

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Ecole Nationale Supérieur Agronomique

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences Agronomiques

Option : Sciences alimentaires

Par

HADJ SADOK Tahar

THEME

**Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica*
et possibilités de valorisation alimentaire**

Soutenu publiquement le 28 janvier 2010 devant le jury composé de:

Mr YAKHLEF H.	Professeur ENSA El Harrach	Président
Mr BELLAL M M	Professeur ENSA El Harrach	Rapporteur
Mm AID F.	Professeur USTHB	Examineur
Mr FERRADJI A.	M.Conférence ENSA El Harrach	Examineur
Mr AISSAT A.	M.Conférence Université Blida	Examineur

Remerciements

Je remercie avant tout Allah pour m'avoir donné santé et courage pour mener à terme ce travail

Mes remerciements vont d'abord à Monsieur Yakhlef H. qui a accepté de présider ce jury et son intérêt pour ce travail

Je tiens à remercier monsieur Bellal Mouloud professeur à l'INA (Alger) pour les conseils et les encouragements qu'il n'a cessé de prodiguer pour que ce travail soit entamé Cette occasion qui a été propice pour la rencontre de Mm Aid Fatiha professeur à l'USTHB m'a permis d'opter pour aller jusqu'au bout du projet. Je tiens à lui faire part de ma grande estime pour ses conseils, sa disponibilité et les conditions de travail qu'elle m'a apporté.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Aissat A. et à Monsieur Ferradji A. qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je ne peux oublier à cette occasion de remercier Mm Kouloughli du Département sciences du sol de l'INA qui m'a facilité la tâche lors de l'analyse des échantillons.

je tiens aussi à exprimer tout mon respect à Monsieur Boutekrabt A. dont la clairvoyance et la vision ont permis d'avancer dans la réalisation de ce travail, par l'initiation d'un projet de recherche sur la plante Opuntia et, de s'inscrire également dans la dynamique des efforts de ce pays confronté à la sécheresse et à la désertification et à la dépendance alimentaire.

Je ne peux oublier tous ceux qui ont contribué ou facilité ce travail : notamment les étudiants de la faculté agro-vétérinaire et du personnel du laboratoire Amélioration et Chimie du Département Agronomie (de l'Université de Blida).

DEDICACES

Avant tout je dédie ce travail à mon défunt père, à ma mère à qui je souhaite une santé meilleure et longue vie.

Je ne peux oublier de remercier ma femme qui a tout fait pour m'offrir les conditions de travail et qui a eu à supporter parfois ma mauvaise humeur lors de la préparation de ce travail.

Je ne peux oublier les étudiants qui ont contribué à ce travail entre autres, Rebiha K., Labdani, Kaibouche, Dahmane H..... à qui je souhaite toute la réussite dans la vie.

Je dédie aussi ce travail à mes petits enfants Lilia et Aymen qui ont égaillé toute la famille depuis leur venue au monde et les merveilleux moments de joie que j'ai éprouvée en leur compagnie.

Je ne peux oublier tout l'apport et le soutien moral de Toufik M., qu'Allah le garde et le guide vers la réussite.

C'est aussi avec une grande joie que je dédie ce travail à mes chers enfants Lamia, Hicham, Nassima pour leur comportement exemplaire et à toute ma famille et à ma belle famille Ezziane, Hatab Bey.

Que l'ensemble du personnel et enseignants de la faculté agro-vétérinaire de l'Université de Blida qui ont montré toute la disponibilité et le respect à mon égard, soit assuré de ma reconnaissance et de mon estime.

SOMMAIRE

Resumé

Avant propos

Introduction

PARTIE I DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre 1 : Origine, biologie et physiologie de *l'Opuntia ficus indica*

Chapitre II : Bilan des travaux et cas de l'Algérie

Chapitre III : Composition et valeur nutritionnelle de *l'Opuntia ficus indica*

Chapitre IV : Utilisation alimentaire, propriétés médicinales et valorisation

PARTIE II EXPERIMENTATION ET RESULTATS

Chapitre 1 : Caractéristiques des cladodes et valeur alimentaire

Chapitre II : Jus et utilisations comme additifs dans le yaourt

Chapitre III : Utilisations comme additif pour la formulation de boissons cocktails

3 - Utilisations des jus de cladodes pour la formulation de boissons cocktails

4 - Caractéristiques et composition des jus de fruit de figue et des grains

Conclusion générale

ABREVIATIONS

BN Bouillon nutritif

BPH : Hyperplasie bénigne de la prostate.

CACTUSNET : INTERNATIONAL TECHNICAL COOPERATION NET WORK ON CACTUS (avec FAO-ICARDA)

CAM: Crassulacean Acid Metabolism

CB: Cellulose brute

CMC carboxymethylcellulose

CPF : chlorpyrifos

C₃ : plante à métabolisme photosynthétique (cycle de Calvin à partir de triose P)

COPENA F1 : Collegio de postgraduados d'Escuela Nacional de Agricultura

ENA : Extractif non azoté

FAC : Fat absorption capacity (capacité d'adsorption de lipides)

FAO: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION

FOS : fructooligosaccharide

h: heure ;

HDL : high density lipoprotein (lipoprotéine faible densité)

IAA : Industrie agro alimentaires

ICARDA :: INTERNATIONAL CENTER FOR AGRICULTURAL RESEARCH IN THE DRY AREAS

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

kPa :kilopascal

L : litre , ml : millilitre

LDL (VLDL) : low density lipoprotein (lipoprotéine de basse densité)

MAT : Matière Azotée Totale

Mat. : Matière ;

MF : Matière fraîche

MG : Matière grasse

MRS :milieu de Man Rogosa et Sharp

MS : Matière sèche

MM : Matière minérale

mn : minute

Nd : non déterminé

NTU : unité de mesure de la turbidité

PF : poids frais

PFE ; Projet de fin d'études

PS : poids sec

TSE tryptone sel eau

ST : Sucres totaux

Tris/HCl (Tampon)2-amino-2-(hydroxyméthyl) propane-1 ,3-diol /acide chlorhydrique

UFC: Unité formant colonie

USTHB : Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene

Ve : volume d'élution

WBC : Water binding capacity (capacité de rétention d'eau)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Composition chimique de la pulpe de fruit de l'*Opuntia ficus indica*

Tableau 2: Composition minérale de la pulpe

Tableau 3a et 3b: Composition minérale des cladodes

Tableau 4 : Composition en acides aminés essentiels des cladodes et grains d'orge

Tableau 5: Composition de l'extractif non azoté des cladodes d'opuntia

Tableau 6: Composition chimique des napolitos comparée à celle de la laitue et de l'épinard

Tableau 7a : Répartition des cladodes d'*Opuntia ficus indica* variétés inermes et épineuses selon le stade de croissance (prélevés en 2002)

Tableau 7b: Répartition des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme selon le stade de croissance et dimensions - poids – (prélevés en 2006)

Tableau 8: Composition chimique des raquettes d'*Opuntia ficus indica* var. inerme en fonction du stade de croissance

Tableau 9: Composition chimique des raquettes d'*Opuntia ficus indica* var. épineuse en fonction du stade de croissance

Tableau 9a : Teneur en vitamine C en mg/100g de MF

Tableau 10 : Composés majeurs des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme provenant de la région de Blida

Tableau 11: Teneurs en chlorophylles totales et caroténoïdes des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme à différents stades de croissance (région de Blida)

Tableau 12: Evolution de la composition en macroéléments des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, var. inerme à différents stades de croissance provenant de la région de Blida

Tableau 13: Evolution de la composition en microéléments des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme provenant de la région de Blida à différents stades de croissance

Tableau 14: Estimation de la qualité nutritionnelle des jeunes cladodes au stade 3.

Tableau 15: Caractéristiques des lots de cladodes destinés à l'extraction du jus.

Tableau 16: Composition des jus de cladodes issus de pression non concentré

Tableau 17: Croissance des ferments dans un milieu lait seul et lait+ jus de cladodes

Tableau 18: Composition des différentes formules de cocktails

Tableau 19: Composition du jus de cladodes et d'orange utilisé dans le cocktail

Tableau 20: composition minérale du jus de cladodes

Tableau 21: Résultats des analyses sensoriels

Tableau 22: Composition de la pulpe selon le stade de maturité

Tableau 23: Composition du jus extrait selon le stade de maturité

Tableau 24: Composition des grains

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cycle journalier de la photosynthèse chez les plantes succulentes de type CAM (selon Michel 1998)

Figure 2a: Présentation des figues a Casablanca (Maroc).Source CACTUSNET (11/2008)

Figure 2b: Vente de figue (tunas) a México.2003. Source : CACTUSNET 11/2008

Figure 3: Conditionnement des fruits au Chili. Source : Saenz (2006)

Figure 4: Récolte de cladodes (nopalitos) dans les plantations destinées à une exploitation alimentaire. Source : Saenz Carmen, 2006.

Figure 5a: Présentation des “nopalitos” -(Source : Saenz C., 2006)

Figure 5b Conserves et préparations à partir des cladodes (Source: Saenz, 2006)

Figure 6: Photo de “nopalitos” frais et utilisations (Source : Saenz C., 2006)

Figure 7: Une vue des cladodes utilisées pour l’expérimentation (région de Blida)

Figure 8: Evolution de la composition en polyphénols, tanins, caroténoïdes et vitamines C des cladodes.

Figure 9: Evolution de la cinétique de croissance de *St.thermophilus*

Figure 10: Evolution de la cinétique de croissance de *Lactococcus lactis* subsp *cremoris*

Figure 11: Evolution de la cinétique de croissance de *Lactobacillus bulgaricus*

Figure 12: Evolution de la cinétique de croissance de *Bifidobacterium infantis*

Figure 13: Evolution de la fermentation du yaourt additionné du jus de cladodes

Figure 14: Evolution de la fermentation additionné de jus de cladodes à pH ajusté

Figure 15: Diagramme d’élution des protéines de grain *d’Opuntia ficus indica* par HPLC,

Figure 16: Diagramme d’élution des globulines de grain de coton sur gel ACA 34, tampon borate

Figure 17: Electrophorèse sur gel de polyacrylamide des fractions de globulines

RESUME

Les jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* de poids proches de 100g équivalent des nopalitos mexicains, présentent de part leur composition les qualités d'un légume avec un apport en fibres, vitamines C, polyphénols et minéraux dont Ca, Mg et K. Leur intégration aux rations alimentaires pour une part de 50% des légumes non compris la pomme de terre est intéressante. La composition des cladodes qui a montré des différences importantes selon les pays, les régions, les conditions de culture et l'âge ou croissance des cladodes est un paramètre à prendre en compte.

Les jus extraits à partir de ces cladodes ont montré aussi l'intérêt de leur exploitation pour augmenter la consommation de *l'Opuntia ficus indica*. La composition de ces jus montre une présence non négligeable de minéraux, fibres, vitamines C, polyphénols avec respectivement : 12.77 p.100 g MS, 0.28 g pour 100ml de jus, 12.32 mg/100ml de jus, 23.01 à 38.72mg/100ml de Jus,

L'utilisation de ce jus pour enrichir le yaourt en fibres, polyphénols et minéraux dans des proportions de 5 à 10 % V/V a montré qu'il était accepté par le consommateur et qu'il n'affectait pas le déroulement de la fermentation et notamment ces caractéristiques originelles mais agissait en augmentant la cinétique d'acidification.

Les essais de fabrication de cocktails de jus orange-cladodes ont montré d'une part une bonne acceptabilité par le consommateur du cocktail avec 7% de jus de cladodes et d'autre part, sa stabilité microbiologique et physico-chimique basée sur l'évolution du Ph à la température d'incubation.

Mots clés : composition jus d'opuntia, cocktail, bactéries lactiques, fermentation, jeunes cladodes

SUMMARY:

The young cladodes of *Opuntia ficus indica* with a weight close of 100g are equivalent to the mexican napolitos and appear, through their composition to have the qualities of a vegetable because of their contribution in fiber, vitamin C, polyphenols, minerals as Ca, Mg, and K. their blending to the feed rations at 50% of the vegetables (excluded the potatoe) is interesting. The cladodes composition presented important differences between countries, regions, cultural conditions, age or cladodes growth and showed that it is a parameter to be considered.

The juice extracted from cladodes showed as well their potential interest to be used in order to increase the opuntia ficus indica consumption.

This juice composition showed a non negligible presence of minerals, crudefiber, vitamin C and polyphenols with respectively: 12.77%MS, 0.28g/100ml of juice, 11.37mg/100ml of juice, 23.01 à 38.72mg/100ml of juice.

The use of this juice to enrich the yoghurt in fiber, polyphenols and minerals at rates of: 5% to 10% V/V showed it was accepted by the consumer and he didn't affect the fermentation developpment, specially its original characteristics but acted toward the increase of the acidification kinetics.

The manufacturing tests of juice cocktails as orange-cladodes showed in one hand a good cocktail acceptability of the consumer with 7% cladodes juice and in other hand,its physico-chemical and microbiological stability based on the ph evolution at the incubation temperature.

Keywords: juice of opuntia pads, cocktails juice pads-orange; lactics acids bacteria, incubation yoghurt, organoleptic aspect

ملخص

منصات « cladodes » الفتية ذات الوزن المقارب 100 غ مكافئ لنوباليتوس « nopalitos » المكسيكية تظهر تركيبة نوعية للخضر من الألياف فيتامين س بولي فينول اللام لاح من بينها الكالسيوم المغني زوم و البوتاس إدماجها في وجبات غذائية بنسبة 50% للخضروات (عدى البطاطس) تعطى تكون له انعكاسات جد مهمة تركيبات منصات التي اظهرت اختلافات متعددة حسب البلد, المنطقة ,ظروف الزراعة ,عمر الكلاودات و نموها تعتبر هذه عوامل يجب أخذها بعين الاعتبار

العصير المستخرج من الكلاودات اظهر كذلك أهمية آ استغلاله وذلك لزيادة استهلاك التين الهندي *Opuntia ficus indica* التركيب لهذا العصير تبين محتوى لا باس به من الأملاح الألياف فيتامين س بوليفتول بالنسب التالية 12,77 غ/100ماد الجفت 028 غ/100مل المستخرج 12.32 مغ/100مل المستخرج 23.01 الى 38.72 مغ/100مل المستخرج

استعمال العصير الغنى فى الياغوت بالألياف بوليفينول و الأملاح فى النسب 5 الى 10 % اظهر انه منتج مقبول لدى المستهلك و اثر على التخمر وحفظ على الخصائص الأصلية للمنتوج ألا انه يزيد من حركة التخمر

محاولات تصنيع خليط من عصير البرتقال – منصات cladodes بينت من جهة قبولها عند المستهلك بنسبة 7% من عصير و من ناحية أخرى الإستقرار الميكروبيولوجي و الجانب الفيزيائي الكميائي إعتمادا على تطور PH وحرارة الحضانة

المصطلحات: عصير من منصات أما الصبار (opuntia) , تكوين عصير الكوكتيل ، "lactics" الأحماض البكتيريا وحضانة الزبادي ، منصات « cladodes » الفتية ,الجوانب الحسية

INTRODUCTION

Introduction

L'Algérie dont la majeure partie du territoire est située en zone aride et semi-aride est confrontée au problème des changements climatiques. Leur impact a accentué la dégradation et le déséquilibre d'un écosystème fragilisé par la surexploitation et l'érosion des terres.

Les actions initiées en Algérie pour limiter ces effets, ont commencé par le « barrage vert » suivies par des programmes de restauration et de développement en milieu steppique et aride et de lutte contre l'érosion. Ces programmes coordonnés par le HCDS associent différentes essences connues pour leur résistance aux conditions arides (*Opuntia*, pistachier de l'atlas, arganier, pins du tassili, ...) Parmi ces espèces, l'*Opuntia ficus indica* plus représentée en Algérie est pourvue d'un bon potentiel de valorisation de ces conditions.

Cette espèce appelée communément « figuier de barbarie », est une plante xérophyte adaptée aux conditions arides et semi-arides grâce à la succulence de ces tiges et son épais épiderme qui lui permettent de limiter les pertes d'eau et d'emmagasiner une importante quantité d'eau.

L'*Opuntia* comme les autres cactus est considéré comme une réserve d'eau vivante. Une réserve qui a permis de maintenir en vie des troupeaux sans apport d'eau pendant plusieurs mois. C'est pour cela que le cactus a mérité le nom de « plante miracle ».

La culture de l'*Opuntia* constitue aussi une alternative : dans la lutte contre la dégradation des terres et l'érosion et un apport fourrager d'appoint et de fruits pour le cheptel et pour la consommation humaine. Sa culture peut parfaitement s'intégrer dans le système d'exploitation traditionnel et dans les systèmes d'élevage modernes.

C'est une plante dont toutes les parties peuvent être consommées. Dans certains pays d'Amérique du sud, les jeunes cladodes sont aussi utilisés pour la fabrication de nombreux produits alimentaires : confitures, (Saenz-Hernandez, C et al 2002), marmelades, harinas (poudres de cladodes) et sont intégrés dans la préparation de nombreux plats tels que : salmueras (« Nopalitos » ou jeunes cladodes blanchies et conservée dans une solution saline), Alors que certains travaux confirment des possibilités d'utilisation comme source de pectine (Kenny, 1997).

Leur composition chimique est comparable à celle des épinards, salades (Nefzaoui et Chermiti, 1991 ; Scalbert et Williamson, 2000). Outre ces qualités nutritionnelles, l'*Opuntia ficus indica* est pourvue de propriétés médicinales intéressantes : anti ulcère (Galati, et al., 2001 Lee et al., 2002)

INTRODUCTION

anticholestérolémiant, antivirales, hypoglycémique et anti diarrhéique (Galati, et al, 2002b ; Cárdenas Medellín et al., 1998) et antitoxique (Zorgui et al., 2009).

En plus des utilisations alimentaires et médicinales, cette plante connaît une diversité d'exploitation, on peut citer son intégration dans la fabrication des shampoings au Mexique (Barbera, 1995), comme adhésif ou mastic, dans la fabrication du papier et la purification de l'eau (Sáenz C., 2004).

Actuellement, un grand intérêt est accordé à l'*opuntia* qui est déjà intégré dans les systèmes d'élevage moderne et dans la production intensive de fruits. Le développement du marché des fruits exotiques en Europe et aux Etats-Unis d'Amérique ouvrent graduellement les perspectives commerciales pour cette plante. En Algérie, la production de fruits ne constitue pas encore une activité économique qui présente un intérêt majeur. Par contre au Maroc et en Tunisie (Kenney, 1997), la culture du figuier de barbarie est mieux intégrée dans le système d'exploitation traditionnel de la région. Cette culture constitue dans certains cas (Maroc) le pilier de l'économie familiale (Kenney, 1997). La céréaliculture a été délaissée au profit du figuier de barbarie dans certaines zones.

En raison de son potentiel d'utilisation, l'intérêt économique du genre *Opuntia* a pris une grande importance dans le monde et la surface plantée a connu une progression (Reynolds et Arias, 2001) justifiée notamment par l'intégration dans le système agricole comme fourrage (Barbera et al., 1999).

Dans de nombreux pays *l'opuntia ficus indica* fait l'objet d'une culture à part entière (in Barbera, 1995) et notamment la variété inerme. Celle-ci a l'avantage d'être facilement manipulé pour une utilisation fourragère et dans d'autres domaines.

De nombreux pays (Amérique du Sud, Europe du Sud, Maroc,...) accompagnent ce développement par les recherches et applications : sur les performances fourragères et fruitières et l'exploitation alimentaire, non alimentaire et médicinale.

En Algérie, un intérêt encore insuffisant est accordé à cette culture surtout à la forme inerme qui reste un potentiel fourrager et maraicher sous exploité. Cependant certaines opérations pilotées par le HCDS dans le cadre de la préservation et de valorisation des régions steppiques et sensibles à la dégradation ont donnés des résultats encourageants.

Ainsi, ce large éventail de possibilités d'exploitation, démontre tout l'intérêt du figuier de barbarie (*opuntia*).

INTRODUCTION

C'est dans la perspective d'une utilisation alimentaire des cladodes cultivés en Algérie, que s'inscrit le présent travail. Il vise la détermination des caractéristiques chimiques des cladodes selon le stade de croissance des variétés épineuses et inermes, afin de déterminer la valeur nutritionnelle présentant le plus d'intérêt. Dans une deuxième étape les travaux porteront sur les possibilités d'exploitation des jus extraits à partir des fruits et des jeunes cladodes et comme additif aux produits laitiers et jus.

PARTIE I / DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I:
Origine, biologie et physiologie de l'*Opuntia ficus indica*

Chapitre 1 : Origine, biologie et physiologie de l'*Opuntia ficus indica*

1.1. Origine et répartition géographique

L'*Opuntia ficus indica* appelé communément figuier de barbarie ou cactus, est une plante succulente originaire des régions arides et semi arides d'Amérique Tropicale (sud des Etats-Unis et Mexique). Elle est connue sous le nom de Nopal dans la vallée de Tuhuacan (Puebla – Mexique) Le figuier de barbarie fut introduit en Espagne eu 15^{eme} siècle avant de se propager dans le bassin méditerranéen à partir du 16^{eme} (Afrique du nord, Sicile, Sardaigne, Australie ...) avant d'atteindre l'Afrique du sud. Il connut aussi une extension grâce au développement des cochenilles sur les cladodes et la production du colorant naturel le carmin. Ce colorant fut pratiquement abandonné à la fin du 19^{eme} siècle au profit des colorants de synthèse.

L'*Opuntia* est actuellement présent dans les différents continents et régions grâce à son adaptation et sa résistance aux rigueurs des climats arides. Ses capacités d'emmagasiner l'eau et de réduction de la transpiration expliquent sa capacité de résistance et son extension dans le monde. Les espèces les plus représentées sont l'*Opuntia ficus indica*, et secondairement, l'*Opuntia dillenii*, et l'*Opuntia vulgaris*.

Sur le continent Amérique, c'est surtout au Mexique qu'il est le plus abandon avec plus de 3 millions d'hectares (Correal, 1998 ; Soberon et *al.*, 2001). Son exploitation à des fins fourragères et fruitières, constitue encore l'une des plus importantes spéculations agricoles des hauts plateaux mexicains (Manjouze et Lehouerou, 1966). Aux Etats-Unis ou la forme inerme est plus répandue, la culture est surtout présente dans les états du sud : Arizona, Texas, Nouveau Mexique. Sa culture est destinée à l'utilisation fourragère. Au Brésil, elle constitue dans la région Nord-Est avec le tourteau de coton, l'aliment de base du cheptel bovin et laitier.

En Europe, la culture a connu un développement surtout dans la partie septentrionale de l'Europe, notamment dans le Sud de l'Espagne, du Portugal, de l'Italie (Sicile, Calabre et Sardaigne) (Manjouze et Lehouerou, 1996). En Sicile, la population tire de substantiels revenus de l'exploitation fruitière et fourragère du « fica d'india » et de l'affouragement en continu du cheptel par l'utilisation des cladodes. Selon Barbera (1995) et Yousfi (2000), l'*Opuntia* occupe près de 100 000 ha en Italie avec plus de 20000 ha en Calabre et 6000 ha en Sardaigne.

En Australie, le cactus inerme a prospéré avec une grande vigueur en raison de la grande similitude des conditions avec le pays d'origine. En Asie, son introduction a commencé entre le 17^{eme} et le 18^{eme} siècle et il est

actuellement présent en Chine, en Inde, aux Philippines et d'autres pays selon Barbera (1995).

En Afrique, il est notamment présent dans le Sud (Afrique du Sud, Madagascar). En 1942, il occupait en Afrique du Sud 800 000 ha dont la majeure partie était de forme épineuse. Son envahissement a contraint les autorités à prendre des mesures pour favoriser la forme inerme dont l'utilisation fourragère est moins contraignante. (Lehouerou, 1966 ; Kadik, 1974). Au Nord de l'Afrique ou l'*Opuntia* a été introduit dès le 16^{ème} siècle, il fait l'objet d'un regain d'intérêt en raison de la dégradation du milieu conjugué aux changements climatiques et au surpâturage. Il constitue depuis plusieurs siècles les haies pour délimiter les terres ou pour constituer des haies autour des jardins. Les fruits étaient destinés à la consommation familiale et parfois au marché local, mais les cladodes (ou raquettes) étaient rarement distribués aux animaux sauf en période difficile. Ces dernières décennies, Les pays du Maghreb plus conscients des effets positifs que peut entraîner cette culture, ont engagées des politiques de développement intégrés associant défense des terres – élevage - production de fruits. Dans le cas de la Tunisie, l'extension du cactus jusqu'aux zones steppiques a largement dépassé les 300 000 ha, surface ne comprenant pas les plantations formant les haies. En Tunisie centrale, la surface plantée est surtout représentée par la forme inerme. La plantation et l'aménagement pastoral lancés dans les zones steppiques, a été réalisé avec la collaboration et l'appui de différents organismes dont la FAO. L'aménagement a été réalisé en délimitant des unités pastorales de 400 à 600 ha de cactus inerme subdivisés en lots de 30 ha délimités par les plantations épineuses. De 300 000 ha en 1996 (Lehouérou, 1996), la surface est passée à 400 000 - 500 000 ha selon Selmi et *al.*, (2002). cité par Sáenz, C. (2006).

Au Maroc, des expériences similaires ont été lancées pour promouvoir le rôle économique et écologique de l'*Opuntia*.

En Algérie ou le figuier de barbarie est une plante familière du paysage, des expériences intéressantes ont été réalisées et cela même durant la période coloniale. Ainsi à partir de 1940, des collections d'*Opuntia* ont été réalisés dans de nombreuses régions dont Bouira, hamma Bouziane,...; les plants constituant les collections proviennent de différentes régions du pays et de pays étranger Mexique, Sicile. Des essais et des collections ont été également réalisés dans les régions steppiques de Ain Oussera. Celles de Tadmit (Djelfa) et M'sila ont été constitués en 1969 avec l'appui de la FAO. Les réalisations de ces collections avaient comme but l'étude de leur comportement dans les milieux d'implantation pour le choix des variétés offrant les meilleures conditions de réussite et d'adaptation notamment à travers la résistance à la gelée. A ce propos, en 2005 le HCDS (haut commissariat au développement de la steppe) a avancé un taux de destruction de 44% des nouvelles plantations par les gelées

sur un total de 25084 ha, Plus tard, l'INRF a engagé un important programme d'expérimentation au lieu dit « El Mesrane » près de Djelfa. Dans cette région les plantations d'*Opuntia* ont été intégrées à un programme de fixation des dunes et de reconstitution des parcours (Bouhraoua, 1989).

En Algérie, même si les raquettes sont utilisées par les caprins et les camélins (qui se servent eux-mêmes) pendant la saison sèche, elles ne constituent qu'un appoint. L'*Opuntia* est donc loin de jouer un rôle économique comme c'est le cas dans certains pays où il constitue un segment d'exploitation moderne.

1.2. Biologie et physiologie de l'*Opuntia*

1.2.1. Systématique et classification

Le genre *Opuntia* est subdivisé en quatre sous-genres en raison de la forme des cladodes : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus*, *Brasiliopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* le plus répandu et le plus exploité, est constitué de cladodes organes aplaties (raquettes). Ce sous genre regroupe d'après Scheinvar (1995) et Mulas et *al.*, (2004) 300 espèces dont 104 espèces et variétés sont originaires du Mexique.

1.2.2. Description de la plante et des organes

C'est une plante xérophyte, succulente caractérisée par un épais épiderme, un revêtement cireux, une absence de feuilles et une tige riche en tissus aquifère permettant d'emmagasiner l'eau de pluie absorbée et de la préserver pendant les périodes de déficit hydrique et de chaleur.

La plante est un arbuste formé de cladodes (ou raquettes) qui sont des tiges aplaties et ovales. Les fruits présents à la périphérie des cladodes terminales sont pulpeux et de couleur orange jaune.

Les cladodes sont ponctuées d'aréoles qui peuvent être considérées comme des rameaux latéraux atrophiés ou s'insèrent des bouquets de longues aiguilles. Elles sont peu nombreuses et facilement détachables chez la forme inerme. Ces aréoles donnent les glochides et épines de longueur, de couleur et forme variable selon les espèces (Evêque 1995, cité par Adli, 2006). L'absence ou la présence d'épines différencie les opuntias en forme inerme ou épineuse.

Les dimensions des cladodes sont variables. Leur longueur peut être de 30 à 50cm (et même plus) et la largeur de 15 à 30 cm (Sudzuki, 1995 et Kenny, 1997 cité par Adli 2006). L'épiderme des cladodes qui contient des stomates en nombre réduit et enfoncés dans ses tissus, a aussi un rôle de protection vis à vis des champignons et insectes. Les tissus parenchymateux et mucilagineux permettent à la plante d'emmagasiner l'eau et de limiter sa perte par

transpiration. Ces tissus peuvent accumuler à eux seuls plus de 82 pour cent de l'eau de la plante.

Le fruit entouré d'une enveloppe souvent répulsive en raison de la présence de glochides, est une baie de forme variable (ovoïde à sphérique). La couleur de la baie et de la pulpe dépend de la variété ou écotype et notamment du stade de maturité. Cette couleur évolue de jaune -orange en début de maturité à rouge- foncé ou pourpre en fin de maturité. La taille et le poids des fruits est également variable est dépend des conditions du milieu, de la variété et de l'écotype. Les poids des fruits sont compris entre 40 et 90g mais atteignent 260g (Rebours, 1968 et Adli, 2006). Il est distingué jusqu'à trois types de fruits selon l'importance du jus, de la pulpe et des grains.

Les graines présentes dans le fruit sont nombreuses. Elles sont libres ou adhérentes à la pulpe et peuvent représenter jusqu'à 15% du poids du fruit (Lopez et Burgos, 1973). C'est la présence des graines et des glochides sur la peau qui réduit leur acceptabilité par les consommateurs occidentaux non habitués.

L'espèce *Opuntia ficus indica* n'est pas la seule à produire les fruits comestibles, il en existe en effet d'autres dont *O.streptacantha* Lemaire, *O.lindheimeri* Engel, et *O. robusta* Wendland qui sont appréciés par le consommateur. En Algérie, l'espèce la plus largement répandue est l'*Opuntia ficus indica*, les autres sont secondaires et peu représentés comme : *Opuntia dilleni*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compressa*, *O. streptacantha*.

Les recherches actuelles, sont notamment orientées vers la sélection des cultivars à haute productivité fourragère. Parmi les cultivars sélectionnés et hybrides résistant au froid et à la sécheresse il est cité COPENA F1 ou CPF1 excellente pour la consommation humaine et CPF2 et CPF3 pour la production de fourrage (Mondragon et Perez, 2001). Au Brésil, les écotypes Palma giganti et Palma redonta donnent une bonne production fourragère; « IPA Clone 20 » obtenu par hybridation a donné des rendements fourragers élevés de 50% par rapport aux autres écotypes. En Afrique du Sud, la sélection et la pollinisation croisée a permis de disposer de cultivars fourrager fortement productif, dont Robusta, Monterey et Chico; ce dernier est le cultivar le plus résistant au froid.

Quand aux variétés fruitières, les plus appréciées et développées sont les cultivars issus de croisement ou d'espèces cultivées ou sauvages connues. On peut citer à titre d'exemple « Roja pelona » rouge pourpre au Mexique, « Gialla » de couleur jaune orange en Italie. Trois cultivars sont répandus et appréciés en Afrique du Sud : Algérien, Malta, et Morado. Alors qu'en Espagne, les cultivars « Verdales » de couleur verte et « Blancos » de couleur blanchâtre sont les plus appréciés (Tous et Ferguson 1996 in Adli ,2006). Au Maroc, trois cultivars ont été distingués dans la région de Tiznit, ils diffèrent par leur période de floraison, leur fruit (Kenney, 1997 et Boujghagh et Chajia

2001). En Algérie, l'étude menée par Adli (2006) a montré que les écotypes épineux des régions steppiques Choucha et Zaafrane qui sont appréciés par la population présentaient une meilleure résistance au froid, tandis que les écotypes Kissa et Doukkara présentent des fruits de poids plus élevés mais sont moins résistants au froid.

1.2.3. Physiologie de l'*Opuntia* et adaptation

Sur le plan physiologie, l'*Opuntia* se présente comme une plante de type CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Elle a la particularité de fixer le CO₂ pendant la nuit et de fermer ses stomates pendant le jour. Une telle stratégie avec l'épaisseur et l'imperméabilité de l'épiderme permet à la plante de réduire de façon importante les pertes d'eau par évapotranspiration pendant la journée. L'eau absorbée se lie au mucilage composé hydrophile des cladodes. Le mucilage en retenant l'eau, permet selon Evêque (1995) aux organes et cladodes de résister aux hautes températures.

D'après Mulas *et al.*, (2004) et Michel, (1998) la photosynthèse se déroule selon les étapes résumées ci après et par la figure 1 :

- carboxylation après décomposition des hydrates de carbone ce qui aboutit à la synthèse d'acide organique (acide Malique) pendant la nuit ce qui explique l'augmentation de l'acidité.
- décarboxylation du malate et fixation du CO₂ libre et concentré, durant le jour au moment où les stomates sont fermés, ce processus se termine par la synthèse des glucides (dont glucanes et amidon). une forte réduction de la photo respiration est observée chez ces plantes.

Toutefois, les jeunes cladodes dont les stomates restaient ouverts le jour ont montré que le cycle de la photosynthèse est le même que celui observé chez les plantes de type C3, plantes herbacées non tropicales.

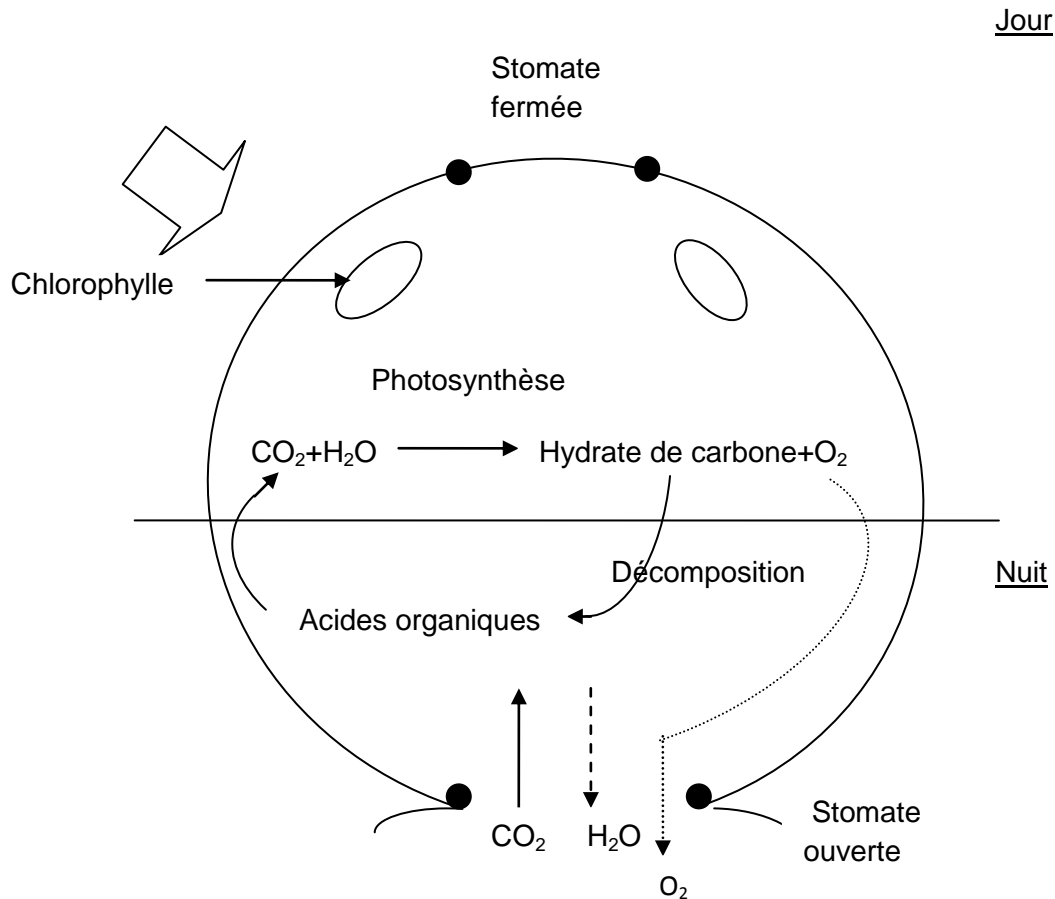


Figure 1 : cycle journalier de la photosynthèse chez les plantes succulentes de type CAM (selon Michel 1998)

L'*Opuntia* est une plante présentant selon les variétés et cultivars des résistances ou tolérances plus ou moins importantes à la sécheresse, à la salinité et au stress du froid et des amplitudes de températures. Selon Mondragon et Perez (2001) c'est dans le but d'améliorer leur résistance aux facteurs climatiques et édaphiques que sont menés les travaux actuels. Ils sont menés parallèlement aux évaluations des critères de productivité, de qualité et de résistance.

1.3. Récolte, conservation, qualité des produits et commercialisation

1.3.1. Récolte

- Cas des fruits

Il existe des variétés précoces et des variétés tardives. On se base en général sur la couleur du fruit avant de procéder à la cueillette, mais également sur la teneur en sucre solubles totaux dans les exploitations modernes et intensives. La récolte débute dès que la teneur en sucre se situe entre 12 à 15%. Les rendements sont très variables et dépendent de l'âge, de la conduite,

de la variété, du climat, du sol et de l'entretien. Ils atteignent jusqu'à 30T en Italie et 12 à 15 tonnes par hectares et pour 1000 pieds au Maroc avec un minimum ou une absence d'entretien (Kenny, 1997).

Actuellement, une partie des fruits rentre dans le circuit commercial et elle est estimée à 56% de la production au Maroc, plus de 30% de la production n'est pas récoltée en raison de l'éloignement des zones de production et de leur accès. Peu de soins sont accordés aux produits qui sont vendus en vrac, dans des bidons et cagettes. Alors que dans les pays latino américains dont une partie du produit est exportée, les soins apportés sont comparables à ceux des produits nobles (comme les pommes, poires) (Kenny, 1997; Saénz *er al.*, 2006). Les photographies ci-après (2a, 2b, 3) illustrent les soins apportés aux fruits débarrassés mécaniquement de leurs épines (glochides) avant la commercialisation.



Figure 2a : Présentation des figes dans les rues de Casablanca 2003 (Maroc).
Source CACTUSNET 11/2008

Figure 2b : Vente de fige (tunas) México.2003. Source CACTUSNET 11/2008

Figure 3 : Conditionnement des fruits au Chili - Source Saenz (2006)

- Les cladodes

La présence d'épines sur les cladodes constitue un obstacle pour leur manipulation et leur utilisation par les animaux, c'est pourquoi la forme inerm

dépourvue d'épines ou rares et facilement détachables, est la plus exploitée. Elle est le résultat de l'existence de gènes récessifs (Mondragon et Perez, 2006 cité par Adli, 2006). Les recherches tendent dans leur ensemble à favoriser les formes inermes et leur résistance à la sécheresse, aux rigueurs du froid et aux fortes amplitudes de températures.

Les cladodes destinées à la consommation humaine, sont récoltées après 20-30 jours de leur apparition et dès qu'elles atteignent le poids de 80 à 120g ce qui peut correspondre dans les conditions du Mexique à une longueur de 15 à 20cm. Ces jeunes cladodes appelés « nopalitos » dans le pays d'origine, sont récoltées avec précaution 2 à 3 heures après la levée du soleil en raison de l'augmentation de l'acidité durant la nuit. Quand elles sont fraîches elles se présentent avec une couleur verte brillante. Le rendement en cladodes reste relativement élevé avec 10 à 50 Tonnes /ha/an dans les zones semi arides avec moins de 300 mm de pluie par an. Il peut atteindre 60 à 200T /ha dans les zones plus humides recevant plus de 400 mm de pluie. Un exemple de conduite moderne de cette culture est illustré par la figure 4 ci après :



Figure 4 : récolte de cladodes (nopalitos), dans les plantations à destinées à une exploitation maraichère. Source : *Inc., Felda, FL Saenz C*, 2006.

1.3.2. Conservation et qualité

Les techniques traditionnelles de conservation des fruits, consistent à laisser le fruit sur la plante ou il peut rester en bon état pendant plusieurs mois (Kadik, 1974).

Les fruits coupés avec une partie de cladode se conservent plus longtemps que le fruit seul (Barbera, 1995). Les fruits récoltés sont en général conservés à une température de 5 à 8°C et 90 – 95% d'humidité pendant 3 à 4 semaines. Bien qu'une température proche de 0°C, permette une plus longue conservation, elle est peu utilisée car les fruits perdent leur gout et leur arôme. Rodriguez-Felix et Villegas-Ochoa (1997) ont observé l'apparition de maladies physiologiques après 15 jours de stockage et une perte de poids et de qualité à une température de 5°C. Rodriguez- Felix (2002) rapporte qu'à la

température de 9 – 10°C, et sous atmosphère modifiée enrichie en CO₂, la conservation des fruits est meilleure. En effet, la couleur des fruits est mieux préservée et le brunissement des parties coupées est atténuée (Cantwell, 1991), D'autre part, les maladies physiologiques dues au froid sont moins fréquentes. La préservation de la couleur et le ralentissement du brunissement sont également observés après un traitement avec le bisulfite de sodium, l'acide citrique ou l'acide ascorbique. Un blanchiment préalable au traitement par les bisulfites et acides citriques, réduit la charge microbienne notamment sous atmosphère modifiée (Guevara, et *al.*, 2003) La congélation des fruits est parfois utilisée dans le but d'une utilisation ultérieure (préparation de confitures, sirop,

Alors que dans le cas des cladodes, l'utilisation de la température 5°C pendant 30 jours sous atmosphère modifiée (à pression partielle supérieure respectivement à 8,6 kPa pour l'oxygène (O₂) et à 6,9 kPa pour le gaz carbonique (CO₂), réduit sensiblement la perte de poids et de qualité (Guevara et *al.*, 2003).

Il est primordial d'éviter la déshydratation des cladodes car elle est accompagnée par un changement de couleur et donc leur dépréciation (Kantwell, 1991).

Le séchage est la technique de conservation la plus ancienne. Elle est appliquée pour la préparation de jus en poudre, pulpes séchés et pour la production de la poudre de cladodes qui suscite de plus en plus l'intérêt des consommateurs.

Chapitre II :
Bilan des travaux et cas de l'Algérie

Chapitre II : Bilan des travaux et cas de l'Algérie

Un grand intérêt est accordé ces dernières décennies à l'extension de la culture de l'*Opuntia* à travers le monde. Cet intérêt est motivé par le rôle écologique pour lutter contre la désertification et la dégradation des sols et pour créer les conditions d'un développement sylvo-pastoral.

De nombreux travaux ont été consacrés à son utilisation fourragère, alimentaire et pour son rôle en tant que plante médicinale, additif dans les produits cosmétiques et pharmaceutiques.

2.1. Dans le monde

De nombreux pays accordent un intérêt au développement du cactus et plus précisément à l'*Opuntia* (ou figuier de barbarie). Sur le plan de l'information, la mise en place d'un réseau CACTUSNET facilement accessible permet les échanges d'expériences et l'accès aux données entre experts de différents pays.

Parmi les buts assignés aux travaux, la recherche de cultivars adaptés et valorisant au mieux les conditions du milieu par :

- leur résistance à la sécheresse,
- la résistance à la salinité,
- la résistance au stress du froid et des amplitudes de température,
- la résistance aux parasites et maladies.

A ces critères, s'ajoutent les programmes de stabilisation et de reproduction des formes inermes plus faciles à valoriser comme fourrage et pour d'autres utilisations. La productivité de la plante liée à la capacité de reproduire rapidement de nouvelles cladodes après la taille, est également recherchée pour une exploitation fourragère et son intégration dans la sphère économique.

La teneur en azote dont la variation est significative avec l'âge de la cladode, dépend également des espèces et variétés mais peut augmenter selon la nature du sol et l'apport de fertilisant. Selon Felker (2001), la sélection générique reste tout de même un paramètre à prendre en compte dans la perspective de l'amélioration.

Parmi les autres objectifs, figurent la recherche et le développement des espèces pour leurs fruits et leur valeur alimentaire et technologique (avec un nombre de pépins réduits) pour encourager sa consommation par les populations occidentales non habituées. De nombreux cultivars ont été développés, ils diffèrent selon la couleur à maturité et selon la précocité. Au Mexique il y a 'Roja Pelona' de couleur rouge pourpre, en Italie 'Gialla' de couleur jaune-

orange à maturité, en Espagne les plus connus sont 'Verdales' de couleur verdâtre et 'Blancos' de couleur blanche (Tous et Ferguson, 1996).

En Afrique du Nord, au Maroc dans la région de Tiznit, trois cultivars se distinguant par la période de floraison, la forme, la qualité et la période de maturité ont été répertoriés (Kenney, 1997) I.e. cultivar Aissa est précoce et inerme, Moussa est inerme et tardif, alors que Achfri est un cultivar épineux pouvant être utilisés comme haie pour les deux autres (Boujghagh et Chajia In Adli 2006). Le cultivar Delahia répandu dans le Rif marocain est parmi les plus apprécié pour la qualité de ses fruits.

2.2. En Algérie

Durant les trois dernières décennies, plusieurs études ont été réalisées sur les écosystèmes steppiques et sahariens en vue de la fixation et la régénération du couvert végétal. Des travaux portant sur la caractérisation et la valorisation de cette plante ont été également initiés, mais restent souvent inexploités et dispersés.

2.2.1. Etudes réalisées par le Laboratoire d'Ecologie- Université de Bab Ezzouar (USTHB)

Plusieurs mémoires d'Ingénieur et de Magister ont abordés la nature des plantations à même de régénérer le couvert végétal et pour un rôle de fixation des dunes. A ce titre Omari (1995) a réalisé une étude sur l'impact des techniques de fixation biologique et de la restauration des sols dans la région steppique de Djelfa. Parmi les espèces utilisées figure l'*Opuntia ficus indica*.

Cette espèce a montré un bon comportement et une bonne adaptation aux conditions du milieu et a permis une augmentation de la matière organique des sols et de la richesse floristique.

2.2.2. Etudes réalisés par le Département des sciences agronomiques – Université de Blida

Les travaux réalisés qui ont fait l'objet de plusieurs projets de fin d'études et de Magisters se sont intéressés à la composition chimique des cladodes et fruits des variétés épineuses et inermes et les possibilités de valorisation alimentaire.

L'étude de l'*Opuntia* dans le milieu steppique a révélé l'existence d'une grande variabilité au sein des deux formes inermes et épineuses. Il a été distingué des écotypes locaux d'*Opuntia ficus indica* sur la base des caractéristiques du fruit, cladodes, épines et graines (Adli, 2006).

Les travaux réalisés se sont également intéressés à l'hybridation entre écotypes pour obtenir les caractéristiques recherchées : résistance aux gelées, grosseur des fruits, nombre de graines totales et viables par fruits.

Récemment, ont été initiés des travaux de recherche dans le cadre de la préparation de Doctorat.

2.2.3. Autres travaux :

Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'Opuntia parmi eux les travaux de Kadik, Khouri, Yousfi, Mahmoudi et d'autres réalisés par les universitaires dans le cadre de projet de recherche et projet de fin d'études ou Magister. Leurs travaux restent en général inexploités et dispersés alors que les autres pays cultivant l'Opuntia ont constitués de véritables réseaux d'informations. Parmi ces réseaux CACTUSNET en collaboration avec la FAO et ICARDA

2.2.4. Bilan et expérience du HCDS (Haut Commissariat au Développement de la Steppe)

Les actions engagées même si elles sont encourageantes avec l'implantation d'Opuntia à partir de 1993, elles restent insuffisantes pour avoir un impact économique sensible dans le pays. En effet dans la région Est, la surface d'opuntia implanté de 1993 à 1997, a atteint 9100 ha. Les surfaces plantées ont atteint 27051 ha en 2005 ; ces surfaces étaient surtout concentré dans les wilayas de M'sila (10000ha) Médéa (7100ha) et Tebessa (4500ha). Durant l'année 2005 une superficie importante a été endommagée par les gelées. Le taux de réussite des plantations qui a atteint 70 à 90% selon les périmètres a vu l'adhésion de plus de 3400 agriculteurs.

Les plantations réalisées pour la restauration des sols et la fixation des dunes ont donnés des résultats jugés encourageants.

La stratégie du HCDS vise une extension de l'opuntia à toutes les régions pastorales en accompagnant le programme par la sensibilisation des populations à l'utilisation de l'opuntia pour la protection et la réhabilitation des parcours et comme apport fourrager.

Chapitre III :
Composition et valeur nutritionnelle de
l'Opuntia

Chapitre III : Composition et valeur nutritionnelle de l'Opuntia

Selon Barbera (1999), cité par Sepúlveda, (2007) parmi les plantes cultivées le genre *Opuntia* qui résiste au manque d'eau, aux hautes températures, et s'adapte aux sols pauvres, est parmi les plus adaptés aux conditions des milieux arides car il apporte en plus du rôle, écologique un aliment s'intégrant à la sphère de l'agriculture vivrière.

Le genre *Opuntia* arbuste adapté aux rigueurs des régions arides et semi arides peut constituer un apport alimentaire satisfaisant pour l'élevage des régions steppiques. Il peut pallier le déficit fourrager pendant les périodes creuses (Ferrah, 1994) s'il est complété par la paille et les légumineuses (Nefzaoui, 2002, et Tegegne, cité par Feugang 2005). Les cladodes dont les teneurs en polyphénols et tanins sont relativement peu élevés, contribuent déjà à la production de viande et lait des élevages modernes (Brezil, Texas..). Les périodes où la valeur nutritionnelle est optimale, nécessite une exploitation plus conséquente.

L'*Opuntia* est largement utilisé comme fourrage dans les pays à climat aride. Cependant la forme épineuse est difficilement exploitée par les animaux, même si certains bovidés la consomment sans s'exposer aux blessures des aiguillons (Adli, 2006). Ces inconvénients ont favorisé le développement et l'intérêt pour les variétés inermes plus faciles à manipuler pour une utilisation comme fourrage et à d'autres fins. Même la cueillette des fruits est facilitée chez les variétés inermes.

De nombreux travaux, portant sur la composition chimique des cladodes ont été publiés, mais ils sont difficilement comparables en raison du manque d'information sur l'âge du matériel, de la variété et des conditions de culture. Les points communs relevés sont la variation de la composition chimique selon l'âge des cladodes. Ces variations se traduisent par une diminution de la valeur nutritionnelle avec l'âge, celle-ci est optimale au printemps et au début de l'été.

Le fruit qui est une baie ovoïde contenant de nombreuses graines, a une taille variable, avec un poids de 43 à plus de 100g selon Cantwell (1999) et Adli, (2006). La composition met en évidence une richesse en vitamine C et un apport énergétique comparable à celui des fruits : comme l'orange, l'abricot avec 44 à 50 kcalories pour 100g de fruit (Sawaya, et al., 1983; Schmidt-Hebbel, et al., 1990; Regal, 1995) mais, son pH est plus élevé que celui des autres fruits.

3.1. Composition chimique des fruits (figue de barbarie)

La pulpe qui est la partie juteuse du fruit est très appréciée par les populations des pays où cette plante est présente depuis plusieurs siècles.

La pulpe partie comestible du fruit qui est sucrée et riche en vitamines C, contient de nombreuses graines dures qui réduisent son acceptabilité. La pulpe représente 52 à 70% du poids du fruit. Ses composants majeurs sont l'eau et les hydrates de carbone avec respectivement des teneurs de 85% et 15%. Il contient également une teneur appréciable en minéraux ou le potassium, le calcium et le magnésium sont les plus représentés selon Sawaya et *al.*, (1983) et Saézn (2006) (Tableau 1 et 2). La vitamine A constitue aussi un apport appréciable. Le pH du fruit qui est compris entre 5,3 et 7,1 correspond à une faible acidité avec 0,05 - 0,18 % d'acidité exprimé en équivalent acide citrique. Cette faible acidité réduit la durée de stockage (Sáenz C., 1996) et nécessite un traitement thermique plus énergique pour sa stabilisation. Ce qui aura pour conséquence une réduction des constituants fragiles dont les vitamines.

Selon Kaanane (2000), au Maroc ce pH atteint 5,8 et la pulpe est composée de 88% de jus et 12 à 15% de graines (Lopez et Burgos, 1975), le nombre de grains par fruit est très variable d'après Nerd et Mizrahi (in Barbera ,1995). Les travaux de Adli en Algérie (2006) sur les variétés inermes et épineuses montrent la présence de 1,90 à 4,15graines/g de fruit en moyenne, ce qui laisse déduire la présence de 190 à 415 graines /100g chiffre comparable à celui des variétés italiennes qui comptent 273 graines (Reyes-Aguero et *al.*, cité par Adli, 2006). Ces graines ne sont pas sans intérêt avec une composition de 16% de protéines, 17% de lipides et une importante teneur en potassium, magnésium, phosphate avec respectivement : 163mg, 75mg et 152 mg p.100g (Sawaya et *al.*, 1983).

Tableau 1: Composition chimique de la pulpe de fruit de l'*Opuntia ficus indica*.

Nature des Constituants	Teneur en gramme (g) pour 100g de pulpes
Eau	83,8 – 91
Hydrates de carbone	8,1 – 14
Fibre brute	0,02 -3,16
Protéines	0,2 – 1,6
Lipides	0,09 – 0,7
Cendres	0,4 – 0,51
Vitamines C (en mg)	20 - 41
β-Carotène (Vit A) en µg	11,3–53,5

Source : à partir des données Saenz (2006) et Stintzing et R Carle (2005).

Le contenu en solide soluble de la pulpe est même plus important que celui de l'abricot, cerises, pêches, pommes et melons (Barbera, 1995).

L'écorce de fruit est également une composante non négligeable par sa composition en sucres, minéraux et pectines. Parmi les minéraux, on observe une teneur intéressante en potassium (31mg/100g) et calcium (109mg/100g).

La composition minérale du fruit présente également un grand intérêt malgré les variations observées selon les régions, notamment pour le calcium et le potassium (Tableau 2). La plupart des fruits montrent une teneur intéressante en potassium.

Tableau 2 : Composition minérale de la pulpe.

Eléments minéraux	Teneur en mg/100g *	Teneur en mg/100g**	Teneur en mg/100g***
Calcium	28	90	12,8
Magnésium	28	28,2	16,1
Potassium	161	98,4	217,0
Sodium	0,8	1,1	0,4
Phosphate	15,4	-	32,8
Fer	1,5	1,1	0,4 (2,6)

Source : *Selon Sawaya (1983) ; **selon Regal (1995) ; *** Sepúlveda et Sáenz (1990).

Les fruits étudiée en Ethiopie par Tegegne (2002) montre des rapports équivalents à ceux de Regal (1995) avec respectivement pour Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , P : 0,45 ; 0,14 ; 0,40 ; 0,07 et 0,37g pour 100g MS.

Alors que les travaux de Mataoui au Maroc ont montré que les fruits de couleur rouge-sang à maturité, ont cependant une teneur plus faible en sucres et un taux plus élevé en composés phénoliques que les fruits de couleur jaune-orange et leur acidité est plus élevée.

Les jus extraits des fruits à différents stades de maturité; ont montré une teneur en eau de 85 % en moyenne et des teneurs en sucres de 9 à 12%. Les sucres majoritaires étant le glucose et le fructose et dans une moindre mesure le saccharose. Le taux de vitamines C varie de 34 à 38 mg par 100 g de jus et les composés phénoliques totaux varient de 22 à 30 mg par 100 g de jus. La teneur en lipides reste très faible (inférieur à 1%). Cette composition confirme ainsi une bonne valeur alimentaire de ce jus rapporté à l'extrait sec soluble.

3.2. Composition chimique des cladodes (raquettes)

- teneur en eau et matière sèche :

Selon Flachowsky et Yami (1985), l'*Opuntia* est une plante dont la teneur en eau dépasse 82%, ce qui en fait une réserve d'eau importante pour l'alimentation animale surtout dans les régions où cette ressource n'est pas toujours disponible. Elle couvre la plus grande partie des besoins des animaux (Felker, 1995; Felker, et al., 1997) Son intérêt a été déjà démontré par des expériences réalisées en Afrique du Sud sur des moutons nourris par des cladodes inermes. Les moutons ont pu survivre plus de 500 jours, sans apport d'eau supplémentaire (Curasson, 1952) ce qui démontre l'intérêt et l'importance de la plante.

Cette richesse en eau atteint 85 à plus de 93% selon Ghol (1982) et Felker (1995). Elle montre parallèlement que le taux de matière sèche reste faible comparé à celui des autres fourrages atriplex, paille (Nefzaoui et Ben salem, 1995) Le taux de matière sèche varie cependant, selon la saison et la pluviométrie du simple au triple. D'après Khouri (1970), la teneur en matière sèche des cladodes prélevées au printemps serait même deux fois moins élevée que celle d'automne.

- Matière minérale :

Dans ces organes, la matière minérale qui représente 15 à 23% de la matière sèche (Poudevigne, 1988 ; Nefzaoui et Chermiti, 1991; Stintzing et Carle, 2005) reste élevée comparée à celle de nombreux légumes et fourrages (Rodriguez et Cantwell, 1988 ; Tirilly et Bourgeois, 1999). Cette richesse en minéraux où le calcium est le plus représenté avec 5 - 7% de la matière sèche est suivie par le potassium et le magnésium avec des teneurs appréciables, soit respectivement 0,35 à 1,4 et 1,06 à 1,26 %. Le phosphore est cependant peu représenté comparativement au fruit avec 0,15% de la MS, ce qui se traduit par un déséquilibre minéral où le rapport Ca/P est défavorable dans l'alimentation des animaux (Tableau 3a). La richesse en minéraux avec notamment la présence de calcium sous forme d'oxalate confère des propriétés laxatives à l'*Opuntia* Cette composition minérale varie cependant selon les espèces, les régions et du stade physiologique comme le montre les travaux de Dekock (1965) et ceux rapportés par Stintzing (2005) Ayadi 2009 et Nefzaoui et Ben Salem, Ben Salem., 2005 en g/100g MS (en Tunisie) on remarque d'importantes variations pour le potassium (0,37-2,35 % de la MS) le calcium (1,4-7,5/100g de MS) et le magnésium (0,19 – 1,6/100g) , alors que les micro éléments représentent respectivement pour le manganèse (62-103 µg/g) ; fer (5,9–6,6) mg pour 100g, zinc (2,2–2,7mg/100g), et le cuivre (0,8–0,9mg/100g MS). Cette composition

se rapproche de celle donnée par Ayadi *et al.*, (2009) mais diffère de celle rapportée par Tegegne et Nefzaoui et Chermiti (Tableau 3a et 3b).

Tableau 3 a: Composition minérale des cladodes (macroéléments)

Minéraux	Tegegne en g/100g MS (cladodes 6mois-2 ans) Ethiopie	D'après Ayadi 2009 et Nefzaoui et Ben Salem, Ben Salem., 2005 En g/100gMS Tunisie	In stinzing g Pour 100g MS (de jeunes cladodes ou nopalitos)	Dekock(1965) En g % MS, Kader, 2002 et Piga, 2004
Calcium	0,94	1,4 (5-7) **	0,31-0,63	5.64 -7,56
Potassium	0.37	3,3 (0,35- 1,4)**	0 ,55	1.09 - 2,35
Magnésium	0.19	0,9 (0.19).*1,26**	0,12– 0,188	0.19 - 1,6
Sodium	0.06	0,2 (0,4)*		0,17 -0,4
phosphate	0,33	0,07 (0.15)*		0 ,07 – 0,15

Source Ayadi 2009,: Ben Salem *et al.*, 2005.rapporté par Ayadi*,, Nefzaoui et Ben Salem 1995**

Tableau 3b : Composition minérale des cladodes (microéléments)

Minéraux	D'après : Ben Salem et al.,2005. en mg/100g PS	In Ayadi 2009 cladodes inermes de 2 ans en mg/100g MS	In stinzing mg Pour 100g MS	Bounab 1999, El Ahouel, 2004 mg/100g MS (Algerie)
Fer	0.14	19	5 ,9–6,6	0,25- 0,650.
Zinc	0.35	3,5	2,2–2,7	
cuivre	0.55	1,2 (1,2 – 1,76) **	0,8–0,9	0,29 -1 ,62
manganèse	-		6,2–10,3	traces

** source : Nefzaoui et Ben Salem 1995,

- Matière azotée totale

Les raquettes inermes et épineuses de *l'Opuntia ficus indica* sont en générale pauvres en azote avec un taux de 2 à 4,6 % (Nefzaoui et Chermitti, 1991). Ce taux peut atteindre plus de 10% après fertilisation. Il existe toutefois des teneurs aussi élevés chez certains clones sélectionnés au Texas et au Brésil (Felker, 2001). Mondragon et Perez (2001) estiment cependant que la donnée génétique n'a pas autant d'effet sur le critère protéine par rapport à la nature et la richesse des sols. La composition en acides aminés essentiels des cladodes présente des similitudes avec celles des grains d'orge (tableau 4, annexe 1 : composition en acides aminés), selon Feitosa-Teles *et al.*,(1984) la valeur biologique des acides aminés libres est de 72 comparée à la référence œuf 100.

Tableau 4: Composition en acides aminés essentiels des cladodes et de l'orge

Acides aminés	<i>Opuntia ficus indica</i> PB=4,24% de la MS	Grains d'orge PB=11% de la MS
Cystine	0,94	1,4
Méthionine	1,82	1,4
Lysine	4,86	6,5

Source: Nefzaoui et Bensalem (1995).

- Cellulose brute

La cellulose brute qui augmente avec l'âge des cladodes varie de 9,42 à plus de 18 % de la matière sèche (Nefzaoui et Ben Salem, 1995, Tegegne, 2002 Stintzing et Carle, 2005). Elle dépend comme les autres constituants des facteurs agro-climatiques, de la variété et des saisons (Batista et *al.*, 1987; Rodriguez-Felix. et Cantwell 1988 ; Jarrige et *al.*,1995). Son intérêt a été longtemps lié à son rôle en nutrition animale et comme matière première pour les industries chimiques et récemment comme additif dans les IAA après transformation en carboxymethylcellulose (ou CMC) et comme fibres alimentaires.

Les fibres alimentaires constituant cellulosiques, déterminées selon des méthodes appropriées (AOAC, 1990 ; Prosky et *al.*, 1988) peuvent atteindre chez les cladodes une teneur de 46,31 pour 100 g de cellulose totale. Elles sont constituées de 30,65g de fibres insolubles et 15,66g de fibres solubles selon Sàenz (1997). Leur importance en nutrition est lié à leur rôle pendant le transit intestinal et leur effet sur le diabète et l'obésité ; c'est pour cette raison qu'ils sont intégrés dans les tables des besoins alimentaires, avec une recommandation de 25 à 38g par jour pour un adulte (Ayadi, 2009)

- Les glucides

Les travaux de Felker (1995) et Lehouerou (1996) confirment la richesse en sucres totaux du cactus. Les glucides solubles constituent la fraction essentielle de l'extractif non azoté selon Rivière (1991) et Stintzing et Carle (2005) (Tableau 5). Rodriguez-Felix et *al.*, (1988) rapporte que la teneur en sucre totaux soluble est de 9.87 p.100g chez les cladodes d'*Opuntia.ficus indica* cultivé au Mexique. Alors que Lamar cité par Monjauze (1964) estime que ce taux est de 2,45 – 6,30 pour 100g de MS (Tableau 5)

Cette fraction glucidique est composée de glucose, fructose et une faible teneur de saccharose et d'autres sucres ; leur proportion varie cependant selon la variété et le stade de croissance. Des travaux réalisés en Tunisie (Ayadi,

2009) confirment que le fructose est le plus important des sucres solubles. Les sucres réducteurs représentent 0,64 à plus de 0,88 g/100 g de cladodes fraîches, ils augmentent en cours de croissance et selon les variétés (Rodriguez-Felix et Cantwell, 1988). Alors que Monjauze (1964) rapporte que ce taux est de 1,90 et 5,10 % de la MS pour des cladodes âgées de moins d'un an et deux ans dans les conditions d'Afrique du Nord.

- Acides organiques

Les cladodes ont une teneur élevée en acide malique et citrique, celle-ci varie en cours de journée en raison de son métabolisme de type CAM (Stintzing et Carle, 2005). A côté de ces acides il y a l'acide oxalique et des acides organiques mineurs observés chez les cladodes âgés : l'acide piscidique et l'acide phorbique. Ces deux acides ne sont rencontrés que chez les plantes de type CAM et succulentes (Teles, 1984 dans Stintzing 2005). L'acide oxalique joue un rôle important dans la rétention d'eau et dans le métabolisme aboutissant à la formation de la pectine (Trachtenberg., Mayer, 1982, Stintzing, et *al.*, 2001).

- Le mucilage

Le mucilage des cladodes, qui est extrait par l'eau pendant 16 heures puis précipité par l'éthanol (Sepúlveda. et *al.*, 2006), est constitué par une grande proportion de polysaccharides complexes et de divers métabolites dont les carbohydrates (glucose et le fructose) et les minéraux. Parmi les minéraux présents, le calcium et le potassium sont les plus représentés, (Sáenz et Montoya, 1999). La teneur en mucilage augmente de façon sensible avec l'âge des cladodes et selon les conditions du milieu. Ce composé qui règle les échanges d'eau avec l'environnement, permet aussi la mise en réserve du calcium sous forme d'oxalate (Trachenberg et Mayer, 1982).

Les travaux sur les enveloppes des fruits et les cladodes ont montré selon Sáenz et al. (1992) et Sáenz et Sepúlveda, (1993) que le mucilage représente respectivement 1 et 1,2% du poids frais. Ce rendement est toutefois influencé par les méthodes d'extraction utilisées (Nobel et *al.*, 1992; Cárdenas et *al.*, 1997) Auparavant, Fernandez-Landero, cité par Bravo-Hollins (1978), avait indiqué que la teneur en mucilages peut varier de 1,09% à 4,53% selon l'âge des cladodes dont sont issues les farines .

Pour les cladodes plus âgées de dimension : 60 cm de long et 2 à 3 cm d'épaisseur, le mucilage représente près de 19,4% de la matière sèche et 1.48% par rapport au poids frais. (Sudzuki et *al.*, 1993 ; Sepúlveda. et *al.*, 2007). Le mucilage séché contient 37,7% de sucres. Il est composé d'arabinose, de galactose, de rhamnose, de xylose et d'acide galacturonique a des teneurs variables et des rapports variables entre Galactose/arabinose [(Trachenberg et

Mayer, (1981), et Nobel et *al.*, (1992)]. Saenz et *al.*(2004) se référant à Mc Garvie et Parolis, rapportent que la structure se présente comme une chaîne avec une répétition des motifs d'acide galacturonique liés en α (1- 2) à la chaîne de n(rhamnose) dont les motifs sont liés entre eux en α (1- 4) et aux chaînes latérales formées de galactose, arabinose, xylose. Le mucilage séché a une teneur en eau, protéine et **minéraux** qui représentent respectivement 5.6%, 7,3% et 37.3 p.100 ; parmi les minéraux, le calcium, potassium et l'azote atteignent des taux de 9,86, 1,55 et 11,4 p.100 de la MS (Sepúlveda, 2006). Ces mucilages ont la propriété d'adsorber une quantité importante d'eau et de former une masse visqueuse ou un gel (Saenz et Montoya, 1999). Le mucilage montre ainsi grâce à ces propriétés, sa forte capacité de rétention d'eau (Sudzuki et *al.*, 1993).

Les mucilages sont classés en deux types selon leur interaction avec l'eau. L'une des fractions serait une pectine avec des propriétés gélifiantes en présence de Calcium, et l'autre non gélifiante qui représente moins de 10% du mucilage soluble [(Goycoolea et Cárdenas, (2004) ; Majdoub et *al.*, (2001) cité par Sepúlveda (2007)]. Selon ces mêmes auteurs, le mucilage peut être utilisé comme additif épaississant dans les produits alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. Il peut remplacer certains épaississants comme le carboxyméthylcellulose (CMC) (Sepulveda et *al.*, 2003). Ces propriétés et applications ouvrent par conséquent des perspectives de valorisation et d'utilisation efficiente et économique de la plante.

Tableau 5 : Composition de l'extractif non azoté des cladodes d'opuntia.

Constituants en % de l'extrait sec (extractif)	Cladodes <i>d'Opuntia ficus indica</i> var. inermis	
	1 AN	2 ANS
Sucres réducteurs	1,90	5,10
Sucres totaux	2,45	6,30
Furfural	5,32	7,66
Acide polygalacturonique	22,60	32,60
Fructosane	9,10	13,10
Glucomannanes	2,22	3,64
Acide mucique	5,55	6,16
Galactanes	6,66	7,36
Extractif non azoté	58,11	64,47

Source : Lamar in Monjauze (1964)

L'extractif non azoté des cladodes est compris entre 58,11 et 63,9 p.100 de la MS. Il atteint 64,47 p.100 de la matière sèche pour les cladodes plus âgés [Pimienta, 1990 ; cité par Saenz C. 2006] et Lamar cité par Manjouze (1964). On remarquera l'importance de l'acide galacturonique constituant des pectines avec une teneur de 22%.

- Matière grasse

De façon générale, les fourrages ont une faible teneur en matière grasse et l'Opuntia ne fait pas exception. Sa teneur qui est de 1,96 p.100 pour des raquettes âgés d'un an décroît avec l'âge (Kartez, 1996) Cette teneur varie aussi selon les périodes, selon Retamal et *al.*, (1987) les plus fortes teneurs sont observées au début de la fructification.

- Vitamines

L'*Opuntia* présente une importante teneur en vitamine C (acide ascorbique et dehydroascorbique) chez les jeunes cladodes (7 à 22 mg/100g) alors que la vitamine A est moins représentée avec 30µg/100g de matière sèche. Les teneurs en vitamines thiamine, riboflavine et niacine sont relativement faibles avec respectivement : 0.14 mg, 0.6 mg et 0.46 mg pour 100g de cladodes fraîches (Rodríguez-Félix et Cantwell, 1988 ; Pimienta-Barrios, 1993, et Teles, 1994 cité par Stintzing, 2005).

- Polyphénols

Ces substances, importantes par leurs propriétés anti oxydantes et protectrices vis-à-vis des radicaux libres, contribuent à rehausser la qualité nutritionnelle des végétaux. Cependant ces composés sont responsables du brunissement en présence des enzymes d'oxydations lors du stockage et en cours de transformation (broyage, coupe, parage). Les composés phénoliques regroupent une diversité de constituants qui sont classés en 4 groupes :

- acides phénols (acides benzoïques, acides cinnamiques) et coumarines
- flavones, flavonols, flavanones et dérivés dont catéchines
- chalcones, dihydrochalcones et auronnes
- anthocyanes : anthocyanines, anthocyanidines

Les trois derniers groupes constituent les flavonoïdes (Ribereau – Gayan, 1968). Parmi les polyphénols, les tanins se présentent sous deux formes: tanins hydrolysables et tanins condensés. Leur importante synthèse au niveau des plantes parasités ; correspond à une réaction de défense de cette dernière (Guignard, 1996). Ils ont par ailleurs, un effet sur les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits (Haslam, 1988). Les tanins condensés en réagissant

avec les protéines, sont responsables le goût astringent de certains fruits et boissons. Alors que les déhydrochalcones réduisent l'amertume ce qui augmente le goût sucré (Okuda, 1993).

Les flavonols quercétine sont les flavonoïdes les plus répandus et les plus consommés, mais aussi les plus étudiés en raison de leur potentiel et intérêt médicinal (Cook et Samman, 1996; Vinson et *al.*, 2001). Ils sont à l'origine de la coloration des fruits et des fleurs. Les anthocyanes qui sont des flavonoïdes apparaissent en cours de maturation des fruits, après la dégradation des chlorophylles. Ils sont présents dans les tiges, graines et racines, et ils sont à l'origine de la couleur des fleurs, des fruits et des baies.

- les caroténoïdes et chlorophylles

Les caroténoïdes sont constitués par les carotènes et par les xanthophylles. Parmi les carotènes, le β -carotène et le lycopène sont les plus répandus dans les fruits et légumes. Le β -carotène est le précurseur de la provitamine A; Les carotènes représentent 11,3 à 53,5 μg p.100g de cladodes fraîches. Alors que la teneur en chlorophylle totale est plus importante avec 12,5mg pour 100g de cladodes fraîches ou la chlorophylle *a* est dominante avec 9,5mg/100g (Guevara et *al.*, 2001 cité par Stintzing et *al.*, 2005).

En Tunisie, les cladodes inermes âgées de 2 à 3 ans ont une teneur en β -carotènes de 1.01mg pour 100g de MS et 13,6 mg de chlorophylle totale et 7,4mg de chlorophylle *a* et 3,7mg de chlorophylle *b*. On notera ici la différence des teneurs et du rapport entre chlorophylles *a* et chlorophylles *b* des cladodes étudiées par ces auteurs.

3.3. Le pouvoir antioxydant

Les propriétés protectrices des végétaux et fruits vis-à-vis de certaines maladies sont liées à la nature anti oxydante de leurs constituants parmi lesquels: la vitamine C (acide ascorbique), Vitamine E (Tocophérols), caroténoïdes, composés phénoliques (flavonoïdes, acides phénols.) auxquels s'ajoutent des constituants non identifiés, (Sies et Stahl, 1995 ; .Kuti , 2004) La détermination du pouvoir antioxydant ou capacité antioxydante est importante car elle renseigne sur les propriétés biologiques et pharmacologiques.

L'étude de la thermorésistance des antioxydants extraits à partir du cactus, a montré leur capacité à rester actif après récolte et stockage dans les conditions normales et adéquates de température (Siriwardhana N. et Y.J. cité par Feugang, 2006).

A ce propos Nazareno et González (dans CACTUSNET 2008) avance dans le cas des fruits que les polyphénols totaux connaissent plutôt une évolution favorable après 4 semaines de stockage. Leur teneur passe en effet de 0,60mg/g à 0,71 et 0,77mg/g à la quatrième semaine, alors que la vitamine C

connaît des pertes très faibles durant la même période. Ainsi les fruits gardent leur qualité et caractéristique originelle et donc leurs propriétés après un mois de conservation au froid.

3.4. Valeur nutritionnelle

Selon Mulas (1993) et Saenz (2002) cités par Stintzing et Carle (2005) la farine de cladodes est composée de 52–53 % de carbohydrates, 20–22 % de minéraux, 15–16 % de protéine, 9.75 % d'eau, 9.5 % de fibres et 0,25 % de lipides.

Sur le plan nutritionnel, la valeur des « nopalitos » ou jeunes raquettes se rapprochent de celle de l'épinard et de la laitue comme le montre leur composition (Tableau : 6).

Tableau 6 : Composition chimique des « Nopalitos » comparée à celle de la laitue et de l'épinard.

Constituants en % de la matière fraîche (MF ou PF)	Nopalitos (Dekock, 1965 et Stintzing &Carle R., 2005)	Laitue (Rodriguez et Cantwel, 1988)	Epinards (Rodriguez et Cantwell, 1988)
Eau / PF*	88 – 95	95,5	90,7
Protéines	0.5 –1	1,00	3,20
Lipides	0,2	0,1	0,3
Fibres	1- 2	0,5	0.9
Sucres	3 - 7	2,1	4,3
Cendres (Minéraux)	1 - 2		
Vit C mg/100g MF	7 - 22	30	28
Vit A en µg/100g MF	11,3 - 53,5	30	55

La présence des minéraux, Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , hydrates de carbone et fibres alimentaires, justifient leur intérêt par rapport aux besoins nutritionnels (Saenz et Montoya, 1999). Toutefois certains auteurs rapportent que le calcium sous forme d'oxalate lié au mucilage, n'est pas totalement disponible comme source alimentaire.

Les cladodes constituent une source intéressante de fibres pour l'alimentation humaine (Saenz, 2002). Ces fibres sont composées de deux fractions l'une soluble, l'autre insoluble. Elles représentent, selon Saenz (1997) et Rosado cité par Saenz et *al.*, (2004) respectivement 30,65 -36,2 g et 14,2 à 15,66g pour 100g de MS des cladodes.

Les constituants solubles des fibres (dont le mucilage), contribuent par un apport calorique de 4cal/g. Cette fraction qui est fermentée à 100 %, contribue ainsi au transit intestinal (Pak, 1996 cité par Saenz C. et *al.*, 2004). La fraction insoluble non calorique, est cependant utile comme moyen pour réduire l'apport calorique des aliments et a donc un rôle diététique (Nelson, 2001). La fraction de fibres insolubles a aussi la propriété de se lier aux toxines alors que la fraction soluble réduit le temps de passage à travers le colon; d'ou son utilisation en tant que substituant à la semence de psylle (*Plantago psyllium L.*).

Chapitre IV :
Utilisation alimentaire, propriétés médicinales
et valorisation

Chapitre IV : Utilisation alimentaire, propriétés médicinales et valorisation

4.1. Utilisation alimentaire

4.1.1. Cas des fruits

Les fruits recherchés et appréciés pour leur goût font l'objet d'un grand intérêt par les scientifiques, ont justifiés l'orientation de nombreux travaux de recherche sur leur qualité nutritionnelle, médicinale et notamment leur conservation et transformation.

Au Mexique et dans d'autres pays latino américains de nombreux produits sont préparés à partir des fruits: jus, concentré, confiture commercialisé sous le nom de « melcocha » ou « miel de tuna », « queso de tuna » qui est une sorte de fromage et une boisson alcoolique nommée « colonche », confit de figue, assaisonnement (Fouquet cité par Benrachid, 1999, Stintzing et *al.*, 2005).

Des travaux récents sur les fruits ont permis d'améliorer la technologie de production des jus et concentrés, ouvrant ainsi des perspectives d'industrialisation, d'exportation et d'utilisation comme colorant naturel et édulcorant. (Castellar et *al.*, (2003); Sáenz A.M. et *al.*, (1998) et Saenz C., (2002) cités par Stintzing ,2005).

Les colorants naturels présents dans les fleurs, pelure et pulpe (5 à 110 mg/100g) suscitent actuellement un intérêt grandissant chez les industriels et sont appréciés par le consommateur les préférant aux colorants synthétiques. Ils représentent par conséquent une alternative de développement intéressante (Stintzing et *al.*, 2005; Castellar et *al.*, 2001 cité par Feugang, 2005).

En raison de leur faible acidité, les jus sont parfois utilisés dans les crèmes glacés et yaourt, tandis que les résidus : graines et pelures, sont récupérés comme source d'huile et de pectine et comme source d'antioxydant naturel, vitamines et stérols (Ramadan .in Feugang, 2006). Grâce à la mise au point et l'amélioration des techniques de production de jus concentré et de poudre à partir des fruits, les travaux de Markus R. Moßhamme et *al.*, (2006) ouvrent désormais de nouvelles perspectives d'utilisation. La concentration qui n'a pas montré d'impact négatif sur le plan sensoriel (dans Feugang, 2006.) justifie et encourage le développement de cette technique traditionnellement appliquée aux autres jus de fruit.

Selon Saénz C. et *al.*, (2009) la microencapsulation par maltodextrine ou inuline des composés bioactifs (polyphénols, indicaxanthine, betacyanines, vitamines C) du fruit ou du jus d'*Opuntia ficus-indica*, préservait ces constituants. Ce qui permet la préparation d'un additif doté d'un potentiel en antioxydants et colorants naturel intéressant.

4.1.2. Cas des Cladodes

4.1.2.1. Préparations alimentaires à partir des cladodes

Les jeunes cladodes de 3 à 4 semaines appelées aussi « nopalitos » dans le pays d'origine (Mexique) sont consommées par les populations de différentes couches sociales (Russel et Felker, 1987; Cantwell, 1991 et Sáenz, 2002). Ils sont servis avec les repas au même titre que les haricots verts. Les cladodes sont préalablement nettoyées et découpées en tranches ou cubes (figure 5a) puis blanchies ou directement cuites en sauce ou utilisés pour d'autres préparations (Annexe: 11).



Figure 5a : présentation des « Nopalitos » (Source: Saenz, 2006)

Au Chili et notamment au Mexique, les jeunes cladodes sont utilisées pour la fabrication de nombreux produits alimentaires. On peut citer : les confitures, marinades, confits (glaçages) (Saenz-Hernandez, C et al 2002 ; Saenz C. 2002), marmelades, harinas (poudres de cladodes). Selon Saenz C., (2006) les jeunes cladodes sont aussi intégrées dans la préparation des plats tels que : salmueras (Nopalitos blanchis et conservés dans une solution saline), escabèches (Nopalitos conservés dans du vinaigre et assaisonné d'épices, seuls ou en combinaison avec des légumes) et la salsa - (figure 5b et annexe 11).



Figure 5b : Conserves et préparations à partir des cladodes
(Source: Saenz, 2006)

Ces possibilités montrent aussi des similitudes de préparations avec les cornichons et d'autres produits fermentés. Leur utilisation en assaisonnement est également rapportée par de nombreux auteurs [Stintzing et *al.*, (2005) et Corrales-Garcia et Saénz C., (2006)].

4.1.2.2. Utilisation en complémentation et propriétés

Les mucilages qui constituent un apport en fibres alimentaires, présentent également un intérêt pour l'industrie alimentaire grâce à leur propriétés gélifiantes et épaississantes (Trachtenberg et Mayer, 1981; Sepúlveda et *al.*, 2007). Les cladodes sous forme de poudre, sont même proposés comme additif dans les produits laitiers (desserts gélifiés), à un taux de 10%. Cette part est même relevé jusqu'à 20% dans les potages pour accroître l'épaississement. Elles sont aussi proposées comme matière première des breakfasts aux céréales et comme substitut à la farine de blé [(Saénz-H et *al.*, Saenz C., (2002) cité par Stintzing et Carle, (2005)].

Les travaux de Ayadi et *al.*, (2009) sur les poudres de cladodes inermes et épineuses (2 à 3 ans) de Tunisie, en vue de l'amélioration de la valeur alimentaire (enrichissement en fibres, ...) des farines de céréales, ont montré parallèlement que l'addition de 5% de poudre n'affecte pas les propriétés technologiques et organoleptiques des pâtes et gâteaux (type cake).

Par ailleurs, les mucilages peuvent constituer un film d'enrobage comestible de qualité appréciable, comme l'a montré Del-Valle et *al.*, (2005), après des essais de conservation des fraises.

D'autres travaux qui ont abordés l'effet des mucilages sur les émulsions (Rwashda cité par Garti (1999) ont montré qu'ils stabilisaient les émulsions huiles/eau. Adsorbés à l'interface eau-huile ils ne modifient pas de façon sensible la viscosité du système, et ne provoquent pas de floculation. Garti et Leser (2001) cités par le même auteur, ont précisé plus tard que le mucilage d'*Opuntia ficus indica* a une bonne capacité émulsifiante et stabilisante, s'il est utilisé dans des émulsions eau/huile diluées. Alors que les travaux d'Espinosa (2002) sur les propriétés moussantes ont montré que l'addition de 0,5 à 0,8% de mucilage a un effet stabilisant sur les mousses d'œufs et réduit au minimum la synérèse. Son addition limite aussi la cristallisation et peut former des gels (Anon, 1991 cité par Saénz C. et *al.*, 2004).

Mc Carthy, cité par Cardenas et *al.*, (1997) qui a observé des propriétés liantes des arômes par les mucilages, prévoit même une possibilité d'utilisation comme fixateurs d'arômes.

Complétant ces travaux, Medina-Torres et *al.*, (2000) ajoute que ces polysaccharides (ou mucilage) en solution dans l'eau à 10 % et le xanthane à

2% ont des propriétés rhéologiques comparables. A une concentration de 5% et à une température de 35°C la solution tend fortement vers la formation d'un gel comme c'est le cas pour les i- et j-carraghénane (Medina-Torres et *al.*, 2003).

Des travaux récents menés par Ayadi, et *al.*, en 2009, confirment que la poudre de cladodes possède un potentiel technologique intéressant grâce à sa capacité de rétention d'eau (WBC) avec 3,15g par gramme de matière sèche et sa capacité d'adsorption des lipides (FAC). Ces résultats restent comparables à ceux des autres sources végétales comme la carotte, pomme, blé (Thebaudin et *al.*, 1997 cités par Ayadi).

Ainsi, de larges possibilités d'utilisation de l'*Opuntia ficus indica* sont ouvertes grâce aux cladodes par les procédés d'extraction du mucilage. Leur emploi s'est diversifié grâce à leurs propriétés épaississantes.

Le jus issu des « nopalitos » (cladodes) fait également l'objet d'un intérêt croissant au Sud des Etats-Unis (Texas) et Mexique pour la préparation de boissons. Rodriguez (1999) mis au point plusieurs formulations dont celle consistant en l'addition d'acide citrique et aspartame comme édulcorant. A pH 3.5 et pasteurisé à 76°C, la boisson a montré que les nutriments ou constituants thermolabiles étaient peu affectés.

4.2. Utilisation comme fourrage

Utilisés traditionnellement pendant les périodes creuses et de sécheresse comme fourrage d'appoint, les cladodes offrent un supplément de fourrage pour les animaux (les vaches, les moutons et les chèvres) dans de nombreux pays Brésil, Chili, Californie, Maroc, Mexique, Afrique du Sud, Texas,, Tunisie et dans une moindre mesure en Algérie Les cladodes couvrent de façon importante les besoins en fibres et en eau des animaux mais nécessitent une complémentation en sels minéraux et matière azoté (Felker., 1995. Felker et *al.*, 1997).

Actuellement, les plantations de cactus inerme sont utilisées selon trois modes d'après Lehouerou (1966):

- comme partie de la ration alimentaire (jusqu'à 35%)
- comme supplémentations en été et en automne
- ou comme réserve alimentaire utilisé pendant les périodes de sécheresse prolongées.

L'*Opuntia stricta* cultivé au Mexique comme fourrage riche en protéines avec 11,4% de la Matière sèche (MS), ne nécessite pas de supplémentation en azote. L'utilisation fourragère de l'opuntia est la plus largement exploitée par rapport aux autres applications.

4.2. Propriétés médicinales des cladodes

Des infusions de fruit, de cladodes et de fleurs sont traditionnellement utilisés pour traiter et calmer l'ulcère, les allergies (Lee. et *al.*, 2000 ; Lee et *al.*, 2002 cité par Feugang, 2006), et comme anti urique et diurétique par son effet efficace sur l'hypertension (Galati, et *al.*, 2002).

Le suc extrait par pression à partir des cladodes est conseillé pour le traitement du foie, des rhumatismes, du scorbut et des maladies du rein (Saénz-Hernandez, 1995; Galati et *al.*, 2001). Sous forme de poudre en capsules, les cladodes sont actuellement utilisés pour stabiliser le poids, la glycémie ou pour leur apport en fibres (Stintzing et Carle, 2005)

4.3.1. Effet anti analgésique, anti-inflammatoire et hypoglycémique

De nombreux travaux ont montré des effets analgésiques et anti-inflammatoires. du genre *Opuntia* [(Middleton et Kandaswani, (1992); Loro et *al.*, (1999) ; Galati et *al.*, 2001)]. L'action anti-inflammatoire serait liée selon Park *et al.*, cités par Feugang, (2005) au beta-sitostérol des extraits de cladodes.

De nombreuses recherches ont conclu à l'effet antidiabétique (type II) des cladodes, c'est d'ailleurs le végétal le plus recommandé pour la réduction de la glycémie Cicero et *al.*, (2004). L'activité hypoglycémique des extraits de cladodes a été largement mise en évidence. En effet, la dose orale de l'extrait, à raison de 1mg/kg de poids et par jour de farines de cladodes lyophilisée recommandé pour le control du diabète, est inférieure à celle préconisée pour l'insuline pour un effet équivalent [(Ibanez-Camacho et Roman-Ramos : (1979); Trejo-González (1996) cité par Feugang (2006)].

Les flavonoïdes présents dans les cladodes ont montré qu'ils possèdent des propriétés antioxydants (Gil et *al.*, 2000) et antimutagènes (Kuti, 2004), Parmi ces flavonoïdes, la quercétine 3-methyl, présente dans les fruits et cladodes ; apparaît comme un potentiel neuroprotecteur. (Dok-Go et *al.*, 2003 cité par Feugang, 2006) Alors que les extraits de fleurs limitent les effets dus aux prostatites bénignes (hyperplasia BPH).

4.3.2. Effet anti ulcère et anti cancérigène

Lee et *al.*, (2001,2002) cité par Stintzing (2005) rapporte que la poudre de fruit et de cladodes d'*Opuntia ficus indica* var. *saboten Makino* réduit les lésions gastriques (l'ulcère), alors que Yoshida et *al.*, (1990) et Dragsted et *al.*, (1993) ont observé un effet anti cancérigène.

Plus tard Galati et *al.*, (2001,2002) qui confirme ces résultats, attribue l'effet protecteur aux hydro colloïdes. Ces derniers se comportent comme un tampon, vis à vis de l'agent éthanol responsable des nécroses. D'après Galati et

al., (2001) , en recouvrant la surface des muqueuses gastriques, le mucilage stimule la réponse des muqueuses pour la synthèse de mucus.

C'est le gel formé par ces hydrocolloïdes qui contribue à la cicatrisation d'une plaie comme c'est le cas avec des préparations à partir de *l'Aloe vera*. Reynolds et Dweck (1999)

4.3.3. Effet Antiathérogène, antiurique et diurétique

L'effet antiathérogène de la pulpe de *l'Opuntia robusta* se manifeste selon Budinsky et *al.*, (2001) par la diminution du taux d'isoprostane dans l'urine, sérum et plasma ce qui est un indicateur du stress oxydatif.

Dragsted et *al.*, et Yoshida et *al.*, 1990 ont observé un effet diurétique des cladodes et un effet sur le métabolisme de l'acide urique. L'effet diurétique qui a été également observé par Galati et *al.*, (2002) chez les rats, peut être provoqué par l'ingestion des fleurs, cladodes et notamment les infusions de fruits. L'effet diurétique est imputé principalement à la forte teneur en potassium des cladodes qui atteignent jusqu'à 548 mg / kg (Feugang, 2006).

4.3.4. Effet Anti- hyperlipidémie and hypercholestérolémique

Les cladodes comme les fruits ont aussi un rôle hypocholestérolémiant [(Aldo, 1982; Frati et *al.*, 1990; Fernandez et *al.*,(1990 et 1992) ; Michel, 1998 et Cárdenas Medellín et *al.*, 1998)]. L'effet antihyperlipidique est lié à la présence de la pectine.

Le cactus réduit le taux de cholestérol dans le sang et modifie la composition LDL (lipoprotéine basse densité), taux de lipides, propriété fibrinogène, le glucose du sang, la sécrétion de l'insuline (Dragsted et *al.*, et Yoshida et *al.*, 1990 ;Wolfram et *al.*, cité par Stintzing, (2005); Galati et *al.* (2002b) cité par Feugang, 2006) D'autres travaux rapportés par Stintzing (2005) et Feugang (2006) confirment la réduction des taux de cholestérol, LDL et triglycéride du plasma par les cladodes intégrés à la ration alimentaire des rats.

Alors que d'autres auteurs comme Jones (2000) complètent ces observations en mettent en évidence le rôle des stérols composant l'insaponifiable des huiles dans la diminution du LDL, Ennouri et *al.* (2004) vont dans le même sens en confirmant ces résultats, par l'observation d'une diminution du cholestérol total et du LDL suite à l'additionnant de l'huile de grains d'*Opuntia* dans les rations des rats à raison de 25g/kg.

Mais en général, l'effet sur l'hyperlipidémie et le catabolisme de LDL (lipoprotéine faible densité) est attribué à la haute teneur en fibres auxquelles s'ajoutent les effets des autres constituants actifs comme les carotènes, vitamines E, beta-sitostérol selon d'autres auteurs cités par Stintzing,(2005).

D'après Mulas, (1993), une consommation quotidienne de 250 g de pulpe de figuier de barbarie réduit le risque de thrombose chez les patients souffrant d'hyperlipidémie et du diabète. Alors que Bwititi, (1997) rapporte que son potentiel de traitement de la goutte est prometteur.

4.3.5. Effet antiviral et antitoxine

Un effet antiviral a été observé par Ahmad *et al.*, (1996) ; selon cet auteur l'administration d'un extrait de cladodes (*Opuntia streptacantha*) aux rats, chevaux et à l'homme inhibe la réplication des DNA et RNA de certains virus comme le Herpes virus Type 2, le virus de la grippe.

Récemment, il a été également mis en évidence par Zorgui *et al.*, (2009) une activité antitoxique des constituants des cladodes sur les mycotoxines type zéaraléone. Alors que Galati *et al.*, (2005) a observé un effet protecteur des jus de cactus vis-à-vis des tétrachlorures de carbone (CCl₄) responsable de la toxicité hépatique chez le rat.

Ncibi1 *et al.*, (2008) confirme l'effet antitoxique de l'extrait de cladodes d'*Opuntia ficus indica* induits par chlorpyrifos (CPF) insecticide organophosphoré et hépatotoxique, ce qui confirme la présence de substances bioactives réduisant ou inhibant les effets de cet insecticide.

4.4. Utilisation, transformations et perspectives économiques pour *l'Opuntia ficus indica*

4.4.1. Utilisation alimentaire et transformations

En plus de l'utilisation fourragère exploitée traditionnellement comme appoint dans de nombreux pays pendant les saisons creuses, on assiste actuellement à son introduction dans les rations des exploitations d'élevage grâce à une culture intensive de la plante. C'est ce qui a permis une intégration de l'opuntia dans la sphère de l'économie agricole. Les possibilités d'utilisation alimentaires en plus de celles du fruit frais ou non alimentaires ouvrent désormais de nouvelles perspectives même si elles restent encore marginales.

Au Mexique, les « nopalitos » ou jeunes cladodes qui connaissent un intérêt croissant sont exportés essentiellement aux U. S. A et dans une moindre proportion en Europe et Asie. Les jeunes cladodes fraîches sont nettoyés des épines et glochides et emballés pour la commercialisation et la transformation (Kantwell, 1991).

L'utilisation en tant que culture maraichère est pratiquement très peu exploitée au Maghreb si l'on excepte les tentatives récentes menées au Maroc pour la production de conserves de « nopalitos » ou circonscrite à des aires limitées.

Les préparations traditionnelles ou avec des moyens encore peu élaborés à partir des fruits et des cladodes peuvent connaître un développement des procédés technologiques grâce à l'ouverture du marché et la connaissance du potentiel de cette plante. Nous résumons ci-après quelques unes des diverses possibilités d'utilisations rapportées par les spécialistes et auteurs:

- l'utilisation du fruit permet la préparation des boissons alcooliques, jus et nectars, des marmelades, gelées, vinaigres, conserves de fruits en tranches, fruits et pulpes congelés.
- A partir des cladodes (figure 6) sont produits: salmueras (produits salés), nopalitos en sauce, confitures et gelées, mucilage de cladodes, fibres alimentaires de cladodes,

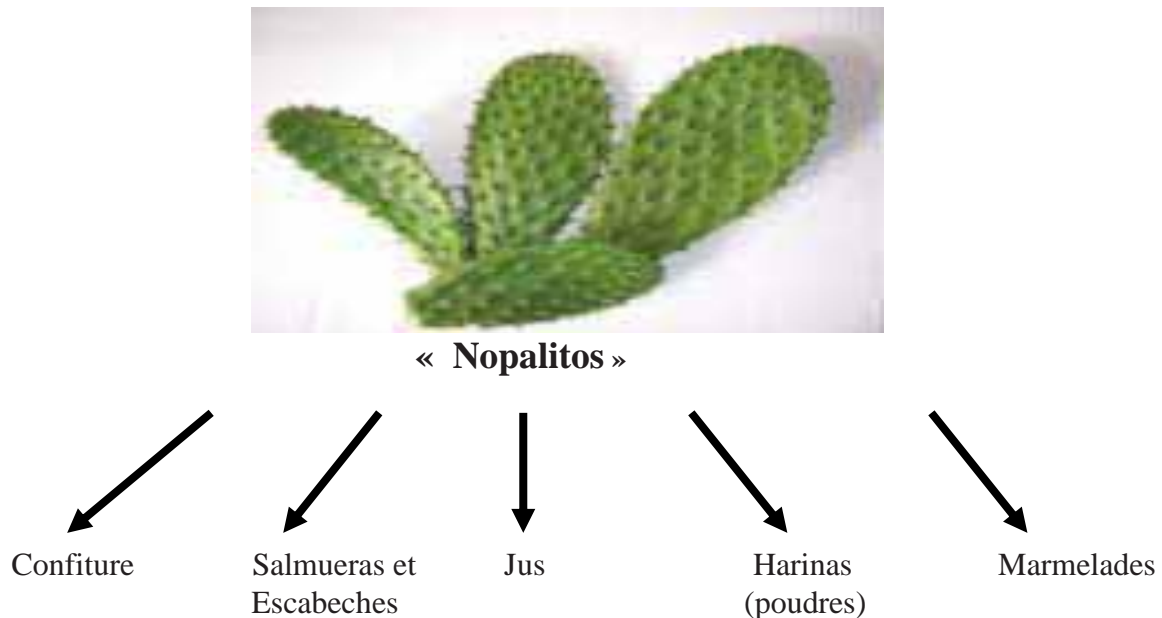


Figure 6 : photos de “nopalitos” frais et utilisations (Source : Saenz C., 2006)

- utilisation des cladodes ou des résidus de l'exploitation de fruit (pelures, grains) pour la complémentation et fabrication des aliments du bétail,
- préparation des mucilages ou poudres de cladodes (harinas avec des cladodes de 2 à 3ans) dans l'industrie pharmaceutique pour une utilisation dans la prévention des ulcères gastriques, la réduction de la glycémie et du cholestérol- LDL et pour faciliter le transit intestinal,

- pour la production d'ingrédients naturels riches en fibre recherché pour leur effet diététique,
- pour la préparation des additifs comme les pectines à partir des cladodes ou pelures de fruits, des colorants: betaxanthine (coloration jaune) et la betacyanine (coloration rouge) (Castellar et *al.*, (2003) ; Sáenz A.M. et *al.* (1998)) et des édulcorants naturels issus du fruit.

4.4.2. Utilisation non alimentaire

On résume ici les utilisations et transformations suscitant le plus d'intérêt :

- production d'éthanol de façon rentable à partir de la fermentation des cladodes ayant subi les traitements préalables par l'acide chlorhydrique 1N et hydrolyse enzymatique (cellulase),
- utilisation des mucilages comme agent de purification de l'eau selon Saenz C. et *al.*, 2004 citant une récente étude menée à Cuba par Lopez, (2000). Ce traitement permet aussi d'éliminer les métaux (Fe^{2++} , Al^{3+} , Mn^{2+}), les coliformes totaux, sans laisser d'odeur désagréable. Les paramètres : turbidité (NTU), couleur et l'index de Willcom confirment le rôle clarifiant des mucilages.

Citant différents auteurs, Stintzing et *al.*, (2005) rapportent les possibilités d'utilisation comme agent de protection contre la corrosion. Alors que Trachenberg et Mayer, (1982) citent notamment les possibilités d'utilisation dans la production d'emballages, des adhésifs, du papier, du caoutchouc. L'utilisation en cosmétique comme additif dans les shampoings, savons, gels pour cheveux, crèmes solaires est déjà exploité, elle est rapportée par de nombreux auteurs (Warschkow, 1994, cité par Stintzing, 2005) et Saenz C., (2005).

La production de carmin (colorant rouge répertorié E 120; C.I. rouge naturel 3) à partir des cochenilles qui prolifèrent sur les cladodes, a connu un déclin radical avec moins de 400Tonnes (Stintzing, 2005) après la découverte des colorants synthétiques et l'utilisation d'autres pigments naturels de plantes (Mizrahi, et *al.*, 1997). Selon Pimienta, (1990) ; Barbera, (1995), la tendance « bio » peut encourager la reprise de cette production durant les prochaines années.

4.4.3. Perspectives économiques

En plus de son rôle écologique permettant de limiter la dégradation des écosystèmes fragiles des régions semi-arides et arides, l'*Opuntia* utilisé comme

appoint fourrager peut s'intégrer à part entière dans les systèmes d'élevage avec un apport qui peut constituer au moins 25 à 30% de la ration alimentaires.

Les données et connaissances acquises confortent les possibilités de valorisation des cladodes comme aliment pour la population et comme potentiel médicinal et technologique, pour les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. Ce qui ouvre des perspectives de développement et de protection des régions arides et leur réhabilitation par la reconstitution des sols. Ces perspectives vont ainsi justifier et encourager les populations concernées à participer à la dynamique de développement de ces régions grâce par la diversification de l'exploitation de la plante.

Avec les fleurs et les fruits, l'exploitation de l'*Opuntia* peut jouer un rôle économique important notamment pour les populations rurales par l'apport d'un revenu complémentaire et leur stabilisation dans leur région.

Ainsi, ce large éventail de possibilités d'exploitation, démontre tout l'intérêt du figuier de barbarie (*Opuntia*). Le développement des technologies industrielles pour son exploitation, représenterait par conséquent un grand défi comme l'a souligné Mataoui et *al.*, (2002) et elle connaît déjà un début prometteur et encourageant.

PARTIE II :
EXPERIMENTATION ET RESULTATS

Chapitre I:

Composition des cladodes et valeur alimentaire

Chapitre I : Composition des cladodes et valeur alimentaire

1.1. Matériel d'étude

Les cladodes (ou raquettes) de variétés épineuses ont été prélevés au niveau de la région steppique de Djelfa périmètre de Ain- Oussera. Alors que les cladodes de variété inermes proviennent de la région de Blida, au piémont de montagne de Bouarfa (Algérie). La température moyenne de cette zone est de 22 à 24°C. Les mois les plus chauds atteignent 26 à 33°C, et les plus froids, 0 à 7°C. La pluviométrie moyenne est de 500 mm.

Les prélèvements des cladodes a été réalisé durant les mois d'avril et mai 2002 puis en 2006 pour seulement les variétés inermes, dans tous les cas ils sont réalisés en trois fois. Les lots ont été prélevés au hasard sur 10 pieds et classés selon leur poids et dimensions en 3 et 5 stades de croissance (Tableau 7a et 7b). Le prélèvement a été limité aux cladodes dont l'âge est compris entre 1 et 3mois et les cladodes retenues ont un poids inférieure à 740g.

Tableau 7a : Répartition des cladodes d'*Opuntia ficus indica* variétés inermes et épineuses selon le stade de croissance (prélevés en 2002)

Stades de croissance	Poids des raquettes en grammes
Stade 1 (G1)	poids des raquettes < 100g
Stade 2 (G2)	poids des raquettes 130 - 340g
Stade 3 (G3)	poids des raquettes > 340 -740 g

G1 : stade jeunes

G2 : stade moyen

G3 : stade âgé (moins de 6mois)

Tableau 7b: Répartition des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inermes selon le stade de croissance et dimensions - poids – (prélevés en 2006)

Stades de croissance	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Poids frais (g)
STADE 1	12,5 ± 0,77	6,47 ± 0,95	34,67± 3,51
STADE 2*	15 ± 2,11	8,10 ± 0,50	60,23 ± 9,51
STADE 3*	20,19 ± 2,00	9,28 ± 0,75	105,0 ± 14,35
STADE 4	24,50 ± 2,2	11,83± 0,88	173,6 ± 20,21
STADE 5	30,05 ± 2,00	13,65± 0,58	342,5 ± 24,54

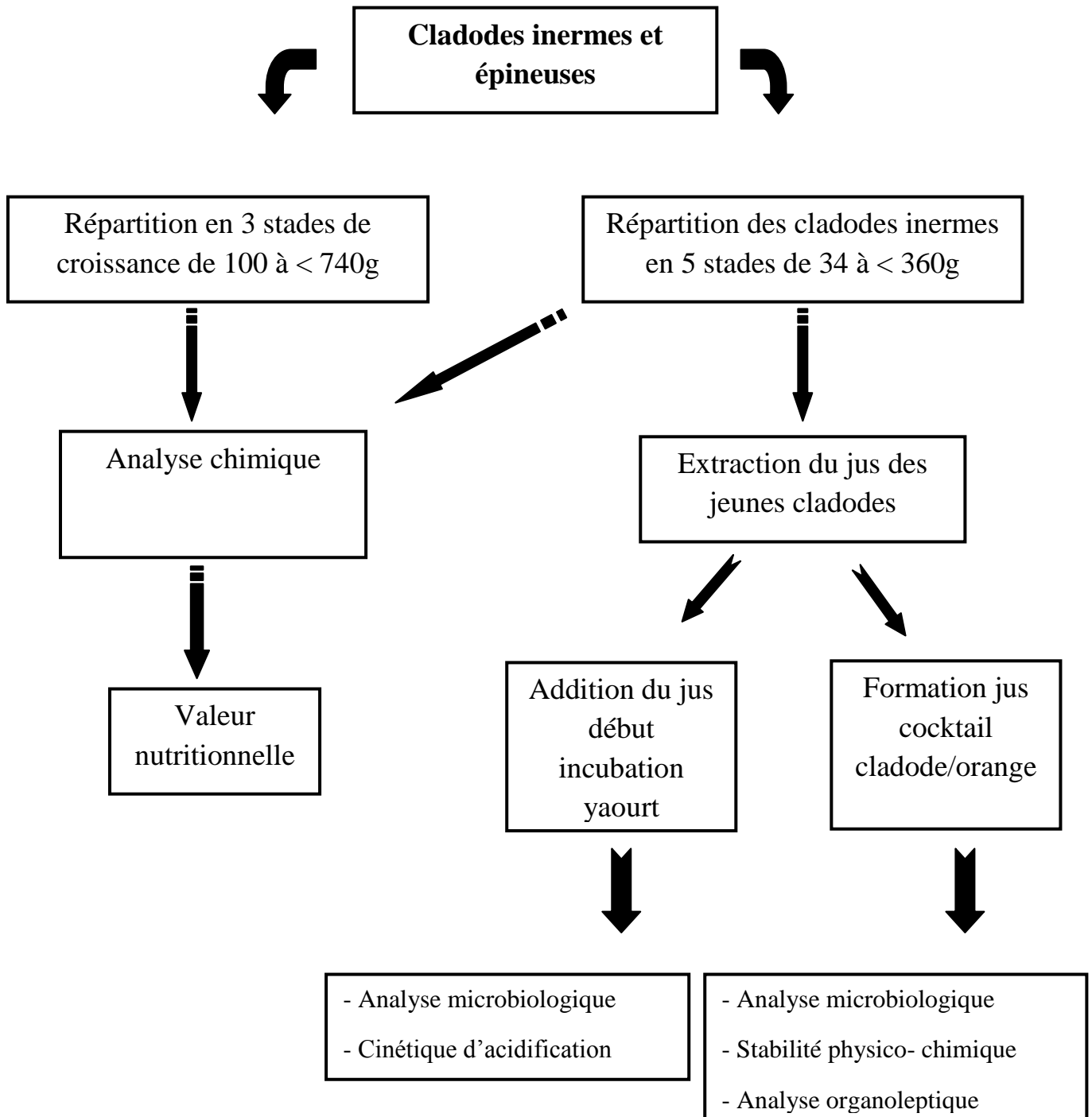
(Stades 2 et 3*: taille moyenne correspondant aux " nopalitos" utilisés au Mexique et Chili)

Les échantillons prélevés 2 à 3 heures après la levée du soleil, sont pesés puis mesurés avant d'être nettoyés avec l'eau javellisée et conservés individuellement dans des sachets à une température de 4° à 6°C puis analysés de suite ou après 2 jours au maximum.

1.2. Protocole et Méthodes expérimentales

a) Schéma du protocole

Le protocole expérimental adopté peut être schématisé ainsi



b) Méthodes d'analyses

La teneur en eau a été déterminée par dessiccation des échantillons dans une étuve ventilée à une température de 105°C jusqu'à obtention d'un poids constant. Méthode de référence AOAC (1990).

La teneur en cendres (Matières Minérales :MM) exprimés en % de MS a été déterminée par minéralisation de 2g de matière sèche préalablement réduite en poudre, à 550°C pendant 3 heures (selon AFNOR NFV 03 -76).

Le taux de fibres brutes a été déterminé selon la méthode Weende (AFNOR NF V03-040) et l'azote total selon la méthode Kjeldahl (AFNOR NFV 03-05). Les résultats ont été exprimés en % de la matière sèche (MS).

Les sucres hydrosolubles totaux ont été dosés selon la méthode au phénol acide sulfurique (Dubois, 1956). La méthode consiste à porter 10g d'échantillon broyé à ébullition en présence de 300 ml d'eau et 3g de carbonate de calcium pendant 30mn. Après purification de la solution par l'acétate de plomb et l'oxalate de potassium pour éliminer toute trace de plomb. A 1ml du filtrat préalablement dilué (10 fois) est additionné 5ml de phénol à 5% puis après agitation 5ml d'acide sulfurique concentré et continuer l'agitation après un repos mettre la solution au bain marie à 30°C pendant 15mn, refroidir. Après 30mn relever la DO à 490nm contre un blanc de référence. Les résultats sont exprimés en % MS par rapport à une gamme étalon de glucose.

Le dosage des sucres réducteurs est réalisé par la méthode au DNSA (Acide dinitrosalicylique), Celle-ci consiste à procéder à l'extraction des sucres par l'eau (1g de cladodes /50ml d'eau) sous agitation en va et vient pendant 30mn. Après centrifugation puis une deuxième extraction, il est procédé à la préparation de dilutions. A 1ml de solution prélevée est additionné 2 ml de DNSA. Après agitation puis chauffage au bain marie bouillant pendant 5 à 7mn et refroidissement, 20ml d'eau sont ajoutés. La densité optique est lue à 540nm contre un essai à blanc et les résultats sont exprimés par rapport à une gamme étalon de glucose de 0,1 à 1g/l. les résultats sont exprimés en % MS.

Le dosage de l'acidité titrable a été réalisé selon la méthode normalisée NFV05-101 (janvier 1974) qui consiste à doser l'acidité avec NaOH 0,1N en présence de d'indicateur (phénophtaléine) et les résultats sont exprimés en milliéquivalent pour 100 mL.

La vitamine C (acide ascorbique) a été dosée selon la méthode de SARKAR (1994).qui consiste à oxyder la vitamine C par le dichromate de potassium 0,1M dans un milieu acide sulfurique 9M :

-à 10 ml de jus obtenu par broyage des cladodes sont ajoutées 10ml d'acide trichloracétique à 20%, après homogénéisation la solution est filtrée.

-à un volume de 10ml de filtrat, est ajouté 1ml d'acide sulfurique et 5 ml de dichromate de potassium.

-un témoin est préparé en utilisant 10ml d'eau distillée à la place du jus.

Les solutions sont portées à une température de 80°C au bain marie pendant 20 mn, puis refroidi et on détermine leur densité optique à 582nm sous 1cm d'épaisseur.

Les résultats sont exprimés en mg d'acide ascorbique par rapport à une gamme étalon d'acide ascorbique de 0,1 à 1 g /l en mg d'acide ascorbique pour 100g de poids frais (PF).

Le dosage des polyphénols totaux dans les cladodes a été réalisé après extraction par soxhlet par 250ml de solution méthanol /acétone (30/70) à partir de 5g d'échantillon frais pendant 180mn à 80°C, par le réactif de Folin-Ciocalteu à 760nm. A 0,2ml de la solution diluée est additionnée 1ml de réactif de Folin puis la solution est complétée par le carbonate de sodium (Na₂CO₃) à 4,25% jusqu'à 20 ml puis la solution est laissée au bain marie à 70°C pendant 20mn la densité optique est relevée après 30mn, un blanc est préparé dans les mêmes conditions à chaque fois Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par 100g de PF (Poids frais).par rapport à une gamme étalon.

La teneur en tanins condensés hydrosolubles a été déterminée sur le même extrait selon Joslyn, (1970) avec le réactif Folin-Denis à 760nm ; Les résultats ont été exprimés en mg d'acide tannique pour 100g PF. (Protocole détaillé en annexe 2).

La teneur en pigments (chlorophylles et caroténoïdes) a été déterminé selon la méthode de Lichtenthaler (1987) qui consiste à extraire les pigments par l'acétone à 80% (2g de cladodes fraîches/100ml), le mélange est centrifugé à 3000G. L'absorbance de la solution recueillie est lue aux longueurs d'onde : $\lambda_a = 647\text{nm}$, $\lambda_b = 663\text{nm}$, $\lambda_c = 470\text{nm}$ contre un blanc de référence et les résultats exprimés en mg/100g PF. Selon les équations :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = 12,25.\text{DO } \lambda_b - 2,79 \text{ DO } \lambda_a$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 21,5. \text{DO } \lambda_a - 5,1 \text{ DO } \lambda_b$$

$$\text{Chl a + Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 7,15\text{DO } \lambda_b + 18,71 \text{ DO } \lambda_a$$

$$\mathbf{C (x + c) = \frac{1000.\text{DO}\lambda_c - 1,82\text{Chl a} - 85,02\text{Chl b}}{198}}$$

198

En $\mu\text{g/ml}$

X xanthophylles ; C : carotène

Le spectrophotomètre utilisé pour l'ensemble des dosages est de marque UV mini 1240 SHIMADZU.

Le dosage des éléments minéraux a été effectué par spectrophotométrie de masse et le phosphate par colorimétrie.

Toutes les analyses et pour chaque stade ont été répétées trois fois.

L'analyse statistique a été effectuée selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% avec le logiciel STATITCF. Si la probabilité est supérieure ou égale à 0.05, l'effet n'est pas significatif.

1.3. Résultats et discussion

1.3.1. Composition chimique et comparaison des variétés épineuses et inermes

La variété épineuse a un taux de matière sèche (MS) supérieur à celui des variétés inermes quelque soit le stade de croissance. La faible teneur en matière sèche au dernier stade G3 (Tableau 8 et 9) s'explique par l'évolution des constituants anatomiques avec la formation du mucilage qui retient l'eau dans les tissus et par la formation d'une cuticule épaisse qui limite l'évaporation de l'eau.

La matière minérale est importante quelque soit le stade de croissance même si elle est légèrement plus élevée chez la variété épineuse avec 23,87 % de la MS alors que celle inerme est à 22,24 % de la matière sèche (MS) au dernier stade. Ainsi nos résultats sont comparables à ceux donnés par Tegegne (2001) et Ayadi *et al.*, (2009) pour des cladodes de 2 ans (25,65 et 23.3 % MS). Cette teneur est cependant moins élevée que celle observée par Nefzaoui et Chermiti (1991).

Tableau 8 : Composition chimique des raquettes *d'Opuntia ficus indica* var. inerme en fonction du stade de croissance

Stade	Composition chimique en % de la MS moyenne de 3 répétitions										
	MS	MM	CB	MAT	MG	ST	P	K	Na	Mg	Ca
G1	5,7	17,01	8 1	3,88	2,03	2,45	0,13	1,85	0,0035	1,2	5,08
G2	7,83	21,0	12,11	3,05	1,87	21,32	0,087	1,39	0,015	2,83	6,85
G3	4,53	22,24	17,3	1,84	0,97	29,87	0,05	0,32	0,017	3,23	7,61

G1 petite

G2 moyenne

G3 : grande

Tableau 9: Composition chimique des raquettes *d'Opuntia ficus indica* var. épineuse en fonction du stade de croissance

Stades	Composition chimique en % de la MS										
	MS	MM	CB	MAT	MG	ST	P	K	Na	Mg	Ca
G1	11,86	18,65	10,2	3,67	1,2	7,7	0,09	1,32	0,012	0,98	4,86
G2	10,61	20,41	13,3	2,61	0,91	30,27	0,067	1,15	0,0025	1,36	5,34
G3	5,61	23,87	19,15	0,40	0,5	35,8	0,011	0,15	0,018	2,80	6,70

G1 petite taille

G2 taille moyenne

G3 : grande taille

La composition minérale des échantillons met en évidence la richesse des cladodes des deux variétés en Ca (4,86 à 7,6 % de la MS) ; Mg (0,98 à 3,23 % MS) ; K (0,15 à 1,82 %) ; Cu (9,98 à 15,77mg/kg MS) ; par contre les minéraux P, Na sont peu représentés ce qui est à l'origine du déséquilibre du rapport Ca/P limitant l'utilisation fourragère sans correction.

Les raquettes (ou cladodes) les plus jeunes montrent un meilleur rapport entre les éléments. L'importance de chaque élément montre que ces résultats sont proche de ceux rapportés par Nefzaoui et Bensalem (1995) et Ben Salem (2005) qui avancent pour Ca^{++} (5-7 % MS) ; Mg^{++} (1,06 - 1,26 %) ; K^+ (0,35 - 1,4 %) ; Cu^{++} (12,1 – 17,6 mg/kg de MS) Alors que pour les cladodes (de 6mois, 1 an) dans les conditions de l'Ethiopie, Tegegne observe le même ordre d'importance et évolution pour le calcium, potassium et magnésium. Par contre nos résultats diffèrent de ceux obtenus récemment en Tunisie par Ayadi et *al.*, (2009) et au Mexique par De Chavez et *al.*, (1995) où le potassium est le plus abandon des minéraux suivi par le calcium.

Les cladodes inermes que nous avons étudiés sont cependant plus riches en calcium que celles épineuses (tableau 8 et 9) même si les différences de teneur sont moins importantes comparées à celles observées par Ayadi (2009). Le magnésium troisième élément de par son importance a une teneur plus faible chez les cladodes étudiés par Ayadi avec 0,19 g/100gMS, par contre leurs teneurs en phosphate, sodium sont plus élevés avec respectivement 0.15 et 0.4 g/100gMS que celles observés dans nos échantillons (au maximum : 0,13 et 0,012% par rapport à la MS) Selon Ayadi et *al.*, (2009) les variétés tunisiennes épineuses et inermes ne montrent pas de différence significative pour la composition en K^+ , Mg^{++} , Na^+ , P, alors que pour nos variétés (Algérie) la teneur en ces éléments est toujours plus importante chez les variétés inermes. Ces différences peuvent s'expliquer par les différences entre écotypes.

Tegegne a observé que la teneur en calcium et potassium diminue selon l'âge des cladodes contrairement à celle du magnésium. Retamal *et al.*, (1987) notent aussi la composition élevée en magnésium de *l'Opuntia ficus.indica*. Alors que dans nos échantillons inermes ou épineux (de moins de 3 mois), le calcium et magnésium augmentent avec l'âge contrairement au potassium qui tend à diminuer puis à se stabiliser en cours de croissance.

Le potassium est plus important chez les jeunes cladodes, avec 0,37- 0,38 g/100g de matière sèche que chez les cladodes âgées avec 0,17 g/100g MS selon Tegegne, ce qui concorde avec nos résultats et ceux de Retamal *et al.*, (1987) pour les jeunes cladodes. Cette teneur reflète selon Nobel (1983) l'importante activité métabolique des jeunes cladodes en pleine croissance.

La teneur en azote total est faible dans les cladodes d'opuntia aussi bien chez les variétés épineuses qu'inermes. Mais en Tunisie, cette teneur est plus élevée pour les deux variétés inermes et épineuses (Ayadi, 2009) soit respectivement 8,88 et 8.74 g pour 100g de matière sèche, Cette teneur est encore plus élevée chez les variétés cultivées au Mexique selon Rodriguez-Felix *et al.*, (1988) qui l'estiment à 13,25 % alors que Retamal *et al.*, (1987) ont observé une plus grande variation de cette teneur, ce qui montre que l'azote total n'est pas toujours un handicap pour la plante.

Les variétés épineuses ou inermes de nos échantillons, ont montré une teneur inférieure à 3,88 g/100g MS et qui diminue avec l'âge jusqu'à 1,88 et 0,4 g/100g, résultats comparables à ceux de Ben Salem *et al.*, (2005) ou la teneur maximale atteint 3.3 /100g de poids sec, la différence de composition peut être lié aux conditions édaphiques plus qu'à l'effet variété (Adli, 2006). Ces résultats sont comparables à ceux de Tegegne dans les conditions de l'Ethiopie et à ceux données par Nefzaoui et Chermiti (1991) soit 2 à 4,6%. Par contre, Gregory et Felker (1992) cité par Tegegne n'observe pas une différence de teneur en protéines quelque soit l'âge des cladodes.

Les jeunes raquettes sont donc les plus intéressantes pour l'alimentation des animaux et se rapprochent de la paille de céréales qui a une teneur moyenne de 3,5% (INRA 1988). Ce déficit est corrigé grâce à l'apport de différentes sources azotées : Atriplex et Acacia pour les animaux des zones steppiques et par le tourteau de différentes provenances ou légumineuse pour l'élevage intensif destiné à la production laitière ou de viande (Sagi, 1988 Ferrah, 1994 cité par Rebiha, 2006). Cette utilisation dans la ration de l'élevage laitier moderne, a montré un impact économique intéressant.

Comme dans la plupart des fourrages, la teneur en matière grasse est faible. Cette teneur qui représente en moyenne 1,3 à 2,3 g/100 g de MS

(Manjouze et Lehouerou, 1966; Riviere, 1991; Kartez, 1996) diminue avec l'âge.

Cependant les raquettes épineuses et inermes de 2 ans étudiées par Ayadi (2009) montrent des teneurs plus élevées en matière grasse avec respectivement 3.95 et 4.69%. Cette différence de teneur apparaît encore plus importante chez les cladodes inermes et épineuses étudiés par Rodriguez-Felix et *al.*, (1988) et Malainine et *al.*, (2003) avec respectivement de 2,4 et 7.2/100 g de MS.

Par contre les sucres totaux, sont bien représentés chez les deux variétés avec des teneurs qui augmentent avec l'âge des cladodes. Cette teneur atteint 29 à 35 g/100g MS pour les raquettes âgées des deux variétés (stade :G3). Pour les jeunes cladodes, on observe des teneurs de 2,5 à 7 g/100g MS, taux qui sont comparables à ceux d'autres fourrages et légumes (Tableau 7).

La cellulose qui présente un grand intérêt dans l'alimentation animale est supérieur à 17 g/100gMS pour les cladodes dont le poids est supérieur à 340g pour les cladodes de poids inférieur à 340g il est compris entre 13 et 8,1 g/100 g MS.

Tableau 9a : Teneur en vitamine C en mg/100g de MF

Stades et poids	Var épineuse	Var inerme
G1 < 100g	11,31	13,06
G2 : 130 – 340 g	7,4	9,26
G3 > 340 -700 g	1,22	2,78

Les cladodes de poids de 340 -700g plus mucilagineuses et moins tendre (19% de cellulose) et moins pourvus en acide ascorbique avec moins de 2mg sont de moindre intérêt alimentaire. Mais elles présentent un potentiel intéressant pour les IAA, l'alimentation du bétail, et comme source de fibres.

Ces données même partielles indiquent tout l'intérêt que présentent les cladodes inermes, mieux pourvues en magnésium, potassium et calcium que les cladodes épineuses lorsque le poids est inférieur à 340g (Stades **G1 et G2**), d'autre part, elles sont tendres et moins mucilagineuses et plus riches en acide ascorbique avec des teneurs de 7 à 13 mg/100gMF.

Ces stades de croissances qui présentent un intérêt pour l'alimentation humaine en raison d'une composition proche de celles des légumes d'après les données de Tirilly et Bourgeois (1999) et leur apport en fibres alimentaires, ont

justifié une approche plus précise pour l'évaluation de leur valeur alimentaire et leur exploitation.

Même si la composition des stades **G1 et G2** des deux variétés présente des similitudes, l'exploitation de la variété inerme pour les besoins alimentaires ou non alimentaires est facilitée. C'est pourquoi la suite de nos travaux n'a porté que sur la variété inerme.

1.3.2. Valeur nutritionnelle des cladodes inermes selon la croissance

Afin de cerner et préciser la valeur nutritionnelle optimale, les travaux ont été réalisés sur cinq stades de croissance de cladodes inermes au cours de l'année 2006 (Bou Arfa BLIDA).

Ces travaux devant préciser les stades de croissance les plus appropriés à une exploitation alimentaire des cladodes dont l'âge est inférieur à 3 mois.

Ci-après un aperçu des jeunes cladodes récoltés



Figure 7: une vue des cladodes inermes utilisées pour l'expérimentation (origine : région de Blida -2006)

1.3.2.1. Composition chimique en constituants majeurs

Les jeunes cladodes de poids 34 -342 g sont riches en eau, avec une teneur moyenne de 93 %. Ce taux est toutefois légèrement supérieur à celui des cladodes de même caractéristiques (20 cm de long) donné par Rodríguez-Felix et Cantwell, (1988) soit 91,7g d'eau et à celui des cladodes plus âgées (6 mois et 2 ans), étudiées par Tegege (2001) et Ayadi et *al.*(2009) avec 90.88% et 91.04%.

La teneur en matières minérales qui est importante dans les cladodes de moins d'un an, varie de façon significative passant de 12,00 à 15,49% par rapport à la matière sèche (Tableau 10). Elle est proche de celle observée au

Mexique 15.7% de la MS (Rodríguez-Felix et Cantwell, (1988) et au Maroc et Tunisie (Poudevigne, 1988; Tijani ,2000).

Pour des raquettes âgées de 2 ans, cette teneur atteint plus de 25% de la matière sèche (Nefzaoui et Chermiti, 1991 Ayadi et *al.*2009).

Tableau. 10 : Composés majeurs des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme provenant de la région de Blida

constituants	Stades de croissance					
	1	2	3	4	5	p<0,05
Teneur en eau en% PF	92,37±1.60	93,46 ± 1,82	93,61 ± 0,46	94,02 ± 0,45	94,44± 0,49	DNS
Matières Minérales en % /MS	12,00±0,27	13,81 ±0,38	13,84 ±0,20	13,99 ±0,05	15,49±0,54	DS
Fibre brute en% MS	8,84 ±1,45	9,15 ± 0,98	9,73 ± 0,49	10,95 ±1,23	11,62±0,65	DS
sucres totaux en % MS	1.65±0.40	4,91±1,81	5,79±1,94	7,52± 0,58	8,79±0,18	DS
Sucres réducteurs % MS	1,13±0,18	1,53±0,03	1,95±0,04	2,22±0,12	4,01±0,45	DS
Matière azotée totale en % MS	2,4± 0,41	2,36.± 0,26	2,51± 0,05	3,67±0,46	3,69±0,69	DS
Acidité titrable en %	0,21± 0,04	0,25± 0,01	0,33± 0,01	0,42± 0,02	0,52± 0,04	DS

DNS : Difference non significative ; DS : Difference significative

La teneur en cellulose brute (fibres) dépend du stade de croissance. Elle augmente de façon significative passant de 8,84 à 11.62% de MS dans les cladodes plus âgées du stade 5 ($p < 0,05$), Ces valeurs sont comparables à celles de moins d'un an étudiées par Nefzaoui et Chermiti (1991) Mais restent supérieures à celles de la laitue et de l'épinard qui contiennent moins de 3%. Lorsque les cladodes sont plus âgées on observe une diminution du taux par rapport à la matière fraîche en raison de l'importance de l'eau retenue (Rodríguez-Felix et Cantwell, 1988).

Les sucres totaux augmentent de façon significative en fonction du stade de croissance passant de 1,66 à 8,80 g/100 g MS au stade 5. Ils sont indicateurs de la valeur énergétique des cladodes. La même tendance a été observée par

Rodríguez-Felix et Cantwell, (1988). Quand aux sucres réducteurs, ils varient de façon moins marquée au cours de la croissance. Leur teneur augmente de 1,13 au stade 1 à 4,01 % de la MS au stade 5. Cette faible teneur notamment pour les trois premiers stades, limite les risques de brunissement lors des traitements thermiques. On remarquera que la teneur en sucres totaux est plus faible que celle des premiers prélèvements sauf pour les cladodes les plus jeunes G1.

La teneur en azote reste faible au niveau des jeunes cladodes, comme dans la plupart des légumes et fruits. Elle varie de 2,4 à 3,69 g/100 g MS en moins de 4 mois ($p < 0,05$) ; d'autres auteurs ont observé que cette teneur diminue après un an et dépend notamment de la nature des sols et de la fumure apportée (Rodríguez-Felix et Cantwell, 1988, Nefzaoui et Ben Salem, 1995; Lehouerou, 1996).

1.3.2.2. Les constituants bioactifs

Tableau 11 : Teneurs en chlorophylles totales et caroténoïdes des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme à différents stades de croissance (région de Blida)

constituants	Stades de croissance					
	1	2	3	4	5	P<0,05
Chlorophylles totales mg/100g PF	3,47±0,21	3,57±0,9	4,09±0,63	04,28±0,9	4,32.±0,38	DNS
Caroténoïdes en mg/100g PF	0,077±0,06	0,062±0, 01	0,056±0,06	0,042±0,04	0,047±0,05	DS

DNS Différence Non Significative ; DS: Différence Significative

La teneur en chlorophylle pigment naturel, dont les dérivés ont un rôle préventif du cancer (Chernomorsky, 1999), varie peu passant de 3,47mg à 4,32mg /100g de matière fraîche (PF) au dernier 5 ($p>0,05$). Cette teneur qui tend à se stabiliser dès le stade 4, est cependant inférieure à celle déterminée par Guevara et *al.* (2001-2003) avec 12,5 -18mg /100g.de PF ; et par Ayadi pour les cladodes inermes et épineuses avec respectivement 13,59 mg/100 g de PF et 12,22 mg/100 g de PF .

Ces résultats montrent par ailleurs que les teneurs en caroténoïdes des cladodes, restent proches de celles des autres légumes, ou les taux sont de 0,01 à 9mg pour 100g de PF (Tirilly et Bourgeois, 1999). Les résultats rapportés par Stintzing et Carle (2005), soit 0,0113 à 0,0535 mg /100 g de PF restent proches des taux obtenus en Algérie (Blida) et en Tunisie avec

respectivement 0,077 - 0,047mg et 0,090mg/100g de cladodes fraîches inermes âgées de moins de 4 mois et plus d'un an.

Les composés phénoliques connus pour leur rôle antioxydant, ont une teneur variant de 41,6 au stade 1 à 23,4 mg /100g de cladodes fraîches (PF) au stade 5. Elle connaît une relative tendance à la baisse en cours de croissance (figure.8). Selon Ayadi (2009), chez les cladodes de deux ans d'âge, la teneur est plus élevée atteignant respectivement 91,04 mg/100g de PF chez les cladodes épineuses et 73,9mg chez les cladodes inermes). D'autres sources citées par Ayadi, rapportent que celle-ci atteint jusqu'à 98mg /100g et serait donc proche de celles des végétaux les mieux pourvus comme les pommes, feuilles d'olivier, citron ou la teneur est de 112mg/100g de PF. C'est ce qui a amené certains auteurs dont Ayadi à conclure que les cladodes seraient une importante source d'antioxydants naturels pour l'avenir. au même titre que les autres sources conventionnelles connues.

Les tanins composés qui sont peu représentés chez les cladodes sont responsables de l'astringence de certains fruits et boissons, (Tirilly et Bourgeois, 1999; Scalbert et Williamson, 2000), leur teneur varie peu avec 6 à 6,75mg en cours de croissance (figure 8).

La teneur en vitamine C des cladodes atteint près de 15 mg/100g (figure 8), ce qui en fait un "légume" comparable aux autres fruits et légumes de large consommation. Cette teneur qui baisse durant la croissance montre que les trois premiers stades sont les plus intéressants (figure 8). Selon De Kock, (1965) et Felker, (1995) la teneur en vitamine C est en général de 10mg/100g de PF et peut atteindre jusqu'à 30 mg.

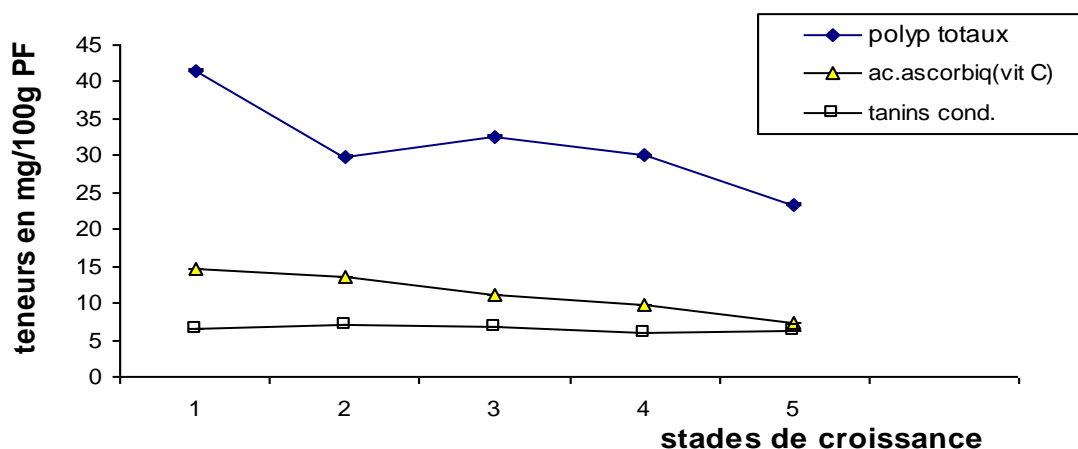


Figure 8 : Evolution de la composition en polyphénols, tanins et caroténoïdes des cladodes.

1.3.2.3. Les minéraux

L'analyse de la composition minérale met en évidence la prédominance du calcium à tous les stades de croissance avec un taux variant de 5,18 à 6,13g % de matière sèche (MS) pour les plus jeunes cladodes (Stade 1 à 3). Cette teneur est plus élevée pour des cladodes dont le poids est égal ou supérieur à 170g.

La teneur en calcium et magnésium est, quelque soit le stade de croissance, plus élevée que celle des feuilles d'épinard avec respectivement 1. et 0,62g/100g PF et de la carotte avec 0,3g et 0,14g % (Tirilly et Bourgeois, 1999; Répertoire générale des aliments, 1996). La teneur en potassium varie de 2,75 à 2,30 / 100g de matière sèche (MS) chez les jeunes cladodes; alors que pour les cladodes de poids plus élevé (4 et 5) la teneur connaît une diminution jusqu'à 1,66 pour.100g de MS. La teneur en magnésium (Mg^{++}), augmente de 1,21 à 1,66% dans les jeunes cladodes (du stade 1 à 3), Ce sont les stades 3 et 5 qui sont les mieux pourvus et donc les plus intéressants (Tableau 12). Les stades 2 à 4 montrent ainsi un meilleur équilibre minéral pour la satisfaction des besoins nutritionnels. La même évolution est constaté par Tegegne (2001) pour les écotypes d'Ethiopie pour K^+ et Mg^{++} On observe également dans les deux pays une faible teneur en P et Na^+ quel que soit l'âge et une diminution en cours de croissance passant pour P de 0,62 à 0,13/ % ($p < 0,05$).

Tableau 12 : Evolution de la composition en macroélément des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, var inerme, à différents stades de croissance (provenant de la région de Blida).

Minéraux g/100g MS	Stades de croissance					$p < 0,05$
	1	2	3	4	5	
Ca ⁺⁺	5,08±0,14	5,52±0.68	5,58± 0,78	6,89±0,11	7,27±0,47	DS
K ⁺	2,75±0.01	2.50±0.08	2,30±0,11	1,95 ±0.13	1.66±0.02	DS
Mg ⁺⁺	1,21±0.08	1,29±0.06	1,66±0.06	1.89±0.05	1.68±0.14	DS
Phosphate	0,62±0.13	0,50±0,15	0,38±0,14	0,20±0,06	0,11±0,02	DS
Na ⁺	0,043 ±0,03	0,047 ±0,03	0,072 ±0,05	0,077 ± 0,04	0,079 ±0,07	/ / /

Les teneurs en micro-éléments des cladodes de taille moyenne (stade 3 et 2) Cu^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} et Zn^{++} (Tableau 13) sont comparables à celle des autres légumes. (Tableau: 7) par contre on observe que les cladodes du stade 5 de moins de 4 mois sont relativement proches des cladodes âgées de 1 à 2 ans cultivées en Tunisie (Ben Salem et al., 2005) Cet auteur rapporte que la composition en Cu^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} et Zn^{++} est respectivement de 0.14 mg, 0.55mg et 0.35mg/100g de matière sèche. Alors que Stintzing et al., (2005), montre une composition en Cuivre et Zinc respectivement de 0.8 - 0.9mg et 2.2

- 2.7mg ; on remarque ici la richesse en Zn que l'on observe aussi chez les cladodes très jeunes du stade 1.

Tableau 13 : Evolution de la composition en *microéléments* des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, variété inerme provenant de la région de Blida à différents stades de croissance

Minéraux (en mg/100g MS)	Stades de croissance		
	1	3	5
Fe ⁺⁺	0.33±0.01	0.65±0.05	0.25±0.05
Cu ⁺⁺	0.29±0.03	0.34±0.05	0.57±0.12
Zn ⁺⁺	0.60±0.01	0.31±0.02	0.13±0.02
Mn ⁺⁺	0.04±0.02	0.14±0.01	0.21±0.05

Comparé aux légumes tels que la laitue et les épinards, les cladodes apparaissent intéressantes par leur richesse en sucres totaux, vitamines C, fibres, minéraux et leur faible acidité. En prenant en compte la composition, l'intérêt nutritionnel et la biomasse développée, ainsi que la teneur en polyphénols et fibres, minéraux (Ca⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺, Zn⁺⁺) et vitamines C, les stades 2 à 4 et notamment 2 et 3 présentent un optimum de qualité pour l'alimentation humaine. Le stade 3 ou de poids et âge proche, a toutefois l'avantage sur le plan économique en raison du rendement de production. L'épaisseur de la cuticule et la tendreté (proche de la texture du cornichon) sont également des qualités organoleptiques plus favorables chez ces jeunes cladodes (stade 1,2 et 3). Le mucilage est également moins importante chez les jeunes cladodes dont le métabolisme (photosynthèse) est considéré équivalent à celui des autres plantes de type C₃ plus que du type CAM (les stomates étant ouverts la journée) c'est ce qui semble les rapprocher des autres légumes et favorise leur acceptabilité.

1.3.3. Evaluation de la qualité nutritionnelle

En tenant compte du poids moyen des "nopalitos"(80 à 105g.) utilisés comme légume au Mexique et Chili et du modèle de consommation au Maghreb (CIHEAM, 1995) basé sur des apports d'origine végétale et tenant compte de la composition à chaque stade.

Les légumes (non compris pomme de terre) représentent 216 à 265g/jour de la ration (selon ONS, 1988). Les apports en nutriments par rapport aux besoins journaliers ont été déterminés pour une consommation de 130g de cladodes fraîches du stade 3 (105g) ce qui représente 50% de la consommation quotidienne en légumes non compris la pomme de terre (tableau 14).

L'apport en composés phénoliques ne figure pas en général dans les rations recommandées malgré leur rôle antioxydant comme l'acide ascorbique (vitamine C), alors que des travaux réalisés par Krebs-Smith, Cook, Subar,

Cleveland et Fridayen (de l'Américaine Cancer Society) en 1995 suggèrent un apport de 120mg/jour pour prévenir les dégénérescences cellulaires et cancéreuses. Ainsi par déduction 130g de cladode apportent 39 mg de polyphénols et peuvent couvrir plus de 32,5% des besoins.

Tableau14: Estimation de la qualité nutritionnelle des jeunes cladodes au stade3.

nutriments	Consommation Recommandée		Apports selon le stade 3 déterminés pour 130g MF	% De la contribution
	(*)	(**)		
Protéine (g/jour)	54	55	0, 225± 0.005	0,46
Fibre (g/jour)	>25		0, 93 ± 0,049	3,76
Lipides (g/jour)	-----	50	0,30	négligeable
Vitamine C (mg/jour)	60	30	9,96± 0.08	16,6 / 33,2
Na (mg/jour) ^c	500"		0,072 ±0,03	négligeable
K (mg/jour) ^c	2000"		207±16	10,4
Ca++ (mg/jour)	800	500	495± 78	62,0 / 99
Mg++ (mg/jour)	350/ 330"	400	150 ± 5	42,85 /37,5
P (mg/jour)	-----	1000	34,2± 0,22	3,42
Fe++ (mg/jour)	10	12	0,60	6,5 / 5 /
Cu++ (mg/jour) ^d	0,9		0,03	3,3
Zn++ (mg/jour)	15		0,3±0,02	20
Mn++ (mg/jour) ^d	2,3/ 1,8"	-----	0,14±0,01	6 /7,8

(*) Recommandé par . Díaz Medina, Rodríguez Rodríguez et C. Díaz Romero (2006)

" Minimum recommandé,

(**) recommandé en Algérie selon FAO – OMS (1973,1974),

^cNa and K (Food & Nutrition Board, 1989).

^dCu, Mn and Cr (Food & Nutrition Board, 2001)

Conclusion

La composition chimique des cladodes inermes et épineuses ne présente pas de différence importante, mais l'avantage pour leur exploitation par les animaux et l'homme est lié à l'absence des épines. C'est ce qui justifié l'intérêt et la place prise par les variétés inermes dans les programmes de développement et de recherche par rapport aux variétés épineuses. Celles-ci peuvent être exploitées dans un rôle de protection des variétés inermes, de lutte contre la désertification et de défense des sols.

Les jeunes cladodes du stade 2-3 (moins de 120g) offrent un optimum de qualité alimentaire de par leur composition.

La consommation modérée de cladodes de taille moyenne (80 à moins de 120g), peut satisfaire les besoins journaliers en vitamine C jusqu'à 33%, alors que la couverture est faible s'agissant des protéines et des fibres avec 3,76% mais celle-ci dépasse celle de nombreux légumes mais reste inférieure à celle du fruit ou figue de barbarie.

Quant à l'apport minéral, il est conséquent pour le Ca^{++} , Mg^{++} et Zn^{++} avec une contribution qui est respectivement de 62, 42, et 20 % des besoins, et elle est plus faible pour K^+ et P, avec 10,4 et 3,4%. Ainsi en plus de leur apport en sucre et fibre alimentaire, les cladodes constituent une source intéressante de calcium et de magnésium au regard des besoins nutritionnels, comme le confirment Saenz et Montoya (1999).

La texture et la tendreté des jeunes cladodes ainsi qu'un taux de fibre peu important et en partie soluble (mucilage), peuvent faciliter leur acceptation en rendant la mastication plutôt agréable rappelant les cornichons et la texture de la carotte en assaisonnement. De ce fait une utilisation en tant que salé, fermenté ou acidifié (dans l'acide acétique, ou citrique) dans les hors d'œuvres a de grandes chances de connaître un développement grâce à l'information et la publicité à destination de la population.

L'importance de l'*Opuntia* est d'abord liée à son apport fourrager pouvant représenter une part de 25 à 40% de la ration alimentaire. Ce qui est un atout non négligeable pour le développement de l'élevage des régions steppiques et peut être intégré dans les rations de l'élevage intensif et laitier en l'état ou après préparation (séchage, complémentation,...).

Les jeunes cladodes qui peuvent être considérés comme équivalent légume peuvent également entrer dans une stratégie de réduction de la dépendance alimentaire. L'exemple du Mexique et des pays qui ont opté pour le développement du genre *Opuntia*, peut constituer une voie à adopter comme

c'est le cas pour la Tunisie, et d'autres pays d'Amérique du Sud et d'Afrique. Le Maroc a déjà commencé une exploitation alimentaire des jeunes cladodes et la mise en place d'unité de transformation pour la production de jus (de fruit), huile, cosmétique, produit médicinaux, et divers produits. Ce développement qui est accompagné par un soutien des hautes instances du pays et une recherche appliquée performante menée conjointement et avec le soutien de la FAO et d'autres institutions de recherche et les réseaux d'information comme CACTUSNET est déjà un résultat encourageant et un prélude au rôle qui sera joué par cette plante à l'avenir.

Chapitre II :
Caractéristiques des jus extraits des cladodes et leur effet sur la flore lactique et fermentation

Chapitre II. Caractéristiques des jus extraits des cladodes et leur effet sur la flore lactique et la fermentation du yaourt

2.1. Matériel et Méthodes

2.1.1. Matériel d'étude

Les raquettes ont été prélevées au niveau du piémont de montagne de Bou Arfa versant Nord à Nord-ouest à 203m d'altitude.

Le prélèvement des cladodes inermes a été réalisé durant le mois de mai de façon aléatoire à partir de 15 arbustes et classés en 5 lots (Tableau 15). La population prélevée à moins de 3 mois d'âge avec une exposition nord-sud et à une hauteur de plus de 1m du sol. Les échantillons sont conservés à 4°C pendant une durée de 3 jours. Les cladodes utilisées ont des poids de 80 à moins de 120 g. (équivalents des « nopalitos ») et ayant une composition jugée plus intéressante sur le plan de la valeur alimentaire (voir stade 2 et 3 des cladodes chapitre I) leur récolte est réalisée la matinée 2heures après la levée du soleil.

2.1.2. Extraction du jus

Les cladodes des différents stades sont nettoyés avec une eau javellisée puis l'eau distillée, découpés et pressés par presse mécanique au niveau du Département de Mécanique. Les raquettes introduites dans un cylindre muni de trous à la base (chemise de moteur) et sont pressées par un piston poussé par la presse manuelle (Voir montage en annexe 9).

Le jus recueilli représentant 37% du poids frais est filtré, puis partiellement concentré (à 50 %) et congelé. Les analyses ont été réalisées en trois répétitions pour chaque lot.

2.1.3. Méthodes d'Analyses

-a) Analyses physico- chimiques

La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée selon la méthode de référence officielle AOAC (1990) à 105°C et *la teneur en matières minérales* d'après AFNOR NFV 03-760 à une température de 550°C pendant 4heures30. *L'acidité* a été déterminée par la méthode normalisée AOAC,(1990) rapportée par Piga, (2003) avec NaOH 0,1N jusqu'à pH 8,1 et les résultats sont exprimés en g d'acide malique pour 100 ml dans le cas des cladodes alors que dans le cas du yaourt l'acidité a été exprimé en degrés Dornic (°D).

Les composés phénoliques solubles totaux dans les jus de cladodes sont déterminés selon Piga, (2003) par la méthode colorimétrique en présence du réactif de Folin Ciocalteu à 760 nm et exprimé en mg d'acide gallique.

Le jus étant préalablement filtré. A un volume de 1ml de jus est additionné 5ml de réactif de Folin –Ciocalteu, puis 10 ml de solution de Na₂CO₃ (20%) et compléter à 100ml avec l'eau puis chauffé à 70°C pendant 20mn dans un bain marie. Les tanins sont dosés selon la méthode colorimétrique avec le réactif Folin –Denis, décrite par JOSLYN (1970) (voir détail du protocole en annexe 2).Le protocole de dosage des polyphénols est schématisé en l'annexe 3.

La teneur en flavonoles/flavonones a été déterminée selon la méthode Lebreton, Jay, Voirin 1967 et 1975 et Dohou et al. ,2003.

Le principe de la méthode est basée sur les étapes suivantes:

- une hydrolyse par l'acide chlorhydrique à chaud qui transforme les proanthocyanides en anthocyanides homologues, la libération des aglycones flavoniques de leur O-glycosides
- un épuisement de la phase aqueuse hydrolytique par ether ethylique permettant extraction et dosage des aglycones en laissant les anthocyanides et les C-glycosides en phase aqueuse.
- 2g de poudre végétales sont placé dans un erlenmeyer de 500 ml contenant 160ml HCl 2N.
- Chaque erlen est laissé au bain marie bouillant pendant 40mn, et en insufflant l'air toutes les 10mn pour accélérer l'oxydation des protocyanides en anthocyanides.
- La phase aqueuse est épuisée trois fois par l'ether éthylique (Et₂O: 60ml-60ml-40ml) en ampoule à décanter. Cette extraction permet de recueillir les aglycones dans l'épiphase étherée car ces derniers sont plus lipophiles que les anthocyanides.
- Les trois extraits étherés sont réunis puis il est procédé à l'évaporation du solvant sous hotte ventilée.
- La phase aqueuse résiduelle est reprise pour l'extraction de C-glycosides par le n-butanol (40ml - 40ml) - le butanol de l'extrait est évaporé par rotavapor. L'extrait sec qui contient les Cglucosides est repris dans 5ml de méthanol.

Dosage des flavonones – flavonols

- les extraits étherés sec sont repris dans le methanol jusqu'à 10ml dans une fiole jaigée
- le dosage differentiel des flavonones – flavonols totaux fait intervenir les propriétés chélatantes des ions Al^{+++} sur les flavonoides; ce qui necessite la préparation de deux solutions pour le meme échantillon.
 - * une solution de reference avec 5ml de methanole + 0,1ml de la solution méthanolique à doser.
 - * une solution "échantillon" contenant 5ml de chlorure d'alumine ($AlCl_3$ à 1% dans le méthanol) + 0,1ml de solution méthanolique.

Après un repos de 10mn, le spectre est balayé de 380 à 460 nm et l'absorbance maximale est retenue. L'absorbance du pic différentiel contre un blanc ne contenant pas d' $AlCl_3$ est proportionnelle à la concentration de l'échantillon en aglycones flavoniques. La teneur en aglycones, exprimée en mg/g équivalent de quercétol, est calculée selon la formule :

$$T(\text{aglycones}) = (A / \epsilon) \times M \times V \times d / p \text{ (en mg/g)}$$

A : Absorbance du pic différentiel

ϵ : Coefficient d'absorption molaire du quercétol (= 23000)

M : Masse molaire du quercétol (= 302)

V : Volume de la solution éthanolique d'aglycones

d : Facteur de dilution

p : Poids de matière sèche de matériel végétal hydrolysé

Le Degrés Brix ou *extrait sec soluble* est déterminé à une température de 20°C par réfractomètre « Abbe » pour le jus. La teneur en caroténoïdes a été déterminée selon la méthode Lichtenthaler (1987)

La Teneur en mucilages des jus a été déterminée selon Sáenz C, et al., (2004) et Sepúlveda et al., 2007 par précipitation avec l'éthanol. La manipulation consiste à extraire le mucilage a partir des cladodes, l'extrait des cladodes est ensuite soumis à la centrifugation avec l'eau distillé dans une proportion (1 :7 v/v) a une température de 40°C pendant 4h, puis il est filtré sur papier wattman N°4 sous vide partiel.

Afin de réduire la quantité d'alcool utilisé dans la précipitation, la solution mucilagineuse a été concentrée à un tiers de son volume par lyophilisation. La

solution mucilagineuse a été versé dans l'éthanol dans un rapport de (1 :4), puis centrifugée à (3560 G pendant 10 min.), le mucilage précipité est recueilli puis lavé par l'éthanol chaud et filtré sous vide et enfin séché a 70°C pendant 4h avant d'être pesé (protocole en annexe 6).

L'analyse physico-chimique de mucilage a consisté à déterminer:

- Le rendement : quantité de mucilage obtenue a partir d'un volume frais de l'extrait des cladodes.
- L'humidité : la teneur en eau a été déterminée par la méthode de référence (AOAC, 1990).
- Le taux de protéines (MAT) : selon la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1984), en utilisant le facteur de conversion 6,25.
- Les cendres totales : obtenues par incinération dans un four à moufle à 550°C pendant 8h.

Deux méthodes ont été utilisées pour le *dosage de l'acide ascorbique* :

- La méthode de SARKAR (1994). (Voir partie II Chapitre I)
- La méthode au DCPIP (2,6-Dichlorophenol-indophénol) (AOAC, 1990). Cette méthode consiste en une réduction du 2,6-Dichlorophénolindophénol et en une oxydation de l'acide ascorbique en acide déhydroascorbique. Ce qui permet la détermination de la teneur en vitamine C sous sa forme réduite (acide ascorbique). Dès que l'oxydation de l'acide ascorbique est terminée, le 2,6-dichlorophénoindophénol sert d'indicateur coloré et sa présence en solution acide donne une couleur rose caractéristique.

A 10 ml de jus prélevée à l'aide d'une pipette, on ajoute 1 ml d'acide acétique puis on fait un dosage volumétrique par le DCPIP jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pale persistante 30 secondes. Le résultat est exprimé en mg par litre.

- *confection et formulation de jus cocktails et Analyses physico-chimiques*

- * analyse de l'eau de procès (*titre alcalimétrique (TA), titre alcalimétrique complet (TAC), titre hydrique* ou TH, les chlorures (CT) et PH

- * analyse du jus de cladode et du concentré d'orange, pulpe (densité, MS, acidité titrable, degrés Brix, composés phénoliques, vitamines C (acide ascorbique) mucilages, fibres, matière azotée total (MAT), matières minérales et composition en sucre, recherche effet coagulant).

- *Analyse de la stabilité du cocktail* de boisson (chapitre III)

- * Par un examen visuel afin de déceler une éventuelles altération (apparition de trouble, changement de couleur...).
- * Après incubation des échantillons pendant 7 jours à 37°C ; si le pH relevé au 7^e jour présente une différence inférieure à 0,5 avec le pH au premier jour le produit est considéré stable.

- *Dosage des éléments minéraux du jus de cladodes* : par spectrophotométrie de masse de marque Perkin Elmer pour le magnésium, manganèse, zinc, fer, et par spectrophotométrie à émission de flamme pour les métaux lourds calcium, potassium.

- *Dosage du phosphate* a été réalisé par colorimétrie. La solution minérale est traitée par le réactif « Nitro-vanadomolibdique », les ortho phosphates en présence de ce réactif forment un complexe jaune intense, c'est le phospho-vanadomolibdique. La densité optique du complexe est révélée à la longueur d'onde de 430 nm. La concentration en phosphore est déterminée par rapport à une gamme étalon de KH_2PO_4 .

- *Extraction des protéines des grains (fruit) et tamisage moléculaire* a été réalisée selon le protocole ci-après.

Après une délipidation à l'hexane, il est procédé à l'extraction par des tampons phosphates et Tris /HCl ou borate qui sont utilisés pour l'extraction des protéines de légumineuses et de grains de coton.

Les tampons préparés ont les caractéristiques suivantes

- tampon Tris / HCl 0,1M - 0,5 M NaCl - PH 8 ,1
- tampon phosphate KH_2PO_4 0,5M PH 7.

Le tampon additionné à la farine délipidée est dans un rapport 10/1 ; la durée de l'extraction sous agitation est de 1h30. Le mélange est ensuite centrifugé à 3000G pendant 30 mn. On recueille le surnageant et le culot précipité qui est séché. On dose la matière azotée du précipité selon Kjeldahl et par différence avec la teneur de la graine on déduit le rendement de l'extraction.

- détermination du profil des fractions protéiques par tamisage moléculaire (HPLC de marque Shimadzu)
 - colonne utilisé CI8
 - Débit 0,9ml /mn
 - Tampon d'élution Tris HCl
 - Injection de 20µl de solution protéique
 - Détection à 280nm en sortie de colonne
 - HPLC -Intégrateur de marque Shimadzu

Détermination de la teneur en fibre brute selon (AOAC, 1980):

-Principe :

Par convention ; la teneur en cellulose brute est le résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives, l'une en milieu acide et l'autre en milieu alcalin.

La différence de poids entre les deux pesées représente les matières cellulosiques, une grande partie de cellulose brute, une partie de lignine et les résidus d'hémicellulose.

-Réactifs :

- Solution d'acide sulfurique 0.128M : 12.5ml d'H₂SO₄ diluée dans un litre d'eau distillé
- Solution d'hydroxyde de sodium 0.312M : 12.5g de NaOH dissoutes dans un litre d'eau distillée.
- Ethanol 70%.

-Mode opératoire :

1- Hydrolyse acide :

Peser 1g d'échantillon de chaque lot, introduire dans un ballon de 500ml muni d'un réfrigérant rodé sur le goulot, ajouter 100ml d'une solution aqueuse bouillante d'acide sulfurique à 0.128M. Chauffer pour obtenir une ébullition rapide et maintenir celle-ci pendant 30min exactement, agiter régulièrement le ballon pendant l'hydrolyse, séparer le ballon du réfrigérant et laisser refroidir.

Transvaser dans un ou plusieurs tubes de centrifugeuse en conservant la plus grande quantité possible de produit dans le ballon, centrifuger le contenu des tubes pendant 4min à 3000 tours/min et récupérer le culot (précipité) en éliminant le surnageant et répéter l'opération en ajoutant un peu d'eau distillée dans le ballon jusqu'à la clarification totale du liquide.

2- hydrolyse alcaline :

Introduire le résidu récupéré de la première étape (hydrolyse acide) dans le même ballon en le détachant du tube à centrifugé avec 100ml de solution bouillante d'hydroxyde de sodium à 0.312M. faire bouillir durant 30min exactement puis enlever le ballon, laisser refroidir et filtrer leur contenu sur un creuset filtrant de porosité 1 à 2 μ à l'aide d'une pompe sous vide et si nécessaire ajouter l'eau distillée dans le ballon pour récupérer tout l'échantillon. Terminer par un lavage avec l'éthanol.

3- Dessiccation :

Mettre le creuset plus le résidu à l'étuve réglée à 105°C pendant 24h, après refroidissement au dessiccateur durant 30 min, peser puis incinérer dans le four à moufle à 500 °C pendant 3h, refroidir au dessiccateur durant une heure et peser à nouveau.

- **Expression des résultats :**

La teneur en cellulose brute exprimé en pourcentage est donnée par la formule suivante :

$$CB\% MF = \frac{P_1 - P_2}{p} \times 100$$

P_1 : poids du creuset +résidu après dessiccation, en gramme.

P_2 : poids du creuset + résidu après incinération, en gramme

P : poids de la prise d'essai, en gramme.

-b) **Test de mise en évidence de l'effet coagulant du jus :**

- Introduire dans des conditions d'hygiène une petite quantité de la présure dans un tube à vis contenant 9ml de lait écrémé pasteurisé (à pH ajusté jusqu'à 5.5 à l'aide de l'acide phosphorique)
- Introduire la même quantité que la précédente dans un tube à vis contenant au préalable 8ml de lait + 1ml de jus de cladodes non pasteurisé de pH ajusté jusqu'à 5.5 à l'aide de l'hydroxyde de sodium.

Remarque: le jus de cladodes utilisé est non pasteurisé pour éviter la destruction d'enzymes protéases

Pour confirmer si le jus de cladodes a un effet coagulant sur le lait soit par acidification liée à son pH ou par action d'enzyme coagulante, on a procédé aux essais selon deux étapes :

ETAPE 1 Mise en évidence de l'effet coagulant du jus brut

Essai 01:

- On introduit dans un tube à essai à vis 9ml de lait écrémé pasteurisé, son pH est de 6.8 ; c'est le tube témoin.
- Dans un 2^{ème} tube, on introduit 7ml de lait écrémé pasteurisé (pH 6.8) + 2ml de jus de cladodes non pasteurisé (pH 4.2).
- Dans un 3^{ème} tube, on introduit 8ml de lait écrémé pasteurisé de (pH 6.8) + 1ml de jus de cladodes non pasteurisé (pH 4.2).

Essai 02:

On répète les mêmes étapes de l'essai 01 avec un pH de jus ajusté à 6.8

Essai 03:

- On réalise un 3^{ème} essai en présence de présure pour confirmer s'il y a un effet du jus sur l'activité de la présure.
- On procède à une dilution de la présure (prélever une petite quantité de la présure et l'introduire dans un tube à vis qui contient au préalable 9ml d'eau distillée).
- Après une bonne homogénéisation prélever aseptiquement de 1ml et l'introduire dans le tube témoin.
- 1ml est introduit dans un tube à vis qui contient au préalable (7ml de lait écrémé pasteurisé + 2ml de jus de cladodes).
- 1ml est introduit dans un tube à vis qui contient (8ml de lait écrémé pasteurisé + 1ml de jus de cladodes).

(Ces essais sont schématisés en ANNEXE 4)

- ETAPE 2 Détermination de l'activité coagulante de l'extrait enzymatique selon SOXHLET :

La méthode de SOXHLET (Tsouli, 1979) permet d'exprimer l'activité de l'extrait enzymatique en force coagulante (unité de SOXHLET : US), cette force coagulante définit le volume de lait coagulé par unité de volume de l'extrait enzymatique en 40 minutes à 35°C et à pH 6,4.

L'évaluation de cette activité est réalisée dans les conditions standards suivantes :

- Volume de solution enzymatique : 1 ml est ajouté à un
- Volume de lait à coaguler (substrat de Berridg) : 10ml.

- Préparation du Substrat de BERRIDG :

* 12g de poudre de lait écrémée dissous dans 100 ml de la solution de CaCl₂ à 0.01M. Le mélange est met sous agitation magnétique pendant 30 min. le pH ajusté à 6,4.

- Température du lait 35°C.
- Durée du teste 40 min.

- Extraction de l'enzyme par la méthode alcoolique selon Tsouli : (voir détails du protocole en annexe 5)

L'échantillon (cladodes) est broyé en présence d'éthanol 20% additionné d'acide borique 0,2% puis il est congelé et laissé pendant 24 heures puis décongelé et centrifugé puis filtré. Le test est réalisé à partir de la solution recueillie.

-c) analyses microbiologiques

- Cas de la flore de contamination

Elle a porté sur la flore de contamination les coliformes totaux et les coliformes fécaux, streptocoques fécaux, spores d'anaérobies sulfite-réducteurs, levures et moisissures, *staphylococcus aureus*.

- Cas des bactéries lactiques

Les analyses ont consisté à contrôler la pureté des souches lactiques utilisées provenant de Yomix ; sous forme lyophilisé pour *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus lactis ssp cremoris*, *Lactobacillus bulgaricus* alors que *Bifidobactérium infantis* est une souche isolée a partir des selles de nourrissons.

Ces souches conservées à - 18°C sont réactivées dans les bouillons nutritifs BN pour les deux premiers à 42°C/ 48H et 37°C/24H , le *Lactobacillus bulgaricus* subit deux fois les repiquages sur BN et MRS et est incubé à 37°C ;alors que *Bifidobactérium infantis* est repiqué en deux fois sur bouillon MRS et incubé à 37°C pendant 48 heures. Après réactivation, les souches subissent un contrôle de pureté.

L'isolement et le développement des souches a été fait à partir des bouillons nutritifs (BN):

- Sur milieu M17 (voir composition en annexe) pour *Streptococcus thermophilus* et, *Lactobacillus lactis ssp cremoris*. sur gélose MRS (voir composition en annexe 7).
- Sur gélose MRS pour *Lactobacillus bulgaricus*
- Coulumbia (Composition en annexe) pour *Bifidobactérium infantis* en profondeur et incubation à 37°C pendant 24 heures.

Ensuite on prépare les pré cultures par ensemencement de chaque souche dans le lait écrémé stérile pendant 18 heures; puis on ensemence en prélevant 1ml les tubes contenant le lait écrémé seul (9ml) et les tubes contenant lait + jus de cladodes (stades 3 et 4 concentré à 60%) réajusté à pH 6,8 Après dilutions en milieu TSE (voir composition en annexe). On procède à l'ensemencement sur gélose M17, MRS, Columbia et incubation. Le dénombrement est réalisé après 30mn, 2, 4, 6 puis 24 heures ; le résultat est exprimé en Log UFC/ml. L'ensemble des analyses ont été conduites d'après Larpent (1997) et Sutra et al.,(1998).

La mise en évidence de l'effet du jus de cladodes (pH 4,30) sur la fermentation du yaourt recueilli en usine en pots et refroidi, a consisté à additionner 0 - 2,5 - 5 et 10 ml de jus concentré à 60% et de suivre l'évolution de la cinétique d'acidification et control du pH après 30 mn (T0) puis pendant une durée de 5 heures.

- Cas : effet du jus sur la flore banale et pathogène (bactéries et levures).

Cette analyse a pour but de déterminer l'effet inhibiteur des jus sur la croissance des micro-organismes (bactéries et levures), par la méthode de diffusion sur milieu gélosé L'expérimentation a été conduite selon deux étapes pour chacune des 6 souches : (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimiruim*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans* et *Saccharomyces cerevesea*).

- utilisation du jus brut dans le milieu ayant reçu la souche correspondante, incubation – dénombrement.
- et à partir d'extrait à partir des solvants : chloroforme, éthanol, hexane.

Après concentration et élimination total du solvant, l'extrait est mis en contact avec les souches pour évaluer ou mettre en évidence son effet inhibiteur sur les microorganismes.

-d) Analyse sensorielle

Le jury de dégustation devant se prononcer sur les caractéristiques organoleptiques était composé de 14 individus dont une partie sont des travailleurs de l'unité « vitajus » et des étudiants. Il s'agit donc d'une analyse hédonique. Les sujets ne sont pas informés sur la nature, ni sur la composition du produit et les 3 produits sont présentés sous anonymat.

- Analyse statistiques: le traitement statistique des données a été réalisé par le logiciel STATICF version 4 copy right 87 / 88-
- Si probabilité <0,05 (S : Significatif);
- Si probabilité = 0,00X (HS : Hautement Significatif)

2.2. Résultats et discussions

2.2.1. Composition selon les stades de croissance

Tableau 15: caractéristiques et répartition des lots de cladodes destinés à l'extraction du jus.

Lots	1	2	3	4	5	probabilité	Test newman et keuls
Poids en g	34,67± 3,51	60,23± 9,51	105 ± 14,35	172 ± 12,21	342± 24,54	0,0000	T H S
Longueur(en cm)	12,5 ± 0,77	15 ± 2,11	20,19 ± 2,00	24,5 ± 2,2	30 ± 2,00	0,0000	T H S
Largeur (en cm)	6,47 ± 0,95	8,10 ± 0,50	9,28 ± 0,75	11,83± 0,88	13,65±0,58	0,000	T H S
Matière sèche en %	8,14±0,045	7,73±0,26	7,47±0,03	6,83±0,045	5,77±,065	0,439	NS
Matière minérale en % MS	13,04±0,091	13,63±0,07	14,12±0,05	14,73±0,07	15.30±0,03	0,0418	S

NB/ en gras les cladodes de poids proche des « nopalitos » mexicains

Partie II Chapitre II : Jus extraits des cladodes et leur effet sur la flore lactique et fermentation

L'augmentation significative des paramètres poids, longueur et largeur des cladodes selon le stade de croissance a montré aussi une corrélation significative entre ces paramètres (0,978 entre les dimensions et 0,89 -0,909 entre poids et dimensions). Ces données indiquent que les échantillons sont homogènes et issus probablement du même écotype. La matière sèche évolue pondéralement mais de façon peu importante par rapport aux stades de croissance ($p > 0,05$) contrairement à la teneur en cendres (minéraux) ($p < 0,05$).

Les cladodes ont des teneurs en matière sèche relativement faible (8,14 à 5,77 % au stade 5). Celles des jeunes cladodes (1 à 3) se rapprochant de celles des légumes feuillues endives, épinard, céleri (Tirilly et Bourgeais, 1999). La teneur en matières minérales des cladodes avec 13 à 15,30% de la matière sèche, est cependant plus élevée que celle des légumes traditionnels.

Tableau 16: Composition des jus de cladodes issus de pression non concentré

Composition Jus de cladodes	Stade1	Stade2	Stade3	Stade4	Stade5	probabilité Seuil 5%	Test newman et keuls
Acidité en g/100ml	0,28±0,02	0,60±0,08	0,76±0,06	0,82±0,04	0,93±0,02	0,000	T H S
Conc en°Brix (extrait sec soluble)	4,47±0,04	4,42± 0,03	4,37±0,07	4,33±0,06	4,22±0,078	0,0018	H S
Polyphénols en mg/ L de jus	416±2,00	228±1,00	326±2,00	301±1,73	234±1,00	0,0000	T H S
Tanins condensés mg/l	71,67±1,53	77,00±3,00	75,01±6,00	66,67±1,15	70,67±1,53	0,0183	S
Acide ascorbique en mg/ L (vitC)	83±1,320	75±0,90	63±1,00	36±0,780	19±1,320	0,000	T H S
Caroténoïdes mg/L	0,023±0,01	0,033±0,01	0,036±0,01	0,051±0,01	0,069±0,01	-----	-----

NB/ en gras jus provenant les cladodes de poids proche des « nopalitos » mexicains

Les jus ont une concentration en extrait sec soluble et des teneurs en polyphénols et acides ascorbiques relativement importants aux stades 2 et 3

équivalents des "nopalitos" mexicains. Les jus des plus jeunes cladodes étant les plus pourvues en polyphénols et acide ascorbique avec près de 326mg/L et 63mg/L. La teneur en acide ascorbique est toutefois plus faible que celle observée dans les cladodes entières avec 13 à 20mg/100g selon DeKock, (1965) et 15mg selon nos résultats (chapitre I) et par rapport aux fruits avec 16 à 45mg/100g (Sawaya et *al.*, 1983; Kuti, 2004, et nos résultats au chapitre 4).

Les caroténoïdes sont cependant nettement moins représentés par rapport aux fruits ou on observe 2,5mg/100g exprimés en vitamine A (Sawaya et *al.*, 1983). Mais leur teneur est proche de celles des autres légumes, qui est comprise dans un intervalle de 0,01 à 9mg (Tirilly et Bourgeois, 1999).

Les tanins condensés représentent dans le jus de cladodes près de 71 mg/L Cette teneur est élevée comparée à celles des fruits avec 29 mg/1000gMF (Joseph O. Kuti ,2004) et des jus d'orange (56.3 mg/L). La teneur en extrait sec soluble (brix) avec 4 à 4,5 % reste faible comparé à celle de la pulpe de fruit avec 12 – 17% (Saenz-Hernandez, 1995).

La diminution significative ($p < 0,05$) des constituants bioactifs en fonction de la croissance montre que les plus jeunes cladodes (stade 1 à 4) sont les mieux adaptées pour l'alimentation. Mais en tenant compte de la biomasse (rentabilité) de la composition et de l'équilibre minérale, les stades 2 et 3 paraissent les plus aptes à une utilisation alimentaire et les plus conformes comparées aux cladodes plus âgées plus mucilagineuses et plus collantes.

A ces nutriments, s'ajoutent une richesse en fibres et une teneur en minéraux K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et Zn^{++} intéressantes selon nos résultats (tableau 20) ce que confirment Nefzaoui et Chermiti, (1991), Nefzaoui et *al.*, (1995).

Ainsi ces données confirment l'intérêt des cladodes et des jus de cladodes sur le plan nutritionnel. Ils mettent en évidence la possibilité de valorisation par l'enrichissement et l'amélioration de la qualité du yaourt et des produits laitiers, par l'apport de constituants dont certains ont un rôle biologique important (polyphénols, vitamines C, Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , fibres, mucilages).

L'importance qu'occupera le jus va surtout dépendre de l'acceptabilité du produit, le jus pouvant être concentré en fonction de l'évolution des habitudes alimentaires.

Ces possibilités ont justifié notre intérêt pour préciser encore la composition des jus issus de jeunes cladodes de poids 60 > à 120 g (tableau 19 chapitre 3).

2.2.2. Croissance des bactéries lactiques en présence de lait écrémé + jus de cladodes

L'effet du jus de cladodes sur les ferments lactiques est plus ou moins sensible selon les souches (tableau 17).

Tableau 17 : Croissance des ferments dans un milieu lait seul et lait+ jus de cladodes (en log UFC)

Souches	milieu	Durée d'incubation (en heures)					proba bilité	Test Newma n et keuls
		0	2	4	6	24		
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Lait écrémé (L)	7,45 ± 0,06	7,88± 0,12	8,90±0,01	9,11±0,02	7,98 ± 0,05	0,000	T H S
	Lait écr. +jus (L+J)	7,59 ± 0,04	8,19 ±0,02	9,09 ±0,06	8,52 ±0,14	7,54 ± 0,07		
<i>Lactobacillus lactis ssp cremois</i>	Lait écrémé (L)	7,47 ± 0,15	9,18 ±0,04	10,26±0,04	10,01±0,02	9,44 ± 0,03	0,000	T H S
	Lait écr. +jus (L+J)	8,13 ± 0,03	9,21± 0,02	9,54 ±0,03	9,53±0,02	9,40 ± 0,03		
<i>Lactobacillus bulgaricu</i>	Lait écrémé (L)	7,83 ± 0,02	8,17± 0,04	9,25± 0,02	8,88 ±0,55	8,77± 0,03	0,0179	S
	Lait écr+jus(L+J)	7,98 ± 0,03	7,98 ±0,07	8,66 ± 0,01	8,78 ±0,53	7,91 ± 0 ,00		
<i>Bifidobactériu m infantis</i>	Lait écrémé (L)	7,57±0,02	7,77± 0,06	9,32± 0,05	9,13± 0,05	8,65± 0,03	0,0259	S
	Lait écr.+jus (L+J)	7,71±0,05	7,93± 0,01	9,45± 0,00	9,16± 0,11	8,92± 0,06		

L : Lait stérilisé témoin ; J : jus de cladodes

- Pour *Streptococcus thermophilus* le jus de cladodes accélère leur croissance entre le temps T0 et T4 (log UFC = 9,09) en 4heures par rapport au témoin dont le maximum correspond à Log UFC= 8,90. (Figure 9) L'effet du jus est hautement significatif (p< 0,05).

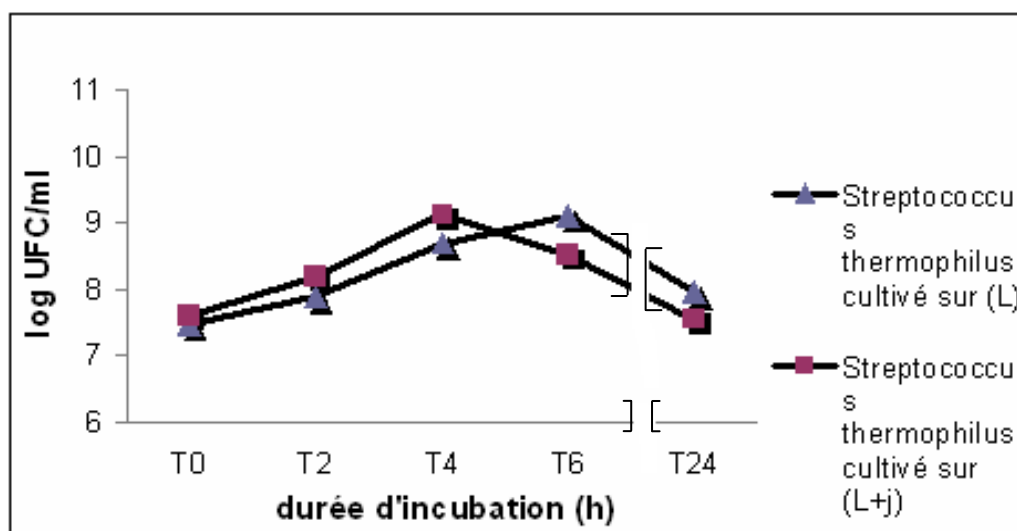


Figure 9 : Evolution de la cinétique de croissance de **St.thermophilus**

- Pour *Lactococcus lactis ssp cremoris* (fig. 10) le jus de cladodes affecte la cinétique de croissance puisqu'on observe un développement moins important par rapport au témoin. Après T2 on observe un ralentissement de la croissance jusqu'à T6 et donc un effet inhibiteur. La différence de croissance due à l'effet jus est significative ($p < 0,05$).

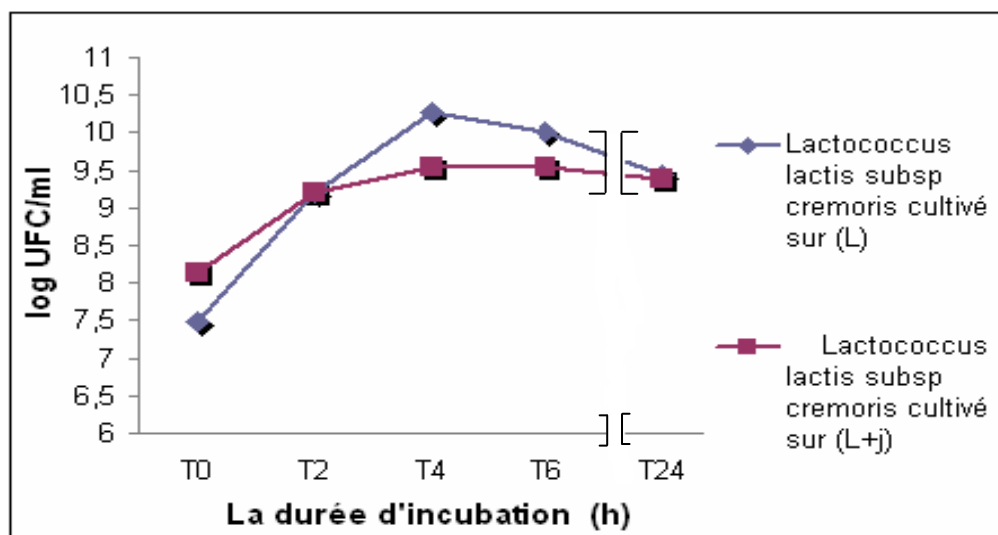


Figure 10: Evolution de la cinétique de croissance de *Lactococcus lactis ssp cremoris*

- pour *Lactobacillus bulgaricus* : la bactérie est sensible à la présence des constituants du jus puisque sa croissance est ralentie par rapport au témoin (lait seul) (figure 11). L'effet jus est significatif sur la croissance des bactéries ($p < 0,05$).

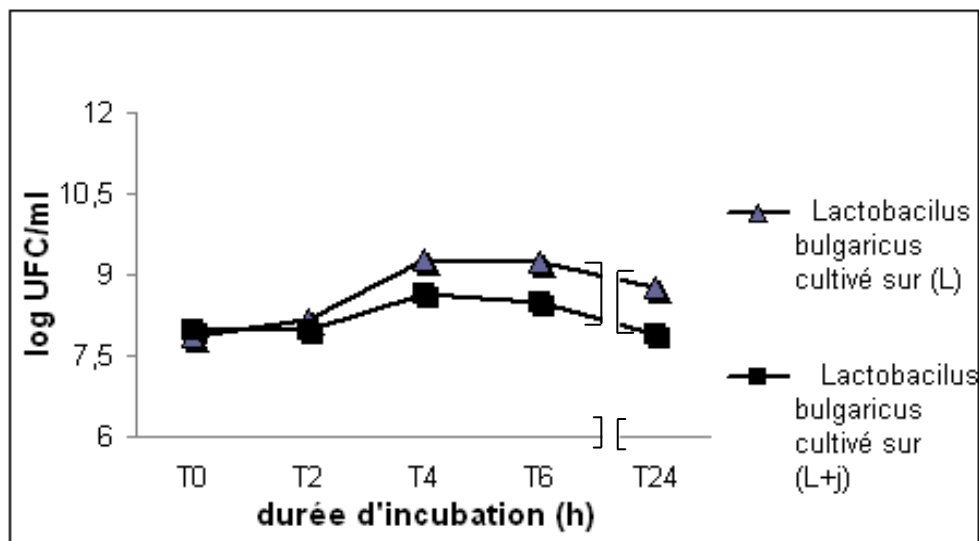


Figure 11 : Evolution de la cinétique de croissance de *Lactobacillus bulgaricus*

- pour *Bifidobacterium infantis* les constituants du jus de cladodes n'ont pratiquement que peu d'effet sur la cinétique de croissance jusqu'à T6. Les courbes de croissance des bactéries, montrent de faibles différences entre les deux échantillons. Cette bactérie est donc moins sensible aux constituants du jus, à T0 la différence entre colonies est liée surtout à la différence de charge dans les deux échantillons au départ, mais la différence observée après 6 heures (figure 12) peut être liée à l'effet jus (apports de sucres, métabolites) Ce qui explique une variation significatif avec $p < 0,05$.

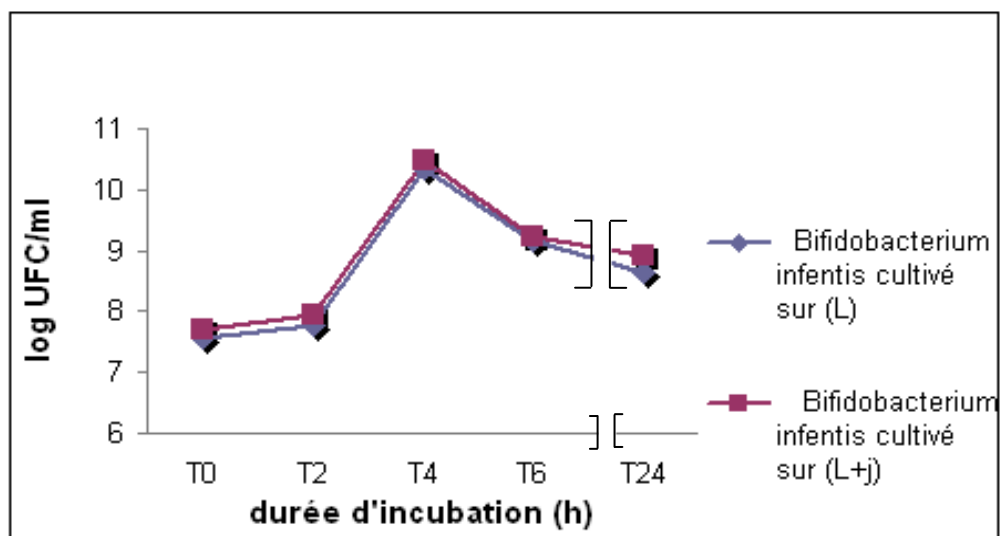


Figure 12: Evolution de la cinétique de croissance de *Bifidobacterium infantis*

Cette évolution montre ainsi que le jus a une action plus ou moins marquée sur les bactéries lactiques, les plus sensibles sont *Lactococcus lactis subsp cremoris* et les bactéries *Streptococcus thermophilus* qui se développent plus rapidement entre T0 et T4 ; l'analyse statistique de l'effet du jus montre que les souches de *Lactobacillus vulgaricus* et notamment *Bifidobacterium infantis* sont les moins affectées. La même évolution a été observée lorsque le jus est en présence de *Bifidobacterium longum*. L'évolution de *Streptococcus thermophilus* en présence du jus, présente des similitudes avec la croissance de ces mêmes bactéries en présence de Fructooligosaccharides (FOS) qui sont des prébiotiques dont l'intérêt est mis à profit pour le maintien de la flore probiotique *Bifidobacteria animalis* et *Bifidobacteria longum* dans le yaourt commercialisé (Ayşe Sibel Akalın et al., 2004).

Ces résultats confirment ainsi les effets des constituants des cladodes d'*Opuntia ficus indica* même s'ils n'apparaissent pas suffisamment importants. Les travaux de Corbo (2003) sur la prolifération microbienne sous différentes conditions de stockage ont aussi montré une plus grande prolifération des bactéries lactiques sur la pulpe de fruit, dont les mêmes constituants se retrouvent dans les cladodes.

Par contre les travaux utilisant des extraits obtenus par les solvants chloroforme, éthanol, hexane à partir de l'espèce *Nopalea cochenillifera* ont montrés une activité antibactérienne et antifongique sensible sur certaines souches *Salmonella enterica*, *Escherishia coli*, *Candida albicans*., L'inhibition constatée varie selon la nature de l'extrait c'est à dire des constituants présents dans chaque solution. L'effet n'est pas toujours lié aux polyphénols et tanins, Gomez Flores et al., (2006).

2.2.3. Effet du jus de cladode sur l'incubation du yaourt

- Le PH du yaourt prélevé après addition de ferment est de 6,6.
- Le PH évolue à 4,24 (T5) en 5heures en présence de 10 ml de jus et à 4,31 en absence de jus.
- Après réajustement du PH du jus à 6,8 on a observé des cinétiques similaires confirmant l'effet des constituants du jus et non uniquement l'influence de l'acidité du jus.
- l'évolution de l'acidité (figure 13) montre que la fermentation est accélérée selon le volume de jus additionné.

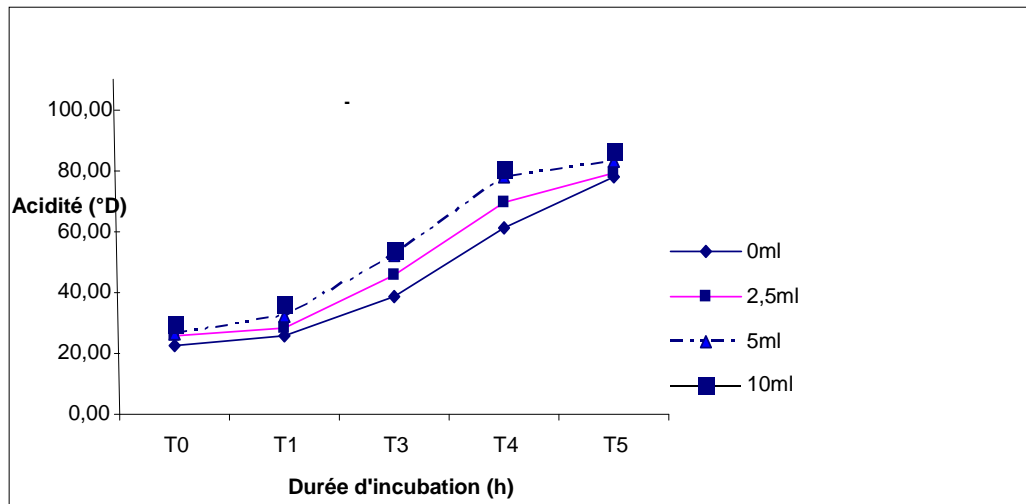


Figure 13: Evolution de la fermentation du yaourt additionné de jus de cladodes

La fermentation étant considéré terminé lorsque l'acidité est de 70°Dornic, soit après une durée d'incubation de 4h30 pour le yaourt témoin. Cette acidité est atteinte en un temps réduit en présence de jus. Celle-ci passe de 4h30 (témoin 0%de jus) à 3h30 après l'addition de 10ml de jus. L'évolution de l'acidité est plus performante dans le yaourt en raison de la présence des deux souches lactiques en même temps (effet proto coopération) et aussi de l'effet des constituants du jus sur l'évolution de *Streptococcus thermophilus*.

La même tendance de croissance des bactéries lactiques est observée avec le jus préalablement réajusté à pH 6,8 avant l'addition au yaourt (figure 14) ; l'effet du volume de jus sur l'acidification est significatif quelque soit le pH. Cette différence s'explique très probablement par l'effet des constituants du jus sur la croissance des streptocoques.

L'absence d'effet inhibiteur du jus sur la croissance des microorganismes et la présence de constituants bioactifs dans le jus peut expliquer dans une large mesure cette évolution.

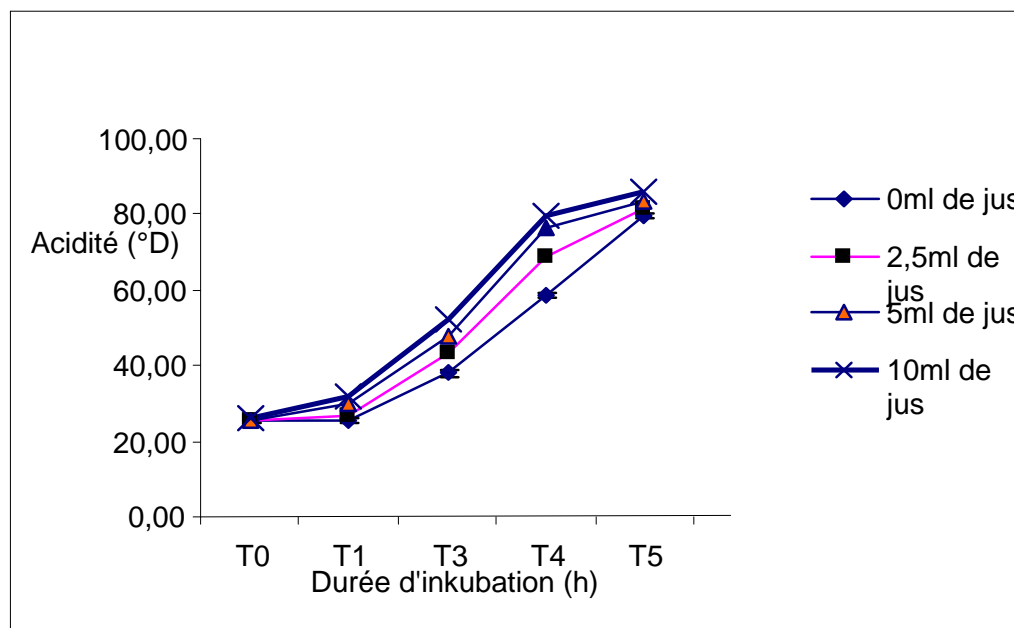


Figure 14: Evolution de la fermentation du yaourt additionné de jus de cladodes à pH ajusté

Le test sensoriel des différentes préparations, par un groupe de 14 sujets a donné un premier aperçu sur l'acceptabilité du produit car 80% des sujets trouvent bon l'arôme et le goût même avec 10% de jus de cladodes. Ainsi le goût du yaourt a été peu modifié par le jus. Seule la coloration est légèrement modifiée par la présence de la chlorophylle et des particules de cladodes de couleur verdâtre mais n'a pas constitué un motif de rejet systématique La texture a paru légèrement grumeleuse notamment pour le pot additionné de 10 ml de jus. L'astringence naturelle des cladodes est masquée par les constituants du lait.

Pour 10% de jus concentré ajouté, l'apport nutritionnel se traduit par une addition de vitamines C (1,2-2,4mg/100ml yaourt), minéraux (130 - 240mg/100ml de yaourt), polyphénols (6-12mg/100ml yaourt) auquel s'ajoute les mucilages considérés comme fibres alimentaires solubles et comme protecteur des muqueuses gastriques comme l'a montré Galati (2001).

Le jus de cladodes d'*Opuntia ficus indica* n'a pas montré d'effet inhibiteur sur la croissance des bactéries pathogènes et moisissure, prouvant ainsi l'absence de substance inhibitrice ou antibiotique, ce qui s'est traduit par une cinétique d'acidification du yaourt plus favorable. Cependant, les travaux réalisés par Gomez et al.,(2006) qui a utilisé des extraits de cladodes de la variété *Napolea cochenillifera* pour mettre en évidence leur effet bactéricide ou inhibiteur sur différents microorganismes (bactéries, champignon,) ont montré des effets plus ou moins sensibles selon l'extrait (chloroformique ou éthanolique ou hexanique) sur *C.albicans*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*

avec des quantités qui restent plus ou moins élevées allant de 3,9mg/ml à 31mg/ml.

Les résultats du test de l'activité de la présure (concentré) montrent pour l'essai 3 qu'après 10 min de temps il y a une coagulation sur les deux tubes en absence du jus de cladodes, mais elle est plus rapide dans le tube qui contient le jus de cladodes (2ml et 1ml) (coagulation après 4min), ce qui indique que la présure est activée par le jus (probablement en raison de la modification du pH).

La coagulation est nettement plus lente ou très faible dans le tube contenant jus de cladodes + lait. Alors que le tube témoin ne présente aucune modification. Ces résultats nous permettent de déduire que cette coagulation peut être due à une faible activité enzymatique ou / et à l'effet du pH suite à l'addition du jus (le pH étant 6,4 à 6,55).

Pour confirmer ces résultats on a procédé à un 2^{ème} essai avec un pH du jus ajusté à 6.8 ce n'est qu'après 16h que la coagulation est observée, ceci démontre que le jus a une très faible activité coagulante, mais elle est probablement liée à une action enzymatique. Ce résultat confirme les conclusions de Teixeira et *al.*, (2000) qui rapporte qu'aucun effet coagulant du jus sinon une activité protéolytique marginale est observée en présence du jus de cladodes.

On peut retenir cependant, que le jus de cladodes ne réduit pas l'activité de la présure mais contribue à améliorer son activité probablement grâce à l'effet pH du jus. L'activité de la présure nécessitant un pH acide apporté habituellement par les bactéries lactiques.

L'activité coagulante n'est observée que chez les fleurs et fruits d'Opuntia selon El-Kossori.et al, (2000).

L'essai de détermination de l'activité coagulante en utilisant la méthode d'extraction selon SOXHLET : confirme le précédent résultat puisqu'aucune activité coagulante (présure) n'a été mise en évidence après 40mn.

CONCLUSION

Le jus de cladodes par sa composition en polyphénols, acides organiques, vitamines C, caroténoïdes, sucres, les minéraux : magnésium, potassium et le calcium et les fibres peut constituer un apport qualitatif sur le plan nutritionnel. La chlorophylle présente dans les cladodes est également un apport non négligeable en tant que colorant naturel et pour son rôle vis à vis des tumeurs.

L'addition de jus qui accélère la cinétique de fermentation du yaourt, réduit la durée de fabrication et peut donc s'avérer d'un gain économique non négligeable, tout en apportant les métabolites dont les propriétés médicinales et diététiques sont reconnues. Parmi les avantages, on peut citer la protection apportée par les mucilages aux muqueuses gastriques et la réduction de l'ulcère provoqué par l'acidité des aliments dont le yaourt. L'acidification plus rapide signifie t elle que les mucilages et les différents constituants ont un rôle prébiotique comme les FOS ?

Ce jus peut être apporté avant le début d'incubation ou en cours de brassage du yaourt. Son addition peut être envisagée dans les yaourts fermentés par le *Bifidus*. Son apport complète et préserve le caractère "bio" originel du yaourt.

Ainsi, l'*Opuntia ficus indica* L.Mill (inerte) peut constituer une matière première à faible coût et une forme de consommation des jeunes cladodes pour lesquelles les habitudes alimentaires restent encore un frein. L'exploitation du jus de cladodes comme boisson, au même titre que celle du fruit peut être envisagée comme l'ont suggérés et rapportés de nombreux auteurs parmi lesquels Rodriguez (1999).

Les résidus provenant de l'extraction du jus peuvent constituer un fourrage excellent après complémentation ou être exploités comme engrais organique dont les sols des régions semi arides en sont dépourvus.

Une utilisation des cladodes par l'élevage même à faible taux (15-25%) constitue un gain économique largement à la portée du secteur de l'élevage en Algérie. L'expérience des pays semi arides d'Amérique du sud et d'autres pays africains peut constituer une incitation à son développement. La consommation et l'introduction graduelle des jeunes cladodes dans les préparations alimentaires est à encourager.

Quand à l'utilisation alimentaire des jus, elle reste une alternative d'utilisation de ce potentiel en tant qu'apport en nutriments de valeur (fibres, vitamines, polyphénols, minéraux...) et par ces propriétés médicinales.

Nos résultats et les données disponibles justifient une valorisation par une intégration dans le yaourt ou des boissons, pour ce dernier cas la constitution d'un cocktail jus d'orange – cladodes a montré une stabilité de la boisson et son acceptation sur le plan organoleptique (chapitre III). Ainsi au moment ou manger « bio » ou manger « aliment multifonctionnel » devient un choix incontournable pour le consommateur, l'*Opuntia* présente des avantages à même d'être valorisés. Ainsi, une étude de la digestibilité des polysaccharides (mucilage) par les enzymes pancréatiques s'avèrent importantes pour justifier de l'effet prébiotique en comparaison avec les Fructooligosaccharides (FOS). Ces polysaccharides (mucilages) ont déjà prouvé leur résistance à l'acidité gastrique, et leur protection des muqueuses gastriques (Galati, 2001).

Chapitre III :
Jus de cladodes et figue, caractéristiques et utilisations

3. Utilisations des jus de cladodes pour la formulation de boissons cocktails

3.1. Essai de fabrication et analyses

3.1.1. Matériel d'étude et préparation

a) - Extraction du jus de cladode et préparation

Le jus a été extrait par centrifugeuse ménagère (dont caractéristiques en annexe 10) avec 2 vitesses de rotation : **5700 r/min** et **7900 r/min**. L'extraction a été faite en deux fois et le rendement en jus a atteint 35g /100g de PF Il est filtré avant d'être pasteurisé à une température de 85° pendant 15mn – il est ensuite refroidi et entreposé à une température de 4°C.

b) - Préparation du sirop composé

* concentré d'orange : 19,66%

* pulpe d'orange : 3%

* eau : 53,33% et sucre 45%

c) – Additifs et autres ingrédients de fabrication

Les additifs : acide citrique qui ne doit élever le PH à une valeur supérieur à 4 ; gomme guar à une dose de 0,04g par litre et arôme

d) - différentes combinaisons pour la mise au point de la boisson cocktail orange-cladodes

Nous avons utilisé au maximum 10% de jus de cladodes dans le cocktail pour rendre le jus acceptable et masquer l'odeur des cladodes (le jus de cladode représente dans les différentes formules 5, 7,5 et 10% (v/v).

Ci-après la composition pour 3 formulations (Tableau 18).

3.1.2. Formulation des jus

Tableau 18: Composition des différentes formules de cocktails

Les essais	Ingrédients	Quantités en %
1ere formule	Eau	72,09
	Sirop composé	22,72
	Jus de cladodes	5
	Gomme guar	0,04
	Acide citrique	0,15
2eme formule	Eau	70,09
	Sirop composé	22,72
	Jus de cladodes	7
	Gomme guar	0,04
	Acide citrique	0,15
3eme formule	Eau	67,09
	Sirop composé	22,72
	Jus de cladodes	10
	Gomme guar	0,04
	Acide citrique	0,15

3.2. Résultats et discussion

3.2.1. Caractéristiques physicochimiques des constituants utilisés dans les préparations.

a) – Caractéristique des jus d’orange

L’analyse physico-chimique de l’eau de procès montre que celle-ci présente les qualités requises pour la fabrication.

Le contrôle des différents ingrédients de fabrication, soit le concentré d’orange, la pulpe a montré que l’acidité et le degré Brix étaient conformes aux normes de fabrication utilisées par « Vutajus »

b) – Composition du jus de cladodes

Le jus issu des jeunes cladodes de poids compris entre 80 et moins de 120g (stade 2 à 3) se présente avec les caractéristiques synthétisées dans le tableau : 19 et 20 pour les deux jus (oranges et cladodes):

La teneur en mucilages des jus issus des jeunes cladodes de poids équivalent aux nopalitas est de 0,94 à 1,02 g/ 100ml de jus concentré a 1/3. Cette teneur est proche de celle obtenue par Sáenz et Sepúlveda, (1993) avec un rendement de 1 et 1,2% du poids frais. et celle obtenue par Fernandez-Landero, cité par Bravo-Hollins (1978), avec 1.09% à 4.53% selon les farines de cladodes utilisées.

Ces mucilages séchés contiennent 5,9% d’humidité, 21,52% de matière minérale et 1,5% de MAT. Le taux de mucilage des jus des jeunes cladodes est peu élevé pour constituer un gêne pour le consommateur lors de l’alimentation. Sa présence représente cependant la fraction soluble de la cellulose et constitue donc une part des fibres alimentaires qui regroupe aussi les pectines.

Tableau 19 : composition du jus de cladode utilisé dans le cocktail

paramètres	Jus de cladodes	Jus d'orange
Humidité en % du PF (jus)	92,5 - 96,3	86,3*
acidité en %	0,32 - 0,76	1,3 – 1,5*
pH	3,9 – 5,20	3 ,2 – 3,5*
Brix (°)	4,2 - 4,4	12 - 14*
Mat. Azoté. totale en g/100ml	0,089 - 0,011	0,7**
Mat. Minérale en g/ 100mL	0,8 3 ± 0,28	
Mat. Minérale en g/ 100g MS	11,06	2,8 -5,5 **
Sucres solubles totaux en g/100ml	1 ,03 - 1,171g	8<**
Fibre brute g/ 100ml	0.772 ± 0 ,23	Traces**
Mucilages en g/100ml	0,97 ± 0,26	-----
Polyphénols (en mg/ 100ml)	29,5 - 38,72	10,42 -28,43.
Anthocyanes en mg/100ml	0.045 ± 0,03 - (0.020)	
Flavonols/flavonones mg/100ml	30.74 ± 1,6	
Chlorophylle totale mg/100ml)	2,92 ± 0,21	traces
Caroténoïdes en µg/100ml	6,8 ± 1,06	57 – 83 (70) **
A cide ascorbique (vit C) mg/100ml selon methode DCPIP	12.32 ± 0,71	
Selon Méthode Sarkar	11,1 - 12,08	(38mg - 50)**

*selon Etienne 2002 ; () jus pasteurisé ** in Khelouia (2002) et Répertoire général des aliments (1995)

La teneur en eau du jus qui représente une moyenne de 92,5 - 96,3 % est supérieure à celle du jus d'orange. L'extrait sec qui représente moins de 8% (4,4°Brix) est constitué par une part importante de matière cellulosique notamment sous forme de mucilage pouvant représenter plus de 28 à 59% de la MS. Le dernier pourcentage a été observé pour des travaux antérieurs non publiés.

La composition en matière minérale avec 8,3g/L reste élevée comparée à celle des autres jus, dont celui des agrumes (2,2 à 5,5 g/L) rapporté par Khelouia

(2002). Quand à la teneur en fibres et en molécules bioactives tels que polyphénols, acide ascorbique, elle constitue un apport intéressant comparée aux jus de figue et jus d'orange. La préservation de l'acide ascorbique est recommandée et les polyphénols peuvent contribuer dans ce rôle.

La teneur en azote qui est de 0.089 pour 100g de MS est plus faible que celle des jeunes cladodes entières avec 1,41 à 2,51 pour 100 g de MS.

Les sucres totaux solubles qui représentent 1,01 à 1,17g/100ml sont moins représentés par rapport au jus d'orange mais sont proches de celui du jus de tomate avec 2,5 à 3,5/100ml. Ainsi le jus de cladodes serait moins énergétique ce qui confirme son rôle d'aliment diététique.

La teneur en polyphénols est comparable à celles de différents fruits (Ayadi, 2009). Elle connaît une diminution après pasteurisation et stockage au froid de 38,7mg/100ml jusqu'à 32,5 et 28,0 mg/100ml. Son intérêt est lié notamment à sa contribution à l'augmentation de l'activité antioxydante dans les jus. Ce qui augmente la protection de la vitamine C vis-à-vis de l'oxydation et la décomposition (Nicholas, et *al.*, 1997). A noter aussi que Sousa et *al.*, (2004) ont observés une forte activité anti radicalaire des polyphénols. Avec l'addition du jus de cladodes, le cocktail serait ainsi mieux pourvu en polyphénols, principalement les flavonoles. Dans le jus d'orange naturel cette teneur est peu importante avec 10 à 28mg/100ml (Gross, 1987). Cette dominance des flavonols chez d'autres variétés d'*Opuntia* a été aussi observée par Richardson (1978).

Les caroténoïdes sont par contre peu représentés dans les cladodes comparés au jus d'orange avec plus de 500 µg/100ml et par rapport au jus de tomate 100 - 380 µg/100ml

La chlorophylle totale est moins importante dans le jus comparé aux cladodes fraîches 13,6 mg pour 100g (Ayadi, 2009) et 4 - 5mg/100g pour nos échantillons de jeunes cladodes,

Tableau 20 : Composition minérale du jus de cladodes

Minéraux (en mg/100ml)	Jus de cladodes	Jus d'orange**	Minéraux (en mg/100ml)	Jus de cladodes	Jus d'orange**
Ca⁺⁺	165.45± 4,18	11	Fe ⁺⁺	0.4 ± 0,1	0.4
K⁺	230.05± 7,8	182	Cu ⁺⁺	N D	0,1 – 0,04
Mg ⁺⁺	7.25 ± 2,70	11	Zn ⁺⁺	6.35 ± 0,43	0,02 – 0,05
P	35.56 ± 3	16	Mn ⁺⁺	0.11± 0,01	10,4 – 30,9

** in Khelouia (2002) et Répertoire général des aliments (1995)

Cette composition minérale montre de nombreuses similitudes avec celle du jus d'orange et les possibilités d'enrichissement bénéfique pour l'ensemble de la boisson en éléments K⁺, Mg⁺⁺, P, Mn⁺⁺ et Zn⁺⁺. Le jus de cladodes demeure une source importante de calcium, potassium par rapport au jus d'orange (Répertoire général des aliments, 1995, et internet 1) l'importance du potassium est également un atout intéressant compte tenu de son rôle nutritionnel et de son effet diurétique déjà observé dans les boissons (Bwititi, et al., 2000).

Malgré la baisse du taux de calcium dans le jus comparée aux cladodes entières, l'extrait constitue un apport conséquent en minéraux Ca, K, P et Zn., fibres, vitamine C et polyphénols.

La composition du jus de cladodes montre ainsi une possibilité d'enrichissement et de complémentarité entre les deux jus.

L'addition du jus de cladodes permet de réduire les déficiences de certains constituants du jus d'orange par un apport complémentaire en fibre polyphénols, calcium, potassium, mucilage (effet médicinal) ce qui rehausse la qualité nutritionnelle de la boisson.

3.2.2. Qualité microbiologique et stabilité des cocktails

L'analyse microbiologique de l'eau de procès, du concentré d'orange et de la pulpe d'orange et jus de cladodes ont montré que leur qualité étaient conformes aux normes ce qui explique la stabilité du jus après incubation à 37°C.

En effet, une bonne stabilité microbiologique a été observée pour les différents cocktails après traitement thermique à 92°C.

Ce qui justifie la formulation de boisson cocktail avec du jus de cladodes.

On remarquera que la teneur en polyphénols est restée stable durant le stockage à 4°C et 37°C avec respectivement 402µg/ml et 396µg/ml ce qui est une perte moindre par rapport à celle rapporté par Ayadi, (2009). La stabilité du pH est également un indice qui confirme la bonne conservation.

3.2.3. Aspects organoleptiques des cocktails

Le test organoleptique a donné les résultats ci après (Tableau 21)

Tableau 21 : Résultats des analyses sensoriels

Caractéristiques sensorielles		Cocktail à 5% Jeunes .cladodes		Cocktail à 7% J..cladodes		Cocktail à 10% J .cladodes	
		Nb de réponses	Réponses en %	Nb de Réponses	Réponses en %	Nb de réponses	Réponses en %
aspect	mauvais	0	0	0	0	0	0
	passable	2	14,28	0	0	1	7,14
	moyen	1	7,14	3	21,42	7	50
	Assez bon	3	21,42	2	14,28	2	14,28
	bon	8	57,14	9	64,28	4	28,57
arome	mauvais	0	0	0	0	0	0
	passable	2	14,28	2	14,28	1	7,14
	moyen	8	57,14	6	42,85	6	42,85
	Assez bon	3	21,42	2	14,28	7	50
	bon	1	7,14	4	28,57	0	0
Gout sucré	mauvais	0	0	0	0	0	0
	passable	1	7,14	0	0	2	14,28
	moyen	4	28,57	5	35,71	2	14,28
	Assez bon	6	42,85	3	21,42	6	42,85
	bon	3	21,42	6	42,85	4	28,57
Gout acidulé	mauvais	0	0	0	0	0	0
	passable	1	7,14	1	7,14	1	7,14
	moyen	4	28,57	1	7,14	5	21,42
	Assez bon	3	21,42	4	28,57	5	42,85
	bon	6	42,85	8	57,14	3	28,57
préférence			35		37		28

L'aspect :

- 78,56% des sujets ont notés que le jus avait un aspect assez bon à bon avec 5% de jus de cladodes
- 78,56% des sujets ont notés que le jus avait un aspect assez bon à bon avec 7% de jus de cladodes
- 42,85% des sujets ont notés que le jus avait un aspect bon à bon avec 10% de jus de cladodes

L'arome :

- 28,56% des sujets ont notés que le jus présentait un arôme assez bonne qualité à bonne avec 5%
- 43% des sujets ont notés que le jus avait un arôme assez bon et bon avec 7%
- 50% des sujets ont notés que le jus avait un arôme assez bon avec 10% et 42% l'ont considéré moyen

Gout sucré :

- 64 % des sujets ont notés que le jus avait un goût assez bon à bon avec 5%
- 64 % des sujets ont notés que le jus avait un goût convenable soit assez bon à bon avec 7%
- 71 % des sujets ont notés que le jus avait un goût convenable soit assez bon à bon avec 10%

Gout acidulé :

- 64,28% des sujets ont notés que le jus avait un goût convenable soit assez bon à bon avec 5%
- 86 % des sujets ont notés que le jus avait un goût acidulé convenable c'est à dire assez bon à bon avec 7%
- 71% des sujets ont notés que le jus avait un goût assez bon à bon avec 10%

L'analyse organoleptique a permis d'observer que :

- 57 et 64 % des sujets ont notés que le jus avait un aspect assez bon à bon avec 5% et 7% de jus de cladodes
- 50% des sujets ont notés que le jus avait un arôme assez bon avec 10% de jus de cladodes.

- 71 à 85% des sujets ont notés que le jus avait un goût acidulé convenable noté assez bon à bon avec 7 et 10 % de jus de cladodes

D'autre part, le classement des préférences pour les cocktails formulés avec 5, 7 et 10% de jus de cladodes a montré que le choix des sujets est respectivement de 35 et 37% pour les deux premiers cocktails et 28 % pour le cocktail à 10%. Le troisième échantillon qui n'est pas rejeté semble indiquer que les sujets ont tendance à s'habituer à l'arome et au gout du jus de cladodes. et à son aspect qui était mal noté au départ.

3.3. Discussion et conclusion

Les différentes données tant sur le plan de la composition que des propriétés médicinales et thérapeutiques laissent ouverte l'exploitation des jeunes cladodes sous la forme jus en attendant l'évolution des habitudes alimentaires pour une utilisation comme légume.

Nos travaux mettent en évidence que l'addition de 5 à 10 % de jus de cladodes au jus d'orange, ne provoquait pas de rejet systématique malgré le changement de gout par rapport au jus d'orange seul. Ce qui ouvre une autre possibilité d'utilisation des cladodes.

Le test de stabilité du cocktail jus cladodes - orange, démontre aussi une possibilité d'exploitation à l'échelle industrielle.

Ce résultat laisse envisager, une possibilité d'amélioration de la qualité des jus avec un apport nutritionnel consistant en minéraux (Ca, K, P, Zn), vitamine C, mucilages (fibre soluble), polyphénols et autres molécules bioactifs dont l'effet médicinal a été largement rapporté.

L'effet médicinal lié à la présence de mucilage et des polyphénols et au pouvoir antioxydant et protecteur de la vitamine C a été rapporté par de nombreux auteurs. Ainsi les apports sur le plan nutritionnel et médicinal permettent d'avancer que l'appellation « deux en un » de la plante par certains auteurs, ne serait pas usurpée.

La part du jus de cladodes dans les cocktails peut être augmentée pour ne pas constituer une contrainte économique à leur exploitation. Différentes voies restent possibles pour améliorer le gout, on peut citer la dégazéification et l'aromatisation. La consommation et l'acceptabilité sont également amenées à augmenter du fait des possibilités d'évolution graduelle des habitudes du consommateur.

Le jus obtenu à partir de la pulpe de fruit est également une alternative qu'on ne peut sous-estimer.

4. Caractéristiques et composition des jus de fruit de figue et des grains

4.1. Rappel sur les caractéristiques

Ce travail réalisé sur le fruit a été consacré à un essai de stabilisation du jus dont le pH 5,6 à 6,4 est élevé par rapport aux autres fruits, ce qui rend difficile leur conservation et leur traitement thermique.

Notre travail a également porté sur la mise en évidence et l'étude des caractéristiques de la pectine.

Le fruit est une baie ovoïde de couleur verte à vert jaunâtre en début de maturité et rouge ou pourpre en fin de maturité. Les fruits sont riches en vitamines C et contiennent de nombreuses petites graines dures et osseuses. C'est la présence de ces graines qui réduit l'acceptabilité du fruit notamment par les consommateurs non habitués des régions tempérées (pays occidentaux). La teneur en vitamine C des fruits est de 25mg par 100g de fruit avec un apport modérément énergétique de 44 - 50 Kcalories par 100g de fruit (Regal, 1995). La pulpe de fruit qui est succulente, riche en potassium, calcium et magnésium selon Sawaya et al., (1983) explique l'attrait du fruit.

Le contenu en solide soluble du fruit est même plus important que celui des pommes, de l'abricot, des pruneaux et cerises (rapporté par Barbera, 1995). Sa composition montre une teneur appréciable en fructose et glucose à l'origine du goût très sucré des fruits.

Alors que la composition minérale montre une richesse appréciable en potassium de la pulpe et un bon équilibre en calcium, magnésium et phosphate.

Dans les pays sud américains, les fruits sont utilisés pour la fabrication de jus, confiture, gelées de fruits à partir des tranches de fruits, boisson alcoolisée (Sáenz Fuente, 1997, et Sepúlveda, 2005.). Au Chili, les produits issus de la figue et commercialisés sous différentes appellations, regroupent: les confitures et marmelades, jus, pulpes congelées, nectars et fruit déshydraté.

Le jus est obtenu en général par expression du fruit après élimination de l'écorce et des résidus solides (dont les graines). Il se caractérise par une teneur importante de sucre avec 9 à 12% ou le fructose domine avec 539 mg/100g, suivi du glucose 476mg et du saccharose 89mg, ce qui explique le goût sucré du jus de figue d'*Opuntia*. D'après Kutti et Galloway, (1994) leur nature et leur quantité varie selon la variété (ou écotype) et la maturité. Comparé aux autres jus leur composition présente un intérêt nutritionnel grâce à la richesse en vitamines C, magnésium et en potassium.

Ces caractéristiques et utilisations montrent ainsi tout l'intérêt que représente ce fruit.

4.2. Fabrication et caractéristiques des jus de la figue de barbarie

4.2.1. Matériel et méthodes

a) - Matériel végétal

Les échantillons ont été classés selon la maturité des fruits (couleur) en trois stades le fruit a été prélevé en Kabylie (à environ 3 kilomètres Est de la ville de TIZI OUZOU)

L'extraction a été réalisée machine à jus ménagère

- stade 1 : fruit petit vert clair à pulpe blanchâtre
- stade 2 : fruit moyen avec jaune à rougeâtre
- stade 3 : fruit plutôt de couleur rouge pourpre

Les grains sont récupérés séchés à température de 50°C pendant 24 heures pour l'analyse des constituants et pour une approche de la nature des protéines comparée à d'autres graines.

b) Techniques et méthodes (voir chapitre II)

4.2.2 Résultats et discussions

4.2.2.1 Composition des jus de figue

Les résultats ont été obtenus à partir de 3 répétitions

Tableau 22 : Composition de la pulpe selon le stade de maturité

stades	Composition de la pulpe					
	Matière Sèche	M.Minéral g/100MS	N Total g/ MS	Matière grasse	Suc Tot g/100gMF	Suc.red en g /MF
1	26,69	5 ,13	0,36	1,41	1 ,22	0 ,38
2	17,05	6, 14	0,45	1,52	1,27	0,48
3	14,41	9 ,83	0,65	1,62	1,34	0,50

Stade 1 : vert clair pulpe blanche ; stade 2 jaune -rougeâtre ; stade 3 rouge -pourpre

Tableau 23 : Composition du jus extrait selon le stade de maturité

stades	pH	Composition du jus						
		acidité	polyph totaux	Ac.ascorb (vit C)	Sucre réduc	Sucres totaux	Caroté noide	brix
1	5 ,05	0,20	10,42	2,06	0,43	0,90	0,25	11,24
2	5,26	0,11	14,36	8,10	0,52	01,03	1,54	15,23
3	6,15	0,08	28,43	15,95	0,82	01,19	2,73	16,24

Tableau 24 : Composition des grains (Mélange de différents stades)

Composition en g pourcent du grain (moyenne / stade				
(mélange de stade)	Teneur en eau	Mat minérale	Mat. Azotée	Mat grasse
	5,53±0,63	1,55±0,19	11,75±0,31	16,52±1,21

Ces résultats mettent en évidence tout l'intérêt des jus obtenus à partir de fruit plus murs (teneur en sucre, acide ascorbique, minéraux, polyphénols) cependant leur faible acidité qui correspond à un pH supérieur à 5, est un handicap pour la conservation et le traitement thermique.

Les fruits du stade 2 comparés à ceux du stade 3 présentent cependant un avantage par rapport à leur pH plus bas qui réduit les risques d'altération. Ces données justifient aussi une utilisation du mélange de ces deux jus et l'utilisation de fruits à différents stades de maturité tout en réduisant la part des fruits du stade 1 peu riches en polyphénols et vitamines C.

4.2.2.2. Etude de la stabilité du mélange jus du stade 2 et 3

Le jus dont le pH a atteint 5,46 après mélange, a été modifié par l'addition de l'acide citrique (autorisé dans la fabrication des jus), pour obtenir des pH de 3,8 et 4,2. Ce sont les jus les plus acides (soit à pH 3,8) qui ont montrés la meilleure stabilité lors de l'entreposage. Les échantillons montrent une légère précipitation, leur couleur jaune foncée à cependant légèrement évolué vers le jaune clair, mais ils ont gardé un arôme et un goût caractéristique du jus naturel après 20 jours de stockage à 4°C. Le témoin pasteurisé a gardé une bonne stabilité sur le plan microbiologique avec absence de moisissures pendant les 15 premiers jours mais il a évolué par la suite. Son PH a connu une faible évolution ce qui est une caractéristique de stabilité des jus. Des essais de clarifications sont cependant nécessaires pour donner une meilleure apparence au jus très turbide.

La composition des grains qui ont été séchés partiellement montre une teneur en eau élevée avec 5, 53%. Le taux de matière minérale est cependant inférieur à celui donné par Sawaya et *al.*, (1983) soit 3%. La teneur en azote qui est plus élevée que celle des cladodes avec 11,75% est cependant inférieur au taux observé par Sawaya et *al.*, (1983) avec 16% ; ce taux reste plus élevé que celui de nos échantillons même si leur séchage est ramené à 2% d'eau. La matière grasse avec un taux de 16,6% est comparable à celle des autres graines dont celles du soja et de celle observée par Sawaya (1993) pour les grains d'*Opuntia*. mais elle est plus élevée que celle rapportée par Swern (1973) Les graines renferment d'autre part une importante teneur en polysaccharides, cellulose et hémicelluloses selon Habibi et *al.*, (2002). Leur teneur dépasse 50% du poids du grain.

4.2.3. Extraction et profil chromatographique des protéines de graines

L'extraction qui a été réalisé par les deux solvants : tampon phosphate-dihydrogène et tampon Tris a montré que le taux a atteint 41% en présence du tampon phosphate et 66, 48% en présence du tampon Tris/HCl.

L'analyse du profile chromatographique par HPLC (tamisage moléculaire) a donné le résultat ci-après (figure 15).

Ce profile chromatographique présente beaucoup de similitudes avec celui des graines de coton (figure 16) extraites par tampon borate (Hadj Sadok, 1985).

Les constituants des deux premiers pics correspondent probablement aux protéines membranaires d'où leur poids moléculaire élevée atteignant 400000 dalton, (Dickert, 1976 : Marshall, 1984 ; cité par Hadj Sadok).

Le pic N° 3 correspondrait probablement a une protéine de type 12S alors que le pic N°4 serait une protéine 7S avec un PM qui serait par analogie aux travaux de Martinez (1970) de 140000 daltons Les autres pics peuvent correspondre à la fraction albumine ou à des produits de dissociation (en 2S) ou des peptides issus de l'hydrolyse post-extraction. Cela laisse supposer que les protéines pourraient être de même type que celles du coton et des légumineuses.

4.3. Discussion et conclusion

Le jus de fruit de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica*) présente des différences de composition selon le stade de maturité. Le pH augmente avec la maturité parallèlement à la teneur en sucre réducteur et totaux, la même tendance est observée pour les polyphénols qui varie de 10,42mg à 28,43mg/100g. A maturité les fruits donnent un jus plus riche en acide ascorbique et polyphénols mais dont le pH élevé reste un facteur limitant. La modification du pH qui offre des conditions favorables aux altérations et rend difficile le traitement thermique, a permis une stabilisation lorsqu'elle est suivie d'un flash de pasteurisation. Ce traitement préserve au maximum la qualité originelle et le gout du jus. Ce jus nécessite cependant une clarification pour réduire la turbidité liée aux mucilages et pectines présents. Les techniques utilisées ont été rapportées et mis au point par Moßhammer Markus R et *al.*, (2006).

La composition des graines issues de la préparation des jus de figue augmente d'une part la valeur alimentaire des résidus qui peuvent constituer un fourrage enrichi en azote et cellulose, comme ils peuvent constituer une matière première pour l'extraction de l'huile. A ce propos des travaux ont montré que celle-ci est de qualité comparable à l'huile de tournesol (Feugang et *al.*, 2006). Une caractérisation plus complète des protéines, de leur valeur biologique et de leurs propriétés s'avère opportune pour une meilleure valorisation.

Figure 15 : Diagramme d'éluion des protéines de grains d'opuntia ficus indica par HPLC, colonne C18 Tampon tris/HCl-0,5M NaCl – pH 8,1

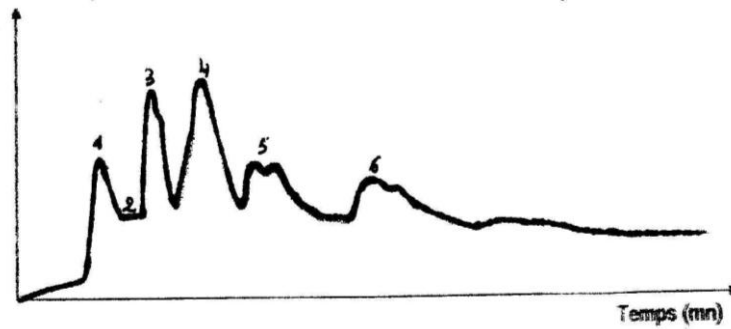


Figure 16 : Diagramme d'éluion des globulines de coton sur gel ACA 34, Tampon borate 0,0125M – Na Cl 0,5M – pH 8,8 – [Source Hadj Sadok (1985)].

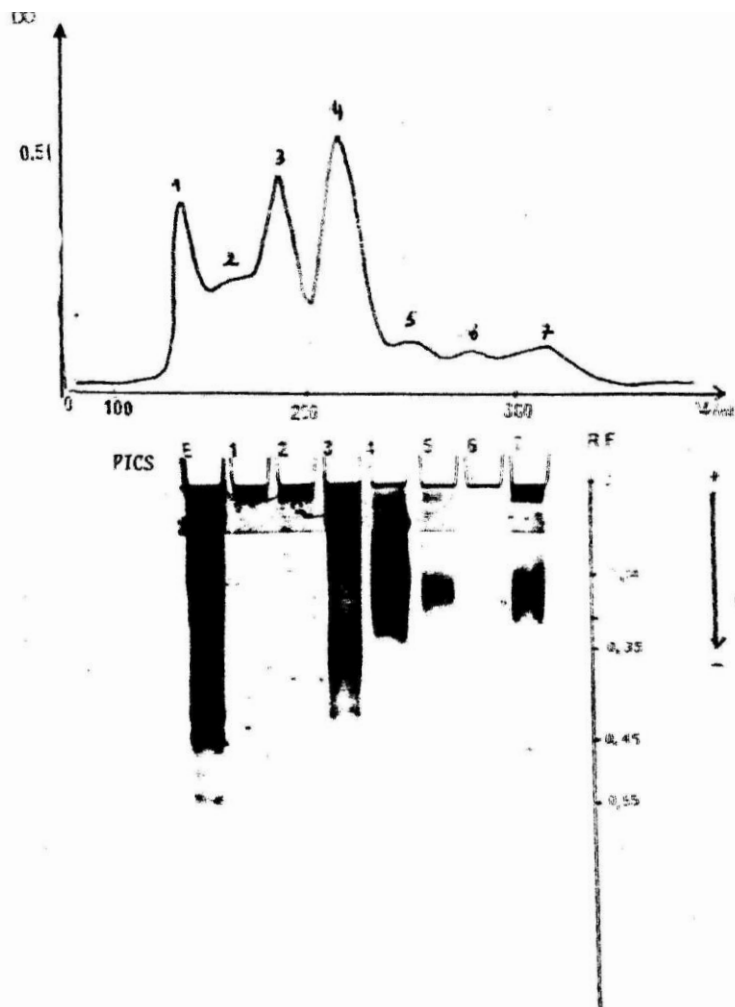


Figure 17 : Electrophorèse sur gel de polyacrylamide (7%), tampon tris – glycine, pH 8,3 des globulines et fractions séparées sur gel ACA 34

E : extrait de globuline

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ces résultats et les avancées scientifiques sur l'Opuntia, montrent tout l'intérêt que représente cette plante pour les régions arides et semi-arides.

Cette plante présente sur tous les continents, a montré une diversité : de comportement par rapport aux conditions du milieu (résistance à la sécheresse, à la gelée,...) et de composition selon le stade de croissance des cladodes et la maturité des fruits.

Le rôle stratégique que peut jouer cette plante dans la lutte contre la désertification, son apport à l'élevage et le maintien des populations rurales en contribuant à l'offre d'un complément alimentaire (fruit – « légumes ») non négligeable sont autant d'atouts en faveur de cette plante. Ils nécessitent cependant la prise en compte des différentes données relatives à la composition, au comportement, à la conduite culturale, au choix variétale et à la sélection comme préalable à la relance de cette culture.

La composition des cladodes a permis de confirmer la possibilité d'utilisation des jeunes cladodes comme légume et dans diverses préparations alimentaires. Elle a permis d'observer une variation importante de la composition minérale : (potassium, calcium, magnésium, micro éléments) et des constituants : vitamines, fibres selon le stade de croissance. Les plus jeunes cladodes d'un poids compris entre 60 et moins de 105g présentent une qualité alimentaire et nutritionnelle optimale qui peuvent justifier leur consommation.

L'utilisation du jus de cladodes concentré comme alternative de valorisation d'une partie des composants de cette plante compte tenu de leur valeur biologique, médicinale 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 sur la santé).

Dans cette perspective, si les premiers résultats d'intégration dans le cocktail de boissons d'orange et pour l'enrichissement du yaourt ont été encourageants, il reste à compléter ce travail par une optimisation des paramètres (quantités à ajouter, traitements thermiques, stabilité du mélange, amélioration sensorielle), l'évaluation du pouvoir antioxydant et de son évolution et l'effet épaississant des mucilages sur les préparations.

Il serait opportun de préciser une utilisation optimale à partir du jus lyophilisé et d'envisager d'autres préparations acceptables sur le plan organoleptique.

La stabilisation des jus issus du fruit par l'abaissement du pH ouvre une nouvelle perspective de valorisation au même titre que les autres jus. Alors que

CONCLUSION GENERALE

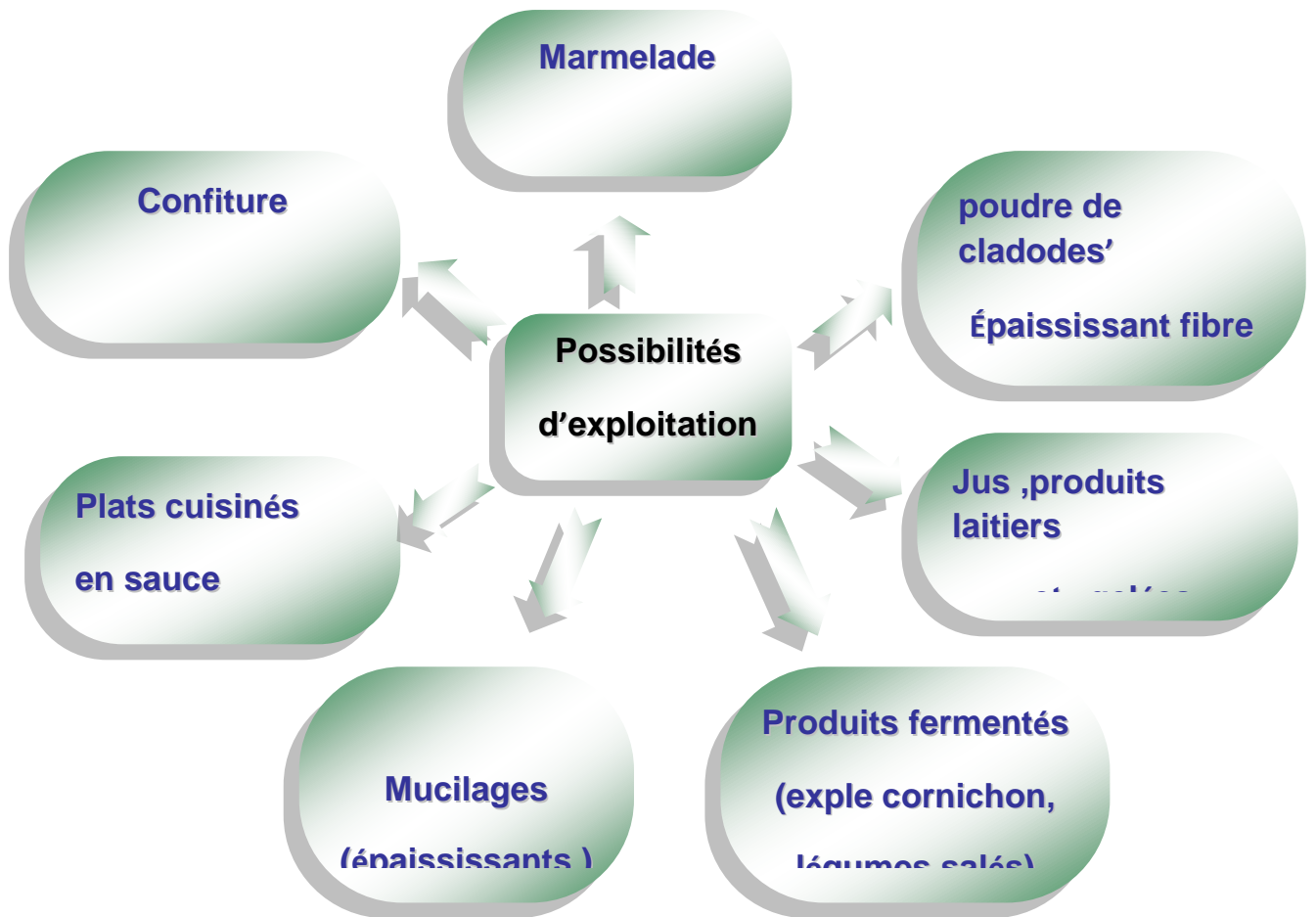
les pelures et les graines qui représentent une part importante des résidus peuvent être exploitées comme fourrage, source de pectine de protéine et d'huile. Quand aux résidus d'extraction de cladodes, leur valorisation peut être envisagée comme complément fourrager et dans la préparation des aliments du bétail.

Ainsi, un programme de développement de cette culture axé en priorité sur l'élevage/protection de l'environnement et intégrant l'homme doit être encouragé. Des actions de vulgarisation, de soutien et de sensibilisation, doivent être menés en vue de favoriser l'utilisation des jus de fruits et de jeunes cladodes et des cladodes entières. A ce propos, les essais effectués au Chili par Saenz et *al.*, 1995, ont montré une bonne acceptation d'une confiture à base de cactus mélangé de jus et zeste de citron.

Les préalables à un tel programme sont de montrer et justifier le rôle de cette plante en tant que **réserve** stratégique (eau – matière) et **d'urgence** pour la population et l'élevage des régions semi arides soumis à de longues périodes de sécheresse.

La déficience en azote qui handicape cette plante comme fourrage, est déjà corrigé par l'introduction d'écotypes plus riches (jusqu'à 13% de la MS) et par l'utilisation des engrais azotés.

De nombreux pays ont optés pour la valorisation et l'exploitation de *l'opuntia ficus indica* inerme, dans un but alimentaire, cosmétique ou médicinal. La question qui mérite d'être posé est donc pourquoi pas l'Algérie, étant donné les perspectives qu'offrent cette plante et que nous synthétisons dans le schéma ci- après :



..... des possibilités qui peuvent susciter l'intérêt des acteurs et décideurs à différents échelons.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Adli Benziane, 2006: contribution à l'étude de l'*Opuntia* et perspectives d'amélioration dans le milieu steppique, mémoire de magister, département agronomie, université de Blida.

Ayşe Sibel Akalın, Serap Fenderya, Necati Akbulut, 2004: Viability and activity of bifidobacteria in yoghurt containing fructooligosaccharide during refrigerated storage *International Journal of Food Science & Technology* 39 (6), 613–621.

AOAC, 1990 : In K. Helrich, Editor, *Official methods of analysis of AOAC: food composition; additives; natural contaminants* Vol. II, AOAC, Arlington.

Ayadi M.A. , Abdelmaksoud W., Ennouri M., Attia H. ,2009: Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making, *Industrial Crops and Products* 30 (2009) 40–47

Barbera, G., 1995: History, economic and agro-ecological importance. In Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, P. (Eds.), *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear* (pp. 1–11). FAO Plant Production and Protection Paper, 132.

Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, E., 1999: Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. 132, 225pp.

Batista, A. M., Mustafa, A. F., McAllister, T., Wang, Y., Soita, H., McKinnon, J. J., 2003: Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 440–445.

Ben Salem, H., Abdouli, H., Nefzaoui, A., El-Mastouri, A., Ben Salem, L., 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Rumin. Res.* 59, 229–237.

Berger et al., 1978 in ADLI 2006

Bouhraoua, A., 1989: contribution à l'étude d'un halophyte (*Atriplex halimus*) cas du périmètre d'expérimentation d'El-mesrane wilaya de Djelfa. Comportement, technologie et écophysologie. PFE d'ingénieur. Depart. Agro. U. Blida

Bounab O., 1999: Contribution à l'étude de la valeur alimentaire de l'*Opuntia ficus indica* var. *inermis* : effet de l'âge des raquettes sur leur composition chimique et leur digestibilité, mémoire de fin d'étude en Agronomie- INA- Alger.

Budinsky, A., Wolfram, R., Oguogho, A., Efthimiou, Y., Stamatopoulos, Y., Sinziger, H., 2001: Regular ingestion of *Opuntia robusta* lowers oxidation injury. *Prostagland. Leukotr. Ess. Fatty Acids*, 65, 45–50.

Bwititi, P., Zamurawo, M., Mabhachi, G., Mashanga, N., 1997, Toxic and hypericaemic effects of *Opuntia megacantha* extract in rats., *Phytother. Res.* 1997, 11, 389–391.

Bwititi, P., Musabayane, C. T., Nhachi, C. F. B., 2000: Effects of *Opuntia megacantha* on blood glucose and kidney function in streptozotocin diabetic rats. *J. Ethnopharmacol.*, 69, 247–252.

CACTUSNET Newsletters (FAO, ICARDA), (11)2008, Antioxidant Properties Of Cactus Products par M A. Nazareno1 and Evangelina González (Argentina.)

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

Cantwell (1999) in **Saenz Carmen**, 2006: Utilizacion agroindustrial del nopal. Bulletin des services Agricoles de la FAO 162, **Roma**, p.9-10

Cárdenas Medellín, S. Serna Saldívar and J. Velazco de la Garza , 1998: Efecto de la ingestión de nopal crudo y cocido (*Opuntia ficus indica*) en el crecimiento y perfil de colesterol total, lipoproteína y glucosa en sangre de ratas, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **48**, 316–323.

Cardenas, A., Goycoolea, F., 1997: Reología en solución del mucílago del nopal *Opuntia (ficus indica)*. Memorias VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, México, p 171–172.

Cárdenas A., Higuera-Ciapara I. and Goycoolea F., 1997 ; Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution, *Journal of the Professional Association for Cactus Development* **2**, pp. 152–157.

Castellar R., J.M. Obón, M. Alacid & J.A. Fernández-López., 2003:Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *J Agric Food Chem* 51, 2772–2776

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

Cicero A.F.G., G. Derosa & A. Gaddi 2004: What do herbalists suggest to diabetic patients in order to improve glycemic control? Evaluation of scientific evidence and potential risks. *Acta Diabetologica* 41 : 91-98

CIHEAM Options Méditerranéennes, Sér. B / n°14, 1995 - Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000.

Chaplin, (1986) cite par Betty Matsuhira et al, Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*, *J.Carbohydrate Polymers* 63, (2, 3) 2006, P 263-267

Choukal, H. et Ouradj I., 2008 : Mise au point d'une boisson à base de cladodes d'*Opuntia ficus indica* et de concentré d'orange et suivi en cours de stockage. Memoire d'ingénieur, Département biologie – Université Saad Dahlab – Blida (Algérie)

Cook, N. C and. Samman S., 1996: Flavonoids-Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources .*The Journal of Nutritional Biochemistry*, Volume 7, (2), P 66-76.

Corbo, M. R' Altieri, , C. D. Amato D', Campaniello D.,. Del Nobile M. A and Sinigaglia, M., 2004: Effect of temperature on shelf life and microbial population of lightly processed cactus pear fruit, *Postharvest*31, (1), P 93-104

Corrales-Garcia Joel et Saenz Carmen, 2006: Utilization on agroindustrial del nopal in Carmen Saenz (p.51 – 69), Bulletin Des Services Agricoles de la FAO N°162

Curasson, G.M., 1952 : Arbres, arbustes, buissons et fourrages spontanés divers en régimes tropicales et sub-tropicales. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 5, (4), p267-270.

Dahmane, H., 2009 : évaluation de la valeur nutritionnelle de l'extrait de jeunes cladodes de l'*Opuntia ficus indica* L.Mill ; cas des polyphénols, minéraux et mucilage, PFE Dept Agronomie Univ.Saad DAHLAB - Blida.

Díaz Medina E.M., Rodríguez Rodríguez E.M. and. Díaz Romero C., 2006: Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits , Food Chemistry, (Article in Press - on line sc.direct 27 sept 2006)

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

Del-Valle, V, Hernández-Muñoz P., Guarda A. and Galotto M.J., 2005: Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life ; Food Chemistry, 91, (4), p. 751-756

Dohou, N., Yamini, K. , Tahrouch S. ,Idrissi Hassani L.M. ,Radoc A. , Gmira N. , 2003: Screening phytochimique, SCREENING d'une endémique Ibéro-marocaine, *THYMELAEA LYTHROIDES*, Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 142, 61-78

Dragsted, L.O., Strube M. and Larsen J.C., 1993: Cancer-protective factors in fruits and vegetables: biochemical and biological background. *Pharmacological Toxicology* 72 Suppl. 1, 116–135.

Dubois M. et al, 1956: Analytical chemistry, 28, n°3 p 350-356). .

El-Kossori, R. L., Sanchez, C., El Boustani, E.-S., Maucourt,M. N., Sauvaire, Y., M_jean, L., Villaume C., 2000: Comparison of effects of prickly pear (*Opuntia ficus indica* sp.) fruit, arabic gum, carrageenan, alginic acid, locust bean gum and citrus pectin on viscosity and in vitro digestibility of casein. J. Sci. Food Agric., 80, 359 –364.

Espinosa, S., 2002: Estudio de algunas propiedades físicas de hidrocoloides provenientes de la semilla de algarrobo (*Prosopis chilensis* Mol.) Stuntz) y de cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica* L. Mill.).Tesis de Grado. Magister en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agronomicas. Universidad de Chile, 71pp.

Etienne, E., 2002 : Introduction à la transformation industrielle des fruits, ed tech et doc, Lavoisier, 5-66.

Evêque, V.D., 1995: optimisation of tissues cultures for *Opuntia*,thésis, University of Texas,http // www. Lawrence.edu/Fast/magnov/Valthésis. html

FAO., (1971)"Techniques de développement pastoral", vol.3, plantation d'arbustes fourragers, projet FAO Tun. 71/540, Ariana -Tunisie , 17p.

FAO – OMS, 1973 : besoins énergétique et en protéines, rapport technique du comité mixte, Rome N°52

FAO – OMS, 1974 : manuel sur les besoins nutritionnels de l'homme N°28, Rome, 1974.

Feitosa-Teles F.F., Stull J.W., Brown W.H. And Whithing, F.M., 1984, Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*). *J.Sci. Food. Agric.*: 35,421-425 p.

Felker B., 1995. Résultats d'un essai sur l'alimentation du mouton en période de disette fourragère au centre d'Oussetta. Tunis, FAO. Projet TUN/176P.

Felker, P., 1995, in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta-Barrios, E. (Eds.), forage and fodder production and utilization in Agroecology cultivation and uses of Cactus Pear,. FAO- plant production and protection paper 132,144-154.

Felker, P., Singh, G., Pareek, O. P., 1997: Opportunities for development of cactus (*Opuntia* spp.) in arid and semi-arid regions. *Ann. Arid Zone*, 36, 267–278.

Ferrah, N., 1994, Contribution à l'étude de la valeur nutritive de deux espèces d'Atriplex (*halimus* et *canscens*), Mémoire d'Ingeniorat en Agronomie, Univ Saad Dahlab – BLIDA

Flachowsky, G. et Yami A., 1985, Composition, digestibility and feed intake of *Opuntia ficus indica* by Ogden sheep. *Archives fur tierenhrung*: pp 599-606.

Fouquet cité par Benrachid, 1999 Actes de la deuxième journée nationale sur la culture de cactus- mai 2000 El kalaa des Sreghna-- Maroc.

Frati, A.C. Jiménez E. and Ariza R.C., 1990, Hypoglycemic effect of *Opuntia ficus indica* in non insulin-dependent diabetes mellitus patients, *Phytotherapy Research* **4**, pp. 195–197.

Galati, E. M., Pergolizzi, S., Miceli, N., Monforte, M. T., Tripodo, M. M., 2002: Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. cladodes. *J. Ethnopharmacol.*, 83, 229 –233.

Galati, E. M., Monforte M. T. Tripodo, M. M, A. d'Aquino and Mondello M. R., 2001: Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae): ultrastructural study, *Journal of Ethnopharmacology*, 76, 1, 1-9

Galati, E.M., Tripodo, M.M., Trovato, A., d'Aquino, A., Monforte, M.T., 2002 b: Biological activity of *Opuntia ficus indica* (L.) MILL. cladodes, note II: effect on experimental hypercholesterolemia in rats, *Pharmaceutical Biology*. 41 (3): 175-179 (2003)

Galati, E.M., Tripodo, M.M., Trovato, A., d'Aquino, A., Monforte, M.T., 2002a: Biological effect *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. waste matter. note I: diuretic activity, *Journal of Ethnopharmacology*.

Garti, N., Leser, M.E., 2001 : Emulsification properties of hydrocolloids. *Polymers for Advanced Technologies* 12, 123–135.

Ghol, B.O., 1982, les aliments du bétail sous les tropiques. Données sommaires et valeur nutritive. Acte FAO Rome pp 265-266

Gil, M.I., Tomas-Barberan F.A., Hess-Pierce B., Holcroft D.M. and Kader A.A., 2000: Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural & Food Chemistry* **48**, pp. 4581–4589.

Gregory et Felker (1992) cité par Tegege 2001

Gomez-flores, R , Tamez-Guerra P. , Talmez-Guerra R., Rodriguez- Padilla ., Leticia A. Houad-marroquin, Cordova-Ppunte C. and Rangel A.,2006: *In vitro* Antibacterial and Antifungal Activities of *Nopalea cochenillifera* Pad Extract., American Journal of Diseases 2 (1), 1 – 8

Gross, J., 1987, pigments in fruits.Ed. Academic Press. London

Guevara, J. C., Yahia E. M., Brito E. de la Fuente and S. P. Biserka, 2003: Effects of elevated concentrations of CO₂ in modified atmosphere packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.) Postharvest Biology and Technology 29, p 167-176.

Guinard, J.L., 1996, Biochimie végétale Ed Tec et Doc, PARIS, 175-192..

Habibi, Y. Mahrouz M. et Vignon, M.R, 2002: Isolation and structure of D-xylans from pericarp seeds of *Opuntia ficus indica* prickly pear fruits, *Carbohydrate Research* **337**, pp. 1593–1598.

Hadj Sadok, T, 1985 : Composition et caractérisation des protéines de graines de coton, DEA –option : biologie et physiologie végétale : laboratoire INRA/LBTP Univ. Nantes

Haslam, E., 1988, Plant polyphénols (syn. Vegetable tannins) and chemical defense a reappraisal. *J. of Chemical Ecology*, 14:1789-1805.

Hollins Bravo, H., 1978. in C. Saenz et al. (2004)

Internet site web: [inernethhttp://membres.lycos.fr/snviédess/projetjus.htm](http://membres.lycos.fr/snviédess/projetjus.htm)

Jarrige, R., Grenet E., Demarquilly C. , et Besle JM. , 1995, Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion, INRA publication pp 25 – 81.

Jones P., Raeini-Sarjaz M., Ntanios F., Vanstone C., Feng J., et Parsons W., 2000: Modulation of plasma lipid levels and cholesterol kinetics by phytosterol versus phytostanolesters. *J Lipid Res* 41, 697–705

Joslyn, M. A., 1970: A serie of monographies. Food. Sci. Techn. 2^{ieme} Edition Board.

Kader A. 2002: Cactus (prickly) pear: recommendations for maintaining postharvest quality. Available from <http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/produce/ProduceFacts/Fruit/cactus.shtml>.

Kadik B., 1974, les plantations semi forestières pastorales, rev. INRA., Alger p83-92

Kartez, R., 1996, Nature. Le livre de Paris Hachette imprimé en Italie par G. Gana.

Kenney L., le figuier de barbarie, importance agronomique et conduite technique, bulletin de l'institut agronomique et vétérinaire Hassen II, MADRPM/DERD N° 35 , Agadir (Maroc) Aout 1997, <http://www.iav.ac.ma/pnta/02-35htm>.

Khelouia, L 2002, Evolution des qualités microbiologiques et physico-chimique des concentres de jus d'orange de l'unité ENAJUC, Boufarik, Dept agronomie. – Univ. Saad Dahlab - Blida.

Khoury, M.S., 1970 : *Opuntia*, bilan écologique en Algérie, INRA et CAREF, 59p.

Krebs-Smith S.M. Cook A, Subar, A.F. Cleveland L. and Friday J., 1995, Assessing fruit and vegetable intakes: toward the year 2000, *American Journal of Public Health* **85**, pp. 1623–1629.

Kuti, J.O., Galloway, C.M. 1994. Sugar composition and invertase activity in prickly pear fruit. *J. Food Science* 59(2):387-393.

Kuti O.Joseph , 2004, Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry*, 85, (4) , P 527-533

Larpent J.P., Larpent G.N., 1997/ Memento technique de microbiologie technique et documentation 1039p.

Lehouerou, H.N., Le rôle des cactacées (*Opuntia*) dans le développement agricole des zones arides méditerranéennes. Proc. 2^o Congrès internationale sur poire épineuse et cochenille, 22-25 septembre 1992, Santiago – CHILI.

Lee E.B., Hyun, J.E. Li, D.W. et Y.I. Moon, 2001: The effect of *Opuntia ficus-indica* var. saboten fruit on gastric lesion and ulcer in rats. *Nat Prod Sci.* 7, 90-93.

Lee et al., J.S. Lee, H.J. Kim, H. Park and Y.S. Lee, 2002: New diarylheptanoids from the stems of *Carpinus cordata*, *J. Nat. Prod.* **65**, pp. 1367–1370.

Lebreton, P., Jay M., Voirin B., 1967: - Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. - *Chim. Anal.* (Paris), 49, (7), 375-383.

Lichtenthaler, K.H., 1987, chlorophylls and caroténoids pigments of photosynthétic biomembranes. *Methods in enzymology*, 148, 349 - 382.

Lopez, P.O et Burgos, R.R, 1973. Canned prickly pear juice. *Technologie des aliments* 8(5) : 237p.

Loro, J.F., Del Rio, I., Perez-Santana, L., 1999. Preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of *Opuntia dillenii* aqueous extract. *Journal of Ethnopharmacology* 67, 213–218.

Maataoui S.- Belabbes et Hilali S., 2002 : Caractérisation physico-chimique de jus de deux types de fruits de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) de la région de la Chaouia, Acte : congrès de biochimie. Maroc (Casablanca)

Mahmoudi, F., 2000 : Détermination de la composition chimique et mesure de la digestibilité des raquettes terminales et sub-terminal de l'*Opuntia ficus indica* dans l'alimentation des ruminants. Thèse d'ingénieur en Agronomie - Université de Mostaganem Pp 65.

Medina-Torres, L., Brito-de-la-Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R., 2000, Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocoll.*, 14, 417–424.

Medina-Torres, L., Brito-de-la-Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Alonso, S., 2003: Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*) and carrageenans. *Carbohydr. Polym.*, 52, 143–150.

- Malainine, M.E., Dufresne, A., Dupeyre, D., Vignon, M.R., Mahrouz, M.,** 2003: First evidence of weddelite crystallites in *Opuntia ficus-indica* parenchyma. *Z. Naturforsch./ Biosci.* 58, 812–815.
- Michel, M.,** 1998: Encyclopédie of medicinal plants, librairie du Liban publishers
- Middleton, E. and Kandaswani C.,** 1992, in Kuto J.O. *Food Chemistry* 85, (4) , P 527-533
- Miller J.,Nicholas and Rice-Evans A. Catherine,** 1997: The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink, *Food Chemistry*, 60, (3) , P 331-337
- Mizrahi, Y., Nerd, A., Nobel, P. S.,** 1997, Cacti as crops. *Hort. Rev.* 18, 291–320.
- Mishari et al, 1997.** (in Anonyme I) Cité par Mezzour M. dans actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, 30mai 2000 – Maroc
- Moßhammer Markus R., Florian C. Stintzing and Reinhold Carle,** 2006:Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear, *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 7, (4) , P 275-287
- Mondragon, J.C. et Perez G.S.,** 2001, “Germplasm resources and breeding *opuntia* for fodder production in Mondragon J.C., Perez G.S., Arias E., Reynolds S.G., et Sanchez M.D., (Eds), *Cactus (Opuntia spp) as forage*”, FAO Plant production and protection paper 169, Rome (Italy),2001,21-28.
- Monjauze A et Lehouerou H.N.,** 1966, Le role de l’opuntia dans l’économie agricole Nord Africaine ;Extrait de bulletin de l’école nationale superieure de l’agriculture de Tunis N° 8-9, septembre – décembre 1965, pp. 85-164.
- Mulas M.,** 1993: Medicinal properties and yield possibilities of the prickly pear (*Opuntia* spp.) in the Mediterranean Environment. *Acta Horticulturae* 331, pp. 79–84.
- Ncibi Saida, Mahmoud Ben Othman, Amira Akacha, Mohamed Naceur Krifi, Lazhar Zourgui,**2008: *Opuntia ficus indica* extract protects against chlorpyrifos-induced damage on miceliver *Food and Toxicology*,46, (2) , P 797-802
- Nefzaoui, A.,:**1996:" Nutritive value of spinless cactus (*Opuntia ficus indica*) and Atriplex (*Atriplex numularie*) based diets for sheep, vol. II, proceedings of the workshop on native and exotic fodder shrubs in arids and semi-arids zones 27 Oct.- 2 Nov., 1996, Hammamet (Tunisia),(eds) INRAT/ICARDA/SWP/ Ministry of Agriculture, (2001), 518-523.
- Nefzaoui, A. et Bensalem, 1995:** Ewe - lambs feeding with cactus based diets. Effect of the type of nitrogen supplement. IV th international symposium
- Nefzaoui A. et Chemiti.,** 1991 : Place et rôle des arbustes fourragers dans les zones arides et semi arides de la Tunisie, IN option méditerranéen – série A séminaire n°16 – Ed. CIHEAM, p 425-
- Nelson, A.,** 2001. High-fiber Ingredients. Eagan Press Handbook Series. Eagan Press St. Paul, Minnessota, p. 88.

Nobel, P.S, 1988, in **Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, P.**, (Eds.), *Agro ecology, cultivation and uses of cactus pear* (pp. 36–45). FAO Plant Production and Protection, Paper: 132.

Nobel, S.P., Cavalier J. and Andrade J., 1992: Mucilage in cacti its apoplastic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relation, *J. of Experimental Botany* **43** (250), pp. 641–642.

Okuda, T., 1993 : Polyphenolic phenomena, Ed. Scalbert A., INRA. , Paris: 221-235.

Oppenheimer, HR, 1962: recherche sur la zone Aride échanges hydrique des milieux arides et semi aride. Compte rendu de la recherche de l'UNESCO.

ONS (bulletin de l'Office National des Statistiques) 1988, Algérie -

Park E.H., J.H. Kahng S.H. Lee & K.H. Shin ,2001,: An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia* **72**, 288-90

Park G.L. ; Biyers J.L; Pritz C.M.; Nelson D.B.; Navaro J.L.; Smolensky D.C. ; Vandercook C.E., 1983: Characteristics of California Navel orange juice and pulp wash. *J. of Food Science*. **48** (2): 627-632

Piga, A., Del Caro A., Pinna I. and Agabbio M., 2003: Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits *Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie* **36**, (2) , P 257-262

Piga A., 2004: Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *J Profess Assoc Cactus Dev*, 9-22 (2004).

Pimienta –Barrios, 1994 : cité par Mezzour M. dans actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, 30 mai 2000- Maroc

Poudevigne, H., 1988 : Recherche sur la digestibilité de l'*Opuntia ficus indica* inerme en Tunisie. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, Doc tech. **12**. p. n°. 16

Rebiha K. ., 2006 : L'*Opuntia ficus indica* inerme, composition et possibilité de valorisation des jeunes cladodes Mémoire d'ingénieur en Agronomie. Université Saad Dahlab – Blida (Algérie) Travaux non publiés-

Rebour M., 1968, Fruits méditerranéens autres que les agrumes, La maison rustique. Paris : 207 p.

Regal, 1995 in Répertoire général des aliments,

Répertoire général des aliments, 1996 ; table de composition minérale, ed. TEC et DOC tome 4, Paris, 197p. 66.

Retamal, N., Duran JM .et Fernandez J. 1987b: Seasonal variation of the composition in prickly pear (*Opuntia ficus indica*), *J. of the science and agriculture* p. 303-311.

Reynolds, G.S., Arias, E., 2001: Introduction. In: Mondragón-Jacobo, C., Pérez-González, S., (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. FAO Plant Production and Protection Paper No 169, Rome, Italy. p. 1–4.

Reynolds, T., Dweck, A. C., 1999: Aloe vera leaf gel: a review update. *J. Ethnopharmacol.*, **68**, 3–37

Ribereau – Gayan, P., 1968, les composés phénoliques des végétaux du raisin et du vin, Ed. Dunod, Paris, 254p

Richardson, M., 1978, Flavonols and C-glycosylflavonoids of the Caryophyllales. *Biochem. System. Ecol.*, 6, 283–286

Rivière, R., 1991, Alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Document français, Ministère de la coopération et du développement. Ed. 171p

Rodríguez- Felix A. et Cantwel M., 1988- Developmental changes in the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (Nopalitos). *Plants food for Human Nutrition*. 38: 83-93 p.

Rodríguez-Felix, A., Villegas-Ochoa, M. A., 1997: Quality of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during low-temperature storage. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.*, 2, 142–151.

Rodríguez, D. 1999: Desarrollo de una bebida pasteurizada a base de nopal. pp. 75-76. *In: Aguirre, J. R., Reyes, J. A. Memoria. VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosí, México.*

Russel CE. et Felker P., 1987: The prickly pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) a source of human and animal food in semi arid regions. *Econ. Bot.* 41: 433-445 pp.

Rwashda cited by Garti (1999) Garti, N., 1999. Hydrocolloids as emulsifying agents for oil-water emulsions. *Journal of Dispersion and Science Technology* .20 (1&2), 327–355.

Saénz, C., Vásquez, M., Trumper, S., Fluxá, C., 1992: Extracción y composición química de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Actas: II Congreso Internacional de la tuna y cochinilla. Santiago, Chile*, pp. 93–96.

Saénz, C., Vásquez, M., Trumper, S., Fluxá, C., 1992. Extracción y composición química de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Actas II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla. Santiago, Chile*, pp. 93–96.

Saénz C. and Sepúlveda E., 1993: Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus indica*), *Alimentos*, 18 (3), p. 29–32.

Saénz - Hernandez C., 1995: Food manufacture and By products. in FAO plant product and protect Division paper 132. Coord. By E. Arias Jiménez, p 137-143.

Saénz A.M., E. Estévez, E. Sepúlveda & P. Mecklenburg, 1998: Cactus pear fruit: A new source for a natural sweetener. *Plant Foods Human Nutr* 52, 141-149

Saénz C. and. Montoya L.C., 1999: Nopalitos: Nueva hortaliza para Chile, *El Campesino* 130,(6), pp. 4–7.

Saénz C., 2002. Cactus pear fruit and cladodes: a source of functional components for foods. *Acta Hort* 581, 253-263.

Saenz-Hernandez, C., Corrales-Garcia, J., Aquino-Perez, G., 2002, Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London 2002, pp. 211–234.,

Saenz Carmen, Sepulveda E, Matsuhira Betty, 2004: *Opuntia* spp mucilage's: A functional component with industrial perspectives, *J. of Arid Environments* 57, 275–290

Sáenz, C., 2004: Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes, J. of Arid Environments, 57, (3)

Saenz, C., 2006: *Inc., Felda, FL* Utilizacion agroindustrial del nopal. Bulletin des services Agricoles de la FAO 162, Roma, pp.107-109

Saéñz, C, Tapia Sandra, CháveJorge z and Paz Robert, 2009: Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*).J. of Food Chemistry, 114, (2), 616-622.

Sarkar M. et Sarkar A R. (1994) Spectrophotometric determination of vitamin C: *Revue / Journal Title Analysis (Analysis)* ISSN 0365-4877 vol. 22, n°3, pp. 155-157

Sawaya WN., Khatchadourian MA., Safi WM and Al Hamadad ,1983: Chemical characterization of prickly pear pulp, of *Opuntia ficus indica* and manufacturing of prickly pear jam. *Food technol.* 18:183-193.

Sawaya, W.N. Khalil J.K. et Al-Mohammad M.M., (1983), Nutritive value of prickly pear seeds, *Opuntia ficus indica*, *Plant Foods for Human Nutrition*, **33**: 91–97

Scalbert A. et Williamson G., 2000: Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J.Nutr.*, 130:2073-2085.

Schmidt-Hebbel H., I et al, 1990: cité par Stinzing (2005) et Feugang (2006)

Scheinvar L., 1995, Taxonomy of utilized *Opuntias* in Barbra G., Inglese P., Pmienta B.E., Arias J.E., de J. (eds), *Agro-ecology,cultivation and uss of cactus pear*).FAO Plant Production and Protection Paper, 132, pp. 20–27.

Sepúlveda E. C. Sáenz, E. Aliaga and C. Aceituno, 2007: Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp.*Journal of Arid Environments*: 68:4, 534-545p

Soberon J. S, OlubovJ. G et Arukhan J. S., 2001,*Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis Cactorum* (*Lepidoptera pyraldae*)1,2*Florida Entomologist* : 84 (4).487-492

Sousa R. Wellington, Cléber da Rocha, Cardoso Carmen Lúcia, Dulce Helena S. Silva and Maria Valnice B. Zanoni,2004,Determination of the relative contribution of phenolic antioxidants in orange juice by voltammetric methods, Journal of Food Composition and Analysis,17: (5), 619-633

Stintzing Florian C. and Reinhold Carle, 2005: Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses, *Mol. Nutr. Food Res.*, 49, 175 – 194

Stintzing Florian C., Schieber et Carle R., 2001, Phytochemical and nutritionnal signifiante of cactus pear, *Eur Food Res Technol*, 212,396-407.

Sudzuki, F., Muñoz, C., Berger, H., 1993: El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía, Departamento de Producción Agrícola, Santiago, 88pp.

Sudzuki Hills, 1995, anatomie and morphology in Barbera, G., Inglese, P., et Pimienta-Barrios, P. (Eds.), *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear* (pp. 28–35).FAO Plant Production and Protection Paper, 132.

Sudzuki, F., Muñoz, C., Berger, H., 1993: El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía, Departamento de Producción Agrícola, Santiago, 88pp.

Sutra L., Federighi M. er Jouve J. L., 1998 : Manuel de la bactériologie alimentaire, ed. TEC et DOC, Paris, 308p, 235-259.

Swern D. 1973: Baily's industrial oil products. Ed. John Wiley and son's, New York, Voll, P 352 – 455.

Tegegne F, 2001 : Nutritional value of *Opuntia ficus indica* as a ruminant feed in Ethiopia, *Cactus (Opuntia spp.) as Forage* in **Candelario Mondragón-Jacobo** and **Salvador Pérez-González** (eds) FAO Plant Production and Protection Paper, 169.

Tegegne, F. 2002. Fodder potencial of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Hort.* 581: 343-345.

Pérez-González (Eds) FAO Plant Production and Protection Paper, 169.

Teles, F. F. F., Stull, J. W., Brown, W. H., Whiting, F. M., 1984: Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *J. Sci. Food Agric.*, 35, 421–425.

Teixeira, G., Santana, A. R., Pais, M. S., Clemente, A., 2000: Enzymes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller with potential industrial applications-1. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 88, 299–312.

Tijani M. ,2000: Hydromasse et biomasse des Opuntia. Actes de la deuxième journée nationale sur la culture de cactus- mai 2000 El kalaa des Sreghna-- Maroc.

Tirilly D. et Bourgeois M., 1999 : Technologie des légumes ed. Tec et Doc Lavoisier p.550;

Trachtenberg S.and Mayer A. M., 1981: Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry* 20, p. 2665–2668.

Trachtenberg S and Mayer A. M., 1982: Biophysical properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry*: 21:28-35p.

Tsouli, 1979 rapporté par **L.Mouzali**: Cardoon (*Cynara Cardunculus* L.) used as vegetable rennet in an algerian traditional cheese making "djeben", ISHS, *Acta Horticultura* 660: V^e International Congress on Artichoke.

Tous J., et Ferguson L., 1996 cité par Adli B (2006)

Uchoa, A.F., Souza P.A.S, Zarate R.M.I., Gomez-Filho E. et Campos F.A.P., 1998: Isolation and characterization of a reserve protein from the seeds of *Opuntia ficus indica*, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 31, 757–761

Vinson J.A., Su X., Zubik L. and Bose, P., 2001: Phenol antioxidants quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 49, p. 5315–5321.

Yoshida M., Sakai T., Hosokawa N., Marui N., Matsumoto K., Fugioka A., Nishino H., and Aoike A., 1990: The effect of quercetin in cell cycle progression and growth of human gastric cancer cells., *Federation of European Biological Science Letter* 260, 10–13.

Yousfi S., 2000: Rapport bibliographique sur les Opuntias et bilan de quelques études effectuées en Algérie, INRAA., Alger.

Zorgui-Lazhar, Ayed-Boussema Imen, Ayed Yosra, Hassen Bacha and Wafa Hassen, 2009: The antigenotoxic activities of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes against the mycotoxin zearalenone in Balb/c mice: Prevention of micronuclei, chromosome aberrations and DNA fragmentation, *J. of Food and Chemical Toxicology* 47, (3), 662-667.

ANNEXES

Annexe 1 : Composition en acides aminés des cladodes et grains d'orge

Annexe 2 : Protocole pour le dosage des tanins par le réactif de Folin -Denis

Annexe 3 : protocole de dosage des composés phénoliques solubles totaux

Annexe 4 : Mise en évidence de l'effet coagulant du jus brut

Annexe 5 : Méthode d'extraction alcoolique des coagulases (TSOULI, 1979)

Annexe 6 : protocole d'extraction du mucilage à partir des jeunes cladodes

Annexe 7: Composition des milieux de cultures utilisées :

Annexe 8 : Les réactifs, additifs et solution :

Annexe 9 : Photographie représentant le montage pour l'extraction du jus par pression

Annexe 10 : Photographie. de la Centrifugeuse ménagère de marque Robotic.

Annexe 11 :

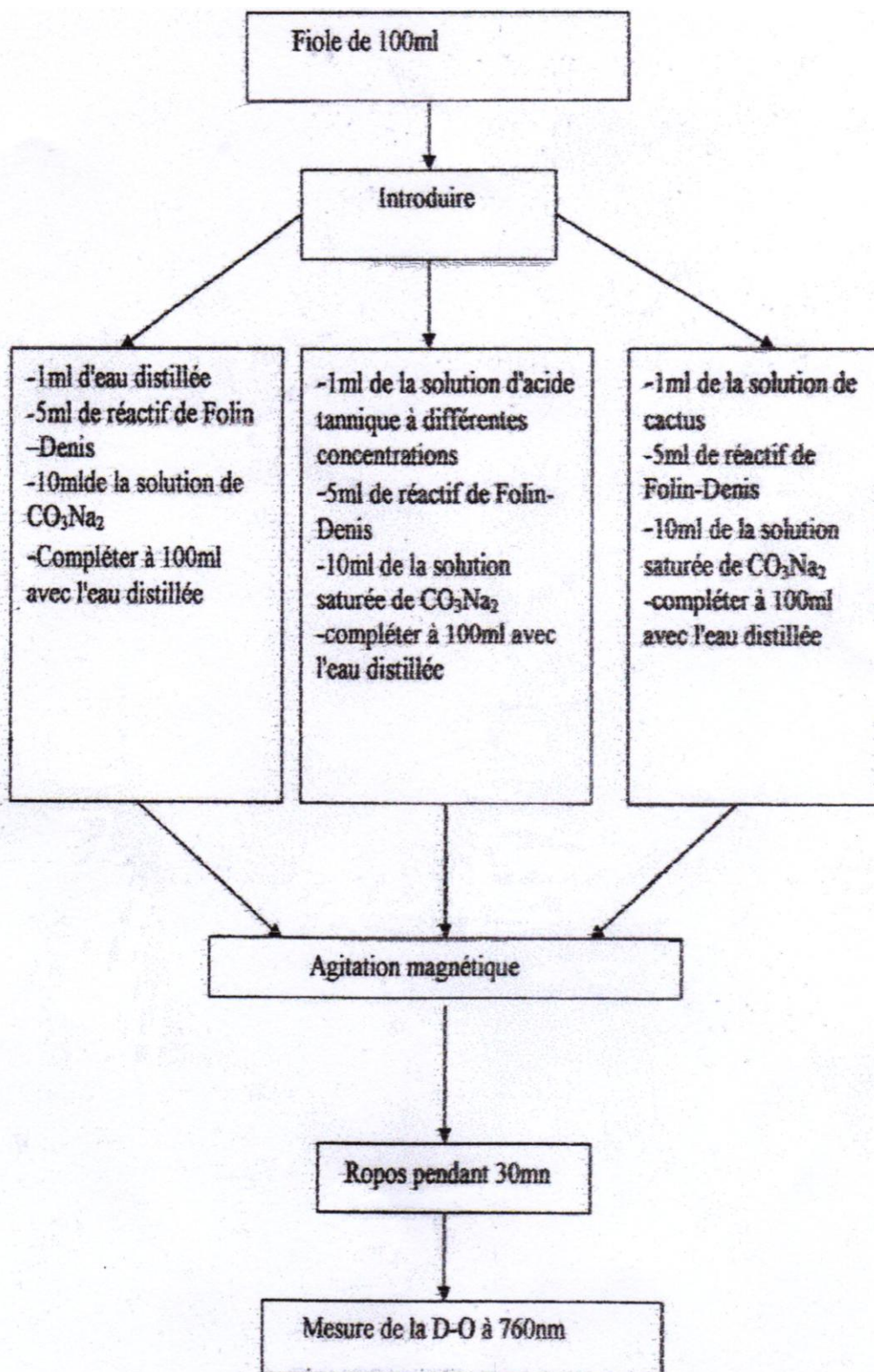
- a) Photo. montrant des préparations alimentaires avec des cladodes au Mexique
- b) Photo . montrant des « nopalitos » sous emballage commercialisés au Mexique, Chili et autres pays

Annexe 1 : Composition en acides aminés des cladodes et grains d'orge

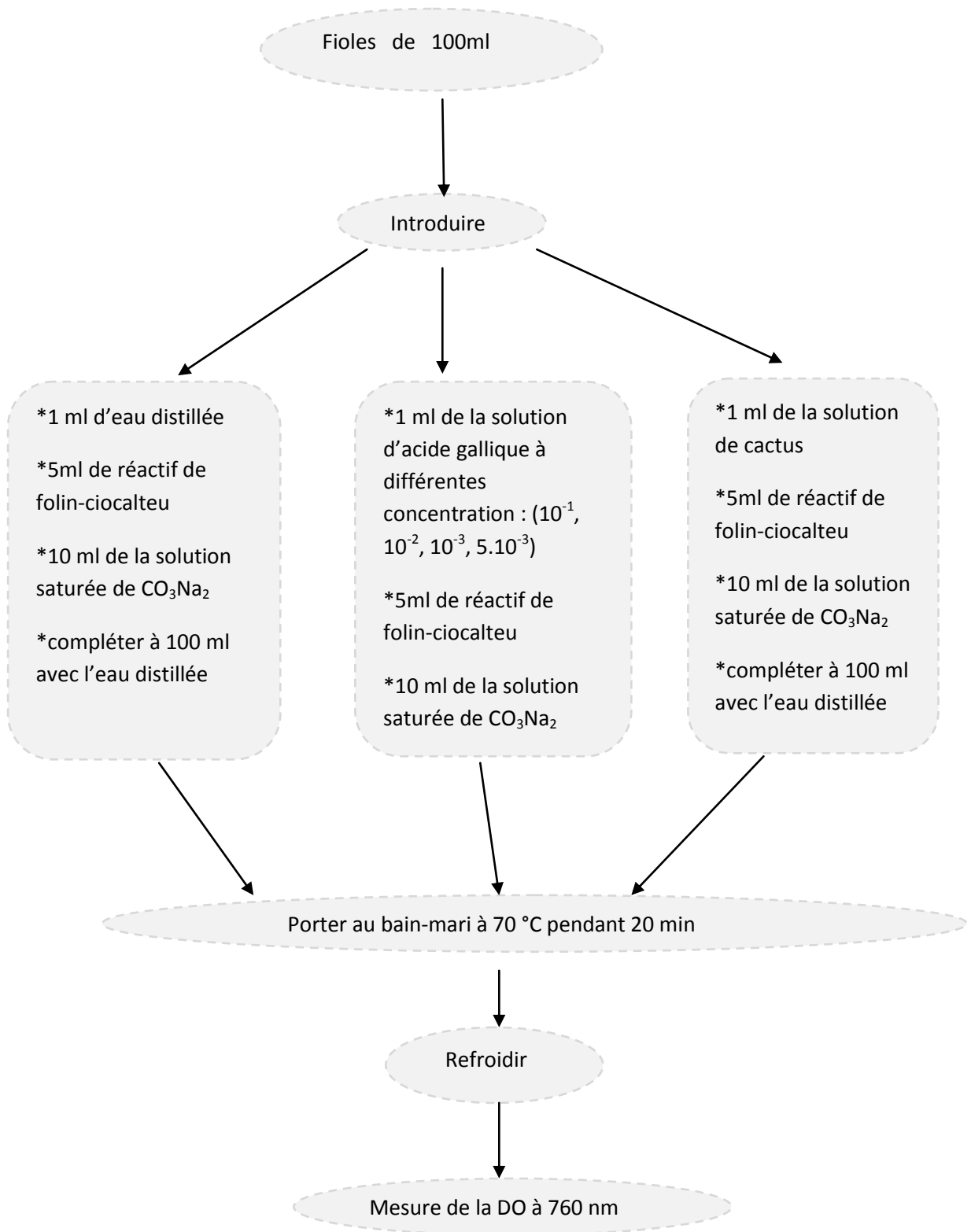
Acides aminés	<i>Opuntia ficus indica</i> PB=4,24% de la MS	Grains d'orge PB=11% de la MS
Acide aspartique	9,28	12,1
Thréonine	3,83	3,6
serine	4,19	5,7
Acide glutamique	12,88	20,4
Proline	6,38	5,3
Glycine	4,66	4,2
Alanine	8,19	4,2
Cystine	0,94	1,4
valine	7,14	4,3
Méthionine	1,82	1,4
Isoleucine	4,94	4,3
Leucine	7,99	7,8
Tyrosine	4,01	4,1
Phénylalanine	4,76	5,4
Lysine	4,86	6,5
Histidine	1,89	2,7
arginine	5,6	8,0

Source : Nefzaoui et Bensalem (1995)

Annexe 2 : Dosage de tanins par le réactif Folin- Denis

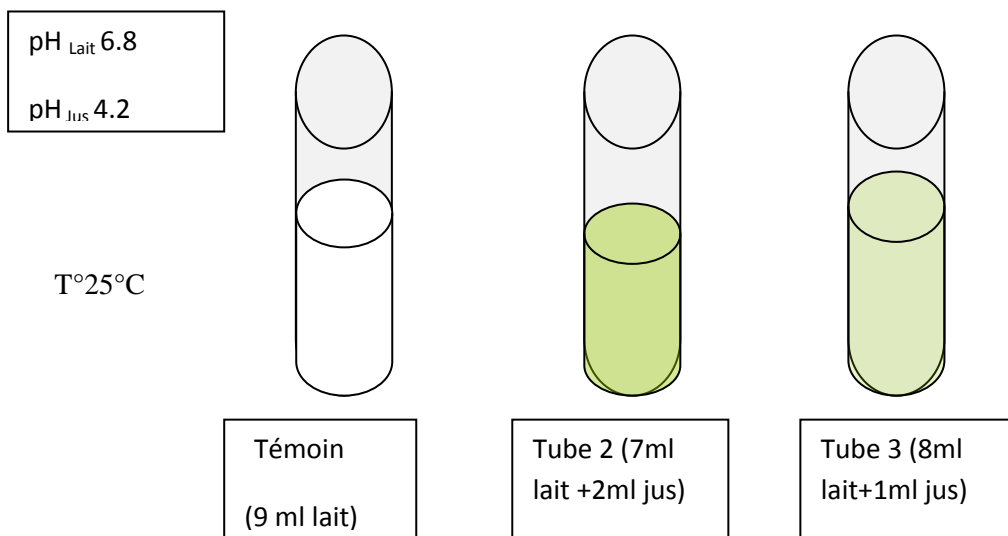


Annexe 3: protocole de dosage des composés phénoliques solubles totaux

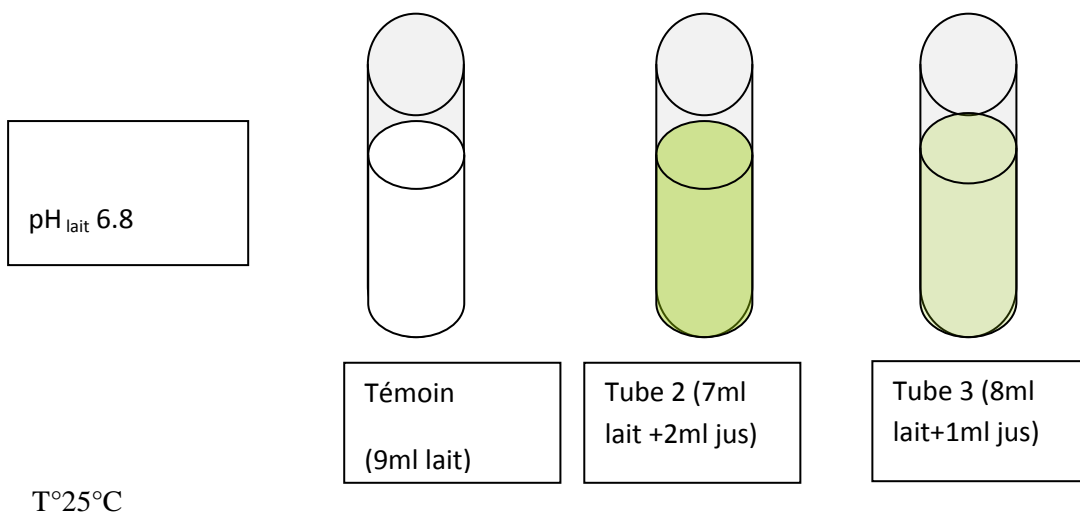


Annexe 4 : Mise en évidence de l'effet coagulant du jus brut

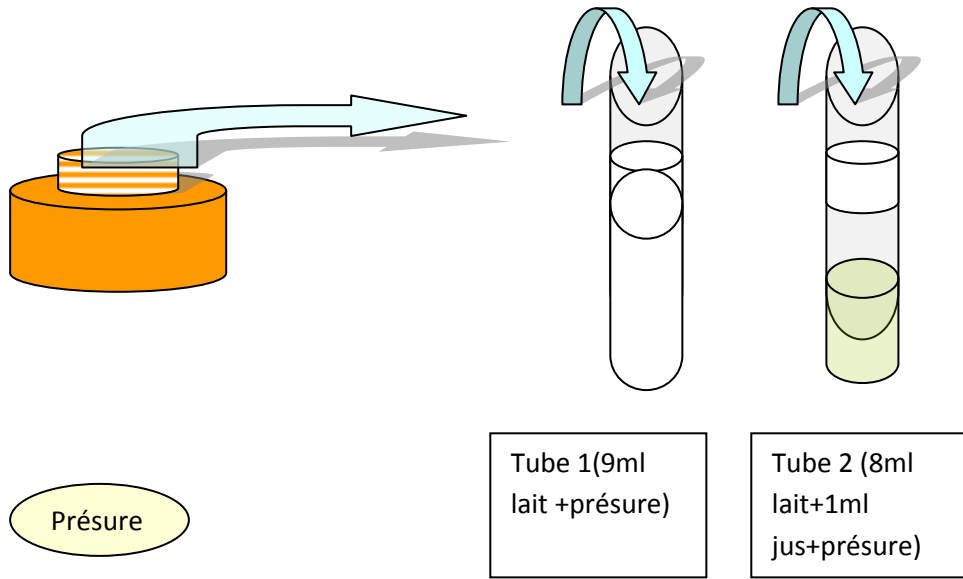
Essai 01 mise en évidence de l'activité coagulase dans le jus brut



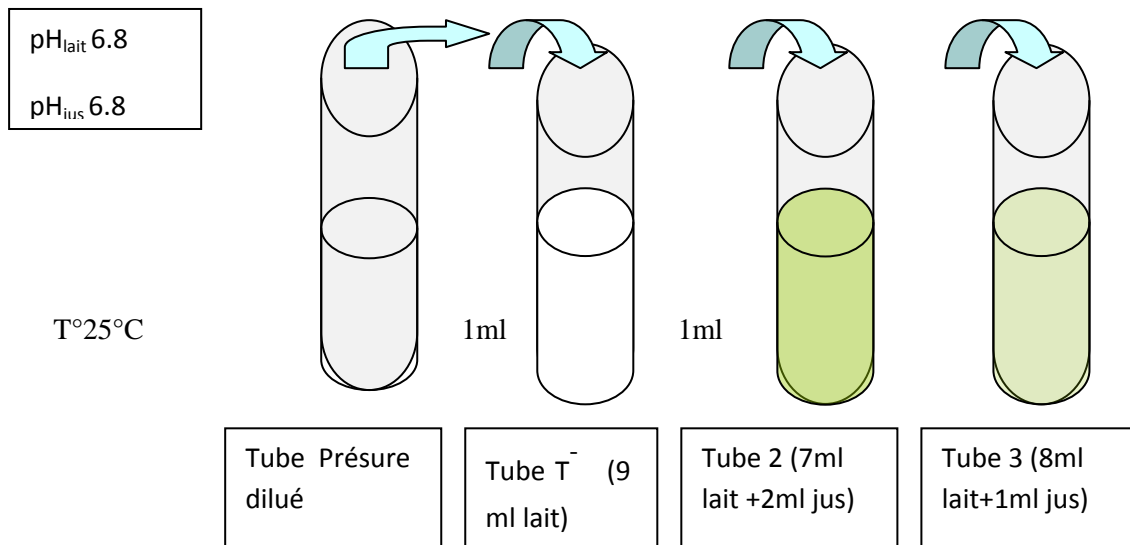
Essai 02 Les essais de coagulation en présence de présure.



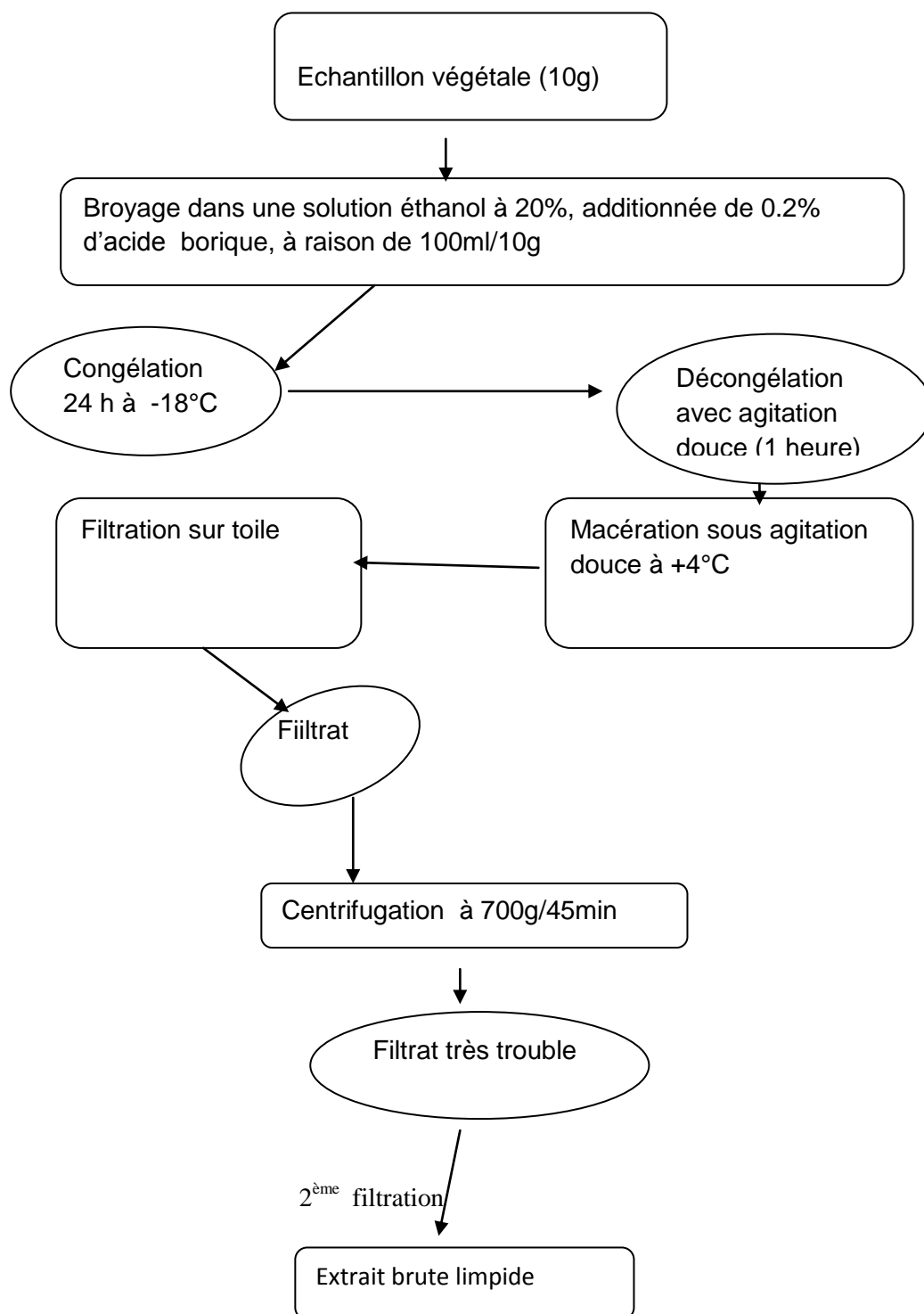
Essai 03 : Les essais coagulation en présence de présure.



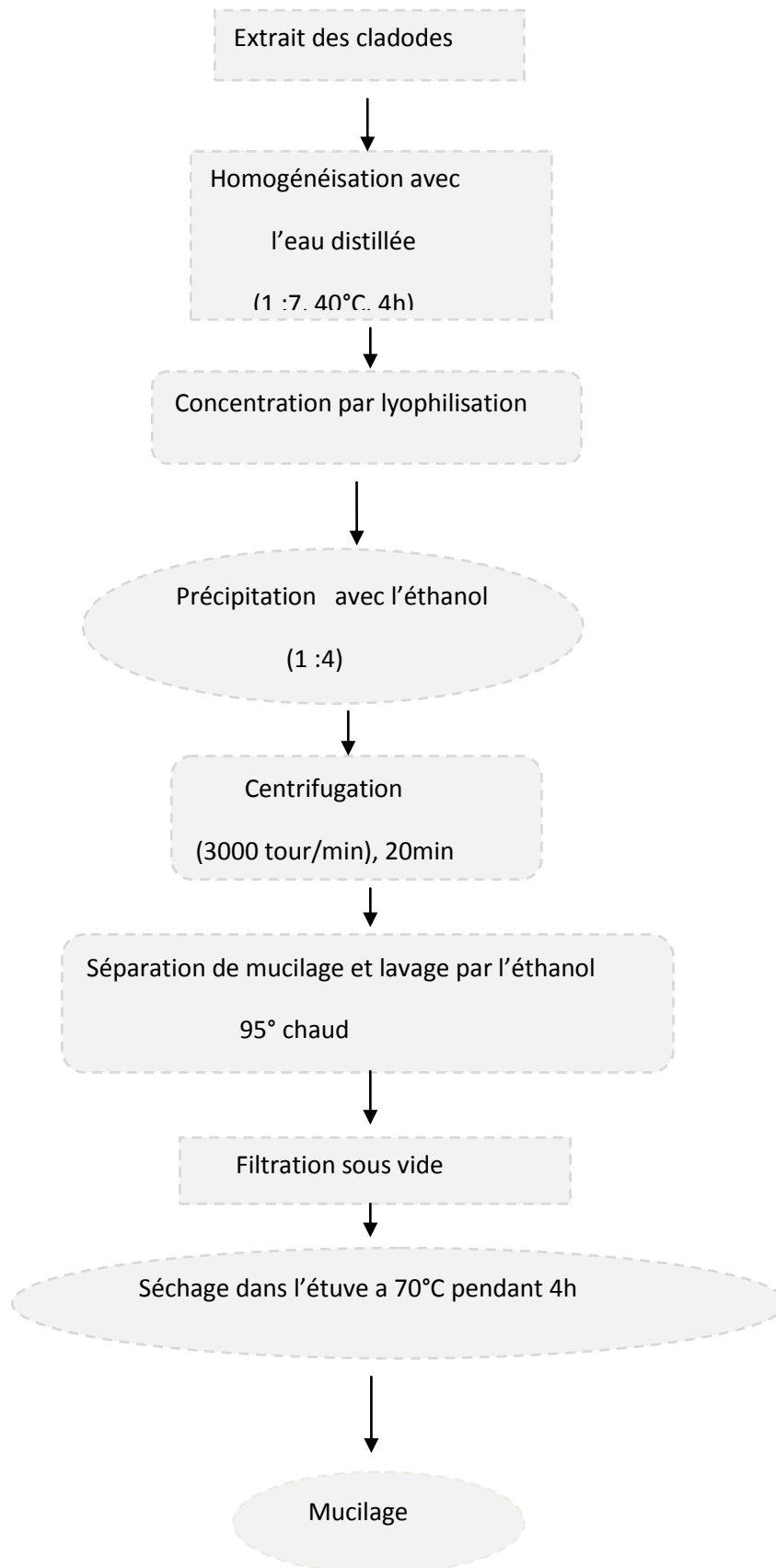
Test de l'activité de la présure.



Annexe 5 : Méthode d'extraction alcoolique des coagulases (TSOULI, 1979 rapporté par L. Mouzali, et al 2003 et par MORSLI et al, 1985)



Annexe 6 : protocole d'extraction du mucilage à partir des jeunes cladodes



Annexe 7 Composition des milieux de cultures utilisées :

- **MRS : (Man Rogosa Sharpe)**

- Peptone	10g
- Extrait de viande.....	10g
- Extrait de levure déshydraté	5g
- Glucose.....	20g
- Ester oléique de sorbitol.....	1ml
- Phosphate dipotassique	2g
- Acétate de sodium, 3H ₂ O	5g
- Citrate diammoniaque	2g
- Sulfate de magnésium, 7H ₂ O	0.2g
- Sulfate de magnésium, 4H ₂ O	0.05g
- Gélose.....	9 à 18g
- Eau.....	1000ml

- **M17 :**

- Peptone trypsine de caséine.....	2.5g
- Peptone pepsine de viande	2.5g
- Peptone papainique de soja	5g
- Extrait de levure déshydratée	2.5g
- Extrait de viande.....	5g
- Glycérophosphate de sodium	19g
- Sulfate de magnésium	0.25g
- Acide Ascorbique	0.5g
- Gélose.....	9 à 18g
- Eau.....	950ml

- **Columbia :**

- Polypeptones	17g/l
- Peptone pancréatique cœur	3g/l
- Amidon de maïs	1g/l
- Chlorure de sodium	5g/l
- Extrait de levure	3g/l
- Agar.....	13.5g/l

- **TSE :** (Tryptone-Sel-Eau)

- Tryptone 1g
- Chlorure de sodium 8.5g

Dissoudre les ingrédients dans 1000ml d'eau distillée, autoclaver 15mn à 121°C.

Annexe 8

Les réactifs, additifs et solution :

- **Réactif de Kovacs :**
 - Paradiméthylaminobenzaldéhyde..... 5g
 - Alcool iso amylique 75ml
 - Acide chlorhydrique 25ml
- **Violet de gentiane :**
 - Violet de gentiane..... 1g
 - Ethanol à 90% 10ml
 - Phénol..... 2g
 - Eau distillée 100ml
- **Lugol :**
 - Iode..... 1g
 - Iodure de potassium 2g
 - Eau distillée 100ml
- **Fuschine :**
 - Fuschinebasique 1g
 - Alcool éthylique 10ml
 - Phénol..... 5g
 - Eau distillée 100ml
- **Eau physiologique :**
 - Chlorure de sodium 9g
 - Eau distillée 1000ml

Préparation : dissoudre dans l'eau et répartir en tubes de 9ml

Autoclavage : 20min à 121°C

- Solution d'hydrogène de sodium NaOH (N/g)
- Phénol phtaline

Annexe 9 : Photographie représentant le montage pour l'extraction du jus par pression (la chemise et le piston modifiés, actionné par la presse manuelle)



Cylindre et le piston servant à l'extraction par pression (Personnelle).



La presse mécanique manuelle utilisée pour l'extraction (Atelier de fabrication –Insitut de Mécanique - Université de Blida)

Annexe 10 : Photographie de la centrifugeuse ménagère de marque Robotic.



Centrifugeuse Giant bul, moteur professionnel

Code R.B I J 3 G B J

D C 700W- Moteur professionnel

220~240 V- 150/60 Hz

Vitesse de rotation V_1 5700 r/min V_2 7900 r/min

Diamètre du tube d'alimentation 74 mm

Annexe 11

a)- Photo montrant les préparations alimentaires avec des cladodes au Mexique



b)- photo montrant des nopalitos (jeunes cladodes) sous emballage commercialisés au Mexique, Chili et autre pays.



TABLE DES MATIERES

	Page
Résumé	
-liste des abréviations	
-liste des tableaux	
-liste des figures	
Avant-propos	
Introduction	1
PARTIE I DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES	
Chapitre 1 : origine, biologie et physiologie de <i>l'Opuntia ficus indica</i>	4
1 1 origine et répartition géographique	4
1 2 Biologie et physiologie de l'Opuntia	6
1 2 1 Systématique et classification	6
1 2 2 Description de la plante et des organes	6
1 2 3 Physiologie de l'Opuntia et adaptation	8.
1 3 Récolte, conservation, qualité des produits et commercialisation	9
1 3 1 Récolte	9
1 3 2 Conservation et qualité	11
Chapitre II : Bilan des travaux et cas de l'Algérie	13
2 1 Dans le monde	13
2 2 En Algérie	14
Chapitre III : Composition et valeur nutritionnelle de <i>l'Opuntia</i>	16
3 1 Composition chimique des fruits (figue de barbarie)	16
3 2 Composition chimique des cladodes (raquettes)	19
3 3 Le pouvoir antioxydant	25
3 4 Valeur nutritionnelle	26
Chapitre IV : Utilisation alimentaire, propriétés médicinales et valorisation	27
4 1 Utilisation alimentaire	27
4 1 1 Cas des fruits	27
4 1 2 Cas des Cladodes	28

4	2	Utilisation comme fourrage	30
4	3	Propriétés médicinales	31
4	3	1 Effet anti analgésique, anti-inflammatoire et hypoglycémique	31
4	3	2 Effet anti ulcère et anti cancérigène	31
4	3	3 Effet Antiathérogène, antiurique et diurétique	32
4	3	4 Effet Anti- hyperlipidémie and hypercholesterolemique	32
4	3	5 Effet antiviral et antitoxine	33
4	4	Possibilités de valorisation, transformations et perspectives économiques	33
4	4	1 Utilisation alimentaire et transformations	33
4	4	2 Utilisation non alimentaire	35
4	4	3 Perspectives économiques	35

PARTIE II EXPERIMENTATION ET RESULTATS

Chapitre 1 : Composition des cladodes et valeur alimentaire		37	
1	1	Matériel d'étude	37
1	2	Protocole et Méthodes expérimentales	38
1	3	Résultats et discussion	41
1	3	1 Composition chimique et comparaison des variétés épineuses et inermes	41
1	3	2 Valeur nutritionnelle des cladodes inermes selon la croissance	47
1	3	3 Evaluation de la qualité nutritionnelle	50
		Conclusion	52
Chapitre II : composition des jus extraits des cladodes et effet sur les bactéries lactiques et la fermentation du yaourt		54	
2	1	Matériels et méthodes	54
2	1	1 Matériel d'étude	54
2	1	2 Extraction du jus	54
2	1	3 Méthodes d'analyses	54
2	2	Résultats et discussion	64

2 2 1	Composition selon les stades de croissance	64
2 2 2	Croissance des bactéries lactiques en présence de lait écrémé + jus de cladodes	67
2 2 3	Effet du jus de cladode sur l'incubation du yaourt	70
	Conclusion	74
Chapitre III Utilisations comme additif pour la formulation de boissons cocktails		76
3	Utilisations des jus de cladodes pour la formulation de boissons cocktails	76
3 1	Essai de fabrication (formulation)	76
3 1 1	Matériel d'étude et préparation	76
3 1 2	Formulation des jus	77
3 2	Résultats et discussion	78
3 2 1	Caractéristiques physicochimiques des constituants utilisés dans les préparations.	78
3 2 2	Qualité microbiologique et stabilité des cocktails	81
3 2 3	Aspects organoleptiques des cocktails	82
3 3	Discussion /conclusion	85
4	Caractéristiques et composition des jus de fruit de figue et des grains	86
4 1	Rappel sur les caractéristiques	86
4 2	Fabrication et caractéristiques des jus de la figue de barbarie	87
4 2 1	Matériel et méthodes	87
4 2 2	Résultats et discussions	88
4 2 2 1	Composition des jus de figue	88
4 2 2 2	Etude de la stabilité du mélange jus du stade 2 et 3	89
4 2 3	Extraction et profil chromatographique des protéines de graines	89
4 4	Discussion et conclusion.	90
Conclusion générale		91
- références bibliographiques		
- Annexes		