

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Biologiques et Environnementales  
Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

### *Thème*

**Amélioration du statut oxydatif des cellules  
procaryotes avec des extraits de pigments  
végétaux (Figue de barbarie et la Betterave)**

Présenté par :  
Mlle Dehia AHNOUDJ et Mlle Naouel TABTI

Soutenu le : **01 Juillet 2019**

**Devant le jury composé de :**

<b>M. TAMENDJARI A.</b>	Professeur	Univ. Béjaia	Président
<b>Mme. CHOUGUI N.</b>	MCA	Univ. Béjaia	Promotrice
<b>M. BENRAMDANE E.</b>	Doctorant	Univ. Béjaia	Co-promoteur
<b>Mme. LEHOUCHE</b>	MCB	Univ. Béjaia	Examinatrice

**Année universitaire : 2018 / 2019**

## *Remerciements*

Nos profonds remerciements au bon DIEU qui a éclairé notre chemin et qui nous a donné la foi et le courage pour réaliser ce modeste travail.

On adresse nos remerciements les plus distingués à notre promotrice **Mme CHOUGUI** et Co-promoteur **M. BENRAMDANE** qui nous ont fait l'honneur de diriger notre travail sans qui ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Travailler au sein de votre équipe a été pour nous très enrichissant et nous a permis d'aborder ce domaine de la biochimie et de la microbiologie avec de bonnes bases.

Nous tenons à remercier **M. TAMENDJARI** de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et de nous avoir donné la chance de travailler au sein de son laboratoire et de mettre à notre disposition le matériel et les produits nécessaires pour réaliser ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre grande considération.

Nos vifs remerciements vont également à **Mme LEHOUCHE** d'avoir accepté de faire partie du jury d'examinations. Qu'elle trouve ici nos chaleureux remerciements.

Ce travail n'aurait pas pu voir la lumière du jour sans l'aide des personnes suivantes : **Mme BOULILA F.** et **Mme KHERBACHI N.** On leur adresse toutes nos reconnaissances pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant toutes les années d'étude surtout **Madame MENKOU** notre responsable de spécialité pour son aide moral.

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leur aide pour réaliser et mener à terme ce travail.

*Je dédie ce travail ...*

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail malgré toutes les difficultés rencontrées, pour cela je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents Malika et Abdenour*

Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Vos prières et vos bénédictions m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie. Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrai exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais vous décevoir, ni trahir votre confiance et vos sacrifices. Puisse Dieu tout puissant, vous préserver et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

*A mon très chère fiancé SAMIR*

Merci d'être toujours à mes côtés par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse.

*A mes chers frères*

*KAMEL et ça femme SABRINA et ma petite nièce INASSE  
SOFIANE, MASSI et NADIR*

Je n'oublierai jamais tout ce que vous avez fait pour moi, je vous en suis très reconnaissant.  
Merci.

*A toutes mes chères sœurs, et mes nièces et neuves*

*BIBA, SAMIA, DJOUDJOU, NOURA, DOUDA et THIZIRI*

Je vous souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite.

*A mes beaux-frères et à mes belles sœurs*

*AMEL, JUBA et SALES*

Que Dieu vous protège et vous procure joie, bonheur, santé et réussite dans vos vies

*A mes meilleurs amis*

Merci pour votre soutien et pour vos encouragements.

*RYMA, CYLIA et SIHAM*

*A ma chère camarade, amie et consœur : DEHIA.*

*A tous mes amis et collègues de promotion, chacun par son nom.*

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées. Que ce travail soit le témoignage de ma profonde affection et ma grande estime.  
Merci.

*NAOUEL*

*Je dédie ce travail ...*

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail malgré toutes les difficultés rencontrées, pour cela je dédie ce modeste travail :

***A mes très chers parents : BAYA et MOUHANDE OURABAH***

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour cette noble profession, et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés sur moi. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et démon infini amour.

Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants.

***A l'hommage de mon grande frère IDIR Allah yarhmou***

***A mon très cher fiancé : NADJIM***

Ton encouragement et ton soutien moral était la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles et de solitude. Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse. En témoignage de mon amour, de mon admiration et de ma grande affection, je te prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon sincère attachement. Je prie dieu le tout puissant pour qu'il réunisse nos chemins pour un long commun serein.

***A ma très chère sœur : CYLIA***

Je ne peux exprimer à travers ces lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers toi. Puisse l'amour et la fraternité nous unir à jamais. Je te souhaite la réussite dans ta vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour te combler.

***A mon cher petit frère adoré : IDIR***

Je ne peux exprimer à travers ces lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers toi. Puisse l'amour et la fraternité nous unir à jamais. Je te souhaite la réussite dans tes études, avec tout le bonheur qu'il faut pour te combler.

***A tout ma belle-famille : mes beaux partants CHAFIA et MOHAMAD***

Que Dieu vous protège et vous procure joie, bonheur, santé et réussite dans vos vies

***A mon beau-frère : BACHIR***

Puisse ce travail témoigner de ma profonde affection et de ma sincère estime.

***A mon très cher oncle : khaliSalah***

***A ma grande mère : Djida Malika***

Merci d'égayer mes journées avec vos sourires innocents. Que Dieu vous protège et vous procure joie, bonheur, santé et réussite dans vos vies.

***A mes très chères copines : LILA, SAMIHA, SABRINA, FAHIMA, DJIDJI, et l'équipe B06 MARIEM, SAMOU, SONYA, LILA.***

***A ma chère camarade, amie et consœur : Naouel.***

Pour son entente et sa sympathie.

A tous ceux et celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A tous mes enseignants tout au long de mes études.

***MADAME MANKOU et Mr ALLOUACHE***

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

***DEHIA.***

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AA** : Activité antiradicalaire, activité antioxydant.

**Absc** : Absorbance du contrôle

**ABTS\***:2,2'-azinobis (acide 3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)

**Abse**: Absorbance de l'échantillon.

**BET** : Betterave.

**DPPH** : Le diphényle picryl-hydrazyle.

**EC<sub>50</sub>** : Concentration effective à 0,5 d'absorbance.

**FIG**: Figue de barbarie.

**HBSS**: Hank's Balanced Salt Solution.

**IC<sub>50</sub>**: Concentration inhibitrice à 50%.

**IR** : Indice de réfraction

**MF** : Matière fraîche.

**Mg** : Milligramme.

**MRS Géllose**: Géllose de man rogosa Sharpe.

**MRS**: Man rogosa Sharpe.

**MS** : Matière sèche.

**NA<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>** : Hydrogénophosphate de sodium.

**NaHPO<sub>4</sub>**: Sodium phosphate monobasic monohydrate.

**NaOH**: Hydroxyde de sodium.

**Nm** : nanomètre.

**OH.**: Radical hydroxyl.

**PBS**: Phosphate Buffured Saline.

**RL**: Radicaux Libres.

**UFC**: Unité formant colonie.

**V /V** : Volume par volume.

## *Liste des tableaux*

<b>No</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>I</b>	Composition de la figue de barbarie.	<b>8</b>
<b>II</b>	Composition phytochimique des betteraves rouges.	<b>12</b>
<b>III</b>	Composition chimique de la betterave.	<b>13</b>
<b>IV</b>	Paramètres physico-chimiques de la figue de barbarie et de la Betterave.	<b>32</b>
<b>V</b>	Résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire du l'ABTS <sup>·+</sup> de la figue de barbarie, et de la Betterave et les standards.	<b>36</b>
<b>VI</b>	Résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire du DPPH <sup>·+</sup> de la figue de barbarie, de la betterave et des standards.	<b>38</b>
<b>VII</b>	Résultats de l'évaluation des activités antiradicalaires sur les ABTS <sup>·+</sup> DPPH <sup>·+</sup> par les bactéries lactiques en présence des extraits de pigments des végétaux (figue de barbarie, de la betterave) et des extraits de standards.	<b>44</b>

## *Liste des figures*

<b>No</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Schémas de la figue de barbarie, (a) : plante, (b) : fruit	4
<b>2</b>	Présentation des différentes parties du figuier de barbarie	4
<b>3</b>	Répartition mondiale d' <i>Opuntia ficus indica</i>	6
<b>4</b>	Le fruit du Fiquier de Barbarie	7
<b>5</b>	Répartition géographique de la betterave.	9
<b>6</b>	Schémas de la plante betterave	10
<b>7</b>	Betterave rouge ( <i>Beta vulgaris</i> L) et Schémas de la betterave racine	11
<b>8</b>	Structures chimiques des différentes bétalaïnes.	16
<b>9</b>	Biosynthèse des différentes bétalaïnes.	17
<b>10</b>	Formation et piégeage du radical ABTS <sup>•+</sup> par un antioxydant donneur de H <sup>•</sup>	28
<b>11</b>	Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH <sup>•</sup>	29
<b>12</b>	Pourcentage d'inhibition du radical ABTS <sup>•+</sup> des bétalaïnes de la betterave et la figue de barbarie.	35
<b>13</b>	Pourcentage d'inhibition du radical ABTS <sup>•+</sup> par les standards (Catéchine et Acide tannique).	35
<b>14</b>	Pourcentage d'inhibition du radical DPPH <sup>•</sup> par les pigments de betterave, de figue de barbarie.	37

<b>15</b>	Pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les standards (Catéchine et Acide tannique).	37
<b>16</b>	Pourcentage d'inhibition du radical ABTS <sup>•+</sup> de <i>Lb. bulgaricus</i> en présence des pigments végétaux et des standards (catéchine et acide tannique).	40
<b>17</b>	Pourcentage d'inhibition de radical ABTS <sup>•+</sup> de <i>Lc. lactis</i> en présence des végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique pigments). Lc : lactococcus / BET : betterave / A.TA : acide tannique / CAT : catéchine / FIG : figue de barbarie	41
<b>18</b>	Pourcentage d'inhibition de radical DPPH de <i>Lb. bulgaricus</i> en présence des pigments végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique).	43
<b>19</b>	Pourcentage d'inhibition de radical DPPH de <i>Lc. Lactis</i> en présence des pigments végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique). Lc : lactococcus / BET : betterave / A.TA : acide tannique / CAT : catéchine / FIG : figue de barbarie.	44

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction** ..... 1

**Partie bibliographique**

**Chapitre I : la figue de barbarie et la betterave**

**Généralités** ..... 3

**1. le figuier de barbarie** ..... 3

1.1 Description botanique de la plante..... 3

1.2 Classification. .... 5

1.3. Origine et distribution géographique..... 6

1.4. Espèces et variétés de figuier de barbarie..... 6

1.5. Description de la figue de barbarie..... 7

1.5.1. Compositions chimique et photochimiques..... 7

1.6. Intérêt agro économique du figuier de barbarie..... 9

**2. Betterave** ..... 9

2.1. Localisation géographique de la betterave dans le monde ..... 9

2.2. Classification ..... 10

2.3. Description botanique de la plante..... 10

2.4. Description de la betterave ..... 11

2.5. composition et propriétés phytochimiques ..... 12

2.6. Composition et valeur nutritionnelle de la betterave..... 12

2.7. Intérêt agro économique de la betterave..... 13

2.8. Les pigments de la betterave..... 14

**3. Propriétés biologique des antioxydants**..... 14

**Chapitre II : Bétalaines**

**1. Les Bétalaines .....15**

1.1. Généralités .....15

1.2. Définition.....15

1.3. Biosynthèse.....16

1.4. Caractéristiques et sources-occurrence .....18

1.5. Intérêts .....18

**2. Propriétés biologiques des bétalaines.....19**

**Chapitre III : Bactéries lactiques**

**1 .Généralités .....20**

**2. Principales caractéristiques des bactéries lactiques .....21**

2.1. Caractères morphologiques : .....21

2.2. Caractères biochimiques et physiologiques.....21

2.3. Caractères de la structure : .....22

**3. Classification des bactéries lactiques .....22**

3.1. Le genre *lactobacillus* .....22

3.2. Le genre *Streptococcus* .....23

3.3. Le genre *Lactococcus*.....23

3.4. Le genre *Leuconostoc*.....24

3.5. Le genre *Bifidobacterium* .....24

**Partie expérimentale**

*Matériel et méthodes*

**1. Récolte des deux matrices végétales .....25**

**2. Préparation de matériel végétal .....25**

<b>3. Analyses physico-chimiques .....</b>	<b>25</b>
3.1. Test d'humidité .....	25
3.2. Détermination du PH.....	26
3.3. L'acidité.....	26
3.4. Détermination du Brix.....	26
<b>4. Extraction et dosage des Bétalaines .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Evaluation des activités antioxydants .....</b>	<b>27</b>
5.1. Activité scavenging du radical ABTS <sup>·+</sup> .....	27
5.2. -Activité scavenging du radical DPPH <sup>·</sup> .....	29
<b>6. Application des extraits obtenus sur les Bactéries lactiques .....</b>	<b>30</b>
6.1. Isolement et purification des souches :.....	30
6.1.1. Culture bactérienne .....	30
6.1.2. Purification .....	30
6.2. Coloration de Gram :.....	30
6.3. Fixation des pigments sur la paroi bactérienne.....	30
6.4. Activités antioxydants .....	31
6.4.1. Test antiradical ABTS. +.....	31
6.4.2. Inhibition du radical DPPH <sup>·</sup> .....	31
<b>7. Analyse statistique .....</b>	<b>31</b>

*Résultats et discussion*

<b>1. Caractéristiques de la figue de barbarie et de la Betterave .....</b>	<b>33</b>
1.1. Paramètres physico-chimiques des deux matrices étudiées .....	33
1.1.1. PH .....	33
1.1.2. Acidité.....	34
1.1.3. Taux d'humidité .....	34
1.1.4. Brix .....	34

<b>2. Teneur en bétalaïnes.....</b>	<b>35</b>
<b>3. Evaluation des activités antioxydants .....</b>	<b>36</b>
3.1. Test anti-radical ABTS pour les matrices végétales .....	36
3.2. Test anti-radical DPPH pour les matrices végétales.....	37
<b>4. Fixation des pigments sur la paroi bactérienne .....</b>	<b>39</b>
4.1. Test antiradicalaire ABTS <sup>°+</sup> .....	40
4.2. Test anti radical DPPH .....	42
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>46</b>
<b>Annexes.</b>	

La consommation des aliments d'origine végétale constitue, ces dernières années un enjeu de santé publique qui pourrait contribuer à prévenir de nombreuses maladies telles que les maladies cardiovasculaires, certains cancers en passant par les maladies inflammatoires et le processus de vieillissement (**Heber, 2008**).

Les propriétés préventives d'une alimentation riche en aliments d'origine végétale sont dues principalement à ses principes actifs qui sont souvent liés aux produits de métabolites secondaires (composés phénoliques, vitamines C et E, certains pigments : caroténoïdes...), qui sont largement utilisés en tant qu'antioxydants contre le stress oxydatif; une situation où la cellule ne contrôle plus la présence excessive des radicaux oxygénés toxiques suite à une production anormalement élevée de dérivés toxiques.

Cependant, l'ingestion d'antioxydants contenus dans les fruits et les légumes pourrait permettre à notre organisme de renforcer ses moyens de défense contre les processus d'oxydation qui menacent quotidiennement nos cellules, même si les mécanismes mis en jeu dépassent sans doute largement la réduction directe des espèces oxygénées réactivées par les composés phénoliques (**Espin et al., 2007 ; Dembitsky et al., 2011**).

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande une consommation régulière d'un minimum de 400 g de fruits et de légumes par jour, notamment ceux riches en substances antioxydants comme les composés phénoliques, pour la prévention des maladies chroniques qui peuvent être causées par le stress oxydatif.

Dans ce contexte, nous avons exploré le potentiel antioxydant de deux extraits largement disponibles en Algérie le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica L.*) et la betterave (*Beta vulgaris L.*). Sous l'influence de facteurs environnementaux particuliers (sol et climat) à notre pays, ces espèces fructifères peuvent avoir une expression métabolique différente qui peut engendrer des substances à fort pouvoir antioxydant particulièrement intéressant. Parmi ces métabolites, ces deux espèces ont la particularité de produire des pigments appelés bétalaïnes qui sont reconnus comme des photoprotecteurs permettant aux végétaux de se protéger contre les méfaits liés à l'exposition au soleil et aux rayons UV.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration du statut oxydatif des bactéries lactiques qui sont utilisées en l'industrie agro-alimentaire en raison de leur innocuité reconnue pour l'homme. Grâce à leur mode d'action différent des antibiotiques conventionnels et leur effet, elles intéressent aussi l'industrie pharmaceutique car elles pourraient devenir une alternative à antibiothérapie actuelle face à la résistance des bactéries pathogènes. Le travail vise à : - extraire et à doser les bétalaïnes des deux extraits des espèces, à évaluer *in vitro* leur

potentiel antioxydant. Et à- fixer les pigments des extraits des deux espèces (bétaxanthines et bétacyanines) sur la paroi des deux bactéries lactiques (*Lactococcus lactis* et *Lactobacillus bulgaricus*) et évaluation du statut oxydatif des bactéries testés.

Le manuscrit est organisé en trois grandes parties :

La première partie du manuscrit traite des données bibliographiques regroupant les aspects botaniques, taxonomiques et économiques sur les espèces étudiées et des généralités sur les bétalaïnes ainsi que sur les bactéries lactiques.

La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour réaliser le travail ainsi que le développement des principaux résultats obtenus.

Et enfin une conclusion générale qui permettra de dégager les résultats les plus importants ainsi que les perspectives de prolongement à ce travail.

# *La synthèse bibliographique*

## Généralités

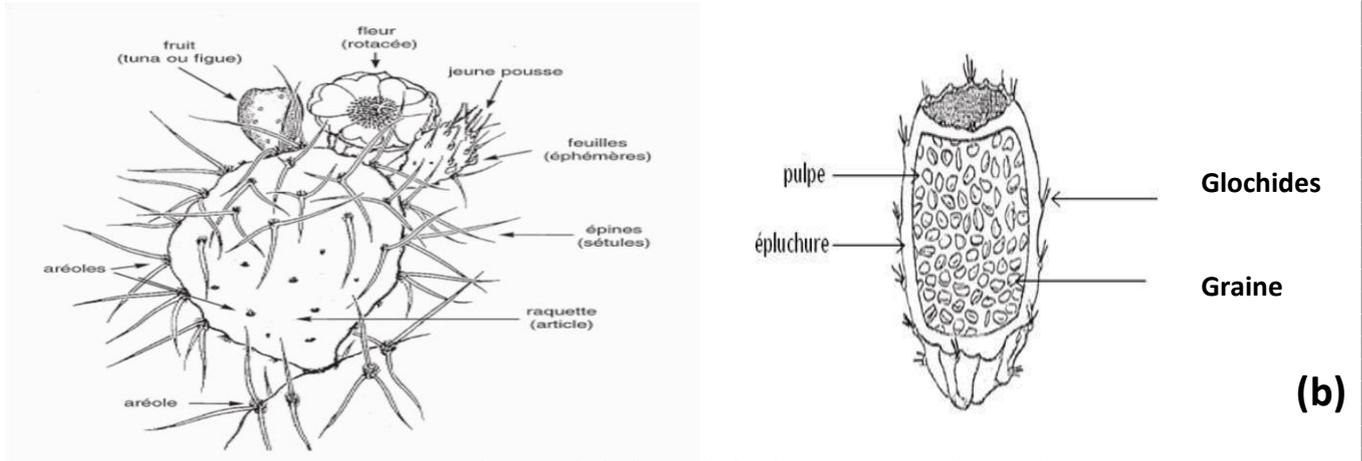
### 1. Le figuier de barbarie :

Le figuier de Barbarie est originaire du Mexique, il est bien adapté aux zones arides et semi-arides (**Reynolds et al., 2003**). Il occupe une partie importante dans l'alimentation humaine et il est également utilisé comme fourrage pour le bétail. C'est une plante intéressante en raison des conditions environnementales dans lesquelles elle se développe et sa résistance aux conditions climatiques extrêmes (**Hernández-Urbiola et al., 2011**).

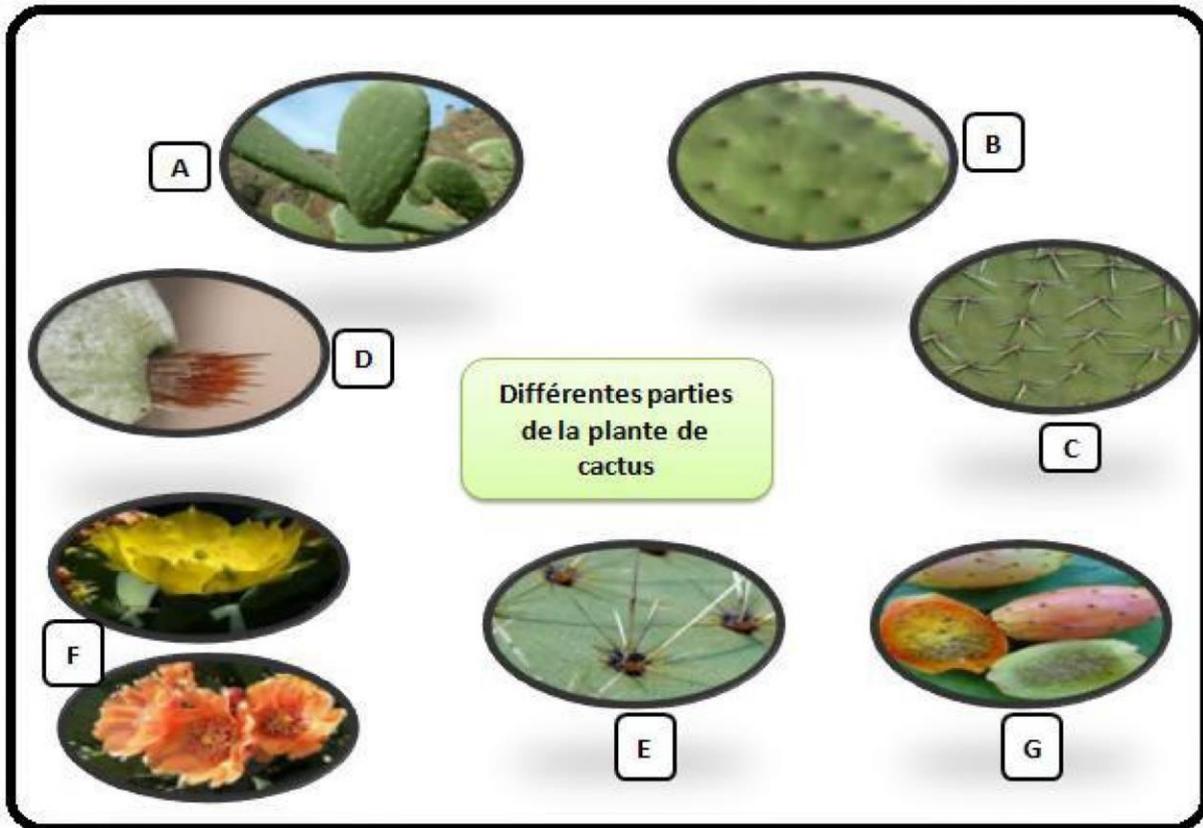
#### 1.1. Description botanique de la plante

Le figuier de Barbarie est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur possède un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, appelés cladodes ou raquettes. (**Wallace et Gibson, 2002; Schweizer, 1997**).

Les feuilles sont de forme conique et ont quelques millimètres de long, éphémères, apparaissant sur les cladodes jeunes, à leur base. Leurs méristèmes produisent des épines, des glochides, des racines adventives, de nouvelles cladodes ou des fleurs. (**Neffar, 2012**). Les glochides sont de fines épines de quelques millimètres de couleur brunâtre, se décrochent facilement, s'implantant solidement dans la peau (**Neffar, 2012**). *L'Opuntia* porte des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. Dans certaines contrées chaudes et arides, la plante fleurit et porte des fruits deux fois dans l'année (**Schweizer, 1997**). Ses fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes, uniloculaires et polyspermiques pourvues d'épines (**Neffar, 2012**).



(a) **Figure 1** : Schémas de la figue de barbarie, (a) : Plante, (b) : Fruit  
(Schweizer, 1999).



**Figure 02:** Présentation des différentes parties de la plante de cactus (Nerd et al., 1991).

A : Raquette d'*Opuntia Spp*, B : Aréoles d'*Opuntia ficus indica* (inermes), C: Aréoles d'*Opuntia* munies d'épines, D : Glochides d'*Opuntia aciculata*, E : Aiguille d'*Opuntia leucotricha*, F : Fleurs d'*Opuntia ficus indica*, G : Fruits d'*Opuntia spp*.

## 1.2. Classification

La position systématique du figuier de barbarie est la suivante : (Wallace et Gibeson, 1997)

**Règne** : Plantae

**Sous règne** : Tracheobionta

**Embranchement** : Phanérogames

**Sous Embranchement** : Magnoliophyta

**Classe** : Magnoliopsida

**Sous classe** : Caryophyllidae

**Ordre** : Opuntiales

**Famille** : Cactaceae

**Sous-famille** : Opuntioideae

**Tribu** : Opuntieae

**Genre** : *Opuntia*

**Sous-genre** : *Platyopuntia*

**Espèce** : *Opuntia ficus indica* (L.)

La famille des Cactacées renferme 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces (Neffar, 2012).

Les espèces d'*Opuntia* les plus répandues en Algérie sont : *Opuntia cylindrica*, *Opuntia mieckleyi*, *Opuntia vulgares*, *Opuntia schumanni*, *Opuntia megacantha*, *Opuntia maxima* et *Opuntia ficus indica* (Arba, 2000).

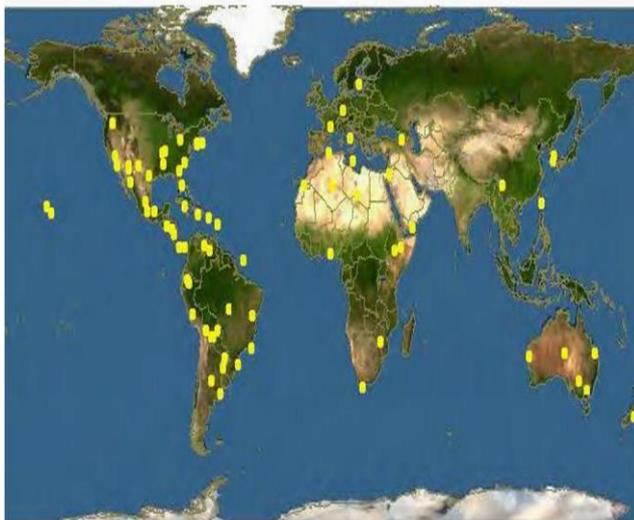
Nopal est le nom mexicain de la plante. En Espagne, outre Nopal on l'appelle familièrement Tuna, dans les pays francophones du bassin méditerranéen, l'*Opuntia* est surnommé figuier de barbarie; en Angleterre : *Prickly pear* (Schweizer, 1997), en Egypte : *El-Tin-el-shawki* et en Algérie, plus précisément en Kabylie, elle est surnommée *akermus*.

### 1.3. Origine et distribution Géographique

Sa distribution géographique est très large: Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine et Afrique du Nord (Barbera *et al.*, 1992 ; Felker *et al.*, 2005; Kabas *et al.*, 2006; Snyman, 2006).

Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 16<sup>e</sup> siècle au Nord et au Sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen (Habibi, 2004).

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-Bou-Arrerijj, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres Ain-Sefra (Piédallu, 1990).



**Figure 03:** Répartition mondiale d'*Opuntia ficus indica*

### 1.4. Espèces et variétés de figuier de Barbarie

Les espèces les plus connues du figuier de barbarie sont *l'Opuntia ficus-indica*. Le sous-genre *Platyopuntia* comprend de 150 à 300 espèces décrites, dont la série des *ficus-indica* qui comprend *l'Opuntia ficus-indica*, celle qui a la plus grande importance agronomique, tant pour les fruits comestibles que pour les raquettes qui peuvent être utilisées comme fourrage ou comme légumes (Schweizer, 1997; Araba *et al.*, 2000). Actuellement elle est présente en formes spontanées ou cultivées plus ou moins importante Dans de nombreux pays (Mulas *et al.*, 2004). Deux formes d'*Opuntia ficus-indica* poussent dans plusieurs steppes Algériennes:

### 1.5. Description de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica*)

C'est une grosse baie charnue et ovoïde ou piriformes, uniloculaires de (4 à 8 cm), de couleur variant du jaune clair au rouge violacé (Schweizer, 1997).

La pulpe est juteuse et sucrée, rouge ou pourpre ou jaune-orangée, (Maaoui, 2014).

Environ 300 graines pour un fruit, offrant un large spectre de

Couleurs, blanche (*muscareda*), jaune (*sulfarina*) et rouge

(*sanguina*) (Neffar, 2012).

Les composés rouges sont les bétacyanines et les jaunes sont les bétaxanthines (Stintzing et al., 2006).



**Figure 04:** Le fruit du Figuiers de Barbarie. Anonyme 1

#### 1.5.1. Composition chimique et photochimique

Il est à signaler que les différentes parties d'*Opuntia ficus-indica*: fruit, contiennent essentiellement une grande quantité d'eau et sont riches en minéraux, et en vitamines. La figue de barbarie est un fruit succulent, peu acide et riche en sucres ; ce qui le rend délicieux et doux (Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006).

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

Paramètres	Valeur	Paramètres	Valeur
Pulpe (%)	43-57	Mg (mg/100g)	16.1-98.4
Graines (%)	2-10	Na (mg/100g)	0.6-1.1
Epluchure (%)	33-55	K (mg/100g)	90-217
pH	5.3-7.1	P (mg/100g)	15-32.8
Eau (%)	84-90	Proline (mg/L)	1768.7
Lipides (%)	0.09-0.7	Glutamine (mg/L)	574.6
Sucres totaux (%)	10-17	Taurine (mg/L)	572.1
Ca (mg/100g)	12.8-59	Serine (mg/L)	217.5
Vitamine C (mg/100g)	1-41	Alanine (mg/L)	96.6
Acidité (% AC. Citrique)	0.05-0.18	acide Glutamique (mg/L)	83.0
Fibres (%)	0.02-3.1	Méthionine (mg/L)	76.9
Protéines (%)	0.2 – 1.6	Lysine (mg/L)	53.3

## 1.6. Intérêt agro économique du figuier de barbarie

L'adaptation du figuier de barbarie aux conditions désertiques et semi désertiques lui permet de constituer une culture à intérêts écologiques et socio-économiques indéniables. En effet, il constitue un bouclier contre la désertification et l'érosion des sols. Il est également cultivé pour la régénération des terres. Il ne demande pas de pratiques culturales spécialisées ni d'apport de fertilisants (Saenz.2000).

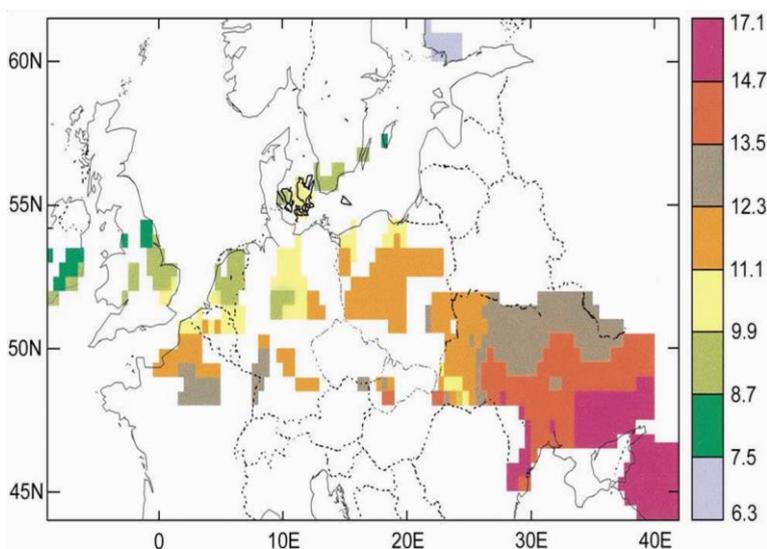
Cette plante est l'une des espèces les plus rentables économiquement (Habibi Y.2004), Le cactus connaît un regain d'intérêt dans plusieurs pays:

- ✓ Production de fruits et raquettes comestibles.
- ✓ Production d'aliments pour le bétail.
- ✓ Utilisation industrielle dans le domaine agroalimentaire, cosmétique et médical.

## 2. Betterave

### 2.1. Localisation géographique de la betterave dans le monde :

La betterave est une culture caractéristique des systèmes de cultures de grandes cultures, présents au Nord du Bassin Parisien et de l'Europe au sens large (UE mais aussi pays de l'Europe de l'Est. Elle est aussi présente dans certains pays du Sud de l'Europe (Italie, Espagne) et du pourtour méditerranéen, elle est cultivée dans des conditions très différentes.



**Figure 05** : Répartition géographique de la betterave (Pidgeon et al., 2001)(irrigation, semis d'automne).

L'Union Européenne est le premier producteur mondial. La betterave occupe une surface très importante en Asie, en particulier en Chine qui est le 5 producteur mondial. La betterave occupe aux Etats-Unis une surface pratiquement équivalente à celle de la Chine, 587 000 ha dans 13 états répartis de la côte Ouest vers le centre des USA (Claude Alabouvette et al., 2000).

## 2.2. Classification :

La betterave (*Beta vulgaris L*) appartient à la famille des *Chenopodiaceae* (selon la classification classique) ou famille des *Amaranthaceae* (selon la classification phylogénétique), à la sous famille des *Betoideae* et au genre *Beta* qui comprend une dizaine d'espèces. (Letscherf et al., 1994).

La classification classique selon (Kerr Schick, 2008) est la suivante :

**Règne:** Plantae

**Division:** Magnoliophyta

**Classe:** Magnoliopsida

**Ordre:** Caryophyllales

**Famille:** Chenopodiaceae

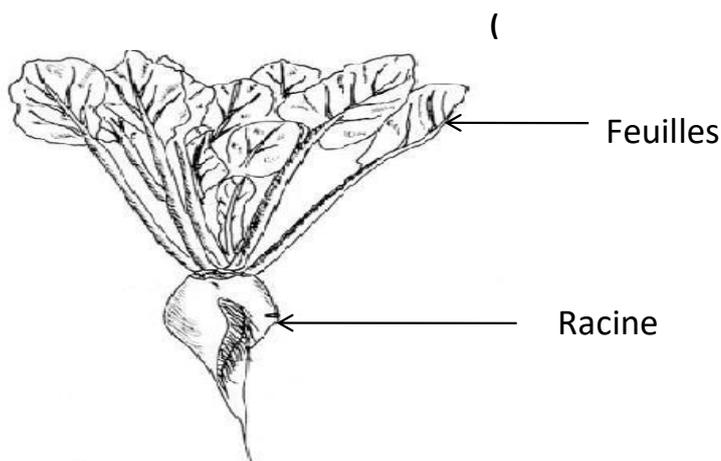
**Genre:** Beta

**Espèce:** *Beta vulgaris*

## 2.3. Description botanique de la plante

La betterave est une plante aux feuilles disposées en rosette à la base, puis se répartissant le long de la tige. Ce sont des feuilles pétiolées, lisses, de forme allongée. Les fleurs, verdâtres ou mauves, sont rassemblées en épis longs, étroits et feuillés (Anonyme I).

A la récolte, le pivot de la racine de la betterave est la partie la plus tangible de tout le système racinaire de la plante. Il mesure de 25 à 30.



**Figure 06 :** Schémas de la plante betterave (Legrand et Vanstallen, 2000).

#### 2.4. Description de la betterave

Les betteraves cultivées, dicotylédones, apétales, dériveraient de la betterave maritime (actuellement classée comme *Beta vulgaris* L. subsp. *maritima* (L.) Arcang) qui est spontanée sur les rivages maritimes en Europe.

L'espèce *Beta vulgaris* L. inclut aussi la poirée ou bette, qui était auparavant considérée comme une espèce distincte (*Beta cicla* (L.). **Joulié, H. (1864).**

La betterave cultivée est une plante bisannuelle :

-première année, phase végétative : développement des feuilles et constitution de la racine charnue, accumulation de réserves en sucre, c'est aussi la phase de culture ;

-deuxième année : montaison et floraison, grenaison Les racines de *Beta vulgaris* contiennent une quantité significative de vitamine C et les feuilles sont une source de vitamine A. Elles sont également sources de fibres, d'acide folique et d'antioxydants. Les racines sont également riches en bétanine (N, N, N-triméthylglycine). **Marchal, É. (1895).**



**Figure 07:** Betterave rouge (*Beta vulgaris* L) et Schéms de la betterave racine.  
Anonyme 2.

## 2.5. Composition et propriétés phytochimiques :

**Tableau II :** Composition phytochimique des betteraves rouges (Peter C et al., 2011)

Classification	Composé
Flavonoïdes	<b>Bétagarine</b> <b>Bétavulgarine</b> <b>Cochliophilin A</b> <b>Dihydroisorhamnetine</b>
Bétalaines Bétaxanthines	<b>Vulgaxanthin I</b> <b>Vulgaxanthin II</b>
Bétacyanines	<b>Bétanine</b> <b>Isobetanine</b>
Composés phénoliques Conjugués féruliques d'acide	<b>5.50.6.60 tetrahydroxy-3,30-biindolyl Feruloylglucose</b> - <b>b-d-fructofuranosyl-a-d- (6-O- (E)</b> <b>feruloylglucopyranoside)</b>
Amides phénoliques	<b>N-transport-Feruloyltyramine</b> <b>N-transport-Feruloylhomovanillylamine</b>

## 2.6. Composition et Valeur nutritionnelle de la betterave :

La betterave est particulièrement recommandée dans le cadre d'une alimentation saine et diversifiée. Si sa richesse en sucre est supérieure aux autres légumes, elle reste pour autant modérée et ne doit pas freiner sa consommation, d'autant qu'elle est gorgée d'éléments essentiels à l'équilibre de l'organisme. La betterave est en effet un légume riche en :

-Vitamines : la betterave contient de nombreuses vitamines, particulièrement du groupe B et C. A noter, sa forte teneur en vitamine B9 ou Folate (division et maintien cellulaire) qui contribue à hauteur de 37 % de l'apport journalier recommandé. Une carence en vitamine B9 peut induire une fatigue pouvant aller jusqu'à l'anémie.

-Minéraux et oligo-éléments : la betterave est bien pourvue en minéraux et oligo-éléments, notamment en potassium, magnésium, calcium, fer, phosphore, mais elle contient également du manganèse, du cuivre, du Zinc.

-Fibres : elles facilitent le transit intestinal et aide à ralentir et régulariser l'assimilation des glucides. Les fibres de la betterave cuite sont mieux tolérées par les intestins sensibles **Noblet, J., (1997).**

-Antioxydants : la betterave rouge est régulièrement citée comme l'un des légumes ayant le plus fort pouvoir antioxydant (composés qui protègent nos cellules des dommages causés par le stress oxydatif, permettant ainsi de diminuer le risque d'apparition de maladies liées à l'âge: cardio-vasculaire, cancers,). Ce sont ses pigments présents en grande quantité, appelés bétalaines, qui confèrent à la betterave son pouvoir antioxydant. **Tanguy, M., (2009)**

**Tableau III : Composition chimique de la betterave (Souci *et al.*, 1994).**

Constituant	Teneur (%)
Protéines	1,53
Eau	86,23
Lipides	0,1
Fibres	2,53
Glucides	8,38
Acide citrique	0,195
Nitrate	0,195
Potassium	0,336

## 2.7. Intérêt agro économique de la betterave :

Dans le monde, la culture de betterave sucrière occupe environ 7 millions d'hectares, surtout en Europe du Nord et aux États-Unis. En 2004, la production mondiale de betterave sucrière était de 208,85 millions de tonnes La France est le premier producteur mondial de sucre de betterave devant les États-Unis et l'Allemagne. À l'heure actuelle, la betterave sucrière fournit environ 26 % de la production mondiale de sucre.

La betterave rouge (*Beta vulgaris*) est un des légumes traditionnels dans beaucoup de régions du monde et il est employé commercialement pour produire du jus et de colorants naturels **(Liu *et al.*, 2008).**

### 2.8. Les pigments de la betterave :

Les bétalaïnes sont les pigments responsables de la couleur rouge des betteraves, sont présentes dans tous les organes de la plante et sont principalement stockées dans la vacuole à cellules (**Gandia-Herrero et al., 2013**).

Les bétacyanines dérivées de la betterave rouge sont utilisées pour teindre des produits tels que la crème glacée, le vin, la confiture, la marmelade et le yogourt. La structure des molécules de bétacyanines en fait des antioxydants très puissants, plaçant la betterave parmi les dix premiers légumes caractérisés par les propriétés antiradicalaires les plus significatives (**Azeredo, 2009**).

### 3. Propriétés biologiques des antioxydants

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydante qui dépendent essentiellement du nombre et de la position de leurs groupements fonctionnels (**El kossori et al., 1998**), et sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par l'organisme (**Edeas, 2007**). Ces composés possèdent la structure chimique idéale pour exercer une activité scavengers sur les radicaux libres (**Madhan et al., 2007**). Ils possèdent aussi des propriétés antimicrobiennes ; à titre d'exemple les acides cinnamiques et caféiques sont les représentants majeurs des composés phénoliques et présentent l'état d'oxydation le plus élevé. Le thym, herbe aromatique et médicinale, qui contient des teneurs appréciables en acide caféique montre une efficacité contre les virus, les bactéries et les Mycètes (**Cowan, 1999**).

Les composés phénoliques manifestent des activités contre un spectre de parasites : tels que le genre *Leishmania* et *plasmodium* (**Nowakowska, 2007**).

## 1. Les Bétalaines

### 1.1. Généralités

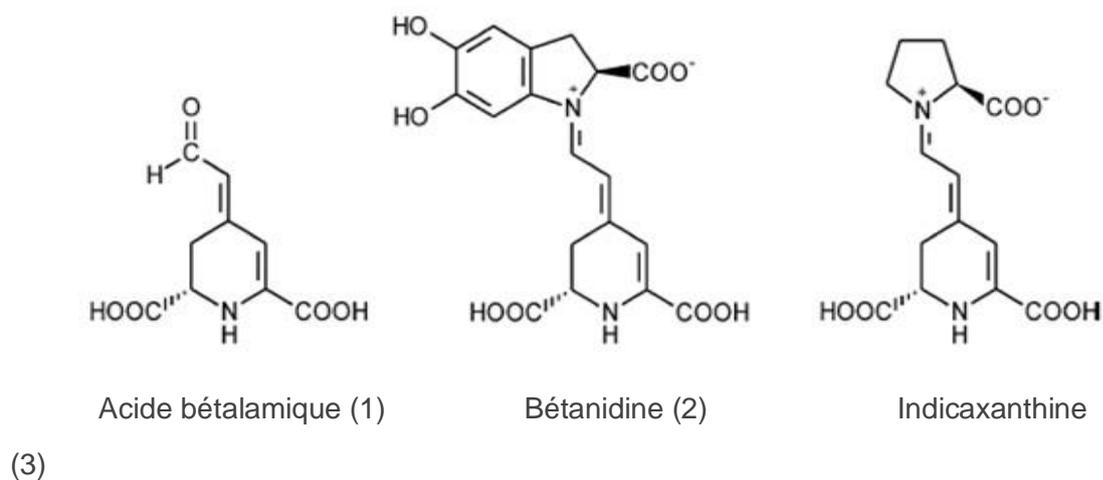
Les bétalaines ont été témoins de balancement d'intérêt scientifique des 40 dernières années, mais seulement au cours de la dernière décennie, les activités de recherche dans de nombreuses disciplines traitant de l'élevage, photochimiques, aspects technologiques et nutritionnels ont élargi la vision étroite jusqu'à présente, sur les bétalaines. Selon la littérature, les bétalaines ont attiré l'attention scientifique dans les années 1960 et 1970 grâce à la contribution des chercheurs tels que **Piattelli (1976)** en Italie, **Dreiding (1961)** et **Wylér (1969)** en Suisse, **Clément, Mabry, Wylér, et Dreiding (1994)** et **Mabry (1966)** aux Etats-Unis, ainsi que **Musso (1979)** et **Reznik (1975)** en Allemagne (**Stintzing et Carle, 2007**). Dans les années 1990, les activités de recherche ont été principalement consacrées à des aspects de biosynthèse des bétalaines au niveau des plantes à l'Institut Leibniz de l'usine Biochimie à Halle (Saale) en Allemagne (**Strack et al., 2003**).

### 1.2. Définition

Le terme bétalaines dérive du nom latin de la betterave (*Beta vulgaris*) qui a servi de plante modèle pour étudier la structure chimique et la biosynthèse de la bétanine, pigment majoritaire rencontré dans cette plante (**Malien-Aubert et Amiot-Carlin, 2006**).

Les bétalaines sont des pigments azotés vacuolaires de 13 familles au sein du règne végétal s'accumulant, également, dans certains membres de Basidiomycètes (**Gill, 1994 ; Siriwardhana et Jeon, 2004 ; Schoefs, 2004**).

Ils comprennent deux sous-groupes, les bétacyanines violet et rouge, les bétaxanthines jaune orange (**Starck et al., 2003 ; Gentile et al., 2004 ; Sasaki et al., 2005 ; Zhu et al., 2010**). Les bétalaines sont un bouquet de structures colorées. À ce jour, ils comportent un nombre assez modeste d'environ 55 structures, notamment les bétacyanines et bétaxanthines (**Stintzing et Carle, 2004**).



**Figure 08 :** Structures chimiques des différentes bétalaïnes (Malien- Aubert et Amiot Carlin, 2006).

### 1.3. Biosynthèse

Les bétalaïnes sont des pigments hydrosolubles contenant de l'azote, qui sont synthétisés à partir de l'acide aminé tyrosine. Seules deux enzymes sont à ce jour bien connues : la tyrosinase (1) responsable de l'hydroxylation de la tyrosine (1A) pour donner la dihydroxyphénylalanine (DOPA) mais aussi responsable de la formation de la DOPA-quinone (1B) qui se cyclise spontanément (4) pour donner la cyclo- DOPA. La DOPA-4,5dioxygénase(2), enzyme clé, responsable de la coupure du cycle aromatique de la DOPA en position 4,5 conduisant alors à un produit intermédiaire, la seco-DOPA qui se recyclise pour donner l'acide bétalamique, chromophore commun à toutes les bétacyanines (Stafford, 1994 ; Steiner *et al.*, 1999 ; Malien-Aubert et Amiot-Carlin, 2006).

La biosynthèse suit ensuite deux étapes distinctes. Soit l'acide bétalamique se condense spontanément avec les acides aminés ou des amines pour donner des bétaxanthines jaunes soit il se condense avec la cyclo-DOPA pour donner les bétacyanines. La glycosylation des bétacyanines qui intervient plus tard dans la voie de biosynthèse est catalysée par une glucosyltransférase (3) (Heuer *et al.*, 1996). Finalement, les groupements acyles sont additionnés aux sucres par des acyltransférases (Bokern *et al.*, 1991).

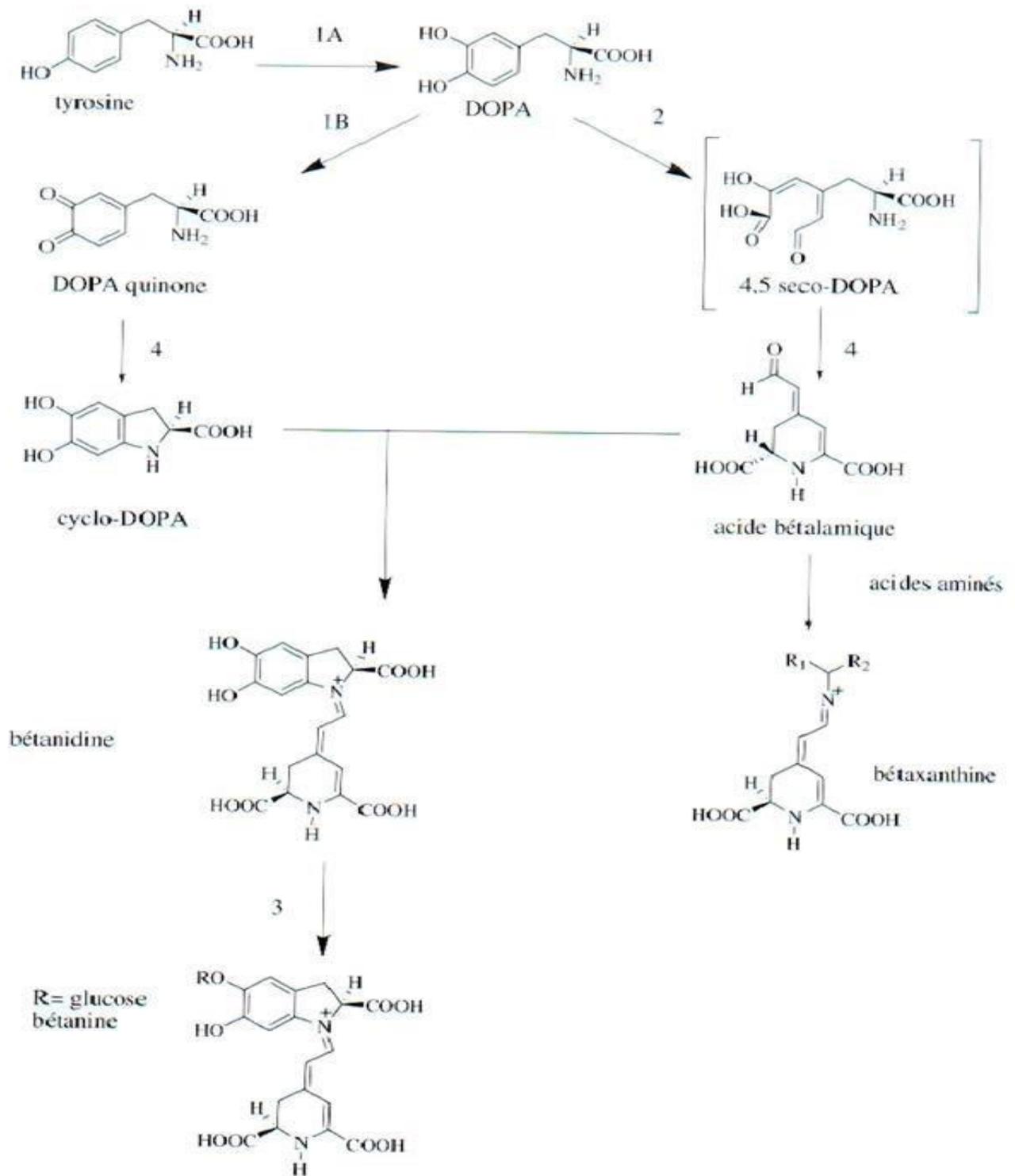


Figure 09 : Biosynthèse de différentes Bétalaines (Malien-Aubert et Amiot-Carlin, 2006).

### 1.4. Caractéristiques et sources-occurrence

L'ensemble des Bétalaïnes incluant les bétacyanines et les bétaxanthines sont des pigments solubles dans l'eau caractérisés par la présence d'azote au sein de leur structure.

Les bétaxanthines sont des pigments hydrosolubles jaunes non phénoliques mais possédant le même chromophore que les bétacyanines. Les bétacyanines sont des pigments phénoliques violets extraits principalement de betterave (*Beta vulgaris*), on les trouve aussi dans l'amarante, le bougainvillier et le pourpier. Les bétacyanines sont généralement séquestrées dans les vacuoles de cellules épidermiques des tissus végétatifs et des organes reproducteurs (**Malien-Aubert et Amiot-Carlin, 2006**).

Les bétalaïnes ont aussi été détectées dans certains champignons supérieurs (**Steglich et Strack, 1990**), Considérant que les fonctions des bétalaïnes dans les plantes est la coloration du fruit et des fleurs, leur rôle dans les champignons est inconnu.

Les bétalaïnes sont une classe des colorants hydrosolubles ; cela fournit des couleurs aux fleurs et fruits. Les bétanidine et les isobétanidines sont les plus simples. Elles ont une grande signification taxonomique pour les plantes les synthétisant.

Les bétalaïnes remplacent les anthocyanines dans les fleurs et les fruits de la plupart des plantes de la famille des Caryophyllales.

La présence des bétalaïnes et les anthocyanines est mutuellement exclusif dans les angiospermes, c.-à-d. les bétalaïnes et les anthocyanines n'ont jamais été rapportés par les mêmes plantes (**Moreno et al., 2008**).

### 1.5. Intérêts

Les bétalaïnes contribuent à réduire la concentration d'homocystéine qui peut être nocive pour les vaisseaux sanguins (**Latorre et al., 2010**).

**Allegra** et ses collaborateurs (**2005**) ont démontré les effets antioxydants et antiinflammatoires des bétalaïnes, bétanine et les indicaxanthines contre l'acide hypochloreux (HOCl), oxydant très puissant produit par les neutrophiles à partir de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et de chlorure.

Les bétalaïnes sont des anti-radicaux libres et ont la capacité d'empêcher l'oxygène actif à induire les radicaux libres qui causent l'oxydation des molécules biologiques. et ont été utilisées

comme additifs naturels dans les aliments, les médicaments et dans les produits cosmétiques sous forme de concentré de jus de betterave ou de la poudre de betterave (**Atanas et al., 2005**).

Les bétalaines peuvent être utilisées comme marqueurs de l'état de différenciation biochimique des cellules et dans des études génétiques (**De Jesus, 1995**) et ils sont dotés d'une forte activité antioxydant et antiradicalaire (**cai et al., 2005**).

## 2. Propriétés biologiques des bétalaines

Plusieurs travaux ont démontré le puissant antiradical activité de piégeage des bétalaines in vitro (**Escribano et al., 1998; Kanner et al., 2001; Kujala et al., 2001; Butera et al., 2002; Pavlov et al., 2002; Wettasinghe et al., 2002; Cai et al., 2003**). Certains rapports basés sur les tests in vitro classent la betterave parmi les dix plus puissants légumes en ce qui concerne leurs activité antioxydantes (**Vinson et al., 1998; Halvorsen et al., 2002; Ou et al., 2002**), les bétalaines réagissant au moins en partie à ces propriétés bénéfiques (**Escribano et al., 2001; Wettasinghe et al., 2002**). Certaines recherches ont porté sur leurs avantages pour la santé. Les bétaxanthines ont été utilisées comme complément alimentaire pour fortifier les aliments transformés produits avec des acides aminés essentiels, donnant lieu à un «Colorant alimentaire essentiel» (**Leathers et al., 1992**). **Kapadia et al. (1996)** ont montré un effet inhibiteur significatif effet de la betterave sur le cancer de la peau et du poumon chez la souris.

Des années plus tard, **Kapadia et al. (2003)** ont démontré l'efficacité de la bétanine pour la suppression locale à long terme de tumeurs de la peau et du foie induites par différents produits chimiques cancérigènes chez la souris.

## 1 .Généralités

Le groupe des bactéries lactiques a été défini en 1919 par Orla-Jensen. Il a réuni plusieurs genres caractérisés par leur capacité à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique (**Tredez, 2008**).

Les bactéries lactiques sont des cellules vivantes, procaryotes, hétérotrophes. A quelques exceptions près, les bactéries lactiques sont généralement Gram positives, immobiles, asporulées, anaérobies mais aérotolérantes. (**Holzappel *et al.*, 2001 ; Gevers 2002**).

Leur forme peut être coccoïde, coccobacillaire ou bacillaire : Elles sont généralement mésophiles avec une température optimum de croissance entre 20°C et 30°C ou thermophiles entre 30°C et 45°. La majorité des souches se développent à pH 4,0-4,5, certaines sont en activité à pH 9,6 et d'autres à pH 3,2 (**Carr *et al.*, 2002 ; Kotelnikova et Gelfand, 2002 ; Jozala *et al.*, 2005**).

Elles sont de métabolisme chimio-organotrophe, ce qui signifie qu'elles utilisent comme source énergétique de substances hydrocarbonées telles que les sucres, les alcools et les acides organiques. Elles possèdent souvent des exigences nutritionnelles complexes en termes d'acides aminés, de peptides, de vitamines, de sels, d'acides gras et de sucre (**Dellaglio *et al.*, 1994**).

En générale ces bactéries ne possèdent ni catalase, ni nitrate réductase, ni cytochrome oxydase (à l'exception de quelques souches sous certaines conditions). Elles sont protéolytiques, ne liquéfient pas la gélatine, et ne forment plus d'indole ni d'hydrogène sulfureux, ces bactéries sont également incapables de fermenter le glycérol (**Dellaglio *et al.*, 1994 ; Salminen *et al.*, 2004**).

Toutes les bactéries lactiques ont un métabolisme fermentaire strictement saccharolytique par lequel en utilisant les glucides elles peuvent produire soit de :

L'acide lactique exclusivement (bactéries homolactiques strictes) ; L'acide lactique et l'acide acétique (bactéries hétérolactiques facultatives) ; L'acide lactique, de l'acide acétique ou de l'éthanol et du CO<sub>2</sub> (bactéries hétérolactiques strictes) (**Vandamme *et al.*, 1996**).

## 2. Principales caractéristiques des bactéries lactiques

### 2.1. Caractères morphologiques :

L'étude de la morphologie bactérienne permet une orientation préliminaire dans l'identification des bactéries auxquelles nous nous intéressons. La détermination de la morphologie comporte deux aspects : macroscopique et microscopique.

Macroscopique : concerne essentiellement les caractéristiques des colonies après cultures sur milieu solide. Chez les bactéries lactiques, ces colonies sont de formes circulaires, à contour régulier, à surface lisse, de couleur blanche avec un aspect laiteux. Leur diamètre est compris entre 0,5 et 1,5 mm

Microscopique : l'observation microscopique des bactéries lactiques après coloration simple ou différentielle révèle deux formes majeures : coques (0,5 à 2  $\mu\text{m}$  de diamètre) ou bâtonnets (0,5 à 2  $\mu\text{m}$  de diamètre, 1 à plus de 10  $\mu\text{m}$  de long) (**Dellaglio *et al.*, 1994**). Elles sont toutes à Gram positif et généralement immobiles. Leur mode d'association est très hétérogène (cellules isolées, paire, tétrades, amas irréguliers, longues ou courtes chaînettes) mais spécifique à chaque genre bactérien.

### 2.2. Caractères biochimiques et physiologiques

Les bactéries lactiques sont caractérisées par un ensemble de traits biochimiques et physiologiques communs qui leur sont proposés et permettent ainsi de les distinguer des autres groupes bactériens. Tous les bactéries lactiques ont la capacité de fermenter certains sucres en acide lactique. Certain sont dites homofermentaires, car elles produisent très majoritairement de l'acide lactique.

Les hétérofermentaire produisent de l'acide lactique en même temps que d'autres composés (généralement l'acétate et l'éthanol) (**Bolotin *et al.*, 2001 ; Duwat *et al.*, 2001 ; Miyoshi *et al.*, 2003**), Les bactéries lactiques ne liquéfient pas la gélatine et ne produisent pas d'indole ni d'hydrogène sulfureux. Elles sont asporulantes, ne se développent pas en présence de 6,5% de NaCl, ou lorsque le pH est supérieur à 9,6 (**Dellaglio *et al.*, 1994**). Elles sont anaérobies mais souvent micro-aérophiles, et présentent des exigences nutritionnelles complexes en ce qui concerne les acides aminés, les peptides, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles.

### 2.3. Caractères de la structure :

Ce sont des unicellulaires, donc constitués d'un seul composé obligatoirement d'une paroi, un cytoplasme renfermant les acides nucléiques, principalement l'ADN chromosomique et parfois des plasmides. Le cytoplasme est entouré d'une membrane cytoplasmique (Stiles et Holzapfel, 1997).

### 3. Classification des bactéries lactiques

Traditionnellement, les bactéries lactiques ont été classées sur la base des propriétés phénotypiques : la morphologie, le mode de fermentation du glucose, la croissance à différentes températures, l'isomère de l'acide lactique produit et la fermentation des différents hydrates de carbone (De Roissart et Luquet, 1994 ; Holzapfel *et al.*, 2001).

Les genres les plus étudiés sont *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, et *Pediococcus* (Drouault et Corthier, 2001).

#### 3.1. Le genre *lactobacillus*

Il est parmi les genres les plus utilisés en agroalimentaire et la nutrition humaine, selon la collection Deutsche Sammlung Von Mikroorganismen and Zellkulturen (Kandler et Weiss, 1986).

Ces bactéries sont de forme bacillaire ou cocobacillaire et ont tendance à former des chaînettes. Elles sont des acidophiles, leur pH maximum de croissance est de 7,2. Certaines espèces sont mésophiles, mais d'autres sont thermophiles comme l'espèce *lactobacillus jensenii* (Laurent *et al.*, 1998).

Les *lactobacilles* se répartissent en trois groupes selon leur profil fermentaire, d'après la classification de Kandler et Weiss (1986) (Tormo, 2010).

**Groupe I :** il comprend les espèces homofermentaires obligatoires, c'est-à-dire produisant exclusivement de l'acide lactique à partir du glucose. Ce groupe est constitué d'environ 25 espèces, la plupart thermophiles (croissance à 45°C) dont *Lb. delbrueckii*, *Lb. acidophilus* et *Lb. helveticus*. La plupart des espèces sont présentes dans le lait et les produits laitiers.

**Groupe II :** ce sont les espèces hétérofermentaires facultatives, c'est-à-dire capables d'utiliser la voie hétérofermentaires dans certaines conditions comme une concentration en glucose limitante. Il est constitué d'une vingtaine d'espèces dont *Lb. casei*, *Lb. curvatus*, *Lb. sake* et *Lb. plantarum*, majoritairement mésophiles (**Laurent et al., 1998**).

**Groupe III :** il est constitué des espèces hétérofermentaires obligatoires, c'est-à-dire utilisant la voie des pentoses phosphates pour la fermentation des hexoses et des pentoses.

C'est un groupe qui rassemble des espèces relativement hétérogènes, surtout mésophiles, comme *Lb. brevis*, *Lb. kefir* et *Lb. Sanfransisco*. Outre leur présence dans les produits laitiers et carnés, certaines espèces se développent dans le tube digestif de l'homme, et participent à l'équilibre de la flore intestinale (**Laurent et al., 1998**).

### 3.2. Le genre *Streptococcus*

Les Streptocoques sont des coques Gram positif, disposés en paires ou en chaînettes, non sporulés, apparaissant parfois capsulés, immobiles, anaérobies facultatifs, fragiles aux variations de température et de pH. Habituellement sont isolées de la peau et des muqueuses de l'homme et des animaux. Leur pouvoir pathogène est très polymorphe selon les espèces **Tormo H. (2010)**. Diversité des flores microbiennes des laits crus de chèvre et facteurs de variabilité. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. 46, 256p.

Le genre *Streptococcus* contient plus de 40 espèces. Elles se répartissent en six groupes, chaque groupe est caractérisé par distinct potentiel pathogénique et autres propriétés (**Kilian, 2002**).

Le groupe *pyogenic* regroupe la majorité d'espèces qui sont pathogènes pour l'homme et les animaux.

Le groupe *mitis* regroupe les espèces commensales de cavité buccale et le pharynx de l'homme. Bien que *Streptococcus pneumoniae* est une espèce pathogène très important.

Le groupe *bovis* vive au niveau du colon.

Le groupe *mutans* colonise exclusivement les dents humaines et certains animaux. Les groupes *anginosus* et *salivarius* parmi la microflore commensale de cavité buccal et du pharynx.

### 3.3. Le genre *Lactococcus*

Ce sont des microorganismes mésophiles, à Gram positif, sans activité catalase, non mobiles et se présentant sous forme de coques disposés en paires ou en chaînette. Leur métabolisme est homofermentaire, de l'acide lactique (L+) étant produit par la voie des hexoses (**Tormo, 2010**).

Le genre *Lactococcus* comprend 6 espèces : *L. garviae*, *L. piscium*, *L. plantarum*, *L. raffinolactis* et *L. lactis*, *L. chungangens*. Cette dernière espèce est divisée en trois sous espèces: *L. lactis subsp. Lactis*, *L. lactis subsp. Cremoris* et *L. lactis subsp. Hordniae* (Bekouche, 2006).

Les lactocoques se retrouvent fréquemment dans les laits crus à des niveaux pouvant varier de 10 à 10 000 UFC.ml<sup>-1</sup>, selon les études et les espèces laitières. Les niveaux sont supérieurs dans les laits de chèvre et de brebis, comparés au lait de vache. Parmi les lactocoques, *L. lactis* est l'espèce la plus étudiée et la plus fréquemment détectée dans les laits crus (Serna et Rodríguez., 2006).

### 3.4. Le genre *Leuconostoc*

La famille des *leuconostocaceae*, contient des coques ovoïdes, pouvant être allongés ou elliptiques. Ce sont des cellules sphériques disposent en paire ou en chaîne, elles sont caractérisées par un métabolisme hétérofermentaire en convertissant le glucose en D- lactate et éthanol ou en acide acétique par la voie de transcétolase, elles sont incapables de dégrader l'arginine ce qui les distinguent des *lactobacilles* hétérofermentaires (Gonzalez *et al.*, 2007). On range habituellement les *leuconostocs* dans les anaérobies facultatifs mais certains les considèrent comme des anaérobies facultatifs, mais certains les considèrent comme des anaérobies aérotolérants. Ils sont exigeants et présentent souvent une auxotrophe pour les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels minéraux et glucides (Dellaglio *et al.*, 1994).

Ce genre comprend les espèces suivantes : *Ln. Mesenteroides* avec ces sous espèces *mesenteroides cremoris* et *dextranicum* et *Ln. Lactis* et *Pseudomesenteroides* et *Ln.*

*Paramesenteroides* (Collins *et al.*, 1993).

### 3.5. Le genre *Bifidobacterium*

*Bifidobacterium* a été isolée pour la première fois par Tissier en 1899 (Biavati *et al.*, 2000), 32 espèces ont été assignées de ce genre (Dong *et al.*, 2000). Ces bactéries sont Gram positif, anaérobie, immobiles, non sporulés et catalase négative (à l'exception de *B. indicum* et *B. asteroides*. Elle a haut pourcentage en G+C (entre 55 et 67%) (Valeria, 2009). Le tractus intestinal humain et animal est l'habitat naturel de *Bifidobacterium*, Celle-ci prédominant de ce dernier : environ 3% de la microflore fécale chez l'adulte et de 91% chez les nourrissons (Boclé, 2005 ; Hadadji *et al.*, 2005).

# *Partie Expérimentale*

# *Matériel et Méthodes*

## **1. Echantillonnage**

La Figue de barbarie et la Betterave ont été collectées au mois d'août pour la figue de barbarie et le mois d'Avril pour la betterave. La récolte a été effectuée dans la région d'El-kseur (wilaya de Bejaïa) pour l'espèce de Figue de barbarie et la wilaya de Sétif pour l'espèce de betterave.

## **2. Préparation de matériel végétal**

Une fois la récolte du matériel végétal est réalisée, les baies de figue de barbarie ont été lavées pour les débarrasser des épines et des impuretés. Elles ont été immédiatement épluchées afin de séparer les épluchures des fruits, les fruits sans épluchures ont été broyés grâce à un broyeur électrique (**IKA, Allemagne**) puis filtrés pour écarter les graines. Le jus pulpeux obtenu a été conservé au congélateur à -20 °C.

La betterave procurée a été également rincée, séchée puis épluchée pour les broyer et obtenir un jus pulpeux qui a été ensuite conservé dans les mêmes conditions que celles de l'échantillon précédent.

## **3. Analyses physico-chimiques**

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées sur les produits finis des deux jus pulpeux de betterave et de figue de barbarie afin d'évaluer les paramètres physico-chimiques (humidité, ph, acidité, Brix).

### **3.1. Test d'humidité**

Il consiste à sécher un poids déterminé (5g) de chaque échantillon à l'étuve fixée à 105°C jusqu'à stabilité du poids. Le taux d'humidité est défini comme étant la perte de poids subit lors du séchage qui est calculé par la formule suivante (**AOAC, 1980**) :

$$H\% = [(M1 - M2) / M1] * 100$$

Avec :

H% : Teneur en eau.

M1 : Poids de l'échantillon avant séchage.

M2 : Poids de l'échantillon après séchage.

La matière sèche (MS) est obtenue comme suit :

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

### 3.2. Détermination du Ph

Le pH d'une solution correspond à la mesure de la quantité d'ions  $H_3O^+$  libres en solution. C'est un indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité.

La mesure de pH est réalisée à l'aide d'un pH-mètre tout en introduisant la sonde à l'intérieur de chaque jus pulpeux des deux échantillons (betterave et figue de barbarie) et lire la valeur du pH affichée (AOAC, 1980).

### 3.3. L'acidité titrable

L'acidité permet de déterminer l'acidité titrable ou libre, calculée par rapport à l'acide prédominant (Francis et al., 1988).

Le titrage de l'acidité a été réalisée en introduisant 10 ml du jus pulpeux (betterave ou figue de barbarie) un bécher auquel ont été additionnés 40 ml d'eau distillée et 2 à 3 gouttes de l'indicateur coloré la phénolphtaléine à 1%. Le mélange a été titré avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,01 N. Le point d'équivalence a été déterminé lorsque la couleur de l'échantillon vire vers le rose clair (AOAC, 1980).

L'acidité est calculée selon la formule suivante : selon la formule suivante :

$$\text{Acidité titrable} = N_{NaOH} * V_{NaOH} * MM / V_a$$

Avec :

**Acidité titrable** : exprimée en équivalent g d'acide citrique par 100g.

**N<sub>NaOH</sub>** : Molarité de la solution d'hydroxyde de sodium (0,1mol/L).

**V<sub>NaOH</sub>** : Volume de la solution d'hydroxyde de sodium (L).

**MM** : Masse molaire de l'acide citrique 192,124g/mol.

**V<sub>a</sub>** : Volume d'échantillon (ml).

### 3.4. Détermination du Brix

Le Brix est une échelle de mesure du pourcentage de matière solide soluble dans un produit. Le Brix est déterminé par lecture directe à l'aide d'un réfractomètre (aus JENNA, Allemagne). La mesure a été réalisée en disposant quelques gouttes de jus pulpeux de chaque matrice sur le prisme permettant ainsi de lire la valeur directement sur l'échelle du réfractomètre (Francis et Hamer, 1988).

#### 4. Extraction et dosage des Bétalaïnes

Les bétalaïnes ont été extraites par macération. Les deux matrices ont été broyées à l'aide d'un mortier ; 25 g de chaque broyat ont été mélangés avec 100 ml de méthanol à 80 %. Après une heure d'agitation à l'obscurité et filtration à travers d'un papier filtre wattman, le culot été récupéré pour subir une deuxième extraction. Les deux filtrats obtenus ont été mélangés. Le solvant d'extraction a été ensuite évaporé sous vide par le Rota-vapeur (BUCHI R200, Suisse). Les extraits ont été ensuite reconstitués dans l'eau distillée puis congelés. Les extraits de betterave et de figue de barbarie obtenus ont été lyophilisés pendant 48 h afin éliminer l'eau. En dernière étape, les extraits ont été reconstitués dans l'eau distillée avant de les conserver à basse température (-23°C).

La teneur en bétalaïnes totales (BC) est calculée selon la formule décrite par **Stintzing et al. (2003)**:

$$BC [mg / L] = (A * DF * MW * 1000 / \xi * l)$$

Où **A** : est la valeur d'absorption, **DF** : le facteur de dilution et **l** : la longueur du trajet (**1 cm**) de la cuvette. Pour la quantification des bétacyanines : **MW** = 550 g / mol;  $\xi = 60\,000 \text{ L/mol.cm}$ ;  $\lambda = 538 \text{ nm}$ ). Pour la quantification des bétaxanthines : **MW** = 308 g / mol;  $\xi = 48\,000 \text{ L/mol.cm}$ ;  $\lambda = 479 \text{ nm}$ ). Un balayage spectral est réalisé et a donné un pic par échantillon, le 1<sup>er</sup> correspond aux bétacyanines dans la betterave et le 2<sup>e</sup> aux bétaxanthines dans la figue de barbarie.

#### 5. Evaluation des activités antioxydants

##### 5.1. Activité scavenging du radical ABTS<sup>·+</sup>

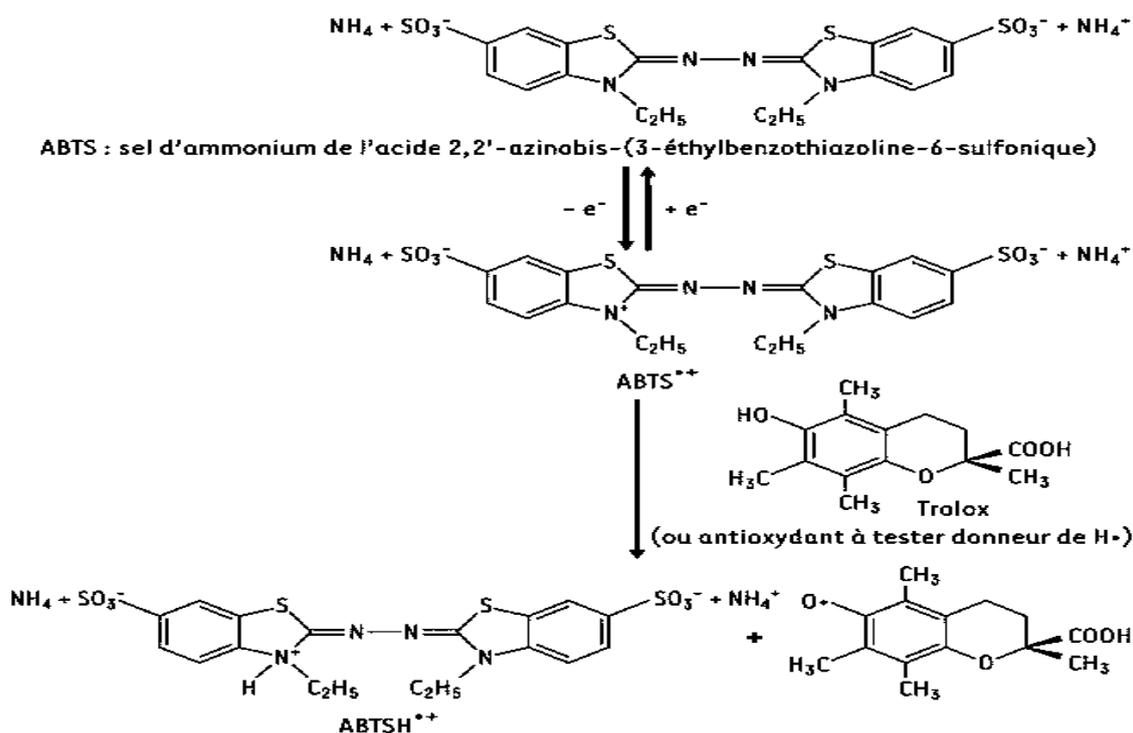
Cette méthode a été décrite pour la première fois par **Miller and Rice-Evans (1993)** puis améliorée en 1999. Elle consiste à la réduction du radical-cation coloré (acide 2'2 azobis 3 éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) connu sous le nom d'ABTS<sup>·+</sup>. Le développement de sa concentration est suivi à 734 nm au cours de sa réaction avec les antioxydants.

Le protocole de détermination de la capacité d'antioxydants à piéger le radical cationique ABTS<sup>·+</sup> adopté dans cette étude est celui de **Karaçelik et al., 2015**). La solution stock d'ABTS (ABTS à 7 mM et persulfate de potassium à 2,45 mM) a été incubée à l'abri de la lumière pendant 16 h pour atteindre un état oxydatif élevé et stable, cet état peut rester stable pendant plusieurs semaines s'il est conservé à l'obscurité. Cette solution stock est ensuite diluée avec le PBS (Phosphate buffured saline) pour obtenir une absorbance finale de  $0,7 \pm 0,02$  à 734 nm. Les échantillons ont été dilués dans le PBS pour former 5 concentrations afin de déterminer l'IC50 (Concentration inhibitrice de 50% du radical ABTS). A partir de chaque dilution, 20 µL ont été prélevés et mélangés avec 3000 µL de la solution d'ABTS, le mélange obtenu a été

soumis à une agitation au vortex, puis incubé pendant 06 min à l'obscurité et à température ambiante. La lecture a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre (RAYLEIGH, Espagne) à 734 nm contre un blanc.

Pour comparaison, la catéchine et l'acide tannique ont été utilisés comme standards et à différentes concentrations dans les mêmes conditions.

La figure suivante illustre la formation et le piégeage du radical  $ABTS^{•+}$  par un antioxydant donneur de  $H^{\bullet}$ .



**Figure 10** : Formation et piégeage du radical  $ABTS^{•+}$  par un antioxydant donneur de  $H^{\bullet}$  (Anonyme).

Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition donné par la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition de l' } ABTS^{•+} = \frac{[Ac - A_T]}{Ac} \times 100$$

Où:

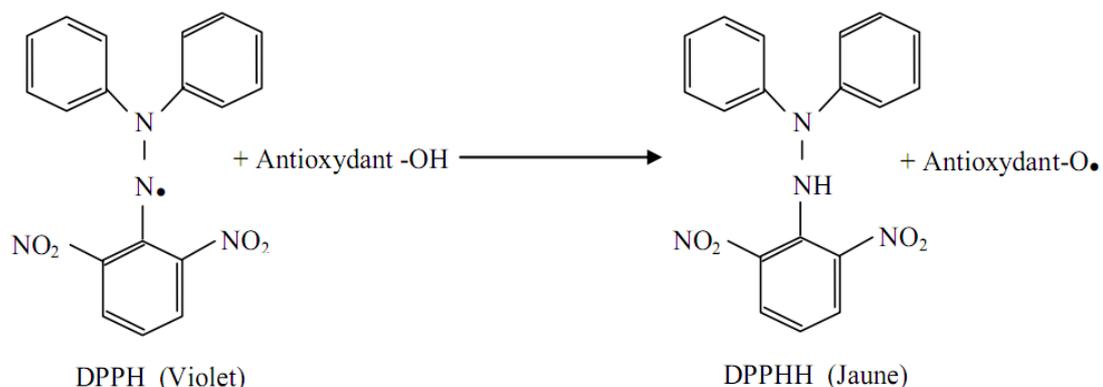
-Ac : Absorbance du contrôle.

-A<sub>T</sub> : Absorbance du test.

L'IC<sub>50</sub> a été déterminé par la courbe de régression obtenue en traçant les absorbances en fonction des concentrations de chaque extrait.

## 5.2. -Activité scavenging du radical DPPH·

Le DPPH· (2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl) est un radical libre de couleur violette, en présence des piègeurs de radicaux libres se réduit en 2,2-diphényl-1-picryl hydrazine de couleur jaune (figure 1) (Athmena et al., 2010).



**Figure 11:** Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH· (Talbi et al., 2015).

L'activité antiradicalaire des différentes concentrations des deux extraits de betterave et de figue de barbarie a été mesurée via le test DPPH en suivant le protocole de Hamalatha et al. (2010) ; 100 µl d'extrait ont été prélevés auxquels ont été additionnés 2900 µl de solution de DPPH· ( $2 \times 10^{-5}$  mol/L). Le mélange a été laissé 60 min à l'obscurité avant de mesurer l'absorbance à 515 nm contre un blanc et un contrôle.

Pour

$$\text{Inhibition du radical DPPH}\cdot (\%) = \left[ \frac{\text{Abs}_c - \text{Abs}_e}{\text{Abs}_c} \right] \times 100$$

comparaison, la catéchine et l'acide tannique ont été préparés en parallèle à différentes concentrations dans les mêmes conditions.

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH· de chaque extrait a été calculé comme suit :

Où :

Abs<sub>c</sub> : Absorbance de contrôle.

Abs<sub>e</sub> : Absorbance de l'échantillon

D'après les courbes de régression (%d'inhibition du DPPH en fonction des différentes concentrations d'extrait), la concentration permettant d'inhiber le radical DPPH· de 50 % (IC50) a été déterminée.

## 6. Application des extraits obtenus sur les Bactéries lactiques

### 6.1. Isolement et purification des souches :

#### 6.1.1. Culture bactérienne

La culture des deux bactéries lactiques (*Lactobacillus bulgaricus* et *Lactococcus lactis*) a été préparée par repiquage des bactéries dans le bouillon MRS puis encensement sur gélose MRS. L'incubation a été réalisée à 37°C pendant 24 H (Idoui et al., 2009).

#### 6.1.2. Purification

Afin de purifier les souches, des repiquages successifs ont été effectués sur le bouillon et la gélose MRS. Les colonies identiques ont été isolées pour les deux espèces bactériennes et ce après vérification par coloration de Gram.

### 6.2. Coloration de Gram :

La coloration de Gram a été effectuée sur des frottis. Elle permet de distinguer deux types de bactéries, les bactéries Gram négatifs (G-) et les bactéries Gram positives (G+). Celles-ci diffèrent de par la composition de leur paroi, notamment par l'épaisseur du peptidoglycane, par la présence d'une membrane externe et également par la forme des bactéries (Larpent, 1990). Les Lactobacilles et les lactocoques sont des Gram+ et sont sous forme de bâtonnets et de cocci, respectivement.

### 6.4. Fixation des pigments sur la paroi bactérienne.

Les extraits de pigments ont été appliqués aux deux espèces bactériennes citées dessus. Pour ce faire, 100 µL de chaque extrait ont été ajoutés à la suspension bactérienne composée de 200 µL de bactéries et 800 µL de tampon PBS, qui est l'équivalent de 10<sup>9</sup> UFC/ml approximativement. Le mélange a été incubé 10 min puis un lavage a été fait 3 fois avec le même tampon afin d'éliminer les molécules non fixées. Enfin, les bactéries ont été resuspendues dans le tampon HBSS (Hank's Balanced Salt Solution), avec la même concentration, avant de tester leurs activités antiradicalaires.

Les standards : l'acide tannique et la catéchine ont été utilisés pour comparaison dans ce test. Ces deux métabolites secondaires antioxydants sont connus pour leurs interactions avec les parois et les membranes biologiques (Koren et al., 2009).

## **6.5. Activités antioxydants**

### **6.5.1. Test antiradical ABTS. +**

Un volume de 20 µl de chaque suspension bactérienne, traitée avec les extraits de pigments et les standards, ont été ajoutés à 3 ml de la solution ABTS<sup>•+</sup> après 6 min d'incubation, une centrifugation a été réalisée afin d'éliminer le trouble causé par la bactérie. L'absorbance a été lue à 734 nm (**Voir test ABTS session 5.1**).

### **6.5.2. Inhibition du radical DPPH<sup>•</sup>**

Un volume de 100 µl des mêmes suspensions bactériennes du test précédent ont été ajoutées à 2,9 ml de solution DPPH<sup>•</sup>, après 60 min d'incubation, la lecture a été réalisée à 515 nm (**Voir test DPPH session 5.2**).

## **7. Analyse statistique**

Les données représentent la moyenne de 3 répétitions pour chaque test antioxydant. Les graphes ont été construits avec MSExcel 2013 (Microsoft). Les différences significatives sont étudiées avec le test de Student par groupe et le test LSD de Fisher en utilisant le logiciel Statistica 7.1.0 (Statsoft, USA).  $P < 0.05$  est considéré statistiquement significatif par défaut.

# *Résultats et Discussion*

## 1. Caractéristiques de la figue de barbarie et de la Betterave

### 1.1. Paramètres physico-chimiques des deux matrices étudiées

L'ensemble des résultats des analyses physico-chimiques des deux échantillons sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV** : Paramètres physico-chimiques de la figue de barbarie et de la Betterave

Paramètres	Humidité (%)	Acidité (%)	Brix(%)	pH
<b>Figue de barbarie</b>	90,00 % $\pm$ 1,95 <sup>a</sup>	0,17 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	12,00% $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	6,48 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
<b>Betterave</b>	88,40 % $\pm$ 0,89 <sup>a</sup>	0,58 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	12,60% $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	6,45 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>

Les valeurs portant les mêmes lettres ne présentent pas de différence significative à  $p < 0.05$ .

#### 1.1.1. PH

La détermination de pH renseigne sur l'état de fraîcheur d'un échantillon. Selon les résultats obtenus, les deux échantillons présentent des pH très proches. Aucune différence n'est observée entre les deux échantillons étudiés ( $p < 0,05$ ).

La valeur du pH de la figue de barbarie dans cette étude est de 6,48. Cette valeur est cohérente, elle rentre dans l'intervalle obtenu par **Gurrieri et al. (2000)** avec la variante italienne, dont les valeurs sont comprises entre 6,40 et 6,48, et de celui de **Piga(2004)** avec un échantillon de même origine dont les valeurs varient entre 5,3 et 7,1.

Le pH de la betterave étudiée est de 6,45. Cette valeur est proche de celle obtenue par **Pitalua et al. (2010)** sur une variété d'origine mexicaine(6,5).

#### 1.1.2. Acidité

Il ressort des résultats obtenus que la betterave est plus acide que la figue de barbarie.

L'acidité de la figue de barbarie étudiée est de 0,17% qui est supérieure à celle obtenue par **Medina et al. (2007)** sur un échantillon de l'île de Tenerife (0,078g/100g MF) et **El-Gharras (2006)** sur une variété d'origine marocaine dont la valeur est de 0,055g/100g MF.

L'acidité de la Betterave étudiée (0,58%) est supérieure à celle trouvée par **Pitalua et al. (2010)** qui est de 0,07%.

### 1.1.3. Taux d'humidité

Une différence d'humidité entre les deux échantillons est observée qui est en plus élevée dans la figue de barbarie.

Le taux d'humidité de ce dernier est de 90,00 %. Cette valeur rentre dans l'intervalle obtenue par **Piga (2004)** sur un échantillon d'origine italienne, allant de 84 à 90%. Cependant, elle est supérieure à celle enregistrée par **Cota-Sánchez (2016)** qui est de 85%, et à celle trouvée par **Medina et al. (2007)**, **Chiteva et Wairagu (2013)** d'origine Kenya et **Chougui et al. (2013)** qui varient entre 87,4 et 89 %.

Le taux d'humidité de la betterave étudiée est de 88,40 %. Il est légèrement supérieur à celui obtenu par **Adda Bajanadottir (2019)** qui correspond à 87%.

### 1.1.4. Brix

Le degré Brix désigne le taux de matière sèche soluble. Dans cette étude, les taux de Brix des deux échantillons sont proches. On note 12,00 % pour la figue de barbarie, qui concorde avec celle notées par plusieurs auteurs tels que **Chougui et al. (2013)** sur des échantillons de la région de Bejaia, allant de 12 à 17%, et **Felker et al. (2005)** et **Yahia et Mondragon-Jacobo, (2001)** sur des variétés du Mexique et d'Argentine, dont les valeurs varient de 11,86 à 16 %.

Le taux de Brix de la Betterave est de 12,60 %, cette valeur est similaire à celle trouvée par **Pitalua et al. (2010)** qui est de 12,5%.

Les différences observées pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques étudiés peuvent être dues à divers facteurs tels que le type de variété étudiée, l'origine géographique, les conditions climatiques, les conditions de croissance de la variété, le stade de maturité et les conditions de conservation.

## 2. Teneur en bétalaïnes

La teneur des pigments bétalaïnes contenus dans les extraits de figuier de barbarie et de betterave a été étudiée. Il ressort des résultats que, la betterave est significativement la plus riche avec une teneur de 30,53 mg/100g MF, alors que la figue de barbarie renferme une teneur qui représente environ un dixième (3,06 mg/100g MF).

L'analyse spectrophotométrique a montré l'existence d'un seul type de pigment pour chaque échantillon, il s'agit des bétacyanines et bétaxanthines détectés dans la betterave et la figue de barbarie, respectivement et qui sont responsables des couleurs pourpre et jaune des deux

échantillons. Ce qui veut la teneur en bétalaïnes totales dans chaque échantillon correspond à la teneur de chaque pigment cité ci-dessus.

Des études réalisées sur la figue de barbarie ont montré des valeurs plus élevées en bétaxanthines comparées à celle noté dans cette présente étude. En effet, **Butera et al. (2002)** ont enregistré 8,42mg/100g dans la même variété d'origine Sicilienne, **Castellar et al. (2003)** ont indiqué 14,3g/100g dans un échantillon d'Espagne, **Chougui et al. (2013)** ont abouti à 6,79 mg /100g dans la même variété d'Algérie mais de région différente, et enfin **Stintzing et al. (2005)** ont noté 7,63 mg/100ml pour les bétaxanthines dans les variétés jaunes-oranges de Californie.

Concernant la betterave, la valeur obtenue est inférieure à celles enregistrées par **Kugler et al. (2007)** qui est de 96,8mg/100g pour les bétacyanines pour la betterave d'origine Italienne. En revanche, **Stintzing et ses collaborateurs (2006)** ont obtenu une teneur en bétalaïnes plus importante de 407,7mg/100g pour la betterave de même origine.

Ces différences observées sont probablement dues aux facteurs environnementaux et la maturité du fruit et aussi due à la variété des espèces étudiés.

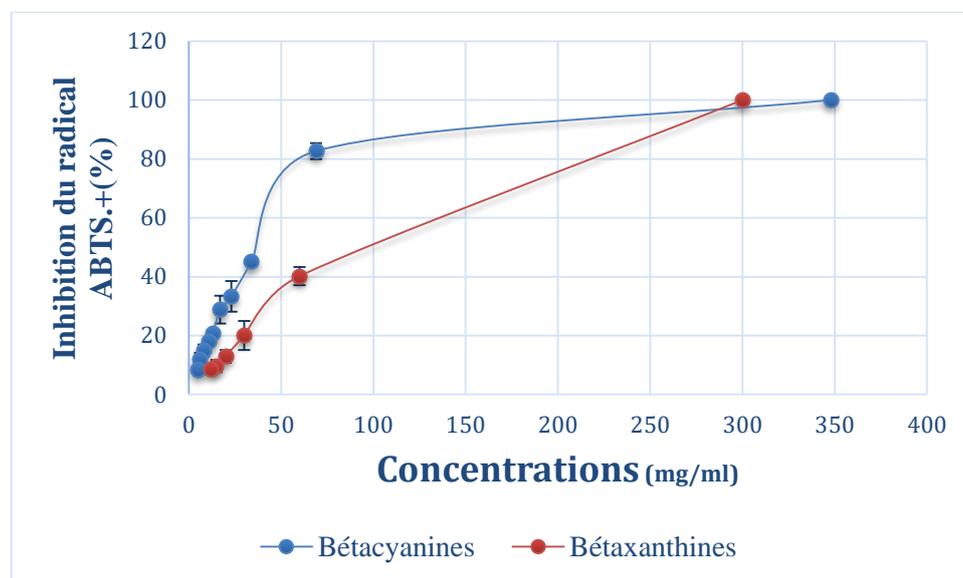
### 3. Evaluation des activités antioxydants

#### 3.1. Test anti-radical ABTS pour les matrices végétales

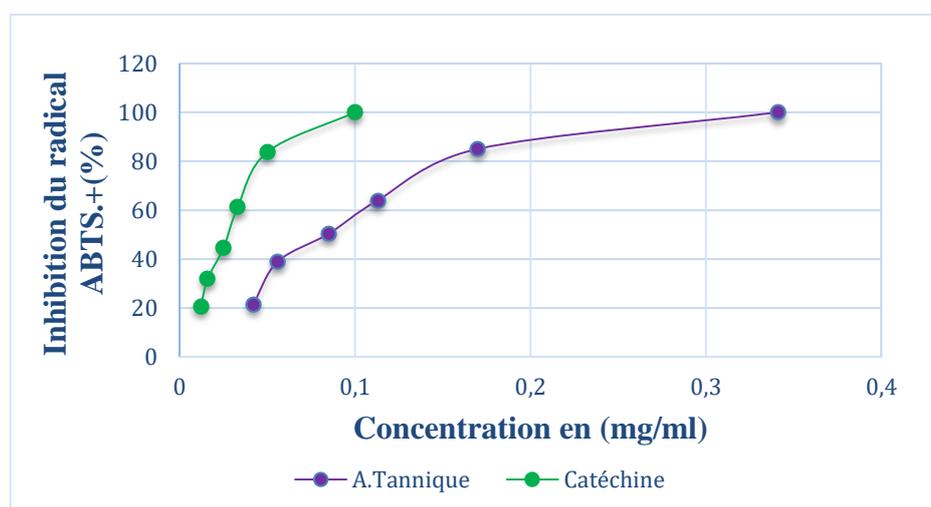
Dans ce test, l'ABTS est oxydé, par le persulfate de potassium, en ABTS•+ qui a une couleur intense. La neutralisation de ce dernier, pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire se traduit par la décoloration de la solution à 734 nm, qui considérée comme étant la capacité des composés à diminuer directement la couleur de radical ABTS•+ (**Gulcin I; 2009, 2010**). La **figure n° 12** représente le pourcentage d'inhibition du l'ABTS•+ par des extraits de figue de barbarie et de betterave et les standards catéchine et acide tannique à différentes concentrations. Elle montre clairement que quel que soit l'échantillon, l'activité est proportionnelle à sa concentration.

L'étude statistique des résultats illustrés dans le **tableau V**, montre l'existence d'une différence très hautement significative à ( $p < 0,001$ ) entre les deux échantillons et les standards testés vis-à-vis du radical ABTS•+. Il en ressort que l'activité de la betterave est supérieure à celle de la figue de barbarie. En effet, les EC50 obtenues sont respectivement 38,92 mg/ml et 64,01mg/ml.

Ces valeurs sont très faibles en les comparant activités des standards testés qui ont montré des EC50 (0,02 mg /ml) pour catéchine et d'EC50 (0.08 mg/ml) pour l'acide tannique qui sont environ 38 fois meilleur celle de la betterave et 64 fois de celle de la figue de barbarie pour les deux standards.



**Figure 12 :** Pourcentage d'inhibition du radical ABTS.+ des bétalaïnes de la betterave et la figue de barbarie.



**Figure 13 :** Pourcentage d'inhibition du radical ABTS.+ par les standards (Catéchine et Acide tannique).

**Tableau V** : Résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire du l'ABTS<sup>•+</sup> de la figue de barbarie, et de la Betterave et les standards.

Echantillons	Inhibition de l'ABTS <sup>•+</sup> EC <sub>50</sub> (mg/ml)
Figue de barbarie	64,01±1,17 <sup>d</sup>
Betterave	38,92±1,79 <sup>c</sup>
Acide tannique	0,08±0,002 <sup>b</sup>
Catéchine	0,02±0,0012 <sup>a</sup>

Selon le test LSD de Fischer, chaque lettre constitue un groupe homogène à  $p < 0.001$ ,  
a>b>c>d.

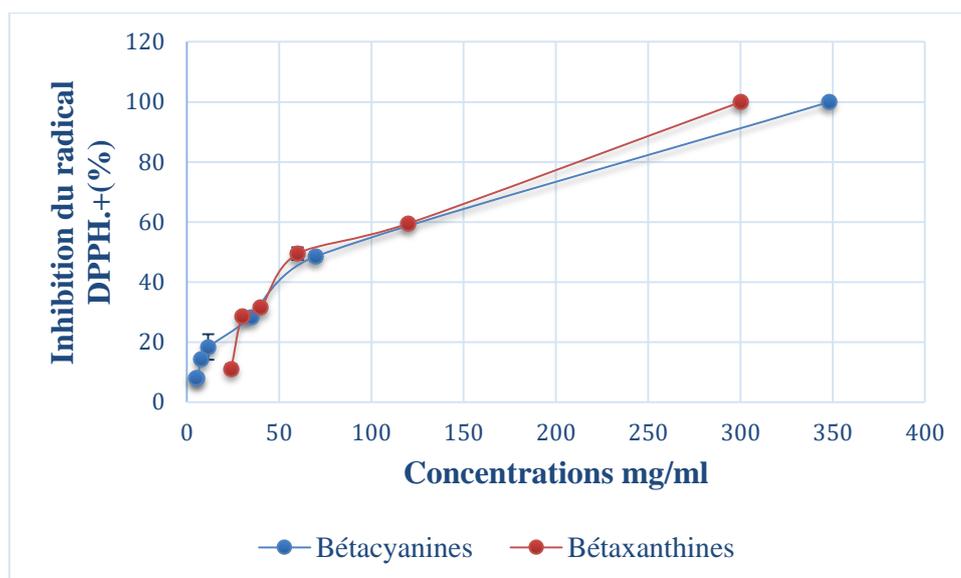
**Montoro** et ses collaborateurs ont déduit que l'activité anti-ABTS<sup>•+</sup> dépend de la polarité des échantillons. Les échantillons les plus polaires possèdent les bétacyanines qui ont présenté les meilleures capacités antioxydants, cela pourrait se justifier par la présence de composés polaires doués d'un grand potentiel antioxydant et qui agissent comme des donneurs d'hydrogène ou d'électron.

Cette activité dépend aussi de la structure chimique des composés phénoliques de nombre d'OH ainsi que leur position (**Montoro et al., 2004**). On peut souligner que la différence d'EC<sub>50</sub> entre les deux échantillons étudiés peut être liée à la différence de leur teneur en bétalaines et les composés phénoliques polaires.

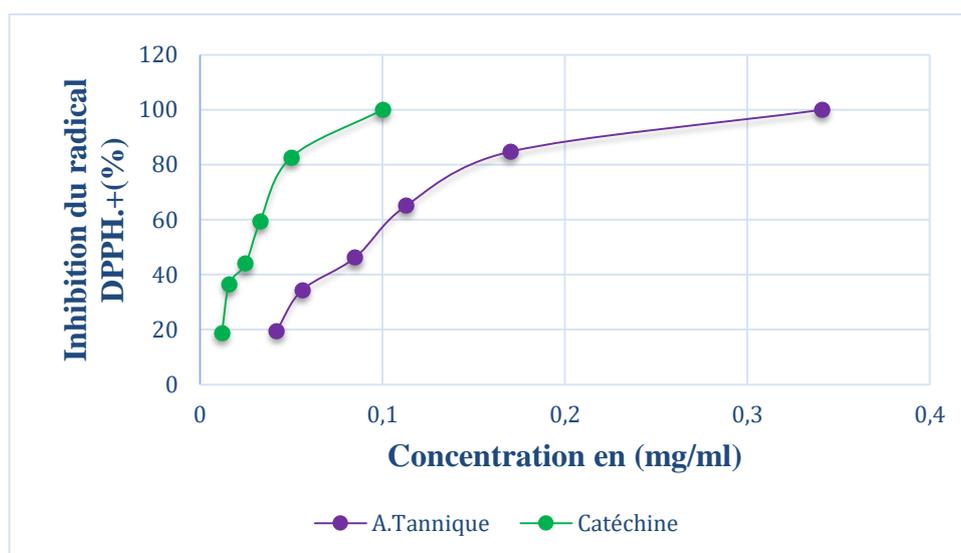
### 3.2. Test anti-radical DPPH<sup>•</sup> pour les matrices végétales

Cette méthode est basé sur l'utilisation d'un radical libre qui est le DPPH<sup>•</sup>, ce dernier (2,2 diphényle-1-picryl hydrazyl) est de couleur violette, il vire au jaune en présence de donneurs de protons (antioxydants) et se réduit en 2,2 diphényle-1-picrylhydrazine. Ceci permet de suivre la cinétique de décoloration à 517 nm (**Maataoui et al., 2006**).

**La figure n°13** représente le pourcentage d'inhibition du DPPH<sup>•</sup> par les extraits de figue de barbarie, de betterave et des standards catéchine et acide tannique, à différentes concentrations. Il apparait que, l'activité des extraits des deux échantillons étudiés est proportionnelle à leurs concentrations.



**Figure 14 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les pigments de betterave, de figue de barbarie.



**Figure 15 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les standards (Catéchine et Acide tannique).

Les résultats du pouvoir antiradicalaire des extraits sont présentés en termes d'EC<sub>50</sub> dans le **tableau VI** qui indique que l'extrait de pigment de la betterave est plus actif vis-à-vis du radical DPPH comparé à celui de la figue de barbarie, des EC<sub>50</sub> de l'ordre 51,29 mg/ml et

69,48mg/ml sont respectivement enregistrées (tableau VI). Une différence hautement significative observée pour les extraits et les standards ( $p < 0,001$ ).

Les échantillons testés sont moins actifs que les standards, qui ont montré des EC<sub>50</sub> (0,02 mg/ml) pour catéchine et d'EC<sub>50</sub> (0,08 mg/ml) pour l'acide tannique qui sont environ 51 fois meilleur celle de la betterave et 70 fois de celle de la figue de barbarie pour les deux standards.

**Tableau VI** : Résultats de l'évaluation de l'activité antiradicalaire sur le DPPH de la figue de barbarie, de la betterave et des standards.

Echantillons	Inhibition de DPPH EC <sub>50</sub> (mg/ml)
Figue de barbarie	69,48±1,12 <sup>d</sup>
Betterave	51,29±1,88 <sup>c</sup>
Acide tannique	0,08±0,00 <sup>b</sup>
Catéchine	0,02±0,00 <sup>a</sup>

Selon le test LSD de Fischer, chaque lettre constitue un groupe homogène à  $p < 0.001$ ,  
a>b>c>d.

#### 4. Fixation des pigments sur la paroi bactérienne

L'amélioration de statut oxydatif des bactéries a été initié par **koren** et ses collaborateurs en **2009** (**koren et al., 2009**) en testant plusieurs familles de métabolites secondaires notamment les acides phénoliques (acide gallique, acide caféïque), Les flavonoïdes (Quercétine, rutine) et les tannins (acide tannique, la catéchine, l'épigallocatechine gallate).

Ces métabolites ainsi que certains acides aminés basiques (histidine et l'arginine) ont été, en effet, testés vis-à-vis de plusieurs espèces bactériennes pathogènes et non pathogènes (lactiques).

L'idée de l'application des bétalaïnes sur des bactéries lactiques est venue après des études menées sur l'interaction entre ces pigments et les membranes biologiques, notamment celles des érythrocytes (**Tesoriere et al., 2005**) ainsi que la mise en évidence de leurs structures (**Stintzing et al., 2002**).

Dans cette optique, la caractérisation des deux familles (Bétacyanines et Bétaxanthines) ont permis d'en prédire certaines fonctions comme le franchissement des membranes épithéliales

intestinales et de la barrière hématoencéphalique chez les humains et les souris, respectivement (Tesoriere et al., 2013 ; Allegra et al., 2015), ce qui nous a initié à l'étude interactionnelle entre ces pigments et les parois bactériennes.

Pour ce test, nous avons testé les deux familles de pigments, les bétaxanthines et les bétacyanines, extraites respectivement à partir de la figue de barbarie (variété orange) et de la betterave rouge. En guise de comparaison des effets, les deux standards antioxydants, catéchine et acide tannique, ont été également testés avec les extraits de pigments dans les mêmes conditions et vis-à-vis des mêmes souches bactériennes, Ces dernières étant des bactéries lactiques ,nous en avons choisi les deux espèces *Lactobacillus bulgaricus* et *Lactococcus lactis* selon leurs morphologies, afin de voir les différents d'interaction ,respectivement pour la forme bâtonnet et cocci.

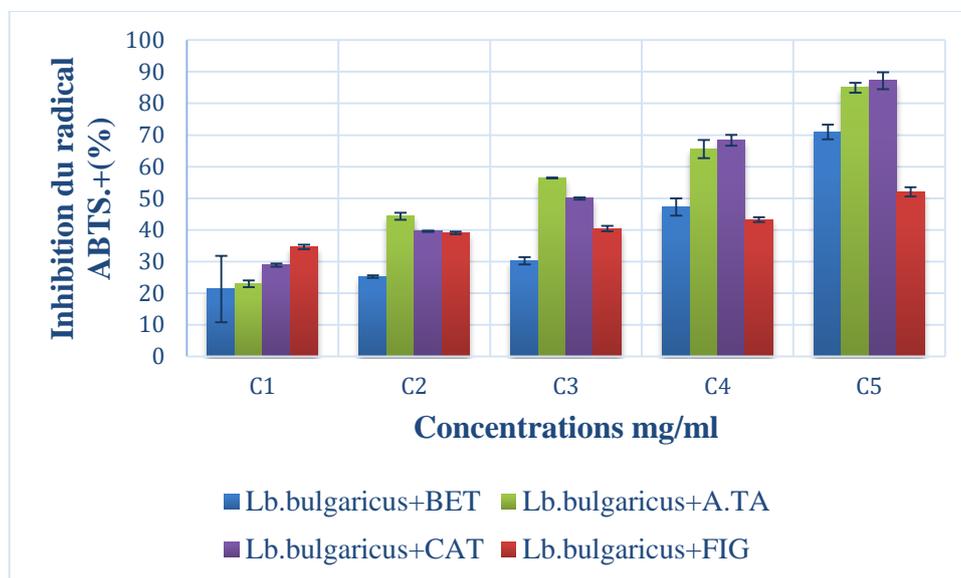
### 4.1. Test antiradicalaire ABTS<sup>o+</sup>

Le test réducteur du radical synthétique ABTS<sup>o+</sup> a donné d'intéressants résultats avec des pourcentages d'inhibition d'environ 70 % et 51 % respectivement pour l'extrait de betterave et de figue de barbarie, avec des concentrations entre 300 et 350 mg/ml, vis-à-vis de la culture *Lb. bulgaricus* (**figure n°14**). Des pourcentages plus élevés ( $p < 0,001$ ) sont enregistrés pour les deux extraits vis-à-vis de la culture mixte de *Lc. lactis* (**figure n°15**), dans le même intervalle de concentrations, avec des pourcentages supérieurs à 80 %. Comparant l'effet sur les deux espèces bactériennes, l'extrait pourpre de betterave s'est avéré le plus actif dans le piégeage du radical ABTS<sup>o+</sup> ( $p < 0,05$ ).

Les deux standards, acide tannique et catéchine, ont réduit le radical ABTS<sup>o+</sup> avec un taux supérieur à 80 % aux alentours de 100 µg/m (**figure 14 et 15**), après fixation sur les bactéries testées.

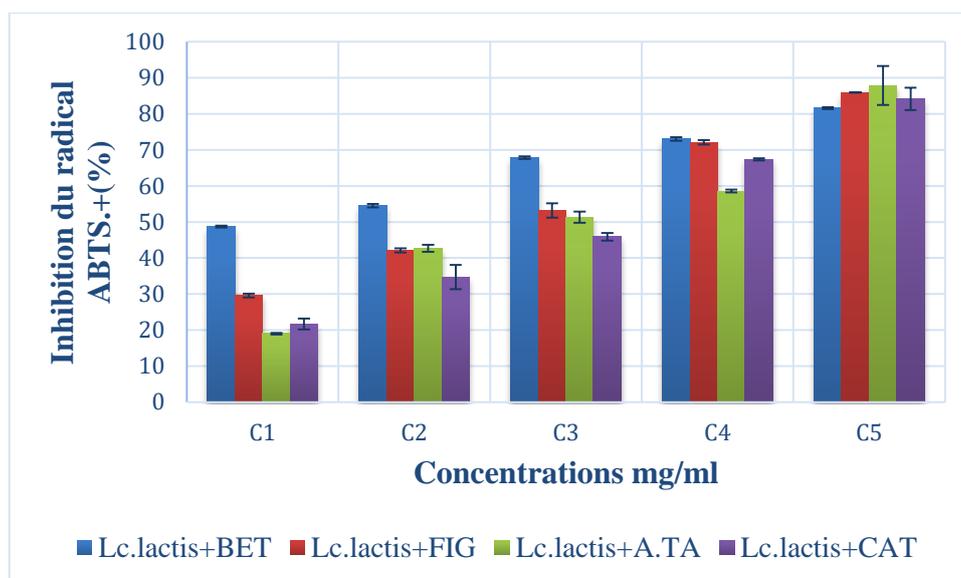
L'analyse des variances ANOVA a montré des différences très hautement significatives ( $p < 0,001$ ) en comparant les EC50 calculées pour les extraits des pigments et les deux standards. En effet, les EC50 les plus basses sont enregistrées pour la culture *Lc. lactis* **tableau VII** avec une valeur de 11,72 mg/ml et 30,41 mg/ml avec l'extrait de betterave et de figue de barbarie, respectivement. Des concentrations plus élevées sont constatées vis-à-vis de la souche *Lb. bulgaricus* **tableau VII** avec une valeur de 100,95 mg/ml et 300 mg/ml, respectivement pour l'extrait rouge de betterave et le jaune de figue de baraterie. Nous constatons donc que les pigments rouges (bétacyanines) agissent 3 fois mieux que les

pigments jaunes (bétaxanthines) dans le piégeage du radical  $ABTS^{\circ+}$ , cette efficacité des bétacyanines serait due à sa teneur très élevée dans la betterave contrairement à la teneur des bétaxanthines dans la figue de barbarie avec un rapport de 9,97 fois ( $p < 0,001$ ).



**Figure 16 :** Pourcentage d'inhibition du radical  $ABTS^{\circ+}$  de *Lb. bulgaricus* en présence des pigments végétaux et des standards (catéchine et acide tannique).

Lb : lactobacillus / BET : betterave / CAT : catéchine / A.TA : acide tannique / FIG : figue de barbarie.



**Figure 17 :** Pourcentage d'inhibition de radical  $ABTS^{\cdot+}$  de *Lc. lactis* en présence des pigments végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique). Lc : lactococcus / BET : betterave / A.TA : acide tannique / CAT : catéchine / FIG : figue de barbarie

#### 4.2. Test anti radical DPPH

Contrairement au test ABTS, l'effet des extraits dans le piégeage du radical synthétique  $DPPH^{\circ+}$  est fait par transfert de protons  $H^+$ . Les espèces bactériennes traitées avec les extraits de pigments et les standards ont montré des résultats inverses à ceux obtenus avec le test  $ABTS^{\circ+}$  ; avec des pourcentages d'inhibition de 84,20 % et 77,32 % respectivement pour *Lb. bulgaricus* traitée avec l'extrait de bétaxanthines (figue de barbarie) et l'extrait de bétacyanines (betterave) ( $p < 0,05$ ) (**figure 16**). Concernant la culture mixte de *Lc. lactis* le même résultat est noté en faveur des bétaxanthines à des concentrations inférieures à 100 mg/ml, cependant le pourcentage maximal est obtenu avec l'extrait de bétacyanines avec une valeur de 80% (**figure17**). Toutefois, les bétaxanthines restent efficaces face au radical  $DPPH^{\circ+}$  avec un pourcentage maximale de 76,21 % à 300 mg/ml (**figure 17**), sur le plan statistique, aucune différence significative n'est enregistrée, entre les deux extraits, à  $p < 0,05$ . En terme d'EC50, les concentrations les plus basses sont obtenues avec l'extrait de bétaxanthines avec une concentration de 15,29 mg/ml et 37,77 mg/ml, respectivement après traitement de la culture mixte de *Lc. lactis* et *Lb. bulgaricus* **tableau VII**. Également, L'extrait de bétacyanines a donné des EC50 intéressantes avec une concentration de 27,82 mg/ml et 52,13 mg/ml, respectivement après traitement de *Lc. lactis* et *Lb. bulgaricus*. Des différences très hautement significatives sont constatées entre les deux extraits et les deux cultures bactériennes traitées ( $p < 0,001$ ).

La catéchine a montré le pourcentage d'inhibition le plus élevé avec des valeurs allant de 87,50 % à 92,50 %, respectivement pour *Lb. bulgaricus* et *Lc. lactis* (**figure 16 et 17**). Avec les mêmes espèces bactériennes, des résultats proches sont notés en appliquant le standard acide tannique avec des valeurs allant de 84,67 % à 87,77 %, respectivement pour *Lc. lactis* et *Lb. bulgaricus* (**figure 16 et 17**).

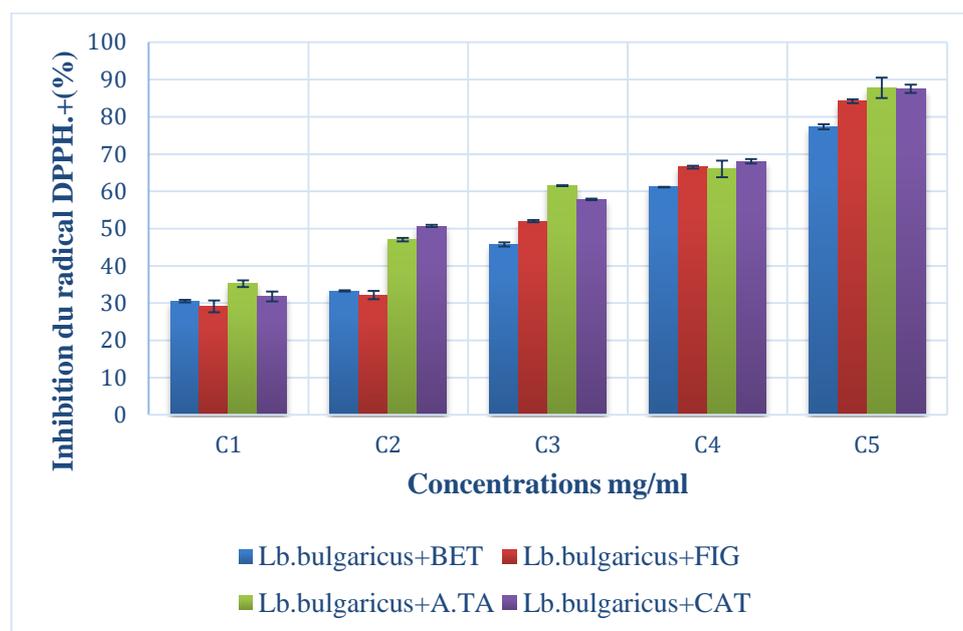
En termes d'EC50 les concentrations les plus basses sont obtenues en faveur de la catéchine avec une valeur de 0,037 et 0,042 mg/ml, respectivement pour *Lc. lactis* et *Lb. bulgaricus* **tableau VII**. Cependant, l'acide tannique s'est montré moins efficace avec des concentrations 8 fois plus élevées et des valeurs de 0,13mg/ml et 0,18 mg/ml après traitement de *Lb. bulgaricus* et *Lc. lactis* respectivement **tableau VII**.

Globalement, les deux tests ABTS et DPPH présentent deux mécanismes différents, de ce fait, on ne peut donc faire de comparaison avant et après fixation des métabolites cités dessus. Par exemple, l'extrait de bétacyanines a donné le meilleur résultat antiradicalaire en agissant seul, cependant, après fixation sur paroi bactérienne l'extrait de bétaxanthines a repris le dessus, notamment dans le piégeage du radical DPPH, ceci suggère qu'on ne peut faire toujours de corrélations. Entre autres, cette différence est due aux affinités que possèdent ces métabolites envers les différentes surfaces microbiennes (**Koren et al. 2008**).

En appliquant les extraits de bétalaïnes sur des bactéries lactiques, nous avons pu confirmer leur fixation sur les parois et leurs effets antiradicalaires avec différents mécanismes, tout comme les deux standards utilisés.

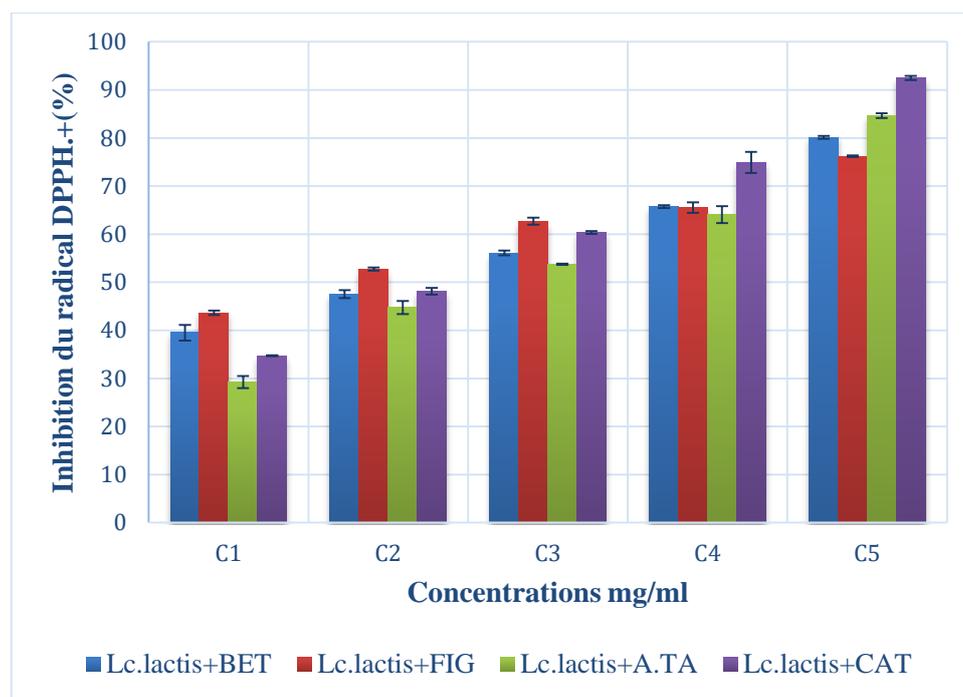
En comparant les bétacyanines aux bétaxanthines, la nature de fixation de ces pigments sur les parois bactériennes n'est pas totalement élucidée. Vue leurs structures, ces pigments possèdent des atomes d'azote ce qui rend leur affinité envers les surfaces chargées (-) plus élevée. De plus, les bétacyanines comporte un groupement sucre (glucose), ce dernier se met en contact avec les membranes et les parois bactériennes en premier selon une étude menée par **Casas-Sanchez et al. (2007)**, qui a testé l'interaction de l'hydroxytyrosol-glycosylé vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*. D'autres études ont montré que la fixation des composés phénoliques sur les surfaces microbiennes est due aux groupements OH, aux interactions hydrophobes, aux liaisons hydrogènes et au degré de polymérisation (**Verstraeten et al. 2003**). Dans la même optique, les bactéries Gram+ ne possèdent pas de

membrane externe, ce qui est remplacé par une paroi en peptidoglycane ainsi qu'une surface polysaccharidique qui constitue un site de fixation de composés phénoliques (**Hendrich 2006**). Enfin, une caractérisation par microscopie électronique et/ou par cytométrie en flux serait une parmi les solutions afin d'éclaircir la nature de fixation des bétalaines sur les parois bactériennes.



**Figure 18 :** Pourcentage d'inhibition de radical DPPH de *Lb. bulgaricus* en présence des pigments végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique).

Lb : lactobacillus / BET : betterave / A.TA : acide tannique / CAT : catéchine / FIG : figue de barbarie



**Figure 19 :** Pourcentage d’inhibition de radical DPPH· de *Lc. Lactis* en présence des pigments végétaux et de deux standards (catéchine et acide tannique). Lc : lactococcus / BET : betterave / A.TA : acide tannique / CAT : catéchine / FIG : figue de barbarie.

**Tableau VII :** Résultats de l’évaluation des activités antiradicalaires sur les ABTS·<sup>+</sup> DPPH·<sup>+</sup> par les bactéries lactiques en présence des extraits de pigments des végétaux (figue de barbarie, de la betterave) et des extraits de standards.

Echantillons	Inhibition de l’ABTS· <sup>+</sup> EC <sub>50</sub> (mg/ml)	Inhibition du DPPH· EC <sub>50</sub> (mg/ml)
<i>Lb. bulgaricus</i> + Figue de barbarie	300,00±0,00 <sup>d</sup>	37,77±1,08 <sup>c</sup>
<i>Lb. bulgaricus</i> + Betterave	100,95±30,64 <sup>c</sup>	52,12±0,65 <sup>d</sup>
<i>Lc. lactis</i> + Figue de barbarie	30,41±1,25 <sup>d</sup>	15,29±0,19 <sup>c</sup>
<i>Lc. lactis</i> + Betterave	11,72±0,47 <sup>c</sup>	27,81±0,07 <sup>d</sup>
<i>Lb. bulgaricus</i> + Catéchine	0,05±0,00 <sup>a</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>
<i>Lb. bulgaricus</i> + A. Tannique	0,18±0,01 <sup>b</sup>	0,13±0,001 <sup>b</sup>
<i>Lc. lactis</i> + Catéchine	0,07±0,01 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>
<i>Lc. lactis</i> + A. Tannique	0,22±0,01 <sup>b</sup>	0,18±0,00 <sup>b</sup>

Selon le test LSD de Fischer, chaque lettre constitue un groupe homogène à  $p < 0.001$ . En terme d’activité  $a > b > c > d$ .

**A**

**Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbahri, L., Boubekraoui, A., Ait Hammou, Arba, M. (2000).** Les Opuntia fruits comestibles dans certaine région du Maroc.D ans Ilème journée nationale sur la culture du cactus. El. Kelaa. DESsraghna-Maroc.

**B**

**Bajanadottir, A. (2019).** Beetroot 101: Nutrition Facts and Health Benefits ; Healthline.

**Barbera G, Carimi F, Inglese P. (1992).** Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *J. Hortic. Sci.*, 3: 307-312.

**Behnke, H.D., Mabry, T.S., (1994),** (Eds.), *Caryophyllales: Evolution and systematics*, Vol. XIV, Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 247-261.

**Bekhouche F. (2006).** Bactéries lactiques du lait cru de vache et Microorganismes pectinolytiques des olives noires et vertes : 1. Isolement et Identification Biochimique. 2. Evaluation et Optimisation de la production d'enzyme Polygalacturonase. Thèse présenté pour obtenir le grade de Docteur en Microbiologie et Enzymologie, Option : Génie alimentaire. Université de Docteur en Microbiologie et Enzymologie, Option : Génie alimentaire. Université de Mentouri Constantine. P21, 24,27.

**Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 88 (1975).** Bétalaine pp. 179-190.

**Biavati B, Vescovo M, Torriani S & Bottazzi V. (2000).** Bifidobacteria : history, ecology, physiology and application. *Annals of Microbiology*, 50, 117-131.

**Boclé, J. C., Baelde, D., Brassart, D., Corthier, G., Doré, J., Heyman, M., & Marteau, P. (2005).** Effets des probiotiques et prébiotiques sur la flore et l'immunité de l'homme adulte. Afssa (agence française de sécurité sanitaire des aliments) Nancy, 1-128.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Bokern, M., Heuer, S., Wray, V., Witte, L., Macek, T., Vanek, T., & Strack, D. (1991).** Ferulic acid conjugates and betacyanins from cell cultures of *Beta vulgaris*. *Phytochemistry*, 30(10), 3261-3265.

**Bolotin, A., Wincker, P., Manger, S., Jaillon, O., Malarne, K., Weissenbach, J., Ehrlich, S. D. & Sorokin, A. (2001).** The complete genome sequence of the lactic acid bacterium *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* IL1403. *Genome Res* 11, 731-753.

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

## C

**Carr, F.J., Chill, D., et Maida, N. (2002).** The Lactic Acid Bacteria: A Literature Survey. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, Mexico. *Chimique*, 108-115.

**Chiteva, R et Wairagu, N. (2013).** Chemical and nutritional content of *Opuntia ficusindica* (L.), *African Journal of Biotechnology*. Vol. 12(21), pp. 3309-3312.

**Claude, A. Henri, D. d. Henri, D. Henri, D.S. Jean-François, T. (2000)** Département Santé des Plantes, Département Environnement et Agronomie) GEVES, Département Génétique et Amélioration des plantes, Département Transformation des Produits Végétaux.

**Clement, J. S., Mabry, T. J., Wyler, H., & Dreiding, A. S. (1994).** Chemical review and evolutionary significance of the betalains. In *Caryophyllales* (pp. 247-261). Springer, Berlin, Heidelberg.

**Collins M.D., Samelis J., Metaxopoulos J. et Wallbanks S. (1993).** Taxonomic studies of some *Leuconostoc* like organisms from fermented sausages, description of a new genus *Weissella* for the *Leuconostoc paramesenteroides* group of species. *J. Appl. Bacteriol.* : 595-603. *Critical Rev. Microbiol.*, 28: 4, 281-370.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013).** Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food chemistry*, 139(1-4), 796-803.

### D

**De Roissart, H et Luquet, F.M. (1994).** Les bactéries lactiques. Uriage, Lorica, France, 1 :1-286.

**Dellaglio F., de Roissart H., Torriani S., Curk M. and Janssens D. (1994).** Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In: Bactéries lactiques, De Roissard H. and Luquet F. M. Lorica: Uriage. 1: 25-116.

**Dembitsky Valery M., Poovarodom S., Leontowicz H., Leontowicz M., Vearasilp Dong X., Xin Y, Jian W., Liu X & Ling D. (2000).** *Bifidobacterium thermacidophilum* sp. Evolutionary Microbiology (2000), 50, 119-125.

**Drouault S et Corthier G. (2001).** Effets des bactéries lactiques ingérées avec des laits fermentés sur la santé. *Veterinary Research, BioMed Central*, 32(2), pp.101-117.

**Duwat, P. S., S Cesselin, B Lambert, G Vido, K Gaudu, P Le Loir, Y Violet, F Loubière, P Gruss, A. (2001).** Respiration capacity of the fermenting bacterium *Lactococcus lactis* and its positive effects on growth and survival. *J Bacteriol* 183,4509-4509-4516.

### E

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

**El Gharras, H., A. Hasib, et al. (2008).** "Stability of vacuolar betaxanthin pigments in juices from Moroccan yellow *Opuntia ficus indica* fruits." *International journal of food science & technology* 43(2): 351-356.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Espin J. C. (2007).** Nutraceuticals: Facts and fiction. *Phytochemistry*. 68: 2986–3008.

### F

**Favier, A. (2003).** Le stress oxydant: Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension Des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique, L'Actualité Chimique, no. 11-12, pp. 108–115, 2003.

**Felker, P.; Rodriguez, S. ; Casoliba, R.M. ; Filippini, R. ; Medina, D. et Zapata, R. (2005).** Comparison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 60:405-422.

**Felker, P.; Rodriguez, S. ; Casoliba, R.M. ; Filippini, R. ; Medina, D. et Zapata, R. (2005).** Comparison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and ARGENTINE Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 60:405-422.

**Ferreira, I. C., Baptista, P., Vilas-Boas, M., & Barros, L. (2007).** Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food chemistry*, 100(4), 1511-1516.

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

**FRANCIS .A, J et HARMER .P, W. (1988).** Fruit Juices and Soft Drinks. In RANKEN, M.D. *Food industries manuel*, 22nd édition Blakies & son Ltd. Pages 249-284.

### G

**GARCIA M., (2002)** El nopal: cultivo forrajero sostenible para el noroeste de Mexico. Editorial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California, México. P.97.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Gentile, C., Tesoriere, L., Allegra, M., Livrea, M. A., & D'alessio, P. (2004).** Antioxydant Bétalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1028(1), 481-486.

**Gevers D. (2002).** Tetracycline resistance in lactic acid bacteria isolated from fermented dry sausages. Thèse Doc. Univ. Gent. Fac. Sci. Gent. Belgium.pp. 112-120.

**Gulcin I. (2010).** Antioxidant properties of resveratrol: A structure-activity insight. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 11:210–218.

**Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, C. M., Tomaselli, F., Bonomo, R. P., et Rizzarelli, E. (2000).** Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 48: 5424-5431.

## H

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

**Hadadji M, Benama R, Saidi N, Henni D & Kihal M. (2005).** Identification of cultivable *Bifidobacterium* species isolated from breast-fed infants feces in West- Algeria. *African Journal of Biotechnology* Vol. 4(5), pp. 422-430.

**Heber D. (2008).** Multitargeted therapy of cancer by ellagitannins (pomegranate).

**Hernández-Urbiola, M. I., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2011).** Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1287-1295.

**Heuer, S., Vogt, T., Böhm, H., & Strack, D. (1996).** Partial purification and characterization of UDP-glucose: betanidin 5-O- and 6-O-glucosyltransferases from cell suspension cultures of *Dortheanthus bellidiformis* (Burm. f.) NE Br. *Planta*, 199(2), 244-250.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Holzappel W,H,Haberer P, Geisen R,Bjorkroth J,and schillinger U,(2001),**Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *Am J clin Nutr*, 73:3655-735.

**Holzappel W.H., Haberer P., Snel J., Schillinger U., Huis In't Veld J.H.J. (1998).** Overview of gut flora and probiotics. *Int. J. food Microbiol.* 41:85-101.

**Holzappel, W. H., Haberer, P., Geisen, R., Björkroth, J., Schillinger, U. (2001).** Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *Am. J. Clin. Nutr*, 73: 36S-73S *Int. J. Food Microbiol.*, 132:109-116

**Holzappel, W.H., Haberer, P., Geisen, R., Björkroth, J. and Schillinger, U. (2001).** Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 73(suppl): 365S–73S.

### I

**Idoui, T., Boudjerda, J., Leghouchi, E. ET Karam, N.E., (2009).** Lactic acid bacteria from sheep's Dhan'', a traditional butter from sheep's milk: Isolation, identification and major technological traits. *Gr. Y. Aceites.* 60(2): 177-183.

### J

**Joulié, H. (1864).** Études et expériences sur le sorgho à sucre considéré [é] au point de vue botanique, agricole, chimique, physiologique et industriel... É. Giraud.

**Jozala, A.F., de Lencastre Novaes, L.C., Cholewa, O., Moraes, D., et Penna, T.C.V., (2005).** Increase of nisin production by *Lactococcus lactis* in different media. *Afr. J. Biotechnol.* 4: 3, 262-265.

### K

**Kaanane, A. (2000).** Techniques de valorisation industrielle les figues de barbarie. Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El KELAA DES SRAGHNA.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Kabas, O.; Ormerzi, A. & Akinci, I. (2006).** Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.) grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73: 198-202

**Kandler, O et Weiss, N. (1986).** Regular, nonsporng Gram-positive rods bacteria: Inbergey's manual of systematic bacteriology. Vol.2. (P.H. A. Sneath., Mair, N., Scharpe, M. E., Holt. M. E., éd.). Williams. & Wilkins, Baltimore, pp.1208-1260.

**Kandler, O., and Weiss, N., (1986).** Genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, 212AL. In: Sneath, P. H. A., Mair, N. S., Sharp, M.E., and Holt, J.G. (Eds). *Iranian Journal of Veterinary Research*, Shiraz University, Vol. 10. 156p

**Kilian M. (2002).** Streptococcus and Enterococcus. Bacterial pathogens and associated diseases, N°16.174-188.

**Kotelnikova, E.A. et Gelfand, M.S., (2002).** Bacteriocin Production by Gram Positive Bacteria and the Mechanisms of Transcriptional Regulation. *Russian J. Genetics*, 38: 6, 628-641. Translated from *Genetika*, 38: 6, 758-772.

## L

**L-Adrenaline:** A structure-activity insight. *Chem. Biol. Interac.* 179:71–80.

**Laurent, S. (1998).** Manuel de bactériologie alimentaire. Poly technica Paris. 307 pages.

**Letscherf, W. Lange, L. Frese. Van Den Berg, R.G. (1994).** Department of Plant Taxonomy, Wageningen Agricultural University, P.D. Box 8010, NL-6700 ED Wageningen, the Netherlands; 'DLO-Centre for Plant Breeding and Reproduction Research (CPRO-DLO), P.D. Box 16, NL-6700 AA Wageningen, the Netherlands; and 3/nstitute of Crop Science (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany.

**Loginova, K. (2011).** Mise en oeuvre de champs électriques pulsés pour la conception d'un procédé de diffusion à froid à partir de betteraves à sucre et d'autres tubercules alimentaires (étude multi-échelle) (Doctoral dissertation, Compiègne).

**M**

**Maaoui M. (2014).** Atlas plantes ornementales des ZIBAN. Edition CRSTRA, station de bio ressources El outaya.341p.

**Mabry, T.J. (1966).** The betacyanins and betaxanthins. In: Swain T (ed) Comparative phytochemistry. Academic Press, London, pp 231–244

**Malien-Aubert, C., & Amiot-Carlin, M. J. (2006).** Pigments phenoliques; Structures, stabilite, marche des colorants naturels et effets sur la sante. *Les polyphenols en agroalimentaire*, 295r339.

**Marchal, É. (1895).** Rapport sur les maladies cryptogamiques étudiées, en 1895, au laboratoire de botanique de l'Institut agricole de l'Etat à Gembloux. *Bulletin de l'Agriculture*, 11, 174-181.

**Medina, E. D., E. R. Rodríguez, et al. (2007).** "Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits." *Food chemistry* 103(1): 38-45.

**Miyoshi, A., Rochat, T., Gratadoux, J. J., Le Loir, Y., Oliveira, S. C., Langella, P. & Azevedo, V. (2003).** Oxidative stress in *Lactococcus lactis*. *Genet Mol Res* 2, 348-359.

**Mondragon, J.C. (2001a).** Cactus pear domestication and breeding. In: *Plant Breeding Review* Vol. 20, pp. 135-162 (Janick, J. ed.). John Wiley and Sons, Inc. Canad.

**Montoro E, Lemus SD, Echemendia M, Martin A, Portaels F et Palomino JC. (2005).** Comparative evaluation of the nitrate reduction assay, the MTT test and the resazurin microtitre assay for drug susceptibility testing of clinical isolates of *Mycobacterium tuberculosis*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 55, 500-505.

**Moreno, D. A., García-Viguera, C., Gil, J. I., & Gil-Izquierdo, A. (2008).** Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 261-280.

**Mulas M. & Mulas G., (2004).** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Musso, H. (1979).** The pigments of fly agaric, *Amanita muscaria*. *Tetrahedron*, 35(24), 2843-2853.

### N

**Neffar S.(2012)** .Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de Souk- ahras et Tébessa. Thèse de doctorat. Université de badji mokhtar. Annaba, 236 pp.

**Nerd, A., Karady, A., Mizrahi, Y. (1991).** Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short drought periods on productivity. *Horticultural science*, 26: 527-529.

**Noblet, J., Bourdon, D. (1997).** Valeur énergétique comparée de onze matières premières chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 29, 221-226.

### O

**Ollis, W.d., (1961).**(Ed.), Recent developments in the chemistry of natural phenolic compounds, Pergamon Press, Oxford , pp. 194-21.

### P

**Peter C., Wootton-Beard, and Lisa Ryan. (2011):** "Improving public health? The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages." *Food Research International* 44.10 3135-3148.

**Piattelli M (1976).** Betalains. In: Goodwin TW (Eds.) *Chemistry and biochemistry of plant pigments*, Academic Press, London, pp. 560-59.

**Pidgeon J.D. Werker .A.R . Jaggard KW, Richter.G.M. Lister.p.D. Jones c (2001)** Impact climatique sur la productivité du sucre betterave en Europe *Météorologie agricole et forestière* 109 (2001) 27–37.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

**Pimienta-Barrios E., (1993).** Vegetable cactus (*Opuntia*). In *Underutilized Crops: Pulses and Vegetables*. Ed J. Williams. London.UK. Pp 177-191.

**Pincemail, J., et Defraigne, J. O. (2004).** Les antioxydants: un vaste réseau de défenses pour lutter contre les effets toxiques de l'oxygène. *Service de Chirurgie Cardio-vasculaire, Pro biox SA. Sart Tilman, 4000.*

**Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E.J. and Beristain, C.I. (2010).** Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. *Food and bioproducts processing*, 88, 253-258.

## **R**

**RANKEN, M.D.** *Food industries manuel*, 22nd édition Blakies & son Ltd.Pages

**Reynolds s.g., arias-jimenez e., mondrago n-jacobo c., perezgonzalez s. (2003).** El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje, *Estudio FAO Produccion y Proteccion Vegetal*, 169, 344–345.

**Russel C.E., (1986).** Cactus, ecology and range management during drought. *Proceeding of the symposium on livestock and wild life management during drought. CaesarKleberg wildlife researches Institute. Univ. Kingsville. Texas. Pp 59-69.*

## **S**

**S., Trakhtenberg S and Gorinstein S. (2011).** The multiple nutrition properties of some exotic fruits, biological activity and active metabolites. *Food Research*.

**Saenz, C., (2000).** Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes. *Journal of arid environments* 46, 209-225.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Salminen S., Wright A V., Ouwehand A., (2004)** - Lactic acid bacteria. Microbiological and functional aspects. Marcel. Dekker. Inc., U.S.A.

**Schoefs, B. (2004).** Determination of pigments in vegetables. *Journal of chromatography A*, 1054(1-2), 217-226.

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

**Serna L & Rodríguez A. (2006).** Lactic acid production by a strain of *Lactococcus lactis* subs *lactis* isolated from sugar cane plants. *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN : 0717- 3458 Vol.9 No.1, 2006 ; 40-45.

**Siriwardhana, N., & Jeon, Y. J. (2004).** Antioxidative effect of cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica*) extract on lipid peroxidation inhibition in oils and emulsion model systems. *European Food Research and Technology*, 219(4), 369-376.

**Snyman H.A. (2006).** A greenhouse study of root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus indica* and *O. robusta*. *Journal of Arid Environments*, 65:529-542.

**Stafford, H. A. (1994).** Anthocyanins and betalains: evolution of the mutually exclusive pathways. *Plant Science*, 101(2), 91-98.

**Steglich, W., & Strack, D. (1990).** Betalains. In *The alkaloids: chemistry and pharmacology* (Vol. 39, pp. 1-62). Academic Press.

**Steiner, U., Schliemann, W., Böhm, H., & Strack, D. (1999).** Tyrosinase involved in betalain biosynthesis of higher plants. *Planta*, 208(1), 114-124.

**Stiles M.E. et Holzapfel W.H., 1997.** Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *Int. J. Food microbiol.* 36 :1-29.

**Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004).** Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in food science & technology*, 15(1), 19-38.

**Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007).** Betalains—emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10), 514-525.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007).** Betalains—emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10), 514-525.

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

**Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2003).** Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*, 216(4), 303-311.

**Strack, D., Vogt, T., & Schliemann, W. (2003).** Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*, 62(3), 247-269. *Systematic. Microbiol. Rev.* 60: 407.

## T

**Tanguy, M., Begué-Simon, A. M. (2009).** Antioxydants Première partie: les antioxydants dans l'alimentation. *Médecine*, 5(6), 256-260.

**Tesoriere, L., Gentile, C., Angileri, F., Attanzio, A., Tutone, M., Allegra, M., Livrea, M.A., (2013).** Trans-epithelial transport of the betalain pigments indicaxanthin and betanin across Caco-2 cell monolayers and influence of food matrix. *European Journal of Nutrition* 52, 1077–1087.

**Tormo H. (2010).** Diversité des flores microbiennes des laits crus de chèvre et facteurs de variabilité. thèse de doctorat de l'université de toulouse. 46, 256p.

**Tredez M et Louise H. (2008).** Méta- analyse des effets protecteurs des probiotiques sur la cancérogenèse colorectale chez les rongeurs. Thèse pour obtenir le grade de Docteur vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE. P 38-39.

## U

**Uses, (2017).** PS Nobel (ed.). *University of California Press, Berkeley, CA*, 1-21.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### V

**Valeria M Ozzetti. (2009).** Novel technological approaches to enhance stress tolerance of *Bifidobacterium longum* NCC2705 cells using continuous cultures. A dissertation submitted for the degree to ETH ZU RICH of Doctor of Sciences. P15-18.

**Vandamme p., pot b., gillis m., devos p., Keresters k. And Swings j., (1996).** Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial.

### W

**Wallace, R. S., and Gibson, A. C. (2002).** Evolution and systematics. *Cacti biology and*

**Wootton-Beard, Peter C., and Lisa Ryan. (2011)** "A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants." *Journal of functional foods* 3.4 Wootton-Beard, Peter C., and Lisa Ryan. "A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants." *Journal of functional foods* .329-334.

**Wyler, H., & Dreiding, A. S. (1961).** On betacyanins, the nitrogen containing pigment of *Centrospermae*. Preliminary report. *Experientia*, 17, 23-25.

### Y

**Yvonne Kerr Schick. (2008)** Seminar 235 Food for Thought: The Science, Culture, and Politics of Food.

### Z

**Zemmouri, A., and Sbaa, A. (2000).** Valorisation du figuier de barbarie en élevage. Transfert de technologie en agriculture, 1-4.

**Annexe I : Matériel utilisée**



**Lyophilisateur**



**La centrifugeuse (NUVE)**



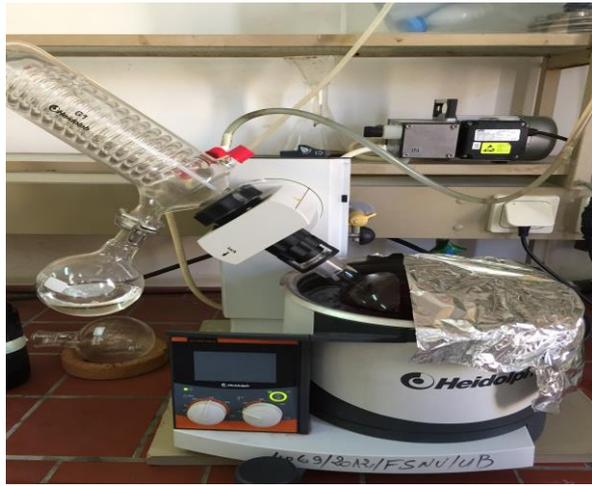
**Plaque agitatrice chauffante**



**Dessiccateur**



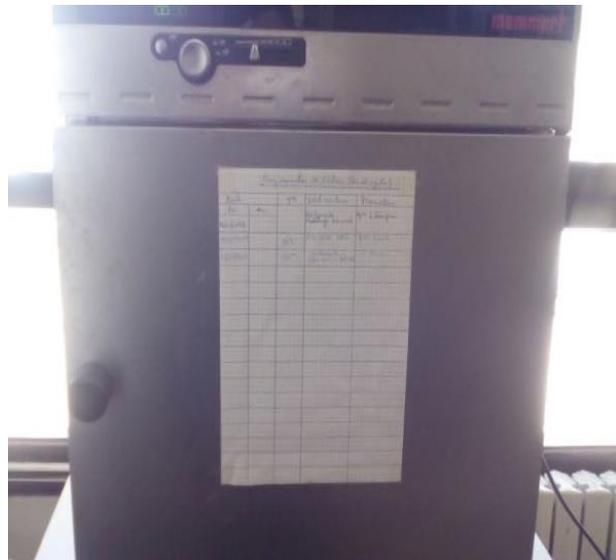
**Bain marie**



**Rota- vapeur (BUCHI R200, Suisse).**



**Balance de précision (Radwag)**



**Etuve ventilée (Mettler)**



**PH-mètre (Hanna pH 211)**

- Barreaux magnétique
- Bécher - fiole
- Broyeur électrique
- Boîte de pétrie
- Vortex
- Micropipette
- Papier aluminium
- Papier filtre wattman
- Pipette
- Spatule

## **Annexe II : Préparation des solutions**

**1-Préparations de la solution ABTS <sup>+</sup>**

**2-Préparation du solvant (Méthanol 80%).**

**3-Préparation de l'acide tannique.**

**4-Préparation de solution Tampon PBS (Phosphate Buffured Saline).**

**5-Préparation de standard catéchine.**

**6-Préparation de la solution DPPH.**

**7-Préparation de HBSS: Hank's Balanced Salt Solution.**

## Annexe III : Milieux de cultures utilisées

### Gélose MRS

Pour 1 litre de milieu :

- Polypeptone.....	10,00 g
- Extrait de viande .....	10,00 g
- Extrait autolytique de levure .....	05,00 g
- Glucose.....	20,00 g
- Tween 80 .....	01,08 g
- Phosphate dipotassique .....	02,00 g
- Acétate de sodium .....	05,00 g
- Citrate d'ammonium.....	02,00 g
- Sulfate de magnésium .....	0,20 g
- Sulfate de manganèse.....	0,05 g
- Agar agar bactériologique.....	15,00 g

PH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 5,7 ± 0,1

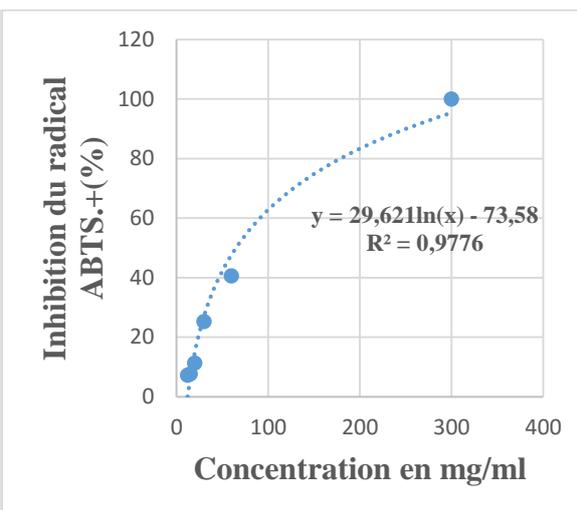
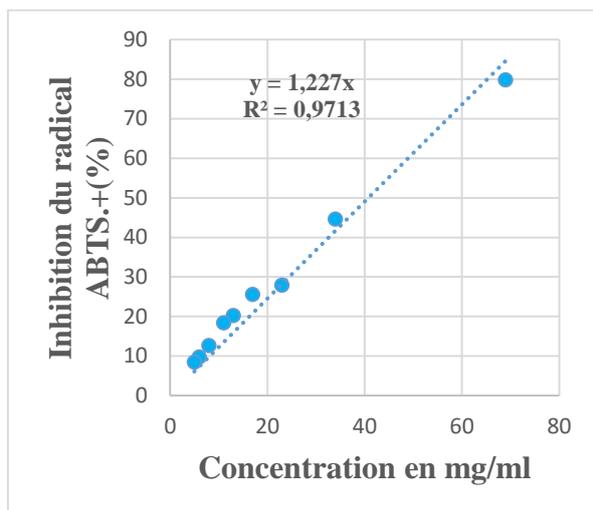
### Bouillon MRS

Pour 1 litre de milieu :

- Polypeptone.....	10,00 g
- Extrait de viande .....	10,00 g
- Extrait autolytique de levure .....	5,00 g
- Glucose.....	20,00 g
- Tween 80 .....	1,08 g
- Phosphate dipotassique .....	2,00 g
- Acétate de sodium .....	5,00 g
- Citrate d'ammonium.....	2,00 g
- Sulfate de magnésium .....	0,20 g
- Sulfate de manganèse.....	0,05 g

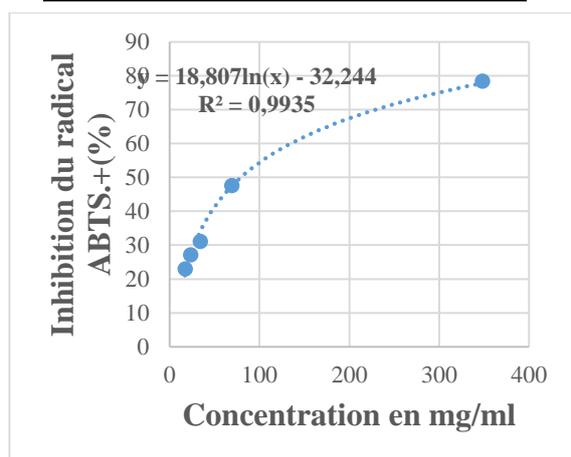
PH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 6,4 ± 0,2.

**Annexe IV : Les pourcentages  
d'inhibition des deux radicaux libres  
ABTS. + et DPPH. +**

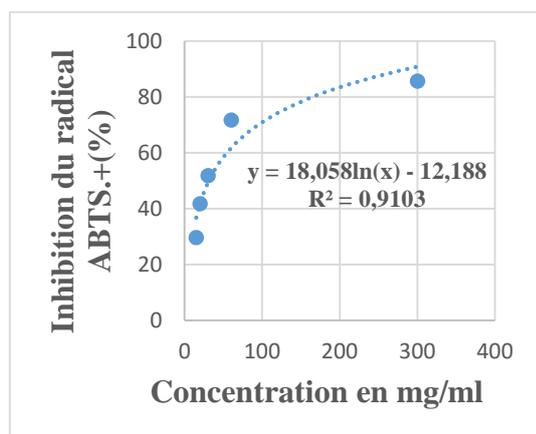


**Annexe 1** : Pourcentage d'inhibition de la betterave pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par l'ABTS

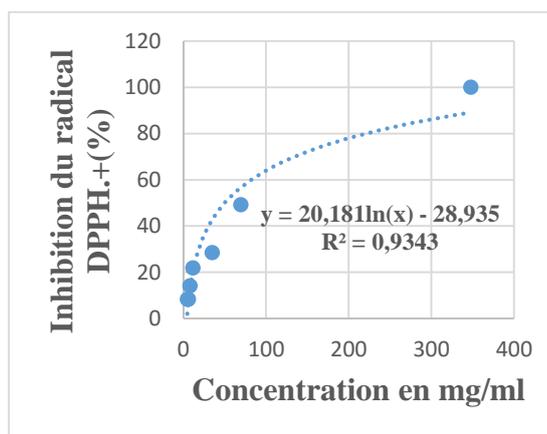
**Annexe 2** : Pourcentage d'inhibition de la fige de barbarie pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par l'ABTS.



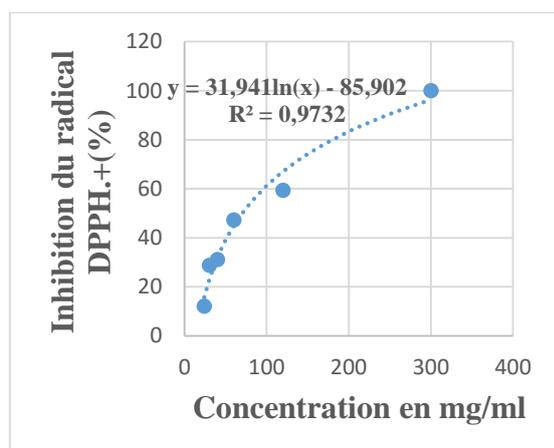
**Annexe 3** : Pourcentage d'inhibition de la betterave et lactobacillus bulgaricus pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par l'ABTS.



**Annexe 4 :** Pourcentage d'inhibition de la fige de barbarie et lactococcus lactis pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par l'ABTS.



**Annexe 5 :** Pourcentage d'inhibition de la betterave pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par le DPPH.



**Annexe 6 :** Pourcentage d'inhibition de la fige de barbarie pour l'évaluation de l'activité antiradicalaire par le DPPH.

Le travail que nous avons entrepris a pour objectif principal la valorisation de deux plantes largement utilisées dans la médecine traditionnelle qui sont la figue de barbarie et la betterave. En effet, cette étude se veut une contribution à une meilleure connaissance de ces espèces et l'évaluation de leurs activités antioxydant avec les deux méthodes antiradicalaires ABTS et DPPH.

En premier lieu, des paramètres physico-chimiques ont été déterminés, à savoir ; le taux d'humidité, l'acidité, le pH et le brix pour les deux plantes *Opuntia ficus indica* et *Beta vulgaris*. Ensuite, Nous avons extrait et quantifié les bétalaines de ces deux échantillons. La betterave possédant la teneur la plus élevée en bétalaines avec 30.52mg /100g de matière fraîche (MF) puis la figue de barbarie avec une valeur de 3,06mg/100g MF. Nous avons également évalué l'activité antioxydant des deux extraits avec les deux tests antiradicalaires ABTS et DPPH, les résultats ont montré une activité significativement élevée ( $p < 0,001$ ) en faveur de l'extrait de betterave avec des pourcentages d'inhibitions de 80% et de 50% et des EC50 de (38,92 mg/ml) et de (51,29 mg/ml), respectivement pour le test ABTS et DPPH. L'extrait de figue de barbarie a exhibé une activité importante contre ces radicaux avec de taux d'inhibition de 40% et de 60% et des EC50 de (64,01mg/ml) et de (69,48mg/ml). Aux détriments des deux radicaux ABTS<sup>o+</sup> et DPPH<sup>o</sup>, respectivement.

La présente étude est achevée par une application de ces pigments sur les parois bactériennes lactiques, ces dernières ont montré une forte capacité à retenir les deux classes des bétalaines, à savoir les bétacyanines et les bétaxanthines. Ce test de fixation sur parois bactériennes a été confirmé en testant leur activité antioxydant après traitement. En effet, le meilleur résultat est trouvé en faveur de l'extrait de betterave avec des pourcentages d'inhibition à°,80%. Une différence très hautement significative est constatée ( $p < 0,001$ ) entre les deux extraits et entre les espèces bactériennes. Néanmoins, il n'existe pas de corrélation entre les deux tests antiradicalaires du fait des différents mécanismes antioxydants et des natures des parois bactériennes.

En Perspectives, il serait intéressant d'approfondir cette étude en faisant ;

- Une caractérisation par microscopie électronique des bactéries traitées avec les bétalaines ;
- Un test de viabilité de ces bactéries afin de déterminer la concentration adéquate évitant l'effet bactéricide de ces pigments ;

## CONCLUSION

- Des tests *vis-à-vis* d'autres souches bactériennes lactique et/ou probiotiques pour étendre le spectre d'activité des bétalaines ;
- Des traitements de bactéries lactiques /probiotiques avec des molécules de bétalaines pures, ceci permet de diminuer les concentrations efficaces à l'ordre du microgramme, voir au nanogramme pour certaines molécules comme la bétanines ;
- Des tests *in vivo*, avec ces bactéries traitée, sur des modèles de souris ayant une inflammation intestinale et/ou colique afin de voir l'efficacité de ces bactéries à améliorer certains paramètres liés à ces pathologies, entre autres, leur efficacité contre des bactéries témoins, non traitées.

Le présente travail a été entrepris dans le but de déterminer les teneurs en antioxydants dans la Figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) et dans la Betterave (*Beta vulgaris*) et d'évaluer leur efficacité, ainsi que l'application de ces deux extraits sur des bactéries lactiques afin d'améliorer leurs statut oxydatif.

Les deux échantillons ont été récoltés dans la wilaya de Bejaïa, des tests physico-chimiques ont été faits directement après l'échantillonnage. Les bétalaines extraits par le méthanol 80% sont variable en fonction des deux espèces. Les teneurs les plus élevées en bétalaines totaux sont notées pour la betterave (30,51mg/100g MF) et avec une valeur de 3.06mg/100g MF pour la figue de barbarie. Les activités antioxydants ont été déterminées par l'évaluation de la capacité anti-radicalaire DPPH° et anti-radical cationique ABTS<sup>o+</sup> en déterminant les EC50. Les résultats de l'activité antioxydant obtenus indiquent qu'avec les deux méthodes, c'est l'extrait de betterave qui a donné un pouvoir plus élevé avec une valeur de (38,92 mg/ml).

Après application des deux pigments sur les parois des bactéries lactique avec les deux espèces *Lactococcus lactis* et *Lactobacillus bulgaricus*, les tests ont révélé une bonne amélioration du statut oxydatif de ces bactéries ; l'extrait pourpre de betterave s'est avéré significativement ( $p < 0,001$ ) le plus actif dans le piégeage du radical ABTS<sup>o+</sup>, les EC50 les plus importantes sont enregistrées pour la culture *Lc. lactis* avec une valeur de 11,72 mg/ml et 30,41 mg/ml avec l'extrait de betterave et de figue de barbarie, respectivement. L'extrait jaune de la figue de barbarie s'est également avéré significativement plus actif dans le piégeage du radical DPPH° ( $p < 0,001$ ) et l'EC50 la plus importante est enregistré pour la culture *Lc. lactis* avec une valeur de 15,29mg/ml. Pour l'extrait de betterave on enregistre une valeur de 27,81±0,07 mg/ml.

Le présent travail a permis d'évaluer l'efficacité de ces deux aliments à améliorer l'état redox des bactéries lactiques à des doses comestibles. Il serait important de tester l'interaction de ces pigments avec d'autres parois et membranes biologiques pour des applications en biothérapie et en industrie.

**Mots clés :** Figue de barbarie, betterave, bétalaines, antioxydants, bactéries lactique, statut oxydatif.

### Abstract

The present work was undertaken with the aim of determining the antioxidant contents in the Prickly pear (*Opuntia- ficus-indica*) and the Beet (*Beta vulgaris*) and to evaluate their effectiveness, as well as the application of these two extracts on lactic acid bacteria in order to improve their oxidative status.

The two samples were collected in the region of Béjaïa, physico-chemical tests were done directly after sampling. Betalaines extracted with 80% methanol vary according to the two species. The highest levels of total betalaines are noted for red beet (30.51mg / 100g FM) and with a value of 3.06 mg / 100g FM for prickly pear. The antioxidant activities were determined by the evaluation of the DPPH° anti-radical capacity and anti-cationic radical ABTS<sup>o+</sup> by determining the EC50. The result obtained indicates that with both methods, it is the Beet extract that gave a higher power with a value of (38, 92 mg/ml).

After application of these two pigments onto the walls of lactic acid bacteria with the two species *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus bulgaricus*, the tests revealed a good improvement of the oxidative status of these bacteria; Purple beet extract was found to be significantly ( $p < 0.001$ ) most active in trapping the ABTS<sup>o+</sup> radical, the important EC50 results were recorded for the *Lc. lactis* culture with a values of 11.72 mg/ml and 30.41 mg/ml for red beet and prickly pear extracts, respectively. The yellow extract of the prickly pear was also found to be significantly more active in trapping of the DPPH° radical ( $p < 0.001$ ) and the highest EC50 is recorded for the *Lc. lactis* culture with a value of 15.29 mg/ml. For the beet extract, a value of 27.81 ± 0.07 mg / ml was recorded.

The present work has evaluated the effectiveness of these two foods in improving the redox state of lactic acid bacteria at edible doses. It would be important to test the interaction of these pigments with other biological walls and membranes for applications in biotherapy and industry.

**Keywords:** Prickly pear, beetroot, betalaines, antioxidants, lactic acid bacteria, oxidative status.