.

Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2001). Flavonoids and phenolic acids: role and biochemical activity in plants and human . *Journal of Medicine Plants Research*, **5** (31), 6697– 6703.

Ghazi. Z, Ramdani. M, Fauconnier. M. L, El Mahi et Cheikh .R;(2013) :

FattyacidsSterols and Vitamin E composition of seedoil of *Opuntia Ficus Indica*and

*Opuntia Dilleniifrom*Morocco. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (6) p 967-972.

G . Celikel , L. Demirsoy et H. Demirsoy . The strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) selection in Turkey. *Scientia Horticulturae* .118 (2008) 115–119.

Ghedira K., 2005. Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*. Pp162-169.

Gilani, G. S., & Anderson, J. J. B. (2002). Phytoestrogens and health. Edition *Aocs Press*, p 405.

Ginestra G., Parker M.L., Bennett R.N., Robertson J., Mandalari G.,

Narbard A., Lo Curto R.B., Bisignano G., Faulds C.B., Waldron

K.W. Anatomical, chemical, and biochemical Characterization of cladodes from Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *J. Agric. Food. Chem.* 2009, **57**, 10323-10330.

Goldstein G., Andrade L., Nobel P. Differences in Water Relations

Parameters from the Chlorenchyma and the Parenchyma of the *Opuntia ficusindica* under Wet versus Dry Conditions. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 1991, **18**(2), 95-107.

Gongbo, L., Stacey, T., & Jeremy, J. J. (2013). Polyphenols from the mangosteen (*Garcinia mangostana*) fruit for breast and prostate cancer. *Frontiers in pharmacologie*, **4** (80), 1 – 4.

Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of The Nutrition Society*, **62**, 279 – 290.

Grifith. P et Portery. M (2009): Phylogeny of opuntioideae (cactaceae). *Int. J.*

Plant Sci. 170(1): p 107–116.

Guignard J.L., 1996. Biochimie végétale. Masson, Paris. France.

Guzman. U, Arias. S, Davila. P, Reyes-Aguero J.A, Aguirre J.R et

Valiente-Banuet. A ;(2003) : Reproductive biology of *Opuntia* : A review. *Journal of Arid Environments*. Pp549-589.

Gaouar,N. (2011). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algérienne. Thèse de magistère en Nutrition. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen, 95p

Gungor ,N ;Sengul,M.(2008) Antioxidant activity. Total phenolic content and selected physicochemical properties of white mulberry (*Morus alba* L) fruit .*International journal of food properties*.11 :44-52.

GomezCaravaca, AM., Gomez-Romero, M., Arraéz-Román, D., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A., (2006). Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *Journal of pharmacology biomedical Analytic*. 41:1220-1234.

H

Hadoj Sadok T. 1, Aid F. 2, Bellal M. 3, Maria Stela Abdul Hussain4 Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilité de valorisation alimentaire. *Agricultura – StiinŃă si practică*. P 39-48. 2008

Hanson J.R., 2003. *Natural Products : The secondary metabolites*. Royal Society of Chemistry.

Hartmann, T. (2007). From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, **68**, 2831 – 2846.

Hatano T., Kusuda M., Inada K., Ogawa T.O., Shiota S., Tsuchiya T., Yoshida T., 2005. Effects of tannins and related polyphenols on methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry*. Pp2047-2055.

Havsteen B.H., 2002. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol Therap*. Pp67- 202.

H. Amellal. Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement, sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat en Technologie Alimentaire .Université M'hamed Bougara. Boumédès .2008.127 p.

Hernandez-Urbiola M.I., Perez-Torrera E., Rodriguez-Garcia M.E. Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2011, 8, 1287-1295.

H. Messaid. Optimisation du processus d'immersion –réhydratation du système dates sèche- jus d'orange. Thèse de magistère en Génie Alimentaire .Université .M'hamed Bougara. Boumédès. 2008.74 p.

Hopkins, W. G. (2003). Physiologie végétale. 2ème édition. Edition de Boeck Université, p 268, 280.

I

Imran, M., Ahmad, N., Anjum, F. M., Kamran-Khan, M., Mushtaq, Z., Nadeem, M., & Hussain, S. (2015). Potentiel protective properties of flax lignin secoisolariciresinol diglucoside. *Nutrition journal*, **14**, 1 – 7.

J

Jarrige, R., Ruckebusch, Y., Demarquilly, C., Farce, M. H., & Journet, M. (1995). Nutrition des ruminants domestique: ingestion et digestion. Edition *Inra*, p 57.

Jeandet P., Douillet-Breuil A-C., Bessis R., Debord S., Sbaghi M., Adrian M. Phytoalexins from the vitaceae : biosynthesis, phytoalexin gene expression in transgenic plants, anti-fungal activity, and metabolism. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50**, 2731-2741.

J. Rodier (1997). L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer .8ème Ed. Dunod . France. 1997. pp : 57-65.

Joslyn MA. Tannins and related Phenolics. In *Methods in food analysis*, 1970, 701-725.

Jost, J. P., & Jost-Tse, Y. C. (2016). L'automédication chez les animaux dans la nature. Editions *connaissances & savoirs*, p 23.

Jeanet, R ;Croguennee ,T ,Shuck ,P ;brulé, G ;Coord,C.(2006). Science des aliment : biochimie, Microbiologie et Procédés Ed tec et doc Lavoisier Paris 453p

K

K. Pedneault, A. Leonharts, A. Gosselin, A. Ramputh et J.T. Arnason . Influence de la culture hydroponique de quelques plantes médicinales sur la croissance et la concentration en composés secondaires des organes végétaux. Texte de conférence. Canada. 2001. pp: 1-5.

Kening, Y., Vincenzo, D. L., & Normand, B. (1995). Création of a metabolic sink for tryptophan alters the phenylpropanoid pathway and the susceptibility of potato to *Phytophthora infestans*. *The Plant Cell*, **7**, 1787 – 1799.

Khan, M. T. H., & Ather, A. (2006). Lead molecular for natural products. First edition. Edition *Elsevier*, p 273.

K.J. Siebert . Modeling the flavor thresholds of organic acids in beer as function of their molecular properties. *Food Quality and Performance*. **10** (1999) 129-137.

Kuete, V. (2013). Medicinal plant research in Africa: Pharmacology and chemistry. 1ère édition .Edition *Elsevier Insights*, p 393 , 394.

Kuti J.O. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties.

Food Chemistry, 2004, 85, 527–533.

L

Lamb B. Le guide des cactus dans le monde. Delachaux et Niestlé, 1991, 2-144.

Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, **46**, 244 – 282.

Leuttge U. 1993. *New physiologist*. 125 (1) 59-71.

Lecoq. R. 1965. Manuel d'analyses alimentaire et expertises usuelles. Tom 1. Ed.Doin et Cie. Paris. 2185p.

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

Leray, C. (2010). Les lipides dans le monde vivant. Edition *Lavoisier TEC & DOC*, p 5.

Li H.B., Cheng K.W., Wong C.C., Fan K.W., chen F., Tian Y., 2007. Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fraction of selected microalgae. *Food Chemistry*. Pp771-776.

Linden G, 1981. Technique d'analyse et de contrôle dans les industrie agro-alimentaire. principe des technique d'analyse Vol2.

Lugasi, A., Hovari, J., Sagi, K. V., & Biro, L. (2003). The rol of antioxidant phytonutrients in the prevention of diseases. *Acta Biologica Szegediensis*, **47**, 119 – 125.

Lutts S, JM Kinet, J Bouharmont- plant Growth Regulation, 1996 – Springer.

Louis S., 2004. Diversité structural et d'activité biologique des Albumines sentomotoxiques de type 1b des légumineuses. Thèse de doctorat. Lyon, France. P259.

Lowrey O.H., Rosenbrough N.J. Farra A.L. Randall R.J. Protein measurement with the FolinPhenolreagent. *J. Biol. Chem.* 1951,193, 2665-275

M

Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C., 2005. Les composés phénoliques des végétaux. Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Suisse.

Malainine. M .E, Dufresne. A, Dupeyre D, Mahrouz. M, Vuong. R, et Vignon. M. R (2001) : Structure et morphologie des raquettes et des epines du figuier de barbarie. Phys. Chem. News 4 p126-130.

Maataoui,B.S ;Hmyenel , A et Hilali, S . (2006). Activities and radicalaires d'extraits de jus de fruits du figue de barbarie (opunta ficus indica) .Libanes science journal, vol, 7, No.1.

Martin, S., et Andriantsitohaina, R. (2002). Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de Cardiologie*, **51**, 304 – 315.

M. Al-Farsi, C. Alasalvar, A. Morris, M. Baron et F. Shahidi . Compositional and sensory characteristics of three native sun –dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 33 (2005) 7586 – 7591.

Merghem, R. (2009). Eléments de biochimie végétale. Editions *Bahaeddine Algérie*, p 111, 123.

Modolo L.V., Reichert A.I., Dixon R.A., 2009. Introduction to the Different Classes of Biosynthetic Enzymes. *Plant-derived Natural Products; Synthesis, Function, and Application*. London New York. Pp143-150.

Mofolorunso. A, Enigbokan, Tyrone .B, Felder et Thompson

.J ;(1996) : Hypoglycaemic Effects of *Opuntia ficus-indica* Mill., *Opuntia lindheimeri* Engelm and *Opuntia robusta* Wendl. in Streptozotocin-induced Diabetic Rats. VOL. 10, 379-382

Moure A., Cruz J.M., Franco D., Manuel Dominguez J., Sineiro J., Dominguez H., Nunez M.J., Carlos Parajo J., 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*. Pp145-171.

Mulas M., Mulas G. 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, 2004.

Munoz De Chavez M., Chavez A., Valles V., Roldan J. A. The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev. Nutr. Dietetics*, 1995, 77, 109–134.

Murillo-Amadore B., Troyo Diguez E., Nieto Garibay A., Aguilar Garcia M. El nopal: cultivo forrajero sostenible para el noroeste de Mexico. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, Mexico 2002.

N

Nature et Santé. Le figuier de barbarie et son huile. *Nature et Santé, Phytothérapie*, 2011, 40-42.

Nefzaoui Ali ;(2005) : International committee of fao international technical cooperation network on cactus (fao-cactusnet) .pp3-57.

Nefzaoui Ali, Nazareno Monica et El Mourid.M ;(2007) Review Of Medicinal Uses Of Cactus.pp 1-62.

Nefzaoui A et Bensalem,H. (1995). Ewe –lambs feeding with cactus based diets .Effect of the type nitrogen supplement .In international symposium in *Annales de zootechnie* .I NRAT ,pp425-430

Nerd A., (1991). In. Habibi Y., (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Faculté Sciences et Géographie (Grenoble 1) et Université Cadi Ayyad . Faculté des Sciences (Semlalia, Marrakech).

Ndounga, N ; Flinau ,M.A , Carrme, B . (1997). Activité antipaludique de l' extrait des feuilles de *Cassia spectabilis*. *Pharm.Med.Trad. Afr.* 9 : 109-121.

Nilesh R.K., Nitin B.M., Dipak S.S., Manisha M.R., Sanjay R.C. Extraction of pectin from citrus fruit peel and use as natural binder in paracetamol tablet. *Der Pharmacia Lettre*, 2012, 4 (2), 558-564.

Nielsen, S S. (1997). Food Analysis Laboratory Manuel. Ed. Kluwer Academic Plenum Publishers. New York. USA. 800p

O

O'connell, J. E., & Fox, P. F. (2001). Significance and application of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review .*international Dairy journal*, 11, 103 – 120.

Ong K.C., Khoo HE., 2000. Links Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats. *Life Sci.* Pp 1695-1705.

Ong K.C., Khoo H.E., 1997. Biological effects of myricetin. *GenPharmacol.* Pp 121126.

Orwa. C, Mutua. A, Kindt. R, Jamnadass. R, et Simons.A;(2009):AgroforestreeDatabase: atreereference and selection guide version 4.0.

Ouald El Hadj M.D ;HadjMahammed,M ;Zabeirou,H ; Chehma,A.(2003)

Importance de plante spontanée médicinale dans la pharmacopée traditionnelle de la région d'Ouargla (Sahara septentrional-Est Algérien) science technologie. 20 : 73-78

P

Pandey K.B., Rizvi S.I., 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. Pp 270-278.

Pagana G, Miller N, Rice-Evans CA (1999). The phenolic content of fruit and vegetable and their antioxidant activities. What does a serving constitute? *FREE RADICAL RES* 30 :153-162.

Pimienta-Barrios E. Prickly pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semiarid land of Mexico. *J. Arid Environ.*, 1994, 28, 1-11.

P. Ribereau –Gayon. Les composés phénoliques des végétaux .Ed. Dunod. Paris. 1968. 254 p.

Prior R.L., Lazarus S.A., CAO G., Muccitelli H., Hammerstone J.F.

Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberries (*vaccinium* spp.) using high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 1270-1276.

R

Rapport du Ministère De L'agriculture Et De La Pêche Maritime. Etude du marché national et international des produits issus du cactus (fruits frais, raquettes pour aliments de bétail, huiles) et l'exploration des opportunités offertes pour l'exportation. Midfac, 2010, p. 6-53.

Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E., Bouharmont. J., & Evrard, C. M. (2000). *Biologie végétale* .1ère édition. Edition de *Boeck Université, Paris*, p 32.

Redoyal L.M., Beltram M., Saicho R., Olmedo D.A., 2005. Bioorganic and medicinal chemistry Letters. *Fitoterapia*. Pp4447-4450.

Richard A., Dixon L. Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *The Plant Cell*, 1995, 7, 1085-1097.

Rijke, E., Out, P., Niessen, W. M. A., Ariese, F., Gooijer, C., & Brinkman, U. A. T. (2006). Analytical separation and detection methods for flavonoids. *Journal of Chromatography A*, **1112**, 31 – 63.

Ramlu,P ;Rao,P .U.(2003). Total in soluble and soluble dietaryfiber content of Indian fruit .Journal Of composition And Analysis, 16 :677-685.

Rsaissi. N, Bouhache .M et Bencharki .B ; (2013) : Potentiel allélopathique du figuier de barbarie « *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill » sur la germination et la croissance du jujubier « *Ziziphus lotus* (L.) Desf.» *International Journal of Innovation and Applied Studies*. pp. 205-214.

Retamal N. Duran J. M., Fernandez J. Seasonal variations of chemical composition in prickly pear (*Opuntia ficus-indica*(L.) Miller). *J. Sci.Food Agric.*, 1987, 38, 303–311.

Rodriguez E.M, Medina.M et Romero.C. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits.*Food chemistry* 103 : 38-45.

Rodriguez-Felix A. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta. Hort.*, 2002, 581,191–199.

Rodriguez-Felix A., Cantwell M. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos), *Plant. Foods Hum. Nutr.*, 1988, 38, 83-93.

Russel C.E., Felker P., 1987. The prickly pears (*Opuntia* spp, Cactaceae): A source of Human and Animal food in semiarid regions. *Economic botany*. Pp 433-445.

S

Sadok.H .T, Aid .F, Doumandji. Aet Bellal. M ;(2013) : Effet du jus de cladodes d'*Opuntia ficus indicasur* la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques. *Nature et Technologie*. Pp 17-29.

Saenz Carmen, 2006, Utilizacion agroindustrial del nopal *Bulletin des services Agricoles de la FAO* 162, Roma, pp.107-109109.

Samouelian, F., Gaudin, V., & Boccara, M. (2009). Génétique moléculaire des plantes. Edition *Quae*, p 21, 22.

Sarbojeet Jana ;(2012) : Nutraceutical and functionalproperties of cactus pear (*Opuntia spp.*) *Anditsutilization for food applications* .vol. 0976-7916

- Sartori-Thiel A., 2003.** Activités anti-microbiennes d'extraits végétaux enrichis en polyphénols. Science et Agronomie ED 380 Doctorat: 17
- Schauenberg P., Paris F., 2005.** Guide des plantes médicinales. Analyse, description et utilisation de 400 plantes. Ed. Delachaux et Niestlé.
- Scalbert, A. (1991).** Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, **30**, 3875 – 3883.
- Sepulveda E., Saenz C., Aliaga E., Aceituno C., 2007.** Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*. Pp534- 545.
- Shankar, S., & Srivastava, R. K. (2012).** Nutrition, diet and cancer. Edition *springer Dordrecht Heidelberg London New York London*, p 213.
- Sharma, S., Sheehy, T., Kollahdoz, F., & Barasi, M. (2015).** Nutrition at a Glance. Second Edition *Wiley Backwell*, p 162.
- Shipp, J., & Abdel-Aal, E. S. M. (2010).** Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *The Open Food Science Journal*, **44**, 7 – 22.
- S. J. Jadhav et W.T. Andrew.** Effets of cultivars and fertilizers on non-volatile organic acids in potato tubers. *Food Science and Technology Journal*.10 (1997) 13-21.
- Skadhauge B., GruberM.Y., Thomsen K.K., Von Wettstein D., 1997.** Leucocyanidinreductaseactivity and accumulation of proanthocyanidins in developinglegume tissue. *Am. J. Bot.* Pp494-503.
- SudzukiHills F. 1995.**Anatomy and morphology. 28-35, in : G.Barbera, P. Inglese and E. Pimienta-Barios (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant production and protection. Paper, 132.
- Schauenberg P., Paris F., 2005.** Guide des plantes médicinales. Analyse, description et utilisation de 400 plantes. Ed. Delachaux et Niestlé.
- Schweizer(1997) :** Aloe Plantes et Beauté ; p81.
- Stinzing. F.C et Carle. R,(2005):** Areview on theirchemistry, technology, an uses, *Mol. Nutr. Food. Res.*, 49, 175-194.

T

- Tapas, A. R., Sakarkar, D. M., & Kakde, R. B. (2008).** Flavonoids as nutraceuticals: A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, **7**(3), 1089 – 1099.
- Tawaha,K ,Alali, F.Q ;Gharaibeh, M. Mhamed,(2007).** **Food Chemistry,** Antioxidantactivity and total phenolic content of selected jordanian plant species .Pp1372-1378.

Teles F. F. F., Whiting F. M., Price R. L., Borges V. E. L. Protein and amino acids of nopal (*Opuntia ficus-indica* L.). *Rev. Ceres*, 1997, 44, 205–214.

Tiwari, A. K. (2001). Imbalance in antioxidant defence and human diseases: Multiplean approach of natural antioxidants therapy. *Current science*, **81** (9), 1179 – 1181.

U

Ulises Osuna-Martinez, Reyes-Esparza .J et Rodriguez Fragoso.

L; (2014): Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases. *Natural Products Chemistry & Research* Volume 2 • Issue 6 1000153.

Valls, J., Millan, S., Marti, M. P., Borrás, E., & Arola, L. (2009). Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols . *Journal of Chromatography A*, **1216** (43), 7143 – 7172.

W

Wallase. R.S et Gilson .A.C ; (1997): Evolution and Systematics. Dans *Cacti. Biology and uses*; P. S. Nobel Ed. ; Pp.1-21.

Wallali Loudyi D. Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*, 1995, 48-62.

Waston, R. R., Preedy, V. R., & Zibadi, S. (2013). Polyphenol in Human Health and Disease. *Edition Academic Press is an Imprint of Elsevier*, p 643.

W.N. Sawaya, J.K. Khalil, W.M. Safi et A. Al- Shalat. Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of development. *Can. Ins. Food Sci. Technol. J.* 16 (1983) 87-93.

Williamson G., Manach C. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. *Am J Clin Nutr*, 2005, 81, 243- 255.

Willis R. B. et Allen P. R. Improved method for measuring hydrolysable tannins using potassium iodate. *The analyst.*, 1998, 123, 435-439

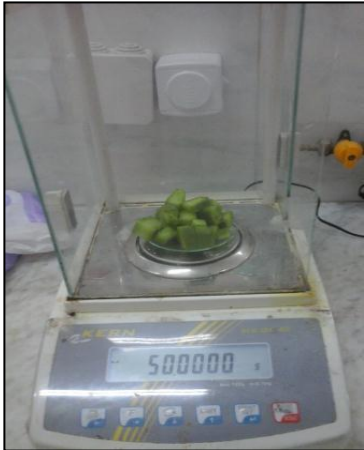
Y

Yeddes. N, Cherif. J, Guyot. S, Sotin.H et Ayadi.M. (2013). Comparative study of antioxidant power, polyphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and the pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. P 37-51.

Yordi , E. G., Pérez, E. M ., Matos, M. J ., & villares, E. U. (2012). Antioxidant and prooxidant effects of polyphenolic compounds and structure- activity relationship evidence, 23 – 48.

Annexes

Annexe 01: Photos du matériel du laboratoire utilisé pour notre étude.



Balance analytique



Broyeur



Evaporateur rotatif



Centrifugeuse



Soxhlet



Spectre à flamme

Résumé

Résumé

Le figuier de Barbarie est une plante grasse appartenant au genre *Opuntia* de la famille des cactées, Il se croit dans les climats arides et semi-arides, comme c'est le cas des régions méditerranéennes, d'Amérique centrale et du Mexique. La valorisation nutritionnelle et thérapeutique est l'objectif primordial de cette étude.

La caractérisation physico-chimique, biochimique et phytochimiques des jeunes cladodes du figuier de barbarie a montré une richesse en eau, en polyphénols $192 \pm 1,01 \text{ mg EAG/100g}$ et en fibres $9.14 \pm 0,3\%$ avec des taux considérables en protéines $0.24 \pm 0,49\%$ ainsi qu'en pigments, en pectines $1,69 \pm 0,65\%$, vitamine c $7,04 \pm 0,30 \text{ mg}$ et calcium $13.04 \pm 1,21\%$, tout en notant une pauvreté en sucres $0.5 \pm 0,22\%$ et lipides $3,4 \pm 0,92\%$.

Ces raquettes avec leur composition spéciale, d'une faible densité calorifique concomitante à la richesse en biomolécules antioxydantes et hypoglycémiantes/hypocholestérolémiantes, peuvent être introduites dans le régime alimentaire local comme étant un légume ayant une tendreté et un goût acidulé largement acceptés par le consommateur

Mots clés: cladodes du figuier de barbarie, physicochimique, phytochimique, valorisation, valeur nutritive et thérapeutique.

ملخص

التين الشوكي هو صبار ينتمي الى عائلة الأوبونتيا، ينمو في المناخات القارية، كمناطق البحر المتوسط و امريكا الوسطى، و المناطق شبه القاحلة في المكسيك. تهدف هذه الدراسة اذا الى تثمين الفروع الشابة لهذا النبات غذائيا و علاجيا.

بينت النتائج المستقاة من التحاليل الفيزيوكيميائية، البيوكيميائية و النباتية الكيميائية للفروع الشابة للتين الشوكي غناها بالماء، البروتينات $0.24 \pm 0,49\%$ والالياف الغذائية $9.14 \pm 0,3\%$ ، مع تواجد نسب ضئيلة من الدهون $3,4 \pm 0,92\%$ والسكريات $0.5 \pm 0,22\%$. كما اظهرت الدراسة ان هذه الفروع تحوي نسبا هامة من الفيتامين س $7,04 \pm 0,30 \text{ مع/غ}$ ، البكتين $1,69 \pm 0,65\%$ ، الكلوروفيل $0,453 \text{ مع/غ}$ وعديدات الفينولات $192 \pm 1,01 \text{ ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ}$ والكالسيوم $13.04 \pm 1,21\%$.

هذا الجزء من التين الشوكي والى جانب تركيبته الخاصة، الفقيرة طاقويا، والمشبعة بالمواد الطبيعية ذات التأثيرات المضادة للاكسدة والخافضة للدهون والسكر في الدم، يستطيع ان يدخل ضمن النظام الغذائي كنوع من الخضر ذات الطراوة والطعم ذي الحموضة المقبولة بشكل كبير من المستهلكين.

الكلمات الاساسية: فروع التين الشوكي، الفيزيوكيميائية، النباتية الكيميائية، تثمين، القيمة العلاجية و الغذائية.

