

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA
FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES
DEPERTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de
Master en Science de la Nature et de la Vie
Option: Science Alimentaire
Spécialité: Science Alimentaire

Thème

*Essai de la fermentation de l'extrait des jeunes
cladodes d'Opuntia Ficus Indica pour la production de
l'alcool et de l'acide acétique*

Présenté par: BENBARKA Hakima
Le 15/12/2012

Devant le jury composé de:

Mr BOUSBIA. N	MCB	USDB	Président
Mr HADJ SADOK. T	MCB	USDB	Promoteur
Mme ACHEHEB. H	MAB	USDB	Examinatrice
Mme IDRES. A	MAB	USDB	Examinatrice

Promotion 2011-2012

Chapitre 1 :

Matériel et méthodes

REMERCIEMENTS

- ❧ *Je remercie mon promoteur Monsieur HADJ SADOK T, maître de conférences à l'université de Blida, qui m'a orienté dans ce travail.*
- ❧ *Je remercie M^r BOUSBIA. N maître de conférences à l'université de Blida, d'avoir fait l'honneur de présider le jury examinant mon travail.*
- ❧ *Je tiens à remercier M^{me} ACHEH B. H et M^{me} IDRES. A maîtres assistantes à l'université de Blida, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire à la fin d'étude.*
- ❧ *Mes remerciements s'adressent également à tous les techniciens du laboratoire (Zakia, Ghania) pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée.*
- ❧ *Comme je remercie infiniment docteur KOUSO. A responsable de laboratoire de contrôle de qualité « lacqmi » pour son aide et encouragement.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

*Mes plus chères personnes dans ma vie mon père et ma mère pour tout votre amour,
votre soutien et votre stimulante fierté.*

- ✧ A mon chère frère Mohamed et ma sœur Fatima.*
- ✧ A mes nièces Meriem et Hadjer.*
- ✧ A mon fiancé Ishaq et toute sa famille.*
- ✧ A mes amies Sihem, Aicha, Rahma, Zakia, Salma.*

HAKIMA

Résumé

Le prélèvement des jeunes raquettes "nopalitos" de figuier de barbarie a été effectué à BouArfa dans la wilaya de Blida (ALGERIE) durant le mois de septembre 2012.

L'objectif de notre travail consiste à produire de l'alcool et de l'acide acétique à partir de l'extrait des cladodes par le processus de la fermentation alcoolique qui se déroule en présence de la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*.

On a suivi le déroulement de la fermentation et on a obtenu un degré alcoolique faible qui est due à la pauvreté du jus en sucres totaux (10.27g/ml), ce qui nous a poussé à réaliser plusieurs essais en ajoutant différentes concentrations en sucres.

Le taux d'alcool atteint en fin de fermentation alcoolique provoqué (*S.cerevisiae*) du jus des raquettes à 4.03 °Brix est 1.35 °Alcoolique qui nous a empêchés d'accéder à l'étape suivante (acétification de l'alcool).

Mots clés: jus de cladodes, fermentation, levure, alcool, vinaigre.

Summary

The removal of young snowshoe "nopalitos" has been performed in BouArfa Blida (Algeria) during the month of September 2012.

The objective of our work is to produce alcohol and acetic acid from the extract of cladodes by the process of fermentation that takes place in the presence of baker's yeast *saccharomyces cerevisiae* , taking into account that this yeast doesn't degrade the sugars present in the juice.

We followed the course fermentation and obtained a low alcohol content that is due to poverty juice 120.87ug/ml total sugars, which prompted us to perform several tests en adding different amounts of sugars.

The alcohol level reached the end of alcoholic fermentation caused (*S. cerevisiae*) juice rackets to 4.03° Brix is 1.35 , which prevented us from accessing next step (acidification of the alcohol).

Key words: juice of cactus, fermentation, Baking powder, alcohol, acetic acid.

ملخص

لقد تم إزالة الرديئة الفنية للتين الشوكي من بوعرفة في ولاية البليدة (الجزائر) خلال شهر سبتمبر 2012 والهدف من عملنا هو لإنتاج الكحول وحمض الخل من مستخلص الرديئة عن طريق عملية التخمير الكحولي الذي يحدث في وجود خميرة الخبز *saccharomyces cerevisiae*. تابعنا عملية التخمير وحصلنا على نسبة كحول منخفضة والذي حصل بسبب فقر العصير من السكريات الإجمالية الذي دفعنا إلى إجراء اختبارات عدة بإضافة كميات مختلفة من السكريات. نسبة الكحول التي تم التوصل إليها في نهاية التخمير الكحولي لعصير الرديئة ب 4.03° برقس هو 1.35° ألكولي. والتي منعتنا من الوصول إلى الخطوة التالية (تحمض الكحول).

الكلمات الجوهرية: عصير الصبار. الخميرة. الكحول. الخل

PDF Create! 4
www.nuance.com

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

Partie bibliographique

Chapitre I: l'Opuntia

1. Origine et répartition géographique.....	2
2. Biologie et physiologie de la plante.....	2
3. La plantation de l'opuntia.....	6
4. Les principaux Composants chimiques des cladodes.....	7
5. Domaines d'utilisation et valorisation de la plante.....	12

Chapitre II: la fermentation

1. Les différents types de la fermentation.....	16
2. La fermentation alcoolique.....	18
3. La fermentation acétique.....	22

Chapitre III: la levure

1. Généralités.....	26
2. Rôle des levures dans l'industrie alimentaire.....	26
4. Données sur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	27
5. Les bactéries acétiques.....	32

Matériel et méthodes

1. Matériel	34
2. Méthode	35
2.1. Préparation de jus des jeunes cladodes.....	35
2.2. Analyses physico-chimiques de jus des cladodes.....	38
2.3. La méthode de fabrication d'alcool et du vinaigre.....	44
2.4. Les différents essais effectués pour la fermentation alcoolique.....	50
2.5. La fermentation alcoolique par différentes concentrations en glucose.....	51

Résultats et discussion

1. Les résultats et interprétations des analyses physico-chimiques.....	52
2. Etude de la cinétique de fermentation.....	55
3. Les résultats des différents essais de la fermentation alcoolique.....	60
4. Discussion sur le vinaigre.....	64

Conclusion général

Référence bibliographique

Annexe

Liste des figures

Partie bibliographique

Figure 01: Description des organes de la plantes.....	3
Figure 02: La pulpe et les graines isolées des fruits de figuier de barbarie.....	5
Figure 03: Cycle photosynthétique des plantes de type CAM.....	6
Figure 04: Variété d' <i>Opuntia ficus-indica</i> épineuse et inerme.....	7
Figure05: Molécule d'alcool éthylique.....	19
Figure 06: Schéma récapitulatif de la voie de production d'éthanol et des voies métaboliques annexes pouvant conduire à la production de sous-produits.....	20
Figure 07: Production mondiale d'éthanol en 2006.....	21
Figure 08: Schéma de la biosynthèse de l'acide acétique.....	24
Figure 09: Cycle biologique de la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	29

Partie expérimentale

Figure 10: Vue des jeunes cladodes de la variété inerme de l' <i>Opuntia ficus-indica</i>	34
Figure 11: Centrifugeuse utilisé pour l'extraction du jus des cladodes.....	36
Figure 12: Les étapes de l'extraction du jus des jeunes cladodes.....	37
Figure 13: Jus des jeunes cladodes d' <i>Opuntia ficus-indica</i> après extraction.....	37
Figure 14: Production du vinaigre par une double fermentation.....	45
Figure 15: Les étapes de préparation de jus de fermentation.....	46
Figure 16: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique.....	47
Figure 17: Dispositif de la fermentation alcoolique.....	48
Figure 18: Procédures de suivi de quelques paramètres physico-chimiques du milieu réactionnel.....	49
Figure 19: Jus des cladodes concentré.....	51

Résultats et discussion

Figure 20: Evolution du pH au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par <i>S.cerevisiae</i>	56
Figure 21: Evolution du °Brix au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par <i>S.cerevisiae</i>	57
Figure 22: Evolution des sucres totaux au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par <i>S.cerevisiae</i>	58

Figure 23: Evolution du taux d'alcool au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes par *S.cerevisiae*.....59

Figure 24: Résultat de différents essais de la fermentation alcoolique.....62

Figure 25: Les résultats de différentes concentrations en glucose pendant la fermentation alcoolique de l'eau distillée et le jus des cladodes, par *S.cerevisiae*.....63

PDF Create! 4 Trial
www.nuance.com

Liste des tableaux

Partie bibliographique

Tableaux 01: Tableau N°1: Composition chimique des Nopalitos (jeunes cladodes), laitue et l'épinard.....	8
Tableaux 02: La composition en acides organiques des cladodes à deux moments différents au moment de la récolte.....	10
Tableaux 03: Composition en acides aminés essentiels des cladodes et de l'orge.....	10
Tableaux 04: Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments.....	13
Tableaux 05: Principales fermentation microbiennes.....	17
Tableaux 06: Production industrielle de la levure alimentaire sur divers substrats.....	27

Partie expérimentale

Tableaux 08: Les différents essais effectués pour la fermentation alcoolique.....	50
--	-----------

Résultats et discussion

Tableaux 09: Composition chimique moyenne du jus des jeunes cladodes de l' <i>Opuntia ficus-indica</i>	52
Tableaux 10: Résultats de la fermentation alcoolique.....	56
Tableaux 11: Résultats des différents essais de la fermentation alcoolique.....	61
Tableaux 12: Résultats de fermentation alcoolique par différent concentration en glucose.....	62

Glossaire

- **Cactus:** Est un membre de la famille botanique des cactacées, tous les cactus sont plus au moins succulentes mais toutes les succulentes ne sont pas des cactus.
- **Succulente:** Ce sont des plantes qui emmagasinent de l'eau dans les tissus spongieux très développés.
- **Xérophyte:** désignent des plantes adaptées aux milieux secs.
- **Mycorhize:** est le résultat de l'association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes.
- **Hermaphrodite:** signifie les espèces des plantes présentent des organes de reproduction femelles et mâles sur un même organisme.
- **Hétérotrophe:** L'hétérotrophie est la nécessité pour un organisme vivant de se nourrir de constituants organiques préexistants.
- **Mycélium:** c'est la partie végétative des champignons ou de certaines bactéries filamenteuses. Il est composé d'un ensemble de filaments, plus ou moins ramifiés, appelés hyphes, que l'on trouve dans le sol ou le substrat de culture.

Liste des abréviations

- Δ **MS**: Matière sèche.
- Δ **MF**: Matière fraîche.
- Δ **N**: Normalité.
- Δ **pH**: Potentiel hydrogène.
- Δ **Nm**: Nanomètre.
- Δ **µm**: micromètre.
- Δ **°GL**: degré alcoolique (ml d'éthanol/100ml).
- Δ **FAO**: Food and Agriculture Organization.
- Δ **°C**: degré Celsius.
- Δ **Co₂**: dioxyde de carbone.
- Δ **g**: gramme.
- Δ **µg**: Microgramme.
- Δ **MAB**: Maitre-assistant B.
- Δ **MCB**: Maître conférence B.
- Δ **USDB**: Université Saad Dahleb-Bida

Introduction générale

PDF Creator! 4 Trial
www.nuances.com

Introduction

La fabrication des produits alimentaires utilise des matières premières végétales, animales ou minérales qui subissent des transformations grâce à des moyens physiques, physico-chimiques, biochimiques ou encore microbiens (BRANGER, 2008).

Le figuier de barbarie en est l'exemple compte-tenu de sa double utilisation comme fruit ou légume à partir des cladodes, c'est une plante xérophyte originaire du Mexique où elle est cultivée à des fins fruitières et considérée comme moyen de substitution pour beaucoup de milles mexicaines (YOUSFI, 2000). Dans certains pays d'Amérique du sud, Les cladodes sont utilisées directement dans l'alimentation tel un légume grâce à sa richesse en nutriments, fibres, vitamine C, polyphénols, minéraux (ca, Mg, k,...etc.) sucres simples et complexes (MAHMOUDI, 2000).qui sont les éléments essentiel pour le processus fermentaire et sont trouvé en particulier dans le mucilage.

Le genre d'opuntia est largement connu pour sa production de mucilage, ce dernier contient des proportions variables de L- arabinose, galactose, L - rhamnose, et xylose, aussi bien que l'acide galacturonique (SAENZ, et al, 2004). La présence de ces sucres introduit dans la fermentation alcoolique, qui est réalisée par des levures (essentiellement des saccharomyces), elle intervient dans la fabrication du vin, de la bière, de cidre et divers boissons fermentées, ces derniers peuvent servir des matières premières à la fabrication du vinaigre. Son but est essentiellement la fabrication de l'éthanol (BRANGER, 2008).

Le vinaigre est un liquide adapté pour la consommation humaine, c'est le résultat d'un double fermentation, alcoolique et acétique. Ces dernières permettent de transformer un aliment en modifiant dans un sens favorable ses propriétés (BOUKHAR, 2009). Plus des ses utilisations alimentaires multiples, le vinaigre est reconnu très tôt pour ses étonnantes propriétés. Récemment, le dépistage du cancer du col de l'utérus par l'acide acétique, composant du vinaigre, à été mis en évidence (LD, 2007).

Le présent travail porte sur deux étapes essentielles :

- ♣ La première est consacrée à la caractérisation physico-chimique de l'extrait des jeunes cladodes d'*opuntia ficus indica*.
- ♣ La deuxième constitue à des essais de fabrication de l'alcool pour obtenir le vinaigre à partir de l'extrait des cladodes.

PDF Create! 4 Trial
www.nuance.com

PARTIE 1 :
Partie bibliographique

Chapitre I:
Le figuier de barbarie

PDF Create 4 Trial
www.nuance.com

Généralité sur le figuier de barbarie

1. Origine et répartition géographique

Le figuier de barbarie, appelé aussi « Fiquier d'Inde » appartient à la famille de Cactaceae, originaire d'Amérique centrale et du Mexique, c'est une plante succulente, présentant des adaptations physiologiques permettant à la plante de résister à la sécheresse (MULAS, 2004), Elle est connue sous le nom de Nopal dans la vallée de tuhua (peubla-Mexique) (CORREAL, 1998).

Selon les spécialistes; les cultures de Nopal remontent à environ 5000 ans, son nom original est Tenochtitlan, soit «fruit de la pierre» (YOUSFI, 2000).

A la fin de 15^{ème} siècle, elle est ramenée par Christophe Colomb après sa première expédition en 1493. En peu de temps elle se propage dans toute l'Espagne (LEHOUEIROU, 1996).

L'opuntia montre une adaptabilité écologique élevée et peut donc être rencontré pratiquement dans toutes les lieux et toutes les conditions climatiques: l'Amérique du Nord, centrale et le sud d'Amérique, la Méditerranée, l'Afrique du Nord, centrale et le sud d'Afrique, en Australie, et aussi en Inde. Italie, Espagne, Mexique, Brésil, Chili, Argentine, et de la Californie (FLORIAN, *et al*, 2005).

En Algérie, le figuier de barbarie présent dans les régions côtières et à l'intérieur (Tébessa, Batna), est utilisé pour la consommation fruitière, et comme fourrage (BARBERA, 1995), au sud du pays, les raquettes de cactus inerme sont utilisées pour l'alimentation des camelins, ovins et caprins pendant les saisons sèches. En plus de leur culture à double fin: fourragère et fruitière, ils sont cultivés dans les zones steppiques contre l'érosion et la désertification (YOUSFI, 2000).

2. Biologie et physiologie de la plante

2.1. Systématique

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 rependu et le plus exploité, et constitué de cladodes organes aplaties (raquettes). Ce sous genre regroupe 300 espèces dont 104 espèces et variétés sont originaires du Mexique (HADJ SADOK, 2010).

2.2. Les organes de la plante

Le figuier de barbarie, plante xérophyte, est une plante grasse succulente caractérisée par la rareté des étamines, un épais épiderme, un revêtement cireux et poilu, l'absence de feuilles, et une tige riche en tissus aquifères permettant d'emmagasiner l'eau de pluie et de la préserver dans les conditions des régions désertiques (KARTEZ, 1996).

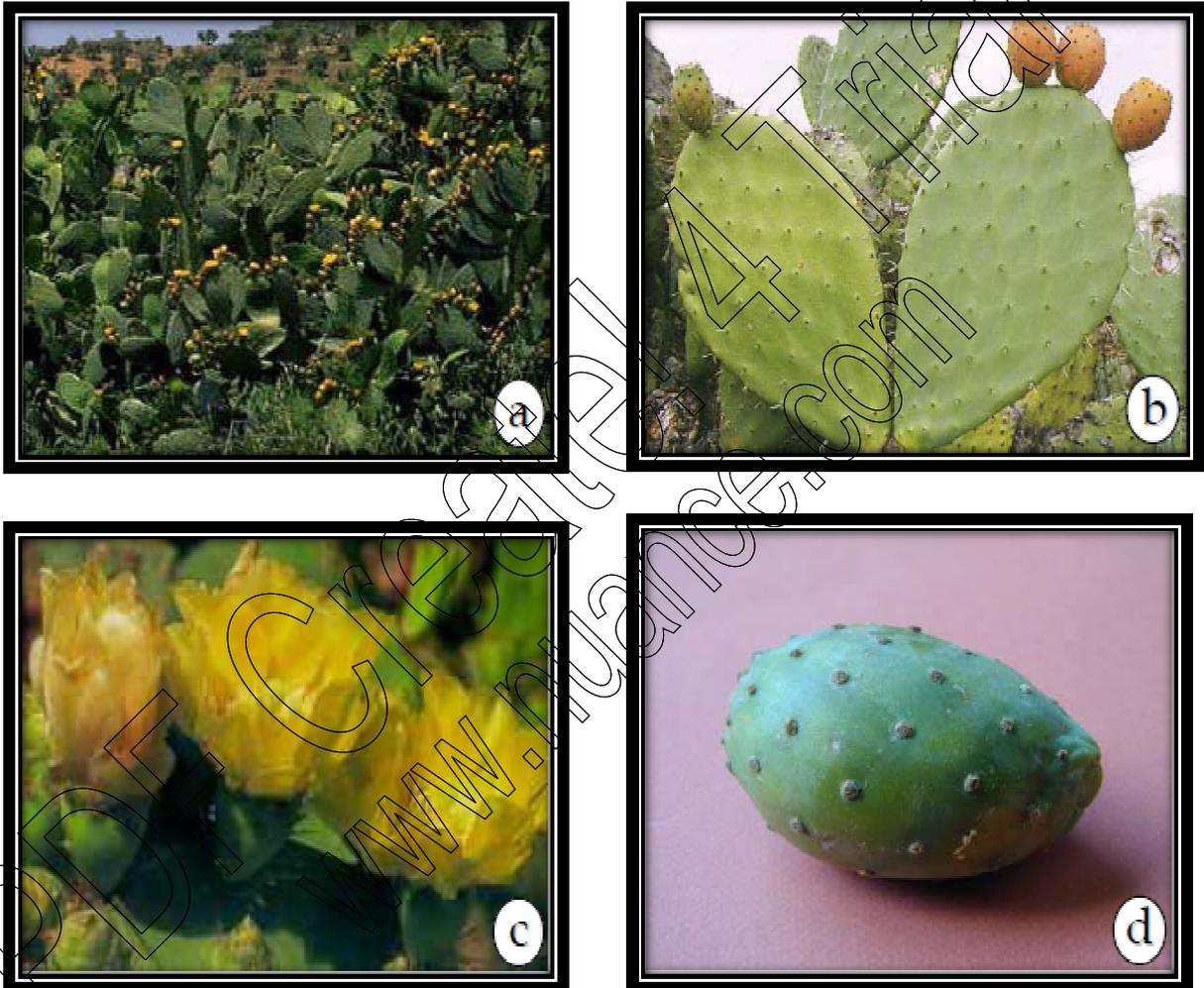


Figure N°1: description des organes de la plante: a) la plante, b) les cladodes, c) les fleurs, d) le fruit (HABIBI, 2004)

- ◆ les racines d'opuntia diffèrent de celles des autres plantes en développant des caractéristiques de xeromorphie, ce qui donne à la plante la capacité de survivre durant les périodes de sécheresses prolongées (BARBERA, 1995). Les racines des Opuntia sont superficielles, elles sont caractérisées par une grande capacité d'absorption d'eau qui augmente parallèlement avec l'élévation des températures du sol. Des études au Mexique ont montré que les racines de plusieurs espèces d'Opuntia sont colonisées par des mycorhizes (KENNY, 1997).
- ◆ Cladodes (ou raquette, pale...etc.) Sont des éléments de tige, le cladode bien défini ayant la forme caractéristique de l'espèce; il est pourvue d'aréoles, organe important dans la formation des épines, des fleurs et des rameaux la phase de croissance ne dure que quelques semaines au printemps et en automne dans nos régions, suivi d'une phase de développement d'épaississement et de consolidation (H.C.D.S, 1994). L'épiderme des cladodes contient des stomates en nombre réduit et enfoncés dans ses tissus et protégé par une couche cireuse. Le suc cellulaire de cladodes concentré et mucilagineux permet à la plante de limiter la transpiration et donc de résister à la sécheresse (KHOURI, 1970).
- ◆ Les fleurs sont hermaphrodite, généralement grande et belle, comprend un style unique et stigmate digité entouré de nombreux verticilles d'étamines et d'un nombre défini des tépales. La couleur des tépales est souvent jaune, orange ou rougeâtre (H.D.C.S, 1994). Ces fleurs s'ouvrent au maximum la nuit, lorsque la température est clémente, elles ont cependant une vie très courte (KARTEZ, 1996).
- ◆ Les fruits: La forme et la taille du fruit est variable. Il ya des ovoïdes, rondes, elliptiques ou oblongues, à extrémité aplatie, concave ou convexe. Les couleurs sont différentes: il ya des fruits rouges, orange, violet, jaune et vert, avec de la pulpe aussi de mêmes couleurs. La peau du fruit est similaire à celle de cladodes, même avec beaucoup de glochides aréoles et épines, qui, contrairement aux cladodes persistent, même après la maturité du fruit. (SAENZ, *et al*, 2006).
- ◆ Les graines: Le fruit porte de nombreuses graines qui sont dures, osseuses et plates plus ou moins réniformes ou lenticulaires, elles sont libres ou adhérentes à la pulpe, les graines de cactacées sont de forme et taille variables: plates discoïdales, arrondies ou bombées sur les cotés. (YOUSFI, 2000). C'est la présence des graines et des glochides sur la peau qui réduit leur acceptabilité par les consommateurs occidentaux non habitués (HADJ SADOK, 2010).

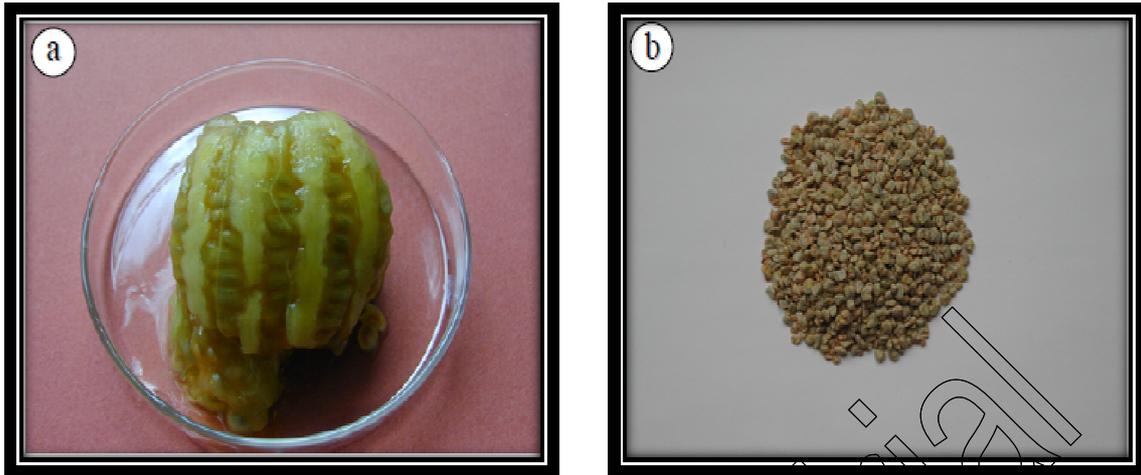


Figure N°2: La pulpe et les graines isolées des fruits de figuier de barbarie (HABIBI, 2004).

Sur le plan physiologique, le figuier de barbarie est une plante du type C_4 ou CAM (Crassulacean Acide Metabolism). Elle a la particularité de fixer le CO_2 pendant la nuit et de fermer ses stomates pendant le jour. Une telle stratégie permet d'éviter les pertes en eau par évapotranspiration qui peuvent avoir lieu le jour et d'optimiser ainsi l'utilisation d'eau (in NOBEL, 1989; KENNY, 1997).

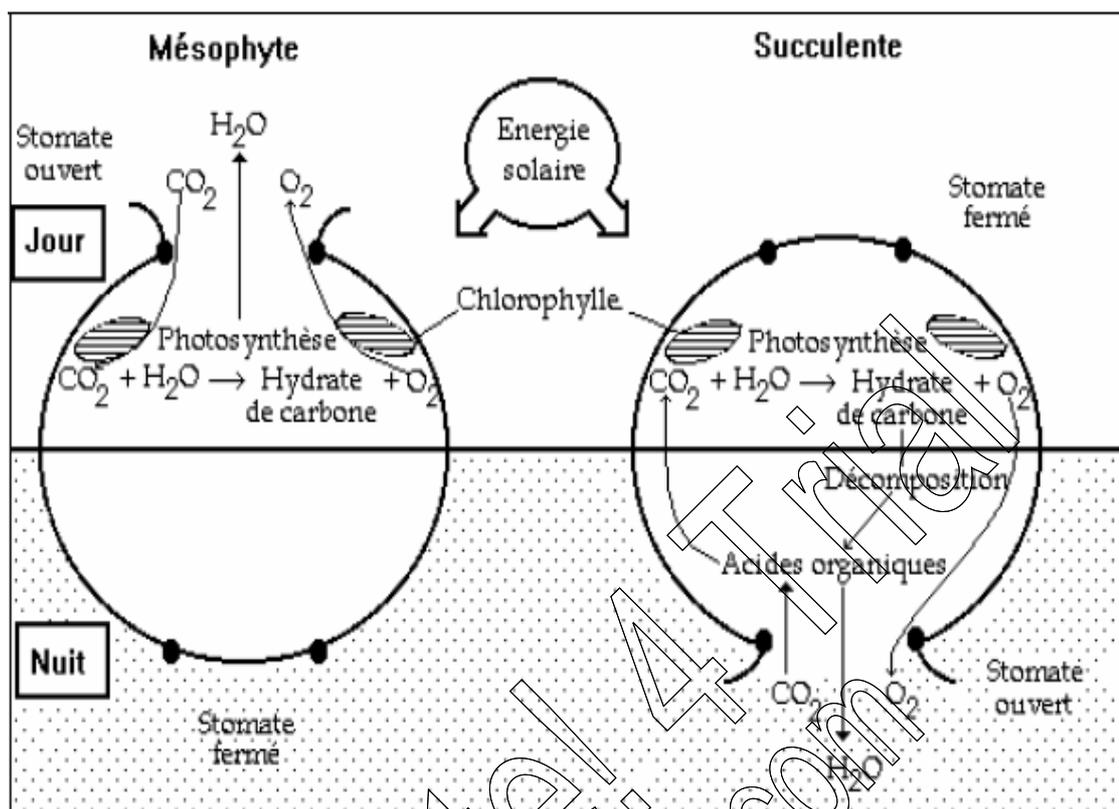


Figure N° 3: cycle photosynthétique des plantes de type CAM (HABIBI, 2004)

3. La plantation de l'opuntia

Traditionnellement, le figuier de barbarie est multiplié végétativement par bouturage de raquettes. Les jeunes plantes peuvent entrer en floraison à partir de la 2^{ème} ou la 3^{ème} année. La durée et la période du cycle annuel dépendent de la variété et de la zone géographique (HABIBI, 2004). On peut utiliser plusieurs techniques selon les conditions locales.

3.1. Plantation par raquettes uniques

La technique est fort simple. Elle consiste à poser les raquettes au plat sur le sol ameubli et à les recouvrir partiellement d'une pelletée de terre ou d'une pièce (pour éviter qu'elle ne soit déplacée par le vent ou les petits animaux). Cette technique présente deux avantages:

- ✓ Rapidité et simplicité.
- ✓ Faible prix de revient.

L'inconvénient de cette méthode est une entrée en production retardée de 1 à 2 ans par rapport à la méthode des doubles raquettes.

3.2. Plantation par raquettes doubles

Cette méthode consiste à planter des rameaux de deux raquettes superposées dans un sillon de charrue tracé à l'écartement convenable. (H.C.D.S, 1994).

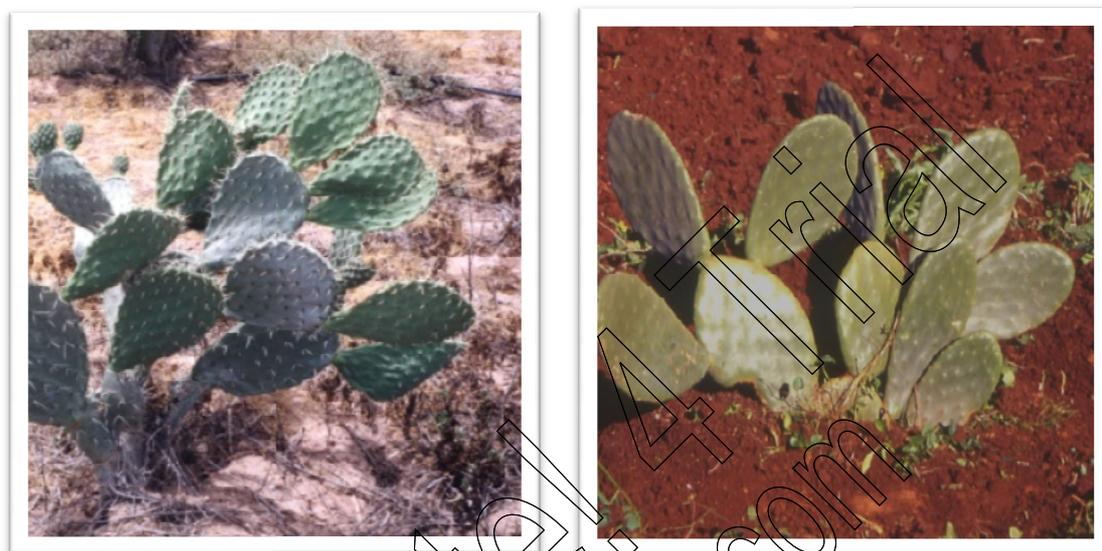


Figure N°4: Variété d'*Opuntia ficus-indica* épineuse (à gauche) et inerme (à droite) (MULAS, 2004).

4. Les principaux Composants chimiques des cladodes

Une meilleure connaissance de la valeur alimentaire des arbustes locaux, constitue incontestablement un élément déterminant pour le développement des systèmes d'élevages adaptés aux conditions semi-arides de pays (FERRAH, 1994).

La composition des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, sur le site de la culture, la saison et l'âge de la plante qui représente des variations considérables des données publiées. Par conséquent, les contenus respectifs des éléments nutritifs varient à la fois entre les espèces et variétés, et ne devrait pas être considérées comme des valeurs absolues. (Florian, *et al*, 2005).

Tableau N°1: Comparaison entre la composition chimique des Nopalitos (jeunes cladodes), laitue et l'épinard.

Constituants en % de la MS	Nopalitos		laitue	Epinard
	DEKOCK 1965	CHERIET, HADJ SADOK 2002	RODRIGUEZ et CANTWEL 1988	RODRIGUEZ et CANTWEL 1988
Eau	91.8	94.3	95.5	90.7
Protéines	2.5	3.88	1.0	3.2
Lipides	0.2	/	0.1	0.3
Fibres	8.65	8.1	0.5	0.9
Sucres	4.5	4.35	2.1	4.3
Vitamine C (mg/100g)	20	13.06	30	28
Vitamine A (µg/100g)	30	/	30	55

4.1. Eau et matière sèche

L'eau est le constituant majeur de tous les végétaux, elle joue un rôle très important dans les échanges cellulaires et des autres phénomènes vitaux, sa teneur peut varier en fonction des variétés, des saisons, de l'âge et des conditions de culture (JARRIGE et al, 1995).

4.2. Les sucres

Le contenu en sucres libres peut atteindre 0,32g/100g de matière fraîche. Dans une autre étude, la fraction des sucres réducteurs a été estimée dans l'intervalle de 0,64-0,88g/100g de matière sèche (FLORIAN, *et al*, 2005).

4.3. Matière minérale

Les cendres brutes représentent environ 20% de la matière sèche de l'Opuntia. Elle est riche en matière minérale qui est de l'ordre du tiers par rapport de la matière sèche, cette richesse en substances minérales essentiellement le potassium, le calcium, les sels d'oxalate et en mucilage confèrent aux raquettes d'Opuntia des propriétés laxatives; cependant si leur part dans la ration dépasse 50%, les animaux ont des diarrhées (NEFZAOUI et CHERMITTI, 1991)

4.4. 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, les plus fortes teneurs sont observées au début de la fructification (HADJ SADOK, 2010).

4.5. Matière azotée totale

L'Opuntia étant déficitaire en azote, il nécessite une association avec d'autres espèces mais ces inconvénients n'excluent pas son utilisation pendant les saisons sèches (MAHMOUDI, 2000).

4.6. Les acides organiques

Les cladodes ont une teneur élevée en acide malique et citrique, celle-ci varie en raison de son métabolisme de type CAM (STINTZING et CARLE, 2005), ne contiennent pas d'acide malonique, et une quantité réduite de l'acide citrique (31 mg/100 g de poids frais). L'acide Tartrique et succinique furent retrouvés dans les traces. (FLORIAN, et al, 2005). A côté de ces acides il ya l'acide oxalique et des acides organiques mineurs observée 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 (HADJ SADOK, 2010).

Ces principaux acides sont résumés dans le tableaux suivant :

Tableau N°2 : La composition en acides organiques des cladodes à deux moments différents au moment de la récolte

	de poids frais (g/100g)	
	6 heures	18 heures
L'acide malique	985	95
L'acide citrique	178	31
l'acide malonique	36	traces
L'acide succinique	traces	traces
L'acide tartrique	traces	traces
L'acide oxalique	35 mg/100 g du poids sec	

Source: FLORIAN *et al* (2005).

L'acide malique, allant de 95 à 985 mg/100 g poids frais qui constitue une partie du pool des acides libres, cette variation due au changement diurnes sachant que cette plante est du type CAM, donc elle fixe l'acide malique et libère de l'oxygène pendant la nuit pour éviter les pertes d'eau par transpiration. L'acide malique est décarboxylé et libère un carbone, il est donc converti en dioxyde de glucose par photosynthèse, cette action déroule pendant la journée quand les stomates sont fermées. (Florian, *et al*, 2005).

4.7. Les acides aminés

La teneur en protéines varie du simple au triple dans des raquettes brutes de même âge et elle est de 1 à 8 fois supérieures quand elle est ramenée à la matière sèche ; selon NEFZAOUI ET BEN SALEM (1996), la teneur en protéines serait beaucoup plus déséquilibrée sur un sol que dans des bonnes terres ou celle ayant reçu une fumure.

Tableau N°3: Composition en acides aminés essentiels des cladodes et de l'orge

Acide aminés	Opuntia ficus indica 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: HADJ SADOK(2010).

4.8. Les vitamines, les caroténoïdes et les chlorophylles

L'opuntia présente une importante teneur en vitamine C (acide ascorbique et dehydroascorbique) chez les jeunes cladodes (7 à 12 mg/ 100g), alors que la vitamine A est moins représentée avec 30µg/100g de la matière sèche. Les teneurs en vitamines thiamine, riboflavine et niacine sont relativement faibles avec respectivement: 0.14 mg pour 100g de cladodes fraîches (HADJ SADOK, 2010).

Les caroténoïdes sont constitués par les carotènes et par les xanthophylles. Parmi les carotènes, les B-carotène et le lycopène sont les plus répons dans les fruits et légumes. Le B-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 12.5 mg pour 100g de cladodes fraîches ou la chlorophylle a est dominante avec 9.5 mg/100g (STINTZING *et al*, 2005).

4.9. Mucilage

Les sucs ou mucilage des Nopalitos sont utilisées principalement au Mexique dans la fabrication des cosmétiques, comme additif dans la fabrication de shampooing, lotions astringentes, savon humectant, anti-transpirant...etc. (BARBERA, 1995).

Le mucilage des cladodes, qui est extrait par l'eau pendant 16 heures puis précipité l'éthanol est constitué par une grande proportions 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. 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. 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 (HADJ SADOK, 2010).

5. Domaines d'utilisation et valorisation de la plante

Le figuier de barbarie constitue pour certaines populations non seulement une source de fruit comestible, mais aussi une plante à usage médicinale. Les parties utilisées pour les besoins médicaux sont : les fleurs, les fruits et le suc de cladodes (ALDO, 1982).

5.1. L'utilisation des fruits

Les fruits qui sont appréciés par une large population en raison de leur goût sucré et acidulé, Ils sont également utilisés dans certains pays pour la fabrication des produits alimentaires (MATSUHIRO et al, 2005). Au Chili, en Californie et en Afrique du Sud, une variété de tunas dont le suc est d'un beau rubis foncé, est employée pour clarifier et fixer la couleur du vin en lieu et place du traditionnel sang de bœuf, ce qui semble beaucoup plus hygiénique (Schweizer, 1997).

Récemment, dans certains pays (Italie, Mexique, Chili...), le fruit est conditionné industriellement et stabilisé par différentes méthodes (froid, séchage, chaleur) où transformé en jus, miel (miel de tuna), boisson alcoolisées, confiture, colorant alimentaire (poudre de barbarie) (HABIBI, 2004).

Les fruits sont connus partout par le fait qu'ils arrêtent les coliques et les diarrhées et provoquent une constipation opiniâtre chez les personnes qui consomme beaucoup due à l'accumulation des graines. Le fruit possède des propriétés antihémorroïdaires. (SCHWEIZER, 1997).

5.2. L'utilisation des fleurs

Avec un calendrier apicole qui dure 7 mois (mars-septembre), l'activité des abeilles a lieu sur les fleurs de l'*Opuntia ficus indica* pendant 3 mois (avril-juin), ce qui permet de développer l'apiculture en parallèle. Les rendements des ruches sont de 1 à 4 litres de miel. Les fleurs sont aussi utilisées à des fins médicales. En effet, les capsules des corolles des fleurs séchées sont utilisées comme remède du dysfonctionnement de la prostate (hypertrophie bénigne de la prostate), et aussi comme régulateur diurétique. (HABIBI, 2004). Les fleurs sont utilisées également pour soigner les diarrhées; par fois elles sont employées pour éviter les avortements (BARBERA, 1995).

5.3. L'utilisation des raquettes

Les raquettes de figuiers de Barbarie sont une source intéressante par ses composants, parmi lesquels des fibres, hydrocolloïdes (mucilage) pigments (bétalaïnes et caroténoïdes), des minéraux (calcium, potassium), et certaines vitamines comme la vitamine C, encore ils sont riches en fibres (Sáenz, et al, 2006). Un élément important pour l'alimentation humaine et de potentiel considérable pour l'utilisation médicale. (SAENZ, 2000).

5.3.1. Production fourragère

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 palier le déficit fourrager pendant les périodes creuses (FERRAH, 1994). Il est utilisé pour cette fin sous forme des raquettes débarrassées d'épines coupées en petits morceaux, et mélangés avec d'autres aliments de bétail. (ARABA, *et al*, 2000).

Tableau N°4: Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments (HABIBI, 2004)

Nature du fourrage	Matière sèche (%)	Matière azotée (%)	Hydrate de carbone (%)	Matière grasse (%)
Foin de luzerne	91.4	10.6	39.0	0.9
Atiplex	23.3	2.8	5.9	0.1
Mais ensilé	26.3	1.1	15.0	0.7
Pulpes de betterave sucrière	9.4	0.2	6.4	0.1
Cladodes de l' <i>Opuntia</i>	10.4	0.6	5.8	0.1

Source: HABIBI (2004).

D'après ce tableau on constate que les raquettes d'*Opuntia ficus indica* ont une teneur en matière sèche, azoté, grasse et hydrate de carbone assez faible par rapport aux autres éléments fourragers, mais reste proche à la pulpe de betterave sucrière.

5.3.2. Production maraichère

Dans certains pays d'Amérique du sud, Les cladodes sont utilisées directement dans l'alimentation tel un légume grâce à sa richesse en nutriments, fibres, vitamine C, polyphénols, sucres simples et complexes et minéraux (ca, Mg, k,...etc.) en font un produit proche et comparables aux légumes (MAHMOUDI, 2000).

Le Mexique produit annuellement plus de 232.000 tonnes de Nopalitos dont 2000 à 3000 tonnes sont conditionnées et exportés sur le marché américain, contrairement au Mexique, l'utilisation du cactus pour une fin maraichère n'a jamais été exploitée au Maroc. En Algérie, dans la région de Tébessa, elle fait l'objet d'une utilisation maraichère appréciée par les populations rurales notamment (H.C.D.S, 1998).

5.3.3. Utilisation médicinales

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 (HADJ SADOK, 2010).

Au Yémen, les raquettes coupées longitudinalement sont appliquées en cataplasme pour soigner les blessures (FLEURENTIN, 1990). 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).

Le mucilage isolé des raquettes permet de réduire aussi le cholestérol total dans le sang. (ARABA, *et al*, 2000).

5.3.4. utilisation industrielles

En Afrique du sud et au Mexique où a intensifié l'élevage des cochenilles *Dactylopius coccus costa* ou *Dactylopius opuntiae* cockerell sur l'opuntia sous tunnels pour la production d'une teinte rouge (le carmin) produite par les femelles qui prolifèrent sur des raquettes saines, en prélevant des substances nutritives du phloème. Cette teinte est très demandée en industrie alimentaire, médicinales et cosmétique comme colorant naturel. (ARABA, *et al*, 2000).

Parmi les techniques d'exploitation de jus de figue on cite la fermentation; Cette technique vise l'augmentation de la teneur en alcool en utilisant soit des levures telles que: *Saccharomyces cerevisiae* afin d'obtenir une boisson Alcoolisée appelée «Colonche» (SAENZ, 1995). Soit en utilisant le SO₂, *Saccharomyce cerevisiae*, et l'acide citrique pour diminuer le pH à 3.3 afin d'obtenir le vin de figue de barbarie (BUSTOS, 1981).

Chapitre II:

La fermentation

PDF Created by
www.nuance.com
Trial

Historique et rappel

L'art de la fermentation dans son sens le plus large est défini comme la transformation chimique de composés organiques par des enzymes (en particulier celles qui sont fabriquées par le microorganisme) est très ancienne. Déjà avant 6000 ans avant Jésus-Christ, les Sumériens et les Babyloniens savaient utiliser la levure pour fabriquer de la bière. Beaucoup plus tard vers les années 4000 ans avant Jésus-Christ les Egyptiens découvrirent que le gaz carbonique produit par la levure de bière faisait lever le pain.

Dés le XIV^e siècle, la distillation alcoolique à partir de grains fermentés, technique dont l'origine viendrait de Chine ou de Moyen-Orient, était très répandue. D'autres procédés de fermentation remontent à la plus haute antiquité. ceux sont la culture des bactéries acétiques pour la fabrication de vinaigre, de bactéries lactiques pour la conservation du lait et de diverses bactéries.

Pendant plus de 8000 ans, le microorganisme a fourni à l'homme de la nourriture et des boissons sans qu'il ait eu véritablement conscience de leur existence. Ce n'est qu'au XVII^e siècle que le Hollandais Anton Van Leeuwenhoek, pionnier de la microscopie, observera à l'aide de son objectif rudimentaire, la présence des minuscules "animalcules" mobiles. Beaucoup pensèrent que ces organismes apparaissaient spontanément dans la matière inerte.

Au XIX^e siècle Louis Pasteur et le Britannique John Tyndall balayèrent définitivement le concept de génération spontanée en prouvant que toute forme de vie microbienne existante naît d'une forme de vie préexistante. Avant même que Pasteur n'ait commencé ses travaux sur l'origine de la vie microbienne, trois chercheurs indépendants, le français Charles Cagniard de la Tour et les Allemands Theodor Schwann et Friedrich Traugott Kützing, avaient suggéré que les produits de la fermentation, c'est-à-dire principalement l'éthanol et le gaz carbonique, étaient créés par une forme de vie microscopique.

Il fallut près de 20 ans à Pasteur pour réfuter l'hypothèse chimique. A l'aide de son microscope, il remarqua que le jus de fermentation contenait non seulement des cellules de levures, mais aussi des bactéries capable de produire de l'acide lactique, responsable de l'acidification des cuves de fermentation. Au cours de ces 20 années de travail il montra que chaque type fermentation est régi par un microorganisme spécifique. En outre il démontra l'existence d'une forme de vie strictement anaérobie. Buchner découvrit qu'un extrait d'une macération de levure, débarrassé par filtration des cellules entières, transformait encore le sucre en alcool. Cette découverte constitua le point de départ d'une science toute nouvelle; la biochimie, des travaux ultérieurs montrèrent que la conversion biologique résultait d'une série de réactions chimiques simples, chacun d'elle étant catalysée par une enzyme spécifique (BEDOUI et SEGHIR, 2005).

1. Les différents types de la fermentation

a. Fermentation continue

Consiste à maintenir le réacteur et son contenu dans un même état le plus longtemps possible. Par prélèvement du milieu fermenté et apport le milieu frais en continu. Deux techniques sont possibles:

La technique du turbidostat où la biomasse est maintenue constante. Le milieu nutritif et les cellules fournies sont ajoutés et retirés du fermenteur d'une façon continue et à la même vitesse.

La technique du chemostat où la biomasse est maintenue constante par limitation de l'alimentation. Le prélèvement est calibré sur la vitesse de production en antibiotiques, et l'alimentation, dont le volume compense le prélèvement, contient des ingrédients de façon à maintenir toutes les concentrations à des valeurs constantes. Ce système outre le fait d'être une technique possible de production, est aussi un moyen d'étudier et d'optimiser une fermentation (THEILLEUX, 1993).

b. Fermentation discontinue

La fermentation discontinue est de type batch lorsqu'un inoculum bactérien est placé dans une enceinte contenant un milieu non renouvelé. Cette culture est pratiquement la seule technique utilisée en production d'antibiotique, de polysaccharides, acide organiques, produits de bioconversion. Un même volume de milieu sert à réaliser les phases de croissance, de production et d'accumulation du produit. Tout le bouillon obtenu est ensuite retiré du bioréacteur. Celui-ci doit donc permettre les opérations de remplissage, de vidange, de stérilisation (GUY, 1992).

c. Fermentation en continue-discontinue

Cette technique est dite de type *fed-batch*. Il s'agit d'une culture discontinue, sans soutirage, alimentée en continue par un milieu nutritif. Elle est utilisée dans l'industrie chimique lorsque l'on veut optimiser l'apport d'un nutriment susceptible d'avoir un effet retardateur sur la croissance. Cette culture ressemble à la culture en batch, mais où la concentration en certaines substances est modulée par l'ajout contrôlé au cours du temps. Rappelons l'exemple de la pénicilline, où la concentration en glucose est maintenue à des valeurs précises au cours du temps. La consommation par l'organisme étant compensée par l'ajout en continue, et où l'addition d'acide phénoxyacétique doit être faite à une période déterminée. Cette technique utilise la production de polysaccharides, dérivés lipidiques (GUY, 1992).

Avant d'entamer une explication grossière sur la double fermentation (alcoolique, acétique), on a intérêt à évoquer les principales voies fermentaires, les différents microorganismes impliqués ainsi que leurs principaux produits, et leurs domaines d'applications.

Tableau N°5 : Principales fermentations microbiennes

Fermentation	Principaux produits	Micro-organismes	Applications
Homolactique	96 % d'acide lactique	<i>Lactococcus</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Sc thermophilus</i>	Salaisons, produits laitiers, chou-crouste, ensilage
Hétérolactique	40 % d'acide lactique, 19 % de CO ₂ , 18 % d'éthanol, 18 % de glycérol	<i>Leuconostoc</i> <i>Lactobacilles</i> <i>hétérofermentaires</i>	Kéfir, accidents de fabrication
Alcoolique	50 % d'éthanol, 50 % de CO ₂	<i>Levures du genre</i> <i>Saccharomyces</i>	Vin, bières, pain, pâtisseries
Acides mixtes	50 % d'acide lactique, 20,5 % d'acides divers, 12 % de CO ₂ , 0,5 % d'H ₂ , 11 % d'éthanol	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Citrobacter</i>	Gonflements et mauvais goûts, risques de pathogénicité
Butanediolique	5 % d'acides divers, 40 % de CO ₂ , 0,5 % d'H ₂ , 15 % d'éthanol, 38 % de butanediol	<i>Enterobacter</i> <i>Klebsiella</i>	Gonflements et mauvais goûts
Butanoïque	15 % d'acide acétique, 35 % d'acide butyrique, 48 % de CO ₂ , 3 % d'H ₂	<i>Clostridium tyrobutyricum</i> <i>C. butyricum</i>	Gonflements en fromages à pâte cuite
Acétonobutylique	Acide acétique et butyrique, acétone, butanol	<i>Clostridium acetobutylicum</i> et <i>butylicum</i>	Production de solvants
Propionique	6 % d'acide acétique, 60 % d'acide propionique, 10 % d'acide succinique, 16 % de CO ₂	<i>Propionibacterium</i>	Fermentation gazogène dans les fromages à pâte cuite et production d'arôme
Entner-Doudoroff	50 % d'éthanol, 50 % de CO ₂	<i>Zymomonas mobilis</i>	Production d'éthanol
Acétique	Acide acétique	<i>Gluconobacter</i> <i>Acetobacter</i>	Production de vinaigre
Méthanique	Méthane	<i>Methanobacterium</i> <i>Methanococcus</i> <i>plus des bactéries syntrophiques</i>	Production de méthane en épuration anaérobie
Malolactique	Acide lactique à partir de l'acide malique	<i>Leuconostoc oenos</i> <i>Ln mesenteroides</i> <i>Lactobacillus plantarum</i>	Désacidification des vins

Source: BRANGER (2008).

2. La fermentation alcoolique

Elle est réalisée par des levures, par décarboxylation de l'acide pyruvique à la suite de la glycolyse puis réduction de l'acétaldéhyde en éthanol (BRANGER, 2008).

La fermentation alcoolique a permis de multiples applications. Citons la fabrication du vin, de la bière et d'une façon générale des boissons alcoolisées. Dans ce cas, le sucre est utilisé, le CO₂ volatil est éliminé et le produit recherché, l'alcool éthylique reste en solution (ROGER, 2007).

Environ 80% de l'éthanol produit dans le monde est obtenu par fermentation. Le reste provient de synthèse à partir de l'éthylène synthétisé par l'industrie du pétrole. L'éthanol commence à jouer un rôle de plus en plus important comme source d'énergie en remplaçant les produits pétroliers. Le cas du Brésil à cet égard est exemplaire car plus de 10 millions de tonnes d'éthanol sont produits par fermentation avec comme source carbonée le saccharose des mélasses de canne à sucre. L'éthanol peut être utilisé directement sans aucune modification et entraîne beaucoup moins de problèmes écologiques que les produits pétroliers. La production de l'éthanol est donc une alternative attrayante puisqu'il peut être produit à partir de sources renouvelables et disponible en grande quantités: sucre et amidon d'origine agricole. Cellulose des déchets industriels et urbains (LARPENT-GOURGAUD *et* SANGLIER, 1992).

2.1. Les produits issus de la fermentation alcoolique

La production d'éthanol à partir de produits végétaux revient à une première étape d'hydrolyse en sucres monomériques facilement utilisables par le microorganisme lors de l'étape de fermentation.

Les principaux produits de la fermentation alcoolique sont évidemment l'éthanol et le dioxyde de carbone. A eux deux, ils représentent entre 90 et 95% du glucose consommé. Le reste du glucose est utilisé lors de la croissance pour la production de biomasse et la production de sous-produits (COT, 2006).

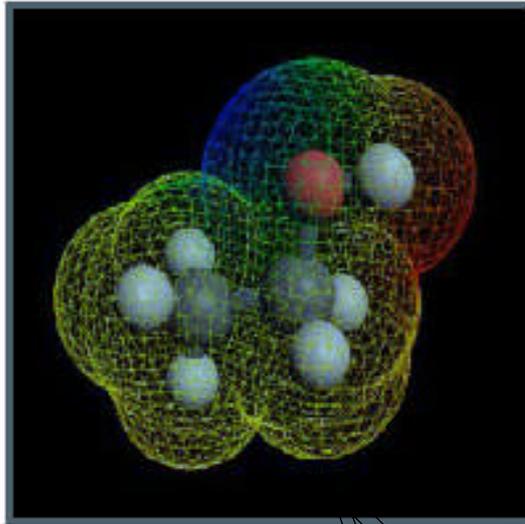


Figure N°5 : molécule d'alcool éthylique (KACIM, 2008).

Le passage du métabolisme aérobie à la fermentation alcoolique s'accompagne de changements très importants à l'intérieur des cellules (disparition des mitochondries, modification de l'expression génétique, répressions ou activations enzymatiques...).

Plusieurs produits secondaires sont également formés lors de cette fermentation, les principaux étant le glycérol, l'acide succinique, l'acide acétique, le 2,3-butanediol et l'acétaldéhyde (BRANGER, 2008).

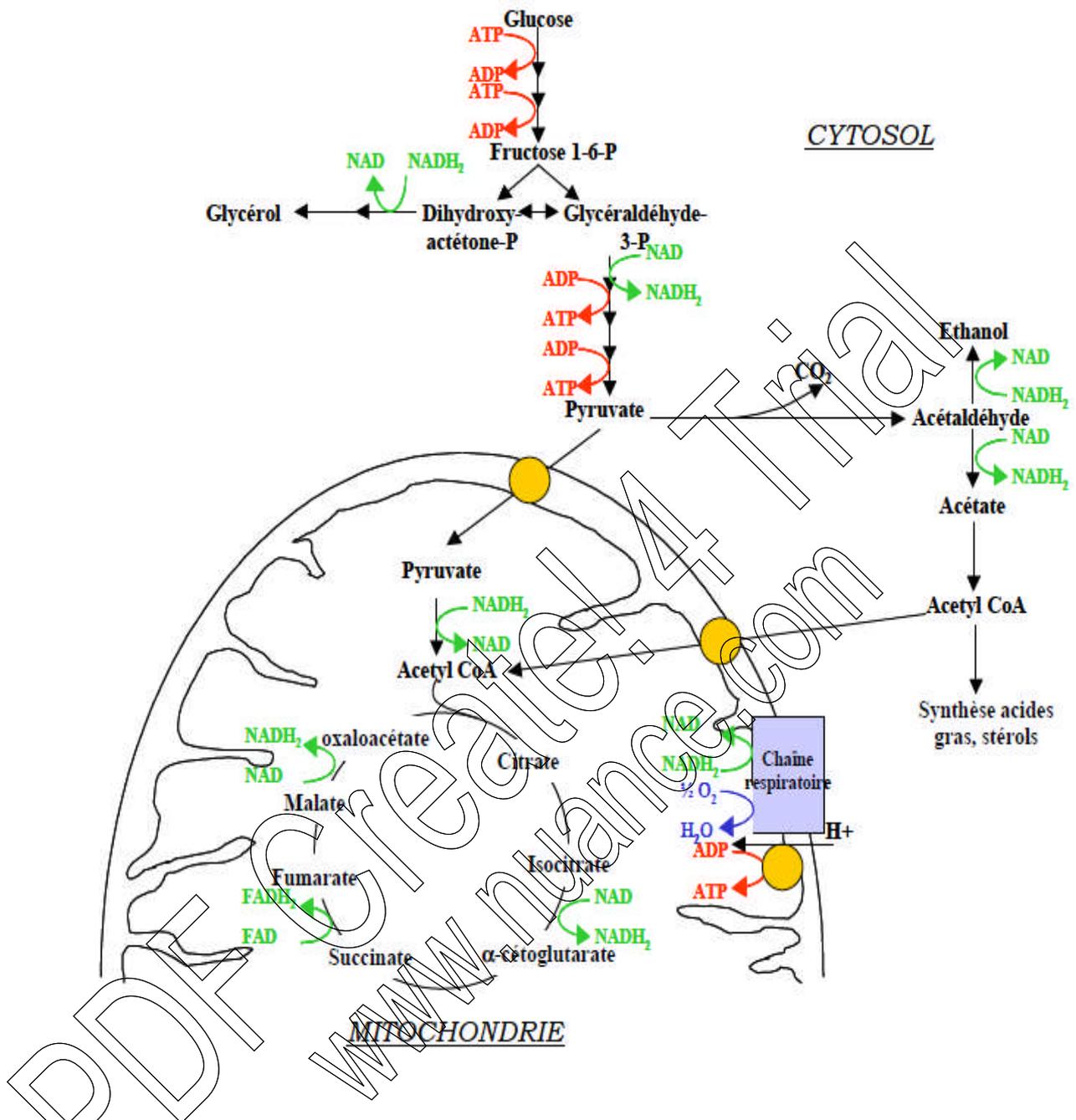


Figure N°6: Schéma récapitulatif de la voie de production d'éthanol et des voies métaboliques annexes pouvant conduire à la production de sous-produits (COT, 2006).

2.2. L'utilisation de l'alcool

L'intérêt de produire de l'éthanol vient du fait que c'est une substance énergétique stratégique et son utilisation couvre un champ étendu d'activités industrielles: fabrication de spiritueux, d'intermédiaires chimiques (produits de beauté, parfums, cosmétiques, produits pharmaceutiques.), de solvants, de détergents, de désinfectants, d'acides organiques, etc.

Enfin, il est utile de signaler, selon la Régie des Alcools, que notre pays importe entre 30.000 et 50.000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins. En considérant les conditions climatiques, la disponibilité de la matière première, la spécificité de l'activité, les exigences technologiques et la demande nationale en alcool, un programme expérimental au niveau du laboratoire et à l'échelle pilote a été entrepris et les résultats obtenus ont démontré la faisabilité du procédé aussi bien sur le plan technique qu'économique (KAIDI, 2001).

2.3. La production d'alcool en Algérie

Selon la Régie des Alcools, notre pays importe entre 30.000 et 50.000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins. En considérant les conditions climatiques, la disponibilité de la matière première, la spécificité de l'activité, les exigences technologiques et la demande nationale en alcool, un programme expérimental au niveau du laboratoire et à l'échelle pilote a été entrepris et les résultats obtenus ont démontré la faisabilité du procédé aussi bien sur le plan technique qu'économique (KAIDI et TOUZI, 2001).

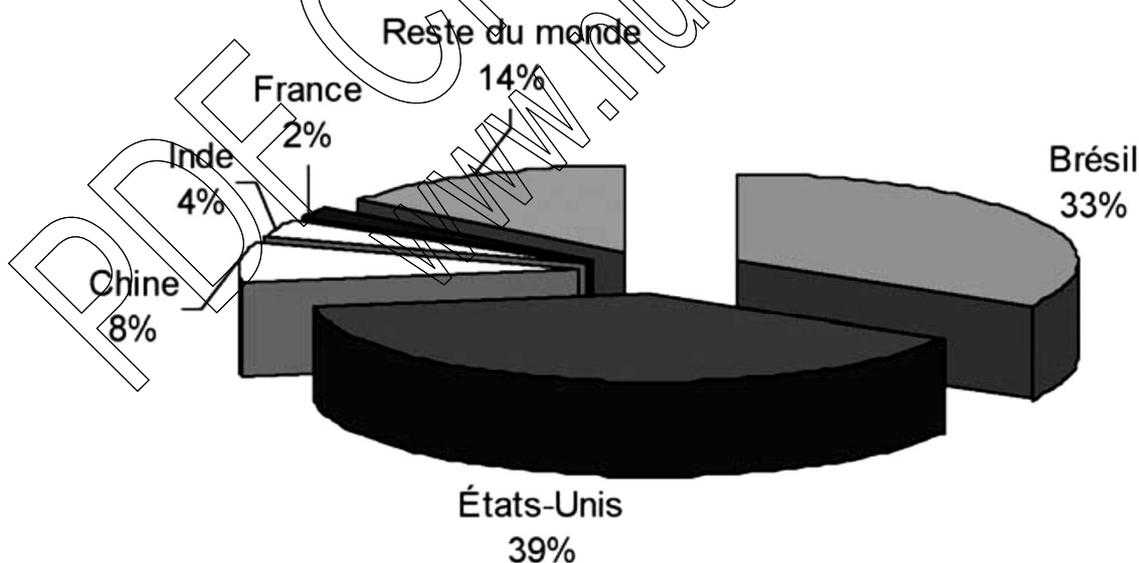


Figure N°7 : Production mondiale d'éthanol en 2006 (COULIBALY, 2007).

3. La fermentation acétique

3.1. Définition et réglementation

C'est par hasard que le vin est né, il en est de même pour le vinaigre. D'ailleurs, on pense que le nom de vinaigre serait lié au vin, et plus précisément au vin qui a mal tourné et qui s'est aigri : « vin aigre » (CHAPIN, 2011).

La production d'acide acétique par oxydation de l'alcool éthylique n'est une fermentation que dans la mesure où le substrat n'est pas totalement oxydé en CO₂ et H₂O. La formation de coenzymes réduits nécessite la présence d'une chaîne respiratoire et cette transformation ne peut donc être réalisée que par des bactéries aérobies strictes. L'espèce principale utilisée pour cette bioconversion est *Acetobacter aceti* (BRANGER, 2008).

Selon anonyme (1987), le vinaigre est un liquide adapté pour la consommation humaine; produit à partir du matériel approprié d'origine agricole, renfermant dans sa composition de l'amidon et/ou des sucres, il contient une quantité indiquée d'acide acétique obtenu par le processus de la double fermentation, alcoolique et acétique (TESFAYE *et al.*, 2002).

Dans la législation française, la dénomination «vinaigre» est réservée aux produits obtenue par fermentation acétique de boissons ou dilutions alcooliques et renferment au moins 6% d'acide acétique (décret du 28 juillet 1908 modifié par le décret du 28 mars 1924). La fabrication de vinaigre est due aux bactéries acétiques «*Acétobacter*» (GUIRAUD, 1998).

3.2. Les différentes sortes du vinaigre

Il existe toutes sortes de vinaigres, des plus classiques aux plus exotiques: le vinaigre d'alcool coloré, le vinaigre de xérès, le vinaigre de riz, le vinaigre de vin blanc, le vinaigre de vin rouge, le vinaigre de datte, de mangue, de banane de bière, le vinaigre de banyuls, le vinaigre de figue, de figue de barbaries, le vinaigre de miel, le vinaigre de palme, le vinaigre de sirops d'érable, le vinaigre de pamplemousse, etc. (CHAPIN, 2011).

3.3. Composition du vinaigre

Le vinaigre est composé d'eau, d'acides acétique et de matières organiques diverses, il y'a de l'eau (H₂O) et de l'acide acétique (CH₃-COOH).

C'est l'acide acétique qui donne au vinaigre son odeur piquante. C'est un acide "doux" et incolore, qui est présent dans tous les vinaigres.

Il ya donc de l'eau à plus de 90%, de l'acide acétique entre 5 et 8% et un tout petit d'alcool.

Le vinaigre est riche en vitamines, en enzyme, en acides aminés et en oligoéléments. Il contient du bore, du calcium, du chlore, du fer, du fluor, du magnésium, du manganèse, des polyphénols, du potassium, du silicium, du sodium, du soufre, des vitamines B et D (CHAPIN, 2011).

3.4. La fabrication de vinaigre

La fabrication du vinaigre repose sur une double fermentation. La première dite alcoolique: les sucres fermentescibles initiaux présents dans la matière première sont transformés en alcool par les levures à la température ambiante pendant quelques jours. Ces sucres proviennent de différentes sources agricoles (pommes, raisins, betteraves, pommes de terre...)

Les matières premières les plus diverses servent à la fabrication du vinaigre: vin alcool éthylique (vinaigre blanc), cidre à sucre, malt, vin de palme, orange, banane, lait de coco. En fait, tous les aliments susceptibles de produire une fermentation alcoolique peuvent être utiles pour faire le vinaigre (KOMIA, 1996).

Ensuite, l'alcool produit subit une deuxième fermentation dite acétique: l'alcool est transformé en acide acétique.

Pour qu'une fermentation acétique ait lieu trois conditions sont nécessaires:

- ♣ Présence d'une bactérie appelée *Acétobacter Acéti*. Cette dernière fixe l'oxygène de l'air sur l'alcool et le transforme en acide.
- ♣ présence d'oxygène utilisé par la bactérie pour la transformation de l'alcool en acide acétique.
- ♣ température comprise entre 25 et 30 °C (GUIRAUD, 2003).

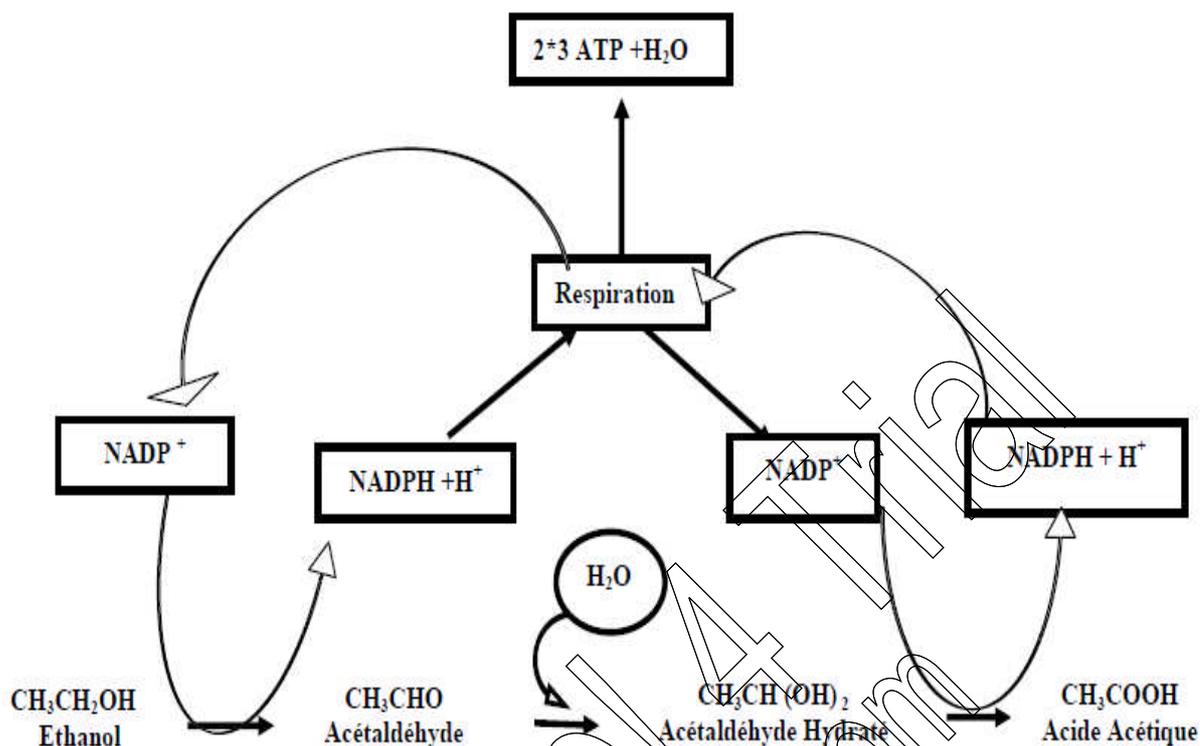


Figure N°8: Schéma de la biosynthèse de l'acide acétique (MONIQUE et SANGLIER, 1992).

La production d'acide acétique est possible en anaérobie. La tendance à utiliser des matières premières bon marché, à obtenir des taux de croissance plus élevés et à réduire les coûts énergétiques plaident pour la méthode anaérobie. En effet les déchets celluloseux peuvent être hydrolysés en glucose par des cellulases élaborées par des bactéries anaérobies. Le glucose peut ensuite être transformé en acide acétique par *Clostridium thermoaceticum* qui en Fed-batch produit 35 g/l (LARPENT-GOURGAUD et SANGLIER, 1992).

3.5. Les utilisations du vinaigre et la production

Les préparations culinaires à base de vinaigre ont été très nombreuses; conservation de la viande, des poissons, des légumes, des fruits de saison, des gâteaux, des épices. La production mondiale annuelle de vinaigre (Chine et URSS exclus) est estimée à plus de 160 000 t d'acide acétique pur, soit en volume de 1 600 millions de litres de vinaigre à 10 p. cent d'acide. Il s'agit de la plus importante production d'acide d'origine microbienne (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Actuellement à travers le monde, on fabrique une multitude de vinaigre. Le vinaigre dit d'alcool est celui produit en plus grande quantité. Ce vinaigre est surtout utilisé dans l'industrie condimentaire. Ce qu'on appelle vinaigre à l'estragon, vinaigre rosat, vinaigre surar, etc. est tout simplement du vinaigre d'alcool dans lequel sont infusés l'estragon, des roses, etc.

Le vinaigre de riz produit en Asie est obtenu après saccharification de l'amidon de riz et fermentation alcoolique (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Chez les Romains et chez les Grecs, on versait un trait de vinaigre dans l'eau pour en éliminer les impuretés et pour la rendre rafraîchissante.

En 1720, les médecins frictionnent de vinaigre antiseptique les victimes de la grande peste pour les guérir.

On attribue au vinaigre (surtout s'il n'est pas pasteurisé) une multitude de vertus: soulager les piqûres, les brûlures, maux de tête, maux de gorges, de même que les douleurs musculaires (internet 1).

Chapitre III:

La Levure

PDF Created by
www.nuance.com
Trial

1. Généralités

Le mot levure provient du mot latin « levare » qui se traduit par « lever » (OTENG GYANG., 1984).

Les levures sont des eucaryotes hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons, on les distingue par leur caractère unicellulaire et l'absence de vrai mycélium. Elles sont microscopiques et immobiles (GUIRAUD et GALZY, 1998).

Les cellules de levure sont généralement ovoïdes ou sphériques, parfois cylindriques ou de forme plus spécifiques (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Elles se présentent isolées, en paires, en chaînes ou en petits amas. La taille des cellules de levures est très variable suivant les espèces : 2.5-10.5µm large contre 4.5-21µm de longueur. (LARPENT, 1991; BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Les levures se reproduisent par bourgeonnement ou fission. Elles peuvent présenter deux modes de reproduction : végétative et sexuée (LARPENT, 1992).

Les levures sont très répandues : saprophytes sur les fruits, le nectar de fleurs « milieux sucrés », dans le tube digestif des animaux et des insectes, comme elles peuvent persister libres dans le sol (SCRIBAN, 1993).

Quelques 500 espèces de levures réparties dans 60 genres sont maintenant identifiées et diverses classifications ont été proposées.

2. Rôle des levures dans l'industrie alimentaire

L'objectif des fabricants de levure industrielle est de produire un nombre important de cellules vivantes capables de réaliser une fermentation et de conserver cette aptitude pendant au minimum quatre semaines dans des conditions de stockage à +4 °C.

Les levures occupent une place essentielle dans l'industrie alimentaire. Elles participent à la fabrication de nombreux produits (brasserie, fromagerie, vinification...etc.), mais aussi à la valorisation des déchets agricoles et industriels et à la production des protéines. Actuellement leur rôle est fondamentale dans les industries de fermentation: les levures utilisent les substrats sucrés ou amylacés pour la production de certains métabolites comme: l'alcool (*Saccharomyces*, *Kluyveromyces*); les nucléotides, ainsi pour la production des antibiotiques.

Le Tableau donne la production industrielle de la levure alimentaire sur divers substrats.

Tableau N°6 : Production industrielle de la levure alimentaire sur divers substrats

Types de substrat	Organismes utilisés	Rendement en% calculé sur le sucre consommé	Protéines en %
Mêlasse de betterave	<i>Torulopsis utilis</i>	55	50
Mêlasse de canne	<i>T. utilis</i>	48	51
Liqueur de bisulfite	<i>T. utilis</i>	39	50
Hydrolysant de bois	<i>Hanseluna anomala</i>	35-40	-
Résidu et fermentation	<i>T. utilis</i>	47-52	50
Jus de fruits	/	53	50
Mêlasse de betterave	<i>S. cerevisiae</i>	43-53	50
Lactosérum	<i>T. utilis</i>	40-45	40-48
Lactosérum Produits pétroliers	<i>T. utilis</i>	45	45-50

Source: SIMON et MEUNIER (1970).

3. Données sur *Saccharomyces cerevisiae*

3.1. Définition

Saccharomyces cerevisiae est l'espèce la plus couramment utilisée en industrie alimentaire. Elle contient de nombreuses sous-espèces et souches permettant d'expliquer son utilisation pour diverses productions à partir de substrats variés. Le taux d'éthanol final dépend de la souche et, bien entendu, de la concentration en substrat initial (Branger, 2008).

Une grande variété de microorganismes produit de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant peu sont réellement compétitifs en terme :

- ✓ de rendement en éthanol par rapport au substrat consommé
- ✓ de capacité fermentaire
- ✓ de tolérance à l'éthanol élevée
- ✓ d'adaptation aux conditions de fermentation

L'utilisation de *Saccharomyces cerevisiae* pour la production d'éthanol comme produit majoritaire a été fortement relancée suite au contexte économique-écologique actuel. En effet, cet organisme eucaryote unicellulaire et non pathogène pour l'homme représente un modèle expérimental avec de nombreux avantages:

- ✓ La petite taille de son génome.
- ✓ La facilité à le manipuler génétiquement.
- ✓ Le séquençage de son génome en 1996 et l'abondance de la littérature disponible (COT, 2006).

En raison de sa tolérance à l'éthanol, à la forte teneur en sucres et de sa capacité fermentaire élevée, *saccharomyces cerevisiae* prend rapidement le dessus et elle est considérée comme responsable de la réalisation de la fermentation alcoolique.

3.2. Classification

La place de la levure *Saccharomyces cerevisiae* dans la classification des êtres vivants :

Règne : Protistes-Eucaryotes.

Classe : Ascomycètes.

Sous-classe : Hemiascomycètes.

Ordre : Endomycetales.

Famille : *Saccharomycetaceae*.

Sous-famille : *Saccharomycetoideae*.

Genre : *Saccharomyces*.

Espèce : *Saccharomyces cerevisiae*.

Classification de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. (LARPENT, 1992)

3.3. Reproduction

C'est un espèce de levure de bourgeonnement , les principales étapes de bourgeonnement de la levure de *S. cerevisiae* sont représentés dans la (Figure 9). La souche *S. cerevisiae* capable de bourgeonner une trentaine de fois avant de mourir, et la paroi conserve toutes les cicatrices laissées par les cellules filles. Dans certaines conditions, elle est capable de fusionner pour donner une cellule diploïde qui peut se multiplier par voie végétative, ces cellules peuvent également sporuler pour donner quatre spores haploïdes (BOURGEOIS et LEVEAU, 1991).

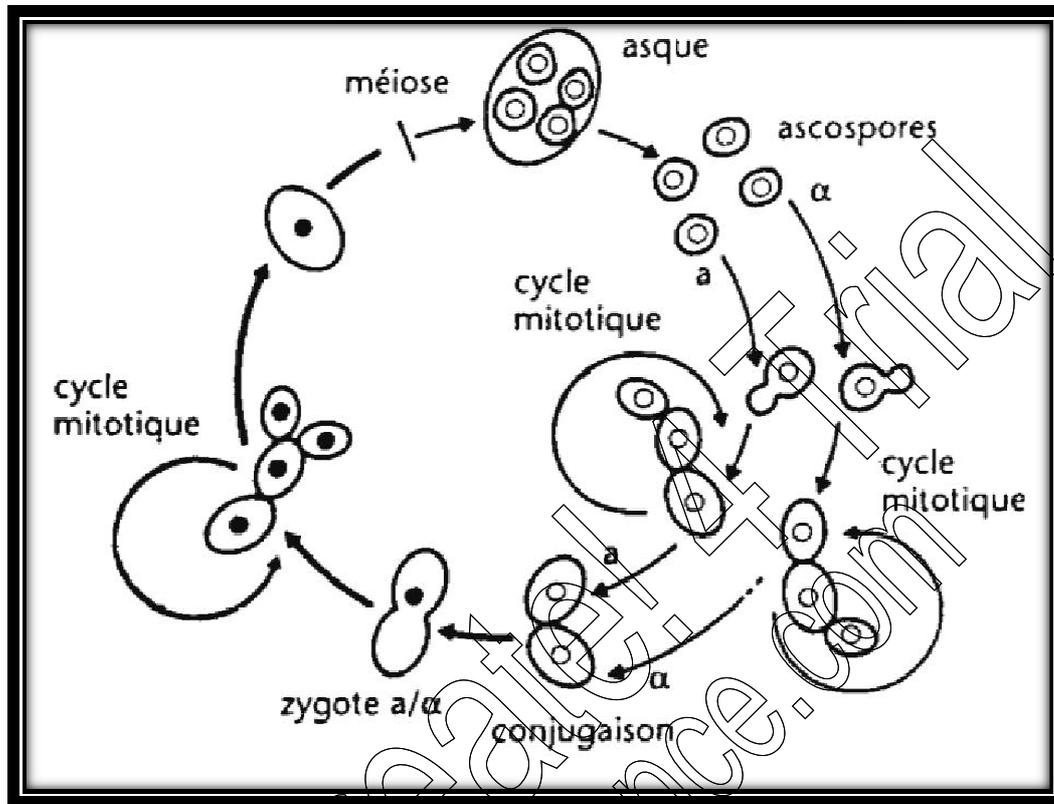


Figure N°9: Cycle biologique de la levure *Saccharomyces cerevisiae* (BOURGEOIS et LARRENT, 1996).

3.4. Les substrats utilisés

Les substrats utilisables pour la production d'éthanol sont très variés : canne à sucre, blé, riz, maïs, pomme de terre, sorgho, manioc... Le choix va dépendre du coût et de la rentabilité du procédé.

Ces produits végétaux d'origine agricole contiennent des réserves de glucides sous forme d'amidon ou de saccharose. Les molécules d'amidon sont préalablement hydrolysées par voie enzymatique le plus souvent, *Saccharomyces cerevisiae* ne possédant pas d' -amylase efficace. Les produits résultant sont le glucose et le fructose, facilement assimilables par *Saccharomyces cerevisiae*. Ce sont donc, en général les substrats riches en amidon et saccharose qui sont privilégiés pour la fermentation alcoolique (COT, 2006).

3.5. Conditions de culture de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

La croissance d'un micro-organisme peut être considérée comme une série d'interaction entre les cellules et l'environnement (BOUIX et LEVEAU, 1993).

3.5.1. Exigences culturales

3.5.1.1. Le pH

Saccharomyces cerevisiae présente l'avantage de croître sur milieu acide, pour lequel la plupart des bactéries ne se développent pas. Elle préfère un pH compris entre 4-4,5 (REVUZ, 1979).

3.5.1.2. La température

La température de croissance est variable suivant les espèces de levures. La température convenable pour la levure *S. cerevisiae* est entre 25°C et 35°C, ce sont des mésophiles (LARPENT et GOURGOUD, 1985).

3.5.1.3. L'aération

La levure s'adapte à deux modes de vie en présence et en absence d'oxygène, et pour le but d'homogénéiser la circulation dans le fermenteur il est nécessaire d'adapter d'oxygène sous forme d'air filtré par un coton (REVUZ, 1979). L'adjonction de traces d'air favorise la constitution des stérols de la membrane cellulaire des levures (LARPENT, 1991).

3.5.1.4. La pression osmotique

La levure *S. cerevisiae* est une espèce osmophile qui se développe sur des milieux à forte concentration en sucre et en sel mais avec un métabolisme lent au contraire de certaines espèces (NOU, 2001).

3.5.2. Besoins nutritionnels

Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires aux systèmes cellulaires et aux besoins énergétiques de la levure.

3.5.2.1. L'eau

Elle représente 75% du poids total cellulaire. Elle doit être en grande quantité dans le milieu.

3.5.2.2. Le carbone

La souche *S. cerevisiae* utilise les glucides simples (hexoses) et des disaccharides mais elle est incapable d'utiliser les pentoses.

3.5.2.3. L'azote

Toutes les levures sont capables d'utiliser l'azote sous forme d'ions d'ammonium, et l'urée pour constituer des protéines, acide nucléique et des vitamines (LARPENT, 1992). Selon BOURGEOIS et LARPENT (1996) la levure *S. cerevisiae* est incapable d'utiliser le nitrate.

3.5.2.4. Les sels minéraux

a. Potassium

Il se trouve inclus dans les acides nucléiques et les nucléosides, la concentration en ion phosphate (PO_4^{-3}) régule la synthèse des lipides et des glucides.

b. Soufre

60% du soufre est incorporé dans les protéines et sous forme inorganique libre. Les *Saccharomyces* sont également capables d'utiliser le sulfite et le thiosulfate.

c. Calcium

Le calcium indispensable à la croissance mais joue un rôle de stimulateur chez *S. cerevisiae* (LARPENT, 1992).

d. Les oligo-éléments

Sont nécessaires à l'état de trace, de l'ordre du mg/l du milieu de culture. Mais sont indispensables pour la croissance et la multiplication des levures, aussi jouent un rôle dans l'activation de certaines vitamines et coenzymes (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

3.5.2.5. Les vitamines

L'apport de vitamines est indispensable pour assurer une bonne croissance et une meilleure activité fermentaire de la levure. Pour *S. cerevisiae*, les besoins en thiamine B1 est de 5g/l, les besoins en biotine sont de l'ordre de 1mg/l. La quantité nécessaire en vitamines B6 est de 6,25 µg/l (BOUIX et LEVEAU, 1993).

Classiquement, la biosynthèse de l'éthanol est faite avec cette levure (*saccharomyces cerevisiae*), à un pH de 4,5-5,0 et une température optimale de 30°C. Leurs développement est très facile sur jus de betterave ou hydrolysats de céréales. Par contre avec les mélasses, la teneur en substances non glucidiques élevée perturbe souvent leur croissance. Les substrats glucidiques autres que le glucose, fructose et saccharose ne peuvent être directement fermenté par *saccharomyces cerevisiae* et doivent au préalable, subir une hydrolyse enzymatique ou acide pour libérer les hexoses assimilables par la levure (LARPENT-GOURGAUD et SANGLIER, 1992).

3.6. Rôle des levures dans l'industrie alimentaire

Les levures ayant une grande valeur nutritive peuvent entrer dans la ration alimentaire animale ou humaine. Dans ce but, la production de «levure aliment» ou P.O.U (protéines d'organismes unicellulaires) s'effectue sur des substrats très variés.

Lors de la production industrielle des levures, on utilise la fermentation aérobie. La multiplication se fait par bourgeonnement et la durée totale du dédoublement peut s'étendre de 1 h 30 (multiplication accompagnée de production d'alcool), lorsque l'on se place dans des conditions de suralimentation, à 3 h 30 (multiplication sans production d'alcool) dans des conditions d'alimentation contrôlée.

Les levures occupent une place essentielle dans l'industrie alimentaire. Elles participent à la fabrication de nombreux produits (brasserie, fromagerie, vinification...etc.), mais aussi à la valorisation des déchets agricoles et industriels et à la production des protéines. Actuellement leur rôle est fondamentale dans les industries de fermentation: les levures utilisent les substrats sucrés ou amylacés pour la production de certains métabolites comme: l'alcool (*Saccharomyces*, *Kluyveromyces*); les nucléotides, ainsi pour la production des antibiotiques. (SCRIBAN, 1999).

Depuis des siècles, les propriétés de fermentation de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sont utilisées dans de nombreux procédés de transformation : vinification, brassage de la bière,... Son utilisation pour la production d'éthanol-biocarburant date de la fin du 19ème siècle avec l'invention de l'automobile (COT, 2006).

4. Les bactéries acétiques

Les bactéries acétiques sont présentes naturellement sur les fruits, dans l'air, dans les vins...elles se présentent au microscope sous forme de petits bâtonnets gram négatifs, aérobies stricts, souvent groupées en paires et parfois en chainettes.

Elles sont parfois allongées, asporulées, généralement mobiles. Leurs tailles varient de 0.5 à 0.8 μm de large et 0.9 à 4.2 μm de long (GUIRAUD, 2003).

Pasteur fut le premier à démontrer en 1868 que l'acide acétique provenait bien de l'oxydation de l'éthanol par des microorganismes, à qui il proposa le nom de *Mycoderma aceti* (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Elles sont très tolérantes aux pH acides. Leur développement se manifeste par la formation d'un voile de surface sur le vin ou le cidre (la mère du vinaigre). Seul ce voile contient des cellules vivantes aérobies strictes, le genre *Acetobacter* peut poursuivre l'oxydation jusqu'au stade CO_2 et H_2O quand la concentration en éthanol s'appauvrit (BRANGER, 2008).

4.1. Besoins nutritionnels

Les besoins nutritionnels des bactéries acétiques dépendent étroitement de la source de carbone.

La majorité des souches sont auxotrophes pour quelques vitamines, notamment l'acide paraaminobenzoïque, la niacine, la thiamine et l'acide pantothénique. Elles peuvent utiliser l'ammonium comme source d'azote.

Les bactéries réalisant la fermentation acétique des vinaigres d'alcools sont susceptibles de se développer sur un milieu minéral à deux sources de carbones, le glucose et l'éthanol mais sur les substrats utilisés dans l'industrie, les besoins nutritionnels sont plus complexes et la croissance nécessite l'adjonction d'extraits de levures (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

4.2. Souches

L'industrie de la vinaigrerie utilise les souches qui ne sont pas issues de cultures pures. Les expériences en laboratoire ont souvent montré la difficulté de conserver l'aptitude des souches à effectuer la fermentation. L'explication de cette variabilité reste à trouver. Dans les conditions industrielles, la pression de sélection est forte et l'apparition de variants peu performants reste limitée puisque les fermentations ont pu être menées pendant plusieurs années sans diminution d'activité et de rendements.

Ainsi, la société FRINGS a trouvé plus pratique d'ensemencer les Acétators en usine par une souche déjà " adaptée " aux fortes concentrations du vinaigre et maintenue en culture continue en pilote.

Dans la sélection de souches, OHMORI et al. (1980) ont pu observer que la résistance à l'éthanol et à l'acide n'était pas corrélée et ont pu obtenir une souche résistante à l'acide à la température de 37 °C. Cette même souche était susceptible de perdre avec une grande fréquence (20 p. cent) la résistance à l'acide et de donner de nombreux mutants sans éthanol déshydrogénase particulière (BOURGEOIS et LARPENT, 1996).

Partie 2 :
Expérimentation et résultats

Objectif de l'étude expérimentale

Le but de cette étude expérimentale consiste à essayer de produire l'alcool puis le vinaigre à partir du jus des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus-indica*.

Présentation du lieu de stage

L'expérimentation a été réalisée au niveau des laboratoires suivants:

- a. **laboratoire d'amélioration des plantes (université de Blida):** on a utilisé la centrifugeuse pour faire l'extraction de jus des jeunes cladodes.
- b. **laboratoire de chimie et physiologie végétale (université de Blida):** pour la détermination de quelques analyses physico-chimiques.
- c. **laboratoire lacqmi d'analyse et contrôle de qualité de la Mitidja (Blida):** on a mesurer le degré Brix et le degré Alcoolique.

1. Matériel

a) Matériel végétal

Les jeunes raquettes de la variété inerme de l'*Opuntia ficus-indica* ont été récoltées du piémont de BouArfa.



Figure N°10 : Vue des jeunes cladodes de la variété inerme de l'*Opuntia ficus-indica* (source originale).

Zone de prélèvement

Les raquettes de variété inerme de l'*Opuntia ficus-indica* ont été récoltées du piémont de montagne en région de BouArfa qui se trouve à 03 Km d'ouest de Blida (Algérie) à une altitude de 203 m par rapport au niveau de la mer.

Cette zone jouit de climat méditerranéen où la pluviométrie annuel se situe entre 400 et 600 mm où la température moyenne atteint 22 à 44 °C, les températures maximales moyennes du mois le plus froid entre 0,4 et 7,3 °C.

b) Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé est une levure boulangère ***Saccharomyces Cerevisiae*** issue de la levure commerciale **SAF-INSTANT** du groupe Français S.I.Lesaffre.

c) Matériel de laboratoire

Tous le matériel utilisé est cité en annexe I.

2. Méthodes

2.1. Préparation de jus des jeunes cladodes

a) Prélèvement de l'échantillon

Les jeunes raquettes de variété inerme de l'*Opuntia ficus indica*, ont été récoltées durant le mois de septembre 2012 dans la zone de BouArfa de la région de Blida

b) Traitement préliminaire

Nettoyage et lavage: les jeunes raquettes prélevées sont soigneusement lavées pour éliminer toutes les impuretés (poussière, épines, glochides...).

Découpage: les jeunes cladodes précédemment lavées sont découpées en petits morceaux afin de faciliter l'extraction du jus.

c) Extraction du jus des jeunes cladodes

Après le traitement préliminaire, l'extraction du jus de cladodes consiste à broyer les morceaux de ces derniers dans une centrifugeuse ménagère de marque ROBOTIC avec deux vitesses de rotation **V1: 5700 tours/min** puis à **V2:7900 tours/min**, munie d'un tube d'alimentation dont le diamètre est de 74 mm.

Ce type d'extraction est basé sur la force centrifuge, cette méthode a permis de recueillir séparément le jus liquide et les résidus.



Figure N°11: Centrifugeuse utilisée pour l'extraction du jus des cladodes (source originale)

d) Filtration et stérilisation de jus

- a. **La filtration:** c'est l'élimination de la mousse et les particules solides par précipitation.
- b. **stérilisation:** est un procédé de conservation temporaire de certains produits alimentaires (jus de cladodes dans notre cas), par chauffage pendant 20 minutes à 121°C. Cette méthode permet de détruire toutes les germes pathogènes et thermostables.

Les travaux ont été réalisés selon des étapes résumées dans la figure ci-dessous :

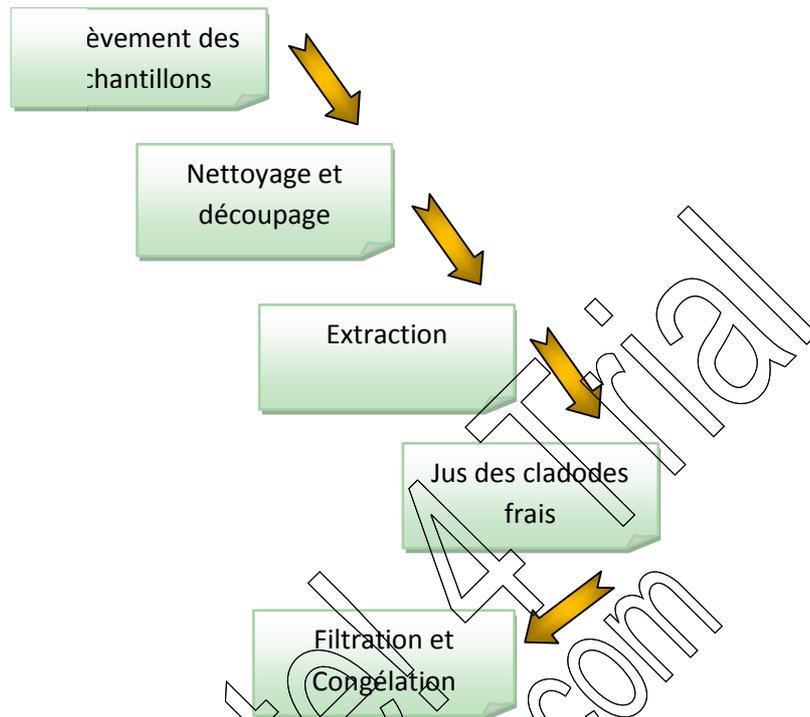


Figure N°12: Les étapes de l'extraction du jus des jeunes cladodes.



Figure N°13: Jus des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus-indica* après extraction.

(Source originale).

2.2. Analyses physico-chimiques de jus des cladodes

2.2.1. Détermination de la teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche est déterminée par la méthode de référence (AOAC, 1990).

- **Principe**

Il est basé sur la dessiccation de la prise d'essai à une température de 105 °C dans une étuve isotherme ventilée, à la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'un poids pratiquement constant.

- **Mode opératoire**

Le jus des raquettes fraîches est pesées et séchées dans une étuve à circulation d'air de marque memmert, réglée à 105±2°C, laissées durant 24h, refroidie au dessiccateur pendant 30 minutes, peser remettre une heure à l'étuve et procéder à une nouvelle pesée, continuer l'opération jusqu'à l'obtention d'un poids fixe.

- **Expression des résultats**

La teneur en matière sèche est donnée par la relation suivante

$$\% = \frac{P_1}{P_0} \times 100$$

MS%: Matière sèche en pourcentage.

P₀: poids de l'échantillon humide en gramme.

P₁: poids de l'échantillon après la dessiccation.

2.2.2. Détermination de la teneur en eau

Après avoir déterminé la teneur en matière sèche, la teneur en eau est déterminée par la relation suivante:

$$\% = 100 - \text{MS} \%$$

Où:

H%: humidité en pourcentage.

2.2.3. Détermination de la matière minérale

La teneur en matière minérale est déterminée par la méthode de référence (AFNOR NFV 03 - 760).

- **principe :**

La teneur en matière minérale d'une substance alimentaire est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique après l'incinération du produit à 550°C et pesée du résidu.

- **mode opératoire**

Porter au four à moufle, la capsule en porcelaine préalablement calcinée et tarée contenant l'échantillon du résidu qui a servi à la détermination de la matière sèche.

Chauffer progressivement afin d'obtenir une carbonisation (combustion) sans inflammation de la masse, le four est réglé à 200°C pendant 1h30 min puis à 550°C durant 2h30min.

L'incération doit être poursuivie jusqu'à combustion complète du charbon formé et l'obtention des cendres blanches ; grises claires ou rougeâtres, durant une heure et procéder à la pesée.

- **expression des résultats**

La teneur en cendres exprimée en pourcentage massique de l'échantillon rapportée à la matière telle qu'elle et donnée par la relation suivante :

$$\text{Teneur en cendre/matière fraiche} = \frac{P_2 - P_0}{P_1} \times 100$$

P_0 : poids de la capsule vide ; en grammes.

P_1 : poids de la prise d'essai ; en grammes.

P_2 : poids de la capsule après incinération ; en gramme.

La teneur en matière minérale est exprimée en pourcentage massique rapportée à la matière sèche (MM%MS) est égale à :

$$\text{MM/MS} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \times \frac{100}{H} \%$$

Où:

P_0 : poids de la capsule en grammes.

P_1 : poids de la prise d'essai en grammes.

P_2 : poids de la capsule après incinération ; en gramme.

H : teneur en eau de la poudre végétale ; en pourcentage.

2.2.4. Détermination du potentiel d'hydrogène

- **Définition :**

Le pH est le potentiel chimique des ions H^+ dans une solution. Il est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

Le pH mètre est équipé d'une sonde de température et une sonde de pH. Cet équipement doit être étalonné avant de commencer les analyses.

- **Principe**

Le principe repose sur la différence de potentiel chimique existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- **Mode opératoire**

On plonge les deux sondes de température et pH à la fois dans l'échantillon à analyser on attend jusqu'à la mobilité du pH et on lit la valeur affichée.

- **Calcul et expression des résultats**

Le pH égal à la valeur affichée sur le pH mètre.

2.2.5. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable est déterminée par la méthode de référence (NF V 05-101 de janvier 1974). La méthode utilisée est celle utilisant un indicateur coloré.

- **Principe:**

L'acidité domique mesure la quantité de l'acide présente dans un produit alimentaire par un titrage de l'acidité avec une solution de d'hydroxyde de sodium en présence de phénol phtaléine comme indicateur.

- **Les réactifs**

Hydroxyde de sodium: solution titrée 0,1 N.

Phénol phtaléine: solution 10g/l d'éthanol 95%.

- **Mode opératoire**

Prélever à la pipette 25ml du filtrat et les verser dans une fiole jaugée de 250ml puis compléter jusqu'au trait-repère avec de l'eau distillée, puis rendre bien homogène.

Prélever à la pipette 10ml d'échantillon et le verser dans un Bécher. Additionné 0,25 à 0,5ml (2 gouttes) de phénol phtaléine, tout en agitant.

Verser à l'aide de burette la solution de NaOH jusqu'à l'obtention de coloration rose persistante.

- **Calcul et expression des résultats**

L'acidité titrable est exprimée en milliéquivalents pour 100 ml ou 100 g de produit, est obtenue en tenant compte de la dilution opérée et elle est égale:

$$\text{Acidité} = \frac{(\quad \times \quad)}{\quad}$$

Où:

V1: le volume en ml de prise d'essai.

V2: le volume en ml de la solution d'hydroxyde de sodium 0,11N utilisé.

2.2.6. Détermination de degré Brix

• Principe

C'est la mesure de la densité et de la concentration en sucre des sirops correspondant à la quantité de sucre en grammes, dissoute dans 100g. Le degré Brix est déterminé par un réfractomètre, l'indice de réfraction varie dans le même sens que la concentration de la substance dissoute, la concentration massique est exprimée en degré Brix. La matière sèche soluble est constituée principalement par une gamme de composants chimiques tels que: glucides simples, sels minéraux, acides et vitamines.

- ♣ de 0 à 20 Brix : jus de fruits non concentrés, vin, sirops légers
- ♣ de 20 à 55 Brix : sauces
- ♣ de 55 à 90 Brix : sirops denses, coulis, pulpes concentrées en sucre, jus de fruits concentrés.

• Mode opératoire et lecture de résultat

- ⊕ Ouvrez le prisme de la lumière d'entrée.
- ⊕ Nettoyer la surface du prisme par flanelle de coton doux.
- ⊕ Chute de 1 à 2 gouttes de solution à mesurer.
- ⊕ Fermer le prisme de la lumière d'entrée et appuyez légèrement, la lecture est le Brix de la solution mesurée.
- ⊕ Après la mesure. Éliminez la partie adhérente à la surface du prisme et la plaque de recouvrement.

2.2.7. Détermination de degré Alcoolique

Elle s'effectue par un réfractomètre d'alcool, la méthode de mesure de ce paramètre est la même qui est utilisée pour le degré Brix.

2.2.8. Détermination quantitative des sucres totaux

La méthode utilisée pour réaliser le dosage des sucres totaux est celle préconisée par DUBOIS, 1956.

• Principe

Cette méthode permet de doser les oses et les hexanes en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré, en présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune orange dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides, la densité optique est déterminée à 490 nm.

- **Les réactifs**

- Acide sulfurique concentré à 96% (d=1.89)
- Solution de phénol à 5%
- Acétate de plomb
- Oxalate de potassium ($K_2(COO)_2 \cdot H_2O$)
- Carbonate de calcium ($CaCO_3$)
- Glucide

- **Mode opératoire**

1- Extraction des glucides hydrosolubles totaux :

La méthode de DUBOIS utilisée, consiste à porter 10 ml de l'échantillon à ébullition pendant 30 min, en présence de 300ml d'eau distillée et de 3g de carbonate de calcium puis récupérer la solution.

2- purification

Après l'extraction, il est nécessaire d'effectuer une purification qui consiste à ajouter à l'extrait une petite quantité d'acétate de plomb jusqu'à l'apparition d'un précipité, puis compléter avec l'eau distillée à un litre le contenu.

3- l'élimination du plomb

Elle s'effectue par l'addition au filtrat d'une petite quantité d'oxalate de potassium, le précipité d'acétate de plomb est éliminé par filtration.

N.B : pour vérifier si l'acétate de plomb a été éliminé, on ajoute une petite quantité d'oxalate de potassium dans un tube à essai, si un précipité apparaît ; il faut ajouter de nouveau l'oxalate de potassium au filtrat.

4- Dosage des sucres proprement dit

Prendre 5ml de la solution mère (filtrat) débarrassée de plomb, diluer dans 50ml d'eau distillée ; à partir de cette solution fille ; prélever 1 ml et l'introduire dans un tube à essai et ajouter 1ml de phénol à 5%. Agiter énergiquement ; puis verser 5ml de l'acide sulfurique concentré ; agiter à nouveau, laisser reposer et mettre le tube à essai au bain -marie à une température de 30°C pendant 15 min, refroidir. Après un repos de 30 min ; la densité optique est lue à 490 nm contre un blanc de référence.

- **La courbe d'étalonnage**

A partir d'une solution mère de glucose 0,6g/l ; prélever 5 ml et les introduire dans une fiole qu'on doit compléter à 50 ml d'eau distillée. De cette solution fille prélever 0.5 ;1 ;1.5 ;2 ml présentant respectivement des quantités de 30 ;60 ;90 ;120 µg de sucres dans les tubes à essai puis ajuster à 2ml avec de l'eau distillée, additionner 1ml de la solution de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique concentré dans les même conditions opératoires utilisées pour l'échantillon. Déterminer la concentration en sucres ; en se référant à un courbe étalon.

- **Expression des résultats**

La teneur en sucres totaux rapportée à la matière fraîche est donnée par la relation suivante :

$$\text{ST\% /MF} = \frac{(\quad) \times \quad}{\quad} \times \quad$$

X : concentration de sucres sur la courbe d'étalonnage en µg/l

FD : facteur de dilution ;

10⁶ : facteur de conversion en gramme.

2.3. La méthode de fabrication d'alcool et du vinaigre

2.3.1. La méthodologie

Notre étude a porté sur la préparation du l'alcool puis le vinaigre à base du jus des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* variété inerme. La technique d'élaboration de ces produits est basée sur une double fermentation; alcoolique puis acétique

On a subdivisé ce procédé en trois étapes principales

-La première: extraction/ clarification d'un jus à partir des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus-indica*

-la deuxième: stérilisation et fermentation alcoolique par *saccharomyces cerevisiae* en anaérobiose.

-la troisième: fermentation acétique en aérobiose de l'extrait issu de la première fermentation.

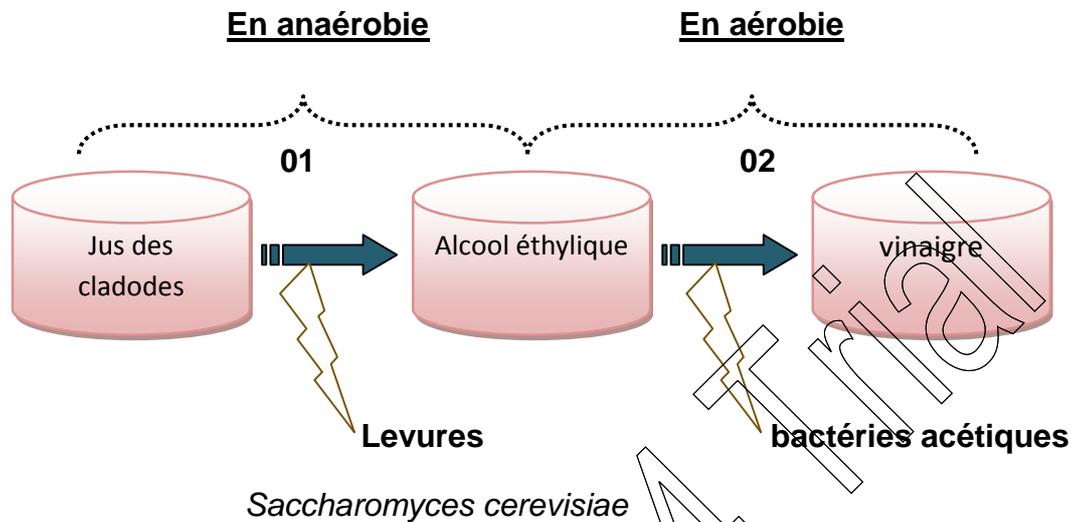


Figure N°14: Production du vinaigre par une double fermentation.

2.3.2. La fermentation alcoolique en discontinu

La fermentation alcoolique transforme les sucres fermentescibles en anaérobiose par les levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories selon la réaction suivante: **Sucre+Levures ==> Ethanol + CO₂ + Energie.**

Les souches de *Saccharomyces* tolèrent généralement de forte concentration en éthanol mais, par contre sont sensibles à l'effet glucose. Il faut noter également que ces souches ont la particularité de flocculer dans le milieu en fin de fermentation.

Selon **LARPENT (1990)**, à partir d'un seuil de 40g/l, l'éthanol devient inhibiteur à la fois pour le développement des cellules surtout et pour la production d'éthanol.

En outre, le moût de fermentation doit contenir une concentration en sucres comprise entre 1 et 300 g/l (**LARPENT, 1991; KAIDI et TOUZI, 2001**).

a) Préparation du jus de fermentation

Le diagramme de la figure N°16 indique les étapes suivies.

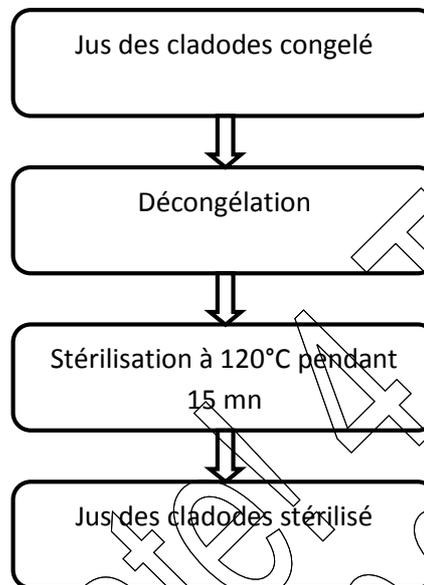


Figure N°15: Les étapes de préparation de jus de fermentation

Les différentes étapes de la fermentation alcoolique sont illustrées dans la figure ci dessous.

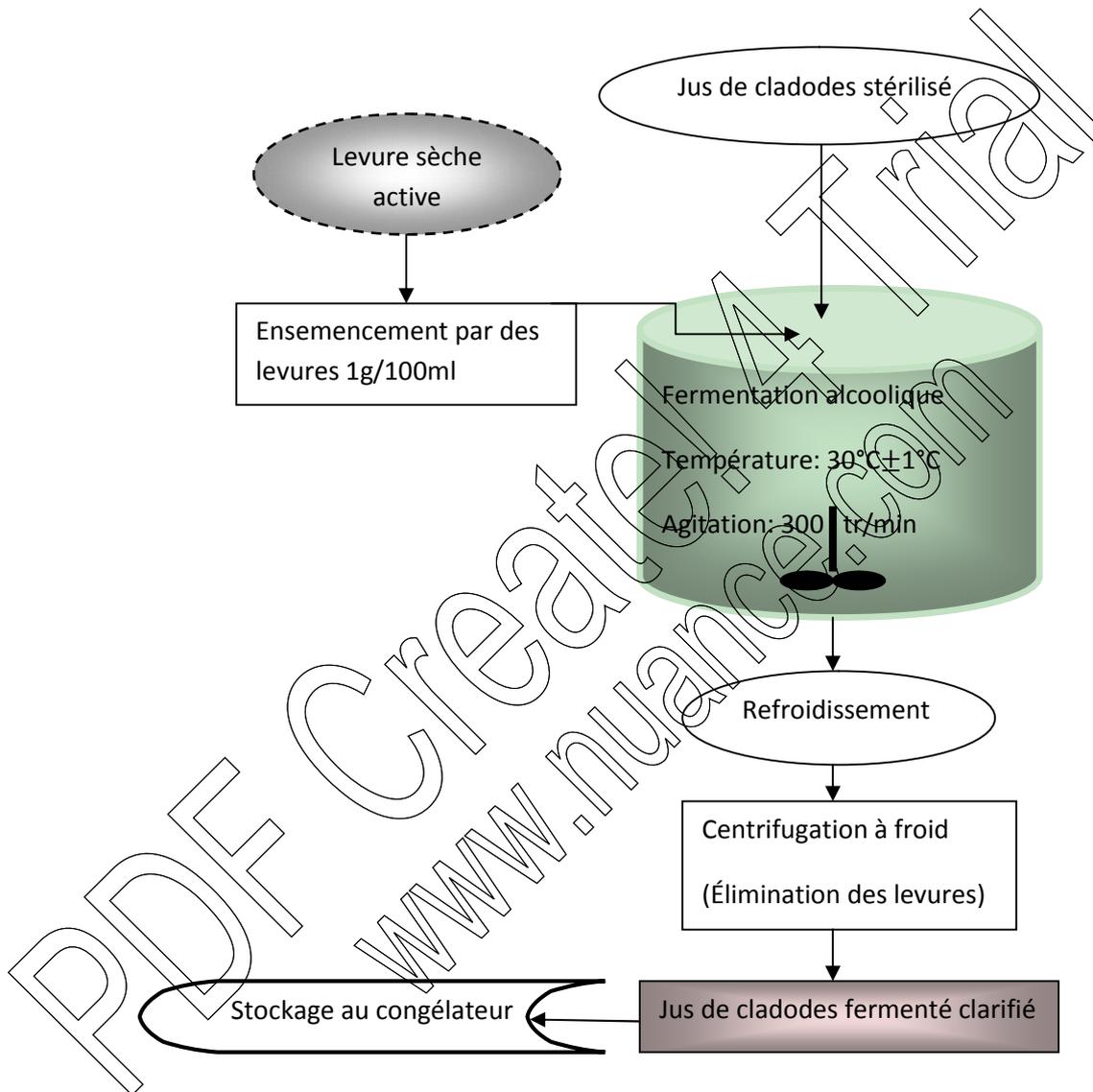


Figure N°16: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique.

La fermentation est conduite dans des fioles de 1l. C'est la quantité de levure qui détermine généralement la durée de la fermentation alcoolique, dans notre cas la quantité d'ensemencement est de 1g/100ml de levure sèche.

L'agitation est réalisée avec un barreau magnétique de 2,5 cm.



Figure N° 17: Dispositif de la fermentation alcoolique

Les paramètres analysés pendant ce processus sont:

***le pH.**

***Le degré Brix.**

***Le degré Alcoolique.**

***Les sucres totaux**

A la fin de la fermentation, nous serons en présence d'un jus de cladodes fermenté qu'il faut filtrer et il servira de substrat pour la deuxième phase de fermentation (acétification) afin d'aboutir en fin à un vinaigre des jeunes cladodes d'*Opuntia*.

Ce procédé est mené jusqu'à l'épuisement des sucres, il se caractérise par un arrêt du dégagement du CO_2 , permettant ainsi un taux maximal d'alcool.

Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques. Après prélèvement les échantillons sont congelés. Les paramètres à analysés à des intervalles de temps sont illustrés dans l'organisme suivant (Figure N°) :

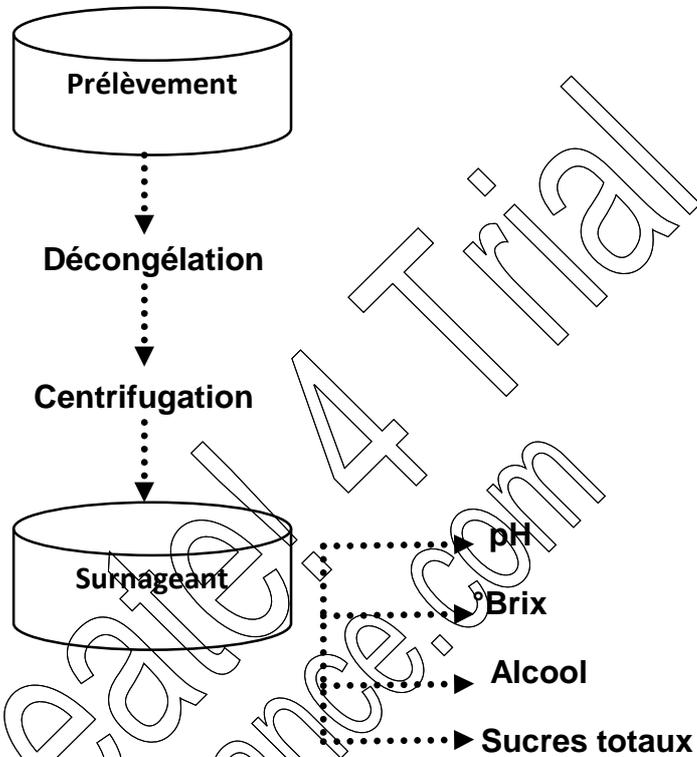


Figure N°18: procédures de suivi de quelques paramètres physico-chimiques du milieu réactionnel.

2.4. Les différents essais effectués pour la fermentation alcoolique

Dans le tableau suivant on résume les différents essais de la fermentation alcoolique, on mesurant le °Brix avant et après la fermentation pour arriver au °Alcoolique final.

Tableau N°8: Les différents essais effectués pour la fermentation alcoolique

N° de l'expérience	Mesures avant la préparation	Préparation de moût de fermentation	Mesures après la fermentation
01	✓ °Brix	<ul style="list-style-type: none"> • 100ml du jus des cladodes stérilisés. • Fermentation en anaérobie à 30°C pendant 3 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ °Brix ✓ °Alcoolique
02	✓ °Brix	<ul style="list-style-type: none"> • 100ml du jus des cladodes stérilisés. • 10g de glucose. • 1g de levure (Sc) • Agitation (300tr/min). • Fermentation en anaérobie à 30°C pendant 3 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ °Brix ✓ °Alcoolique
03	✓ °Brix	<ul style="list-style-type: none"> • 100ml du jus des cladodes stérilisés • 10g de saccharose. • 1g de levure (Sc). • Agitation (300tr/min). • Fermentation en anaérobie à 30°C pendant 3 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ °Brix ✓ °Alcoolique
04	✓ °Brix	<ul style="list-style-type: none"> • jus frais des cladodes. • Evaporation dans un bain-marie à 70°C. • 100ml du jus évaporé • 1g de levure (Sc). • Agitation (300tr/min). • Fermentation en anaérobie à 30°C pendant 3 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ °Brix ✓ °Alcoolique



Figure N°19: Jus des cladodes concentré (source originale).

2.5. La fermentation alcoolique par différentes concentrations en glucose.

Pour confirmer l'activité de la levure boulangère *saccharomyces cerevisiae* qui produit d'alcool à partir de la dégradation du glucose, on utilise des différentes concentrations en sucre (glucose): 0, 5, 10, 15g/100ml et on mesure le degré alcoolique. et en parallèle on prépare le même essai on remplaçant le jus par l'eau distillé comme expérience témoin.

Les paramètres analysés pendant ce processus sont:

***Le degré Brix**

***Le degré Alcoolique**

Chapitre 2:
Résultats et interprétation

1. Les résultats et interprétations des analyses physico-chimiques

Pour ce qui est de la composition chimique des jeunes cladodes de l'*Opuntia ficus indica*, de nombreux résultats ont été publiés mais difficilement comparables, en raison du manque de précisions sur l'âge du matériel et de la variété analysée.

Tableau N°9: Composition chimique moyenne du jus des jeunes cladodes de l'*Opuntia ficus-indica*.

Les constituants	La teneur
Eaux/MF%	96.54±0.41
Matière sèche/MF%	3.46±0.41
MM/MS%	56.89±1.88
MM/MF%	1.93±0.23
Potentiel d'hydrogène	4.69±0.01
L'acidité titrable%	0.25±0.02
Le degré Brix	4.03±0.05
Les sucres totaux ug/ml	120.87±0.53

1.1. Eau et matière sèche

La teneur en eau d'une substance alimentaire est considérée comme un facteur limitant de sa conservation. Elle représente la quasi-totalité des composants chimiques de l'aliment qui se trouvent sous forme dissoute dans cette eau.

Cette teneur en eau est semblable à celle des autres jus des légumes telle que la laitue et les épinards, les céleris dont la teneur varie entre 92% et 95% (Trilly et Bourgeois, 1999). mais reste plus élevé par rapport aux jus d'agrumes telle que le jus d'orange qui est de l'ordre de 88.3% selon KHELOUIA 2002.

Tenant en compte que la teneur en eau au niveau des cladodes d'*Opuntia* est supérieure à celle des fruits selon les résultats obtenus par MAATAOUI et al (2002) pour deux types de fruits de figue de barbarie, qui ont trouvé des valeurs de 85.5% et 84.5%.

Donc, l'eau est le constituant majeur de jus extrait à partir des jeunes cladodes de l'*Opuntia* qui permet de maintenir en vie des animaux sans apport d'eau pendant très longtemps.

La matière sèche, représente l'ensemble de substances nutritives qui peuvent apprécier la valeur nutritionnelle des jus.

Nos résultats montrent que la teneur en matière sèche est très faible et reste toujours plus faible par rapport à celle des autres jus comme les jus d'agrumes.

1.2. Teneur en cendres

Dans les tissus végétaux les éléments minéraux se trouvent dissous dans les cellules, soit à l'état libre, soit à l'état de sels d'acide minéraux ou organiques. Les sels minéraux sont nécessaires à la composition des tissus; ils participent également à certains processus comme celui du fonctionnement des enzymes, la contraction musculaire, les réactions nerveuses, la coagulation du sang, besoin et utilité nutritionnelle.

Comme pour les autres végétaux, la teneur en matière minérale augmente pendant la croissance et la consolidation des raquettes.

Concernant les cladodes entières la teneur en cendres brutes (minéraux) peut atteindre 20% de la matière sèche de l'*Opuntia*. Elle est riche en matière minérale qui est de l'ordre du tiers par rapport à la matière sèche (NEFZAOUI et CHERMITTI, 1991).

Les résultats obtenus montrent que l'extrait des jeunes cladodes est riche en minéraux avec une teneur de 56.89% de la MS. Elle est plus importante par rapport les cladodes entières.

1.3. L'acidité titrable

L'acidité titrable obtenue pour le jus extrait à partir des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* est de 0,25 (g pour 100ml de jus).

Ces résultats reflètent en réalité la richesse de ce jus en acide organiques notamment l'acide malique qui représente l'élément majeur; par contre dans le jus d'orange c'est surtout l'acide citrique qui est le plus représenté et a un degré moindre que l'acide malique ce qui correspond a une acidité titrable moyenne comprise entre 5 et 16g/l (AFNOR, 1986; le codex alimentaire, 1990)

L'acidité titrable observée dans le jus de fruits de l'*Opuntia* varie entre 0,11 et 0,20% (SAWAYA et al, 1983) ce qui est une faible acidité. Elle est due essentiellement à trois acides organiques: l'acide malique, l'acide citrique et l'acide ascorbique (KAANANE et FADILI, 2000).

Teles et al en 1994, ont rapporté que l'acide malique et l'acide citrique contenus dans les jeunes cladodes est de 36 mg/100ml et 178 mg/100ml du poids

frais respectivement. En revanche, l'acide malique des cladodes âgés d'*Opuntia ficus-indica* se réduits en acide citrique.

1.4. Taux du solide soluble (TSS ou °Brix)

Le Brix est indice qui indique la qualité du produit, représentant en général la matière sèche soluble, il est proportionnel à la teneur en sucres et aux différents sels.

Les résultats montrent que la valeur de Brix de jus des jeunes raquettes est de 4,03%.

Selon BETTIRA et BENACHOUR 2006 le Brix de la pulpe de fruit (figuier de barbarie) varie de 11,24% à 16,24%. On le comparant avec nos résultats on déduit qu'il est assez faible.

1.5. PH

L'analyse des résultats du pH indique que le pH du jus extrait à partir des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* est de 4.69.

Ainsi le jus des jeunes cladodes peuvent être classés dans la catégorie des denrées alimentaires acide en raison de leur pH bas et de leur acidité élevée.

L'extrait des jeunes cladodes est cependant caractérisé par un pH plus élevé que d'autres jus tel que le jus d'orange qui varie entre 3.3 et 3.36 (KHELOUIA, 2002).

Selon le jus de fruit d'*Opuntia ficus indica*, BETTIRA et BENACHOUR (2006) ont obtenu un pH moyen de 5,49 et KANANE et FADALI (2000) ont obtenus des valeurs moyennes de 6.31 et 6.76 pour des cultivars marocains. Alors SAENZ et al (1998), ont observé un pH beaucoup plus bas de l'ordre de 4.31 pour des cultivars du chili.

Le jus de fruit de l'*Opuntia* caractérisé par un pH élevé a celui des autres jus tels que l'orange, le citron et l'ananas (JEROME et al, 1994 ; MONTANA CAMARA et al, 1994) ; mais reste proche de celle de l'extrait des cladodes.

1.6. Teneur en sucres totaux

Ce sont les constituants pondéralement les plus importants après l'eau ; leur nature et leur teneur varient suivant l'espèce et l'état de maturité des cladodes de l'Opuntia.

La teneur de l'extrait des jeunes cladodes de l'Opuntia en sucres totaux est de l'ordre de 120.87ug/ml. Cette teneur en sucres soluble est très faible par rapport à celle des autres jus à base d'agrumes (jus d'orange) qui représente une teneur variante entre 9.74 et 10.6 g/ 100ml et aussi par rapport aux autres jus des autres fruits (citron, raisin...).

Cette teneur en sucres solubles est due principalement à une partie du mucilage soluble et sucres libres qui se trouvent dans l'extrait des cladodes. Ce qui classe l'extrait comme un élément faiblement énergétique.

La concentration initiale en sucre est très importante car elle conditionne le taux d'alcool à la fin de la fermentation.

2. Etude de la cinétique de fermentation

Ce sont essentiellement deux paramètres qui contrôlent en anaérobiose la croissance et le métabolisme des levures: la concentration en glucose est celle d'éthanol (LARPENT, 1991).

Au cours de la fermentation alcoolique, les levures *S. cerevisiae* transforme le glucose en éthanol suivant la réaction suivante:



Lors de la fermentation alcoolique, on peut observer:

- ◆ Dégagement de gaz carbonique.
- ◆ Augmentation de la température.
- ◆ Augmentation de la couleur.
- ◆ Changement d'odeur et de saveur.
- ◆ Diminution de la densité.
- ◆ Augmentation des volumes.

Les résultats de la fermentation alcoolique sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°10: Résultats de la fermentation alcoolique

Temps (h)	pH	°Brix	Sucres totaux (ug/ml)	Taux d'alcool (%vol)
00h	4.69±0.01	4.03±0.05	120.87±0.53	00
24h	3.815±0.14	3.15±0.21	52.12±15.73	0.95±0.07
48h	3.845±0.13	2.9±0.14	32.37±4.06	1.15±0.07
72h	4.21±0.08	2.6±0.14	17.87±3.005	1.35±0.21

2.1. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique

L'alcool qui est le principal produit de la fermentation participe également à la variation du pH. Il agit sur les constantes de dissociation des acides organiques, sur la masse volumique et la constante diélectrique du solvant et donc indirectement sur le pH (AKIN, 2008).

La courbe de la figure N°20 montre l'évolution du pH durant la fermentation alcoolique.

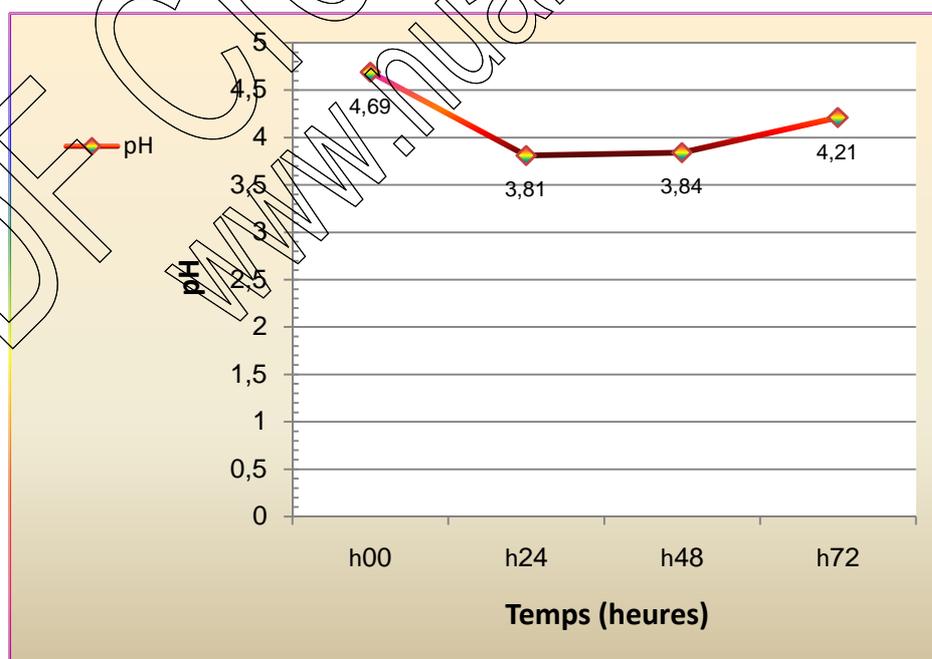


Figure N°20 : Evolution du pH au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par *S.cerevisiae*.

Au cours de la fermentation, le pH tend de plus en plus vers une acidité pendant les premières 24 heures qui est de 3,81. Cette diminution est suivie d'une légère augmentation. Ceci est tout à fait logique car l'activité métabolique des levures fait abaisser le pH et rend le milieu plus acide (la libération des acides organique due à la dégradation des sucres), aussi cette diminution est due à la diffusion des acides contenus dans le jus. Concernant la dernière valeur du pH qui paraît assez élevée, elle en effet due à la volatilisation des acides suite à l'aération provoquée volontairement dans le but d'aérer le mout (malheureusement contrarié).

Selon LARPENT (1991), La biosynthèse de l'éthanol est une réaction qui peut être totalement anaérobie, mais nécessite l'adjonction des traces d'air pour favoriser la constitution des stérols de la membrane cellulaire des levures.

Nous avons montré que la baisse du pH était directement liée à l'assimilation de la source azotée par les levures. C'est donc le métabolisme de la levure qui est directement responsable de cette chute. La remontée par contre est due à un phénomène physico-chimique (AKIN, 2008).

2.2. Evolution du °Brix

La variation du °Brix au cours de cette fermentation est donnée dans la figure N°21.

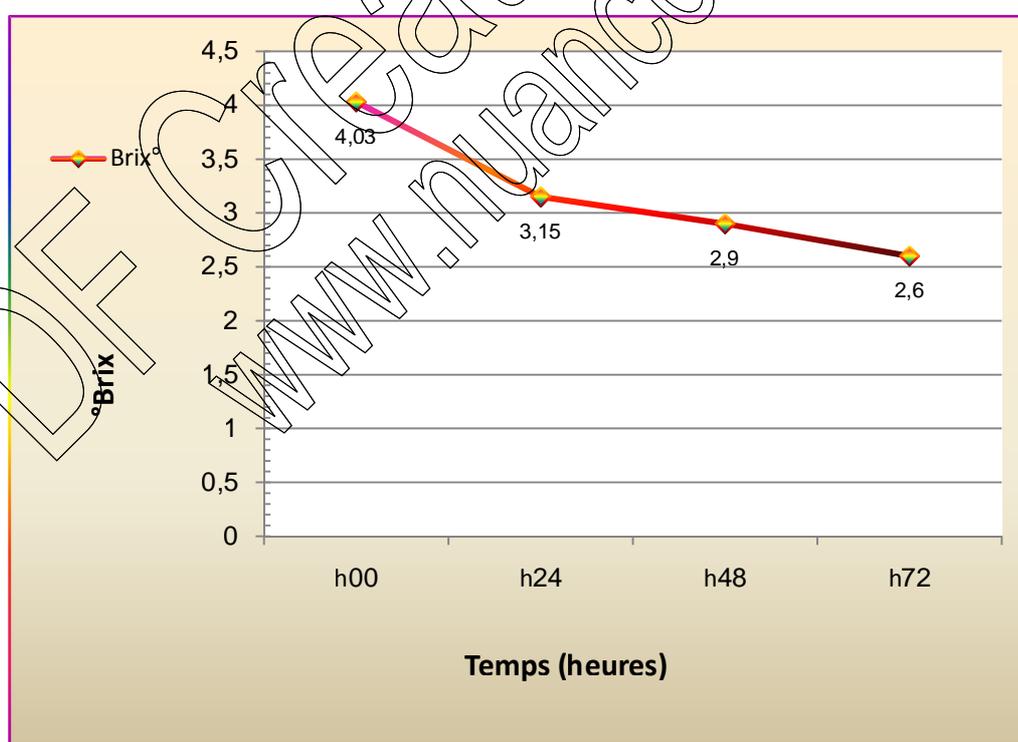


Figure N°21 : Evolution du °Brix au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par *S.cerevisiae*.

Au cours de la fermentation, le °Brix tend de plus en plus vers une diminution pendant les 48 heures qui est de 2.9. Cette diminution est suivie d'une légère stabilisation.

Dans le cas des sucres, l'indice de réfraction dépend peu de leur nature (Audigié et al, 1985). Le Brix n'explique pas le taux des sucres totaux pendant le processus fermentaire, la stabilisation du Brix à partir de la 48^{ème} heure indique la fin de fermentation (BOUKHIAR, 2009).

2.3. Evolution des sucres totaux

La variation du taux des sucres totaux au cours de cette fermentation est donnée dans la figure N°22.

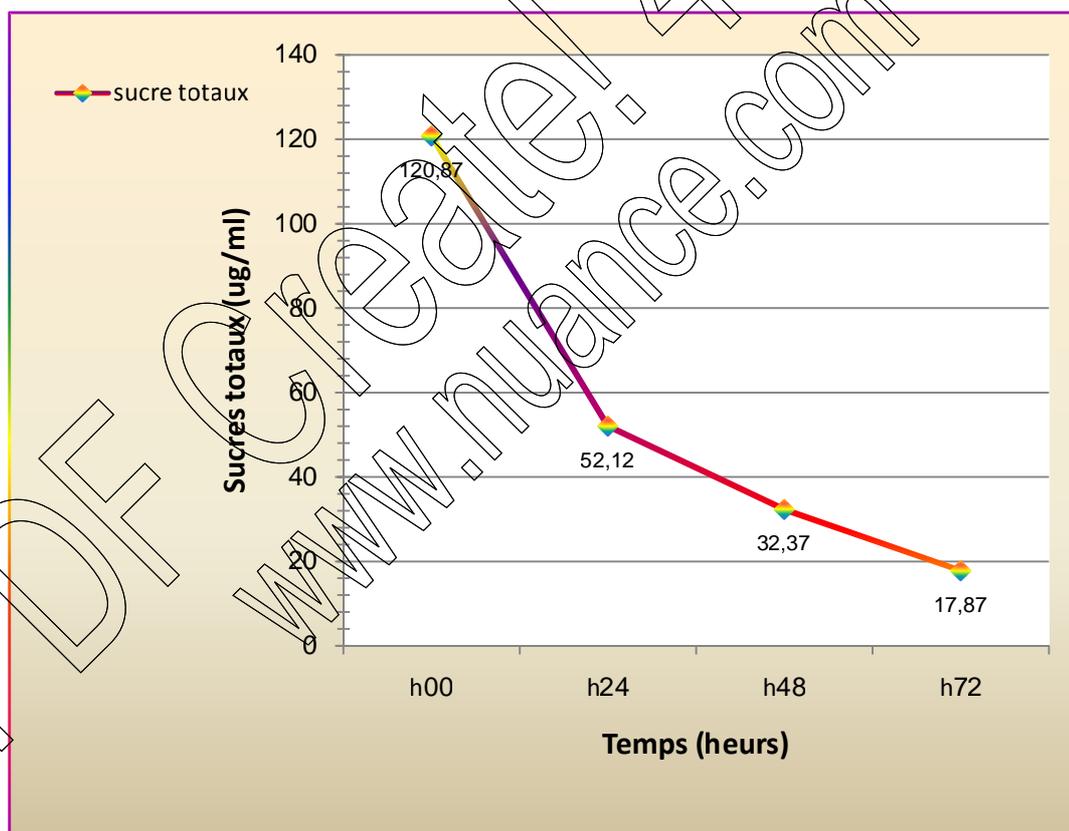


Figure N°22 : Evolution des sucres totaux au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes, par *S.cerevisiae*.

Après 72 heures de fermentation du jus, une importante dégradation des sucres est révélée, cette transformation était surtout active durant les premières 48 heures.

Selon MEHAIA et CHERYAN (1991), c'est le glucose qui s'épuise avant le fructose, ce qui veut dire que la levure a plus d'affinité au glucose que le fructose.

La production d'alcool à partir des sucres entraîne une modification des dissociations des constituants du moût et principalement des acides organiques présents initialement dans le moût (AKIN, 2008).

Les sucres n'ont pas été consommés totalement par la levure, cela peut être dû à l'arrêt de la croissance du *Saccharomyces cerevisiae* par accumulation des substances toxiques (MEYER, 1988) et (SASSON, 1986),

2.4. Evolution du taux d'alcool

L'éthanol communément appelé alcool, est le composé majoritaire produit par les levures *Saccharomyces cerevisiae* à partir des sucres en C₆ au cours de la fermentation alcoolique (AKIN, 2008).

L'évolution du taux d'alcool au cours de la fermentation alcoolique est représentée dans la figure N°23.

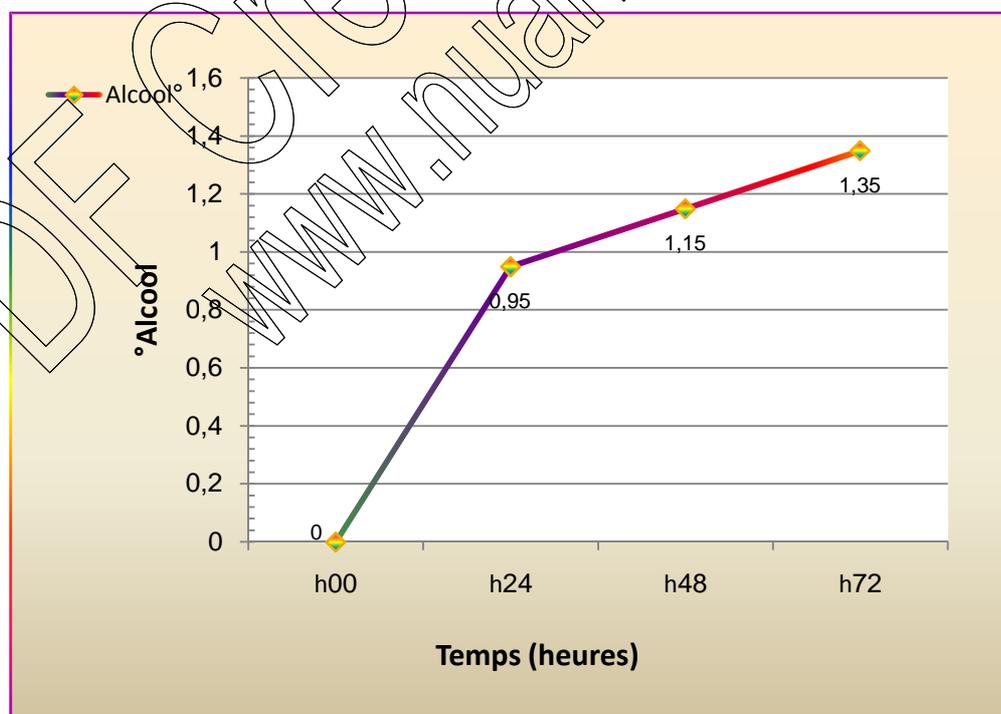


Figure N°23: Evolution du taux d'alcool au cours de la fermentation alcoolique de jus des cladodes par *S.cerevisiae*.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en sucres diminue au fur et à mesure que la production d'éthanol augmente pour atteindre 17,87ug/ml au bout de 72 heures de fermentation.

Par ailleurs, la production d'alcool évolue progressivement au cours de la fermentation, pour atteindre, 0.95 ° en 24 heures puis 1.15 ° en 48 heures pour se stabiliser à 1.35° au-delà de 72 heures. La teneur en alcool obtenue dans cette étude est faible due à la pauvreté de jus en sucres et en protéines.

Les quantités d'alcool brut obtenues par rapport aux teneurs en sucres respectives des différents mouts, sont peu satisfaisantes. Dans le mout des dattes, EL OKAIDI (1987) a obtenu des degrés alcooliques allant de 13 à 15°, sur des milieux concentrés en sucres (22%). Toutefois DOUGLAS et SACHINE in MAATALAH (1970), avec des milieux très concentrés en sucres de 22 à 25%, n'ont obtenu que des mouts titrant 11 à 13° d'alcool.

Le taux d'éthanol final dépend de la souche et, bien entendu, de la concentration en substrat initial (BRANGER, 2008).

La teneur en alcool assure la stabilité du produit dans les conditions de stockage appropriées (BELITZ et al., 2009).

Selon FRIEDRICH et ENTIAN (1997), ce n'est pas tout le sucre qui est transformé en éthanol, il existe aussi le CO₂, glycérol, acide succinique et autres composants. Pour cette raison, on ne peut jamais obtenir un rendement parfait de 100%.

3. Les résultats des différents essais de la fermentation alcoolique

Les fermentations alcooliques se font sur des milieux riches en sucres. *Saccharomyces cerevisiae* peut fermenter : le glucose, le maltose, le maltotriose, le tréhalose, le galactose, le mannose, le fructose, le saccharose, le raffinose... Elle ne fermente pas le lactose, le melibiose, le cellobiose, le rhamnose, ni les sucres à 5 atomes de carbones comme le xylose ou l'arabinose (COT, 2006).

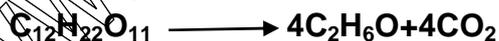
Tableau N°11: Résultats des différents essais de la fermentation alcoolique

Jus utilisé	Le °Brix initial	Le °Alcoolique	Le °Brix final
Le jus sans levure	4,03	1.25±0.07	3.75±0.21
Le jus avec glucose	12	2.2±0.14	4.55±0.35
Le jus avec saccharose	12	3.05±0.07	6.95±0.21
Le jus concentré par évaporation	12	3.4±0.28	6.05±0.21

D'après ces résultats, on peut tirer les conclusions suivantes:

- ✓ Il ya une fermentation sans l'ajout de la levure qui indique la présence des levures sauvages dans la composition naturelle de l'extrait des cladodes.
- ✓ La levure utilisée est saccharase+ (c'est-à-dire qu'elle peut utiliser le saccharose comme source de carbone).

La transformation du saccharose en éthanol s'écrit:



L'évaporation de jus permet l'élimination de l'eau qui aboutit à l'augmentation des éléments nutritifs présentent naturellement dans le jus et en particulier les sucres qui favorisent à leur tour l'augmentation de la production d'alcool.

Le taux d'alcool produits est faible par rapport a la concentration initiale en °Brix et sa explique par la complexité des sucres et la pauvreté en sucres simples.

Les substrats glucidiques autres que le glucose, fructose et saccharose ne peuvent être directement fermenté par *saccharomyces cerevisiae* et doivent au préalable, subir une hydrolyse enzymatique ou acide pour libérer les hexoses assimilables par la levure (LARPENT-GOURGAUD et SANGLIER, 1992).

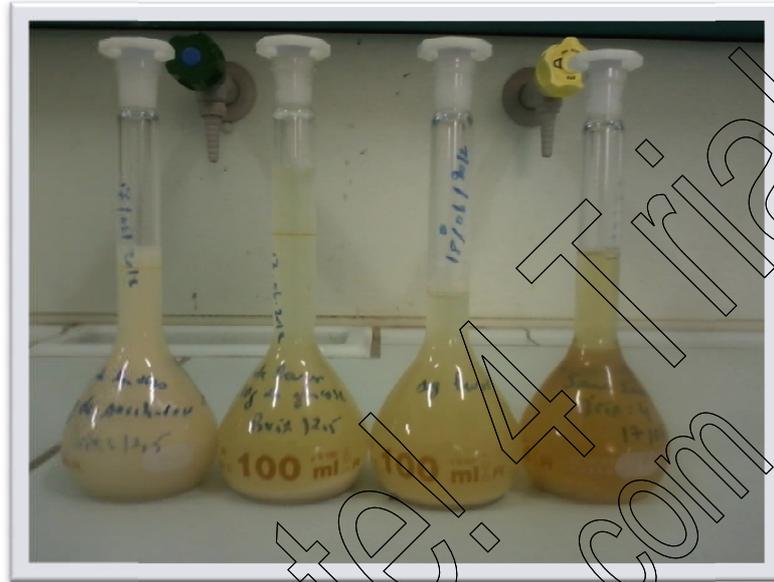


Figure N°24: Résultat des différents essais de la fermentation alcoolique

Tableau N°12: Résultats de la fermentation alcoolique par différent concentration en glucose.

Concentration en glucose(%)	5%	10%	15%
°Brix d'eau	1.2	1.8	0.7
°Alcool d'eau	0.5	0.7	2.3
°Brix du jus	3.8	5	5.5
°Alcool du jus	1.1	2.1	2.4

✓ Les résultats de différente concentration en glucose

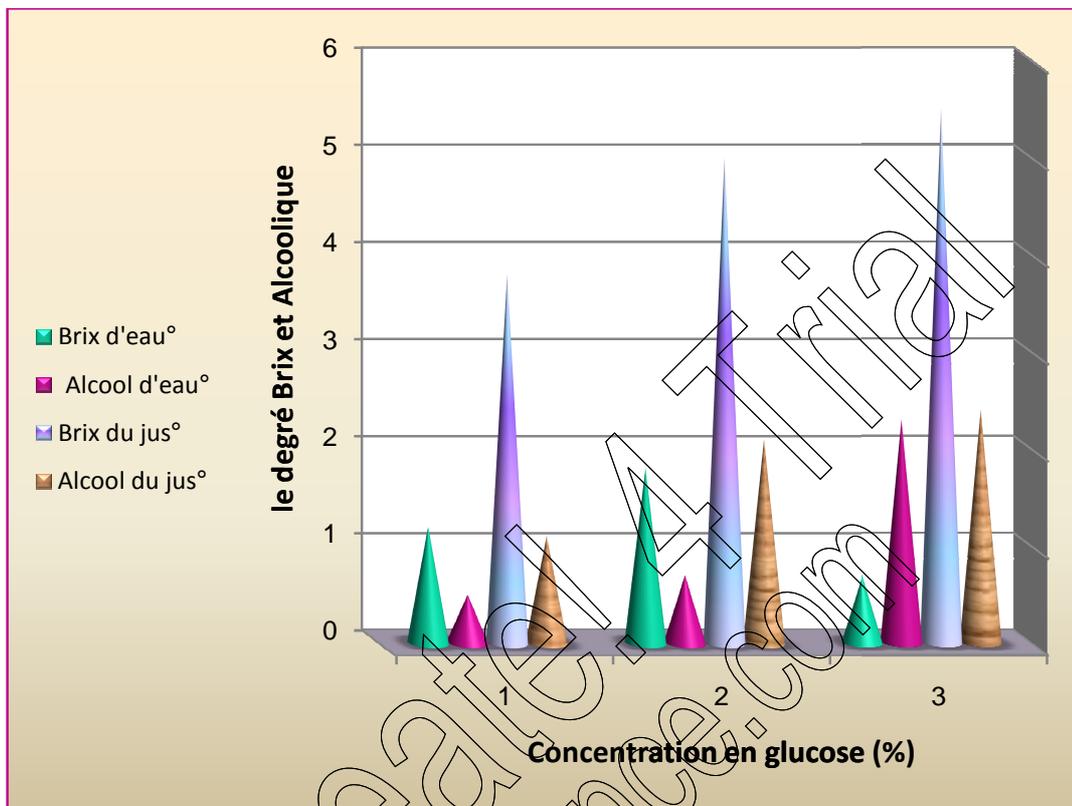


Figure N°25: Les résultats de différentes concentrations en glucose pendant la fermentation alcoolique de l'eau distillée et le jus des cladodes, par *S. cerevisiae*.

La levure *saccharomyces cerevisiae* a besoin à des exigences culturales et nutritionnels essentiellement les sucres, c'est l'élément essentiel pour la production d'alcool.

Selon COT (2006), placer la levure dans les bonnes conditions, avec le bon apport nutritionnel, *Saccharomyces cerevisiae* peut produire jusqu'à 20 °GL (soit 20% v/v). Comme tout procédé biotechnologique, il faut veiller à éviter les inhibitions par le substrat et la formation de co-produits de fermentation.

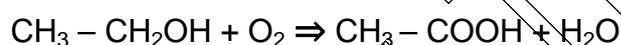
A partir de ces résultats on dit que la production d'alcool nécessite les sucres simple plus des différents éléments nutritionnels.

1. Discussion sur le vinaigre

La production de vinaigre exploite la teneur naturelle des fruits en sucre (glucose, fructose) à travers un processus de fermentation en deux phases (WERLICH, 2001).

Le déroulement de l'acétification sera favorisé par un degré alcoolique pas trop élevé, voisin de 8° ; un milieu acide dont le pH se situe entre 3,5 et 5 ; une oxygénation importante et une température proche de la température ambiante. A 25°C, l'acétification se fait près de 10 fois plus vite qu'à 10°C.

La transformation de l'éthanol en acide acétique s'écrit:



Notre objectif étant de produire un vinaigre de 5 à 6 degrés acétimétrique. C'est la concentration en sucres initiale qui conditionne le taux d'alcool à la fin de la fermentation alcoolique. Et c'est ce dernier qui déterminera la concentration en acide acétique à la fin de la fermentation acétique.

Dans le cas des dattes, ils ont opté pour un jus des dattes à 12.5 °Brix, ce qui permettra en théorie la production d'un jus fermenté à 7.0 °GL (AKIN, 2008): c'est la fameuse règle "1ml d'alcool permet l'obtention de 1g d'acide acétique" appliquée en vinaigrerie (BOURGEOIS et LARPENT, 1996) qui nous a orientés à un tel choix.

La faible teneur en alcool avec 1.35° Alcoolique n'a permis pas d'obtenir un vinaigre avec 5° Acétimétrique.

Selon AKIN (2008), le rendement de conversion du sucre en alcool dans la fermentation alcoolique est de 1.7 (c'est-à-dire 1,7g de sucre permet d'avoir 1ml d'alcool), donc environ 6 à 7 ml d'alcool à la fin de la fermentation alcoolique; ce qui permettra par l'acétification d'avoir un vinaigre d'environ 5 à 6 degré acétimétrique.

Les produits naturels comme les graines oléagineuses et les légumes sont impropres à la production d'éthanol en raison de leur teneur élevée en corps gras, en protéines et en cellulose ainsi que leur faible teneur en amidon et en monosaccharides (WERLICH, 2001).

Selon BOURGEOIS et LARPENT (1996), à nos jours, le mode de conduite de la fermentation acétique reste encore trop empirique.

Conclusion générale

PDF Create! 4 Trial
www.nuance.com

Conclusion

Notre travail qui s'inscrit dans le cadre de l'étude des possibilités de produire l'éthanol et l'acide acétique à partir de l'extrait des jeunes raquettes d'*Opuntia ficus indica* a permis de compléter les données relatives sur sa valeur nutritionnelle.

L'extrait des raquettes d'*Opuntia ficus indica* est caractérisé par une teneur très importante en eau estimée à 96.54% dans laquelle se trouvent sous forme dissoute les autres éléments. Leur pH est de 4.69 qui est une valeur favorable au développement de la levure pendant la fermentation, comme il est caractérisé par une faible teneur en sucres totaux qui constituent notamment par les sucres hydrosolubles, représentent 120.87ug/ml. Une teneur qui peut expliquer un faible apport énergétique par rapport aux autres jus et justifie son rôle diététique.

A la fin de la fermentation alcoolique on obtient une faible teneur en alcool et ça due à la pauvreté de l'extrait en sucres réducteurs, et aussi à d'autres paramètres comme l'absence de moyen performants et adéquat comme les fermentateurs en continu et la technique d'élaboration du jus, la technique de l'ensemencement et la qualité de la levure utilisée.

D'après les résultats obtenus à travers les différents essais qu'on a fait, on constate que la concentration élevée en sucre qui se présente soit par l'ajout de cet élément dans l'extrait ou par la concentration de ce dernier par évaporation, a conduit à une augmentation légère de taux d'alcool et c'est lié aussi aux conditions culturelles.

Pour conclure on peut dire que la faible teneur produite en alcool n'a permis pas de passer à la deuxième étape de la fermentation (acétification de l'éthanol) pour obtenir un vinaigre avec 5° acétimétrique. Qui demande un degré initial en alcool compris entre 7° et 8°.

Comme perspectives, il est intéressant d'étudier :

- La possibilité de mélanger l'extrait avec d'autres jus sucrés pour l'enrichir en sucres ce qui améliore le processus de la fermentation.
- L'utilisation d'autres souches des levures pour assurer la dégradation du maximum des sucres.

Référence bibliographique

PDF Creator! 4 Trial
www.nuance.com

Références bibliographiques

- * **AKIN H., 2008.** Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de mout de raisin : modélisation et interprétation métabolique, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 121 p.
- * **ALDO P., 1982.** Fleurs et plantes médicinales. Edition Nature. 2^{ème} Edition Paris, 132p.
- * **ARABA.A., EI AICH.A et SARTI.B., 2000.** «Valorisation du figuier de Barbarie en élevage», Bulletin Mensuelle d'Information et de Liaison du PNNT N° 68, pp 1 - 4.
- * **AUDIGIE CL., FIGARELLA., ZONZAIN F., 1984.** "Manipulations d'analyse biochimique" 1^{er} Edition. 4^{ème} tirage Doin Paris.
- * **BARBERA.GD.,1995.** History, economic and agro-ecological importance of Cactus. In (Agro-ecology, cultivations and uses of cactus pear).Edition FAO plant production and protection, 132p.
- * **BEDOUI.I., et TOUBAL SÉGHIR.N., 2005.** Etude expérimentale de la fermentation de la production de la pénicilline GK. Modélisation et simulation. Thèse de projet de fin d'étude. Département de biologie. Université de Blida.
- * **BELITZ H.D., GROSCH.W., SCHIEBERLE.P., 2009.** «Fruit and fruit products», Journal of food chemistry (chapter 18), pp 807 – 861
- * **BETTERA et BENACHOUR., 2006.** Contribution à la caractérisation des fruits et du jus d'*Opuntia ficus indica* à différents stade de maturité. Thèse de projet de fin d'étude. Département d'Agronomie. Université de Blida.
- * **BOUIX.M., LEVEAU.J.Y, 1993.** «Microbiologie industrielle : les micro-organismes d'intérêt industriel», édition : TECHNIQUE ET DOCUMENTATION, Lavoisier, Apria, Paris, 23 p.
- * **BOUKHIAR., 2009.** «Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud Algérien : essai d'optimisation», Mémoire de Magister : spécialité génie alimentaire, Université de Boumerdes.
- * **Bourgeois C. M., Leveau J. Y., 1991.** Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Vol.III: le contrôle microbiologique. (Ed) Lavoisier. Paris, 451p.

- * **Bourgeois, C.M., Larpent, J.-P., 1996.** Microbiologie Alimentaire : aliments fermentés et fermentation alimentaire (Tome 2). Edition Techniques et documentations, 623p.
- * **BRANGER A., 2008.** «Fabrication des produits alimentaires par fermentation : les ferments», Technique de l'Ingénieur F 3500, pp 1 – 16.
- * **BUSTOSO.E.,1981.**Alcoholic beverage from Chilean *Opuntia ficus indica*. *Am JEnol Vitic* 32, PP: 228-229.
- * **CHAPIN.S., 2011.** Vinaigre, un concentré d'astuces pour votre maison, votre santé, votre beauté. Groupe eyrolles.
- * **CORREAL.E., 1998.** Arbustes fourragers, leurs rôles pour le développement et la conservation environnementale des zones arides et semi-arides méditerranéennes. Rapport 28 septembre-9 octobre IGA, méditerranéennes des Sarages.
- * **COT. M., 2006.** Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol. Thèse de doctorat à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- * **COULIBALY A.L., 2007.** «Le marché de l'éthanol : menaces ou opportunités pour les producteurs de porcs », Expo-Congrès du porc du Québec.
- * **EL OKAIDI H.K.H., 1987.** « Dates and confectionery product», FAO, Rome, pp 5 – 25.
- * **FERRAN., 1994.** Contribution à l'étude de la valeur nutritive de deux espèces d'Atriplex (*halimus* et *canscens*), mémoire d'Ingénieur en agronomie. Université Saad Dahleb- Blida.
- * **FLEURENTIN. J :** «Plantes médicinales». Edition : Tec et Doc, 1990
- * **FLORIAN.S.C, et REINHOLD.C., 2005.** Cactus Stem (*Opuntia Ssp*) : A review on their chemistry technology and uses mol.nutr.food res. pp 175-194.
- * **FRIEDRICH K.Z., ENTIAN K.D., 1997.** «Yeast sugar metabolism: Biochemistry, genetics, biotechnology, and applications», Edition: CRC press, 12 p.
- * **GUIRAD J.P, 2003.** "Microbiologie alimentaire". Edition RIA. Dunod.
- * **GUIRAUD J.P., 1998 ;** « Microbiologie alimentaire », Edition: DUNOD, Paris, 615 p.

- * **GUY B., 1992.** Propriété et utilisation des microorganismes; partie 2, fermentation des microorganismes, technique d'ingénieurs: p6.
- * **H.C.D.S., 1994.** Haut Commissariat Au Développement De La Steppe, L'opuntia ; technique de mise en place et d'exploitation. INA.
- * **HABIBI.Y., 2004.** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie, les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique. Marrakech.
- * **HADJ SADOK.T., 2010.** Composition chimique des jeunes cladodes D'*opuntia Ficus Indica* et possibilité de valorisation alimentaire. INA. Thèse de doctorat.
- * **HCDS., 1998.** Document de l'HCDS de Tébessa. **REDJEL.N (1998).** La promotion de la culture de l'Opuntia. Document du haut commissariat au développement de la steppe. Commissariat régional de Tébessa (1998).
- * **Internet 1:** <http://f:/nouvelle page1.htm>.
- * **JARRIGE.R., GRENT.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.
- * **KAANANE.A, FADIL.M., 2000.** Étude des caractéristiques physico-chimique des figues de barbarie de la variété Moussa et clone rahamna. Deuxième journée nationale sur la culture des cactus el Kelaa des Sraghna-Maroc.
- * **KACIMI M.M., 2008.** «Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes du développement durable», Grade de maitre en environnement : Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 104 p.
- * **KAIDI F., TOUZI A., 2001.** «Production de Bioalcool à partir des déchets de dattes», Revue des Energies Renouvelables : Production et Valorisation-Biomasse, pp. 75 – 78.
- * **KARTEZ.R., 1996.** Nature. Le livre de paris Hachette imprimé en Italie par G;GANA.
- * **KENNY.L., 1997.** Le figuier de barbarie : Espèce fruitière d'intérêt secondaire cultivé au Maroc ; le figuier de barbarie importance économique et conduite technique .Bulletin réalisé à l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II. Rabat.
- * **KENNY.L., 1997.** Le figuier de barbarie: espèce fruitier d'intérêt secondaire cultivée au Maroc; le figuier dz barbarie importance économique et conduite

technique. Bulletin réalisé à l'institut Agronomique et vétérinaire Hassen II. RABAT.

- * **KHELOUIA .L ., 2002.** Evolution des qualités microbiologiques et physico-chimique du concentré de jus d'orange de l'unité ENAJUC de Boufarik (Blida). Mémoire D'ingénieur. Université De Blida.
- * **KHOURI. M.S., 1970.** Opuntia. Bilan écologique en Algérie. MARA CAREF ALGER 1969.
- * **KOMIA.M., 1996.** "Produire du vinaigre avec des fruits tropicaux: c'est simple et peu coûteux ". bulletin du réseau TPA. N°19.
- * **Larpent J. P., 1992.** La microbiologie de la fermentation panaire. (Ed) Technologie et documentation. Cedex, 51 p.
- * **LARPENT J.P., 1991.** «Biotechnologie des levures», Ed : MASSON, Paris, 421 p.
- * **LARPENT J.P., GOURGOUD M., 1985.** «Éléments de microbiologie», Ed : HERMAN, Paris, 464 p.
- * **LARPENT-GOURGAUD M., SANGLIER J.J., 1992.** « Biotechnologies : principes et méthodes », Biosciences et Techniques, Ed : DOIN, Paris, 21 p.
- * **LEHOUEIROU.H.N., 1996.** Le rôle de cactacée (Opuntia) dans le développement agricole de zones arides méditerranéennes. Proc. 2^{ème} congrès international sur poire épineuse et cochenille 22-25 septembre, 1992 Santiago, Chili.
- * **MAATAOUI.S., BELABBES ET HILALI., 2002.** Caractérisation physico-chimique de jus de deux types de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) de la région de la Chaouia, congrès de biochimie. Casablanca 9 -10 et 11 Mai 2002.
- * **MAHMOUDI. F., 2000.** Détermination de la composition chimique et mesure de digestibilité des raquettes terminales et sub-terminales de l'*Opuntia ficus indica* dans l'alimentation des ruminants.
- * **MATALLAH.S., 1970.** «Contribution à la valorisation de la datte Algérienne», Mémoire d'Ingénieur, INA, El Harrach.
- * **MATSUHIRO.B., LILLO.L., SEANZ.C., URZUAC ., 2005.** Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica* .Université de Santiago de chili.

- * **MEHAIA M.A., CHERYAN.M., 1991.** «Fermentation of date extracts to ethanol and vinegar in batch and continuous membrane reactors», *Journal of Enzyme Microb. Technol*, Vol 13, pp 257 – 261.
- * **MEYER A., 1988.** «Cours de Microbiologie Générale», Ed : DOIN EDITEURS.
- * **MONIQUE L. G., SANGLIER J.J., 1992.** "biotechnologie: principes et méthodes". Biosciences et techniques.
- * **MONTANA CAMARA M., CARMEN DIEZ., ESPERANZA T., AMPILER CANO M., 1994.** HPLC determination of organic acids in pineapple juice and nectars. *Z. lebensm unter forch* 198: 52-56.
- * **MULAS.M., MULAS.G., 2004.** Potentialités d'utilisation Stratégique des plantes des Genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification: 112p. pp55-57.
- * **NEFZAOUI A. et CHERMITTI A., 1991.** Place et rôle des arbustes fourragers dans les parcours des zones semi-arides de la Tunisie. In *Opuntia méditerranéenne. Série A. séminaire N°16-1991*, Edition le CIHEAM, pp 119-125.
- * **OTENG-GYAN K., 1984.** Introduction à la microbiologie ans les pays chauds. Edition. Lavoisier, Paris. Pp: 43-46.
- * **POUDEVIGNE H., 1988.** Recherche sur la digestibilité de l'*Opuntia ficus indica* inermis en Tunisie. Tunis. Institut national de la recherche Agronomique (Doc Tech).
- * **ROGER PRAT., 2007.** Expérimentation en biologie en physiologie végétales, édition QUAE 320p.
- * **SAENZ C., SEPULVEDA E., MATSUHIRO B., 2004.** *Opuntia spp* mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *J Arid Environ* 57, PP: 275-290.
- * **SAENZ C. 1995.** Food Manufacture and by-products. In: *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. Ed, FAO Plant Product and Protection Paper, Rome 132, PP: 137–143.
- * **SAENZ et CORRALES-GARCIA J, 2006.** Utilización agro industrial del nopal in Carmen Saenz. *Bulltin Des Services Agricoles de la FAO N° 162* pp 51-69.
- * **SAENZ.C., 2000.** Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes *Journal of Arid Environments* 46, 209–225.

- * **SASSON A., 1986.** «Nourrir Demain les Hommes», Ed : UNESCO, Pays Bas, 765p.
- * **SAWAYA.W.N., KHATCHADOURIAN.H.D. SAFI.W.M. AL-HAMAD .H.M., 1983.** Chemical characterization of prickly pear pulpe *Opuntia ficus indica* and the manufacturing of prickly pear .pp183-193.
- * **SCHWEIZER M., 1997 :** Docteur NOPAL, le médecin Du Bon Dieu. Ed. APB (Aloe Plantes et Beauté). F-75008, Paris, France. PP: 1-81.
- * **SCRIBAN.R., 1999.** Biotechnologie. (5émeEd) Technologie et documentation - Lavoisier. Paris, 1017 p.
- * **SIMON .R., Meunier P., 1970.** Microbiologie industrielle et Génie biochimique. Edition Masson et Cie. Paris, 559 p.
- * **STINTZING FLORIAN C. and Reinhold Carle, 2005:** Cactus (Opuntia spp): Areview on their chemistry, technology, and uses, Mol. Nutr. Food Res., 49,175-194.
- * **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.
- * **TESFAY.W., MORALES, M.L., GARCIA-PARRILLA, TRONCOS, A.M., 2002,** Wine vinegar: Technology, authenticity and quality evaluation; Journal of trends in food science & Technology, vol. 13, pp. 12-21.
- * **YOUSFI.S., 2000.** Rapport bibliographique sur les Opuntias et bilan de quelques études effectuées en Algérie. INRA. Alger.
- * **WERLICH., M. 2001.** Production de vinaigre à partir de matières premières secondaires.
- * **ZOU D. M. ; BREWER M. ; GARCIA F. ; FEUGANG J. M. WANG J. ; ZANG J. ; Liu H. ; et Zou C. P., 2005.** Cactus pear, A Natural Product *In* Cancer Chemoprevention. *Nutr J4.* PP:132-133.

Table des matières

Introduction.....	1
--------------------------	----------

Partie bibliographique

Chapitre I: l'Opuntia

1. Origine et répartition géographique.....	2
2. Biologie et physiologie de la plante.....	2
2.1. Systématique.....	2
2.2. Les organes de la plante.....	3
3. La plantation de l'opuntia.....	6
3.1. Plantation par raquettes uniques.....	6
3.2. Plantation par raquettes doubles.....	7
4. Les principaux Composants chimiques des cladodes.....	7
4.1. Eau et matière sèche.....	8
4.2. Les sucres.....	8
4.3. Matière minérale.....	9
4.4. Matière grasse.....	9
4.5. Matière azotée totale.....	9
4.6. Les acides organiques.....	9
4.7. Les acides aminés.....	10
4.8. Les vitamines, les caroténoïdes et les chlorophylles.....	11
4.9. Mucilage.....	11
5. Domaines d'utilisation et valorisation de la plante.....	12
5.1. L'utilisation des fruits.....	12
5.2. L'utilisation des fleurs.....	12
5.3. L'utilisation des raquettes.....	12
5.3.1. Production fourragère.....	13
5.3.2. Production maraichère.....	14
5.3.3. Utilisation médicinales.....	14
5.3.4. utilisation industrielles.....	14

Chapitre II: la fermentation

1. Les différents types de la fermentation.....	16
a. Fermentation continue.....	16
b. Fermentation discontinue.....	16
c. Fermentation en continue-discontinue.....	16
2. La fermentation alcoolique.....	18
2.1. Les produits issus de la fermentation alcoolique.....	18
2.2. L'utilisation de l'alcool.....	21
2.3. La production d'alcool en Algérie.....	21

3. La fermentation acétique.....	22
3.1. Définition et réglementation.....	22
3.2. Les différentes sortes du vinaigre.....	22
3.3. Composition du vinaigre.....	23
3.4. La fabrication de vinaigre.....	23
3.5. Les utilisations du vinaigre et la production.....	24

Chapitre III: la levure

1. Généralités.....	26
2. Rôle des levures dans l'industrie alimentaire.....	26
3. Données sur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	27
3.1. Définition.....	27
3.2. Classification.....	28
3.3. Reproduction.....	28
3.4. Les substrats utilisés.....	29
3.5. Conditions de culture de la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
3.5.1. Exigences culturelles.....	30
3.5.2. Besoins nutritionnels.....	30
3.6. Rôle des levures dans l'industrie alimentaire.....	32
4. Les bactéries acétiques.....	32
4.1. Besoins nutritionnels.....	33
4.2. Souches.....	33

Matériel et méthodes

1. Matériel.....	34
a. Matériel végétal.....	34
b. Matériel biologique.....	35
c. Matériel de laboratoire.....	35
2. Méthode.....	35
2.1. Préparation de jus des jeunes cladode.....	35
2.2. Analyses physico-chimiques de jus des cladode.....	38
2.2.1. Détermination de la teneur en matière sèche.....	38
2.2.2. Détermination de la teneur en eau.....	38
2.2.3. Détermination de la matière minérale.....	39
2.2.4. Détermination du potentiel d'hydrogène.....	40
2.2.5. Détermination de l'acidité titrable.....	41
2.2.6. Détermination de degré Brix.....	42
2.2.7. Détermination de degré Alcoolique.....	42
2.2.8. Détermination quantitative des sucres totaux.....	42
2.3. La méthode de fabrication d'alcool et du vinaigre.....	44

2.3.1. La méthodologie.....	44
2.3.2. La fermentation alcoolique en discontinu.....	45
2.4. Les différents essais effectués pour la fermentation alcoolique.....	50
2.5. La fermentation alcoolique par différentes concentrations en glucose.....	51

Résultats et discussion

1. Les résultats et interprétations des analyses physico-chimiques.....	52
1.1. Eau et matière sèche.....	52
1.2. Teneur en cendres.....	53
1.3. L'acidité titrable.....	53
1.4. Taux du solide soluble.....	54
1.5. PH.....	54
1.6. Teneur en sucres totaux.....	55
2. Etude de la cinétique de fermentation.....	55
2.1. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique.....	56
2.2. Evolution du °Brix.....	57
2.3. Evolution des sucres totaux.....	58
2.4. Evolution du taux d'alcool.....	59
3. Les résultats des différents essais de la fermentation alcoolique.....	60
4. Discussion sur le vinaigre.....	64

Conclusion

Référence bibliographique

Annexe

PDF Create! 4 Trial
www.nuano.com

Annexes

Annexe 01

Le matériel de laboratoire

Appareillage	<ul style="list-style-type: none">➤ Etuve.➤ Bain-marie.➤ Four à moufle.➤ Centrifugeuse.➤ pH mètre.➤ Balance de précision.➤ Agitateur magnétique.➤ Réfractomètre.➤ Réfrigérateur.➤ Congélateur.➤ Autoclave.➤ Spectrophotometer.
Verreries et autres matériels	<ul style="list-style-type: none">➤ Becher.➤ Eprouvette.➤ Fioles et Erlenmeyer.➤ Pipette graduée.➤ Papier d'aluminium.➤ Dessiccateur.➤ Thermomètre.➤ Burette.➤ Cristalliseur.➤ Tubes à essais.
Réactifs et solutions	<ul style="list-style-type: none">➤ Phénol phtaléine.➤ Solution de NaOH à 0,1N.➤ Eau distillée.➤ Glucose.➤ Acide sulfurique concentré à 96% (d=1,89).➤ Solution de phénol à 5%.➤ Acétate de plomb.➤ Oxalate de potassium.

Annexe 02

Photos des appareils utilisés



Réfractomètre (ATAGO)



Balance de précision



Etuve (MEMMERT)



pH mètre (HANNA)



Agitateur



Centrifugeuse (SIGMA)



Four à moufle



Dessiccateur



Réfractomètre d'alcool



Autoclave (AESCULAP)

Annexe 03

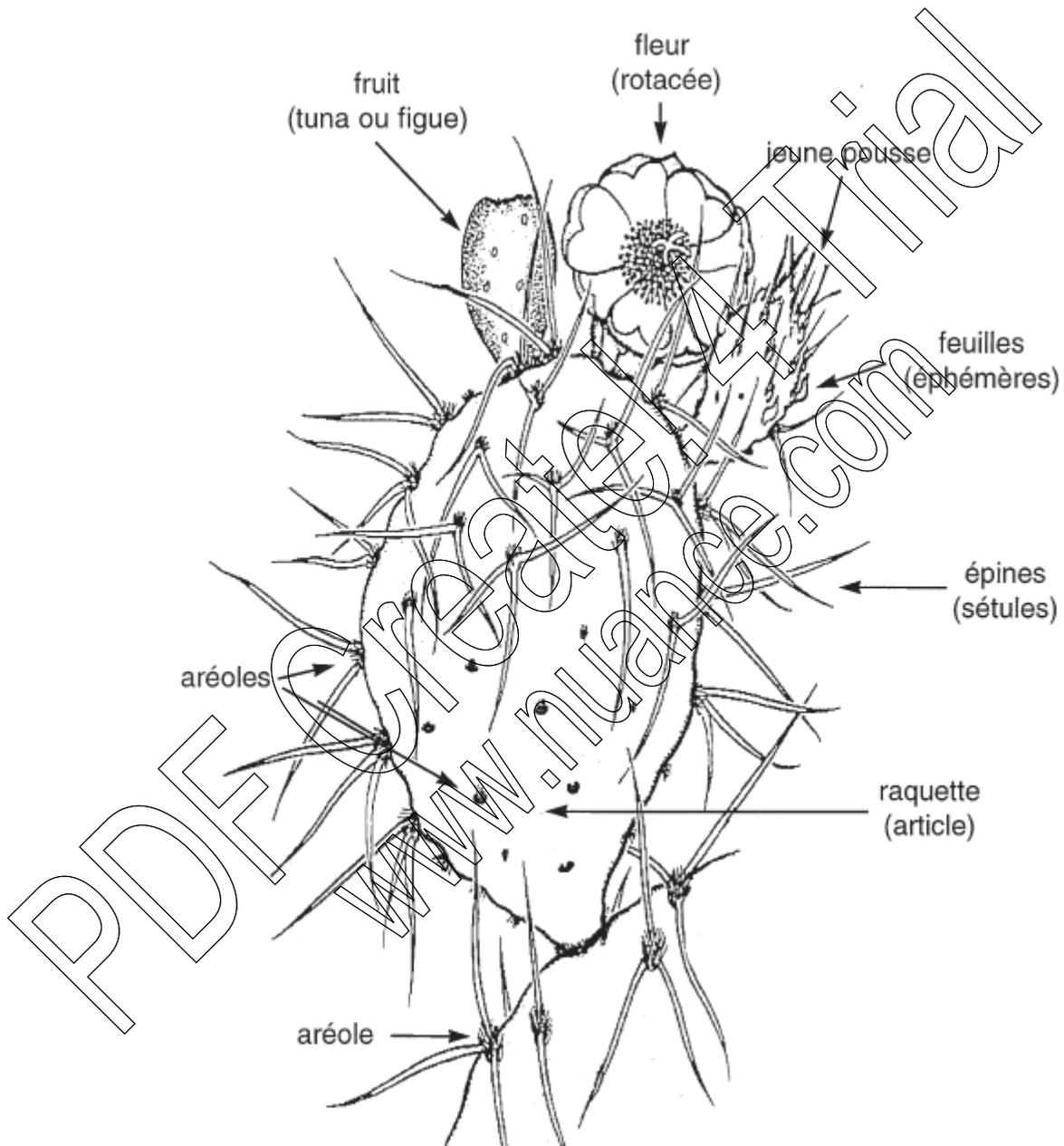


Figure: Schéma des raquettes de l'*Opuntia ficus indica* (M.SCHWEIZER, 1999).

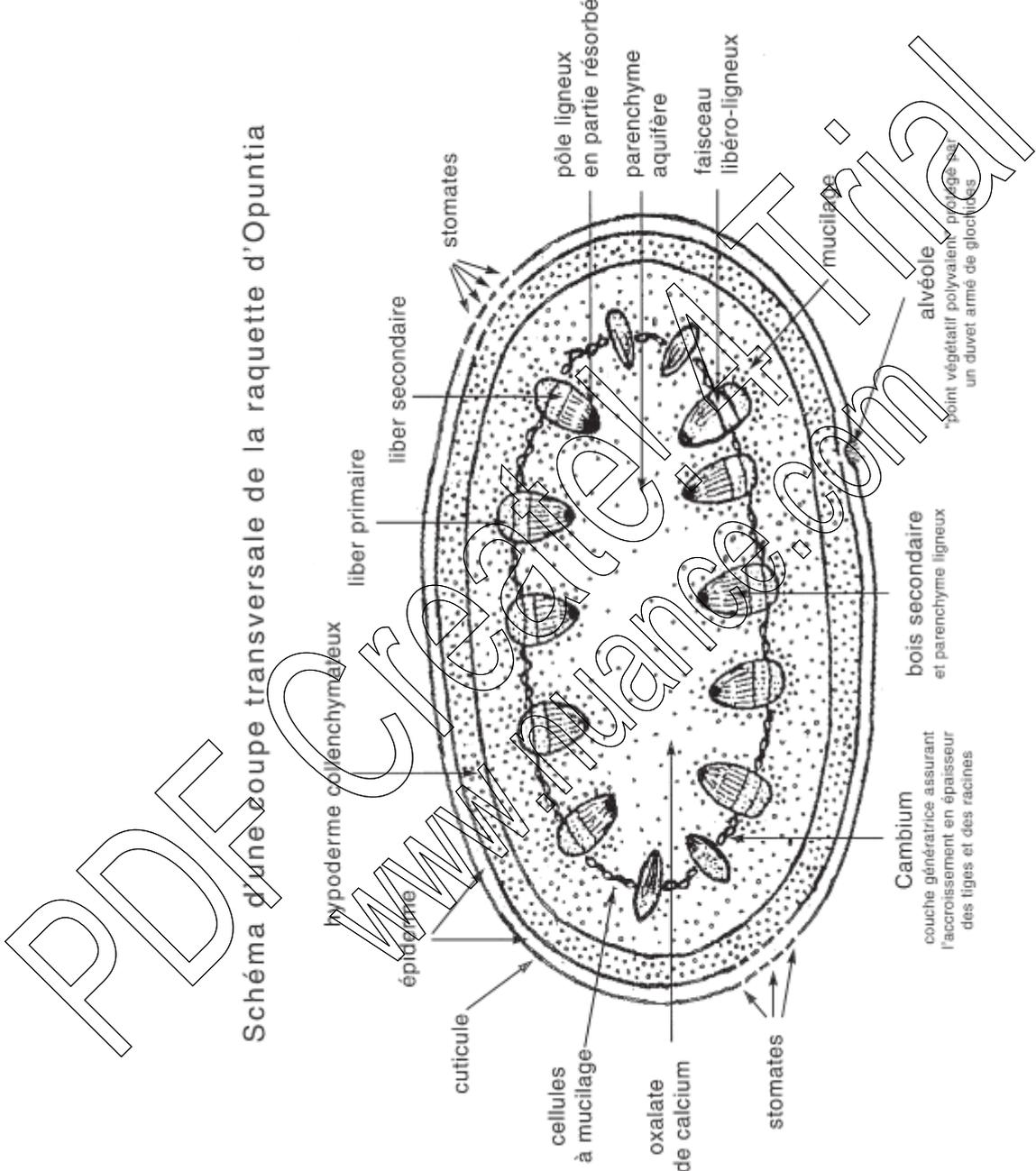


Figure: Schéma d'une coupe transversale de la raquette d'Opuntia.

(M.SCHWIZER, 1999)

Annexe 04

La courbe d'étalonnage des sucres totaux

