



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Mr DELMI Mohammed Souleyman

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité BIOTECHNOLOGIE ALIMENTAIRE**

THÈME

**Effet antimicrobien d'extrait d'*Opuntia ficus-indica*  
sur certain bactérie pathogène**

Soutenue publiquement le 04 /07 /2018

DEVANT LE JURY

Président	M.AIT SAADA .D	MCB	U. Mostaganem
Encadreur	M BENMILOUD.D	MA	U. Mostaganem
Examineur	M.BEKADA.A	MAA C.	U Mostaganem.
Examineur	M <sup>MME</sup> .AIT CHABANE.O	Prefesseur	U .Relizane.

*Thème réalisé au Laboratoire de microbiologie N°02 de la faculté SNV-U.Mostaganem*

Année universitaire 2017 / 2018

# Remerciement

*Avant tout nous remercions Allah tout puissant de m'avoir donné la volonté, le courage et la confiance en moi mêmes pour pouvoir continuer mes études et arriver à ce niveau, et un sacré, remerciement à mes chers parents de m'avoir soutenu le long de ces années et de leurs prière que sans laquelle je serai peut-être pas là.*

*Nous tenons à exprimer, particulièrement, tous mes plus vifs remerciement mes gratitudes à mon encadreur « **M.BENMILOUD Djamel** » qui a assuré la direction scientifique de ce travail.*

*Je le remerciai de son attention, son implication, ses précieux conseils et sa disponibilité malgré ses occupations, ainsi la confiance qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ce travail.*

*Je le remerciai le responsable du parcours TAA et CQA, pour son courage constant, son vouloir de faire particulièrement réussir ses étudiants.*

*Je le remerciai tous les enseignant qui m'ont enseigné depuis le primaire jusqu'au supérieur.*

*Je le remerciai les responsables et les techniciens du laboratoire d'université abd el hamid ibn badis qui ont toujours été disponibles pour nous donner un petit coup de main et beaucoup d'encouragement.*

*Je souhaitai exprimer mon gratitude au l'ensemble jurées « **M. BEKADA Ahmed Mohamed Ali et AIT SAADA Djamel** » de bien avoir accepté d'évaluer ce travail, avec l'espoir d'être à leur espérance.*

# Dédicace

*Tout d'abord je remercie le Dieu tout puissant qui m'a donné le courage, la patience, et la persévérance pour atteindre mes objectifs.*

*A cette occasion, je dédie ce travail A mon père : qui a donné son cœur, et tout ce qu'il avait pour que ses enfants réussissent dans leurs vies.*

*A ma mère : la meilleur de toutes les mamans, "rahimaha allah" qui est pour moi un exemple remarquable de sacrifices et de courage.*

*A ma deuxième mère qui m'a soutenu moralement par ses prières.*

*A mes frères :loay hadj maemoune. Sohaybe.siradj dine.*

*A mes sœurs :Nour el hoda. Wafae. Aya.*

*Et à tous les membres de ma grande famille BENTATA et DELMI et BOUKEROUCHA et BERREKIA.*

*A ma future femme Imen BERREKIA.*

*A mes professeurs de l'université « ITA »*

*Ce travail est aussi dédié à mes collègues et a toutes mes amies.*

## Liste des abréviations

<b>ABTS</b>	: 2,2-azinobis (acide 3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).
<b>CAM</b>	: Crassulacean Acid Metabolism.
<b>DPPH</b>	: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.
<b>EA</b>	: Efficacité Antiradicalaire.
<b>EAC</b>	: Equivalent Acide Citrique.
<b>EAG</b>	: Equivalent Acide Gallique.
<b>EAT</b>	: Equivalent Acide Tannique.
<b>EG</b>	: Equivalent Glucose.
<b>ERO</b>	: Espèces Réactives de l'Oxygène.
<b>ET</b>	: Equivalent Trolox.
<b>ESAB</b>	: Equivalent Serum Albumin Bovine.
<b>FRAP</b>	: Ferric Reducing Antioxidant Power.
<b>HP</b>	: High Pressure.
<b>HPLC</b>	: High Performance Liquid Chromatography.
<b>PEF</b>	: Pulsed Electric Fields.
<b>PME</b>	: Pectine Méthyl-Estérase.
<b>POD</b>	: Peroxydase.
<b>Rpm</b>	: rotation par minute.
<b>tr</b>	: tour.
<b>UFC</b>	: Unité Formant Colonies.
<b>T</b>	: témoin.
<b>C2</b>	: concentration à 2%.
<b>C1</b>	: concentration à 1%.
<b>R</b>	: rendement de jus en %.
<b>PJ</b>	: poids de jus en g.
<b>Pv</b>	: poids de matériel végétal en g.

## Liste des illustrations

**Figure 1** : Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre *Opuntia*, (a) : *Opuntia ficus indica* (inermis), *Opuntia megacantha* (épineuse).

**Figure 2** : Carte illustrant l'aire de distribution du cactus à son origine (Lamb, 1991).

**Figure 3** : Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie (Revue nature et santé, 2011).

**Figure 4** : Photosynthèse de type CAM.

**Figure 5** : Schéma illustrant la technique de bouturage, (a) : meilleur emplacement pour prélever les boutures, (b) : plantation au niveau du sol (Lamb, 1991).

**Figure 6** : Morphologie des cladodes du figuier de Barbarie, (a) : Coupe transversale (CT) de l'ensemble de la cladode ; (b) : CT des couches extérieures de la cladode montrant la peau (S), chlorenchyme (CH), vaisseaux conducteurs (V), parenchyme (C) ; (c) : CT de la peau montrant un hypoderme à parois épaisses ; (d) : CT du chlorenchyme avec des plasmides et des cristaux oxalate (Ginestra et al., 2009).

**Figure 7** : Pressoir à paquet

**Figure 8** : Principe de fonctionnement d'un pressoir à corbeil.

**Figure 9** : Schéma explicatif du fonctionnement d'un pressoir à bande.

**Figure 13** : les bactéries lactiques du yaourt (Bourlioux et al ; 2011)

**Figure 14** : capture prise avec Google Earth de la zone d'échantillonnage dans la commune Sidi Lakhdar – Mostaganem

**Figure 15** : Dimensionnement des cladodes

**Figure 16** : Cladode d'espèce du figuier de Barbarie, *Opuntia megacantha* (épineuse) épines enlevées.

**Figure 17** : Etapes de l'extraction du jus à partir des cladodes des deux espèces, (a) : découpage, (b) : broyage, (c) : centrifugation et (d) : surnageant (jus).

**Figure 18** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *Escherichia coli* »

**Figure 19** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *Salmonella* »

**Figure 20** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *Staphylococcus aureus* »

**Figure 21** : évolution de l'acidité °D du yaourt additionné d'extrait des raquettes de figuier barbarie dans la période post-fermentation à 4°C.

## Liste des tableaux

**Tableau 1** : Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie (Stintzing and Carle, 2005)

**Tableau 2** : Composition en monosaccharides non cellulosiques des cladodes de *l'Opuntia ficus indica* (Ginestra et al. 2009).

**Tableau 3** : Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte (Stintzing and Carle, 2005).

**Tableau 4** : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie (Bruckner et al. 2003).

**Tableau 5** : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie (Abidi et al. 2009).

**Tableau 6** : Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie (Stintzing and Carle, 2005).

**Tableau 7** : Composition en polyphénols des cladodes de *l'Opuntia ficus-indica* (El-Mostafa et al. 2014).

**Tableau 8** : *Bactéries identifiées et aliments associés* (Bourgeois et al. 1996 ; Heghebaert et al. 2002).

**Tableau 9** : principaux caractères de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (CORVI, 1997)

**Tableau 11** : climat annuelle du commun sidi Lakhdar – Mostaganem

# Table des matières

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des illustrations	
Résumé	
INTRODUCTION GENERALE .....	1
<b>1<sup>ER</sup> PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Chapitre 1. Généralités sur le figuier de Barbarie .....	2
1. Introduction .....	2
2. Cactées .....	3
2.1. Définition .....	3
2.2. Origine et diffusion .....	3
2.3. Morphologie .....	4
2.4. Classification .....	5
3. Fiquier de Barbarie .....	6
3.1. Définition .....	6
3.2. Distribution .....	6
3.3. Taxonomie .....	6
3.4. Description morphologique .....	7
3.5. Physiologie.....	8
3.6. Habitat .....	9
3.7. Reproduction et techniques de multiplications .....	10
3.8. Exigences écologiques .....	11
3.9. Utilisations .....	13
4. Cladodes du figuier de Barbarie .....	18
4.1. Morphologie .....	18
4.2. Composition chimique .....	19
Chapitre 2. Mode d'utilisation.....	27
1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques .....	27
2. propriétés antifongique et antibactériennes.....	27
3. Impact sur la santé.....	28
4. applications industrielles .....	29
Chapitre 3. Production industrielle des jus .....	30
1. Définition .....	30
2. Extraction .....	32
3. Traitement thermique .....	35
3.1. Généralités.....	35
3.2. Pasteurisation .....	36
4. Conditionnement .....	37
Chapitre 4.activité bacterienne et alimentation.....	38
1. introduction .....	38

1.1 les salmonelles .....	40
1.2 escherichia coli .....	40
1.3 staphylococcus aureus .....	41
Chapitre 5.le yaourt .....	42
1. historique .....	42
2. définition .....	42
3. composition microbiologique du yaourt .....	42
4. caractéristique générale des bactéries lactiques .....	43
5. bactéries lactiques spécifiques du yaourt .....	43
6. Différents types du yaourt .....	45
7. Activité antimicrobienne .....	45
8. Stimulation du système immunitaire .....	45
<b>2<sup>EME</sup> PARTIE : MATERIEL ET METHODES</b>	
Chapitre 1. Matériel végétal .....	46
1. Zone d'échantillonnage .....	46
2. Conditions climatiques .....	47
3. Echantillonnage .....	48
Chapitre 2. Extraction du jus .....	49
Chapitre 3. Matériel biologique .....	50
1. La méthode utilisée .....	50
2. Préparation de milieu de culture .....	50
3. Teste de sensibilité à l'extrait .....	51
Chapitre 4. Fabrication de yaourt .....	52
1. La fabrication industrielle des yaourts .....	52
2. Diagramme général de fabrication des yaourts .....	53
3. Procédés de fabrication de yaourt expérimental .....	54
Chapitre 5. Acidités titrables .....	54
1. Mesure de l'acidité titrable .....	54
<b>3<sup>EME</sup> PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
1. Résultat.....	55
2. Discussion .....	58
Conclusion générale.....	59

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Annexe 01

Annexe 02

## Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer Les effets antibactérien et antifongique de extrait des raquettes de figuier barbarie (*Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*) ont été évalués par la méthode **Kirby-Bauer** vis-à-vis trois souches bactériennes « *salmonella*, *escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* », Les résultats révèlent l'efficacité de l'extrait des cladodes contre « *salmonella et escherichia coli* » par contre aucun effet sur la souche « *Staphylococcus aureus* ».

Pour améliorer cette étude on ajoute l'extrait des cladodes d'*Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha* avec déférente concentration à 1%, 2% dans le yaourt nature ; les résultats montrent que l'acidité Dornic de yaourt nature additionné avec l'extrait 70-80 °D que 83-90°D pour le témoin. Alore, l'extrait des cladodes joue le rôle d'un ralentisseur.

Ces résultats et les avancées scientifiques sur l'*Opuntia*, montrent tout l'intérêt que représente cette plante pour les régions arides et semi arides. Elle peut constituer un complément alimentaire (fruit + « légumes ») non négligeable et peut contribuer à l'amélioration des revenus de la population.

L'utilisation du jus de cladodes comme alternative de valorisation d'une partie des composants de valeur biologique, médicinal et alimentaire peut s'avérer d'un grand intérêt, dans la mesure où l'on s'oriente de plus en plus vers la préparation des aliments multifonctionnels (basse calories, absence de cholestérol, fibres, vitamines, pouvoir antioxydant, effet positif sur la santé, additif alimentaire naturelle...).

## Abstract

The objective of this study is to determine the antibacterial and antifungal effects of extract of snowshoes (*Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*) were evaluated by the Kirby-Bauer method vis-à-vis three bacterial strains "salmonella, escherichia coli and Staphylococcus aureus ", The results reveal the effectiveness of the cladode extract against" salmonella and escherichia coli "against no effect on the strain" Staphylococcus aureus ".

To improve this study is added the extract cladodes *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha* with deferent concentration 1%, 2% in natural yoghurt; the results show that the Dornic acidity of natural yoghurt added with the 70-80 ° D extract as 83-90 ° D for the control. He plays the role of a retarder.

These results and the scientific advances on *Opuntia*, show all the interest this plant represents for arid and semi-arid regions. It can constitute a non-negligible dietary supplement (fruit + "vegetables") and can contribute to improving the income of the population.

The use of cladode juice as an alternative for the valorization of some of the components of biological, medicinal and food value can be of great interest, as we move more and more towards preparation of multifunctional foods (low calorie, no cholesterol, fiber, vitamins, antioxidant, positive effect on health, natural food additive ...).

## ملخص

وكان الهدف من هذه الدراسة لتحديد تأثيرات مضادة للجراثيم والفطريات لمستخلص مضارب التين الشوكي تم تقييمها من قبل طريقة كيربي باور وجها لوجه مع البكتيريا ثلاث سلالات السالمونيلا والإشريكية القولونية. سلالة المكورات العنقودية الذهبية.

، وأظهرت النتائج فعالية مستخلص مضارب التين الشوكي ضد" السالمونيلا والإشريكية القولونية "بأي تأثير ضد" سلالة المكورات العنقودية الذهبية".

لتحسين هذه الدراسة يضاف المستخلص بتراكيز تفضيلية 1% و2% مع الزبادي العادي. أظهرت النتائج أن الزبادي الطبيعي يضاف مع مستخلص بحمض 70-80 درجة الحموضة مقابله 83-90 بالنسبة للعادي، ان المستخلص له دور المثبط.

تظهر هذه النتائج والتطورات العلمية في أوبونتيا كل الاهتمام الذي يمثله هذا النبات في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ويمكن أن يشكل مكملا غذائيا غير مهم (الفواكه + الخضروات) ويمكن أن يسهم في تحسين دخل السكان

إن استخدام عصير المضارب الشوكية كبديل لتنميين بعض مكونات القيمة البيولوجية والطبية والغذائية يمكن أن يكون ذا أهمية كبيرة، حيث تتحرك أكثر فأكثر نحو إعداد متعدد الوظائف الغذائية (سعة حرارية منخفضة، لا الكوليسترول والألياف والفيتامينات ومضادات الأكسدة، وتأثير إيجابي على الصحة، المواد المضافة إلى الأغذية الطبيعية...).

## Introduction générale

Les orientations de la politique agricole algérienne, encouragent la valorisation des zones arides et le développement de cultures qui s'adaptent au réchauffement climatique. Le figuier de Barbarie est une plante adaptée au climat aride et semi-aride, mais il reste encore sous-exploité au Algérie. Les cladodes du figuier de Barbarie sont largement consommées au Mexique et elles contiennent des composants bioactifs qui ont des effets bénéfiques pour la santé.

Les analyses physico-chimiques et biochimiques ont montré que l'extrait de cladode est riche en polyphénols ( $456 \pm 8 - 543 \pm 1 \mu\text{g EGA/ mL}$ ), en acide ascorbique ( $17,60 \pm 1,87 - 22,88 \pm 0,62 \text{ mg /100 mL}$ ) et en potassium ( $44,23 - 409,35 \text{ mg /100 mL}$ ), mais pauvres en sucres ( $0,66 \pm 0,01 - 1,45 \pm 0,03 \text{ g /100 mL}$ ). L'analyse HPLC des composés phénoliques a montré que le jus de cladode est riche en flavonols à savoir l'isoquercétine et l'hyperoside ( $645,90 \mu\text{g/mL}$  et  $164,50 \mu\text{g/mL}$  respectivement). L'activité antioxydante du jus de cladode ( $1,74 \pm 0,07 - 3,33 \pm 0,02 \mu\text{mol ET/mL}$ ) et l'activité antiradicalaire ( $1,78 \pm 0,03 - 4,10 \pm 0,02 \mu\text{mol ET/mL}$ ) et le test ABTS ( $12,78 \pm 1,69 - 23,10 \pm 0,17 \mu\text{mol ET/mL}$ ).

La teneur en vitamine C des jeunes cladodes (près de 17-22 mg/100g), est comparable à celles d'autres fruits et légumes de large consommation.

L'utilisation d'extrait de cladodes comme alternative de valorisation d'une partie des composants de valeur biologique, médicinal et alimentaire peut s'avérer d'un grand intérêt, dans la mesure où l'on s'oriente de plus en plus vers la préparation des aliments multifonctionnels (basse calories, absence de cholestérol, fibres, vitamines, pouvoir antioxydant, effet positif sur la santé).

Les résidus de l'extraction séchés, peuvent être valorisés comme complément fourrager ou la préparation des aliments du bétail et même pour la production non alimentaire d'éthanol et d'additif.

L'utilisation d'extrait de cladode il touche trois grands secteurs : agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique. Ainsi, les cladodes du figuier de Barbarie constituent une matière première aux multiples usages.

Afin de mettre en valeur le figuier de Barbarie, nous nous sommes orientés vers les cladodes qui sont encore mal connues par le grand public, mais largement consommées au Mexique comme légume. Les études réalisées sur les cladodes sont nombreuses par contre le jus de cladode n'a pas encore été étudié. De ce fait, une étude a été initiée sur l'effet de jus de cladode du figuier de Barbarie contre les micro-organismes pour l'effet antimicrobienne (les bactéries pathogènes comme les salmonelles, escherichia coli, staphylococcus aureus) et pour les bactéries lactique de yaourt (Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus).

Nous avons effectué des analyses et des approches qui vont aider à ouvrir un nouveau volet sur l'exploitation du figuier de Barbarie, à savoir, le développement d'un nouveau produit « jus de cladode ». Cela constituera une solide base scientifique aux industriels qui veulent investir dans ce domaine et fera l'objet de création d'entreprises et d'emplois.

## Chapitre 1. Généralités sur le figuier de Barbarie

### 1. Introduction

Le figuier de Barbarie est une plante grasse appartenant à la famille des cactées et plus précisément au genre *Opuntia*. Il est cultivé dans les climats arides, comme dans les régions méditerranéennes et d'Amérique centrale (Ginestra et *al.* 2009). Les régions semi-arides du Mexique renferment la plus grande diversité de cactus dans le monde (Pimienta-Barrios, 1994). Le genre *Opuntia* contient environ 300 espèces et beaucoup d'entre elles produisent des tiges et des fruits bien tendres et comestibles (Hegwood, 1994). Parmi ces espèces on cite *Opuntia ficus-indica* (inermes ou sans épines) et *Opuntia megacantha* (épineuse) largement connues sous le nom de figuier de Barbarie et qui ont fait l'objet de notre étude (fig.1).



**Figure 1** : Deux espèces du figuier de Barbarie appartenant au genre *Opuntia*, (a) : *Opuntia ficus indica* (inermes), *Opuntia megacantha* (épineuse).

La jeune partie de la tige du cactus, ou cladode, est souvent consommée comme un légume dans les salades, tandis que le fruit est consommé en frais (Ávila-Curiel et *al.* 2003). La composition chimique des cladodes dépend de la variété, du stade de croissance et des conditions environnementales. Elles ont une valeur nutritive élevée, principalement en raison de leurs ressources minérales, en protéines, en fibres alimentaires et en contenu phytochimiques (Bensadon et *al.* 2010). On les utilise à des fins médicinales et cosmétiques, comme fourrage ou matériaux de construction et en tant que source de couleurs naturelles. Cependant, leurs utilisations sont encore essentiellement limitées aux pays d'origine (Stintzing and Carle, 2005).

## 2. Cactées

### 2.1. Définition

La famille des cactées appartient aux plantes grasses. Elles ont la capacité de survivre sur leurs réserves durant une période de sécheresse temporaire grâce à un système de stockage de l'eau. Dans une situation similaire, la plupart des autres plantes dépériraient et mourraient par manque d'eau (Mace, 2003).

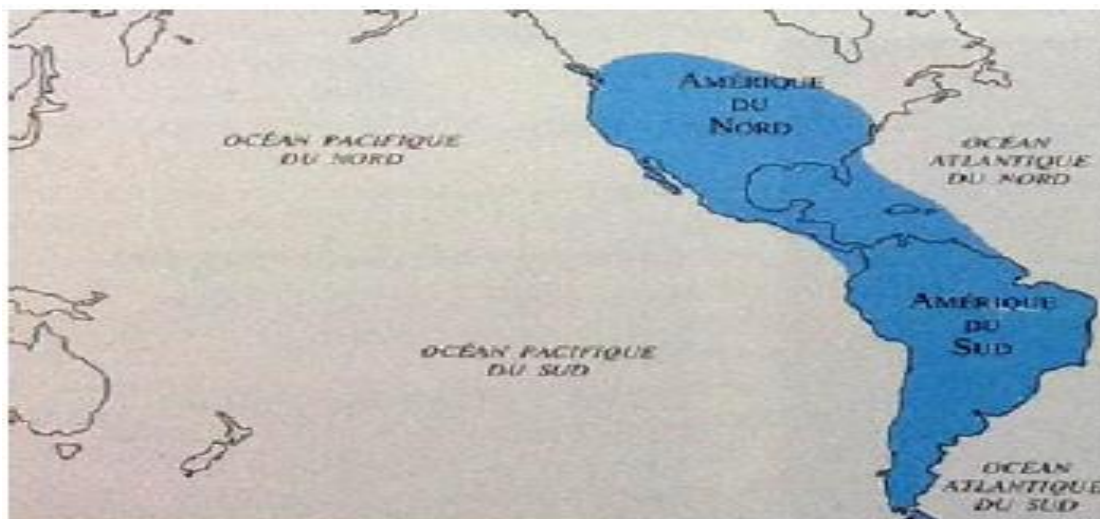
Leur aspect souvent étrange est lié aux mutations qu'elles ont mises au point pour stocker l'eau dans leurs tiges, leurs feuilles ou leurs racines qui sont très charnues.

D'autres évolutions plus importantes ont permis d'augmenter les réserves d'eau en réduisant l'évaporation. Elles présentent souvent un épiderme soit charnu, soit couvert de poils ou d'une couche cireuse qui réduit l'évaporation. Le revêtement dense en épines joue un rôle décisif et limite les effets de la chaleur solaire intense en fournissant une ombre partielle à la plante. Les cellules de ces plantes supportent de grandes variations de leur teneur en eau que les autres plantes « normales » (Mace, 2003).

Il existe des mythes très anciens concernant les cactées. Le cactus était un symbole important à la fois chez les Aztèques au Mexique et chez les Incas au Pérou, et l'on retrouve des illustrations de ses vertus curatives et divinatoires sur de nombreux bâtiments, poteries et autres objets usuels (Mace, 2003).

### 2.2. Origine et diffusion

Les cactus sont presque tous originaires du Nouveau Monde, certaines espèces allant jusqu'au Nord de l'Alberta au Canada, d'autres poussant une pointe au Sud jusqu'en Patagonie (fig.2). Les seules exceptions sont quelques espèces présentes en Afrique orientale et à Madagascar où il se peut qu'elles aient été apportées par des oiseaux migrateurs et qu'elles y aient continué leur évolution (Mace, 2003).



**Figure 2** : Carte illustrant l'aire de distribution du cactus à son origine (Lamb, 1991).

La culture du cactus est originaire des plateaux du Mexique qui sont caractérisés par un climat chaud et sec. L'utilisation alimentaire de l'espèce date de l'époque préhistorique grâce à la découverte de graines fossiles datant du septième millénaire av. J.-C. (Mullas et al. 2004).

Ces régions semi-arides du Mexique présentent une grande diversité génétique de variétés cultivées et variétés sauvages du cactus. Plusieurs espèces ont été introduites dans d'autres régions du monde ayant un climat semi-aride, telles que l'Australie, l'Afrique du Sud, le Madagascar ou la région méditerranéenne. Le cactus a été introduit en Europe méditerranéenne vers la fin du 15<sup>ème</sup> et le début du 16<sup>ème</sup> siècle pour l'alimentation des populations indigènes. Il a été aussi introduit, au 16<sup>ème</sup> siècle, au Nord et au Sud de l'Afrique et tout au long du bassin méditerranéen. Actuellement, il est cultivé dans les régions arides et semi-arides de plusieurs pays. Le cactus, comme culture, était inconnu en Europe avant les voyages de Christophe Colomb. Il fut décrit de façon précise pour la première fois en 1535 par l'espagnol Gonzalo Fernandez de Oviedo y Valdés dans son histoire des Indes occidentales. Sa morphologie insolite marqua les esprits des premiers conquistadors. Outre les fruits, c'est l'élevage de la cochenille qui attira surtout leur attention ; mais l'élevage de cette dernière aux îles Canaries ne fut réussi qu'au 19<sup>ème</sup> siècle. Son fruit constituait depuis longtemps un aliment important dans le régime alimentaire des Indiens (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime du Maroc, 2010).

Le genre *Opuntia* a été utilisé au Mexique depuis l'époque préhispanique, en association avec le maïs et l'agave, constituant ensemble la pièce maîtresse de l'économie agricole de la civilisation aztèque. Au cours des dernières années il y'a eu un intérêt accru pour diverses espèces d'*Opuntia*, en raison du rôle qu'elles sont supposées jouer dans le succès des systèmes d'agriculture durable dans les zones marginales ; notamment les zones arides et semi- arides (FAO, 2003).

### **2.3. Morphologie**

Les cactées ont des formes diverses, allant de plantes miniatures jusqu'à de grands arbres atteignant près de 25 m de hauteur. Cependant à l'exception du genre *Preskia* et des genres proches qui ont des feuilles normales, des aiguillons et une structure un peu élémentaire pour les fleurs et les fruits, tous les autres genres sont très similaires. Ces autres genres sont pratiquement dépourvus de feuilles, les processus de photosynthèse se produisant en revanche dans des tiges vertes charnues (Lamb, 1991).

C'est au niveau des aréoles qu'apparaissent les aiguillons, les nouveaux rameaux et les fleurs. Il y'a des exceptions telles que les *Echinocereus* dont les boutons floraux percent la paroi de la tige près d'une aréole, les *Mammillaria* et les *Corphanta* chez qui les boutons

sortent d'un emplacement axillaire entre les tubercules ou d'une gorge partant de l'aréole du tubercule. Les fleurs des cactus sont sessiles, la seule exception étant fournie par les *Pereskias* à fleurs pédonculées (fig.3). Les fruits sont habituellement des baies juteuses, mais dans quelques genres, il s'agit de capsules sèches d'où les graines s'échappent soit par un pore basal ou par une fente irrégulière (Lamb, 1991). D'Opuntia, (b) : jeune plante montrant sa structure tuberculée, qui en approchant de la maturité, deviendra une formation à côte, (c) : coupe d'une tige de *Carnegieia gigantea* montrant la structure côtelée et la façon dont une autre côte se forme au fur et à mesure du développement de la tige (Lamb, 1991).

#### 2.4. Classification

La famille des cactacées est subdivisée en huit groupes, dont chacun d'entre eux comprend plusieurs genres (Lamb, 1991) :

- **Groupe *Pereskia*** : Plante à feuilles, mais sans glochides. Les graines noires sont sans arilles (enveloppe extérieure ou appendice fixé au pédoncule de l'ovule).

Genres : *Maihuenia*, *Pereskia*.

- **Groupe *Opuntia*** : Plantes à petites ou minuscules feuilles et glochides. Les graines sont ailées ou munies d'un arille.

Genres : *Opuntia*, *Peresklopsis*, *Pterocactus*, *Quiabentia*, *Tacinga*.

- **Groupe *Cereus*** : Plantes sans feuilles ni glochides, à graines noires ou brunes.

Ces plantes sont ordinairement colonnaires, côtelées et généralement pourvues de nombreux aiguillons. L'extérieur de la base du tube floral est nu ou épineux.

Genres : *Armatocereus*, *Arrojadoa*, *Jasminocereus*, *Monvillea*, *Wilcoxia* etc.

- **Groupe *Echinopsis*** : Comme le groupe *Cereus*, sauf que les plantes peuvent être naines et que l'extérieur du tube floral est généralement pourvu de poils ou peut posséder des écailles étroites.

Genre : *Acanthocalycium*, *Arequipa*, *Espostoa*, *Mila*, *Oroya*, *Weingartia* etc.

- **Groupe *Hylocereus*** : Comme le groupe *Cereus*, mais les plantes sont épiphytes, souvent à racines aériennes, et côtelées. Les aiguillons sont souvent assez peu nombreux ou complètement absents.

Genres : *Aporocactus*, *Cryptocactus*, *Hylocereus*, *Rhipsalis*, *Wittia* etc.

- **Groupe *Neoporteria*** : Plantes généralement naines, globuleuse à courtes, cylindriques et côtelées. La base du tube floral est un peu laineuse, avec des aiguillons dans le haut.

Genres : *Austrocactus*, *Frailea*, *Nonocactus*, *Parodia*, *Wigginsia*, etc.

- **Groupe *Melocactus*** : Comme le groupe *Neoporteria*, la base du tube floral est nue ou laineuse, mais sans aiguillons. Les fleurs sont portées sur un cephalium terminal, sauf chez les *Buiningia* où il est latéral.

Genre : *Buiningia*, *Discocactus*, *Melocactus*.

- **Groupe *Echinocactus*** : Comme le groupe *Melocactus*, sauf que les fleurs apparaissent au centre, mais sans cephalium.

Genre : *Ariocarpus*, *Aztekium*, *Islaya*, *Solisia*, *Strombocactus*, *Toumeyia*, etc.

### 3. Figuier de Barbarie

#### 3.1. Définition

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).

#### 3.2. Distribution

Le figuier de Barbarie fut introduit en Afrique du Nord (Algérie, Tunisie, Maroc) vers le 16<sup>ème</sup> siècle. Sa culture s'est diffusée rapidement dans le bassin de la Méditerranée. Elle s'est également répandue dans l'hémisphère sud, notamment en Afrique du Sud, à Madagascar, à la Réunion, à l'île Maurice, en Inde, à Ceylan et en Australie. On peut également la trouver au Canada, en Argentine et au Pérou à une altitude pouvant atteindre 5100 m. Il est actuellement introduit dans plus de 30 pays où il est cultivé pour la production des fruits, l'utilisation comme fourrage et comme plante cosmopolite (Rapport du ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2010).

#### 3.3. Taxonomie

De nombreux auteurs ont élaboré des classifications du Genre *Opuntia*. La classification considérée comme la plus valable à ce jour est sans doute celle établie par Britton et Rose en 1963 :

- Règne : Plantes.
- Ordre : Caryophyllales.
- Sous-classe : *Caryophyllidae*.
- Famille : *Cactaceae*.
- Groupe : *Opuntiaeeae*.
- Genre : *Opuntia*.
- Sous-genre : *Platyopuntia*

- Espèces : *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*.

Le genre *Opuntia* appartient à la famille des *Cactaceae*, ordre des *Caryophyllales* et la sous-classe des *Caryophyllidae*. La famille des *Cactaceae* compte environ 130 genres et 1500 espèces, dont 300 appartiennent au genre *Opuntia* (Mulas et al. 2004).

Le groupe des *Opuntia* comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sousgenre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces décrites, on a l'espèce *Opuntia megacantha* et la série des *ficus-indicae*, qui comprennent l'*Opuntia ficus-indica* et qui sont connues sous le nom de figuier de Barbarie (Mulas et al. 2004).

L'*Opuntia ficus-indica* et l'*Opuntia megacantha* sont parmi les cactées qui ont la plus grande importance agronomique, tant pour leur fruit comestible que pour les raquettes qui peuvent être utilisées comme fourrage ou comme légumes (Mulas et al. 2004).

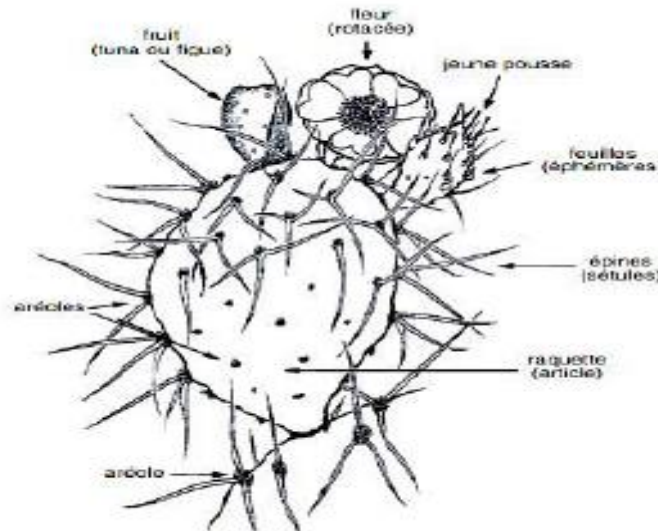
La domestication d'*Opuntia ficus-indica* a commencé il y'a environ 8000 ans. Il en existe une forme épineuse et une forme inerme. De nombreux auteurs considèrent l'*Opuntia megacantha* comme un synonyme d'*Opuntia ficus-indica*, toujours considérée comme la forme inerme. La démonstration la plus évidente est que l'*Opuntia megacantha* est une forme d'*Opuntia ficus-indica* mais dans des conditions de stress, certaines cladodes de la forme inerme peuvent commencer à développer des épines. Par ailleurs, les plantes qui proviennent à partir des graines d'espèces sans épines peuvent générer des formes épineuses, caractérisées par une grande variabilité (Mulas et al. 2004).

### 3.4. Description morphologique

Le figuier de Barbarie est une plante arborescente, caractérisée par des tiges en forme de raquettes plates charnues et ovales pouvant atteindre 3 à 4 mètres de haut (fig.3).

Les raquettes, appelées cladodes, mesurent 30 à 40 centimètres de long, sur 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur. De couleur verte, elles s'unissent les unes aux autres, en formant des sortes de branches. Elles sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration de la plante et la protège tout en assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles. Leur surface est parsemée d'alvéoles au sein desquelles naissent, sur les cladodes en formation, des feuilles fragiles, éphémères et caduques. Elles portent de redoutables épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base. Les cladodes de la base, en vieillissant, finissent par se lignifier pour former un véritable tronc. Le figuier de Barbarie donne des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs apparaissent sur le dessus des raquettes, larges de 4 à 10 cm et de couleur jaune, orange ou rouge. Ces fleurs sont comestibles, comme le fruit auquel elles donnent naissance qui se présente sous la forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, dont la peau

verte jaunâtre est, elle aussi, ornée de petites épines. Dans les climats tempérés, la floraison a lieu en avril,-mai et les fruits sont cueillis fin juillet à septembre, dès qu'ils deviennent un peu mous. Dans certaines contrées arides et chaudes, la plante peut donner des fruits deux fois par an. Appelé figue de Barbarie, ce fruit a une chair d'une couleur variant du jaune clair au rouge violacé et dont le goût se révèle délicieux et subtil. Ses graines, riches en vitamines et en oligoéléments, lui confèrent de nombreuses propriétés et c'est à partir de ces graines que l'on obtient une huile très recherchée (Revue nature et santé, 2011).



**Figure 3** : Schéma illustrant les différentes parties du figuier de Barbarie (Revue nature et santé, 2011).

### 3.5. Physiologie

Le figuier de Barbarie est une plante qui a une photosynthèse de type CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Elle a la particularité de fixer le  $\text{CO}_2$  pendant la nuit, le stocker et de fermer ses stomates pendant le jour. Une telle stratégie permet d'éviter les pertes en eau par évapotranspiration qui peuvent avoir lieu le jour et d'optimiser ainsi l'utilisation d'eau (Stintzing et al. 2005).

Les stomates s'ouvrent uniquement la nuit, car à ce moment, la température est plus basse que durant la journée et le taux d'humidité est plus élevé. Cela provoque une faible évapotranspiration et donc de faibles pertes d'eau. C'est pourquoi les plantes CAM se sont spécialisées dans la fixation du  $\text{CO}_2$  pendant la nuit. Cette fixation est réalisée par la phosphoénolpyruvate carboxylase (PEP), qui provient de la dégradation de l'amidon et du saccharose produit dans le chloroplaste le jour. Cette fixation permet de former de l'oxaloacétate, qui sera immédiatement réduit en malate, puis stocké dans une vacuole sous forme d'acide malique, d'où le nom de plante à métabolisme acide.

Autrement dit, durant la nuit, le figuier de Barbarie fait "le plein" de CO<sub>2</sub> sous forme d'acide malique, mais il ne peut pas le transformer tout de suite en sucre du fait de l'obscurité. En effet, comme toutes les autres plantes, les plantes CAM ont besoin de l'énergie lumineuse du jour pour compléter le cycle de Calvin et pour ainsi accomplir la photosynthèse en entier (Goldstein et al. 1991) (fig.4).

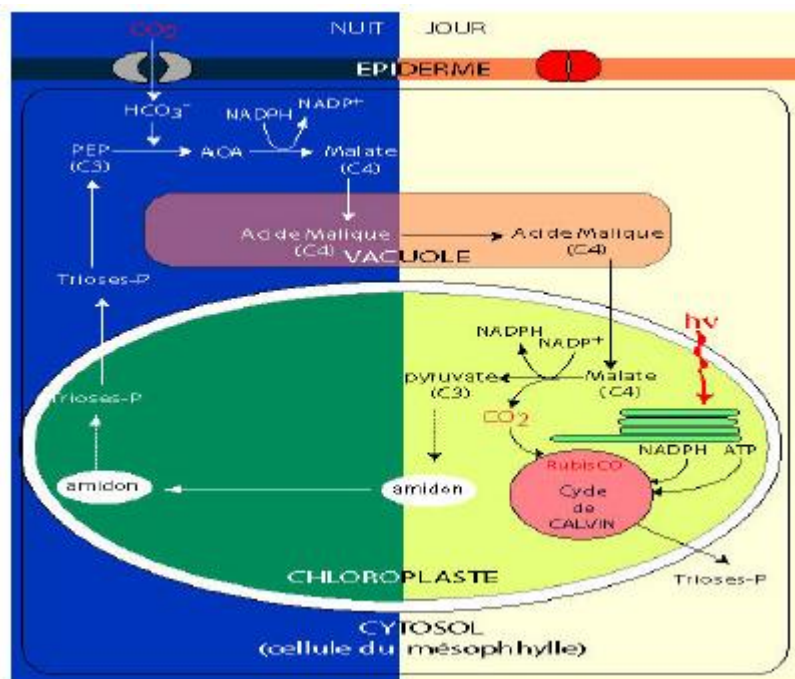


Figure 4 : Photosynthèse de type CAM.

### 3.6. Habitat

Les cactus ont évolué et se sont adaptés à toutes sortes de biotopes. La définition généralement admise qu'un désert est un lieu où la moyenne annuelle des précipitations ne dépasse pas 250 mm. Selon cette définition seul un très faible pourcentage de cactus pousse dans de véritables déserts. La grande majorité des espèces vivent dans des biotopes où elles reçoivent chaque année au moins le double de cette quantité d'eau.

Certains types de cactus apprécient des habitats encore plus humides, en particulier nombre d'espèces épiphytes des forêts sempervirentes tropicales où l'humidité atmosphérique est constamment élevée. Les cactus occupent des biotopes depuis le littoral jusqu'aux régions intérieures, du niveau de la mer à des altitudes approchant les 4000 m. Certains cactus se sont adaptés pour faire face au froid intense et à la neige ainsi que ceux poussant dans le sable à quelques mètres au-dessus du niveau de la mer (Lamb, 1991).

De point de vue écologique, l'*Opuntia ficus-indica*, même si on la trouve dans les zones où le climat est tempéré, est typiquement une espèce des zones arides et désertiques et présente, par conséquent, une série d'adaptations morphologiques et physiologiques aux caractéristiques du milieu d'origine (Mulas et al. 2004).

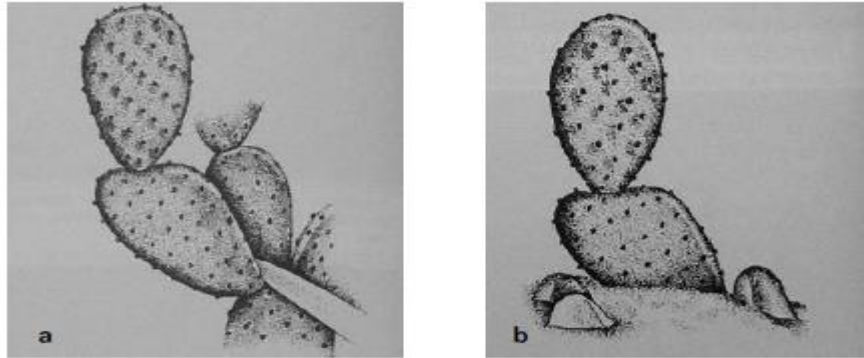
L'*Opuntia* présente des caractéristiques exceptionnelles qui lui permettent d'emmagasiner, dans les organes succulents, de grandes quantités d'eau. De courtes précipitations de quelques mm de pluie seulement peuvent être efficacement utilisées par cette plante grâce aux racines superficielles, mais très étendues, qui sont en mesure d'absorber l'eau dans le sol quand les niveaux d'humidité sont bas au point d'empêcher la vie de la plupart des espèces cultivées aux alentours (Mulas et al. 2004).

En l'absence de feuilles permanentes, le processus photosynthétique se réalise dans les raquettes vertes. Celles-ci contiennent également un parenchyme aquifère qui peut emmagasiner et conserver l'eau de façon efficace. L'efficacité dans la limitation des pertes en eau par transpiration cuticulaire est améliorée grâce à la présence d'un épais revêtement cireux épicuticulaire et intracuticulaire. La morphologie stomatique contribue elle aussi à limiter les pertes par transpiration, tout comme l'ensemble du processus photosynthétique. En effet, cela peut avoir lieu suivant le cycle CAM (Crassulacean Acid Metabolism) qui, comme on le sait, permet l'ouverture nocturne des stomates pour les échanges gazeux, réduisant par conséquent les pertes par transpiration (Mulas et al. 2004).

### **3.7. Reproduction et techniques de multiplications**

Pratiquement tous les cactus ont des fleurs normalement hermaphrodites, c'est-à-dire que celles-ci possèdent des organes mâles (étamines) et femelles (carpelles). La partie réceptrice de l'organe femelle est le stigmate, à l'extrémité du pistil, et c'est cette surface qui reçoit le pollen pour qu'ait lieu la fécondation aboutissant finalement à la formation des graines. Le transport naturel du pollen s'effectue en général par hasard, du fait de nombreux types d'insectes ou d'oiseaux différents attirés par les fleurs dans leur quête de nectar, voire du pollen lui-même (Lamb, 1991).

Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage des cladodes, en laissant sécher au préalable les sections pendant deux semaines et parfois plus (fig.6). Cette période de pré-séchage ne se justifie pas et certains travaux ont même montré ses effets négatifs sur les repousses. A la plantation, la cladode est placée dans un sillon de 15 cm, la cladode est plantée en hauteur et les deux tiers sont mises dans le sol et inclinée. Le sol est alors tassé autour de la cladode. Les distances de plantation sont variables en fonction de la pluviométrie et du degré d'intensification de la culture. En zone aride et semi-aride (150 à 400 mm de pluie), les densités de plantation sont de 1200 à 2000 cladodes à l'hectare. Quand la pluviométrie dépasse 400 mm, ces densités peuvent être de 3200 à 5000 raquettes à l'hectare (Walali Loudyi, 1995).



**Figure 5** : Schéma illustrant la technique de bouturage, (a) : meilleur emplacement pour prélever les boutures, (b) : plantation au niveau du sol (Lamb, 1991).

### 3.8. Exigences écologiques

Les caractéristiques écologiques du figuier de Barbarie, dépendent principalement des facteurs climatiques qui contrôlent sa croissance et sa distribution ; notamment les précipitations, l'humidité atmosphérique, la température de l'hiver, la nature des sols et le drainage (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010) :

- **Température** : Le figuier de Barbarie est résistant au froid et peut supporter des gelées de l'ordre de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ses besoins en chaleur sont importants et durant la phase de croissance du fruit ils se situent entre  $15$  et  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Il est résistant à la sécheresse et les températures moyennes annuelles de  $15$  à  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  lui conviennent parfaitement. Il peut supporter les fortes chaleurs qui dépassent  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En outre, le niveau le plus bas de température où le développement est possible est l'isotherme de  $1,5$  à  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la moyenne journalière du mois le plus froid (généralement janvier) qui correspond à la moyenne mensuelle de  $7$  à  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mais avec un max journalier supérieur ou égal à  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- **Précipitations** : Les exigences en précipitations sont variables en fonction de la nature des sols. En effet, pour des sols sableux et profond, le minimum de précipitation requis tourne autour de  $300$  à  $400\text{ mm/an}$ , alors que sur des sols vaseux et limoneux, la moyenne des précipitations minimales requise est de  $200\text{ mm/an}$  ; mais le cactus peut être cultivé tant que l'eau additionnelle de l'érosion permet au sol d'emmagasiner  $300$  à  $400\text{ mm}$ .
- **Humidité** : L'humidité atmosphérique, en cas de grand déficit de saturation de l'atmosphère (humidité relative basse) affecte, également les espèces d'*Opuntia*. Les observations empiriques ont démontré que le figuier de Barbarie est éliminé des régions où la moyenne relative de l'humidité est au-dessous de  $40\%$  pour plus de trente jours consécutifs. Le cactus peut croître dans des régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord et du Proche Orient où les moyennes annuelles de l'humidité relative et la moyenne du déficit de saturation sont respectivement toujours au-dessus de  $60\%$  et sous  $12\%$ .

- **Sol** : L'espèce présente une large faculté d'adaptation avec une préférence pour les sols très perméables, sableux ou caillouteux et à faible taux d'argiles (< 20%). Il redoute des sols lourds et mal drainés. Il supporte aussi bien les sols acides que les sols très calcaires, voire salins (moins de 70 mol de NaCl / cm<sup>3</sup>)

- **Drainage** : il constitue aussi l'une des plus importantes exigences écologiques. En effet, le figuier de Barbarie est très sensible au manque d'oxygène au niveau des racines ; à cet effet, il est recommandé d'éviter les sols argileux qui peuvent être saturés temporairement et mal drainés.

Les facteurs biotiques jouent aussi un rôle important dans la culture et production du cactus.

De nombreux parasites et maladies peuvent toucher le figuier de Barbarie

(Walali Loudyi, 1995) :

- **Rouille** : elle se manifeste par de petites taches jaunes, circulaires, pouvant s'étendre en plaques irrégulières d'un blanc sale ou cendré. Ce sont surtout les cladodes de deux ans qui, une fois attaqués, n'émettent que peu de cladodes, et finissent par se dessécher. Elle se manifeste principalement dans les zones humides, elle est efficacement combattue par des traitements à base de cuivre et l'ablation des cladodes parasités.

- **Mildiou des cactus** : les symptômes de la maladie se présentent sous forme de cloques soulevant l'épiderme et de taches brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes. La sensibilité à la maladie est variable en fonction des variétés. Une lutte préventive consiste à couper et à incinérer les parties atteintes de la plante.

- **Cératite** : une mouche méditerranéenne des fruits qui peut occasionner des dégâts importants dans les plantations mal entretenues. Un insecticide de synthèse permet de se débarrasser facilement de cet insecte.

- **Cochenilles** : bien que généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et attaquent à une seule espèce de cactée. Certains cultivars inermes de cactées sont résistants aux cochenilles. La lutte contre les cochenilles nécessite des traitements aux huiles blanches ou au parathion.

### 3.9. Utilisations

#### 3.9.1. Alimentation humaine

- **Fruit** : Il existe près de 200 espèces d'*Opuntia*, mais seuls les fruits d'une vingtaine d'espèces sont exploités. Les fruits sont connus par leurs teneurs élevées en sucre, minéraux et vitamines. Ils sont produits et vendus en été et en automne, selon la précocité de la variété. Au Mexique, par exemple, ces fruits comestibles appelés « tuna », sont commercialisés à l'état frais ou transformé : séchés, congelés, sous forme de confit, de jus et d'alcool (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010).
- **Cladode** : Les jeunes cladodes sont consommées en tant que légume car elles sont tendres et fibreuses. Leur valeur nutritive est similaire à celle d'un grand nombre de légumes et feuilles. Elles sont riches en eau, en hydrates de carbone, en protéines, en vitamine C et  $\beta$ -carotène qui est un précurseur de la vitamine A. Ces jeunes cladodes sont appelés « Napolitos » au Mexique où elles sont considérées comme un légume traditionnel depuis des siècles. Elles sont consommées à l'état frais ou après cuisson en tant que légume vert. Elles sont conseillées pour les diabètes à diabétisme indépendant de l'insuline, car leur consommation peut améliorer le contrôle du sucre chez ces patients et peut réduire le taux du cholestérol dans le sang (Arba, 2009). Il existe d'autres produits dérivés à partir des cladodes : confiture, cornichon et cladodes confits. Alors que les cladodes ont été traditionnellement utilisés comme un substitut de viande pendant les périodes de jeûne, elles sont aujourd'hui servies avec un repas semblable à des haricots verts (Stintzing and Carle, 2005).

#### 3.9.2. Production de fourrage pour le bétail

Elle représente la deuxième importance économique du cactus dans le monde.

L'utilisation du figuier de Barbarie dans l'alimentation du bétail représente également la deuxième importance de cette plante au Maroc. Le cactus est utilisé depuis longtemps dans l'alimentation du bétail des zones arides et sa production dans ces zones est plus rentable que celle d'autres espèces fourragères comme le maïs et le sorgho. Il est cultivé comme espèce fourragère dans plusieurs pays dans le but d'assurer un stock alimentaire pour le bétail dans le cas d'une situation critique de sécheresse. Un certain nombre de pays : Mexique, USA, Brésil, Pérou, etc. produisent des quantités importantes de cladodes en tant qu'aliment pour le bétail. Les cladodes sont appréciées par le bétail, car elles sont riches en eau, en fibre, en protéine et en éléments minéraux. Leur consommation permet d'améliorer la saveur du lait et la couleur du beurre (Arba, 2009).

Les cladodes sont broutées directement sur le champ par le bétail de pâturage comme ce qui se fait dans le Mexique et aux Etats-Unis où il y'a de grands ranchs de cactus pour le pâturage, ou bien elles sont récoltées et coupées pour les distribuer au bétail domestique comme ce qui se fait dans certains pays de l'Afrique du Nord comme le Maroc et la Tunisie où les plantations de cactus qui sont destinées à la production de fruits sont utilisées dans l'alimentation du bétail. En comparaison avec d'autres éléments fourragers, la valeur énergétique des raquettes est proche de celle de la luzerne avec 0,12 unité fourragère/kg. Avant de les donner au bétail, les cladodes sont déshydratées pour quelques jours afin d'éviter les diarrhées aux animaux et qui sont dues à la consommation de cladodes gorgées d'eau. Les espèces épineuses peuvent passer sous un coup de feu afin de les débarrasser des épines (Arba, 2009). En raison de leur effet laxatif attribué à la forte teneur en acide oxalique, une combinaison avec de la paille, l'atriplex, le foin de luzerne ou les tiges de maïs est recommandée. D'une autre part la faible teneur phénolique et tannin dans les cladodes facilite la digestion et améliore la production de viande (Stintzing and Carle, 2005).

### 3.9.3. Apiculture

Le cactus est une plante à floraison abondante et son cycle de floraison peut s'étendre de 3 à 6 mois selon la région et la variété. Sa floraison attire les abeilles en masses par leurs grandes fleurs de couleur jaune, leur pollen abondant et leur nectar. Elle assure l'activité des abeilles pour une certaine période et les autres espèces mellifères assurent leur activité pour les autres périodes de l'année (Arba, 2009).

### 3.9.4. Produits

- **Production des huiles** : L'huile extraite des graines du fruit du figuier de Barbarie appartient à la famille des huiles polyinsaturées comme la plupart des huiles végétales. La valeur commerciale de cette huile est intéressante en raison de ses particularités cosmétiques recherchées. Elle est riche en acide gras insaturé comme l'acide linoléique (64,43%) et l'acide oléique (18,46%). Parmi les acides gras saturés, le plus important est l'acide palmitique (12,60%) et l'acide stéarique (2,82%). Par contre, sa particularité réside dans sa richesse en matière insaponifiable (stérols et tocophérols). Cette caractéristique pourrait être un levier pour son exploitation dans le domaine de la cosmétologie ; étant donné les effets bénéfiques de ces substances sur l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée. Elle possède des particularités cosmétiques remarquables, car elle prévient le vieillissement et les rides de la peau. Les graines servent également pour la préparation de crème à usage dermique (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010).

- **Production en agroalimentaire** : La transformation des raquettes et des fruits concerne
  - La conservation des cladodes : Les jeunes cladodes sont conservées en petits morceaux dans des boîtes en conserves. Des usines modernes de mise en boîte des 40 « Napolitos » existent au Mexique et aux Etats Unis (Arba, 2009). Les principaux produits élaborés sont : les cladodes au vinaigre, les cladodes en saumure, la confiture de cladodes, les cladodes confites et les frites de cladodes. On utilise également les cladodes comme matière première pour la production du biogaz par fermentation naturelle (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010). Des essais de conservation des jeunes cladodes sont également en cours de réalisation au sud du Maroc par des ONG (Arba, 2009).
  - La Transformation technologique des fruits : Les fruits sont transformés en jus, en nectar, en jus concentré, en conserve, en miel, en marmelade, etc. La teneur en sucre qui est relativement élevée chez les fruits de la plupart des variétés leur permet de se transformer favorablement en produits agroalimentaires. Les fruits fermentés sont utilisés pour produire des boissons alcooliques ou l'eau de vie (Arba, 2009). Récemment, il a été démontré qu'il y'a une possibilité de produire du vinaigre à partir du jus de fruit du cactus (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010). Au Maroc, des essais de transformation des fruits en confiture sont actuellement en cours de réalisation par ses ONG du Sud qui font l'exportation de leurs produits. Le séchage des fruits au soleil est utilisé au Sud du Maroc pour la conservation de la production qui n'est pas vendue à l'état frais et de celle qui n'est pas autoconsommée (Arba, 2009).
- **Production de colorants** : les deux colorants extraits à partir de la figue de barbarie sont le carmin et la bétalaine :
  - Carmin : c'est un colorant naturel de couleur rouge carmin (acide carminique). Actuellement il est de nouveau très recherché par les industries alimentaires et cosmétiques pour ses caractères biochimiques. Il est produit par l'élevage des cochenilles *Dactylopius coccus* et *Dactylopius opuntiae* qui sont des insectes hôtes du cactus. Les cochenilles sont collectées sur le cactus et sont séchées à l'air libre pour obtenir un produit brut qui est appelé Grana à partir duquel on peut extraire 10 à 26% de carmin. Il a été très demandé sur le marché international au début du 19ème siècle, moment où l'élevage de la cochenille à carmin était pratiqué au Sud du Maroc par la colonisation espagnole. Il a disparu par la suite à cause des colorants synthétiques et il est actuellement de nouveau recherché sur le marché international à cause de ses qualités naturelles et biochimiques (Arba, 2009).
  - Bétalaine : le fruit de cactus de couleur rouge ou pourpre contient de la bétalaine, qui peut être utilisée principalement comme colorant d'aliments qui ne requièrent pas de

traitement thermique tels que les glaces alimentaires, les yaourts, les friandises, les desserts, les sirops et les sauces. Ces colorants naturels n'ont pas un E-numéro ; ce qui permet au produit alimentaire coloré par ces substances naturelles de garder un label Bio. Ces colorants extraits de légumes et fruits fournissent des substances supplémentaires nécessaires à l'augmentation de la valeur nutritionnelle du produit concerné. Ce qui constitue une spécificité de la bétalaine du jus de fruit de cactus c'est de préserver leur couleur à un pH situé entre 3 et 7, là où la majorité des anthocyanes communément utilisées perdent leur performance et se dégradent (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime, 2010).

- **Production cosmétique et pharmaceutique** : Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants. Il est également utilisé depuis longtemps par les femmes rurales au Maroc pour assouplir leurs cheveux. Ce mucilage permet également de réduire le taux de cholestérol dans le sang. La poudre séchée des cladodes ou poudre de nopal a également un effet sur le contrôle du sucre et du cholestérol dans le sang (Fernandez et al. 1990). Elle a aussi un effet amincissant et antiglycémique car, la pectine de la poudre diminue le plasma (Frati et al. 1988). Le thé aux fleurs est utilisé en Sicile comme remède aux maux des reins. Des capsules qui sont faites à partir des fleurs séchées sont utilisées comme régulateur diurétique et comme remède au dysfonctionnement de la prostate. Le bouilli des fleurs séchées est utilisé en pharmacopée traditionnelle au Maroc comme remède aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil. L'huile essentielle des graines des fruits du cactus est riche en acides gras polyinsaturés, en stérols et en vitamines, elle est utilisée comme antiride naturel et pour la fabrication des crèmes dermiques antirides. L'huile essentielle des graines est actuellement extraite et commercialisée par des ONG et des petites sociétés privées dans certaines régions du Maroc. Les bouteilles d'huile sont exposées dans les manifestations nationales et régionales et le marketing du produit pour le marché étranger se fait par site web (Arba, 2009).

- **Production d'alicaments** : Les technologies mises au point récemment ont démontré la possibilité de production des alicaments sous forme de gélules ou capsules. Ce sont des aliments naturels qui ont des fonctions thérapeutiques pour le traitement des maladies comme l'obésité, le cholestérol, la constipation et les coliques. Ils contribuent à la régulation du transit de l'intestin (Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

### 3.9.5. Autres utilisations

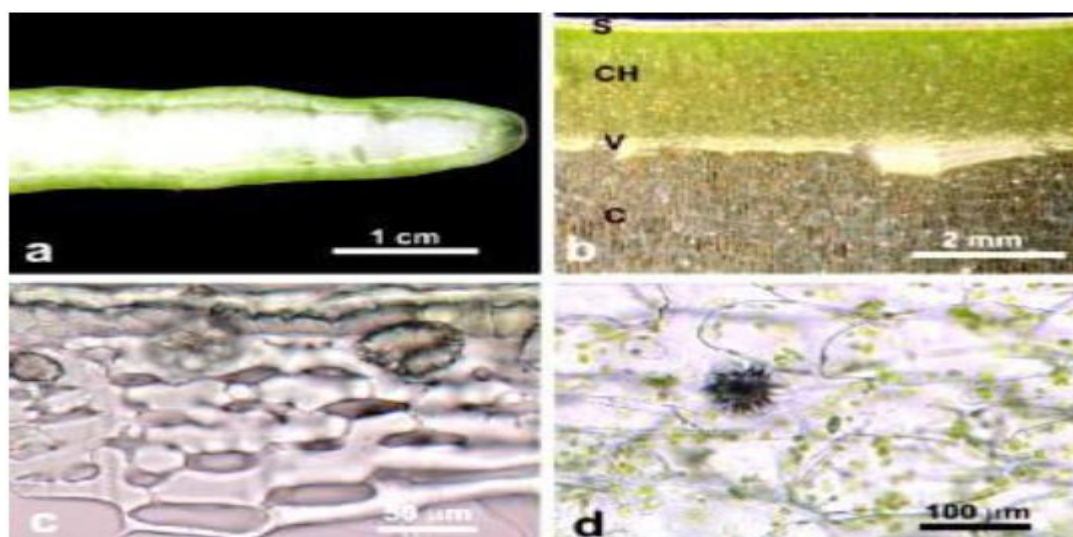
- **Engrais vert** : Les résidus des raquettes ou des fruits et les autres parties de la plante constituent un excellent fertilisant (Revue nature et santé, 2011).
- **Protection** : Cette plante constitue des haies vives qui permettent la fixation des terrains ravinés par les pluies et stabilisent les terres sablonneuses et sont infranchissables aux animaux sauvages. Elles nécessitent peu d'entretien tout en offrant la richesse de leurs fruits et de leurs raquettes. Néanmoins, il faut tenir compte du caractère invasif de cette plante (Revue nature et santé, 2011).
- **Combustible** : C'est une plante qui fournit un excellent bois de chauffage et une flamme éclairante (Revue nature et santé, 2011).

## 4. Cladodes du figuier de Barbarie

### 4.1. Morphologie

Le terme feuilles de figuier de Barbarie est fréquemment utilisé dans la littérature pour désigner les segments de tiges aplaties de la plante qui remplacent les feuilles dans leurs fonctions. Ces tiges de cactus, les raquettes de cactus ou cladodes sont les termes corrects, synonyme de « nopales ». Les tiges sont composées d'un parenchyme blanc (tissu de base) et le contenant de la chlorophylle au sein du chlorenchyme (tissu de cortex) (fig.7). Ce dernier est recouvert d'épines (feuilles modifiées) et poils ou trichomes multicellulaires, qui forment l'aréole et qui est une caractéristique des membres de la famille des cactacées (Anderson, 2001). Les glochides sont composées de 100% de cellulose cristalline (Waldron et *al.* 1996). Les microfibrilles de cellulose sont de 0,4 mm de longueur et de 6 à 10 µm en diamètre, et sont parallèlement ancrées dans une matrice d'arabinose. Celle-ci est en présente sous forme de gel solide, tissé et serré avec la cellulose. Les épines sont constituées de 96% de polysaccharides, qui eux-mêmes sont divisés en 49,7% de cellulose et 50,3% d'arabinose, le reste est constitué de cendres, matières grasses, cires et la lignine (Malainine<sup>1</sup> et *al.* 2003). Elles mesurent

1 à 3 cm de longueur et forment 8,4% du poids total de la cladode. Leurs fonctions comprennent la protection mécanique face aux herbivores, la réflexion de la lumière, l'ombre pour la tige, et donc permettent la réduction de la perte en eau ainsi que la condensation du brouillard (Anderson, 2001). maritime, 2010).



**Figure 6** : Morphologie des cladodes du figuier de Barbarie, (a) : Coupe transversale (CT) de l'ensemble de la cladode ; (b) : CT des couches extérieures de la cladode montrant la peau (S), chlorenchyme (CH), vaisseaux conducteurs (V), parenchyme (C) ; (c) : CT de la peau montrant un hypoderme à parois épaisses ; (d) : CT du chlorenchyme avec des plasmides et des cristaux oxalate (Ginestra et *al.*, 2009).

## 4.2. Composition chimique

La composition chimique des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante. Par conséquent, les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues (tabl.1) (Stintzing and Carle, 2005).

**Tableau 1** : Principaux composants des cladodes du figuier de Barbarie (Stintzing and Carle,2005)

Composants	Matière sèche (g/100g)	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendres	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéines	4-10	0,5-1
Lipides	1-4	0,2

Les jeunes cladodes ont des valeurs élevées en glucides, en protéines, et la teneur en eau. Fait intéressant, la fertilisation faible en azote conduit à une augmentation de la teneur en protéines brutes, alors que pour l'alimentation des animaux et spécialement les vaches allaitantes, les doses d'azote recommandées sont de 224kg /ha. Un supplément de 112 kg /ha de phosphate améliore la faible teneur en phosphate des cladodes (Pimienta-Barrios et al. 1994). Au cours de la croissance, l'ossature fibreuse est décomposée dans le parenchyme, mais se développe dans le cortex. Cependant, les protéines totales et les fibres diminuent avec l'âge. Le jus de cladodes présente un pH de 4,6 avec 0,45% d'acidité titrable et 6,9 g /100 g de matières sèches (Stintzing and Carle,2005).

Les cladodes ont une haute teneur en calcium et en fibres. Elles sont moins nutritives que les épinards et plus nutritives que la laitue (Stintzing and Carle, 2005). La teneur en eau varie entre 88 à 95%, elle donne aux cladodes une valeur alimentaire en étant pauvre en calories (27 kcal /100 g) (Murillo-Amador et al. 2002).

### 4.2.1. Composants à faible poids moléculaire

#### a) Minéraux

Le potassium est le principal minéral, il occupe 60% de la teneur totale en cendres (166 mg /100 g de poids frais), suivie par le calcium (93 mg /100 g de poids frais), sodium (2 mg /100 g de poids frais) et le fer (1,6 mg/100 g de poids frais) tandis que le magnésium n'a pas été détecté (Munoz de chaves et al. 1995). Des études récentes ont démontré que la

composition minérale est de 50 mg /100g de poids sec, 18-57 mg /100g de poids secs pour le potassium, 11-17 mg /100 g pour le calcium et magnésium, suivie du manganèse (62-103 µg /g), du fer (59-66 µg /g), du zinc (22 à 27 µg /g) et du cuivre (8-9 µg /g). Encore une fois, ces valeurs doivent être considérées comme approximatives puisque les teneurs en minéraux varient avec les espèces, le site de culture et l'état physiologique du tissu de cladode. Il est à noter que le calcium joue un rôle crucial dans la rétention d'eau des tissus succulents (Stintzing and Carle, 2005).

### b) Glucides

Les glucides constituent un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes (tabl.2). La teneur en glucides est comprise entre 64 et 71 g /100 g par rapport au poids sec. Des variations peuvent dues aux facteurs agronomiques et environnementaux ainsi que l'âge de la cladode. Les jeunes cladodes sont plus riches en glucides (Ginestra et al. 2009).

**Tableau 2** : Composition en monosaccharides non cellulosiques des cladodes de *l'Opuntia ficus indica* (Ginestra et al. 2009).

Glucides	Matière sèche (µg / mg)
Rhamnose	7,13 ± 1,28
Fructose	0,74 ± 0,11
Arabinose	39,64 ± 1,96
Xylose	18,64 ± 0,84
Mannose	13,64 ± 0,81
Galactose	33,69 ± 2,89
Glucose	153,15 ± 6,54

### c) Acides organiques

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg /100g de poids frais (tabl.3). En revanche, les cladodes âgées ne contiennent plus d'acide malonique. L'acide tartrique et succinique a été trouvé seulement en état de traces. L'augmentation de l'acide piscidique est due à l'augmentation avec l'âge, alors que l'acide phorbique a été réduit de moitié de la valeur initiale. Les deux acides phorbique et piscidique sont rarement rencontrés dans la nature et limités aux plantes présentant un métabolisme acide succulent (CAM) (Teles et al. 1984).

**Tableau 3** : Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte (Stintzing and Carle, 2005).

Acides organiques	6h (matin)	18h (après-midi)
	Poids frais (mg/100g)	
Acide oxalique	35	35
Acide malique	985	95
Acide citrique	178	31
Acide malonique	36	Traces
Acide succinique	traces	Traces
Acide tartrique	traces	Traces

En outre, l'acide malique varie de 95 à 985 mg/100 g de poids frais. Il est influencé par les changements diurnes en raison du type de photosynthèse (CAM): la plante fixe le dioxyde de carbone sous forme d'acide malique et libère l'oxygène pendant la nuit pour éviter les pertes d'eau par transpiration. Durant la journée, l'acide malique est décarboxylé en acide malonique et le dioxyde de carbone est libéré et transformé en glucose par l'action de la photosynthèse quand les stomates sont fermés. Le principal acide, cependant, est l'acide oxalique (0,61 mg /g de poids sec). Il joue un rôle intéressant avec le calcium et le métabolisme des pectines (Stintzing and Carle, 2005).

#### **d) Acides aminés**

Il existe 18 acides aminés compris dans les cladodes du figuier de Barbarie (tabl.4) (Bruckner et al. 2003). La teneur en protéine est de 11g /100 g de poids frais ou de 0,5 g/100 de poids sec (Teles et al. 1997). D'autres auteurs ont confirmé qu'elle varie entre 77-112 mg/ g de poids sec en fonction du mois de récolte (Retamal et al. 1987). Les principaux acides aminés sont la glutamine, suivie par la leucine, la lysine, la valine, l'arginine, la phénylalanine et l'isoleucine (El-Mostafa et al. 2014).

**Tableau 4** : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie (Bruckner et *al.* 2003).

Acides aminés	Poids frais (mg/100g)
Alanine	0,6
Arginine	2,4
Asparagine	1,5
Acide asparaginique	2,1
Acide glutamique	2,6
Glutamine	17,3
Glycine	0,5
Histidine	2,0
Isoleucine	1,9
Leucine	1,3
Lysine	2,5
Méthionine	1,4
Phénylalanine	1,7
Serine	3,2
Thréonine	2,0
Tyrosine	0,7
Tryptophane	0,5
Valine	3,7

#### e) Acides gras

Les analyses chromatographiques des lipides totaux extraits à partir des cladodes de cactus montrent que la contribution totale en acide gras est de 13,87% pour l'acide palmitique (C16 : 0), 11,16% pour l'acide oléique (C18 : 1), 34,87% pour l'acide linoléique (C18 : 2) et 32,83% pour l'acide linoléinique (C18 : 3) (tabl.5). Ces quatre gras acides représentent ainsi plus de 90% des acides gras totaux. Les acides linoléiques et linoléiniques constituent les principaux acides gras polyinsaturés (67,7%) (Abidi et *al.* 2009).

**Tableau 5** : La composition en acides aminés dans les cladodes du figuier de Barbarie (Abidi et *al.* 2009).

Acides Gras	Matière sèche (g/100g)
C12 :0	1,33
C14 :0	1,96
C16 :0	13,87
C16 :1	0,24
C18 :0	3,33
C18 :1	11,16
C18 :2	34,87
C18 :3	33,23
C20 :0	-
C22 :0	-
C22 :1	-
C24 :0	-

Une étude sur la fraction stérol de la chlorophylle présente dans le cortex (chlorenchyme) a démontré la présence de 5,0% de cholestérol, 8,0% du methylcholesterol, ainsi que 87,0% de sitostérol (Stintzing and Carle, 2005).

#### **f) Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles**

La teneur totale de la vitamine C (acide ascorbique et déhydroascorbique) dans 100 g de matière fraîche s'élève à 22 mg, b-carotène à de 11,3 à 53,5 µg, thiamine à 0,14 mg, riboflavine à 0,6 mg et niacine à 0,46 mg (tabl.6) (Stintzing and Carle, 2005).

**Tableau 6** : Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de Barbarie (Stintzing and Carle, 2005).

Vitamines	Pour 100 g de poids frais
Vitamine C totale	7-22 mg
Niacine	0,46 mg
Riboflavine	0,60 mg
Thiamine	0,14 mg
$\beta$ -Carotène	11,3 – 53,5 $\mu$ g

En ce qui concerne le profil des caroténoïdes, il y'a présence d' $\alpha$ -cryptoxanthine (20%), du  $\beta$ -carotène (36%) et de la lutéine (44%) sachant que le tout englobe une somme 229  $\mu$ g/ g de poids sec total et de plus la valeur s'élève avec un traitement thermique (Jaramillo-Flores et *al.*, 2003).

Alors que la lutéine est typique des légumes verts, aucune information n'est encore disponible chez les cactus. Elle accompagne habituellement la chlorophylle dans les tissus végétaux verts tels que les épinards, la laitue ou les blettes (Stintzing et Carle, 2005).

La Chlorophylle totale dans les cladodes est estimée à 12,5 mg/ 100g de poids frais, sachant que la teneur en chlorophylle (a) est de 9,5 mg dépassant la chlorophylle (b) avec 3,0 mg (Guevara et *al.*, 2001).

#### **g) Composants phénoliques**

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

Parmi les acides phénoliques qui ont été détectés : acide ferulique, acide p-Coumarique, acide 4-Hydroxybenzoïque, acide caféique, acide salicylique, acide gallique. Les flavonoïdes détectés sont : rutine, iso-quercitrine, nicotiflorine, narcissine (tabl.7) (Guevara-Figueroa et *al.* 2010).

**Tableau 7** : Composition en polyphénols des cladodes de *l'Opuntia ficus-indica* (El-  
Mostafa et *al.* 2014).

Polyphénols	Matière sèche (mg / 100 mg)
Acide gallique	0,64-2,37
Coumarique	14,08-16,18
3,4- dihydroxybenzoïque	0,06-5,02
4-hydroxybenzoïque	0,5-4,72
Acide ferulique	0.56-34,77
Isoquercétine	2,29-39,67
Isorhamnetin-3-O-glucoside	4,59-32,21
Nicotiflorine	2,89-146,5
Rutine	2,36-26,17
Narcissine	14,69-137,1

#### 4.2.2. Composants à haut poids moléculaire

La teneur moyenne de la cellulose dans les cladodes par rapport à la matière sèche est de 11%, hémicellulose 8% et la lignine 3,9% (Ben-Thlija, 2002).

La teneur en amidon dans les cladodes fluctue en fonction des saisons et atteint une valeur moyenne de 85 à 171 mg/ g de poids sec (Retamal et *al.* 1987).

Les hydrocolloïdes occupent 36% du volume total de la cladode, cela est dû à leur grande capacité à gonfler. Le stockage de l'eau atteint 50% de leur poids total. Il est aussi à noter que les glucanes agissent comme source de carbone pour l'acide malique dans la CAM (Sutton et *al.* 1981).

La composition moyenne du sucre dans le mucilage du figuier de Barbarie est composée de 42% d'arabinose, 22% de xylose, 21% de galactose, 8% d'acide galactose turonique et 7% de rhamnose. La précipitation a été obtenue par addition de cation tel que le calcium, le plomb, le baryum, l'argent, le cuivre, le fer, le cobalt ou le nickel pour viser la déstabilisation du polyélectrolyte anionique (Nobel et *al.* 1992).

Il est à noter que la viscosité la plus haute du chlorenchyme a été enregistrée entre un pH 4 et 6 et étant plus faible pour le chlorenchyme. A pH entre 2 et 4, une légère augmentation a été détectée par contre il y'a pratiquement pas de modifications de viscosité entre un pH 6 et 10. Quand la valeur de pKa atteint 3,2 à 3,5 la molécule change de la forme globulaire à linéaire (Majdoub et *al.* 2001).

Le plus souvent dans la littérature, les auteurs ne font pas de distinction entre le mucilage et les pectines. Afin de prouver les différences chimiques de ces deux fractions macromoléculaires, un protocole d'extraction a été proposé pour les différencier. Alors que le mucilage ne forme pas un gel par addition de calcium, les pectines sont sensibles aux divalents cations. Avec le moyen de l'ultrafiltration, une séparation des molécules à un haut poids moléculaire (10%) et celle de faible poids moléculaire (90%) a été réalisée à partir d'un extrait de cladodes. Ce dernier est composé de 80% de protéines qui avaient une solubilité assez faible dans l'eau. Bien que la fraction de poids moléculaire élevé ait montré une légère sensibilité vis-à-vis du calcium en solution, aucune d'augmentation de la viscosité n'a été observée lors de l'addition du calcium pour les molécules à faible poids moléculaire. Ce n'est que lorsque la concentration du mucilage augmente de 10 g/100 g d'eau, qu'il y'a formation d'un gel du a des ponts intermoléculaire. Il a été conclu que la fraction de protéines en interaction avec polysaccharides forme des liaisons intermoléculaires (Majdoub et *al.* 2001).

## Chapitre 2. Mode d'utilisation

### 1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques

Traditionnellement, les cladodes de cactus contribuaient considérablement à l'alimentation humaine au Mexique et servent jusqu'à présent comme des agents thérapeutiques. En médecine populaire, elles sont utilisées pour le traitement de la gastrite, de la fatigue, de la dyspnée et des maladies du foie suite à l'abus d'alcool (Stintzing and Carle, 2005).

Les cladodes chauffées ont été utilisées pour traiter le rhumatisme, les érythèmes et les infections chroniques de la peau, mais aussi pour améliorer la digestion et améliorer le processus général de désintoxication (Munoz de Chavez et al. 1995). Récemment, des effets positifs des cladodes ont été démontrés sur l'hyperglycémie, l'acidose, et l'artériosclérose. Le rôle des polysaccharides des cladodes dans le secteur des médicaments est intéressant comme la réduction du cholestérol et son action préventive du diabète et les thérapies adiposes. Depuis qu'il a été démontré que la fraction hydrocolloïdale est également riche en protéines, davantage de recherches doivent être effectuées pour prouver si les effets positifs sont dus à des substances pectiques ou plutôt aux protéines (Stintzing and Carle, 2005). Depuis que lutéoline est connue pour réduire considérablement le cholestérol par inhibition indirecte de la 3-HMG-CoA réductase qui est l'enzyme clé de biosynthèse du cholestérol. L'action des flavonoïdes sur le métabolisme du cholestérol serait intéressante à poursuivre (Gebhardt, 2003).

Les hydrocolloïdes d'*Opuntia* pourraient être appliqués dans les crèmes similaires à l'*Aloe vera* (L.) (Eshun et al. 2004).

### 2. Propriétés antifongiques et antibactériennes

Les stilbènes sont connus depuis longtemps pour leurs propriétés antifongiques. Le trans-resvératrol, par exemple, inhibe la germination de solutions de conidies de *Botrytis cinerea* (Jeandet et al. 2002).

Les gallotannins ont une activité antibactérienne intense vis-à-vis des *Salmonelles* et *Bacillus cereus*. La quercétine et la naringénine présentent une forte activité antibactérienne envers une large gamme de bactéries. La catéchine et l'épicatéchine ne montrent aucune activité antibactérienne pour *Pseudomas aeruginosa*. A l'inverse, les oligomères P2, P3, P4 ainsi que leurs dérivés gallates sont actifs contre l'ensemble des micro-organismes testés (Collin et al. 2011).

### 3. Impact sur la santé

Les polyphénols jouent un rôle très important sur notre santé et ils ont des activités et rôles différents :

**Protection cardio-vasculaire** : Les flavonols et les flavonoïdes sont à l'origine d'un effet cardioprotecteur via leurs effets antioxydants (protection contre l'oxydation des LDL), l'inhibition de l'activité plaquettaire et leurs propriétés vasodilatatrices (Prior et *al.* 2001). L'action protectrice de l'acide gallique serait également due à son action antioxydante (piégeage des radicaux libres) (Priscilla et *al.* 2009). Le trans-resvératrol agit sur l'agrégation plaquettaire et la vasodilatation. En jouant sur le statut antioxydant, il régule par ailleurs l'expression génétique et mène à une diminution de la concentration totale en lipides (cholestérol et triglycéride) (Delmas et *al.* 2005).

**Activité anti-cancérogène** : Le xanthotumol agit sur les trois stades de la cancérogenèse (Collin et *al.* 2011). Le trans-resvératrol inhibe l'initiation et la croissance des tumeurs (Jang et *al.* 1999). Les flavonoïdes pourraient réduire le risque de cancer, bien que certaines activités procarcinogènes aient également été signalées (Collin et *al.* 2011).

**Activité anti-inflammatoire** : Les flavonoïdes altèrent la synthèse des eicosanoïdes (médiateurs de l'inflammation). Ils diminuent le rapport leucotriène/prostacycline en modifiant l'activité lipoxygénasique. Le trans-resvératrol montre des effets similaires (Collin et *al.* 2011).

**Activité oestrogénique** : Les prénylflavanones ont surtout été étudiés pour leur activité oestrogénique. L'hopéine est un phyto-oestrogène très puissant. Il est recommandé dans la prévention ou le traitement des symptômes de la (post)ménopause et de l'ostéoporose (Collin et *al.* 2011). Une activité oestrogénique a récemment été signalée pour certains stilbènes, tel que l'isomère trans du resvératrol (Baur et *al.* 2006).

#### 4. Applications industrielles

Les propriétés ont été exploitées, et trouvent des applications dans de nombreux domaines industriels : en agroalimentaire, en cosmétique et dans l'industrie pharmaceutique. Grâce aux propriétés antimicrobiennes de certains polyphénols comme les flavan-3-ols, les flavanols et les tanins, il est désormais possible de développer des conservateurs alimentaires et des nouvelles thérapies dans de nombreuses maladies infectieuses en considérant la résistance microbienne face à certains traitements antibiotiques (Daglia, 2012).

La capacité antioxydante des polyphénols est utilisée dans l'alimentation pour lutter contre la peroxydation lipidique et ainsi permettre une meilleure stabilisation des denrées alimentaires. Ils sont également été préconisés pour améliorer la stabilité de pigments de jus colorés (comme le jus de betterave), d'arômes alimentaires, et rentrent dans la composition de produits pharmaceutiques pour des utilisations par voie orale et des produits cosmétiques pour des applications locales (Moure et *al.* 2001). Enfin, l'effet de certains flavonoïdes en médecine humaine est de plus en plus étudié dans le traitement de certaines maladies et particulièrement pour le contrôle du virus de l'immunodéficience, principal responsable du SIDA (Sartori-Thiel, 2003).

Les cladodes du figuier de Barbarie sont riches en polyphénols et principalement les flavonoïdes et les acides phénoliques (El-Mostafa et *al.* 2014). L'analyse des polyphénols présents dans le jus de cladode et leurs quantifications nous donneront une approche globale sur la composition et la concentration en polyphénols.

### **Chapitre 3. Production industrielle des jus**

La faible consommation de fruits et légumes est associée à l'augmentation des risques de cancers ou autres maladies chroniques. Aux Etats-Unis, une étude datant des années 1994-1996, avant le lancement des campagnes internationales sur le bienfait de la consommation des fruits et légumes, rendait compte de l'état de consommation des

Américains. Seulement 29% des jeunes âgés de 2 à 19 ans et 44% des plus de 20 ans consommaient les 5 fruits et légumes quotidiens recommandés (Marsh et *al.* 2003).

Selon l'étude française SU.VI.MAX (2000), la consommation moyenne de fruits et légumes est de 330 g par jour pour les hommes et de 300 g par jour pour les femmes, ce qui correspond à 60% de la population en dessous des recommandations nutritionnelles.

Pour pallier cette sous-consommation de fruits et légumes, due entre autres à une faible durée de conservation, aux saisons courtes de consommation, aux prix élevés, le jus de fruits et légumes apparaît être une bonne alternative. D'ailleurs les recommandations nutritionnelles mondiales intègrent clairement le jus de fruits et légumes comme une portion de la consommation quotidienne en fruits et légumes.

#### **1. Définition**

Selon la norme générale codex pour les jus et les nectars de fruits (CODEX STAN 247-2005). Le jus de fruits est le liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais ou de fruits conservés dans de saines conditions par des moyens adaptés et/ou par des traitements de surface post-récolte appliqués conformément aux dispositions pertinentes de la Commission du Codex Alimentarius.

Certains jus peuvent être obtenus à partir de fruits comprenant des pépins, graines et peaux qui ne sont pas habituellement incorporés dans le jus, bien que des parties ou composants de pépins, de graines et de peaux impossibles à retirer par des bonnes pratiques de fabrication (BPF) soient acceptés.

Le jus est obtenu par des procédés adaptés qui conservent les caractéristiques physiques, chimiques, organoleptiques et nutritionnelles essentielles des jus du fruit dont il provient. Le jus peut être trouble ou clair et peut contenir des substances aromatiques et des composés volatils restitués, à condition qu'ils proviennent des mêmes espèces de fruits et soient obtenus par des moyens physiques adaptés. De la pulpe et des cellules obtenues par des moyens physiques adaptés à partir du même type de fruits peuvent être ajoutées.

Un jus simple est obtenu à partir d'un seul type de fruit. Un jus mélangé est obtenu en mélangeant deux ou plusieurs jus ou jus et purées obtenus à partir de différents types de fruits.

**Jus de fruits** : pressé directement par des procédés d'extraction mécaniques.

**Jus de fruits à base de concentré** : obtenu en reconstituant du jus de fruits concentré, tel que défini avec de l'eau potable.

**Concentré de jus de fruits** : un concentré de jus de fruits est produit après élimination physique de l'eau en quantité suffisante pour porter la valeur Brix à un niveau supérieur de 50% au moins à la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit.

Pour la production du jus destiné à être concentré, des procédés adaptés sont utilisés et peuvent être associés à la diffusion concomitante de cellules ou de pulpe de fruits dans l'eau, à condition que les matières sèches solubles du fruit dont l'eau a été extraite soient ajoutées au jus d'origine avant concentration. Les concentrés de jus de fruits peuvent contenir des substances aromatiques et des composés aromatisants volatils restitués, qui doivent tous être obtenus par des moyens physiques adaptés et provenir du même type de fruit. De la pulpe et des cellules obtenues par des moyens physiques adaptés à partir du même type de fruit peuvent être ajoutées.

**Jus de fruits obtenu par extraction hydrique** : c'est le produit obtenu par diffusion dans l'eau: du fruit à pulpe entier dont le jus ne peut être extrait par aucun procédé physique ou du fruit entier déshydraté.

**Purée de fruits destinée à la production de jus et de nectars de fruits** : c'est le produit non fermenté, mais fermentescible, obtenu par des procédés appropriés, par exemple en passant au tamis ou en broyant la partie comestible du fruit entier ou pelé sans en prélever le jus. Le fruit doit être sain, parvenu à un degré de maturation approprié et frais ou bien conservé par des moyens physiques ou par un ou plusieurs des traitements appliqués conformément aux dispositions pertinentes de la Commission du Codex Alimentarius. La purée de fruits peut contenir des substances aromatiques et des composés aromatisant volatils à condition qu'ils aient été obtenus par des moyens physiques adaptés et à partir du même type de fruit. De la pulpe et des cellules obtenues par des moyens physiques adaptés à partir du même type de fruit peuvent être ajoutées.

**Concentré de purée de fruits destiné à la production de jus et de nectars de fruits :**

Le concentré de purée de fruits destiné à la production de jus et de nectars de fruits est obtenu par élimination physique de l'eau de la purée de fruits en quantité suffisante pour accroître la valeur Brix d'au moins 50% par rapport à la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit. Le concentré de purée de fruits peut contenir des substances aromatiques ou des composés aromatisants volatils restitués, à condition qu'ils aient été obtenus par des moyens physiques adaptés et à partir du même type de fruit.

**Nectar de fruits :** Le nectar de fruits est le produit non fermenté, mais fermentescible, obtenu en ajoutant de l'eau, avec ou sans adjonction de sucres (sucrose, dextrose anhydre, glucose), de miel et/ou de sirops et/ou d'édulcorants. Des substances aromatiques, des composés aromatisant volatils, de la pulpe et des cellules, qui doivent tous avoir été obtenus à partir du même type de fruit et par des moyens physiques adaptés, peuvent être ajoutés. Le mélange de nectars de fruits est le même produit, obtenu à partir de plusieurs types de fruits différents.

**2. Extraction**

L'extraction du jus est réalisée selon plusieurs méthodes :

- **Pressurage :** consiste en l'expression du jus. Le jus est contenu dans la vacuole de chaque cellule parenchymateuse du tissu comestible des fruits. Chaque cellule est entourée d'une paroi primaire constituée par un gel rigide de pectines, de cellulose et d'hémicelluloses. Pour extraire le jus, il faut ainsi désorganiser les tissus pour obtenir une pulpe composée de cellules séparées, de fragments de paroi baignant dans le liquide issu des vacuoles. Une fois obtenu, le jus est séparé des particules solides (Drilleau, 1988).

De nombreux paramètres sont à prendre en compte dans le pressurage des fruits et légumes: l'épaisseur de pulpe, sa porosité, sa résistance mécanique, la viscosité, la densité du jus et la pression exercée. La formation d'une couche de râpure, une fois le pressurage effectué, va limiter le drainage. Il est nécessaire de limiter le pressurage trop rapide afin de limiter l'épaisseur de la couche de râpure (Singh and Kulshreshtha, 1996). Actuellement, deux grands types de presses sont utilisés pour le traitement industriel des pulpes de fruits et des légumes : ce sont les presses discontinus, à paquets ou à corbeille, et les presses continus à bandes.

- **Presses discontinus :** Les presses à paquets sont encore utilisés à l'échelle de production artisanale comme par exemple pour le jus de pomme (fig. 30). Ils ont cependant disparu des usines des pays occidentaux en raison de leur faible productivité. Ils

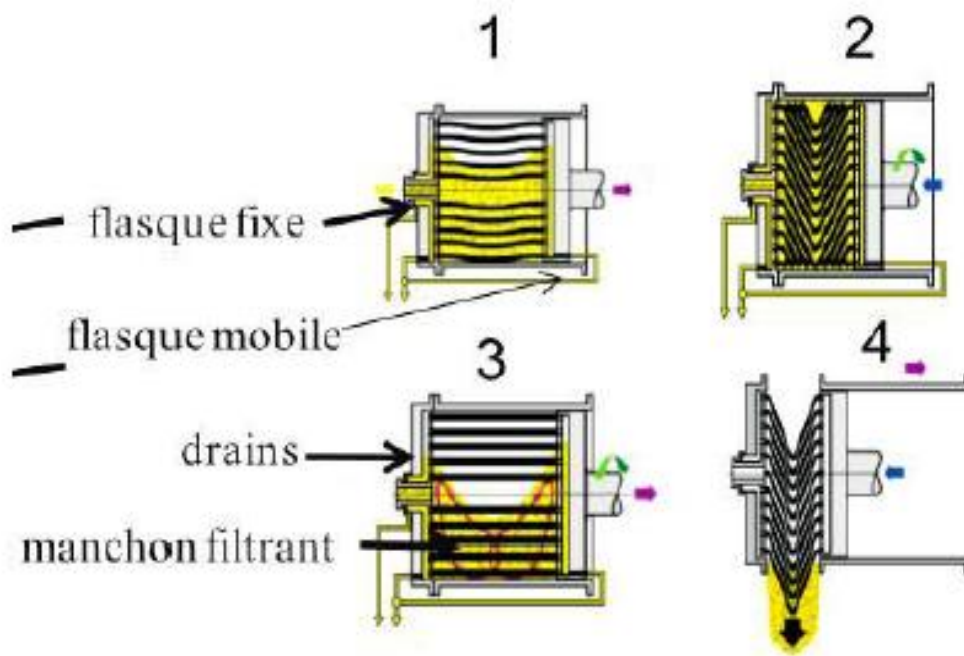
permettent d'extraire le jus sur des fruits préalablement broyés ou entiers. Sous l'action de pistons hydrauliques, une force de pression se crée permettant le pressurage des fruits et légumes situés entre les différents paquets. Ce mode de pressurage est préférentiellement appliqué aux petites quantités de fruits ou légumes.



**Figure 7 :** Pressoir à paquet

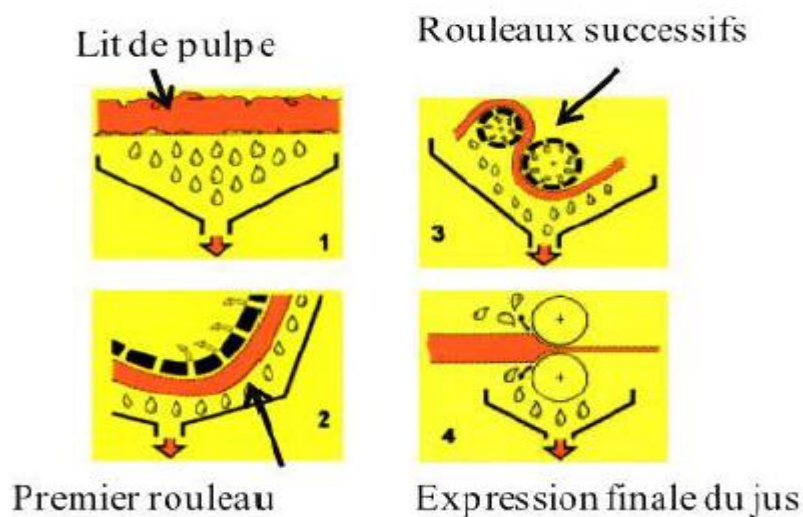
Les presseurs à corbeille autorisent le travail de pratiquement tous les types de végétaux. Leur conduite programmable permet d'adapter la pression aux caractéristiques physiques de la matière première de façon à obtenir le meilleur rendement. Le corps du presseur est constitué d'une corbeille dont le volume peut atteindre 6 m<sup>3</sup>.

Au niveau du mécanisme de pressurage, la pulpe, introduite dans la corbeille, va subir l'action du piston et sera comprimée contre le tablier (étape 1). Le jus s'écoule au travers des éléments de drainage (étape 2). La rotation du corps du presseur lors du rebêchage entraîne un malaxage de la pulpe favorisant son contact avec les drains (étape 3). Ceux-ci faisant objet de tamis, le jus obtenu est peu chargé en bourbe. A la fin du pressurage, le piston et la corbeille se retirent, le résidu tombe dans une trémie munie d'une vis d'Archimède (étape 4) (fig.31). Le système, entièrement clos de l'introduction du fruit ou légume jusqu'à la sortie du jus, permet d'assurer une bonne qualité hygiénique du produit.



**Figure 8** : Principe de fonctionnement d'un pressoir à corbeil.

○ **Pressoirs continus** : les pressoirs à bande dérivent des techniques des pressoirs à paquets. Le lit de pulpe (étape 1) est entraîné entre deux toiles sans fin à travers un train de rouleaux et de contre-rouleaux (étapes 2 et 3) dont l'écart en se réduisant exerce une pression progressivement croissante sur la pulpe. Le jus s'écoule à travers la toile inférieure dans un bac collecteur (étape 4). A la fin du dispositif, les toiles s'écartent et permettent le relargage des résidus dans une trémie d'évacuation. Le nettoyage des toiles est assuré par des batteurs et des jets d'aspersion (fig.32).



**Figure 9** : Schéma explicatif du fonctionnement d'un pressoir à bande.

Dans les agrumes, la présence d'huile essentielle dans l'épiderme interdit le pressurage de la totalité du fruit. La fabrication de jus d'agrumes présente une contrainte qualitative.

Les normes imposent une teneur en huile essentielle inférieure à 0,02% en volume du jus final.

### 3. Traitement thermique

#### 3.1. Généralités

Le traitement thermique des produits implique un chauffage et un refroidissement afin d'avoir un produit avec une longue durée de conservation, qui est exempt d'organismes pathogènes et ne causera pas l'altération des aliments. Le régime de chauffage et de refroidissement est connu sous le nom de processus (Simpson, 2009).

L'opération qui vise l'inactivation des micro-organismes est généralement désignée sous le nom de stérilisation, bien qu'elle ne soit pas la même que les opérations médicales qui nécessitent la suppression complète des espèces microbiennes. Généralement, on n'a pas besoin d'éliminer les organismes thermophiles qui n'ont aucune importance pour notre santé ainsi le processus est décrit comme une stérilisation commerciale. Le seul inconvénient est le stockage des produits à une température supérieure à 32 °C, les micro-organismes vont germer et provoqueront la détérioration du produit. Si la température ambiante de stockage dépasse cette température comme dans les pays à climat chaud, il sera alors nécessaire de soumettre le produit à un processus plus sévère (Simpson, 2009).

Le facteur le plus important pour déterminer le processus à suivre est le pH du produit, qui peut varier du neutre avec un pH de 7 à acide avec un pH de 2.8. L'intoxication alimentaire par des micro-organismes comme *Clostridium botulinum* et beaucoup d'autres types de bactéries, les sporulés et les non sporulés sont inhibées à un pH de 4.5 (ou un peu plus élevée  $\leq 4,7$ ). Par conséquent, ce chiffre est souvent considéré comme la ligne de démarcation entre les exigences d'un processus doux à des températures inférieures à 100 °C comme la pasteurisation et un processus plus sévère, souvent connu comme un processus botulique impliquant des températures entre 118 °C et 125 °C (Simpson, 2009).

Les produits alimentaires sont identifiés selon quatre groupes en fonction de leur pH :

**Groupe 1** : les produits à faible acidité (pH  $\geq 5,0$ ) – les produits à base de viande, les produits de la mer, le lait, les soupes et la plupart des légumes.

**Groupe 2** : les produits à acidité moyenne (pH 4,5 – 5,0) – la viande, les légumes, les pâtes, les soupes et les poires.

**Groupe 3** : les produits acides (pH 4,5 – 3,7) – les tomates, les poires, les figues, l'ananas et d'autres fruits.

**Groupe 4** : Les produits à haute acidité ( $\text{pH} \leq 3,7$ ) - le pamplemousse, les agrumes et les jus de fruits.

La majeure partie des produits alimentaires nécessitent un procédé de stérilisation, comme la viande, le poisson et les légumes. Par contre, d'autres produits qui viennent sur les lignes séparatrices comme les tomates et les poires dépendent de la variété et de la maturité. Pour les produits de cette région du pH, il est nécessaire de procéder à des essais approfondis pour assurer que l'intoxication alimentaire par les organismes est négative. De même pour les produits formulés, il est nécessaire d'examiner les effets inhibiteurs des ingrédients. Un autre facteur qui doit être pris en compte est la charge microbienne initiale du produit. Il peut être contrôlé en faisant attention aux procédures de manipulation, préparation et les conditions d'hygiène. En parallèle avec le traitement thermique, il est important de prendre en considération la destruction des éléments nutritifs, la perte en vitamines et la détérioration de la qualité globale. Il est nécessaire de déterminer le processus optimal qui offre les conditions de stérilisation nécessaires et de minimiser la dégradation de la qualité des nutriments (Simpson, 2009).

### 3.2. Pasteurisation

Les premiers travaux sur la pasteurisation ont été réalisés en 1765 par Spallanzani. Il a utilisé un traitement thermique pour retarder la détérioration et préserver la viande. De 1862 à 1864, Pasteur a montré qu'avec un réchauffement à des températures entre 50 °C et 60 °C pendant des courtes périodes empêchent l'altération du vin par les microorganismes (Simpson, 2009). Le mot «pasteurisation» a prit son origine dans le travail du chercheur français Louis Pasteur, et se réfère à un traitement doux (50 °C – 90 °C) utilisé pour la conservation qui vise à détruire les formes végétatives des microorganismes pathogènes ou d'altération (Lund, 1975).

En 2006, la pasteurisation a été récemment redéfinie par le ministère américain de l'Agriculture comme « tout procédé, traitement, ou leur combinaison, qui s'applique aux aliments pour réduire les micro-organismes les plus résistants, à un niveau qui n'est pas susceptible de présenter un risque pour la santé publique dans des conditions normales de distribution et de stockage ». Cette définition inclut donc les processus de pasteurisation non thermiques tels que la haute pression (HP). Le traitement thermique qui nécessite l'application de la chaleur aux aliments est la plus ancienne méthode de pasteurisation. Plus récemment, les effets de la pasteurisation non thermique, comme la forte intensité des champs électriques pulsés et la haute pression sur les microorganismes et les aliments, ont été étudiés (Simpson, 2009).

De nos jours, la pasteurisation reste en elle-même un but (destruction partiel des microorganismes) et les techniques sont multiples :

- **Traitement thermique** : L'utilisation de traitements thermiques est de nos jours l'un des principaux moyens de décontamination des produits alimentaires et les efforts d'amélioration vont dans le sens d'une minimisation des modifications des propriétés organoleptiques des produits. Le transfert de chaleur est réalisé par : rayonnement (infrarouge, micro-onde), tubes à passage direct de courant et par chauffage ohmique.

- **Traitement non thermique** : il existe plusieurs techniques qui ciblent la cellule en elle-même et sa destruction à savoir : le champ électrique pulsé, les champs magnétiques pulsés, les hautes pressions hydrostatiques, la lumière pulsée, les ultrasons et les plasmas froids. Il existe des exceptions sur certains aliments transformés qui contiennent des composants ou des ingrédients qui sont antimicrobiens sous certaines conditions qui inhibent la croissance microbienne: les aliments fermentés contenant de l'alcool ou de l'acide (vin, bière, cornichons), les boissons gazeuses (soda), les aliments très sucrés présentant un  $a_w < 0,65$  ou les solides solubles  $> 70$  °Brix (miel, confitures, gelées, fruits secs, concentrés de fruits), ou les aliments salés (poisson ou viande salé). Les autres exceptions concernent les aliments très acides ( $pH < 4,6$ ) qui sont stables dans les conditions ambiantes après un processus de pasteurisation, car l'environnement acide de ces aliments est défavorable à la croissance des microorganismes nuisibles et les spores microbiennes dans les aliments pasteurisés. Pour ce type d'aliments ( $pH < 4,6$ ), un processus de pasteurisation permet d'avoir une durée de vie longue (plusieurs mois) à température ambiante (Ramaswamy et Abbatemarco, 1996), par contre, si le stockage utilisé est réfrigéré, une pasteurisation moyenne peut être appliquée et la qualité des produits est alors améliorée. Pour les aliments à faible acidité ( $pH > 4,6$ ), la durée de vie est plus courte (quelques jours) est obtenu après la pasteurisation, mais le stockage réfrigéré est nécessaire pour maintenir la sécurité des produits au cours du stockage, en limitant la croissance des survivants pathogènes dans les aliments (Adams et Moss, 1995).

#### 4. Conditionnement

Le jus pasteurisé est conditionné en emballage individuel sous azote (produit fini), ou bien en vrac : fûts (aseptiques ou congelés), bins (emballages aseptiques de 1000 litres), cuves, citernes... Les jus en vrac seront livrés aux élaborateurs de produits finis qui effectuent le conditionnement final, suite à une re-pasteurisation du jus (Baron, 2002).

## Chapitre 4. Activité bactérienne et alimentation

### 1. introduction

La microbiologie alimentaire étudier tous les germes liées aux aliments, d'abord aux utilisations en biotechnologie alimentaire.

Les germes pathogènes ubiquitaires, c'est-à-dire présents et véhiculés par l'eau ou le sol, sont à l'origine de contamination primaire des matières premières alimentaires. *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia* ou *Listeria* sont les germes pathogènes les plus fréquemment isolés d'échantillons d'eau ou de sol. Par la suite, lorsque les matières premières sont transformées, elles sont susceptibles d'être contaminées par d'autres micro-organismes présents, même à faible concentration, dans l'usine. Cette niche écologique évolue en fonction de l'environnement de l'usine (air, surface, matériels, personnels...) et des processus technologiques conduisant au produit fini (Bourgeois *et al.* 1999). Dans l'usine, les risques de contamination peuvent être réduits en optimisant sa conception et en appliquant des règles d'hygiène appropriées (nettoyage, désinfection...).

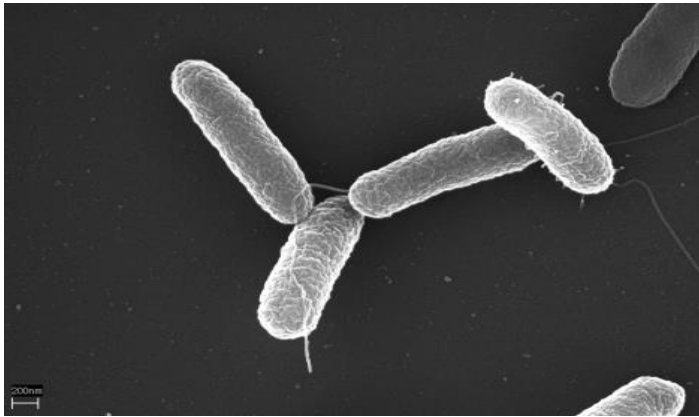
Les processus technologiques sont à l'origine de la sélection de la flore psychrotrophe (*Listeria*, *Escherichia*, *Yersinia*, *Aeromonas*) pour les aliments réfrigérés, ou de germes sporulés (*Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*) pour les aliments ayant subi un traitement par la chaleur. Les micro-organismes sont également sensibles à nombre de modifications physico-chimiques appliquées à la matière première. Outre la température, le pH, l'activité de l'eau ( $a_w$ ) ou le potentiel d'oxydoréduction peuvent évoluer et favoriser la colonisation préférentielle par un micro-organisme pathogène particulièrement adapté à ce nouvel environnement.

Dans le cas particulier des abattoirs, la contamination des carcasses est souvent causée par des germes présents sur la peau, les plumes (*Staphylococcus*, *Listeria*) ou dans le tube digestif et les muqueuses (*Campylobacter*, *Yersinia*, *Shigella*, *Salmonella*, *Escherichia*) des animaux (James *et al.* 1999).

**Tableau 8 :** Bactéries identifiées et aliments associés (Bourgeois et al. 1996 ; Heghebaert et al. 2002).

Bactéries impliquées majoritairement dans les toxi-infections ou les intoxications alimentaires	Principaux aliments associés
<i>Salmonella spp.</i>	Œufs, produits à base d'œufs, viande crue
<i>Staphylococcus aureus</i>	Lait, produits laitiers, viande, œufs, produits à base d'œufs, charcuterie, volaille, poisson, fruits de mer
<i>Clostridium perfringens</i>	Viande, volaille, poisson, fruits de mer
<i>Bacillus cereus</i>	Lait cru, viande, végétaux
<i>Clostridium botulinum</i>	Aliments en conserve, jambon cru, miel
<i>Escherichia coli</i>	Viandes, lait cru, steaks hachés
<i>Campylobacter jejuni</i>	Lait cru, viande, volailles
<i>Listeria monocytogenes</i>	Lait cru, fromages à pâte molle, glace, poissons fumés, légumes crus, charcuterie
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Lait cru, glace, végétaux, porc cru
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Fruits de mer, viande rouge, volaille, lait cru
<i>Shigella</i>	Légumes crus, fruits crus, lait, (steaks hachés ?)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Fruits de mer, poissons, viande

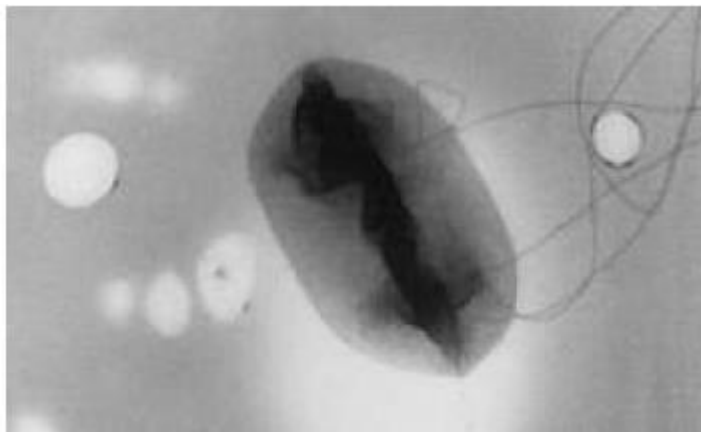
## 1.1. LES SALMONELLES



Les salmonelles sont des bactéries Gram -, anaérobies facultatives. La salmonellose est la toxiinfection alimentaire collective (TIAC) la plus fréquente en France en 2001 (64 % des TIAC) (Haeghebaert et al, 2002). Les principaux sérotypes impliqués dans les TIAC sont *Enteritidis* et *Typhimurium* (ICMSF, 1996).

Il existe des porteurs sains de salmonelles qui hébergent dans leur tractus digestif ces bactéries de manière transitoire ou permanente. Ils sont susceptibles d'être à l'origine de contamination des aliments au cours de la transformation des produits.

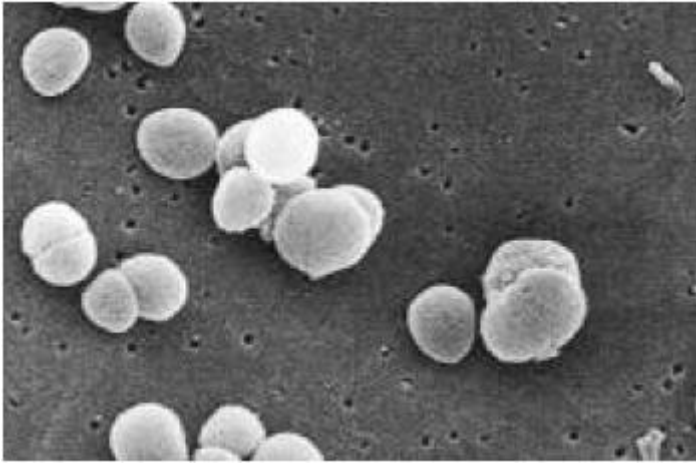
## 1.2. ESCHERICHIA COLI



C'est une bactérie Gram -, anaérobie facultative. Les pathologies les plus graves sont rencontrées avec les *Escherichia coli* entérohémorragiques dont le chef de file est *Escherichia coli* O157:H7 (Centre d'information des viandes, 2002). Elles produisent de puissantes toxines appelées "vérotoxines" responsables des pathologies.

En France, l'origine alimentaire de ces maladies n'est pas vérifiée. *Escherichia coli* O157:H7 a été cependant mise en cause dans des épidémies d'origine alimentaire aux États-Unis, au Canada ainsi qu'en Écosse et au Japon (ICMSF, 1996).

### 1.3. STAPHYLOCOCCUS AUREUS



Cette bactérie, Gram +, est une anaérobie facultative responsable d'intoxication par ingestion d'une entérotoxine (Sandel et McKillip, 2004).

Cette toxine est détruite par la chaleur (supérieure à 60°C) ou le froid (inférieur à 7°C), sa dose infectieuse est très faible, de l'ordre de 1 ng (Larpen, 2000b). En 2001, *Staphylococcus aureus* a été à l'origine, en France, de 15,8 % des TIAC (Haeghebaert *et al.* 2002).

Il existe des porteurs sains de *Staphylococcus aureus*. Le portage dans la gorge et les fosses nasales de cette bactérie concerne 30 à 40 % de la population (Centre d'information des viandes, 2002).

## Chapitre 5. le yaourt

### 1. Historique

L'origine des produits fermentés remonte à des temps immémoriaux ; probablement à l'époque où l'homme a commencé à domestiquer les espèces laitières et à utiliser leurs laits.

Les bactéries lactiques du sol ou des plantes avaient dû contaminer le lait et s'y étaient développées. De même, elle avait dû se répandre et s'installer dans les récipients servant à recueillir et conserver le lait qu'ils soient en bois, pierre ou peau. Cette contamination accidentelle ne permettait sûrement pas d'avoir des produits ayant des saveurs définies et stables mais elle avait indéniablement l'avantage (par le développement de l'acidité) de prévenir le développement de la flore pathogène. (Luquet 1990).

### 2. Définition

D'après le Codex Alimentarius (norme N°A-I1(a) 1975) « le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par la fermentation lactique grâce à *Loctobacillus delbrueicki* sous espèce *bulgaricus* *Lb bulgaricus* et *Streptococcus salivarius* sous espèce *thermophilus* *St thermophilus* à partir du lait frais, ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition (de lait en poudre, poudre de lait écrémé les protéines lactosériques...).

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vente. D'autres pays admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contienne plus de bactéries vivantes. (Anonyme ; 1995).

### 3. Composition microbiologique du yaourt

Le yaourt est un écosystème simple dont la production repose sur les interactions entre *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* .l'importance technologique de l'évolution de cet écosystème a suscité bien des intérêts. Lors de la fermentation du yaourt, le métabolisme de *S.thermophilus* *L.bulgaricus* est le principal responsable de la qualité organoleptique du produit fini (Bourlioux et all ; 2011).

#### 4. Caractéristique générale des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des bactéries à Gram positif regroupant douze genres dont les plus étudiés sont *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* et *Pediococcus*. Ces bactéries peuvent avoir des formes en bâtonnet ou en coques, sont immobiles et ne sporulent pas. Elles ont également un métabolisme aérobie facultatif et ne produisent pas de catalase. Les bactéries lactiques ont en commun la capacité de fermenter les sucres en acide lactique. Les bactéries lactiques sont ubiquistes. On les trouve dans différentes niches écologiques comme le lait et les produits laitiers fermentés. (Pissangt. D ; 1992)

#### 5. Bactéries lactiques spécifiques du yaourt

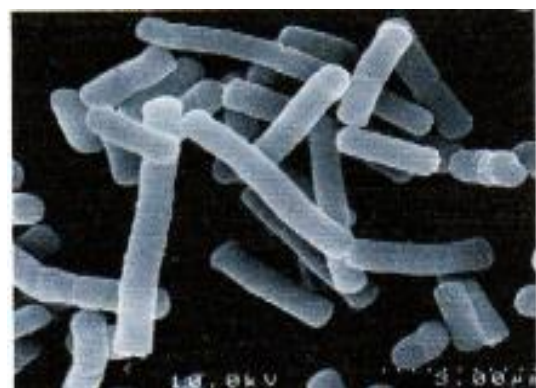
La fermentation du yaourt résulte de l'activité de deux ferments lactiques associés : *Lactocacillus bulgaricus* et *streptococcus thermophilus*. Les deux genres sont micro aérophiles et supportent très bien les milieux acides ph de 4 à 5. Dans le yaourt ils vivent en symbiose étroite (Pette et Lokema; 1950).

La culture associée des deux bactéries permet de produire d'avantage d'acide lactique.

##### 5.1. Streptococcus thermophilus



Streptococcus thermophilus



Lactobacillus

**Figure 13** : les bactéries lactiques du yaourt (Bourlioux et al ; 2011)

*St thermophilus* est une *cocci* gram positif anaérobie facultatif, non mobile. On le trouve dans les laits fermenté et le fromage. (Roussel et al ; 1994) C'est une bactérie dépourvus N d'antigène du groupe D thermorésistante sensible au bleu de méthylène (01%) et aux antibiotiques .elle est aussi résistante au chauffage à 60 C pendant 30 minutes. (Dellaglio et al. 1994)

Le rôle principal de *St thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant ; elle est responsable de la texture dans les laits fermenté. (Bergamaier ; 2002).

## 5.2. *Lactobacillus bulgaricus*

*Lb bulgaricus* est un bacille Gram positif immobile a sporulé ; micro aérophile. Il est isolé sous forme de bâtonnets de chainettes .il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide .*Lb bulgaricus* est une bactérie thermophilue très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ de 42°C cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptique et hygiénique du yaourt (Marty-Teysset et al ; 2000).

**Tableau 9** : principaux caractères de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (CORVI, 1997)

Streptococcus salivarius subsp thermophilus	Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Croissance optimale (37- 42°C)</li> <li>- Ne se développe pas au-dessus de 20 °C</li> <li>- SE développe encore à 50 °C</li> <li>- supporte un chauffage de (30 min à 65 °C)</li> <li>- Homofermentaire, produit très peu de composés contribuant à l'arôme du yaourt (diacetyl, acétoine, acétaldéhyde)</li> <li>- Production d'acide lactique L (+) jusqu'à une concentration de (0.7- 0.8 %)</li> <li>- Supporte un milieu acide PH = (4 - 4.5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Croissance optimale (42 ~ 47 °C)</li> <li>- limites de développement (15 - 52 °C)</li> <li>-Homofermentaire, mais produit un peu D'acétaldéhyde responsable de l'arôme du yaourt.</li> <li>-Production d'acide lactique D (-), jusqu'à une concentration de 1,7 %.</li> <li>-Supporte sans difficulté un milieu acide PH (4 - 4.5).</li> </ul>

## 6. Différents types du yaourt

Il existe deux types de yaourts

Selon la technologie de fabrication :

- Yaourt ferme ou traditionnel, dont la fermentation se fait après conditionnement pots ; ce sont généralement les yaourts naturels, aromatisés. (Pacikoraë ; 2004).
- Yaourt brassé, dont la fermentation se fait en cuve avant brassage et conditionnement .c'est le cas des yaourts peut être réalisée soit à partir de lait entier, soit à partir de lait partiellement ou totalement écrémé (3.5%; 1.00%; 00%de MG) .ici l'ajout des fruits ou d'arômes est réalisé après refroidissement du lait fermenté (Assche ; 1996).

Selon la teneur en matière grasse :

- Yaourt entiers : au minimum il contient 3% en poids de MG ; en pratique industrielle, il renferme 3 à 4 %de MG.
- Yaourt partiellement écrémé : c'est un produit qui renferme au moins 3 % (en poids) de MG. (Guyot ; 1992).
- Yaourt écrémé (maigre) : le produit contient au minimum 0.5% (en poids) de MG et de 0.05 à 0.1 % de protéine.

## 7. Activité antimicrobienne :

Le yaourt à un rôle préventif contre les infections gastro-intestinales. L'intérêt du yaourt dans le traitement des diarrhées infantiles a été démontré par de nombreuses auteures. En do hors de l'acide lactique. Les bactéries du yaourt produisent des substances antimicrobienne et des prébiotiques ; notamment des oligo saccharides.

## 8. Stimulation du système immunitaire :

L'effet immun régulateur du yaourt a été démontré. Son rôle dans l'augmentation de la production d'interférons et d'immunoglobulines et dans l'activation des lymphocytes B est attribué à *Lb. Bulgaricus*.

## Chapitre 1. Matériel végétal

### 1. Zone d'échantillonnage :

L'échantillonnage a été réalisé dans la commune rurale de Sidi Lakhdar qui se trouve dans la wilaya de Mostaganem, Algérie. Elle s'étend sur :

- une superficie de 140 km<sup>2</sup> (14000 h)
- une altitude de 318 m
- une cordonnée géographique de Latitude : **36.1428**, Longitude : **0.460556** (36° 8' 34" Nord, 0° 27' 38" Est)
- une Climat semi-aride sec et chaud (Classification de Köppen: BSh).



**Figure 14** : capture prise avec Google Earth de la zone d'échantillonnage dans la commune Sidi Lakhdar – Mostaganem

## 2. Condition climatique :

Un climat tempéré chaud est présent à Sidi Lakhdar. L'été, à Sidi Lakhdar, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La carte climatique de **Köppen-Geiger** y classe le climat comme étant de type Csa. Sur l'année, la température moyenne à Sidi Lakhdar est de 17.1 °C. Il tombe en moyenne 413 mm de pluie par an.

**Tableau 11** : climat annuelle du commun sidi Lakhdar – Mostaganem

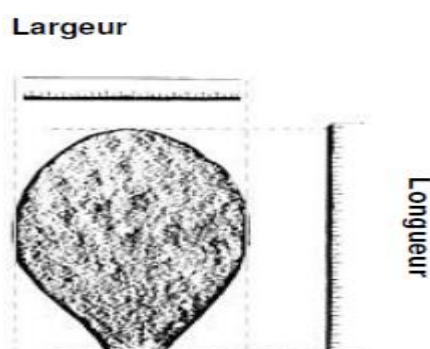
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	10.9	11.7	13	15	17.9	21.1	23.8	24.4	22.4	18.8	14.7	11.5
Température minimale moyenne (°C)	7.5	8.3	9.6	12.1	14.4	17.5	20	20.9	18.9	15.2	11.2	8.3
Température maximale (°C)	14.4	15.1	16.5	18	21.5	24.7	27.7	28	26	22.4	18.2	14.8
Température moyenne (°F)	51.6	53.1	55.4	59.0	64.2	70.0	74.8	75.9	72.3	65.8	58.5	52.7
Température minimale moyenne (°F)	45.5	46.9	49.3	53.8	57.9	63.5	68.0	69.6	66.0	59.4	52.2	46.9
Température maximale (°F)	57.9	59.2	61.7	64.4	70.7	76.5	81.9	82.4	78.8	72.3	64.8	58.6
Précipitations (mm)	57	37	40	28	32	8	1	3	18	42	75	72

La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 74 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 13.5 °C. Avec une température moyenne de 24.4 °C, le mois d'Aout est le plus chaud de l'année. 10.9 °C font du mois de Janvier le plus froid de l'année. La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 74 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 13.5 °C.

### 3. Echantillonnage :

Les espèces *Opuntia megacantha* (épineuse) ont fait l'objet de l'étude. Les espèces font la clôture d'une plantation d'olivier et elles ont été plantées en l'an 2000 (fig14.). La pluie est la seule source d'eau pour ces plantes et elles ne reçoivent aucun traitement chimique.

Les prélèvements des cladodes ont été réalisés durant la saison : printemps (Avril et mai). Les lots de cladodes ont été prélevés aléatoirement. Les dimensions des cladodes ont été choisies selon les mesures suivantes : la longueur entre 15 et 25 cm et la largeur entre 9 et 13 cm (fig.15). Elles correspondent aux dimensions de la référence « napolitos », c'est le nom donné à ce genre de cladodes au Mexique où elles sont largement consommées et commercialisées. Elles sont âgées selon ces dimensions de 3 à 8 mois.



**Figure 15** : Dimensionnement des cladodes

Elles présentent sur le plan nutritionnel un optimum de qualité. Elles sont riches en vitamines, polyphénols, fibres, sucres totaux et sucres réducteurs. Elles sont par ailleurs moins fibreuses pour être appréciées par le consommateur, plus tendre et agréable à la bouche avec leur goût acidulé (fig.16) (Hadj Sadok et *al.* 2008).

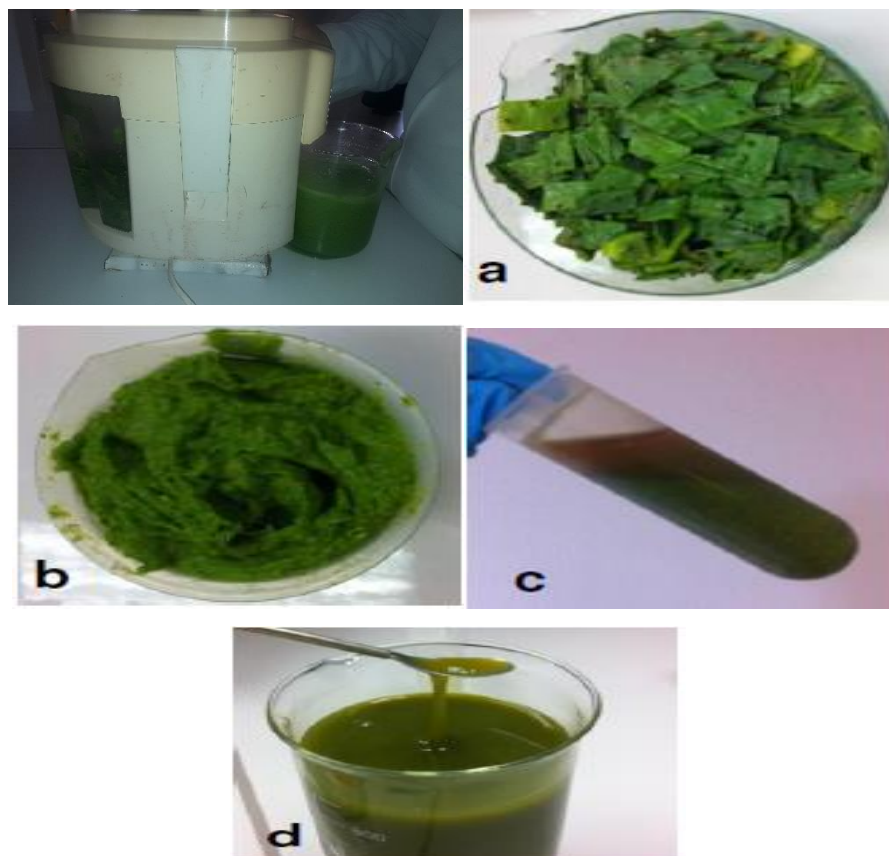


**Figure 16** : Cladode d'espèce du figuier de Barbarie, *Opuntia megacantha* (épineuse) épinées enlevées.

## Chapitre 2. Extraction du jus

L'extraction du jus à partir des cladodes des deux espèces a été réalisée dans le laboratoire de biochimie dans les laboratoires de science de la nature et de vie université ABD el hamid IBN badis.

Les cladodes ont été bien lavées et les épines ont été enlevées par des ciseaux à partir des cladodes épineuses, ensuite le tout a été découpé en cubes de 2 cm et soumis à broyé à l'aide une Centrifugeuse Giant bul, moteur professionnel. L'extrait obtenue a été centrifugée à 4000 tr/min à 26 °C pendant 10 min et le surnageant a été récupérer.



**Figure 17** : Etapes de l'extraction du jus à partir des cladodes des deux espèces, (a) : découpage, (b) : broyage, (c) : centrifugation et (d) : surnageant (jus).

### Calcul du rendement de l'extraction :

Le rendement de jus, et le rapport entre le poids de jus extrait et le poids du matériel végétal utilisé, le rendement est exprimé en pourcentage (%) est calculé par la formule suivante :

R : rendement de jus en %

$$R = (PJ / Pv) \times 100$$

PJ : poids de jus en g

Pv : poids de matériel végétal en g

## Chapitre 3. Matériel biologique

### 1. La méthode utilisée :

- **La méthode de Kirby-Bauer** est basée sur la diffusion de substances antibiotiques imprégnées sur des disques en papier préalablement séchés qui doivent être déposés à la surface de la gélose.

Les disques appliqués sur l'agar absorbent une quantité d'eau suffisante pour dissoudre l'antibiotique qui diffuse ainsi progressivement dans le milieu, suivant les lois physiques de diffusion des molécules à travers un gel. Il se forme ainsi un gradient de concentration de l'antibiotique autour de chaque disque. Tandis que le mécanisme de diffusion se produit, la multiplication des germes ensemencés à la surface de l'agar intervient. Au moment où se manifeste la phase logarithmique de croissance, les bactéries se multiplient plus rapidement que la diffusion de l'antibiotique ne peut progresser et les cellules bactériennes non inhibées continuent à se multiplier jusqu'à ce que la culture puisse être visualisée.

- Aucune croissance n'apparaît lorsque l'antibiotique est présent aux concentrations inhibitrices ; il est alors possible de mesurer le diamètre de la zone d'inhibition qui est indirectement proportionnel aux concentrations minimales inhibitrices effectuées par la méthode en dilutions.

Des tables permettent d'interpréter les résultats obtenus pour déterminer si les germes sont sensibles ou résistants à l'antibiotique mis en œuvre.

### 2. Préparation de milieu de culture :

- Mettre en suspension 38,0 g de milieu déshydraté (BK048) de Mueller Hinton dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.

- Porter lentement le milieu à ébullition sous agitation constante et l'y maintenir durant le temps nécessaire à sa dissolution.

- Répartir en tubes ou en flacons.

- Stériliser à l'autoclave à 115°C pendant 15 minutes.

#### NOTE 1 :

Une liquéfaction partielle de l'agar entraînera inévitablement une altération significative de la consistance du gel du milieu solidifié, après stérilisation et refroidissement.

**NOTE 2 :**

En raison de l'ajustement précis des taux de calcium et de magnésium dans le milieu, l'eau de reconstitution doit être de très bonne qualité.

**3. Test de sensibilité à l'extrait****Le milieu**

- Refroidir et maintenir à 44-47°C.
- Couler en boîtes de Petri stériles.
- L'épaisseur de la gélose doit être impérativement de 4 mm.
- Laisser solidifier sur une surface froide.
- Faire sécher les boîtes à l'étuve, couvercle entrouvert de façon à éviter la formation de gouttelettes d'eau à la surface de la gélose, phénomène pouvant altérer les qualités de diffusibilité du milieu.

**L'inoculum : Méthode standard de Kirby et Bauer**

- L'antibiogramme doit être pratiqué à partir d'une souche pure.
- Repiquer 4 à 5 colonies sur un bouillon approprié : bouillon caséine-soja (BK046, BM030).
- Mettre à l'étuve à 37°C (2 à 5 heures en général) jusqu'à obtention d'une opacité correspondant à l'opacité standard d'une suspension de sulfate de baryum (densité 0,5 de l'échelle de MacFarland).

**L'ensemencement : Méthode standard de Kirby et Bauer**

- Après avoir introduit un écouvillon stérile dans l'inoculum ajusté au témoin d'opacité standard, rejeter l'excès de bouillon par pression sur les parois du tube. Ensemencer la gélose. L'écouvillon doit passer 2 à 3 fois sur toute la surface de manière à obtenir un ensemencement homogène.
- Laisser sécher les boîtes 10 minutes avant de déposer les disques.

**NOTE :** La méthode de Kirby et Bauer est reconnue pour donner les résultats les plus fiables et les plus reproductibles. D'autres méthodes peuvent toutefois être utilisées à condition que l'inoculum et l'ensemencement soient préalablement étudiés et standardisés.

**Dépôt des disques et incubation**

- Poser les disques en appuyant légèrement pour qu'ils adhèrent bien à la gélose.

- Les disposer à 15 mm minimum de la périphérie de la boîte de manière à ce que les zones d'inhibition ne se chevauchent pas.

**LECTURE :** Mesurer la zone d'inhibition à l'aide d'un compas. Se rapporter aux tableaux d'interprétation des zones d'inhibition fournis par les fabricants de disques d'antibiotiques pour établir les corrélations entre la zone d'inhibition et la concentration minimale inhibitrice (CMI).

## **Chapitre 4. Fabrication de yaourt**

### **1. La fabrication industrielle des yaourts en trois étapes :**

#### **Le traitement du lait**

Le lait livré à l'usine est plus ou moins écrémé pour faire, selon les cas, des yaourts maigres, des yaourts au lait entier, On ajoute de la poudre de lait ou du lait concentré pour donner au yaourt une consistance plus ferme,

La pasteurisation à 92°C détruit des germes pathogènes,

On refroidit à 45°C, température idéale pour la vie des bactéries.

#### **L'ensemencement**

C'est l'apport des deux catégories suivantes de bactéries lactiques vivantes qui provoquent la fermentation du lait :

*Lactobacillus bulgaricus* qui apporte au yaourt son acidité

*Streptococcus thermophilus* qui développe les arômes

- ❖ leurs bactéries doivent êtreensemencées simultanément et se trouver vivantes dans le produit fini, à raison d'au moins 10 millions de bactéries par gramme de yaourt.

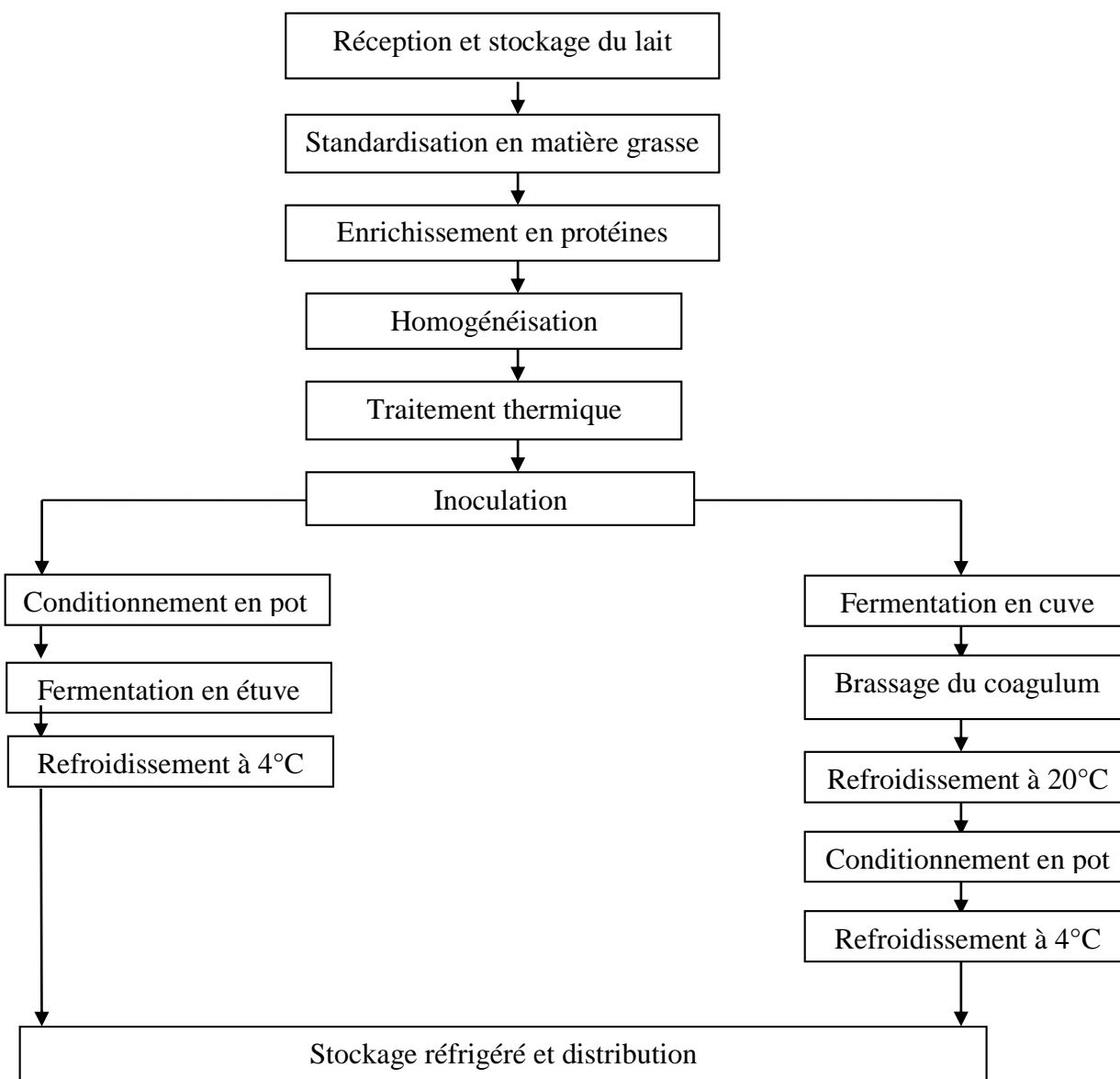
## La fermentation

Le laitensemencé, éventuellement additionné de sucre ou d'arômes naturels, est versé dans les pots de yaourts. Les pots sont fermés et mis en étuve à une température de 43°C à 45°C pendant 2 à 3 heures pour fermentation.

Les bactéries se reproduisent par millions et transforment alors une partie du sucre contenu dans le lait en acide lactique. Cette transformation s'appelle la **fermentation lactique**. La production d'acide lactique acidifie le lait, ce qui entraîne sa coagulation et le développement des arômes.

Les pots sont ensuite refroidis entre 2° et 4° C.

## 2. Diagramme général de fabrication des yaourts et des laits fermentés



### 3. Procédés de fabrication de yaourt expérimental :

- 1-Faire chauffer un litre lait (préparer par 140 gr de poudre de lait commercialisé + 1 litre d'eau).
- 2- Le laisser tiédir jusqu'à environ 44-46 °C.
- 3-Inoculer directement avec un ferment en poudre (sachets), On procède à l'adjonction simultanée de ferments *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* avec un taux de 0.03%.
- 4- Le laitensemencé est réparti dans des pots stériles (10 pots) de capacité de 100 ml recouverts d'un film aluminium pour assurer l'anaérobiose.
- 5-Incuber les échantillons à 45°C pendant 3 heures.
- 6-Les yaourts sont conservés à 6°C au réfrigérateur durant toute la période de post-acidification.

## Chapitre 5. Acidités titrables

### 1. Mesure de l'acidité titrable :

But : doser l'acide lactique avec la soude NAOH

Normes : L'acidité normale du yaourt est comprise entre 75 et 100 °D

Mode opératoire :

1. Bien homogénéiser le contenu du pot du yaourt.
2. Ajouter 3 à 5 gouttes de solutions de phénol phtaléine
3. Titrer par la soude Dornic avec l'acidimètre
4. La lecture sera directement sur l'acidimètre

## 1. Résultat

### 1. rendement :

Le rendement d'extraction de jus des raquettes à voisiné 25%.

Pour 2 Kg des raquettes de figuier barbarie on obtienne 500 ml de jus.

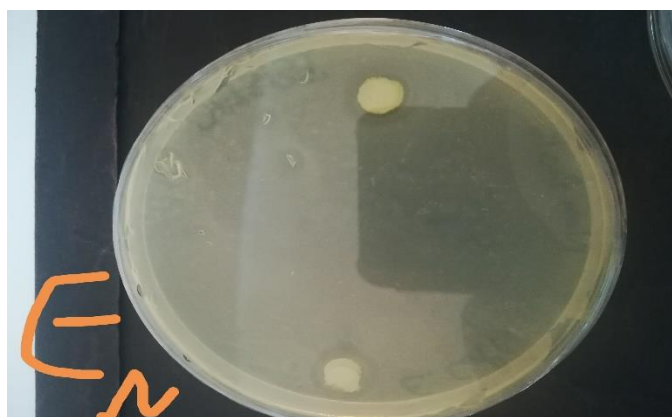


### 2. effet d'extrait des cladodes sur certain bactérie pathogène (escherichia coli, Salmonella, staphylococcus aureus) :

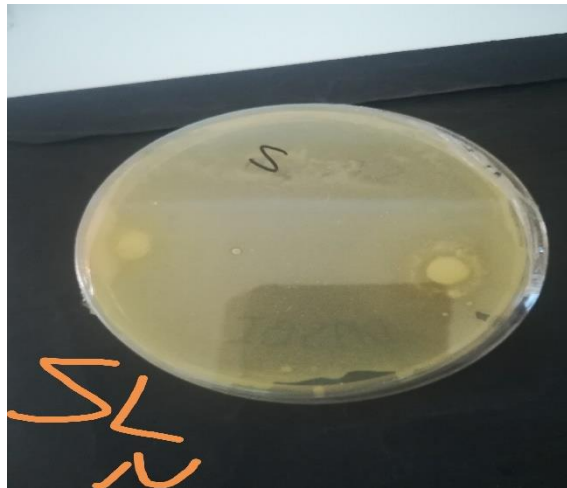
L'évaluation du pouvoir antimicrobien de l'extrait de jus des raquettes de figuier barbarie :

**Tableau 12** : diamètre des zones d'inhibition d'extrait des raquettes de figuier barbarie et les bactéries

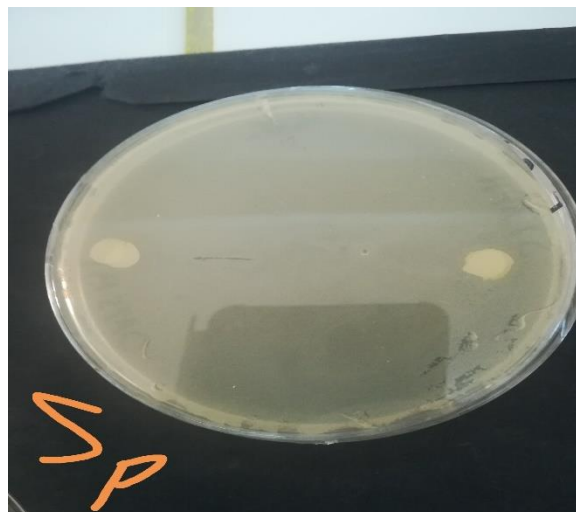
Les souches bactériennes	escherichia coli	Salmonella	staphylococcus aureus
1 <sup>er</sup> essai	15mm	10mm	00mm
2 <sup>eme</sup> essai	15mm	10mm	00mm
3 <sup>eme</sup> essai	15mm	10mm	00mm



**Figure 18** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *escherichia coli* »



**Figure 19** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *Salmonella* »



**Figure 20** : diamètre d'inhibition de l'extrait des cladodes et la bactérie « *staphylococcus aureus* »

### 3. Action du jus des raquettes sur la conservation du yaourt :

#### Acidité Dornic :

**Tableau 13** : la moyenne des tests d'acidité Dornic des yaourts additionnés de jus de raquettes au cours de post fermentation à 4°C

les jours	1 <sup>er</sup> j	2 <sup>EME</sup> j	3 <sup>EME</sup> j	4 <sup>EME</sup> j	5 <sup>EME</sup> j	6 <sup>EME</sup> j
Témoin	83	84,33	85	88	88,67	90,33
C2	74,33	76	78	79	79,33	80
C1	70	73	76	77,33	78,33	79

**C2** : concentration d'extrait à 1%.

**C1** : concentration d'extrait à 2%.

**NOTE** : Pour les essais des tests d'acidité Dornic ce sont dans annexe n°02.

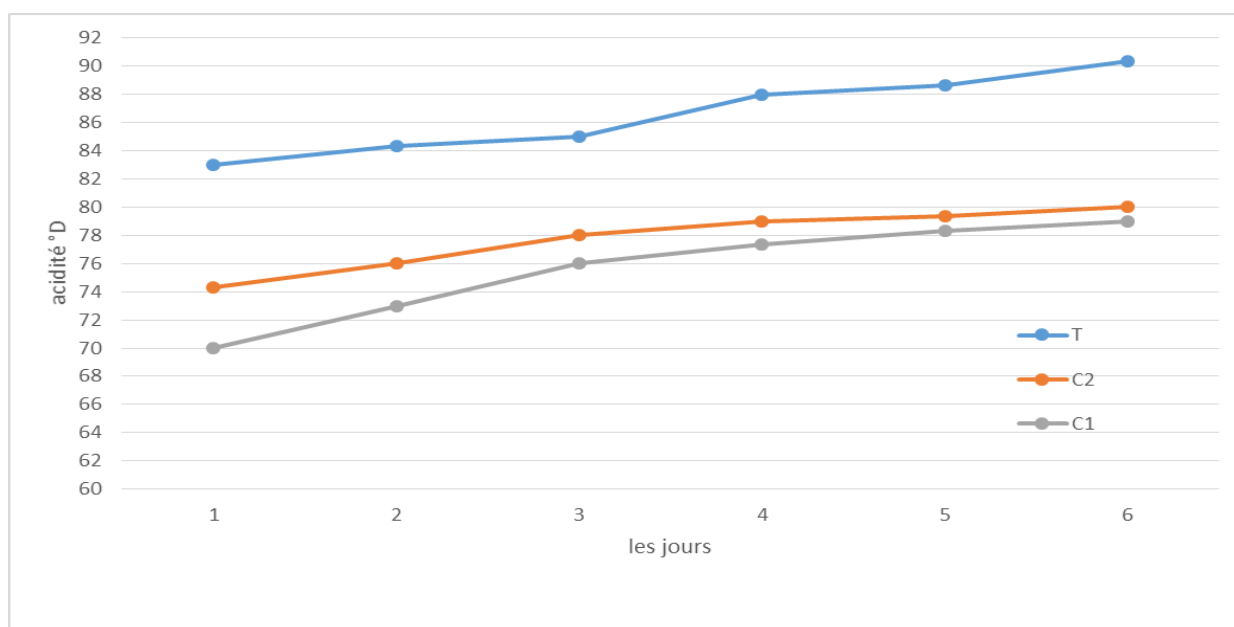
## 2. Discussion

Les nombreuses études menées sur les plantes riches en composés phénoliques dont les raquettes de figuier barbarie indiquent souvent qu'elles présentent une activité antimicrobienne certaine contre plusieurs germes pathogène (Jeandet et al. 2002 ; Collin et al. 2011).

Nos résultats montrent à un effet antimicrobienne pour les souches bactériennes *Salmonella* et *escherichia coli* avec un diamètre d'inhibition 10mm pour la *salmonella* et 15mm pour *escherichia coli*, mais nous observons aucune zone d'inhibition pour la souche bactérienne *staphylococcus aureus*, Il est susceptible d'avoir la caractéristique d'endurance de sa double couche extérieure de la paroi cellulaire, qui se présente sous la forme de diplocoques (des cocci associés par deux).

Pour améliorer notre résultat contre les bactéries on ajoute l'extrait des cladodes dans le yaourt avec différentes concentrations (1% et 2%).

Nos résultats d'évolution de l'acidité Dornic du yaourt additionné d'extrait des cladodes au cours la période post-fermentation à 4°C dans la figure ci-dessous :



**Figure 21** : évolution de l'acidité °D du yaourt additionné d'extrait des raquettes de figuier barbarie dans la période post-fermentation à 4°C.

La différence de concentration de 1% et 2% donne l'évolution pour l'acidité, l'augmentation de l'acidité est faible par rapport à notre témoin, l'extrait fait l'objet d'un ralentissement de l'acidité.

## Conclusion

La terre d'Algérie s'étend sur une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup> aride et semis aride et qui sont en expansion à cause du réchauffement climatique. Ces zones contribuent à la subsistance de milliers de ruraux à faibles revenus et protègent le pays contre la désertification. Le figuier de Barbarie est un cactus qui a l'aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse. Une valorisation de cette plante et plus précisément la formulation d'un nouveau jus extrait à partir de ses cladodes contribuera au développement des zones arides par la création d'entreprises et d'emplois.

Les deux espèces du figuier de Barbarie *Opuntia ficus-indica* (sans épines) et *Opuntia megacantha* (avec des épines) ont fait l'objet d'étude de cette thèse. Les cladodes ont été récoltés dans la région daïra Sidi Lakhdar wilaya de Mostaganem dans la saison printemps. Les dimensions des cladodes ont été choisies selon des mesures bien définies afin d'avoir un bon intérêt nutritionnel : la longueur entre 15 et 25 cm et la largeur entre 9 et 13 cm.

Le rendement en jus issus à partir d'un broyage et centrifugation varie selon les espèces et les saisons (63,39% – 20.83%). La pluie est la seule source d'eau pour ces plantes, ainsi, elle influence leurs capacités à stocker de l'eau. Les cladodes récoltés au mois de mars ont donné le plus haut rendement, ensuite viennent celles de l'hiver au mois de janvier et enfin les cladodes de l'été au mois d'août.

L'espèce épineuse est plus riche en eau grâce à ses épines qui réduisent la surface d'exposition au soleil.

L'extrait des cladodes du figuier barbarie riche en composés phénolique n'ont pas exercé d'effet bactériostatique ou bactéricide sur l'espèce bactérienne (***Salmonella*** et ***Escherichia coli***).

Les germes étudiés (*salmonella*, *escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*) ont été inhibé avec l'extrait de cladode de figuier barbarie ce dernier résiste au l'effet bactéricide.

La consommation de yaourt dans notre pays marque son grand record cette dernière décennie, les principes de conservation sont divers mais à savoir à quel prix, les conservateurs synthétiques et autre additifs font polémique.

Le jus des raquettes est à notre disposition pour nous offrir un produit essentiel dans la régulation et la maintenance de l'acidité permettant une consommation bio et saine.

D'après notre étude, l'extrait des cladodes qui est incorporé à deux dose 1% et 2% montre un effet bactériostatique sur les bactéries lactiques spécifique du yaourt (*streptococcus thermophilus* et *lactobacillus bulgaricus*).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABID M., JABBAR S., WU T., MUHAMMAD HASHIM M., HU B., LEI S., ZENG X. Sonication enhances polyphenolic compound, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, 21, 93–97
- ABIDI S., BEN SALEM H., VASTA V., PRIOLO, A. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Rumin. Res.*, 2009, 87, 9–16.
- ADAMS M.R., MOSS M.O. *Food Microbiology*. The Royal Society Of Chemistry, Cambridge, 1995, p. 156-251.
- AKHTAR S., ALI KHAN F., ALI J., JAVID B. Nutritional Composition, Sensory Evaluation and Quality Assessment of Different Brands of Commercial Tetra Pack Apple Juices Available in Local Market of Peshawar Pakistan. *Global Journal of Biotech. and Biochem.*, 2013, 8, 69-73.
- ALVAREZ J., PASTORIZA S., ALONSO-OLALLA R., DELGADO-ANDRADE C., RUFÍÁN-HENARES J.A. Nutritional and physicochemical characteristic of commercial Spanish citrus juices. *Food Chemistry*, 2014, 164, 396-405.
- ANDERSON E. F. *The Cactus Family*, Timber Press, Portland, 2001, p. 15–72.
- ARBA M. Le cactus opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. *Sym. Inter. Agriculture durable en région Méditerranéenne (ADUMED)*, 2009, p. 215-222.
- ARNI-MANCHADO P., CHEYNIER V. Les polyphénols en agroalimentaire. *Coll. Sciences et technique agroalimentaires*, 2006, p. 1-109.
- ÁVILA-CURIEL A., SHAMAH-LEVY T., CHAVEZ-VILLASANA A., GALINDOGOMEZ C. Encuesta urbana de alimentación y nutrición en la zona metropolitana de la ciudad de México 2002. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán e Instituto de Salud Pública, México, 2003.
- Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C., and Turck, M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk
- BAKER R. A., CAMERON R. G. Clouds of citrus juices and juice drinks. *FoodTechnology*, 1999, 53–69.
- BALASUNDRAM N., SUNDRAM K., SAMMAN S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 2006, 99, 191–203.
- BARON A. Quelques emplois de polyosidases dans l'industrie des fruits et légumes. *Liquéfaction et Macération*. Technique, 1990.
- BELYAGOUBI N. Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien. *Thèse de doctorat*, 2001, p. 34-35.
- BENSADÓN S., HERVERT-HERNÁNDEZ D., SÁYAGO-AYERDI S.G., GOÑI I. By- Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods Hum Nutr.*, 2010, 65,210–216.
- BEN-THLIJA, A. Nutritional value of several *Opuntia* species. Master Thesis, Oregon State University, Corvallis/USA, 1987; cit. in: Nefzaoui, A., Ben Salem, H., Forage, fodder, and animal nutrition, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 2002, p. 199–210.

Bouamara KENZA & Haddad Souhila ; Evaluation des activités biologiques de quelques huiles végétales ; Mémoire de Fin de Cycle En vue de l'obtention du diplôme MASTER ; 2016 .

BOUTAKIOUT A., ELOTHMANI D., MAHROUZ M., HANINE H. Effect of seasons on proximate composition of cladode juice of two species of *cactaceae*. International Journal of Technology Enhancements And Emerging Engineering Research, 2015, 1 (03), 1-8.

Courvalin, P., Goldstein, F., Philippon, A., et Sirot, J. 1985. L'antibiogramme. MPC. Bruxelles.

DAGLIA, M. Polyphenols as antimicrobial agents. Current Opinion in Biotechnology, 2012 23(2), 174-181.

DAGUET, G.L., et CHABBERT, Y.A. 1972. Techniques en bactériologie. 3. Sérologie bactérienne, antibiotiques en bactériologie

DRILLEAU J. F. Cidre, jus de pomme et concentrés." In R. Scriban : Les industries agricoles et alimentaires : progrès des sciences et des techniques.(Tec et Doc Lavoisier, Paris), 1988, p. 137-153.

EL-MOSTAFA K., EL KHARRASSI Y., BADREDDINE A., ANDREOLETTI P., VAMECQ J., EL KEBBAJ M.S., LATRUFFE N., LIZARD G., NASSER B., CHERKAOUI-MALKI M. Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. Molecules, 2014, 19, 14879-14901.

Mueller, J.H., and Hinton, J. 1941. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 48: 330-333.

method. Am. J. Clin Pathol., 45: 493-496.

médicale. Ed. Flammarion, Paris.

MALAININE M. E., DUFRESNE A., DUPEYRE D., MAHROUZ M., VUONG R., VIGNON M. R. Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. Carbohydr. Polym. 2003, 51, 77–83.

MULAS M., MULAS G. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium - Term Priority Environmental Action Programme, 2004.

MUN LOKE W., PROUDFOOT J.M., STEWART S., MCKINLEY A.J., NEEDS P.W., KROON P.A., HODGSON J.M., CROFT K.D. Metabolic transformation has a profound effect on anti-inflammatory activity of flavonoids such as quercetin: Lack of association between antioxidant and lipoxygenase inhibitory activity. Biochemical Pharmacology, 2008, 75, 1045-1053.

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

SARTORI-THIEL A. Activités anti microbiennes d'extraits végétaux enrichis en polyphénols. Doctorat Science et Agronomie, 2003, p. 177.

STINTZING F.C., SCHIEBER A., CARLE R. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. European Food Research and Technology, 2001, 212, 396-407.

## Annexe 01 : Gélose de MUELLER-HINTON

### FORMULE - TYPE

(Pouvant être ajustée de façon à obtenir des performances optimales) Pour 1 litre de milieu :

- Hydrolysât acide de caséine .....17,5 g
- Infusion de viande.....2,0 g
- Amidon soluble .....1,5 g
- Agar agar bactériologique.....17,0 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,3 ± 0,2.

### CONTRÔLE QUALITE

- Milieu déshydraté : poudre blanchâtre, fluide et homogène.
- Milieu préparé : gélose de couleur ambrée.
- Réponse culturale typique après 24 heures d'incubation à 37°C :

Microorganismes		Croissance
<i>Escherichia coli</i>	ATCC® 25922	bonne
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923	bonne
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	bonne
<i>Enterococcus faecalis</i>	ATCC 29212	bonne

### DOMAINE D'UTILISATION :

La gélose de Mueller Hinton est reconnue par tous les experts comme étant le milieu de référence pour l'étude de la sensibilité des germes aux antibiotiques et aux sulfamides. Il constitue un excellent milieu de base pour la fabrication de géloses au sang.

### PRINCIPES

- Le choix des ingrédients est déterminé de façon à obtenir une très faible quantité de thymine et de thymidine (substances connues pour inhiber l'activité antibactérienne du triméthoprime), ainsi qu'une très faible quantité d'acide para-amino-benzoïque (PABA) et de ses analogues de structure qui sont des antagonistes de l'activité des sulfonamides.
- En raison de l'influence du calcium et du magnésium sur la sensibilité des souches de *Pseudomonas* aux aminoglycosides, il a été recommandé par **Reller et al.** Que les concentrations ioniques soient comprises dans les limites suivantes :

- calcium : 50-100 mg/litre,
- magnésium : 20-35 mg/litre.

## Annexe 02 : titrage d'acidité

Tableau : les tests d'acidité Dornic de yaourt nature additionné d'extrait de jus des raquettes de figuier barbarie durent la période poste fermentation

LES JOURS	1 <sup>er</sup>			2 <sup>eme</sup>			3 <sup>eme</sup>			4 <sup>eme</sup>			5 <sup>eme</sup>			6 <sup>eme</sup>		
	échantillon	T	C1=1%	C2=2%	T	C1=1%	C2=2%	T	C1=1%	C=2%	T	C1=1%	C=2%	T	C=1%	C=2%	T	C1=1%
Essai 1	83	70	74	84	74	75	86	76	78	87	78	78	87	78	80	90	79	80
Essai 2	83	69	75	85	72	76	85	76	78	89	77	80	90	79	79	91	79	80
Essai 3	83	71	74	84	73	77	84	76	78	88	77	79	89	78	79	90	79	80
La moyenne	83	70	74,33	84,33	73	76	85	76	78	88	77,33	79	88,67	78,33	79,33	90,33	79	80