



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal



Centre d'Études Doctorales : Sciences et Techniques
Formation Doctorale : Ressources Naturelles, Environnement et Santé (RNES)

THÈSE

Présentée par

Souad SALMAOUI

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR

Spécialité : Procédés et Technologies Alimentaires

Contribution à la Valorisation des Résidus Agro-Alimentaires
cas des Graines de Figs de Barbarie
(*Opuntia ficus indica*) et des Grignons d'Olives

Soutenue le Vendredi 25/11/2017 à 15h devant la commission d'examen
composée de :

Président	:	Pr. Khalid HABBARI	PES	FST - Béni Mellal
Rapporteurs	:	Pr. Aziz HASIB	PES	FST - Béni Mellal
		Pr. Abderrahim JAOUAD	PES	FST - Béni Mellal
Examineurs	:	Pr. Ahmed AIT CHAOUI	PES	FST - Béni Mellal
Directeur de thèse	:	Pr. Hassan LATRACH	PES	FST - Béni Mellal

A ma très chère famille

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mr. Hassan LATRACH, professeur à la FST Béni-Mellal, pour son encadrement et Mr. HASSIB, professeur à la FST Béni-Mellal, d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes sincères remerciements à Mr. Khalid HABBARI, professeur à la FST Béni-Mellal, d'avoir bien voulu juger ce travail et d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à Mr. Abderrahim JAWAD, professeur à la Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, d'avoir aimablement accepté de se déplacer et a bien voulu juger ce travail.

Les derniers mots de remerciement s'adressent à mon cher mari Abdelhakim MAADEN. Merci pour ton écoute, ton soutien et tes encouragements, ta présence est pour moi toujours une source de confiance et d'énergie.

RESUME

Les industries agricoles et alimentaires engendrent des quantités appréciables des sous-produits qui sont pour la plupart peu ou mal valorisés et dont le rejet dans la nature constitue une grande menace pour l'environnement. Dans ce cadre, le présent travail s'intéresse à la valorisation de deux résidus se trouvant en quantités appréciables dans notre pays à savoir les graines des figues de barbarie et les grignons d'olives.

Pour les graines des figues de barbarie, l'étude a porté sur l'évaluation du rendement en huile, les caractéristiques physico-chimiques et la composition en acides gras, pour deux variétés marocaines « Aissa » et « Moussa », ceci en utilisant deux méthodes d'extraction, par solvant et par pression à froid. Le rendement en huile est optimal fin juillet pour la variété « Aissa » et fin octobre pour la variété « Moussa ». C'est la variété « Aissa » qui présente le meilleur rendement en huile. En comparant les deux méthodes d'extraction, on note bien que l'extraction par solvant donne un rendement meilleur dans le cas des deux variétés en comparaison avec l'extraction par pression à froid. Les huiles des graines de figues de barbarie présentent un faible indice d'acidité, un faible indice de peroxyde, un indice de saponification comparable aux autres huiles (soja, arachide et coton), un indice de réfraction comparable aux données bibliographiques et un indice d'iode élevé indiquant la richesse de ces huiles en acides gras insaturés. De point de vue composition en acides gras, il s'avère que ces huiles sont riches en acides gras insaturés. L'acide linoléique est le plus dominant suivi par l'acide oléique, l'acide palmitique et l'acide stéarique. Les acides linoléiques se transforment par saturation en acides oléiques et stéariques à la fin de la maturation. Les deux méthodes d'extraction ont différents effets sur le rendement en huile mais pas de différence notable sur la composition en acides gras pour les deux variétés.

Quant aux grignons d'olives, ils ont une faible teneur en azote, élevée en fibres, particulièrement en lignine. Leur teneur en matière grasse est élevée à cause du manque de déshuilage, dû aux faibles pressions appliquées et à l'absence du malaxage, dans les unités traditionnelles (Mâasras). Par ailleurs, ils sont chargés en micro-organismes pouvant être utiles tels que les levures et les bactéries lactiques, ce qui fait du grignon un sous-produit se prêtant bien aux fermentations. L'essai de fermentation mené par le biotope naturel des grignons a permis de baisser le pH jusqu'à 4,5 auquel les entérobactéries et les bactéries aérobies facultatifs sont inhibés. Ainsi les grignons sont stables et peuvent être conservés pour leur utilisation en alimentation animale.

ملخص

تنتج عن الصناعات الزراعية والغذائية كميات كبيرة من المخلفات، معظمها يتم تقييمه بشكل ضعيف او سيء. كما ان طرحها في الطبيعة يشكل خطرا كبيرا على البيئة. وفي هذا السياق، يركز هذا العمل على تقييم اثنين من المخلفات وجدت بكميات كبيرة في بلادنا وهي بذور التين الشوكي و ثفل الزيتون.

بالنسبة لبذور التين الشوكي ركزت الدراسة على الزيوت الموجودة بها حيث تم تقييم عائد الزيوت، خصائصها الكيميائية والأحماض الدهنية المكونة لها، وذلك لنوعين من الاصناف المغربية وهي "عيسى" و "موسى"، هذا باستخدام طريقتين لاستخراج الزيوت : بواسطة المذيبات او عملية الضغط بدون تسخين. عائد الزيوت الأمتل بالنسبة لصنف "عيسى" يكون أواخر يوليوز وبالنسبة لصنف "موسى" يكون في أواخر أكتوبر. الصنف "عيسى" هو الذي لديه أفضل عائد للزيوت. أما مقارنة طريقتي الاستخراج فإنها تبين أن أفضل عائد للزيوت بالنسبة للصنفين يحصل عليه بطريقة المذيبات. زيوت بذور التين الشوكي لها رقم حمضي منخفض، رقم البيروكسيد منخفض، رقم التصبن مماثل لغيرها من الزيوت (فول الصويا والفول السوداني والقطن)، معامل الانكسار مماثل للمعطيات الببليوغرافية أما قيمة اليود فهو عالي مما يدل على غناء هذه الزيوت بالأحماض الدهنية الغير المشبعة. بالنسبة لنوعية الأحماض الدهنية، يتضح أن أغلبها أحماض دهنية غير مشبعة : حمض اللينوليك هو الأبرز يليه حمض الأوليك، حمض البالمتيك، وحمض الستياريك. في نهاية نضج التين الشوكي، تتحول أحماض اللينوليك بفعل التشبع الى أحماض الأوليك و الستياريك. طريقتي الإستخراج لهما تأثير على عائد الزيوت بينما لا تأثر لهما في تكوين الأحماض الدهنية لكل من الأصناف.

وفيما يتعلق بثل الزيتون، لديه محتوى النيتروجين منخفض، عالي الالياف، خصوصا الليغنين. محتوى الدهون مرتفع بسبب نقص إزالة الزيوت، الناتج عن تطبيق ضغوط منخفضة وعدم وجود خلط في المعاصر التقليدية. علاوة على ذلك، فهو غني بالكائنات الحية الدقيقة التي قد تكون مفيدة مثل الخميرة وبكتريا حمض اللاكتيك، مما يجعل ثفل الزيتون مناسب للتخمير. تجربة التخمير التي أجريت بواسطة الكائنات المجهرية الطبيعية الموجودة في ثفل الزيتون مكنت من خفض درجة الحموضة إلى 4.5 التي تحول دون نمو و تكاثر البكتيريا المعوية والبكتيريا الهوائية المخيرة. وهكذا فإن ثفل الزيتون يصبح مستقرا ويمكن الحفاظ عليه لاستخدامه في تغذية الحيوان.

ABSTRACT

Agricultural and food industries generate appreciable quantities of by-products, which are mostly poorly valued and whose release is a major threat to the environment. In this context, the present work focuses on the valorization of two residues presents in appreciable quantities in our country, namely the seeds of barbaric figs and olive cake.

For the seeds of prickly pears, the study focused on the evaluation of oil yield, physiochemical characteristics and fatty acid composition for two Moroccan varieties “Aissa” and “Moussa” using two extraction methods, by solvent and by cold pressing. The oil yield is optimal at the end of July for the “Aissa” variety and at the end of October for the “Moussa” variety. The “Aissa” variety offers the best oil yield. By comparing the two methods of extraction, it is noted that solvent extraction gives a better yield for the both varieties compared to cold pressing. The oils of the prickly pear seeds have a low acid number, a low peroxide number, a saponification index comparable to other oils (soybean, groundnut and cotton), a refractive index comparable to the bibliographic data, and a high iodine value indicating the richness of these oils in unsaturated fatty acids. For the fatty acid composition, it turns out that these are rich in unsaturated fatty acids. Linoleic acid is the most dominant followed by oleic acid, palmitic acid and stearic acid. Linoleic acids are transformed by saturation into oleic and stearic acids at the end of maturation. The two extraction methods have different effects on the oil yield but no notable difference on the fatty acid composition for the two varieties.

As for olive cake, they have a low nitrogen content, high in fiber, especially lignin. Their fat content is high due to the lack of de-oiling, due to the low pressures applied and the absence of mixing, in the traditional oil mills. Moreover, they are loaded with microorganisms which may be useful, such as yeasts and lactic acid bacteria, which makes olive cake a by-product suitable for fermentations. The fermentation test carried out by the natural biotope on olive-cake reduced the pH to 4.5, which inhibited enterobacteria and aerobic bacteria. Thus the olives are stable and can be kept for use in animal feed.

Liste des tableaux

Partie 1: Valorisation des grains du figuier de barbarie

Partie Bibliographique

Tableau 1 : Composition chimique des cladodes d'Opuntia spp.....	13
Tableau 2 : Composition chimique de la pulpe de fruit d'Opuntia spp.....	15
Tableau 3 : Composition en acides aminés du jus de fruit.....	17
Tableau 4 : Composition chimique et biochimique des graines de fruit d'Opuntia spp.....	18
Tableau 5 : Composition en acides gras de l'huile des graines du fruit d'Opuntia spp.....	18

Partie Expérimentale

Table 1 : The percentage of oil obtained after solvent extraction and extraction by cold pressing (Harvested in 2009).....	37
Table 2 : Physico-chemical index of Opuntia ficus indica oil.....	38
Table 3 : Rate (%) of the principal fatty acids by solvent method of Opuntia ficus indica oil both cultivars "Aissa" and "Mousssa".....	41
Table 4 : Rate (%) of the principal fatty acids by cold pressing method of Opuntia ficus indica oil both cultivars "Aissa" and "Mousssa".....	42

Partie 2 : Valorisation des grignons d'olives

Partie Bibliographique

Tableau 1 : Composition biochimique des composants de l'olive mûre (en% MS).....	58
Tableau 2 : Composition biochimique des différents types de grignons en % de la matière sèche	59

Partie Expérimentale

Tableau 1 : Composition physico-chimique des grignons d'olives.....	86
Tableau 2 : La flore microbienne des grignons d'olives.....	87
Tableau 3 : Résultats de l'essai de valorisation.....	89

Liste des figures

Partie 1: Valorisation des grains du figuier de barbarie

Figure 1 : Répartition géographique mondiale d'Opuntia ficus indica.....	9
---	---

Partie 2 : Valorisation des grignons d'olives

Figure 1 : Répartition géographique de l'Olivier au Maroc.....	53
Figure 2 : Système discontinu d'extraction par presse.....	55
Figure 3 : Système continu d'extraction avec centrifugation à trois phases.....	56
Figure 4 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases.....	56
Figure 5 : Composition physique de l'olive en % de la matière sèche.....	57
Figure 6 : Obtention du furfural à partir des grignons épuisés tamisés.....	72
Figure 7 : Principe du compostage.....	73

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

PREMIERE PARTIE :
VALORISATION DES GRAINES DU FIGUIER DE BARBARIE
(*Opuntia ficus indica*)

INTRODUCTION.....	5
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Introduction.....	8
I. Origine et répartition géographique.....	8
II. Le Figuier de Barbarie à l'échelle nationale.....	9
III. Aspect botanique.....	10
IV. Exigences écologiques.....	10
V. Espèces et variétés.....	11
VI. Composition chimique du cactus.....	12
VI.1. Composition des cladodes.....	12
VI.2. Composition des fruits.....	14
VI.3. Composition des graines.....	16
VII. Importance écologique et économique.....	19
VII.1. Importance écologique.....	19
VII.2. Importance économique.....	20
VII.2.1. Utilisations des fruits.....	20
VII.2.2. Utilisation des raquettes.....	22
VII.2.2.1. Alimentation animale.....	22
VII.2.2.2. Production maraichère.....	22
VII.2.2.3. Source de mucilage.....	23
VII.2.2.4. Production de colorant.....	23
VII.2.3. Utilisation des fleurs.....	23
VII.2.4. Valorisation des sous-produits.....	24
VII.2.4.1. Valorisation des graines.....	24
VII.2.4.2. Peaux ou écorces de fruits.....	24
Conclusion.....	25
Références bibliographiques.....	26

ETUDE EXPERIMENTALE : *Effect of two Extraction Methods and Harvest Period and Performance there Statement of Fatty Oils of Figs Pear Seed*

Abstract	33
Introduction	33
I. Materials and Methods	35
II. Results and Discussion	36
Conclusion	43
References	44
CONCLUSION	46

DEUXIEME PARTIE :
VALORISATION DES GRIGNONS D'OLIVES

INTRODUCTION	49
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Introduction	52
I. Secteur oléicole national	52
II. Sous-produits de la trituration des olives	54
III. Grignons d'olives à l'échelle nationale	57
IV. Caractéristiques physiques et chimiques des grignons	57
IV.1. Composition physique et chimique de l'olive	57
IV.2. Composition physique des grignons d'olive	58
IV.3. Composition biochimique des grignons d'olives	58
V. Valorisation des grignons d'olives	60
V.1. Production d'énergie	60
V.2. Utilisation des grignons d'olives dans l'alimentation animale	61
V.2.1. Facteurs limitant l'utilisation alimentaire des grignons d'olives	62
V.2.2. Caractéristiques nutritionnelles des grignons d'olives	63
V.2.2.1. Ingestion	63
V.2.2.2. Digestibilité	64
V.2.2.3. Dégradabilité	64
V.2.2.4. Valeur alimentaire des grignons	64
V.2.3. Utilisations pratiques en alimentation animale	65
V.2.4. Amélioration de la valeur alimentaire du grignon d'olive	66

V.2.4.1. le tamisage.....	66
V.2.4.2. Traitements des grignons d'olive aux alcalis.....	68
V.2.4.3. La complémentation azotée par utilisation des fientes.....	69
V.2.4.4. Enrichissement protéique des grignons par voie microbiologique.....	71
V.3. Autres utilisations des grignons d'olives.....	71
V.3.1. Production du furfural.....	71
V.3.2. Utilisation des grignons d'olives comme fertilisant.....	72
V.3.3. Utilisation des grignons d'olives dans l'alimentation humaine.....	74
Conclusion.....	75
Références bibliographiques.....	76

ETUDE EXPERIMENTALE : *Physicochemical and microbiological characterization of the olive residue of 26 traditional oil mills in Beni Mellal (Morroco)*

Résumé.....	82
Introduction.....	83
I. Matériels et Méthodes.....	84
I.1. Echantillonnage.....	84
I.2. Analyses physico-chimique.....	85
I.3. Analyses microbiologiques.....	85
I.4. Essai de valorisation des grignons d'olives.....	85
II. Résultats.....	86
II.1. Résultats physicochimiques.....	86
II.2. Résultats microbiologiques.....	87
II.3. Essai de valorisation.....	87
III. Discussions.....	87
III.1. Composition physico-chimique.....	88
III.2. Composition microbiologique.....	88
III.3. Essai de valorisation.....	88
Conclusion.....	89
Références.....	90
CONCLUSION.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	93

INTRODUCTION GENERALE

Les industries agro-alimentaires engendrent des sous-produits et des déchets solides riches en matière organique et dont le rejet dans la nature constitue une grande menace pour l'environnement. La valorisation de ces sous-produits et déchets a pendant longtemps séduit nombre de chercheurs et a atteint actuellement une croissance importante due aux divers aspects de leur utilisations finales : alimentation animale, extraction des produits à valeur ajoutée, production d'énergie, fertilisation...etc. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thématique de recherche qui consiste en la valorisation des sous-produits et déchets agro-alimentaires pour l'extraction des constituants à valeur ajoutée ou leur utilisation en alimentation animale. Les sous-produits auxquels nous nous sommes intéressés sont : les figes de barbarie et les grignons d'olives.

Les substances naturelles connaissent un intérêt croissant pour des applications dans de nombreux produits de consommation. En effet, leur utilisation est encouragée car les produits équivalents issus de synthèses chimiques ont, à tort ou à raison, mauvaise presse parmi le grand public. Les plantes représentent une source de principes actifs inépuisable et renouvelable, dont l'usage traditionnel et médical est connu depuis bien longtemps. Il existe donc un besoin de production de substances bioactives isolées, concentrées et purifiées, pour une utilisation dans un large champ d'application (cosmétiques, pharmaceutiques, additifs nutritionnels...). Certaines de ces substances bioactives sont stockées dans les huiles présentes dans les différentes parties de la plante : le fruit, les feuilles, la pulpe, les racines et les graines. Ces dernières constituent souvent un résidu des industries de transformation des fruits, qu'il serait intéressant de valoriser par extraction des huiles y contenues, en l'occurrence les graines des figes de barbarie. En effet, les huiles issues de ces graines sont très précieuses et rares, la production d'un litre de cette huile nécessite une tonne de fruits. Elle est très connue par ses vertus médicinales et surtout cosmétiques. Sa richesse en vitamine E et en stérols lui

confère une aptitude à protéger la peau contre les radicaux libres. C'est aussi un allié pour lutter contre le vieillissement cutané.

C'est dans ce cadre que nous avons réalisé des travaux de recherche, présentées en première partie, ayant pour objectif la valorisation des graines de deux variétés «Aissa» et «Moussa» du figuier de barbarie provenant du sud du Maroc. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés au rendement en huile, à la caractérisation physico-chimique et à la composition en acides gras des huiles des graines obtenues par deux méthodes d'extraction : par solvant et par pression à froid. Nous avons également étudié l'effet de la période de maturation sur le rendement en huile. Les résultats obtenus sont présentés sous forme d'article publié.

Par ailleurs, le Maroc, pays à vocation agricole, produit un gisement très important de résidus et de sous-produits issus soit de l'agriculture ou des industries agro-alimentaires. Cependant, les ressources alimentaires constituent l'un des facteurs limitant la production animale. Ces résidus et sous-produits sont peu ou mal valorisés à cause d'un certain nombre de contraintes. Une des contraintes majeures de leur utilisation en alimentation animale est leur faible valeur nutritive. Ils ont une faible teneur en azote, une teneur en fibres élevée et sont faiblement digestibles de telle sorte qu'ils couvrent rarement les besoins d'entretien du bétail. De plus, ces résidus sont périssables, leur stockage sans prétraitement se traduit par une détérioration considérable de la matière et par la perte d'éléments nutritifs. Il est donc évident que leur valorisation nécessite leur traitement afin qu'ils remplissent parfaitement le rôle qu'ils pourraient occuper dans l'alimentation animale.

En effet, plusieurs procédés utilisant des traitements physiques, chimiques ou biologiques ont été proposés. Les techniques biotechnologiques semblent les mieux adaptées à ces problèmes par leur coût moindre relativement aux installations et aux dépenses énergétiques et par leur accessibilité de point de vue technologique.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés, dans la deuxième partie de ces travaux, aux grignons d'olives se trouvant en quantité importante dans notre pays. Cette étude a porté sur la caractérisation physico-chimique et microbiologique des grignons issus des Maâsras de la région de Beni-Mellal, et la mise au point d'un procédé biotechnologique visant la stabilité des grignons d'olives. Les résultats obtenus ont été publiés dont l'article est présenté dans la partie 2.

Aussi le présent manuscrit comportera-t-il deux chapitres, le premier portant sur la valorisation des graines des figues de barbarie et le deuxième sur la valorisation des grignons d'olives suivis d'une conclusion dans laquelle nous apporterons une synthèse des résultats avec les perspectives pour la suite des travaux de recherche.

PREMIERE PARTIE

Valorisation des Graines du Figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*)

INTRODUCTION

Le Maroc est connu par la rareté des pluies et des périodes successives de sécheresse engendrant des effets néfastes sur l'agriculture qui constitue le premier pilier de l'économie marocaine. Cette pénurie d'eau est devenue une donnée structurelle qui impose un plan d'adaptation de l'agriculture pour devenir moins dépendante des aléas climatiques. Pour affronter ce déficit hydrique, il est nécessaire de mettre en place des systèmes de développement basés sur le choix des cultures appropriées, de telles cultures qui doivent supporter la sécheresse, être non exigeantes et adaptables aux conditions difficiles.

Le cactus est une culture de choix qui répond largement à ces exigences. En effet, cette plante a permis la mise en valeur des terres marginales et des zones arides et semi-arides qui n'étaient pas cultivées jusqu'alors. Son adaptation à divers climats et sols en fait une espèce adéquate pour une agriculture durable dans le pays. C'est une plante économiquement importante vu sa production efficiente en fruits comestibles et en fourrage. Par ailleurs, c'est une plante qui peut être valorisée en produits agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques qui sont des produits à haute valeur ajoutée.

Jusqu'aux années soixante-dix, peu d'intérêt a été accordé à cette espèce. Avec le développement du marché des fruits exotiques en Europe et aux États Unis, les efforts se sont multipliés pour la domestiquer et en faire une culture industrielle. Actuellement, le figuier de barbarie est cultivé dans les régions arides et semi-arides de plusieurs pays tels que le Mexique, l'Italie, l'Espagne, l'Israël, la Tunisie,...etc.

A l'instar de ces pays, au Maroc, des plantations intensives ont vu le jour ces dernières années. Un tel intérêt nécessite la mise en place d'essais de comportement et de recherches sur les itinéraires techniques de ces espèces en vue de répondre aux multiples questions des producteurs.

D'autant plus cette culture est prodigieuse, son extension remarquable et son intégration dans les programmes de développement devraient être accompagnées d'une réflexion sur les possibilités de transformation de ses produits en vue de les valoriser et de diversifier les débouchés. Le développement de nouveaux débouchés revêt une importance croissante en particulier pour son fruit. Actuellement, des jus, des boissons alcoolisées, des confitures,...etc. sont élaborés à partir de la pulpe de figue de barbarie. Leur préparation engendre une production importante de sous-produits qu'il faut essayer de valoriser, à savoir : les graines et les pelures des fruits.

C'est dans ce contexte que s'inscrivent nos travaux de recherches présentés dans cette partie: une première étude portant sur la valorisation des graines, la seconde étude est en cours dans le cadre d'une thèse dont je suis l'encadrante, et porte sur la valorisation des pelures des fruits dans l'alimentation animale.

Cette partie comportera tout d'abord un aperçu bibliographique portant sur quelques aspects du figuier de barbarie à savoir, origine, répartition mondiale et nationale, aspect botanique, exigences écologiques, espèces et variétés, rôle écologique, utilisations éventuelles et enfin composition chimique.

Ensuite, nous présentons les résultats de cette étude, sous forme d'article. Ils ont consisté en l'évaluation du rendement en huile, la caractérisation physico-chimique et la composition en acides gras des huiles extraites à partir des graines de deux variétés du figuier de barbarie «Aissa» et «Moussa» par deux méthodes d'extraction : par solvant et par pression à froid, ceci pendant la période optimale de maturation.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

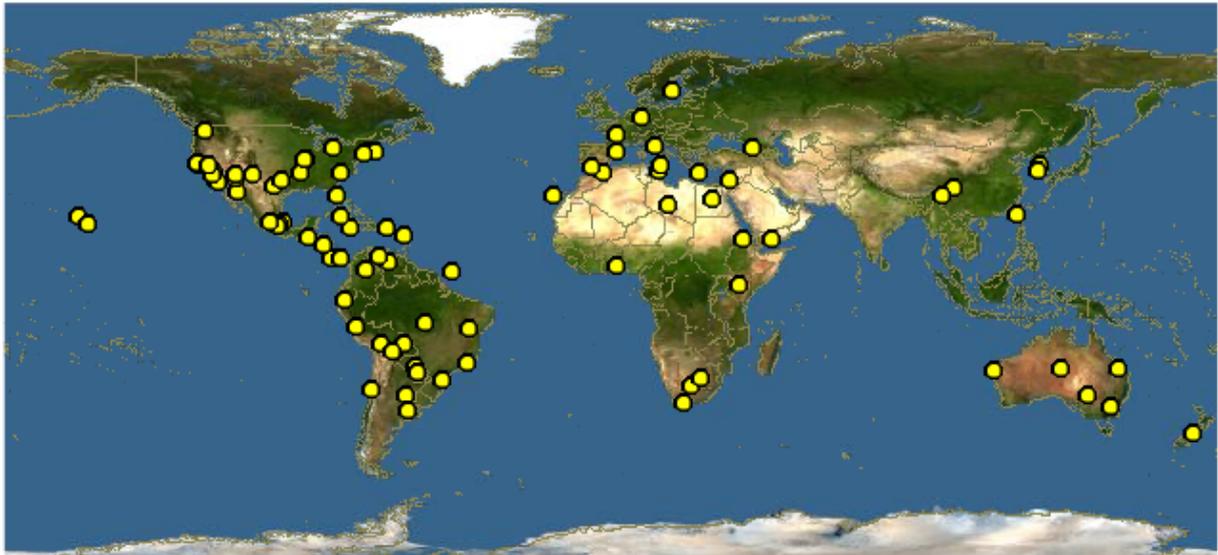
Le cactus est une plante succulente caractérisée par une grande aptitude à l'adaptation aux conditions de sécheresse. L'*Opuntia* est l'un des 90 genres de cactus retenus par la classification botanique. Il existe deux types de cactus selon qu'ils possèdent ou non des épines. Dans ce dernier cas, on parle de cactus inerme. Le terme cactus désigne souvent l'*Opuntia ficus indica*, ou figuier de barbarie, qui est une espèce courante de cactus inerme.

Au Maroc, le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est largement présenté dans le paysage rural en plantations plus ou moins régulières autour des villages, haies limitant les parcelles de la culture ou du verger. Elle constitue une excellente alternative pour la lutte contre les effets de la sécheresse, d'où son extension dans les régions arides où la population lui porte un intérêt particulier grâce à ses diverses utilisations. En effet, cette culture contribue aussi bien à la mise en valeur des sols pauvres et leur protection contre l'érosion, qu'à l'alimentation du cheptel et la production de fruits.

I. Origine et répartition géographique

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) est une plante originaire du Mexique. Sa distribution géographique est aujourd'hui très large (figure 1). Il a été introduit dans la région méditerranéenne vers la fin du 15^{ème} siècle et en Afrique du Nord vers la fin du 16^{ème} siècle (Monjauze et le Houérou, 1965; Russel et Felker, 1987). Les plantations se sont étendues dans les régions du sud de l'Afrique (1772), l'Inde (1780), les Philippines (1695), la Chine (1700), et l'Indochine (1790)) (Barbera, 1995; Ibrahim, 1998; Le Houérou, 1996). Dans le bassin méditerranéen, le figuier de barbarie s'est naturalisé au point de devenir un élément caractéristique du paysage (le Houerou 1996), il est essentiellement développé sur la partie ouest de la méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) (Bensalem et coll. 2002; Arba (a), 2009). Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne et le Mexique, la culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et de développement pour la production du fruit ou du fourrage et même pour des usages industriels (Mulas et Mulas 2004). En revanche, en Australie et en Afrique du Sud, ce

végétal, en particulier la variété asperme est considérée comme une mauvaise herbe (Orwa et coll. 2009).



● Opuntia ficus indica

www.map_of_opuntia

Figure 1 : Répartition géographique mondiale d'*Opuntia ficus indica*

II. Le figuier de barbarie à l'échelle nationale

Au Maroc le cactus *Opuntia* a été introduit vers le début du 17^{ème} siècle à partir de l'Espagne (Schlief et coll., 2000), depuis, il est cultivé pour ses fruits comestibles et son apport fourrager. Sa superficie a évolué de façon remarquable au cours de ces deux dernières décennies à cause de la sécheresse, elle est passée de 50.000 ha en 1998 à plus de 120.000 ha en 2009 (Arba (a), 2009). La culture d'*Opuntia ficus-indica* est largement représentée dans les zones marginales du pays. A l'exception des régions sahariennes et des montagnes, cette espèce végétale est rencontrée dans le paysage rural marocain en plantations plus ou moins régulières, autour des douars, en hais limitant les parcelles des cultures et des vergers (Walali-Loudyi, 1997). La région de Guelmim-Sidi Ifni occupe la première place avec 50% de la superficie nationale (plus de 50.000 ha) et celle du Haouz-ElKelâa des Sraghnas avec 30% de la superficie nationale (33.000 ha environ). La région de Khouribga vient en troisième place et celle de Doukkala en quatrième (Arba (a), 2009).

III. Aspect botanique

Opuntia ficus indica L. fait partie de la famille des cactacées qui sont des angiospermes dicotylédones. Elle appartient au genre *Opuntia* qui est subdivisé en quatre sous-genres. Les deux sous-genres les plus représentés au Maroc sont le sous-genre *Cylindropuntia* comprenant les espèces à tige cylindriques et le sous-genre *Platyopuntia* représentant les espèces ayant des raquettes (cladodes) qui sont des fausses tiges. L'espèce *Opuntia ficus indica* appartient au second sous-genre (Kenny, 1998). C'est une plante arborescente, robuste de 3 à 5 m de haut, possédant un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1,5 à 3 cm appelés cladodes ou raquettes. Ils sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glochides blancs (Kenny, 1998).

Les fleurs marginales sur le sommet des cladodes sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. En principe, une cladode peut porter jusqu'à trentaine de fleurs. Ses fruits sont des baies charnus, ovoïdes ou puriformes, uniloculaires et polyspermiqes (Reyes-Aguirio et coll. 2006; Neffar 2012).

IV. Exigences écologiques

Le genre *Opuntia* est xérophile (Gibson et Nobel 1986). Il peut se développer dans les zones arides et semi-arides. Le cactus s'adapte à la sécheresse par la transformation des feuilles en épines et des stipules en glochides et ce afin de diminuer la surface foliaire des feuilles et de réduire l'évapotranspiration au niveau des feuilles (Arba (a), 2009). Les tiges qui sont des organes photosynthétiques transformées en raquettes, sont également couvertes d'une cuticule dure imperméable qui les protège de l'évapotranspiration. Leur stomates sont fermés le jour grâce au cycle particulier de photosynthèse du cactus et autres plantes grasses, ce qui diminue d'avantage l'évapotranspiration au niveau des tiges (Arba (a), 2009).

Sa remarquable variabilité génétique lui procure une forte adaptabilité écologique, ce qui lui permet de vivre sous différentes conditions climatiques, il croit dans les plaines, les régions côtières et les plateaux (Stintzing et Carle, 2004) Son extension est limitée surtout par les basses températures hivernales. Le seuil de tolérance est -10 °C pour quelques heures. Cette tolérance dépend de la turgidité du tissu des cladodes (Saenz et coll., 2004). Les températures maximales supportées excèdent les 50 °C à 58 °C. Bien que cette espèce ait une large faculté d'adaptation pour différents sols (acides, calcaires ou pauvres en matière organique), elle a une préférence pour les sols très perméables, sableux ou caillouteux ayant des pH moyennement acides (5,1-6,7) (Nerd et coll., 1991).

V. Espèces et Variétés

A l'échelle mondiale il existe plusieurs espèces et variétés. Le genre *Opuntia* est le plus important et le plus répandu de la famille des cactacées qui compte environ 200 espèces (Arba (b), 2009). Au Mexique par exemple 104 espèces ont été identifiées (Scheinvar, 1995) et au Maroc, 29 espèces d'*Opuntia*, sont cultivées à travers les zones arides et semi-arides du pays réparties en 3 sous-genres (Arba, 1983) :

- *Braziliopuntia* : trons articulé, articles cylindriques et aplatis (une seule espèce au Maroc : *Opuntia Braziliensis*).
- *Cylindropuntia* : articles cylindriques portant des épines (4 espèces au Maroc).
- *Platyopuntia* : articles aplatis en raquettes, feuilles petites et caduques, épines non gainées, il y a au moins 21 espèces au Maroc dont trois sont cultivés au milieu rural. Il s'agit d'*Opuntia Megacanta*, d'*Opuntia ficus-indica* et d'*Opuntia Shumantii*, caractérisées par la production des fruits comestibles. Cependant, l'*Opuntia ficus-indica* ou le vrai figuier de barbarie est une espèce qui est très cultivée dans la région sud ou elle se présente en différentes variétés : variétés «Aissa» et «Moussa» qui ont des fruits à pulpe jaune orangé à maturité, variété «Elbayda» à pulpe vert clair et variété «Elakria» à pulpe rouge carmin (Arba, 2002 et Arba, 2006). Il y a des variétés qui sont précoces, d'autres de saison et celles qui sont tardives. L'espèce *O. megacantha* est une

variété de saison, la variété «Aissa» est une espèce qui est précoce et les variétés «Dellahia» au nord et Moussa au sud, sont des variétés tardives. La couleur des fruits varie selon les variétés, il y a celles qui ont une pulpe jaune orangé : *O. megacantha* et variétés «Aissa » et Moussa » d'*O. ficus-indica*, d'autres qui ont une pulpe verte à verdâtre : «Dellahia » et «Elbayda » d'*O. ficus-indica*. Le goût et la saveur des fruits varient également d'une espèce à l'autre, il y a celles qui sont plus sucrées et juteuses : variétés «Aissa », «Moussa », «Dellahia »...etc, et d'autres qui sont plus acides : variété d'Essaouira (Arba, 2009).

VI. Composition chimique du cactus

Les cladodes et les fruits des *Opuntia* présentent une source de plusieurs composants nutritionnels (tableau 1 et 2). Cette composition chimique dépend du milieu de culture, du climat et de la variété du fruit (Felker et coll., 2002 et Felker et coll., 2005). Les cladodes sont riches en pectines, mucilage et minéraux, alors que les fruits sont une bonne source d'acides aminés, de vitamines et de bétalaines. Quant aux graines, elles sont plus riches en polysaccharides (Habibi et coll., 2005). En plus des lipides, les graines renferment une quantité considérable de protéines, leur teneur en éléments minéraux est faible (Feugan et coll., 2006).

VI.1. Composition des cladodes

Les teneurs en eau des cladodes sont très élevées variant entre 88 et 95% (Tableau 1), ce qui risque de poser des problèmes de diarrhée aux animaux alimentés par les raquettes du cactus seules sans déshydratation. Leur teneur en protéines (0,5-1%MF; 4-10%MS), en lipides (0,2MF; 1-4%MS) et en fibres (1-2% MF; 18% MS) restent faibles (Tableau 1). Alors qu'au niveau minéral, elles présentent un rapport phosphocalcique (Ca P) très élevé pouvant atteindre 50 (Tableau 1). Les raquettes sont réputées être riches en minéraux essentiellement le calcium (tableau 1) et les oxalates, en pectines et en mucilage, polysaccharides de structure chimique parfois très complexe retrouvés dans plusieurs plantes supérieures (Feugang et coll., 2006). La fraction majoritaire du mucilage du figuier de barbarie, est constituée d'un polysaccharide neutre et les analyses

de sucres montrent une prédominance de D-galactose, de D-xylose, de L-rhamnose et d'acide D-galacturonique. Il a la capacité d'absorber des grandes quantités d'eau ou de solvants et se disperse en formant des colloïdes visqueux et gélatineux (Sharma R., 2012).

Table 1 : Composition chimique des cladodes d'*Opuntia spp.*

Constituants	Par 100 g de Matière sèche	Par 100 g de Matière Fraiche
Eau	---	88-95 g
Hydrocarbures	64-71 g	3-7 g
Cendres	19-23 g	1-2 g
Fibres	18 g	1-2 g
Protéines	4-10 g	0,5-1 g
Lipides	1-4 g	0,2 g
<u>Éléments minéraux</u> *:		
Calcium	5,64 g	
Magnésium	0,19 g	
Potassium	2,35 g	
Phosphore	0,15 g	
Sodium	0,4 g	
Fer	0,14 µg (traces)	
<u>Vitamines</u> :		
Acide Ascorbique		7-22 mg
Niacine		0,46 mg
Riboflavine		0,60 mg
Thiamine		0,14 mg
Carotène totale		11,3-53,5 µg

Source :Askar et Al-Samahy (1981), Saenz (1995), Stintzing et coll. (2001), Piga (2004), Stintzing et coll. (a) (2005), Stintzing et coll. (b) (2005), Tresorerie et coll. (b)(2005).

*Source : Bensalem et coll. (2005)

VI.2. Composition des fruits

De nombreux travaux de recherche sur l'étude de la composition chimique des fruits d'*Opuntia spp.* ont montré que les constituants majeurs sont l'eau (84-90%) et les matières solubles (12-17%) (Tableau 2). Ces dernières sont supérieures à celles des autres fruits tels que les prunes, les abricots et les pêches (Sepulveda et Saenz, 1990; Schmidt-Hebbel et coll., 1990). Les pulpes de fruit présentent une acidité titrable de 0,03 à 0,12% avec un pH variant entre 5,0 et 6,6 (Feugang 2006). Leur richesse en sucres et leur faible acidité les rendent délicieuses et sucrées, mais en font un milieu microbiologique attractif (Saenz, 1995). La valeur élevée de pH de la pulpe, classe le figuier de barbarie dans les produits faiblement acides ($\text{pH} \geq 4,5$), d'où sa transformation industrielle nécessite un traitement thermique à de fortes températures supérieures à 115 °C, ce qui peut affecter les qualités nutritives et organoleptiques du produit (Askar et coll., 1981; saenz, 1995).

La pulpe de fruits du cactus est riche en acides aminés libres spécialement proline, taurine, glutamine et serine (tableau 3) (Stintzing et coll., 2001; Askar et El-Samahy 1981; Tresorerie et coll. 2005) alors que les graines sont riches en protéines. Les vitamines sont un constituant nutritionnel important dans les fruits de cactus, la vitamine C (acide ascorbique) est la vitamine majeure dans la pulpe du fruit de cactus avec un teneur de 12-81 mg/100g MF, supérieures à celle de la banane, poire, raisin et pomme (Cheftel et Cheftel, 1983; Saenz, 1985) (Tableau 2). Les vitamines B1, B6, niacine et riboflavine se trouvent à l'état de traces. La vitamine E et les beta-carotènes sont présents aussi bien dans les graines que dans la pulpe des fruits (Ramadan et Morsel, 2003(a); Breithaupt et Bamedi, 2001; Ramadan et Morsel, 2003 (b)). Basé sur plusieurs études de composition d'*Opuntia*, la pulpe de fruit est considérée comme une bonne ressource des minéraux spécialement calcium, potassium et magnésium (Tableau 2) (Stintzing, 2001; Piga, 2004; Lee et al., 2005; Gurrieri et al. 2000).

Tableau 2 : Composition chimique de la pulpe de fruit d'*Opuntia spp.*

Constituants	Par 100 g de pulpe de fruit
Eau	84-90 g
Matière soluble	12-17 g
Cendres	0,3-1 g
Fibres	0,02-3,15 g
Protéines	0,21-1,6 g
Lipides	0,09-0,7
<u>Eléments minéraux</u> *:	
Calcium	12,8-59 mg
Magnésium	16,1-98,4 mg
Potassium	90-220 mg
Phosphore	15-32,8 mg
Sodium	0,6-1,1 mg
Fer	0,4-1,5 mg
<u>Vitamines</u> :	
Acide Ascorbique	12-81mg
Niacine	Traces
Riboflavine	Traces
Thiamine	Traces
Carotène totale	0,29-2,37g
<u>Stérols et vitamines E</u> :	
Campestérol	Par 100 g d'huile de pulpe de fruit
β - Sitostérol	8,74 g
Vitamine E :	11,2 g
• α -Tocophérol	
• β -Tocophérol	8,49 g
• γ -Tocophérol	1,26 g
• δ -Tocophérol	0,79 g
	42,2 g

Source :Askar et Al-Samahy (1981), Saenz (1995), Stintzing et coll. (2001), Piga (2004), Stintzing et coll. (a) (2005), Stintzing et coll. (b) (2005), Tresorerie et coll. (b)(2005).

Les teneurs en sucres rencontrés dans l'ensemble des échantillons analysés varient selon l'espèce d'*Opuntia* et d'une partie du fruit à l'autre (Kuti et coll., 1994). La fraction glucidique du fruit d'*Opuntia* est constituée principalement de glucose et de fructose avec des quantités presque égales (Russel et Felker, 1987, Sepulveda et Saenz, 1990; Sawaya et coll., 1983; Kuti et Galloway 1994). Le glucose constitue une source de sucre libre directement absorbé par le corps, quant au fructose possédant un pouvoir sucrant et facilement absorbé, contribue à l'amélioration de la saveur du fruit (Saenz, 1995). L'acide organique prédominant est l'acide citrique (Stintzing et coll., 2001; Cheftel et Cheftel, 1983). La pulpe du fruit présente un faible rendement en huile 0,1 à 1.0%, soit une quantité de 8,7g de lipides totaux/kg pulpe sèche. La présence des composés phénoliques dans le fruit de cactus a été signalée dans plusieurs études (Tresorerie et coll., 2005 (a); Tresorerie et al., 2005(b); Butera et al., 2002; Kuti, 2004) (table). Kuti (2004) a rapporté l'effet anti-oxydative de la plupart des flavonoïdes contenus dans le fruit de cactus (quercétine, kaempférol et l'isorhamnétine). Les fruits du cactus sont connus par leur contenu en pigments de la famille des Bétalaines, les bétaxanthines (jaunes) et les bétacyanines (rouges) donnent ainsi au fruit sa couleur caractéristique (Feugans 2006).

VI.3. Composition des graines

Les graines du cactus ont suscité ces dernières années beaucoup d'intérêt et les études se sont multipliées pour caractériser leurs constituants afin d'évaluer leur valeur nutritive. Cependant, l'attention s'est focalisée surtout sur les huiles contenues dans ces graines (Pimienta Barrios, 1994; Sawaya et Khan, 1982; Stintzing et coll. 2003).

Les pépins des figues de barbarie présentent 10 à 15% de la pulpe comestible (Saenz, 2000). Ils sont lignifiés (18 – 30%MS) et renferment des quantités considérables de protéines (6 – 12%MS), de cellulose (30 – 41,5%) et d'autres polysaccharides, les sucres majoritaires sont le glucose (35%) et le xylose (23,8%), les éléments minéraux sont en faible quantité (1,3 – 1,45%MS) (Kaanane, 2000; Habibi, 2004). Les graines des fruits sont la partie du figuier de barbarie la plus riche en huile, 7 à 15% du poids total des graines. Elle appartient à la catégorie des huiles polyinsaturées comme la

plupart des huiles végétales (Tan et Che Man, 2000). En effet, cette huile est caractérisée par sa richesse en acides gras insaturés spécialement l'acide oléique (C18 :1) et l'acide linoléique (C18 :2) (Plantade, 2012). Ce dernier est le majoritaire avec un taux qui peut varier de 56,1 à 77% (Ramadan, 2003; Sawaya et Khan, 1982).

Tableau 3: Composition en acides aminés du jus de fruit

Acides Aminés	En mg l de jus de fruit
Alanine	87,2
Arginine	30,5
Asparagine	41,6
Acide glutamique	66,1
Glutamine	346,2
Glycine	11,33
Histidine	45,2
Isoleucine	31,2
Leucine	20,6
Lysine	17,4
Methionine	55,2
Phenyl Alanine	23,3
Serine	174,5
Threonine	13,3
Tyrosine	12,3
Tryptophane	12,6
Valine	39,4
Acide α amino-butyrique	1,1
Carnosine	5,9
Citrulline	16,3
Proline	1265,2
Taurine	434,3

Source : Stintzing et coll., 2001; Tresorerie et coll. (a), 2005.

Tableau 4 : Composition chimique et biochimique des graines du fruit d'*Opuntia spp.*

Constituants	Par 100 g de pulpe de fruit
Eau	5-6 g
Cendres	1,3-3
Protéines	5,9-16,6g
Lipides	7-17,2 g
Fibres	49,6-82,5 g
Lignine	18-32,2
<u>Eléments minéraux :</u>	
Calcium	16,2-16,6 mg
Magnésium	34,4-74,8 mg
Potassium	97,2-163,0 mg
Phosphore	152,0 mg
Sodium	62,2-73,2 mg
Fer	1,8- 9,5 mg
Zinc	1,45-4,9 mg

Source : Habibi (b) (2004), Kaanane (2000), Sawaya et coll. (1983)

Tableau 5 : Composition en acides gras de l'huile des graines du fruit d'*Opuntia spp.*

Acides Gras	En g /100g d'huile
<u>Acides gras :</u>	42,4-73,4
Acide linoléique	12,0-31,8
Acide palmitique	8,8-17,2
Acide Oléique	2,5-5,8
Acide Stéarique	0,73
Acide myristique	0,00
Acide arachidique	
<u>Stérols et vitamines E :</u>	
Campestérol	1,66
β - Sitostérol	67,5
Vitamine E :	
• α -Tocophérol	0,56
• β -Tocophérol	0,12
• γ -Tocophérol	3,3
• δ -Tocophérol	0,05

Source : Shaheen et al. (1980), Sawaya et al. (1982)

VII. Importance écologique et économique

L'adaptation du figuier de Barbarie aux conditions désertiques et semi-désertiques lui permet de constituer une culture à intérêt écologique et économique indéniable. En effet, ce végétal répond efficacement lorsqu'il est utilisé dans la conservation, la restauration et la valorisation des sols. Il met en valeur les terres marginales et infertiles où d'autres espèces cultivées poussent difficilement. Son impact considérable sur le revenu des agriculteurs a fait de cette plante l'une des espèces les plus rentables économiquement.

VII.1. Importance écologique

Le figuier de Barbarie est capable de produire de grandes quantités de biomasse végétale même dans les conditions extrêmes. Avec une pluviosité comprise entre 150 et 400 mm an et en l'absence de fertilisation, la variété inerme peut produire jusqu'à 100 tonnes de raquettes par an (Monjauze et Le Houerou, 1965).

Le cactus peut jouer un rôle majeur dans les zones à faible pluviométrie ou il est cultivé. Du fait de sa faible exigence en eau, il peut être considéré comme plante efficace et écologique (Arba (b), 2009). En effet, l'utilisation du figuier de Barbarie pour la protection et la mise en valeur des sols dans les régions arides et semi-arides a été démontrée dans la région de Milpa Alta au Mexique. Cette région a été complètement défrichée pour y introduire des cultures fourragères tel que le maïs. En raison de la faiblesse des sols et de l'irrégularité des pluviosités, l'échec était total. Ce n'est que par la réintroduction du figuier de Barbarie que la région a été sauvée et remise en valeur sans risque de dégradation environnemental (Kenny, 1998).

Par ailleurs, le cactus permet par ses racines de maintenir le sol en place et ainsi de limiter son érosion, mais il sert aussi de base à la recolonisation par les plantes et il offre une barrière au sable transporté par le vent (Arba (b), 2009). En effet, les *Opuntia* en association avec d'autres espèces ligneuses, ont été utilisés avec succès dans un programme de fixation des dunes en Somalie et contre l'érosion des sols dans plusieurs autres pays (Kenny, 1998). Dans ce sens, les résultats dans la région d'Ait Baâmrane

sont également spectaculaires (Kenny, 1998). De plus, étant résistant au feu, il offre aussi une protection contre les incendies (Arba (b), 2009).

VII.2. Importance économique

Actuellement, la culture du figuier de barbarie connaît un regain d'intérêt dans plusieurs pays du monde. Elle est pratiquée de façon intensive et moderne, soit en tant que culture fourragère ou en tant que spéculation maraichère. La production du fruit reste cependant l'aspect le plus recherché et le plus développé (Kenny, 1995).

VII.2.1. Utilisations des fruits

La première importance économique du cactus dans le monde réside dans la production des fruits comestibles (Pimienta Barrios et coll., 1993). Ces fruits sucrés et juteux sont riches en vitamines C et leur valeur nutritionnelle est semblable à celle de la plus part des fruits comme les oranges, les pommes, les poires, l'abricot, les cerises...etc. (Barbera et al. 1992; Sepulveda et Saenz, 1990). Ils sont connus par leur teneur élevée en sucres, en minéraux et en vitamines (Arba (b), 2009). Ils se caractérisent par rapport aux autres fruits par leur pH élevé (pH = 5,0-6,6) (Feuganget al. 2006). Les teneurs en matière sèche, en acides titrables, en graisses et en protéines du fruit diminuent jusqu'à la maturation alors que celles des sucres solubles augmentent. La fermeté du fruit a aussi tendance à diminuer (Arba (b), 2009).

Les fruits du cactus *Opuntia* sont destinés principalement à la consommation humaine sous différentes formes : fraîches, séchées, confits, ou congelées (Barbera et coll. 1992). Elles peuvent être également valorisées en d'autres produits agro-alimentaires par des techniques de transformation :

- **Fabrication de la confiture** : En Arabie saoudite, Sawaya et coll. (1983) ont réalisé des essais sur la fabrication de la confiture à base de pulpe de figue de barbarie avec incorporation de pulpe de dattes largement représenté dans ce pays. Au Maroc également, des essais de transformation de fruits en confiture sont en cours de réalisation par les ONG du sud qui font l'exposition de leurs produits dans des manifestations internationales.

- **Production de jus de fruit** : La première étude sur la fabrication du jus de fruit d'*Opuntia ficus-indica* (Epinosa et coll., 1973) a montré des difficultés rencontrées au cours de la conservation malgré l'addition du jus de citron. D'autres études ont suivi pour apporter des solutions (Saenz, 1995).
- **Production des boissons alcoolisées** : La fabrication des boissons alcoolisées à base des produits du cactus constitue une voie de valorisation potentielle des figues de barbarie connue depuis des décennies. Un travail axé sur la production des boissons alcoolisées à partir du fruit de différentes variétés de genre *Opuntia* a été réalisé par Saenz (1995).
- **Extraction des colorants alimentaires naturels** : Les colorants synthétiques sont capables d'induire des phénomènes d'intolérance qui sont de plus en plus fréquents. C'est la raison pour laquelle les industriels sont à la recherche de colorants variés naturels qui vont du jaune à l'orange et même au violet. Le jus de pulpe est suggéré être une bonne source des édulcorants et des colorants naturels (Stintzing et coll., 2001; Castellar et coll., 2003; Saenz et coll., 1998; Turker et coll., 2001). Le fruit de cactus représente une alternative à la betterave rouge pour les colorants alimentaires : elle ne montre ni l'effet sensoriel négatif ni des taux élevés de nitrate et offre en plus une large gamme de couleur. Les préparations de colorants à partir du fruit de cactus seront très appropriées pour les produits alimentaires à faible teneur en acide tels que la crème glacée et le yaourth (Stintzing et coll., 2004). Elles peuvent également être utilisées dans les domaines pharmaceutiques et cosmétiques (Piga, 2004)

Les fruits de cactus non commercialisés pour la consommation humaine (rebuts), étant riches en éléments nutritifs peuvent être utilisés dans l'alimentation animale directement ou après stabilisation par des procédés biotechnologiques (Salmaoui, 2006).

VII.2.2. Utilisation des raquettes

Les raquettes sont utilisées aussi bien en alimentation animale qu'humaine. Elles sont de même utilisées pour la production des colorants par les cochenilles et pourraient

être exploitées pour l'extraction du mucilage à des fins industrielles alimentaires, médicinales ou cosmétiques.

VII.2.2.1. Alimentation animale

La production du fourrage pour le bétail représente la deuxième importance économique du cactus dans le monde (Arba 2009). Le cactus est utilisé depuis longtemps dans l'alimentation du bétail des zones arides et sa production dans ces zones est plus rentable que celle de certaines autres espèces fourragères comme le maïs et le sorgho (Russel, 1986). Les raquettes du cactus sont appréciées par le bétail car elles sont riches en eau, en fibres, en protéines et en éléments minéraux (Nefzaoui et Ben Salem, 2000; Le Houérou, 2002). Leur consommation permet d'améliorer la saveur du lait et la couleur du beurre (Russel et Felker, 1987). En comparaison avec d'autres éléments fourragers, la valeur énergétique des raquettes est proche de celle de la luzerne avec 0,12 UF (Unité Fourragère) (Arba (a),2007).

VII.2.2.2. Production maraichère

Les raquettes sont utilisées pour la préparation de conserve de légumes, susceptibles d'être consommés selon les besoins à l'instar de la conserve d'haricot vert, elle se caractérise par un goût et une qualité particuliers (Boujnah M., 2000).

Les jeunes pousses d'opuntia appelées Nopalitos, sont consommées comme légume au Mexique et dans le sud des États-Unis. Ils sont riches en calcium et en vitamine C et leur valeur nutritive est proche de celle de la laitue et des épinards (Moammed-Yasser, 1996; Saenz, 2002). Ils sont conseillés pour les diabètes et peut réduire le taux du cholestérol dans le sang (Fernandez et coll., 1990; Frati et coll., 1988).

VII.2.2.3. Source de mucilage

La famille des cactacées est caractérisée par sa production de mucilage. Le mucilage est un hydrate de carbone complexe, faisant partie de la fibre diététique. Pour ceci, c'est un composant avec d'excellentes perspectives comme additif non seulement

pour l'industrie alimentaire, mais également pour d'autres usages industriels médical et cosmétique (Saenz et coll., 2004).

VII.2.2.4. Production de colorant

En Afrique du sud et au Mexique, l'élevage des cochenilles sur l'Opuntia sous tunnels est utilisé pour la production d'une teinte rouge, le carmin, produit par les femelles qui prolifèrent sur des raquettes saines, en prélevant des substances nutritives du phloème. Cette teinte est très demandée en industries alimentaire, médicinale et cosmétique comme colorant naturel (Lambdin et coll. 2002).

VII.2.3. Utilisation des fleurs

Les fleurs de cactus constituent une source nutritive très appréciée par les abeilles, d'où la possibilité de développer l'apiculture en parallèle. Dans la région du sud, l'apiculture dépend essentiellement de la culture du figuier de barbarie. Avec un calendrier apicole qui dure sept mois (mars-septembre), l'activité des abeilles a lieu sur les fleurs de l'*opuntia ficus-indica* pendant trois mois (avril-juin). Les rendements des ruches dans la région sont de 1 à 4 litres.

Les fleurs sont aussi utilisées à des fins médicinales. En effet, les capsules de corolles des fleurs séchées sont aussi utilisées comme remède du dysfonctionnement de la prostate, et aussi comme régulant diurétique (Pimienta Barrios et coll., 1993). Le thé aux fleurs des opuntias est utilisé en Silice comme remède aux maux de reins (Meyer et McLaughlin, 1981). Le bouillit des fleurs séchées des opuntias est utilisé en pharmacopée traditionnelle au Maroc comme remède aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil.

VII.2.4. Valorisation des sous-produits

Les graines et les écorces du fruit de barbarie considérées comme des sous-produits issus des industries transformatrices des pulpes de fruit de cactus peuvent être valorisées dans les industries agro-alimentaires ou directement dans l'alimentation animale.

VII.2.4.1. Valorisation des graines

Les graines du fruit de cactus sont de très petites tailles, dures et rigides et très abondantes dans la pulpe. Leur présence réduit l'acceptabilité du fruit par les consommateurs en particulier ceux qui ne sont pas habitués à ce genre de fruits. Ces graines renferment en plus d'autres éléments nutritifs de l'huile connue par sa composition spéciale en acides gras.

C'est pour cette raison que depuis des décennies, le figuier de barbarie est utilisé par les femmes berbères et indiennes du continent américain pour ses vertus cosmétiques. Les femmes berbères utilisaient l'huile pour cicatriser et pour protéger leur peau du vent brûlant du désert. L'huile essentielle des graines des fruits du cactus est riche en acides gras poly-insaturés, en stérols et en vitamines. Elle est utilisée comme antiride naturel et pour la fabrication des crèmes dermiques antirides (Ennouri et coll., 2005; Coskuner et Tekin, 2003). L'huile essentielle des graines est actuellement extraite et commercialisée par des ONG et des petites sociétés privées dans certaines régions du Maroc.

VII.2.4.2. Peaux ou écorces de fruits

Les utilisations très diverses de la pulpe de figue de barbarie entraîne d'énormes pertes en matière des écorces. En effet, la possibilité de valorisation industrielle de cette composante de fruit est essentielle de point de vue économique aussi bien qu'écologique. En effet, des études de recherche ont porté sur l'extraction des pectines à partir de ces pelures. Les travaux de Forni et al. (1994) ont porté sur l'étude des caractéristiques des pectines extraites de peau de fruit de cactus, et l'évaluation des possibilités d'exploitation de cette matière comme source de pectines commerciales.

Ces pelures, étant riches en éléments nutritifs, présente un ingrédient important dans la fabrication des aliments de bétail. Cependant leur composition favorable pour la prolifération microbienne, oblige sa stabilisation par séchage ou par des procédés biotechnologiques (Salmaoui, 2006)

Conclusion

Le figuier de barbarie est une plante d'origine Mexique. Sa répartition géographique est actuellement très large. Il occupe une superficie importante au Maroc et sa culture se développe de plus en plus. Les cladodes et les fruits des *Opuntia* présentent une source de plusieurs composants nutritionnels. Les cladodes sont riches en pectines, mucilage et minéraux, alors que les fruits sont une bonne source d'acides aminés, de vitamines et de bétalaines. Quant aux graines, elles sont plus riches en polysaccharides (Habibi et coll., 2005), en protéines et en huile. Leur teneur en éléments minéraux est faible.

Il est l'exemple typique d'espèces parfaitement convenable pour la mise en valeur des zones arides et semi-arides. La production de fruits comestibles et de fourrage pour le bétail représente également la première importance économique de cette espèce au Maroc. En effet, les fruits étant riches en acides aminés, en sucres, en vitamines et en bétalaines, ils sont consommés frais, séchés, congelés, ou transformés pour produire de la confiture, du jus, des marmelades et des colorants. Les raquettes, en plus de leur utilisation en tant que fourrage pour les animaux et comme légume pour les humains, peuvent être valorisées pour produire le mucilage et la poudre nopal à des fins alimentaires, médicinales et cosmétiques. Les sous-produits issus de la transformation des fruits de cactus consistent principalement en les graines et les pelures. Ces dernières peuvent être utilisées pour l'extraction des pectines ou en alimentation animale de façon directe ou après stabilisation par séchage ou ensilage. Quant aux graines, l'huile qu'elles renferment est d'une haute qualité et utilisée dans les produits cosmétiques, d'où l'intérêt de son extraction.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arba M., Ben Ismail M. C., Mokhtari M., 2002.** The cactus pear (*Opuntia* spp.) in Morocco: Main species and cultivar characterization. *Acta Horticulturae*, 581, 103-109.
- Arba M., 2006.** Dellahia » a cactus pear cultivar from the Mediterranean coast of Northern Morocco. *Acta Horticulturae*, 728, 37-41.
- Arba M. (a), 2009.** Le cactus opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. www.vulgarisation.net, 215-223.
- Arba M. (b), 2009.** Nouveaux aliments pour les ruminants à base de fruit de cactus. *Bulletin mensuel d'information et de liaison, Transfert de Technologie en Agriculture*, N 176.
- Askar A. et El-Samahy S. K., 1981.** Chemical composition of prickly pear fruits. *Dt Lebensem Rdsch*, 77, 279-281.
- Barbera G., Carimi F., Ingelese P., 1992.** Past and role of the Indian-fig prickly pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany*. Pp 10-20.
- Barbera G., 1995.** History Economic and Agro-ecological importance. In: Barbera G., Ingelese P. et Pimienta-Barrios G. Agro-ecology Cultivation and uses of Cactus Pear. *FAO Plant Production paper*, 132, 1-8.
- Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L., 2002.** Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.). Effects on intake, digestion and sheep growth, *J. Agric. Sci. Camb*, 85-92.
- Boujnah M., 2000.** Résumé de recherches sur les utilisations du cactus dans l'alimentation. *Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El Kelaa Des Sraghna*.
- Breithaupt D. E. et Bamedi A., 2001.** Carotenoid esters in vegetables and fruits: a screening with emphasis on β - cryptoxanthin esters. *J agric food Chem*, 49, 2064-2070.
- Butera D., Tresorerie L., Di Gaudio F., Bongiorno A., Allegra M., Pintaudi A. M., Kohen R. et Livrea M. A., 2002.** Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *J Agric Food Chem*, 50, 6895-6901.
- Cateller R., Obon J. M., Alacid M et Fernandez-Lopez J. A., 2003.** Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 2772-2776.
- Cheftel J. C. et Cheftel H., 1983.** Frutta e verdure. In *Biocemica e tecnologia degli alimenti*. Eds. Cheftel JC, Cheftel H. Edagricole, Bologna, Italy, 147-240
- Coskuner Y. et Tekin A., 2003.** Seed composition of prickly pear fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 846-849.
- Ennouri M., Evelyne B., Laurence M. et Hammadi A., 2005.** Fatty acid composition and rheological behavior of prickly pear seed oils. *Food Chemistry*, 93, 431-437.

- Epinosa A., Borrocal A., Jara M., Zorilla G., Zanabria G., Zanabria P, Medina T.J., 1973.** Quelques propriétés et essais préliminaires de conservation des fruits et de jus de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*), *Fruits*, 28 : 285-289.
- Felker P., Soulier C., Leguizamon G. et Ochoa J., 2002.** A comparison of the fruit parameters of 12 *Opuntia* clones grown in Argentina and the United States. *J. Arid Environ.* 52, 361-370.
- Felker P., Rodriguez S. del C., Casoliba R.M., Filippini R., Medina D. et Zapata R., 2005.** Comparison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *J. Aid Environ.*, 60, 405-422.
- Fernandez M. L., Trejo A., McNamara D. J., 1990.** Pectin isolated from Prickly pear (*Opuntia spp.*) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *J Nutr*, 1283-1290.
- Feugang J. M., Konarski P., Zou D., Stintzing F. C. et Zou C., 2006.** Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11, 2574-2589.
- Forni E., Penci M. et Polesello A. ,1994.** A preliminary characterization of some pectins from quince fruit (*cydonia oblonga mill*) and prickly pear (*Opuntia Ficus indica*) peel. Printed in great Britian, *carbohydrate polymers*, 23, pp : 231-234.
- Frati A. C., Gordillo B. E., Altamirano P. et Ariza C. R., 1988.** Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in non-insulin-dependent diabetes. *Diabetes Care*, 11, 63-66.
- Gibson A. C., Nobel P., 1986.** The cactus primer. *Harvard University Press Cambridge*, USA, P 286
- Gurrieri S., Miceli L., Lanza C. M., Tomaselli F., Bonomo R. P. et Rizzarelli E., 2000.** Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *J Agric Food Chem*, 48, 5424-5431.
- Habibi Y., Mahrouz M. et Vignon M. R., 2005 (a).** Arabinan-rich polysaccharides isolated and characterized from the endosperme of the seed of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydr Polymers*, 60, 319-329.
- Habibi Y., 2004 (b).** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructure et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux caractéristiques et modification chimique. Thèse d'Université Joseh Fourier, Grenoble, France et Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- Ibrahim M. A., 1998.** Figue de barbarie, sa culture et sa production. *Alexandrie* : ed. Hezi J. 2-5.
- Kaanane A., 2000.** Techniques de valorisation industrielle des figues de barbarie. *Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El Kelaa Des Sraghna, Maroc*

- Kenney L., 1995.** Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.). *Compte Rendu de la journée d'étude sur la câprier et le cactus*, organisé par la DPA de Marrakech 20 déc., 1995.
- Kenney L., 1998.** Le figuier de barbarie : Importance économique et conduite technique. Bulletin de liaison du programme National de Transfert de Technologie en Agriculture, N 35, Rabat, Maroc.
- Kuti J. O. et Galloway C. M., 1994.** Sugar composition and invertase activity in prickly pear. *J Food Sci*, 59, 387-393.
- Kuti J. O., 2004.** Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chem*, 85, 527-533.
- Lambdin P. L., Aquino G. P., Green J. F., Soto-Hernandez M., 2002.** Synopsis of carmine acid biosynthesis, *Cactus net*, 7, 11-15.
- Lee Y. C., Pyo Y. H., Ahn C. K. et Kim S. H., 2005.** Food functionality of *Opuntia ficus-indica* var. cultivated in Jeju Island. *J Food Sci Nutr*, 10, 103-110.
- Le Houérou H. N., 1996.** The role of cacti (*Opuntia spp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environment*, 33, 135-159.
- Le Houérou H. N., 2002.** Cacti (*Opuntia spp.*) as a fodder crop for marginal land in the Mediterranean Basin. *Acta Horticulturae*, 581, 21-46.
- Lahsasni S., Kouhila M., Mahrouz M., Jaouhari J.T., 2004.** Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of Food Engineering*, 173-179
- Meyer N. B. et McLaughlin J. B., 1981.** Economic uses of *Opuntia*. *Cactus and Succulent Journal*, 53, 107-112.
- Mohammed-Yassen Y., Barringer S. A., Slittstoesse W. E., 1996.** *J. Arid. Environ.*, 32 (3), 347-353.
- Monjauze A., Le Houérou H.N., 1965.** Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole nord-africaine. *Bull. Eco. Nat. Sup. Agr. de Tunis*, 8-9.
- Mulas M., Mulas G., 2004.** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short an Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP). *Université des études de SASSAR*, P112.
- Neffar S., 2012.** Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas du Souk-ahras et Tébessa. Thèse de Doctorat. Université de Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- Nefzaoui A. et Ben Salem H., 2000.** *Opuntia* : A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the Wana region. Cactusnet FZAO International Cooperation Network on Cactus Pear News Letter, 2-24.
- Nerd A., 1991.** In: **Habibi Y., 2004.** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie, les polysoccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Faculté Sciences et

Géographie (Grenoble I) et université Cadi Ayyad. Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc.

Nerd A. et Mizrahi Y., 1997. Reproductive Biology of cacti. *Horticultural Review*, 18, 321-346.

Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Simons A., 2009. Agroforestry Database : a tree reference and selection guide version 4.0

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

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

Ramadan M. F. et Morsel J. T., 2003 (a). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chem*, 82, 339-345.

Ramadan M. F. et Morsel J. T., 2003(b). Recovered lipids from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chem*, 83, 447-456.

Reyes-Aguero J.A., Aguirre J.R., Valiente-Banuet A., 2006. Reproductive biology of *Opuntia* : A review. *Journal of Arid Environments*, 549-585.

Russel C. E., 1986. Cactus, ecology and range management during drought. Proceeding of the symposium on livestock and wild life management during drought. *Caesar Kleberg wildlife researches institute, Univ. Kingsville, Texas*, 59-69.

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

Saenz C., 1985. The prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) a cultivar with prospects. *Alimentos*, 10, 47-49.

Saenz A., 1995. Food Manufacture and by-products. In: Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. Eds: Barbera G., Inglese P., Pimienta-Barrios E., *FAO Plant Product and Protection Paper*, Rome, 132, 137-143.

Saenz A. M., Estevez E., Sepulveda E. et Mecklenburg P., 1998. Cactus pear fruit : A new source for a natural sweetener. *Plant Foods Human Nutr.*, 52, 141-149.

Saenz C., 2002. Cactus pear fruit and cladodes: A source of functional components for food. *Acta Horticulturae*, 581, 253-263.

Saenz C., Sepulveda E., Matsuhira B., 2004. *Opuntia* spp. Mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275-290.

Salmaoui S., 2006. Contribution à la valorisation des pelures de figues de barbarie. *Troisième colloque nationale sur le cactus, Benguerir, Maroc*.

Sawaya W. N., Khatchadourian H. A., Safi W. M. et Al-Hammad H. M., 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. *J Food technol*, 18, 183-193.

Sepulveda E. et Saenz C., 1990. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp. *Revista de Acroquímica y Tecnología de Alimentos*, 30, 551-555.

Scheinvar L., 1995. Taxonomy of utilized *Opuntias*. Agro-ecology, Cultivation and uses of cactus pear. 132. FAO, Rome,

Schmidt-Hebbel H., Pennacchiotti I., Masson L. et Mella M. A., 1990. Tabla de composición química de alimentos chilenos, Universidad de Chile, facultad de Ciencias químicas y Farmacéuticas, Santiago.

Sharma S. B., Jha A. B., Dubey R. S., Pessarakli M., 2012. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*, 1-26.

Sheinvar L., 1995. Taxonomy of utilized *Opuntias*. Agro ecology, cultivation and uses of cactus pear. *FAO plant production and protection*, 132, 20-27.

Stintzing F. C., Schierber A. et Carle R., 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res Technol*, 212, 396-407.

Stintzing F. C. et Carle R., 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Sci. Technol.*, 15, 1938.

Stintzing F. C. (a) et Carle R., 2005. Cactus stems (*Opuntia spp.*) A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res*, 49, 175-194.

Stintzing F. C. (b), Herbach K. M., Mosshammer M. R., Carle R., Yi W. G., Sellappan S., Akoh C. C., Bunch R., et Felker P., 2005 (b). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia spp.*) clones. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 442-451.

Tan C. P. et Che Man Y. B., 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils : Comparison of thermal properties and chemical composition. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 77, 143-155.

Tresorerie L. (a), Fazzari M., Allegra M. et Livrea M. A., 2005. Biothiols, taurine, and lipid-soluble antioxidants in the edible pulp of Sicilian cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits and changes of bioactive juice components upon industrial processing. *J. Agric. Food. Chem*, 53, 7851-7855.

Tresorerie L. (b), Butera D., Allegra M., Fazzari M. et Livrea M. A., 2005. Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 1266-1270.

Turker N., Coskuner Y., Ekiz-Hi Aksay S. et Karabata E., 2001. The effect of fermentation on the thermostability of the yellow-orange pigments extracted from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Eur. Food. Res. Technol.*, 212, 213-216

Wallali L., 1997. Le figuier de barbarie espèce fruitière secondaire cultivée au Maroc. *Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture N 35 CNTTA, Rabat.*

ETUDE EXPERIMENTALE



Research Article



Effect of two Extraction Methods and Harvest Period and Performance there Statement of Fatty Oils of Figs Pear Seed

Maria MOUDEN¹, Mohammed BOUJNAH², Souad SALMAOUI⁴, Said ZANTAR³, Allal DOUIRA^{1*}

¹ Botany Laboratory, Biotechnology and Plant Protection , Department of Biology, Faculty of Science , PO Box 133, University Ibn Tofail, 14000 Kénitra, Morocco

² Technology Laboratory Food Regional Center for Agricultural Research INRA Rabat, Morocco

³ Technology Laboratory Food Regional Center for Agricultural Research INRA Tanger, Morocco

⁴ Food Technology Laboratory University Sultan Moulay Slimane, 23000 Beni Mellal

*Corresponding Author E-mail: douiraallal@hotmail.com

Received: 12.01.2016 | Revised: 23.01.2016 | Accepted: 30.01.2016

ABSTRACT

The fatty acid composition and physico-chemical characteristics of the seeds lipid fraction of two Opuntia ficus indica (Issa and Moussa) varieties in southern Morocco from two solvent extraction methods and cold, were studied during the maturation period. Solvent extraction is more profitable (from 7.89 to 1.86%) than cold mechanical extraction (3.47 to 8.08%). Performance is optimal for the end of July 'Isa' and the end of October for 'Musa'. It turned out that the oil seeds of O. ficus indica is rich in unsaturated fatty acid (89.86%). Linoleic acid is the most dominant (64.13%), followed by oleic acid (25.73%), palmitic acid (14.6%) and stearic acid (10.63%). Linoleic acids are saturated and become oleic and stearic towards the end of the maturation period. The two methods of extraction, solvent and cold have different effects on oil yield but no remarkable difference was observed between the effects of the two methods on fatty acid composition of two cultivars Opuntia ficus indica oils.

Key words: *Opuntia ficus indica, lipid fraction seeds, extraction methods, maturation period, fatty acid.*

INTRODUCTION

In ancient times, it knows that the other therapeutic application of plants and the use of their juices, it's what made say without doubt that botanical evidence that God has created, in each country, the most necessary plants to humans and animals in the same country³.

The various known properties of plants are related to the great source of complex chemical molecules they represent and operated by humans in the food, cosmetic, medicinal and pharmaceutical⁴. These molecules are stored in oils that are found in different parts of the plant: the fruit, leaves, pulp, roots and seeds.

The prickly pear is one of the plants that nothing is to throw. Whether it residues snowshoes or fruit, each part of the plant is an excellent fertilizer³.

Prickly pear seeds are 10-15% of the edible pulp and are usually discarded as waste after extraction of the pulp¹⁷. They are a relatively untapped source of the lipid fraction that is 7 to 15% by weight of the whole seed and is characterized by a high degree of unsaturation wherein the linoleic acid is the main fatty acid in the order of 56, 1 to 77%^{14,19,20}. This acid is said to be essential because it can not be synthesized by the body and must be supplied in the diet. In addition, oleic acid, unsaturated fatty acid, has an effect particularly interesting in the regulation of cholesterol and other cosmetic virtues, medicinal and pharmaceutical^{7,8}.

The unsaturated oil of prickly pear seeds depends on the quantity and quality of several factors. The harvest period or maturation and geographic region are among the determinants⁷. The composition of the seed oil has been studied^{12,13,18,19} while the operating Technology of this oil is still limited^{5,10}.

In this study, we compared the effect of two extraction of oils of prickly pear seeds methods (Musa and Issa) Ait Baamrane Performance and studied the influence of each method on the physicochemical characteristics and the fatty acid composition of the oil in question, depending on the date of collection.

I. MATERIALS AND METHODS

Seeds were collected from fruits of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. two varieties harvested in the region of Ait Baamrane in 2009. Issa variety, early, was harvested every ten days from early July to late August. The variety Moussa, late, was picked

every ten days from September to October. The fruits were harvested in the cooperative Tighmarte region of Ait Baamrane, whose main activity is the extraction and upgrading of the cactus. The fruits were picked and placed in plastic crates. For each variety, fruit, carefully selected, were collected every ten days for their maturation period.

Fruit selection is based on the fruit weight which is not the same for both varieties. For variety Aissa, weighing between 90 and 100 g, while the weight of the Musa variety varies from 95 to 120 g. Next, the fruits are washed in running water and dried in air and protected from light. The fruits were then peeled and the grains are separated from the pulp using a cooking manual grinder, the grains thus separated and washed with water were dried in an oven in the dark at 35 °C.

These operations were carried out in three repetitions. For a total of 75 kg collected on the same date and divided into 3 quantities of 25 kg each, we completed the grinding of dried fruit. Thus the grain stage, we obtained for the three amounts, on average 500 g.

The oil was extracted from 500 g of seeds of each sample corresponding to a period of harvest. Two extraction methods have been used:

- Solvent Extraction: The seeds were crushed in a grain mill. The oil was extracted in a soxhlet for 7 hours with hexane. After removing the solvent in a rotary evaporator, the oil recovered was weighed and stored at -20 ° C.
- Extraction by cold pressing: screw press IBG Monforts Oekotec was used. The recovered oil was decanted, weighed and then stored at -20 ° C.

Acid values, saponification, peroxides and iodine were defined according to the AFNOR NF T60-204 standard NF T60-206, NF T60-220 and T60-203 AFNOR NF, 1981) in ISO 3961. The profile of the oils of fatty acids was determined by gas chromatography; fatty acids are saponified with a methanolic KOH solution and then esterified with a solution of BF₃ in excess methanol. The fatty acid esters were then extracted by hexane and analyzed by gas chromatography (Varian CP3800). The

column used is fused silica column capillary 100 m long and 0.2 μ m internal diameter. The device has the injector type Varian 1177 and a FID detector. The temperature is maintained at 50 ° C for 2 minutes to be then increased by 5 ° C / min to 180 ° C (ISO 5509, 1978 (F), AFNOR, 1995). The standard used for the identification is C4-C24 FAME mix (Sigma-Aldrich. Supelco).

II. RESULTS AND DISCUSSION

Oil yields seeds of *Opuntia ficus indica* from extraction by cold pressing are considerably lower than those obtained by solvent extraction (Table 1).

The seeds of two Prickly Pear varieties (*Opuntia ficus indica*) in the region of Ait Baamrane in southern Morocco, harvested at different maturation periods, gave the best yield of oil by solvent extraction (7.89 - 11.86%) than by cold mechanical extraction (3.47 to 8.08%). The yield is optimal to late July for 'Issa' and late October for 'Musa'. The yield of oil from the seeds of *Opuntia ficus indica* was approximately 13.6%¹⁹. Other deferred seed oil contents were first reported by source of prickly 6.96% in Turkey⁷, 9.88% in Germany in Berlin¹⁵, 10.43% in Egypt¹³, 10.90% in Tunisia in the Sfax region¹⁵, 10.43% in Egypt¹³, 10.90% in Tunisia in the Sfax region⁸ and 11.75% in the Tunis region¹². This study reveals oil content of around 11.86%. These differences may be related to geographic or genetic conditions because the oil content of the crop varies among cultivars, soil and climatic conditions of the region⁶.

The different physicochemical indices of oil *Opuntia ficus indica* are shown in Table 2. The oil extracted from the seeds of both cultivars, from the two types of extraction, presented a very low acid value, which proves the purity and stability of these oils. The peroxide value is of the order of 1.43 for oil *Opuntia ficus indica*, from cold pressure extraction, and 1.84 for the following solvent extraction. These peroxides index values are less than 10 meq O₂ / kg oil which characterize most conventional oils⁹. Indeed, lower peroxide index values 10 mEq O₂ / kg oil are generally regarded as indicating an acceptable level of oxidation^{16,23}.

Table 1: The percentage of oil obtained after Solvent Extraction and Extraction by cold pressing (harvested in 2009)

Cultivar	Date of harvest	Cold pressing	Solvent
'Issa'	10/07	7.33 ± 0.03	10.80 ± 0.04
	20/07	8.08 ± 0.02	11.86 ± 0.02
	30/07	6.86 ± 0.04	11.14 ± 0.03
	10/08	5.826 ± 0.05	10.24 ± 0.05
	20/08	5.86 ± 0.05	10.04 ± 0.06
	30/08	5.33 ± 0.06	9.80 ± 0.07
'Moussa'	10/09	3.47 ± 0.07	7.95 ± 0.03
	20/09	4.85 ± 0.05	7.92 ± 0.03
	30/09	4.23 ± 0.06	7.89 ± 0.03
	10/10	5.90 ± 0.02	7.79 ± 0.04
	20/10	5.02 ± 0.04	9.04 ± 0.03
	30/10	5.54 ± 0.03	9.64 ± 0.02

Results are expressed as mean ± standard deviation

Table 2 : Physico-chemical index of *Opuntia ficus indica* oil

Indices	Solvent		Cold pressing	
	Cultivar Issa	Cultivar Moussa	Cultivar Issa	Cultivar Moussa
Indice d'iode (g d'I2/100 g d'huile)	129.33 ± 4.67	119.03 ± 4.77	113.77 ± 2.65	108.47 ± 2.65
Indice d'acidité	0.011 ± 0.006	0.0074 ± 0.006	0.01 ± 0.002	0.007 ± 0.002
Indice de saponification (mg de KOH/g d'huile)	196.38 ± 0.001	196.38 ± 0.001	209.47 ± 26.18	209.33 ± 25.89
Indice de peroxyde (meq O2/kg d'huile)	1.84 ± 0.01	1.84 ± 0.01	1.43 ± 0.01	1.43 ± 0.01
Indice de réfraction (20 °C)	1.46 ± 0.001	1.46 ± 0.001	1.46 ± 0.001	1.46 ± 0.001

Results are expressed as mean ± standard deviation

The saponification value, obtained from following solvent extraction oil, is 196.38, while that of cold pressure extraction is of the order 209.47. These values are comparable to the saponification number of the usual oils (FAO, 1981), such as soybean (189-195), peanut (187-196) and cotton (189-198).

For tested cultivars the refractive index is 1.46 for the oil from the two types of extraction. This value is comparable to values reported by Ennouri *et al.*,⁸ and by Karleskind and Wolff¹¹.

The iodine value is in the range of 129.33-119.03 for oil extraction after solvent, and 113.77-108.47) for the following cold pressure extraction, reflecting the high level of unsaturated fatty acids of this oil. GPC chromatography, carried out on the oil samples OFI, from two types of extraction for both cultivars, indicates the existence of three prominent peaks (Table 3 and 4). This is linoleic acid (57.03-64.13%), oleic acid (15.73- 25.73%) and palmitic acid (10.97-14.6%). The first two fatty acids for an average of 89.86% of total fatty acids, indicating that this oil is highly unsaturated.

The amount of linoleic acid in the oil *O. ficus indica* is higher than in most commonly consumed oils such as corn, soybean and cotton seeds and is close to that of safflower oil²¹. In general, the level of unsaturation high seed oil of *O. ficus indica*, particularly the high level of linoleic acid in combination with low linolenic acid which affects the stability of the oil, said the seeds *O. ficus indica* may be an excellent source of oil potential.

The seed oil of *O. ficus indica* was found purely unsaturated (89.86%), this result is similar to those of other authors^{12,19}. The difference in the percentage of fatty acids may be based on the degree of maturity of the fruit. In addition, Ennouri *et al.*⁸ determined a palmitic acid content (9.32%) lower than our result (14.6%) and a high linoleic acid content (70.3%). These results are partly similar to those of Ramadan and Morsel¹⁵ and Coskuner Tekin⁷, Sawaya and Khan¹⁹ and Mannoubi *et al.*¹². The differences in the concentrations of oleic, linoleic and palmitic possibly depend on the degree of maturity of fruits and geographical and temporal factors.

Based on the variation of the percentages of seed oil fatty acids of *Opuntia ficus indica* of both cultivars from the two types of extraction throughout the period of maturation, we found that linoleic acids was converted to oleic and stearic acids. Ripening said top 63.62% for linoleic acid, 6.13% for stearic acid and 15.14% for oleic acid, while the end of maturation was registered a decrease in the percentage of linoleic acid (57.03%) and an increase of the stearic acid (8.84%), and oleic acid (20.32%) (Table 3, Issa cultivar). In parallel, a palmitic acid decreased slightly during the period of maturation, and other amino acids remained nearly constant during this period. These results are in agreement with those of Coskuner and Tekin⁷.

Methods of extraction do not have a pronounced effect on the fatty acid composition of oils extracted or their percentages. GPC chromatography, carried out on the oil samples OFI, from two types of solvent extraction and cold for two cultivars revealed that these samples have the same types of fatty acids and that the percentage of they have undergone a similar pattern with a slight variation for the two types of extraction (Table 2 and 3).

Table 3: Rate (%) of the principal fatty acids by solvent pressing method of *Opuntia ficus indica* oil of both cultivars Issa and Moussa

Varieties	Harvest period	C ₆	C ₁₄	C ₁₆	C _{16:1}	C _{17:1}	C ₁₈	C _{18:1n-9c}	C _{18:2n-7-t}	C _{18:2n-7-c}	C ₂₀	C _{20:1}	C _{20:3n-6}	C _{18:3n-3}	C ₂₁	C _{22:1n-9}	C _{22:6n-3}	C ₂₄
		Issa	10/07	0.03 ±0.02	0.1 ±0.1	12.77 ±0.6	0.39 ±0.06	0.05 ±0.02	6.13 ±0.07	15.14 ±0.16	0.28 ±0.08	63.62 ±0.09	0.37 ±0.05	0.3 ±0.06	0.06 ±0.02	0.02 ±0.01	0.06 ±0.03	0.03 ±0.02
20/07	Nd		0	12.68 ±0.3	0	0	7.9 ±0.2	15.20 ±0.4	Nd	62.72 ±0.14	0.58 ±0.13	0	0.01 ±0.01	0.39 ±0.03	0.02 ±0.02	0.06 ±0.03	0.09 ±0.03	0.01 ±0.01
30/07	0		0	14.19 ±0.12	0.01 ±0.01	0	4.33 ±0.14	16.52 ±0.06	0.12 ±0.02	58.93 ±0.10	Nd	0.36 ±0.12	0.19 ±0.04	0.30 ±0.20	Nd	0.23 ±0.03	0.14 ±0.02	3.91 ±0.07
10/08	0		0.01 ±0.01	11.12 ±0.05	0.02 ±0	0.87 ±0.05	7.46 ±0.04	15.15 ±0.03	1.45 ±0.06	61.34 ±1.07	0	0.37 ±0.03	0.01 ±0.01	0.37 ±0.02	0.02 ±0.02	0.06 ±0.02	1.17 ±0.03	0.07 ±0.03
20/08	0		0.14 ±0.03	11.65 ±0.07	Nd	0.02 ±0.01	6.38 ±0.05	16.81 ±0.09	0.07 ±0.04	61.81 ±0.11	0.01 ±0.01	0.50 ±0.30	0.23 ±0.03	0.38 ±0.05	0.02 ±0.02	0.05 ±0.03	0.01 ±0.01	0.12 ±0.03
30/08	0		0.02 ±0.01	10.97 ±0.07	0.01 ±0.01	0.23 ±0.03	8.84 ±0.07	20.32 ±0.03	0.38 ±0.62	57.03 ±0.08	0	0.51 ±0.09	0.26 ±0.07	0.02 ±0.02	0.01 ±0.01	0.23 ±0.02	0.72 ±0.06	0.06 ±0.02
Moussa	10/09	0.15 ±0.05	Nd	12.87 ±0.12	0.32 ±0.08	0.02 ±0.02	4.27 ±0.07	21.43 ±0.13	0.32 ±0.05	58.6 ±1.5	0.26 ±0.04	0.44 ±0.05	0.33 ±0.04	0.32 ±0.10	0.01 ±0.01	0.35 ±0.07	0.51 ±0.05	0.10 ±0.02
	20/09	0.02 ±0.01	0	12.08 ±0.10	0.68 ±0.04	0.02 ±0.02	9.98 ±0.04	15.60 ±0.38	1.42 ±0.21	58.39 ±0.41	0.23 ±0.08	0.43 ±0.07	0.27 ±0.06	0.27 ±0.03	0.03 ±0.02	0.02 ±0.02	0.41 ±0.04	0.02 ±0.01
	30/09	0.10 ±0.03	0.02 ±0.02	12.27 ±0.36	0.04 ±0.03	0.03 ±0.03	4.48 ±0.18	18.69 ±0.36	0.06 ±0.03	61.87 ±0.15	0.28 ±0.06	0.45 ±0.12	0.33 ±0.09	0.32 ±0.08	0.06 ±0.05	0.30 ±0.08	0.24 ±0.05	0.06 ±0.05
	10/10	0.41 ±0.08	0.02 ±0.02	11.80 ±0.33	0.11 ±0.04	0.09 ±0.06	4.10 ±1.20	20.35 ±0.40	0.08 0.03	60.15 ±0.14	0.27 ±0.03	0.45 ±0.08	0.30 ±0.03	0.40 ±0.20	0.07 ±0.04	0.25 ±0.07	0.27 ±0.08	0.07 ±0.04
	20/10	0.03 ±0.02	0.02 ±0.01	12.83 ±0.98	0.02 ±0.02	0.11 ±0.03	3.97 ±0.05	17.36 ±2.30	1.84 ±0.18	59.00 ±2.40	Nd	0.41 ±0.02	0.2 ±0.1	0.36 ±0.11	0.04 ±0.03	0.17 ±0.07	0 0.05	0.04 ±0.03
	30/10	0.21 ±0.08	0.03 ±0.02	11.59 ±0.32	0.06 ±0.05	0.18 ±0.10	4.24 ±0.42	18.89 ±0.25	2.07 ±0.01	57.83 ±0.21	0.23 ±0.05	0.14 ±0.06	0.22 ±0.06	0.26 ±0.08	0.04 ±0.03	0.22 ±0.07	0.14 ±0.05	0.05 ±0.04

Results are expressed as mean ± standard deviation. Nd : Not detected

Table 4: Rate (%) of the principal fatty acids by cold pressing method of *Opuntia ficus indica* oil of two cultivars Issa et Moussa

Varities	Harvest period	C ₆	C ₁₄	C ₁₆	C _{16.1}	C _{17.1}	C ₁₈	C _{18.1n.9c}	C _{18.2n.7-t}	C _{18.2n.7-c}	C ₂₀	C _{20.1}	C _{20.3n.6}	C _{18.3n.3}	C ₂₁	C _{22.1n.9}	C _{22.6n.3}	C ₂₄
Issa	10/07	Nd	0.03 ±0.02	6.50 ±1.70	0.74 ±0.36	0.03 ±0.02	3.09 ±0.06	16.27 ±0.26	0.06 ±0.03	61.88 ±0.11	0.00	0.23 ±0.12	0.02 ±0.02	0.3 ±0.05	0.03 ±0.03	0.03 ±0.02	0.09 ±0.02	0.02 ±0.02
	20/07	Nd	0	11.77 ±0.14	0.06 ±0.04	0.03 ±0.03	10.53 ±0.75	14.80 ±0.26	Nd	61.27 ±0.70	0	0.46 ±0.08	0.02 ±0.02	0.47 ±0.23	0.02 ±0.02	0.07 ±0.05	0.02 ±0.02	0.03 ±0.03
	30/07	Nd	Nd	11.48 ±0.55	Nd	Nd	3.83 ±0.15	16.15 ±0.26	0.58 ±0.31	63.58 ±0.04	0.31 ±0.19	0.28 ±0.19	0.24 ±0.09	0.19 ±0.10	Nd	0.12 ±0.02	0.19 ±0.08	0.26 ±0.10
	10/08		0	11.55 ±0.24	0.66 ±0.07	Nd	3.94 ±0.24	15.75 ±0.28	Nd	59.13 ±0.18	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	20/08	Nd	0.03 ±0.03	9.60 ±0.12	0.35 ±0.07	0.25 ±0.13	3.4 ±0.19	17.74 ±0.06	Nd	49.96 ±0.33	0.56 ±0.28	0.61 ±0.31	0.05 ±0.03	0.44 ±0.15	0.17 ±0.02	0.42 ±0.08	0.13 ±0.09	0.03 ±0.02
	30/08	Nd	2.10 ±0.17	10.29 ±0.17	0.11 ±0.03	0.13 ±0.07	4.39 ±0.10	25.73 ±0.35	0.36 ±0.09	56.00 ±0.13	0.26 ±0.07	0.32 ±0.15	0.23 ±0.09	0.26 ±0.08	0.03 ±0.03	0.02 ±0.02	0.54 ±0.17	0.06 ±0.05
Moussa	10/09	0.42 ±0.06	0.09 ±0.06	14.60 ±0.03	0.15 ±0.06	0.05 ±0.04	3.96 ±0.09	17.97 ±0.15	0.13 ±0.09	58.32 ±0.69	0.29 ±0.11	0.40 ±0.14	1.33 ±0.63	0.21 ±0.09	0.06 ±0.02	0.29 ±0.06	0.04 ±0.03	0.54 ±0.15
	20/09	Nd	0.02 ±0.02	12.59 ±0.62	0.02 ±0.02	0.01 ±0.01	4.37 ±0.54	16.23 ±0.41	0.24 ±0.07	64.13 ±0.12	0.27 ±0.09	0.14 ±0.06	0.27 ±0.04	0.28 ±0.09	0.04 ±0.03	0.29 ±0.13	0.64 ±0.19	0.07 ±0.04
	30/09	Nd	0	11.47 ±0.26	0.03 ±0.02	0.02 ±0.02	5.76 ±0.23	17.80 ±0.07	0.22 ±0.12	61.81 ±0.27	0.27 ±0.09	0.41 ±0.12	0.25 ±0.07	0.30 ±0.08	0.03 ±0.02	0.38 ±0.13	0.97 ±0.04	0.08 ±0.07
	10/10	0.01 ±0.01	0	12.80 ±0.07	0.73 ±0.07	0.09 ±0.03	4.95 ±0.12	15.62 ±0.60	0.21 ±0.06	63.15 ±0.19	0.03 ±0.03	0.42 ±0.07	0.31 ±0.09	0.33 ±0.12	0.02 ±0.02	0.06 ±0.02	0.34 ±0.12	0.02 ±0.02
	20/10	0	0	11.76 ±0.17	0	0.03 ±0.02	10.63 ±0.08	14.77 ±0.07	Nd	61.40 ±0.07	0	0.43 ±0.05	0.25 ±0.07	0.26 ±0.11	0.03 ±0.02	0.26 ±0.04	0.01 ±0.01	0
	30/10	Nd	0	10.92 ±0.89	0.04 ±0.04	0.24 ±0.13	4.70 ±1.53	15.37 ±3.52	1.49 ±0.59	57.47 ±5.54	0.29 ±0.09	0.46 ±0.44	0.33 ±0.19	0.07 ±0.02	0.1 ±0.02	0.03 ±0.02	0.02 ±0.02	0.68 ±0.68
	06/11	0	0.04 ±0.03	12.84 ±0.28	0.63 ±0.12	0.15 ±0.07	6.84 ±0.23	12.64 ±0.16	1.71 ±0.34	52.60 ±0.24	Nd	0.63 ±0.25	0	0.03 ±0.03	0.02 ±0.02	0.04 ±0.03	0.04 ±0.04	0.02 ±0.01
	10/11	Nd	0.03 ±0.03	13.23 ±0.18	0	0.37 ±0.23	7.70 ±0.41	13.80 ±0.24	1.64 ±0.09	61.11 ±0.16	0.02 ±0.02	0.40 ±0.12	0.25 ±0.08	0.33 ±0.13	0.03 ±0.03	0.05 ±0.03	0.69 ±0.47	0.02 ±0.01

Les résultats sont exprimés en moyenne ± écart type. Nd : Not detected

CONCLUSION

The use of the seeds for their oil content may not be economically viable, even if the oil appears to be a great source of excellent vegetable oil. But given the high value of linoleic acid and oleic and value of the iodine value, *Opuntia ficus indica* oil is classified as oleic / linoleic oils like olive oil. It has a clear rule on it because of its richness in linoleic acid.

In this work, we tried to quantify the oil content and fatty acid composition of the two varieties of *Opuntia ficus indica*. We found that oil yield is better by solvent extraction (7.89 to 11.86%) than by cold mechanical extraction (3.47 to 8.08%), it is optimal at the end of July 'Isa' and the end of October to Moussa '.

As for the oil composition, it turned out that this is purely unsaturated oil 89.86%. Linoleic acid is the predominant fatty acid, followed by oleic acid, and palmitic acid. Linoleic acid are saturated and are converted into oleic acid and stearic towards the end of the maturation period.

These results argue that the two methods of extraction, solvent and cold affect oil yield. By cons, they have no obvious influence on the fatty acid composition of oils of *Opuntia ficus indica* of both cultivars.

REFERENCES

1. AFNOR (French Standards Association) 1981-1982: Collection of French standards fats, oilseeds, derivatives NF 03-720, NF VO3-903, NF T60-204, NT T 60-223, NF.. T 60-205 and NF T60-203. Paris, defense. 327 p.
2. AFNOR NF EN ISO 5508.1995. Gas phase chromatographic analysis of the methyl esters of fatty acids, AFNOR, 7p.
3. APB (Aloe Plants and Beauty), Schweizer (M.). Dr. Nopal, the doctor of God. Clamecy: Press the new aballery Printing, 1999 81 p.
4. Benabdelkader Tarek T., 2012. Biodiversity, organic activity and terpene biosynthesis of volatile compounds winged lavender, *Lavandula stoechas sensu lato*, a complex of mediterranean species of pharmacological interest. Plant biology. Université Jean Monnet - Saint-Etienne; ENS Kouba (Algiers), higher than normal Kouba (Algiers), 283p.
5. Bockisch, M., 1998. Vegetable fats and oils. In Bockisch M. (Ed Fats and oils handbook (pp 174-344) in Champaign). AOCS Press, 899 p.
6. Breene, W., Lin, S., Hardman, L., Orf, J., Protein and oil from soybeans glad of different geographic locations. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **65(12)**: 1927-1931 (1988).
7. Coskuner, Y., Tekin, A., Monitoring of seed composition of Prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) fruit during maturation period. *J. Sci. Food Agric.*, **83(8)**: 846-849 (2003).
8. Ennouri, Mr., Evelyne, B., Laurence, M. and Hamadi, A., Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., Hamadi, A., Fatty acid composition and rheological behavior of prickly pear seed oil. *Food Chem*, **93**: 431-437 (2005).
9. FAO (Food and agricultural Organization) 1981: Codex Alimentarius Commission. Vegetable fats and oils, Division 11, Abridged Version FAO / WHO. Codex Stan 20-23.
10. Kamel, B.S. and Kakuda, Y., 2000. Fatty acids in fruits and fruit products. In CK Chow (Ed.), Fatty acids in foods and Their Health Implications (2nd ed.) (Pp. 239-270). New York: Marcel Dekker.
11. Karleskind, D., 1992: Manuel fats. Paris, Lavoisier Tec Doc 1992, 1571 p.
12. Nassar, A.G., Chemical composition and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) seeds flour and protein concentrate. *World J. Dairy Food Sci.*, **3(1)**: 11-16 (2008).
13. Pimienta Barrios, X., Prickly pear (*Opuntia* spp.): A valuable fruit crop for semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, **28**: 1-11 (1994).
14. Ramadan, M.F., Morsel, J.T., Recovered lipids from prickly pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill, a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols, *Food Chem*, **83**: 447-456 (2003).
15. Rossel, B., resistance to oxidative rancidity, *Measuring Food. Sci. Technol.*, **4**: 220-225 (1993).
16. Sáenz, C., Processing technologies: alternative year for Cactus pear (*Opuntia* spp.) Fruits and cladodes. *J. Arid Environm*, **46(3)**: 209-225 (2000).

17. Salvo, F., Galati, E.M., Lo Curto, S., Tripodo, M.M., Study on the chemical characterization of lipid composition of *Opuntia ficus indica* L. seed oil. *Riv. Ital. Sost. Grasse*, **79(11)**: 395-398 (2002).
18. Sawaya, W.N., Khan, P., Chemical characterization of prickly pear seed oil, *Opuntia ficus indica*. *J. Food Sci.*, **47**: 2060-2061 (1982).
19. Stintzing, F.C., Schieber, A., Carle, R., Evaluation of color properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur. Food Res. Tech*, **216(4)**: 303-311 (2003).
20. Swern, D., Bailey's industrial oil and fat products. **1**: 352-455 (1982).
21. Valdéz-Cepeda, R., Blanco-Macías, F., Gallegos-C. Vázquez, Ordenación clasificación numérica de nopal tunero mediante atributos de fruto. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. **9(2)**: 81-95 (2003).
22. Yong, Y.O. and Salimon, J., Characteristics of *Elaeagnus oleaginea* Tapos Seed Oil as a New Source of Oilseed. *Journal of Industrial Crops and Products*. **24**: 146-151 (2006).

CONCLUSION

La culture du cactus *Opuntia* est en grande extension au Maroc. C'est une plante qui a l'aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse. La consommation des fruits et la production des cladodes comme fourrage pour le bétail représentent les principales utilisations de cette plante. Des essais de transformation en confiture, en jus, en marmelade,...sont déjà en cours, résultant en des quantités importantes en matière de pelures et de graines

L'étude expérimentale menée sur les deux variétés marocaines du figuier de barbarie Aissa et Moussa montrent que le rendement en huile est optimal fin juillet pour la variété Aissa et fin octobre pour la variété Moussa. Il varie entre 7,89% comme valeur minimale pour la variété Moussa et 11,86%, valeur maximale pour la variété Aissa. Ces valeurs sont comparables aux données bibliographiques (7 à 17,2%). Cette variation importante dans le rendement en huile dépend de plusieurs facteurs à savoir, conditions géographiques et climatiques, variétés, sol, période de récolte ...etc. Par les deux méthodes d'extraction, c'est la variété Aissa qui présente le meilleur rendement en huile. En comparant les deux méthodes d'extraction, on note bien que l'extraction par solvant donne un rendement meilleur dans le cas des deux variétés en comparaison avec l'extraction par pression à froid.

L'analyse physicochimique des huiles issues des deux variétés a révélé : un faible indice d'acidité, un faible indice de peroxyde, un indice de saponification comparable aux autres huiles (soja, arachide et coton), un indice de réfraction comparable aux données bibliographiques et un indice d'iode élevée indiquant la richesse de ces huiles en acides gras insaturés. A l'exception de l'indice d'iode, tous les autres indices sont les mêmes pour les deux variétés Aissa et Moussa. On note également que les indices d'acidité et de réfraction sont les mêmes par les deux méthodes d'extraction. Cependant, les indices de peroxyde et d'iode sont plus élevés pour les deux variétés dans le cas d'extraction par solvant.

Quant à l'analyse chromatographique des huiles des deux variétés, elle révèle qu'elles sont riches en acides gras insaturés (89,86%). L'acide linoléique est le plus dominant (64,13%) suivi par l'acide oléique (25,73%), l'acide palmitique (14,6%) et l'acide stéarique (10,63%). Les acides linoléiques se transforment par saturation en acides oléiques et stéariques à la fin de la maturation. Les deux méthodes d'extraction ont différents effets sur le rendement en huile mais pas de différence notable sur la composition en acides gras pour les deux variétés.

DEUXIEME PARTIE

Valorisation des Grignons d'Olive

INTRODUCTION

Par tout dans le monde, la production animale est en augmentation d'année en année en vue de satisfaire les besoins accrus en produits alimentaires d'origine animale. Cependant, au Maroc comme dans d'autres pays du sud, les ressources alimentaires constituent l'un des facteurs limitant la production animale. Cette situation découle, entre autres raisons, des périodes de sécheresse qui sévissent de manière périodique et dont les répercussions sur l'état du cheptel, toutes catégories confondues, sont souvent d'une gravité de grande envergure.

De plus, la grande partie des ressources alimentaires provient des pâturages naturels. Ces pâturages ont des productivités généralement faibles et des utilisations souvent mal raisonnées. Aussi, s'ils sont susceptibles d'être améliorés ils ne sont pas extensibles, la cause étant la tendance irréversible à occuper les terres arables des cultures vivrières destinées directement à la consommation humaine.

Face à ce manque pressant d'aliments de bétail, l'utilisation des résidus agricoles et agro-industriels offre des solutions attrayantes. De plus. Elle permet de répondre au besoin national en matière de protection de l'environnement et d'encourager une dépollution autonome.

A cet égard nous nous intéressons à un résidu agro-industriel fort abondant dans notre pays. Il s'agit des grignons d'olives qui représentent un énorme potentiel fourrager encore non exploitable dans l'alimentation animale. En effet, cette étude a comme objectifs, d'une part la caractérisation biochimique et microbiologique des grignons d'olives et d'autre part, l'utilisation des techniques biotechnologiques pour la stabilisation et l'amélioration de la valeur alimentaire des grignons d'olives.

Dans l'aperçu bibliographique, l'accent a été mis sur le secteur oléicole national, les sous-produits de la trituration des olives en fonction du système d'extraction, la composition physique et chimique des grignons, les utilisations nationales et autres de ce résidu tout en abordant les contraintes limitant son utilisation directe en alimentation animale.

Dans la partie expérimentale, à l'instar des recherches entreprises dans ce sens, nous avons commencé par la première étape initiale et incontournable qui est celle de la caractérisation biochimique et microbiologique des grignons d'olives. A l'issue des résultats trouvés, nous avons mené un procédé biotechnologique dans le but de stabiliser les grignons d'olives pour leur utilisation en alimentation animale. Cette étude est présentée sous forme de l'article publié.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

L'olivier est une culture typiquement méditerranéenne, le bassin méditerranéen abritant environ 95% des plantations mondiales d'olives. Le Maroc est parmi les principaux pays producteurs, occupant le 6^{ème} rang du patrimoine oléicole à l'échelle mondiale.

L'industrie oléicole engendre, en plus de l'huile comme produit principal, de grandes quantités de sous-produits. Cent kg d'olives produisent en moyenne 35 kg de grignons et 100 litres de margine (Donosa 1987). La valorisation de ces résidus est devenue une nécessité pour éviter une pollution de plus en plus sérieuse, contribuer à l'amélioration de la rentabilité du secteur, combler les déficits fourragers surtout des pays du sud de la Méditerranée.

I. Secteur oléicole national

L'olivier est aujourd'hui cultivé dans toutes les régions du globe se situant entre les latitudes 30 et 45 des deux hémisphères, des Amériques (Californie, Mexique, Brésil, Argentine, Chili), en Australie et jusqu'en Chine, en passant par le Japon et l'Afrique du Sud (Lazzeri, 2009). On compte actuellement de près de 1,5 milliards de pieds plantés sur une surface totale d'environ 11 millions d'hectares à travers le monde (AFIO, 2012), mais le bassin méditerranéen est resté sa terre de prédilection, avec près de 95% des oliveraies mondiales (Lazzeri, 2009). A l'échelle mondiale, le Maroc occupe le 6^{ème} rang mondial du point de vue patrimoine oléicole, se classant après l'Espagne, l'Italie, la Tunisie, la Grèce, la Turquie.

L'olivier est présent au Maroc dans des aires écologiques très différentes (figure 1), allant des zones de montagnes où la pluviométrie atteint 1200 mm/an, aux zones arides et sahariennes où la pluviométrie dépasse rarement 200 mm/an. Les régions oléicoles les plus importantes sont celles situées en zones irriguées (les oliveraies du Haouz, du Tadla de la Moulouya et du Sous Massa...) avec une superficie d'environ 220.000 Ha, soit 37% de la superficie oléicole totale, et en zones de montagnes (Rif, pré-Rif et du Moyen Atlas) s'étalant sur une superficie de 230.300 Ha, soit 38% de la superficie totale. La superficie des zones Bour favorable (Saïs, Gharb et Loukkos) est d'environ 150.000 Ha, soit 25% de la superficie totale (MAPM, 2013).

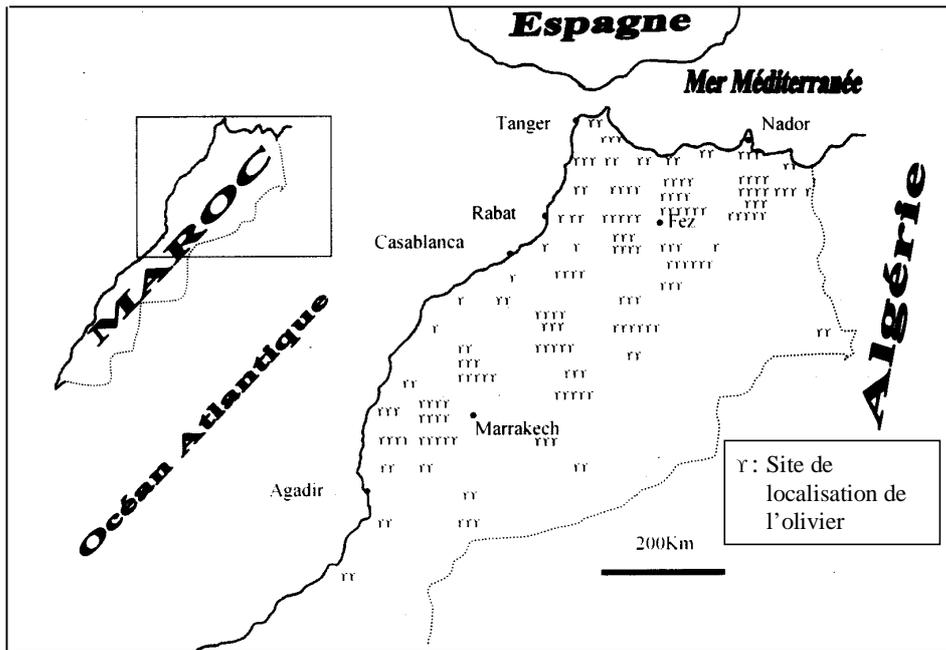


Figure 1 : Répartition Géographique de l'Olivier au Maroc

Au Maroc, le secteur oléicole a une double vocation économique et sociale. La superficie arboricole nationale est en grande partie composée de la culture de l'olivier érigeant ce dernier en tant que principale culture fruitière du pays. Elle intéresse pratiquement tout le territoire national. Ainsi, la filière oléicole participe à hauteur de 5% au PIB agricole et de 15% aux exportations agroalimentaires (MAPM, 2013). L'oléiculture connaît actuellement une grande expansion avec un accroissement important de la superficie consacrée aux oliviers qui est passée de 763 000 ha en 2007/2008 à 933 475 ha en 2012/2013 (MAPM, 2013). Ce mouvement ascendant bénéficie notamment de la mise en œuvre de Plan Maroc Vert qui fixe comme objectif l'atteinte d'1,2 millions d'hectares de superficie plantée d'ici 2020 (MAPM, 2013).

En terme de production, la filière oléicole a connu une nette croissance passant de 765 377 tonnes en 2008 à 1,2 millions de tonnes en 2014 avec un pic de 1,5 millions de tonnes en 2010 (FAOSTAT). Ces oliviers se répartissent entre zones irriguées représentant 39% de la superficie oléicole totale et zones bours soit 61% (MAPM, 2013).

La principale variété cultivée est la *Picholine marocaine*, et constitue plus de 96% de la superficie. Les 4% restants se composent de la *Picholine Languedoc*, de la *Dahbia* et de la *Meslala*, qui sont cultivées en régime irrigué (Haouz, Tadla, El Kelâa) et de quelques variétés espagnoles et

italiennes telles que la *Picual*, la *Manzanilla*, la *Gordal* et la *Frantoio* (MAPM, 2013). La variété *Picholine marocaine* dominant le verger national est une variété à double fin, c'est à dire elle convient aussi bien pour la trituration que pour la production d'olives de table (MAPM, 2013).

La filière oléicole se divise en deux branches d'activités d'importance inégales à savoir : l'huile d'olives et les olives de table. En effet, 75% de la production oléicole nationale sont transformées en huile d'olive tandis que 25% sont destinées à la production d'olives de table. La trituration des olives s'effectue dans des unités industrielles représentant 2% du nombre total des unités, les restes sont les unités semi-industrielles et traditionnelles (Chimi, 2006). Ces unités procurent, en plus de l'huile, des résidus dont la nature et la composition diffèrent selon le système d'extraction utilisée.

II. Sous- produits de la trituration des olives

La technologie d'obtention de l'huile est donc variable et a fait l'objet de nombreuses modifications ces dernières années. Ceci fait que les sous-produits obtenus sont de nature et de valeur assez variables selon le type d'extraction utilisée. Les systèmes d'extraction de l'huile d'olives sont essentiellement de trois types (Chimi, 2006) :

Système discontinu d'extraction par presse (figure 2) : les unités utilisant ce système sont classées selon la pression exercée : unités traditionnelles (maâsras) dont la pression est de l'ordre de 100 kg/cm², unités semi-modernes dont la pression est aux environs de 200 kg/cm² et les unités modernes équipées en super-presses pouvant développer une pression de 400 kg/cm². Les olives qui doivent au préalable être effeuillées et lavées subissent un broyage dans des meules à pierre. La pâte issue est empilée sur les scourtins. L'application de la pression sur la charge des scourtins conduit à deux issus : les grignons bruts et le moût. Ce dernier à son tour subit une opération de décantation ou de centrifugation, permettant de le séparer en huile et margines. Les sous-produits obtenus sont les margines et les grignons.

Système continu d'extraction avec centrifugation à trois phases (figure 3): après effeuillage et lavage, les olives sont broyées généralement dans des moulins métalliques. La pâte obtenue, après malaxage et ajout d'eau chaude, subit une première centrifugation pour séparer les grignons et les huiles plus margines. Ce dernier mélange subit une deuxième centrifugation pour séparer les huiles et les margines (les trois phases sont les grignons, les huiles et les margines). Les sous-produits dans

ce cas sont les grignons à teneur élevée en humidité (45 à 55%) et les margines en quantité considérable due à l'ajout d'eau tiède ce qui accentue le problème de pollution posé par les margines.

Système continu à deux phases figure (figure 4): après effeuillage et lavage, les olives passent au broyage suivi du pétrissage. La pâte obtenue subit une centrifugation permettant de séparer l'huile et les grignons humidifiés par les eaux de végétation provenant de l'olive (les deux phases sont l'huile et les grignons humides). Les grignons obtenus sont caractérisés par leur humidité élevée (60%) (Chimi, 2006), représentent le seul sous produit obtenu par ce système (Zoiopoulos et Vekiari 1995). Le traitement de ces grignons, par séchage ou autre, est nécessaire afin de les stabiliser.

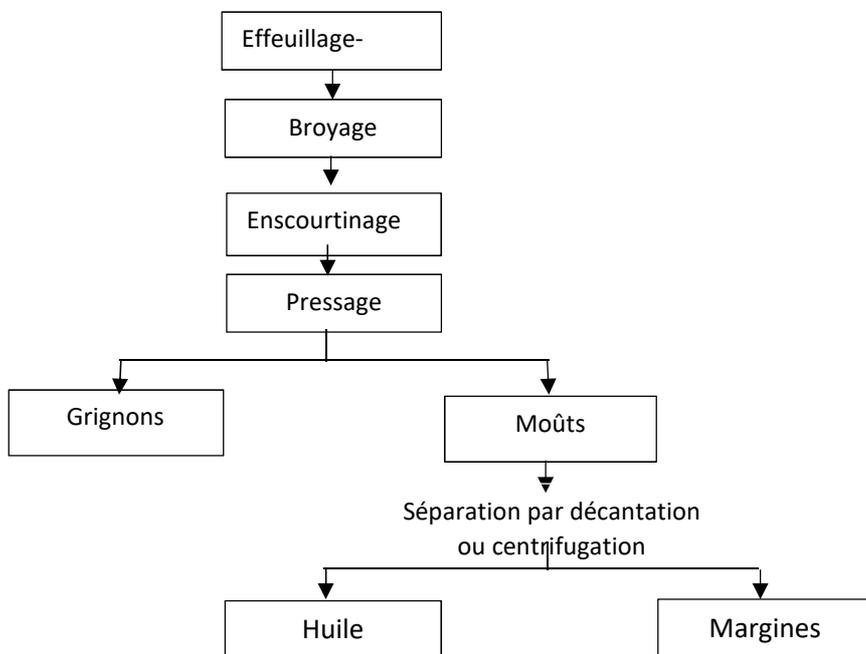


Figure 2 : Système discontinu d'extraction par presse

Source : Chimi, 2006

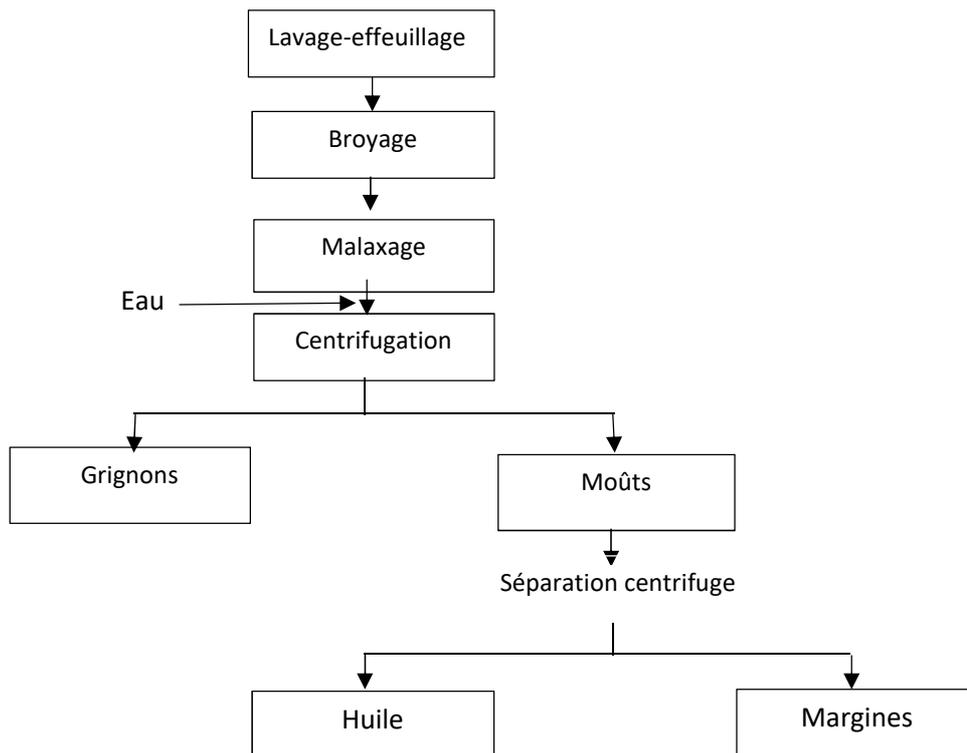


Figure 3 : Système continu d'extraction avec centrifugation à trois phases

Source : Chimi, 2006

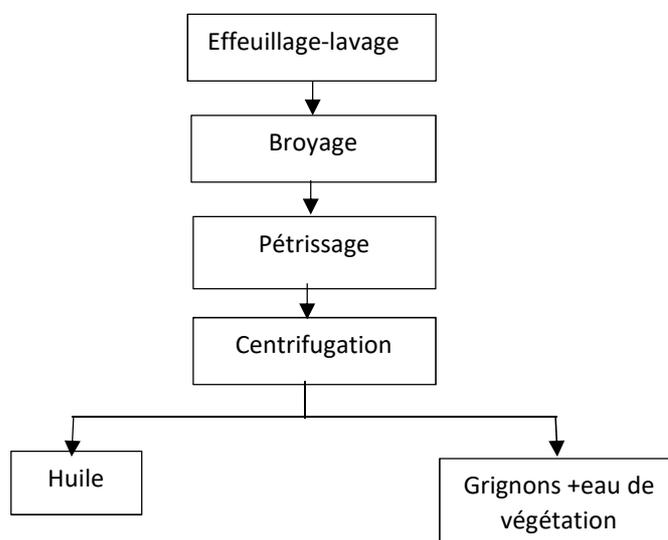


Figure 4 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases

source : Chimi, 2006

III. Grignons d'olive à l'échelle nationale

En adoptant la moyenne de 35 % le pourcentage de grignons bruts par rapport aux olives traitées (Donosa 1987, Nefzaoui 1991, Hadjipanayiotou 1999), on peut estimer la production nationale de grignons bruts, en 2014, à plus de 300.000 tonnes.

Les grignons d'olives produites par les huileries et les mâasras sont utilisés principalement comme combustible au niveau des usines d'extraction de l'huile, les fours, les bains publics, les poteries, les briqueteries ou au niveau de la ferme pour la cuisson des aliments. Rares sont les éleveurs qui les utilisent pour l'alimentation du bétail. Certaines unités de trituration d'olives achètent les grignons non épuisés des mâasras qu'elles retriturent pour en extraire une partie d'huile qu'ils contiennent.

IV. Caractéristiques physiques et chimiques des grignons

La composition physique et chimique des grignons d'olives varie dans de très larges limites, selon la variété, le stade de maturité, les facteurs agro-climatiques et le procédé d'extraction.

IV.1. Composition physique et chimique de l'olive

L'olive est une drupe, elle est constituée en moyenne de 2 à 2,5% d'épicarpe, 71,5 à 80,5% de mésocarpe, 17,3 à 23 % d'endocarpe et 2 à 5,5% d'amandon (figure 5).

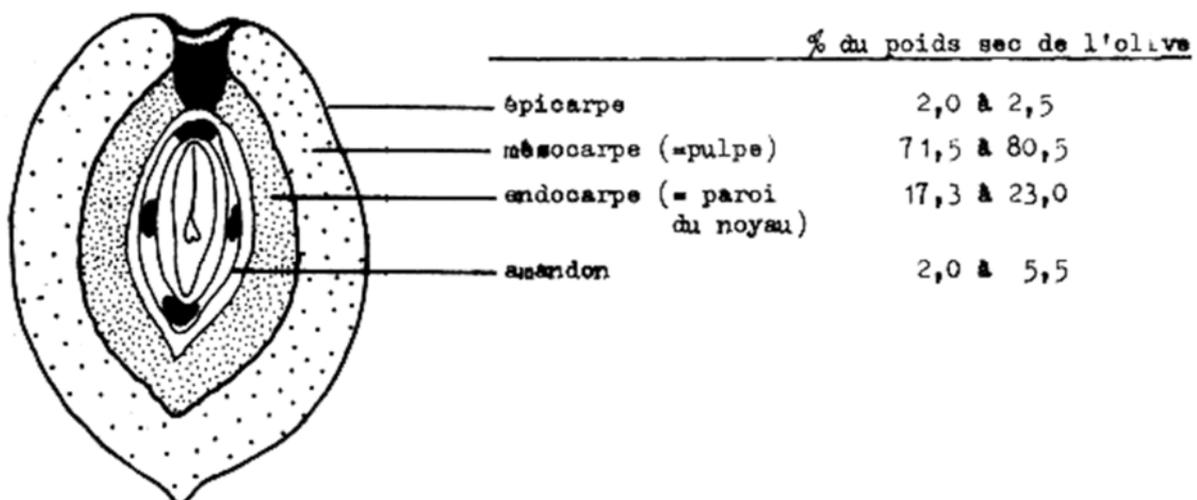


Figure 5 : Composition physique de l'olive en % de la matière sèche

(Maymone et coll. 1950 ; Nefzaoui 1983)

Afin de comprendre plus facilement les variations de composition chimique des différents types de grignons il est utile de rappeler (tableau 1) la composition chimique des différents composants de l'olive.

Tableau 1 : Composition biochimique des composants de l'olive mûre (en % MS)

Partie	Matières azotées totales	Matières grasses	Cellulose brute	Matières minérales	Extractif non azote
Epicarpe	9,8	3,4	2,4	1,6	82,8
Mésocarpe	9,6	51,8	12,0	2,3	24,2
Endocarpe (noyau et amande)	1,2	0,8	74,1	1,2	22,7

Source : Maymone et acool., 1961

Il est clair que la partie la plus riche en huile est le mésocarpe (ou pulpe), et celle plus riche en cellulose brute l'endocarpe (ou noyau).

IV.2. Composition physique des grignons d'olives

Les procédés technologiques modifient les proportions relatives des différents composants des grignons (épicarpe, mésocarpe, endocarpe et amandon). Les grignons bruts obtenus à la sortie des huileries fonctionnant en système "press" ou "super-press" sont constitués en grande partie par les débris des noyaux ou coques ou endocarpes (40 %), de pulpe (mésocarpe + épicarpe) (20%), de l'eau (25 à 30 %) et une quantité résiduelle d'huile (10 %). Les grignons épuisés sont composés principalement de coques (55 %), de pulpe (25 %), une faible quantité d'huile (2 à 4 %) et une quantité réduite d'eau (15 %). Les grignons épuisés tamisés sont constitués essentiellement par la pulpe (80.3 %), une petite proportion de coques (11 %), d'eau (4.5 %) et d'huile (4.2 %) (Nefzaoui et coll. 1985).

IV.3. Composition biochimique des grignons d'olives

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses. L'épuisement par les solvants diminue la teneur en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute (tableau2).

Les cendres

Les teneurs en cendres varient fortement (tableau 2). La teneur en cendre est normalement faible (3 à 5 %). Les teneurs élevées rencontrées sont dues à l'absence de lavage et à la présence des olives ramassées à même le sol (Nefzaoui, 1991). D'autres études ont montré des teneurs en cendres de même ordre : 6.5 % M.S. pour des grignons complètement épuisés (Donosa1987) ; 11 % M.S. pour des grignons épuisés tamisés (Cruces et coll. 1995).

Tableau 2 : Composition biochimique des différents types de grignons en % de la matière sèche

Types de grignons	Brut	Epuisé non tamisé	Tamisé gras	Epuisé tamisé
Matière sèche	81,4 (69,8 - 90,3)	89,0 (86,0 - 95,0)	92,8 (86,0 - 94,0)	89,5 (88,2 - 90,5)
Cendres totales	8,0 (3,1 - 14,77)	7,9 (5,8 - 9,3)	11,0 (10,3 - 25,3)	12,0 (11,0 - 22,3)
Matières azotées totales	6,6 (5,0 - 10,3)	13,6 (12,4 - 16,2)	7,3 (6,8 - 9,0)	10,3 (9,6 - 11,3)
Matière grasse	8,9 (5,3 - 12,6)	3,2 (1,1 - 7,4)	12,0 (6,9 - 15,0)	4,0 (2,0 - 6,5)
Cellulose brute	35,5 (32,0 - 47,5)	40,7 (32,6 - 53,3)	24,2 (12,0 - 33,5)	21,5 (14,5 - 26,3)
Extractif non azote	41,0 (26,7 - 45,0)	34,6 (25,0 - 44,5)	45,5 (34,5 - 50,0)	51,2 (33,1 - 51,9)

Source : Nefzaoui et coll.1984, 1985.

Les fibres

Les teneurs en cellulose brut sont élevées : 32 à 47 % (Nefzaoui 1984, 1985), 44,3 % (Hadjipanayiotou 1994(a)), 40,7 % pour des grignons bruts et 42,5 % pour des grignons épuisés (Ben dhia 1981). Ces teneurs sont réduites par tamisage à des valeurs de 14 à 26 % (tableau 2). L'analyse de la fraction fibreuse permet de constater que les grignons ont des teneurs élevées en constituants pariétaux : NDF : 72 %, ADF : 60 % et ADL : 31 % (Nefzaoui et coll. 1985). Le tamisage réduit la teneur de toutes les fractions " fibreuses " et en particulier la lignine et la cellulose. La fraction pariétale est caractérisée par une forte teneur en lignine qui monte jusqu'à 39 % MS de la pulpe d'olive (Cruces et coll. 1995).

Matières azotées

Les teneurs en matières azotées sont en moyenne de l'ordre de 10 % (tableau 2). Selon les résultats trouvés par Ben Dhia et coll. (1981), cette teneur est de 6,6 % pour les grignons bruts et de 7,9 % pour les grignons épuisés. La teneur en protéines est de 7 à 8,6 % MS des grignons (Donosa 1987, Cruces et coll. 1995). Une grande partie des protéines (80 à 85 %) est liée aux constituants pariétaux (Nefzaoui 1987, Cruces et coll. 1995).

Matières grasses

La teneur en matières grasses est relativement élevée et varie principalement selon le procédé technologique employé. L'épuisement, opération économiquement indispensable permet d'avoir un produit dont la teneur oscille entre 3 et 4 % de la matière sèche (Nefzaoui et coll. 1985, Ben Dhia et coll. 1981, Hadjipanayiotou 1994(a)). Ces matières grasses sont composées principalement d'acide oléique (84 %), stéarique, palmitique, myristique et linoléique (Nefzaoui et coll. 1985).

Les substances phénoliques

L'olive est riche en substances phénoliques (Cantarelli et Montedero 1974, Vasquez Roncero et coll. 1970). Ce sont surtout des orthophénols. L'oleuropeine, glucoside amer est le composé phénolique le plus abondant et le plus caractéristique des oléagineux (Vazquez Roncero 1963, 1964, 1965, Vazquez Roncero et coll. 1970, 1973, 1974). Les teneurs en polyphénols dans les grignons varient fortement en fonction du système d'extraction utilisé (Chimi, 2006).

V. Valorisation des grignons d'olives

Les grignons bruts, contrairement aux margines, constituent une source de revenu pour l'huilerie, du fait qu'ils peuvent être écoulés contre paiement auprès des usines qui procèdent à l'extraction de l'huile résiduelle. Les grignons épuisés obtenus sont utilisés principalement comme combustible maigre. On pourrait les utiliser également dans l'alimentation animale, l'élaboration du furfural et la fertilisation du sol.

V.1. Production d'énergie

L'utilisation des grignons comme combustible a représenté et représente encore dans la majorité des pays, l'application la plus courante (Nefzaoui 1991).

En réalité, le grignon est un combustible de valeur calorifique modeste (2900 à 3000 Kcal/Kg). Cette quantité de chaleur est apportée principalement par la coque qui représente 60 % du total et qui a un pouvoir calorifique relativement élevé (4000 Kcal/Kg). La pulpe n'apporte que peu de calories (1400 Kcal/Kg) (Nefzaoui 1987).

Ces éléments montrent le peu d'intérêt que représente la combustion du grignon entier et le profit sera encore plus important après séparation de la coque et de la pulpe. La première peut alors être utilisée comme combustible ou pour des applications industrielles (furfural, bois compacté, etc...) et la pulpe comme aliment de bétail ou comme fertilisant après compostage ou voire même pour l'extraction de certains produits chimiques de grand intérêt.

Les cendres résultant de la combustion peuvent être utilisées comme engrais en raison de leur taux élevé d'oxyde de potassium et du taux relativement élevé de phosphore. La quantité des microéléments considérés est également intéressante (Donosa 1987).

Pour améliorer l'efficacité et la rentabilité de l'utilisation du grignon comme combustible, il a été suggéré une combustion incomplète du résidu et la récupération du charbon du grignon. Les résultats obtenus en Espagne peuvent être résumés comme suit (Ramos 1986) : la combustion incomplète de 4 Kg de grignon épuisé fournit 10.500 Kcal et 1 Kg de charbon de grignon avec une chaleur de combustion de 5500 Kcal, soit un total de 16.000 Kcal pour 4 Kg de grignon. De plus, le prix de vente du charbon de grignon est 4 fois plus élevé que celui du grignon. Toutefois, cette nouvelle technique implique, malheureusement, l'acquisition de nouveaux équipements (fours) (Nefzaoui et Zidani 1987).

V.2. Utilisation des grignons d'olives dans l'alimentation animale

L'utilisation du grignon d'olives dans l'alimentation animale est limitée à cause de sa faible valeur nutritive (Theriez et Boule 1970, Balatsouras et coll. 1991, Aguilera et coll. 1992, Hadjpanayoutou (b) 1994, Donosa 1987, Nefzaoui 1987, 1991). Cependant son incorporation à des pourcentages entre 30 et 40% dans les aliments de bétail a donné des résultats satisfaisants. Ils peuvent être utilisés tous seuls pour assurer la sauvegarde du cheptel pendant les périodes de pénurie (Nefzaoui et Zidani 1987, Bendhi et coll. 1981).

V.2.1. Facteurs limitant l'utilisation alimentaire des grignons d'olives

A la lumière des nombreux essais déjà réalisés et des suppositions de plusieurs auteurs, quatre hypothèses peuvent être formulées pour expliquer la faible valeur nutritive des grignons et les mauvaises performances qu'ils engendrent.

Hypothèse 1 : Effet dépressif des matières grasses. Les matières grasses résiduelles des grignons diminueraient d'une part l'activité de la flore du rumen et d'autre part les quantités ingérées (rancissement de l'huile) (Korchani et coll. 1997). Toutefois, les ingestions élevées (100 g de M.S. par Kg P^{0,75}) relevés dans certaines études (Nefzaoui et Zidani 1987), permettent de rejeter l'hypothèse relative à l'effet dépressif des huiles résiduelles des grignons sur l'ingestion. De plus, les digestibilités in-vitro des grignons gras ou épuisés sont comparables (Nefzaoui et coll. 1981) et témoignent de l'absence d'un effet d'inhibition sur l'activité du jus du rumen.

Hypothèse 2 : Effet inhibiteur de certaines substances. Ces substances peuvent être de type phénols qui inhiberaient les enzymes au niveau du tractus ou de type tannins qui insolubiliseraient les protéines du grignon (Theirez et Boule 1970).

Cependant, les dosages effectués par Nefzaoui et Zidani (1987) et ceux rapportés par Kemal Unal (1995), ne révèlent que de faibles quantités de ces substances dans les grignons (1 à 1,5 % M.S.).

Les polyphénols seraient éliminés en grande partie durant l'extraction de l'huile. En effet, aussi bien l'huile que les margines (Cantarelli et Montedero 1974, Kemal Unal 1995) sont riches en substances phénoliques. Par conséquent, de telles quantités de polyphénols dans les grignons ne peuvent expliquer leur faible valeur nutritive (Nefzaoui 1987).

Hypothèse 3 : Effet toxique de certaines substances. Certains auteurs ont rapporté l'existence de substances toxiques pour l'animal et pour l'agneau in utero (Theirez et Boule 1970).

Cependant, les essais effectués par Nefzaoui et coll. (1981, 1982), sur les ovins et dans lesquels le grignon représente parfois jusqu'à la totalité de la ration, ne sont traduits à aucun moment par des symptômes de toxicité pour l'animal.

Hypothèse 4 : Effet de la composition biochimique des grignons. Nefzaoui (1987) rapporte que c'est la composition biochimique du grignon qui est responsable de sa faible valeur nutritive. En effet, malgré un contenu cellulaire (100 - NDF) et une teneur en matières azotées totales favorables, la fraction pariétale est constituée de 40 à 50 % de lignines. De plus, la plus grande parties de l'azote est liée aux constituants pariétaux (85 % de l'azote totale), de sorte que la solubilité et la digestibilité des matières azotées sont très faibles, voire nulles.

De plus, des réactions de Maillard, seraient en grande partie responsables de la détérioration de la qualité des protéines. Par ailleurs, les faibles teneurs en substances phénoliques, qui pourraient précipiter les protéines (Mac Manus et coll. 1981), ne peuvent en expliquer qu'une très faible partie.

V.2.2. Caractéristiques nutritionnelles des grignons d'olives

Les caractéristiques nutritionnelles concernent l'ingestion, la digestion, la dégradabilité et la valeur nutritive du produit.

V.2.2.1. Ingestion

Les essais effectués par Nefzaoui et coll. (1985) sur des grignons tamisés ont montré que ce produit est ingéré en grande quantité surtout s'il est préalablement mélassé. Des ingestions journalières variant de 85 à 128g de MS par Kg de poids métabolique sont couramment rapportées pour des ovins. Des valeurs de même ordre (85 à 140g / Kg) ont été rapportées par Eraso et coll (1978) pour les moutons. Cette ingestion particulièrement élevée, en comparaison avec les autres aliments grossiers, semble être régulée par des facteurs métaboliques (Nefzaoui et coll. 1985).

Toutefois, la concentration énergétique est si faible qu'une ingestion fortement accrue par rapport à ce qu'elle est pour d'autres fourrages n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins de l'animal (Nefzaoui 1991).

De plus, ces ingestions élevées et la faible taille des particules (0,5 à 4 mm) font que le transit est particulièrement rapide (19 à 20h) (Nefzaoui et coll. 1985, Nefzaoui et Vanbelle 1986). Ainsi l'aliment ne dispose pas de suffisamment de temps pour voir sa dégradabilité potentielle atteinte,

surtout que le temps de latence nécessaire au démarrage est relativement long dans le cas des grignons (Nefzaoui et Zidani 1987).

V.2.2.2. Digestibilité

Les études de digestibilité in vivo menées par Nefzaoui et Zidani (1987), ont porté sur plusieurs types de grignons incorporés dans des rations à des niveaux variant de 20 à 90%. D'autres valeurs de digestibilité sont rapportées par Ben dhia et coll. (1981). D'une manière générale, on conclut que :

- La digestibilité de la matière organique est faible (20 à 50%)
- Les matières grasses ont une digestibilité élevée (60 à 80%)
- La digestibilité de la cellulose et des matières azotées est très faible, mais elle est relativement améliorée par traitement des grignons.

V.2.2.3. Dégradabilité

Très hautement lignocellulosiques, les grignons ont une dégradabilité dans le rumen très lente. Les valeurs maximales atteintes ne sont que de 32 % après un séjour de 72 heures dans le rumen (Nefzaoui et Vanbelle 1983, Nefzaoui et coll. 1985).

La dégradabilité des matières azotées est aussi très faible et explicable par le fait que 70 à 80 % de l'azote est lié à la fraction lignocellulosique entraînant une faible solubilité de l'azote. Généralement l'azote lié à la fraction pariétale est inaccessible aux enzymes du tractus digestif (Nefzaoui et Zidani 1987).

V.2.2.4. Valeur alimentaire des grignons

La présentation physique des grignons ne les apparente pas directement aux fourrages (paille, foin, ...etc). Cependant, ils assurent une rumination et une ingestion tout à fait normales et identiques à celles du foin haché. Cet aspect favorable des grignons provient de leur richesse en éléments de structure (constituants pariétaux et surtout la lignine) (Nefzaoui et Zidani 1987).

La valeur énergétique des grignons est faible. Elle varie de 0,32 à 0,49 unités fourragères "lait" (UFL) et de 0,21 à 0,35 unités fourragères "viande" (UFV), selon la proportion de grignon

dans les régimes et de la qualité de la ration complémentaire (Nefzaoui 1987). La teneur en matières azotées digestibles est aussi très faible. Elle est en moyenne de 15 à 25g par Kg de matière sèche (Nefzaoui 1991).

V.2.3. Utilisations pratiques en alimentation animale

L'emploi des grignons d'olives frais dans l'alimentation animale est limité en raison de leur faible valeur nutritive et de leur caractère saisonnier. Ce sous-produit est disponible en quantités appréciables (Sansoucy 1987) pendant la saison pluvieuse (de fin novembre à janvier) et ne peut dès lors pas être utilisé entièrement à l'état frais. D'habitude, il est amoncelé en gros tas en plein air où il subit une détérioration rapide. Dans des essais réalisés à l'Institut de Recherches Agricoles de Chypre (Hadjipanayiotou 1999), il a été relevé que l'ingestion volontaire des grignons d'olives conservés dans des tas non couverts (près de 1,5 m de haut) diminuait au fur et à mesure de l'avancement de la période de stockage, et devient négligeable après 10 jours de stockage. Ce phénomène a été associé au fait du rancissement de l'huile. Des problèmes de rancissement ont été également rapportés par Jaladudin (1996), en ce qui concerne le tourteau de palmiste.

En Tunisie, les grignons d'olive, sous leurs différentes formes sont utilisés traditionnellement dans l'alimentation des ovins et des camélidés, surtout en période de "manque fourrager" (Nefzaoui et Zidani 1987).

Des essais d'engraissement d'agneaux (Ben dhia et coll. 1981) ont montré que la substitution de 30 % des céréales par des grignons bruts ou épuisés est possible et n'aurait aucun effet néfaste sur la croissance des agneaux. Des essais conduits avec des jeunes agneaux (Korchani et coll. 1997) ont montré que le grignon d'olive brut constitue un produit efficace pour remplacer le foin et pour assurer les besoins d'entretien des agneaux.

Par ailleurs, les grignons épuisés tamisés sont de conservation facile et ont la meilleure valeur alimentaire. Leur utilisation peut être envisagée aux années normales. En effet, leur utilisation dans la ration alimentaire des ovins, à des niveaux d'incorporation de 30 à 40 %, assure des performances normales (Ben Dhia et coll. 1981).

D'autres essais conduits avec des vaches de race tunisienne ont montré que les grignons bruts, incorporés à 30 % dans la ration alimentaire (Ben Dhia et coll. 1981), peuvent assurer la sauvegarde du cheptel pendant les périodes de pénurie et même réaliser quelque gain de poids.

De même, dans des essais conduits avec des taurillons croisés, on a pu démontrer (Ben Dhia et coll. 1981) que le grignon épuisé tamisé incorporé à 60 % dans la ration, est susceptible d'assurer les besoins d'entretien des bovins. Des croissances modérées peuvent être assurées avec des rations contenant 40 % de ce type de grignon.

Les grignons d'olive peuvent être aussi utilisés en élevage cunicole. Des rations, contenant des grignons d'olive, à des niveaux d'incorporation 30 %, ont été destinées à l'engraissement des lapereaux. Les performances obtenus ont été concluantes (Chaabane et coll. 1997).

V.2.4. Amélioration de la valeur alimentaire du grignon d'olive

L'amélioration de la valeur alimentaire du grignon d'olive est acquise par l'amélioration de la digestibilité de la matière organique ; ceci est réalisable soit par réduction de la part des constituants pariétaux dans le grignon d'olive, traitement aux alcalis ou par enrichissement du grignon d'olive en matières azotées en leur apportant des produits complémentaires ou en les traitant par voie biologique.

V.2.4.1. Le tamisage

La séparation des débris de coques de la pulpe appelée couramment " tamisage " est devenue une opération indispensable pour une meilleure utilisation des sous produits de l'industrie oléicole (C.O.I. 1983).

Globalement pour le procédé d'extraction par super presse, 100 Kg d'olive donnent 33 Kg de grignon brut (humidité 25 %) qui après épuisement laissent 25 à 26 Kg de grignon épuisé (humidité 15 %). Ce dernier, après tamisage et selon le procédé employé donne 13 à 14 Kg de débris de coques et 12 à 13 Kg de grignon épuisé tamisé (ou pulpe) (humidité 5 à 8 %) (Nefzaoui 1991).

Plusieurs types de séparateurs sont commercialisés : séparateur par criblage rotatif, séparateur pneumatique à double cône vertical, séparateur de crible plats, séparateur pneumatique de sauts en cascades, séparateur pneumatique à cribles (Nefzaoui et Zidani 1987).

Cette opération du tamisage est effectuée, dans la plupart des pays, après l'extraction de l'huile de grignon. Toutefois, de nombreuses mises au point et investigation sont en cours de réalisation pour que l'opération de tamisage ait lieu avant l'extraction de l'huile de grignon (Nefzaoui 1991). La conséquence immédiate de ce procédé est l'accroissement de la capacité des usines d'extraction de l'huile de grignon. Ceci ne manque pas d'intérêt, si on sait que la capacité de ces usines d'extraction est nettement inférieure à la production durant les mois de pointe ; fait qui se traduit par la formation de stocks de grignons engendrant une production d'huiles acide à usage industriel (Nefzaoui et Zidani 1987).

Le prix de l'équipement mécanique de séparation et le coût de fonctionnement sont relativement réduits. Techniquement, la difficulté rencontrée réside dans le désolvantage et l'évacuation de la matière épuisée (pulpe), qui devient plus compacte et résiste plus au passage de la vapeur. De plus, les pertes en solvant limitent la rentabilité du système. De nombreuses solutions sont envisageables pour surpasser cette difficulté, dont l'acquisition d'autres types d'extracteur, l'agglomération de la pulpe avec une légère fraction de coques favorisant la diffusion de la vapeur (Nefzaoui et Zidani 1987).

En réduisant la part des débris de coques des noyaux, le tamisage engendre un produit moins dense et surtout moins riche en constituants pariétaux (Nefzaoui et coll. 1981, Nefzaoui 1983, Nefzaoui et coll. 1985, Nefzaoui et Vanbelle 1986). Ces derniers se trouvent diminués de 39, 43 et 37 %, respectivement pour le NDF, l'ADF et l'ADL, ce qui est presque équivalent à un traitement avec 6 % de soude (Nefzaoui 1987).

Cette opération améliore la digestibilité de la matière organique de 40 % sans pour autant modifier la vitesse de transit des aliments dans le tractus gastro-intestinal, qui reste très rapide. Les améliorations de digestibilités ne peuvent d'ailleurs être expliquées que par des digestibilités potentielles différentes et / ou des vitesses de digestion différentes. A cet effet, le tamisage améliore

les digestibilités potentielles de 36, 47 et 47 %, respectivement de la MO, de la lignocellulose et des matières azotés (Nefzaoui 1987).

Le tamisage présente également l'avantage de séparer une fraction indigestible qui peut être utilisée à d'autres fins (utilisation des coques comme combustible, fabrication de panneaux, industrie du furfural, ...), seulement il ne doit pas être poussé pour éviter les effets contraires.

V.2.4.2. Traitements des grignons d'olive aux alcalis

Les traitements aux alcalis des aliments lignocellulosiques ont fait l'objet de plusieurs études. (Ibrahim et Pearce 1983, Doyle 1982, Doyle et coll. 1986, Aguilera et coll. 1986, Nefzaoui et coll. 1981, 1985, Nefzaoui et Vanbelle 1983, 1984, 1986, Molina et coll. 1986).

L'action principale de ces traitements sur la paroi cellulaire réside en une solubilisation partielle de la lignine et de l'hémicellulose (Scriban 1993), et une augmentation plus ou moins significative de la digestibilité (Van Soest 1982).

L'amélioration de la digestibilité des grignons est possible par le traitement à la soude. Ce dernier est efficace en présence de chaleur et nécessite au moins 40 gramme de réactif par kilogramme de produit. Le lavage ou la neutralisation, pour éliminer l'excès d'alcali, ne sont pas nécessaires (Nefzaoui 1987). Le traitement des grignons non épuisés est à proscrire à cause des réactions de saponification qui peuvent avoir lieu (Nefzaoui 1991).

Les essais effectués par Nefzaoui et Vanbelle (1986) ont montré que le traitement à la soude:

- diminue significativement la fraction (NDF) du grignon, soit une diminution de 46 % pour un traitement à la soude de 8 %.
- diminue les fractions (ADF) et (ADL). Un traitement à la soude de 8 % diminue de 17 % la fraction (ADF) et 50 % la fraction (ADL).

augmente significativement la digestibilité in vitro de la matière organique et de la fraction (ADF). Le maximum de digestibilité in vitro est obtenu par un traitement à la soude de 8%. Cependant, cette digestibilité est plus élevée que celle in vivo.

L'augmentation de digestibilité des grignons d'olive par traitement à la soude peut être due à plusieurs facteurs (Nefzaoui et Vanbelle 1986):

- La libération, suite à la délignification partielle du produit d'acides phénoliques. Ces acides semblent avoir une action inhibitrice sur la microflore du rumen (Hartey 1981).
- L'augmentation de la vitesse de transit aussi bien de la phase liquide que de la phase solide dans le tractus intestinal fait que " les fibres " disposeraient de moins de temps pour être digérées (Ali et Coll. 1977).
- L'ingestion de sodium augmente la pression osmotique du liquide ruminal et la quantité d'eau ingérée. Celles-ci seraient à l'origine de la réduction de l'activité cellulolytique du rumen (Klopfenstein et coll. 1979).

Le carbonate de sodium et surtout l'ammoniac constituent des alternatives à la soude (Nefzaoui 1987). L'ammoniac est aussi efficace que la soude pour améliorer la valeur nutritive des grignons. De plus, il présente plusieurs avantages supplémentaires (Nefzaoui 1987):

- Contrairement à la soude, il ne détruit pas les acides aminés. En effet, le traitement à la soude détruit en moyenne 30 % des acides aminés.
- Il constitue un apport d'azote non protéique non négligeable et dont l'ingestion ne pose aucun problème de toxicité.
- L'ingestion du grignon traité à l'ammoniac ne s'accompagne pas d'une augmentation de la consommation d'eau ni du taux de dilution de la phase liquide du rumen qui est déjà très élevé.
- Il ne laisse pas dans le produit traité des résidus qui seraient potentiellement nocifs pour l'animal.

V.2.4.3. La complémentation azotée par utilisation des fientes

La digestibilité des matières azotées des grignons d'olives est faible pour les raisons déjà évoquées. L'utilisation d'une source d'azote " bon marché " pour combler ce déficit serait souhaitable.

C'est dans cette optique que plusieurs essais de complémentation azotée ont été menés, en utilisant une source de protéines très abondante et disponible. Il s'agit des fientes de volailles

(Nefzaoui 1983, Nefzaoui et coll. 1985, Nefzaoui 1987, Hadjipanayiotou et Koumas 1996, Hadjipanayiotou 1994 (a), (b), 1999, Smith).

Ces résidus qui contiennent de grandes quantités de protéines sont en train de s'accumuler, suite au développement du secteur avicole, et posent de sérieux problèmes de pollution. Par ailleurs, ces déchets animaux représentent un vaste réservoir d'éléments nutritifs surtout pour les ruminants (Nefzaoui 1987). Bien que l'idée de recycler les fientes dans l'alimentation des animaux soit relativement récente, plusieurs auteurs ont déjà obtenu des résultats très satisfaisants.

Les fientes fraîches ont une teneur en MS de 13 à 26 % et en MAT de 20 à 45 %. La composition et la quantité des acides aminés sont comparables à celles des céréales. Elles constituent une bonne source de cystine (Nefzaoui 1987). Par ailleurs, en comparaison avec les grignons d'olives, les fientes de volaille présentent une digestibilité élevée, qui ne peut être expliquée que par leur teneur élevée en azote, et faible en fibres (NDF 32,4 % ; ADF 19,9 % ; ADL 7,7 % MS). Sachant que le coût de séchage des fientes risque d'être élevé, plusieurs auteurs ont opté pour la technique de conservation par ensilage (Hadjipanayiotou 1994 (a)).

En effet, les caractéristiques fermentaires des ensilages des grignons d'olives en mélange avec des fientes " pures " (Nefzaoui et coll. 1985) indiquent que la conservation fut excellente : faible pH, acide butyrique sous forme de trace et acide lactique en quantité importante. Cependant, les ingestions de ces ensilages par des ovins en croissance sont faibles et elles sont rehaussées après addition de pulpe de betterave. De même, les ensilages des grignons d'olive en mélange avec les déjections de volaille (fientes, plumes, déchet d'aliment) (Hadjipanayiotou 1996 ; 1994 (a) ; 1994 (b)) se sont traduits par une hausse significative de la teneur en azote, par une amélioration d'autres qualités nutritionnelles (digestibilité accrue, équilibre entre les micro et macro éléments minéraux et d'autres éléments nutritifs), ainsi que par la diminution des valeurs du pH. La plupart des ensilages dégageaient un arôme agréable et présentaient une belle couleur, des concentrations acceptables d'acides acétique, propionique et lactique et des taux relativement bas d'acide butyrique. Les analyses microbiologiques ont montré que ces ensilages sont débarrassés des micro-organismes pathogènes. En effet, le pH des ensilages s'est situé à moins de 5 unités, qui est une valeur considérée comme étant de nature à détruire la Salmonella et d'autres agents pathogènes (Roothaert et Matthewan 1992).

V.2.4.4. Enrichissement protéique des grignons par voie microbiologique

L'enrichissement protéique des résidus agricoles et alimentaires par voie microbiologique a fait l'objet de plusieurs études (Rahmat et coll. 1995, Soccol et coll. 1994, Okamoto et coll. 1992, Bhalla et Joski 1994, Jwanny et coll. 1995, Grujc et coll. 1992, Yang 1993, Gonzalez Blanco et coll. 1990, Jacob 1991, Yogarajah 1989, Zvawya et coll. 1994). Dans le cas des résidus lignocellulosiques, l'enrichissement protéique est souvent accompagné d'une dégradation partielle de la lignine ce qui a pour conséquence une augmentation de la digestibilité.

L'essai d'enrichissement des grignons en protéines par l'utilisation des levures a fait l'objet des essais menés par Balastouras et coll. (1991). Ces grignons ont subi au préalable un enrichissement en éléments minéraux notamment en sulfate d'ammonium et en oligo-éléments. Parmi les différentes souches utilisées, *Candida lipolytica* a donné le meilleur résultat, soit une augmentation de protéines de 10,2 % MS.

V.3. Autres utilisations des grignons d'olives

V.3.1. Production du furfural

Les débris de coques qui contiennent les grignons sont constitués de lignine, de cellulose et de pentosanes. Les pentosanes sont des hydrates de carbone complexes (hémicelluloses) qui, par hydrolyse, engendrent des pentoses et après dessiccation le furfural. Le furfural ($C_5H_4O_2$) est un composé hétérocyclique découvert par Deberiner en 1832 (Nefzaoui 1987). Les débris de coques contiennent 26 % de pentosanes qui, convertis en furfural, donnent 15 % de furfural de la matière première (Martinez 1986) (figure 6).

Le traitement de la matière première se fait dans un digesteur où la coque subit l'action d'un catalyseur, principalement des acides inorganiques, bien qu'il y ait quelques procédés dans lesquels l'hydrolyse se fait sans catalyseur, et à une pression variable de 7 à 10 Kg/cm². Le furfural formé dans les digesteurs est entraîné par un courant de vapeur et introduit dans une colonne de rectification. La même réaction produit du méthanol et de l'acide acétique (Nefzaoui 1991).

Les techniques de production peuvent être continues ou discontinues. Néanmoins, le procédé reste non rentable à cause d'une part du rendement réel qui ne dépasse guère 50 % de la concentration théorique, et d'autre part du prix de la matière première (coque) qui n'a pas cessé d'augmenter,

surtout depuis l'augmentation du prix de fuel (Nefzaoui 1987). Ceci n'empêche pas que la production du furfural à partir de la coque se pratique en Espagne, voire en Tunisie (Nefzaoui 1991).

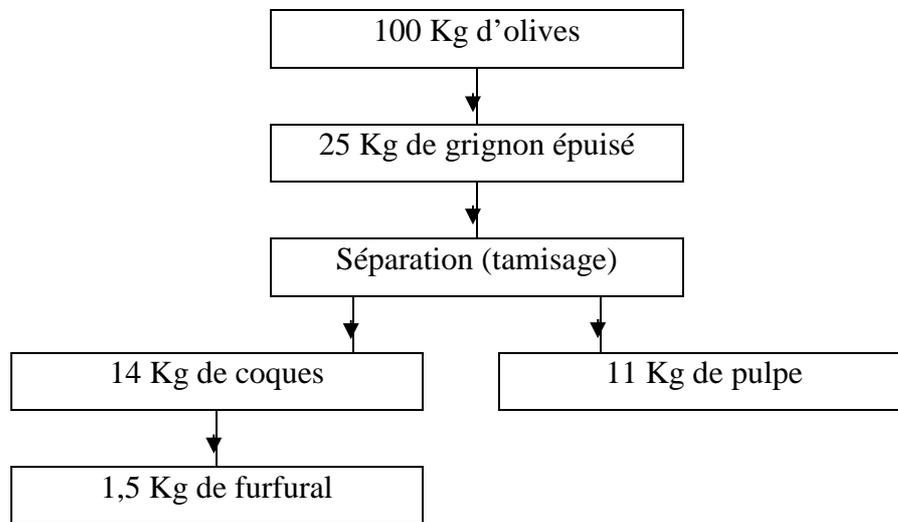


Figure 6 : Obtention du furfural à partir des grignons épuisés tamisés

Source : Fedeli 1986

V.3.2. Utilisation des grignons d'olive comme fertilisant

Les sols exigent de plus en plus un apport continu de matière organique qui devient difficile à satisfaire. La transformation des déchets urbains et surtout des résidus de récolte représente une alternative qui tend à se développer.

En ce qui concerne l'épandage direct du grignon comme fertilisant, les résultats obtenus indiquent que c'est un produit difficilement dégradable (riche en lignine) et qui présenterait une certaine phytotoxicité (Bertoldi et coll. 1986). Pour pouvoir le destiner à une telle utilisation, il convient de lui faire subir une pré-décomposition ou compostage.

Ce dernier étant défini comme " l'oxydation biologique contrôlée de substrats organiques hétérogènes à l'état solide passant par une étape thermophile et la libération temporaire de phytotoxine, et produit du gaz carbonique, de l'eau, des minéraux et une matière organique stabilisée appelée compost " (Nefzaoui et Zidani 1987) (Figure 7).

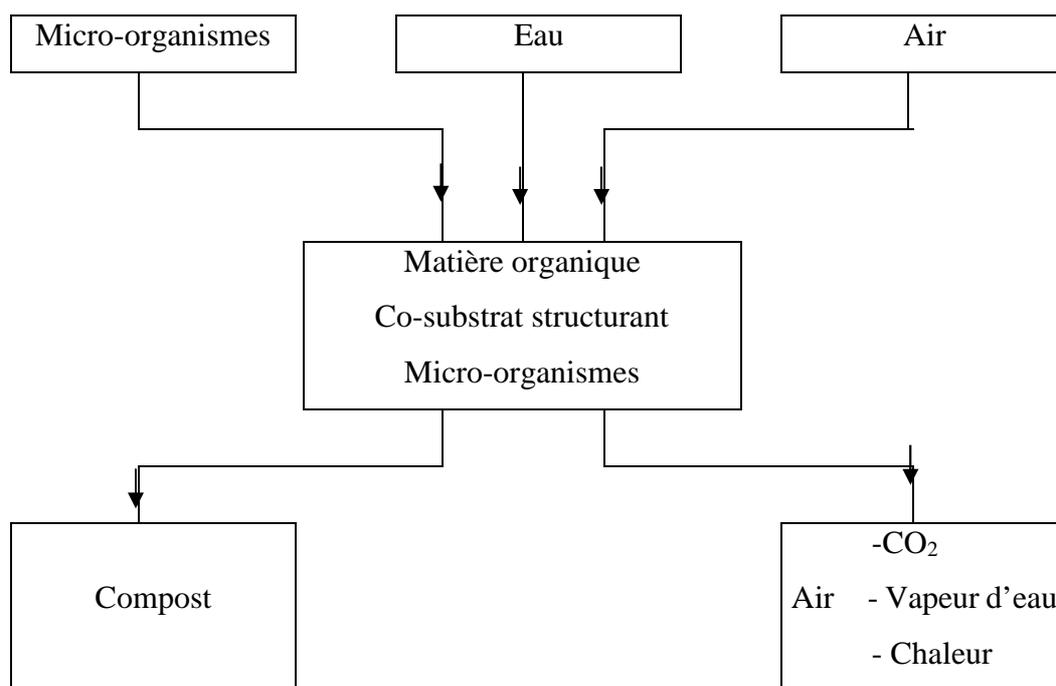


Figure 7 : Principe du compostage

Source : Scriban 1993

Peu de travaux ont été effectués concernant le compostage des grignons d'olive. Les technologies envisagées dans ce domaine sont de deux types (Nefzaoui et Zidani 1987) :

- Compostage des grignons avec ensemencement au démarrage.
- Compostage des grignons en mélange avec les boues de décantation.

Le grignon épuisé provenant des huileries n'est pas riche en micro-organismes et a besoin d'un inoculum pour pouvoir démarrer la fermentation. Sachant que la trame lignocellulosique des grignons est difficilement dégradable, il est nécessaire d'utiliser des levures et des champignons. On prépare un inoculum composé de plusieurs souches de bactéries, de champignons (*Humicola*, *Trichoderma*, *Penicillium*) et de levures (*Candida lipolitica*, *Saccharomyces Cerevisiea*, *Rodotorula* sp). De cette manière, les micro-organismes peuvent envahir la masse plus facilement et la lignocellulose peut être transformée (Bertoldiet et coll. 1986).

Avec le deuxième procédé, le grignon est mélangé directement avec les boues de décantation sans avoir besoin d'ajouter un inoculum. Les boues apportent les micro-organismes et les substances organiques solubles nécessaires au démarrage de la décomposition.

Il est évident que ce processus est meilleur marché que le précédent, mais l'utilisation de boues peut engendrer certains problèmes, comme la présence de germes photogènes ou des métaux lourds. De plus, les boues ne contiennent pas des fungi qui sont indispensables à la dégradation de la lignine (Bertoldi et coll. 1986).

Les résultats obtenus aussi bien sous serres qu'en plein champ montrent clairement les effets bénéfiques du compost de grignon sur la fertilité biologique du sol. En effet, on note une grande augmentation des microorganismes du sol, en particulier les bactéries fixatrices d'azote, les bactéries produisant l'ammoniac, les bactéries nitriques, les micro-organismes cellulolytiques et lignolytiques (Nefzaoui et Zidani 1987). La capacité de rétention de l'eau (Elasswad et Mornog 1993) et la capacité d'échange ionique du sol se voient également améliorées (Nefzaoui et Zidani 1987).

V.3.3. Utilisation des grignons d'olive dans l'alimentation humaine

Les grignons d'olive sont riches en fibres alimentaires, composés très recherchés dans certaines industries agro-alimentaires telle que la boulangerie. Cependant, l'utilisation des grignons d'olives dans la panification nécessite l'amélioration de leurs propriétés structurales et sensorielles qui sont directement liées au rapport des fibres insolubles (IDF) par rapport aux fibres solubles (SDF) (Cruces et coll. 1994). Caprez et coll. (1987) montrent que ce rapport (IDF/SDF) peut être influencé par traitement enzymatique des produits riches en fibres, ce qui permet de réaliser des changements structuraux et sensoriels et par suite améliorer la qualité de ces produits. Des essais dans ce sens (Cruces et coll. 1994) montrent qu'effectivement le traitement enzymatique des grignons d'olive, modifie le rapport IDF/SDF. L'importance de cette modification dépend des concentrations d'enzymes et des temps d'incubation. Les préparations enzymatiques sont de deux types : Viscozyme L et Olivex. Des essais complémentaires de panification montrent que les produits dans lesquels 10 % de la farine de blé est substituée par des grignons d'olives ayant subi le traitement enzymatique précité, représentent une texture meilleure comparée à celle des produits contenant les grignons d'olive non traités.

Conclusion

Au Maroc, les grignons d'olive sont disponibles en quantités appréciables. Constitués de peaux, de pulpe et de noyaux, ils représentent le résidu le plus riche de l'élaboration de l'huile d'olive. Vu leur composition chimique, les grignons d'olive présentent une valeur faible lorsqu'ils sont employés comme aliment pour le bétail. Dénoyautés, mélangés à d'autres aliments ou traités par voie chimique ou biologique, ils ont un emploi relativement meilleur. Dans certains pays méditerranéens les grignons d'olive sont utilisés pour l'élaboration du furfural. Cependant, leur utilisation comme combustible représente dans la majorité des pays, l'application la plus courante.

Parmi les utilisations possibles des grignons d'olive et vu la production très déficitaire d'aliments pour le bétail dans la plupart des pays méditerranéens, leur utilisation dans l'alimentation animale semble la plus intéressante. Aussi, faut-il encore déployer plus d'efforts dans les recherches visant l'amélioration de la valeur alimentaire des grignons d'olive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguilera J.F. et Molina E., 1986.** Valorisation nutritive d'un grignon d'olive traité à la soude. *Annales de zootechnie*, p. 205-218.
- Aguilera J.F., Garcia M.A. et Molina E., 1992.** The performance of ewes offered concentrates containing olive by products in late pregnancy and lactation. *Animal Production*, 55, p. 219 - 226.
- Ali C.S., Mason V.C. et Waagepetersen J., 1977.** The voluntary intake of pelleted diets containing sodium hydroxide-treated wheat straw by sheep 1. The effect of alkali concentration in the straws. *Z. Tierphysiol. Tiernachr. Futtermittelkd*, 39. p. 173 – 182. (Cité par Nefzaoui et Vanbelle 1986).
- AFIO, 2012.** Association Française Interprofessionnelle de l'Olive, *Rapport D'activité*.
- Balastouras G., Komaitis M., Aggelis G., Anagnostopoulou G. et Tsalkakis G., 1991.** *Oléagineux, Volum 46(8 – 9), p. 333 - 335.*
- Ben Dhia M., Khaldi G. et Majdoub A., 1981.** Utilisation des sous produits de l'olivier dans l'alimentation animale. (travaux réalisés en Tunisie) *Séminaire International sur la valorisation des sous produit de l'olivier, P.N.U.D. / F.A.O. Monastir Tunisie, Décembre 1981, p. 57 – 64.*
- Bertoldi M., Filippi C., Picci G., 1986.** Olive residu composting and land utilization. *In : international Symposium on olive by products valorization (ed-FAO Madrid). Sevilla(Spain), March 1986. p. 307-320 (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).*
- Bhalla T.C., Joshi M., 1994.** Protein enrichment of apple pomace by co-culture of cellulolytic moulds and yeasts. *World Journal of microbiology and Biotechnology*, 10(1), p. 1116 – 117.
- Cantarelli C. et Montedero G., 1974.** Extraction des antioxydants naturels des olives. Etude expérimentale. *Naturliche und synthetische Zusatzstoffe in der Nahrung der Menschen. CII A Symposia Darmstadt, p. 84. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).*
- Chaabane K., Bergaoui R., Ben Hammouda M., 1997.** Use of different olive oil cake in young rabbit feeding. *World Rabbit Science*, 5(1), p. 17 – 21.
- Chimi H., 2006.** Technologie d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité. *Bulletin d'information et de liaison du PNTTA, Transfert de Technologie en Agriculture, N°141.*
- Caprez Z., Arrigoni E., Neukom H. et Amado R., 1987.** Improvement of the sensory properties of two different dietary fibre sources through enzymatic modification. *Lebensm Wiss Technol. (20), p. 245 – 250. (Cité par Cruces et coll. 1994).*
- Cruces Valiente, Eva Amigoni, Rosa Mesteban et Renato Amado, 1995.** Chemical composition of olive by product and modifications through enzymatic treatments. *J. Sci. Food Agric. (69), p. 27 - 32.*
- C. O. I., 1983.** Feuille d'information du Conseil Oléicole International. Madrid. Octobre.
- Donosa Arce L., 1987.** Utilisation des sous-produits dérivés de l'olive et de l'huile d'olive avec alternatives de consommation humaine et animale. *Olivea IV. N°15, Février 1987, p. 31.*

Doyle P.T., 1982. Options for the treatment of fibrous roughages in developing countries. *A review in the utilization of fibrous agricultural residues as animal feeds* (Ed. Doyle, P.T.) Australian Government Printing Services, Canberra. (Cité par Smith O.B.).

Doyle P.T., Devendra C., Pearce G.R., 1986. Rice straw as a feed for ruminants. *Australian Government Printing Services, Canberra.* (Cité par Smith O.B.).

El-Asswad R.M et Mornog M.T., 1993. Effect of olive oil cake on water holding capacity of sandy soils in Libya. *J. Arid. Environ.* 24(4) p. 409-413.

FAOSTAT, 2014. www. Fao.org

Fedeli E., 1986. New perspectives for vegetation water and olive residu use. *In: Internatinal Symposium on olive by products valorization* (eds. FAO Madrid). Sevilla (Spain). March 1986. p. 229-261.(Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Gonzalez Blanco P., Sancedo Castaneda G., Viniegra Gonzalez G., 1990. Protein renrichement of sugar cane by-products using solid state cultures of *Aspergillus terreus*. *Journal of fermentation and Bioengineering (Japan).* 70(5), p.351-354.

Grujic O., Popov S., Gacesa S., 1992. Solid state fermentation process as possibility of conversion of lignocellulosic wastes. *into animal world. Microbiology (Yugoslavia),* 29(1), p. 41 – 55.

Hadjipanayiotou M., 1994 (a). Lobaratory evaluation of ensiled dlive cake, tomato pulp and poultry litter. *Livestoch Research for rural development,* 6 (2).

Hadjipanayiotou M., 1994 (b). Voluntary intake and performance of ruminant animals offered poultry-litter olive cake silage. *Livestoch Research for rural development,* 6 (2).

Hadjipanayiotou M. et Koumas A., 1996. Performance of sheep and goats on olive cake silages. *Technical Bulletin 176, Agricultural Research Institue, Nicosia,* p. 10.

Hadjipanayiotou M., 1999. La technique de l'ensilage : un moyen simple, sûr et peu onéreux pour le stockage à l'exploitation et l'utilisation des grignons d'olive dans l'alimentation animale. *Olivea, N°76,* p. 31 – 34.

Hartey R.D., 1981. Chemical constitution properties and processing of lignocellulosic wastes. *In relation to nutritional quality of animals. Agri. Environ.,* 6, p. 91 – 113. (Cité par Nefzaoui et Vanbella 1986).

Ibrahim M.N.M., Pearce G.R., 1983. Asoak and press method for the alkali treatment of fibrous crop residues. *Laboratory studies on aspects of the procedure. Agric. Wastes,* 8, p. 195 – 213. (Cité par Smith O.B.).

Jacob Z., 1991. Enrichement of wheat bran by *Rhodotorula gracilis* through solid state fermentation. *Folia. Microbiologica (CSFR).* 36(1), p.86-91.

Jalaludin S., 1996. Integrated animal production in the oil palm plantation. *Paper N°4. Second Electronic Mail Conference on Tropical feeds, October 3, 1996.* (Cité par Hadjipanayiotou 1999).

Jwanry E.W., Rashad M.M., Abdu H.M., 1995. Solid state fermentation of agricultural wastes into food through *Pleurotus* cultivation. *Applied Biochemistry and Biotechnology. Prt A. Enzyme. Engineering and Biotechnology*, 50(1), p. 771 – 78.

Kemal Unal M., 1994. Polyphenols ; O-diphénols et acides phénoliques totaux dans les grignons d'olive et les margines. *Olivea*, N°51, p. 34 – 35.

Khorchani T., Ben Rouina B., Hammadi M. et Hammami H., 1997. Use of olive by products in the nutrition of lambs in southern Tunisia. *Option méditerranéennes. Série A. Séminaires méditerranéennes C.I.H.E.A.M. N°34*, p. 99 - 102.

Klopfenstein T.J. Berger L. Paterson J., 1979. Performance of animals fed crop residues. *Fed. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol.*, 38, p. 1939 – 1943. (Cité par Nefzaoui et Vanbelle 1986).

Lazzeri Y., 2009. Les défis de la mondialisation pour l'oléiculture méditerranéenne. *L'Olivier en Méditerranée, Conférence, Centre Culturel Français de Tlemcen, Algérie.*

Mac Manus J.P., Davis K.G., Lilly T.M. et Halsam E., 1981. The association of protein with polyphenols. *J. Chem. Soc. Comm.* 1981, p. 39. (Cité par Nefzaoui 1987).

Martinez J.L., 1986. Aprovechamiento de orujo de aceituna en procesos químicos. In : Simposio International sobre valorización de los subproductos del olivar alpechin y orujo, 5 – 6 Marzo 1986, Sevilla, Espana, p. 75 – 76. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

MAPM, 2013. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2013. *Veille économique, Secteur Oléicole, Note Stratégique*, N° 95.

Maymone B., Sblendorio A., Ceci Ginestrelli D., 1950. Ricerche sulle composizione chimica, sulla digeribilità et sul valore nutritivo delle foglie di olivo (*Olea europaea* L.) verdi essiccate insilate. *Ann. Ist. Sper. Zootech.*, N°4, p. 1 – 19. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Molina E, Nefzaoui A., Vanbelle M., 1986. Alkaline treatment of olive residue comparative study of chemical, physical and biological methods used to predict digestibility. *International Symposium on olive by products valorization (eds. FAO Madrid). Svilla (Spain), March 1986*, p. 403 – 418. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Nefzaoui A., Abdouli H., Ksaier H., 1981. Possibilités d'amélioration de la valeur nutritive de la pulpe d'olive. In Séminaire International sur la valorisation des sous produits de l'olivier. *FAO / PNUD., Monastir, tunisie*, p. 67 – 72. (Cité par Nefzaoui 1987).

Nefzaoui A. et Vanbelle M., 1983. Valorisation des sous produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. *Réunion de Comité Technique : Valorisation des sous Produits de l'olivier. F.A.O. Madrid, Novembre 1983*, p. 377 - 47.

Nefzaoui A. et Vanbelle M., 1984. Utilisation des grignons d'olive en alimentation animale dans les bassins méditerranéen. *Publication du Laboratoire de Biochimie de la Nutrition (UCL)*, p. 80. (Cité par Nefzaoui 1991).

Nefzaoui A., Molina E., Outmani A. et Vanbelle M., 1985. En silados de orujo de aceituna tratados con alcohol. Composicion química, digestibilidad in sacco y degradabilidad. *Archivos de Zootecnia*, vol. 33, N°127, p. 219 - 236. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Nefzaoui A. et Vanbelle M., 1986. Effect of feeding alkali treated olive cake on intake digestibility and rumen liquor parameters. *Animal feed Science and Technology*, 14, p. 139 - 149.

Nefzaoui A., 1987. Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits. *Olivea IV. N°19*, p. 17 - 28.

Nefzaoui A. et Zidani M., 1987. Les sous-produits de l'olivier. Eds. *Ministère de l'agriculture, Tunisie*, p. 136.

Nefzaoui A., 1991. Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits. *Options méditerranéenne*, p. 153 - 173.

Okamoto M., Yamakawa M., Abe H., 1992. Improvement of nutritive value of cereal straw by solid state fermentation using *Pleurotus Ostreatus*. *Tropical. Agriculture. Research. Series (Japan)*, March 1992, N°25, p. 178 -185.

Rahmal H., Hodge R.A., Manderson G.J., Yu P.L., 1995. Solid substrate fermentation of *Kloeckera apiculata* and *Candida utilis* on apple pomace to produce an improved stock feed. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11(2), p. 168 - 170.

Ramos Ayerbi F., 1986. Applications for extracted olive residu. In : *international Symposium on olive by products valorization (ed-FAO Madrid)*. Sevilla(Spain), March. p. 365-369 (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987)

Roothaert R.L., Matthewan R.W., 1992. Poultry wastes as foods for ruminants and associated aspects of animal. *Welfare. Review. American. Journal of Animal Science*, 5(4), p. 593 - 600. (Cité par Hadjipanayiotou 1994(a)).

Sansoucy R., 1987. Olive by product for animal feed. *Review. F.A.O. Animal Production and Health. Paper 43*, F.A.O. 1987, Rome.

Scriban R., 1993. Biotechnologie. Eds. *Tech. et Doc. Lavoisier*.

Smith O.B., Utilization of crop residues in the nutrition of sheep and goats in the humid tropics of west africa. La production de viande ovine et caprine dans les régions tropicales humides de l'Afrique de l'Ouest. *Etude F.A.O. Production et santé animales*, N°70, p. 92 - 113.

Socol C.R., Iloki I, Marin B, Raimbault M., 1994. Comparative production of alpha amylase, aglucoamylase and protein enrichment of raw and cooked cassava by *Rhizopus* strains. In *submerged and solid state fermentations. Journal of food Science and Technology. Musou*, 31(4), p. 320 - 323.

Theriez M. et Boule G., 1970. Valeur alimentaire du tourteau d'olive. *Annales de Zootechnie* 19, 1970, p. 143 - 147. (Cité par Nefzaoui 1991).

Van Soest P.J., 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Ed. *Van Soest, P.J., O & Books Inc. Oregon*, 97,330, 1982 . (Cité par Nefzaoui 1991).

Vazquez Roncero A., 1963. Química del olivo. III los componentes orgánicos (1ª parte). *Grasas y Aceites*, 14, p. 272. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Vazquez Roncero A., 1964. Quimica del olivo. III los componentes organicos (2e parte). *Grasas y Aceites*, 15, p. 87. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987)

Vazquez Roncero A., 1965. Quimica del olivio. *Grasas y Aceites*. 16, p. 292. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Vazquez Roncero A., Graciani Constante E. et Maestro Duran R., 1970. Componentes fenolicos de la aceituna I polifenoles de la pulpa. *Grasas y Aceites*, 25 (5), p. 269. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Vazquez Roncero A., Janer del Valle C. et Janer del Valle M. L., 1973. Detrmination de los plifenols totales del aceité de oliva. *Grasas y Aceites*, 26(6), p. 350. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987).

Vazquez Roncero A., Maestro Duran R. et Graciani Constante E., 1974. Componentes fenolicos de la aceituna II-polifenoles del alpechin. *Grasas y Aceites*, 24 (6), 1974, p. 341. (Cité par Nefzaoui et Zidani 1987)

Yang S.S, 1993. Protein enrichment of sweet potato residue with co-culture of amylolytic fungi by solid – state fermentation. *Biotechnol-adv. Oxford* ; v. 11 (3) p. 495-505.

Yogarajah V. Jasathini, 1989. Fungal protein enrichment of cassava by solid state fermentation and its use as fish feed. *Bangkok (Thailand)*. 64 leaves.

Zoiopoulos P. et Vekiari S., 1995. Quelques réflexions à propos des effets des nouveaux systèmes d'extraction de l'huile d'olive sur la qulité du produit et la valorisation des sous-produits. *Olivea N°57, Juin 1995*, p. 36.

Zvawya R., Mizondo MI, 1994. Some factors affecting protein enrichment of cassava flour by solid state fermentation. *Leben Smittel – wissenschaft – und Technologu* 27 (6) p. 590-591.

ETUDE EXPERIMENTALE

Article original

Caractérisation physico-chimique et microbiologique des grignons d'olive de 26 huileries traditionnelles de la région de Beni Mellal (Maroc)

Physicochemical and microbiological characterization of the olive residue of 26 traditional oil mills in Beni Mellal (Morocco)

Z.MENNANE1* S.TADA2.I.AKI3 M. FAID3, S.HASSANI1, S.SALMAOUI2

Laboratoire de bactériologie générale. Institut National d'hygiène
Département des sciences biologique et agronomique, faculté des sciences et technique Beni Mellal
3. Département de Technologie Alimentaire Institut agronomique et vétérinaire
Hassan 2

*auteur correspondant

E-mail : zakaria92t@yahoo.fr

RESUME :

En vue de déterminer la composition physicochimique et microbiologique des grignons d'olives, des analyses sur vingt-six échantillons ont été effectuées au laboratoire. Les analyses physico-chimiques réalisées sont : la matière sèche, les cendres, la matière azotée totale, la matière grasse et les fibres. Les analyses microbiologiques portent sur la numération des levures, des bactéries lactiques, et de la flore mésophile aérobie totale. Les résultats montrent que la composition chimique des grignons est intéressante sur le plan nutritionnel et l'analyse microbiologique montre une charge importante en microorganismes d'intérêt technologiques (les levures et la flore lactique). L'analyse physicochimique montre des moyennes de 65,13% , 5,8% , 4,16% , 9,4% et 59 % respectivement pour la matière sèche, les cendres, la matière azoté, la matière grasse et les fibres Ensuite un essai de valorisation par voie biotechnologique a été réalisé au laboratoire. Durant cet essai, des analyses microbiologiques ont été effectuées en vue de sélectionner les meilleures souches capables de pousser sur les grignons. Le résultat de la valorisation montre que les grignons peuvent être transformés par fermentation, pour produire une biomasse probiotique.

MOTS CLES: grignon, microbiologie, physicochimie, valorisation

ABSTRACT:

Twenty six random samples of olive residue were collected from 26 traditional oil mills. Samples were analyzed for microbiological and physico-chemical proprieties. The former included Total Plate Count (TPC), Lactic acid bacteria (LAB) and Yeasts. The results showed higher counts for all the the microbial profiles found (LAB and yeasts). The second included the dry matter (DM), total nitrogen (TN), Determination of the fat content (FC) and fibres.

The results of physicochemical characteristics indicated that the average values were as follows DM: 65,13% , Ashes: 5,8%, TN: 4,16%, FC: 9,4% and 59 %ADF with 36, 17 %d'ADL (Acid detergent lignin). The test of valorization of the olive residue can be transformed by fermentation, to produce a probiotic biomass

KEYWORDS: olive residue, microbiology, physical chemistry, recovery

INTRODUCTION :

Les industries agricoles et alimentaires engendrent des quantités appréciables de sous produits qui sont pour la plupart peu ou pas valorisés et dont le rejet dans la nature constitue une grande menace pour l'environnement. La disponibilité de ces résidus dépasse un million de tonne par année. La majorité de ces résidus sont caractérisés par une faible valeur alimentaire de part leurs composition chimique lignocellulosique et leur faible teneur en protéine.

Au Maroc la culture oléicole occupe un espace de 547600 hectares (MAP 2008) avec une production de 7653800 T des olives (MAP2008).

L'industrie de transformation des olives dépassent actuellement 16000 unités traditionnelles (Maâsras) avec une capacité annuelle de trituration de 170 000 t d'olives. Les taux d'extraction d'huile restent faibles et ne dépassent guère les 14 %. (*Agri.Med 2005*) Les régions à potentiel important de production sont Fès, Taounate, Taza , Marrakech, Agadir, Essaouira et Azilal. :Les grignons peuvent être valorisé pour la production du carbone et d'autres substances ou bien utilisés comme un composant dans l'alimentation animale (Alalaoui I 1998) Ils sont utilisés aussi comme des filtres pour la désinfection des eaux contaminés par les nitrates (Z.Salem, 2007) et également utilisés comme un composant d'un fertilisant pour la culture des pommes de terre en

Tunisie (F.Sellami, 2008). En Espagne les chercheurs ont montré l'importance des éléments actifs présents dans le grignon pour l'utilisation agricole et pharmaceutique (E.Aranda, 2007).

Les huileries et les maâsras génèrent des quantités importantes des grignons d'olives qui sont brûlés avant ou après épuisement à l'hexane (Ahmed TRIGUI 2008). Les grignons demeurent riches en matière grasse (10%), en fibres (40%) et bien d'autres éléments empêchant leur utilisation comme aliment pour le bétail. La fermentation en milieu solide s'est révélée la technique la plus adaptée du fait qu'elle ne nécessite que des équipements rustiques déjà disponible dans le milieu rural et donne, par contre, des résultats très satisfaisants.

L'utilisation du grignon est limitée par plusieurs contraintes : qui sont d'une part la variabilité de la composition chimique en raison de la diversité des origines des olives, des procédés et de la présence de différents types d'unités d'extractions d'huile d'olive d'autre part l'absence d'infrastructures de traitement et de circuits de collecte et enfin le manque de données quant à leurs disponibilité, leur utilisation et leur destination prioritaire.

Tous ces facteurs font du grignon d'olive un sous-produit très peu valorisé au niveau national. Cette étude a pour objectif de caractériser de point de vue physico-chimique et microbiologique vingt-six échantillons de grignons d'olives de la région de Beni Mellal, avec un essai de valorisation par voie biotechnologique réalisé au laboratoire.

I. MATERIEL ET METHODES :

I.1. Echantillonnage

26 échantillons de grignons d'olives ont été prélevés à partir de différents maasra traditionnelles de la région de Beni Mellal.

Les échantillons ont été acheminés au laboratoire dans une glacière à 4C. La période de collecte est entre avril et juin 2000.

I.2. Analyses physico-chimiques

L'extrait sec est obtenu par étuvage d'une masse pesée des grignons à 105°C pendant 12h, selon la norme NM ISO 5534-2001. Pour les cendres, l'extrait sec est pré-calciné, et incinéré dans un four électrique à 500°C pendant 5h à 6h selon la norme NM ISO 749-2007. La Matière azoté totale a été déterminée par la méthode de Kjeldahl selon la norme NM 08.3.030-2001. La matière grasse a été évaluée en utilisant la méthode de soxhlet suivant la norme NM 08.5.054-1996. Les fibres ont été déterminées selon la méthode de Van Soest et Goering Hk(1970).

I.3. Analyses microbiologiques

I.3.1. Flore mésophile aérobie totale (FMAT):

Le dénombrement de la FMAT à été effectué après dilutions appropriées de l'échantillon dans le bouillon eau peptonée tamponnée puis ensemencement sur milieu Plate Count Agar (PCA) et incubation à 30 °C pendant 72 heures, selon la norme NM ISO 4833-2008.

I.3.2. Bactéries lactiques :

L'isolement des bactéries lactiques a été effectué sur milieu de Man Rogosa et Sharpe (MRS). L'incubation est effectuée à 30°C pour les espèces mésophiles et à 45°C pour les espèces thermophiles pendant 48 h. Après incubation, les colonies rondes ou lenticulaires sont dénombrées. (NM ISO 15214-2007)

I.3.3. Levures :

La méthode consiste à ensemencer le milieu Potato Dextrose Agar (PDA) fortement acidifié (pH 3-3.5) par l'acide lactique. Le dénombrement est effectué après 3 jours d'incubation à 30°C (NM 08.0.123-2005).

I.4. Essai de valorisation des grignons d'olive:

Deux échantillons de grignons ont été placés dans deux petits sceaux puis ensemencés par un ferment des bactéries lactiques et levures et une solution qui contient un mélange composé de miel de sucre, de l'eau et de NaCl. En vue de suivre les

transformations subies par les grignons, des mesures quotidiennes de pH et des analyses microbiologiques effectuées chaque semaine ont été faites pour les deux échantillons.

I.4.1. Suivi du pH:

Le pH a été mesuré à l'aide d'un appareil à affichage numérique (consort). Le pH mètre est calibré par deux tampons pH 4 et pH 7. (NM 00.2.213).

I.4.2. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont porté sur la Flore mésophile aérobie totale (FMAT), les levures et les bactéries lactiques selon les modes décrits ci-dessus.

I.4.3. Identification préliminaire des bactéries lactiques:

On a identifié les bactéries lactiques en utilisant le Test de catalase, la coloration de Gram, croissance à différentes températures (10, 30 et 45°C), test de production de CO₂, et la croissance à différentes concentrations de NaCl (2 et 6.5%).

II. RESULTATS

II.1. Résultats physico-chimiques :

Les résultats d'analyse chimique des échantillons de grignons d'olive (Tableau I) montrent que les teneurs moyennes trouvées pour la matière sèche, les cendres, la matière azotée totale, la matière grasse et les fibres sont successivement 65,13%, 4,16%, 5,8%, 9,4% et 59 % dont 36,17 est présenté par la lignine

Tableau 1 : La composition physico-chimique des grignons d'olive

constituants	Fibres (ADL) %MS	Fibres (ADF) %MS	Matière Grasse % MS	Matière azotée %MS	cendres % MS	Matière sèche %
Valeur minimale	27,9	51,1	7,6	2,9	2,1	51,8
Valeur maximale	42,9	70,8	11,2	9,34	13	74
Valeur moyenne	36,17	59	9,4	5,8	4,16	65,13

II.2. Résultats microbiologiques.

Les résultats d'analyse microbiologique des échantillons de grignon d'olive (Tableau II) montrent que la charge en flore mésophile aérobie totale varie de 2.10^4 à 10^7 ufc/ml, en bactéries lactiques varie de 10^5 à $7 \cdot 10^6$ ufc/ml et en levures varie de 2.10^4 à $3 \cdot 10^6$ ufc/ml.

Les résultats d'identification (Tableau II) ont révélé la présence d'une souche du genre *leuconostoc*, deux du genre *pediococcus* et huit *lactobacillus*.

Tableau 2: La flore microbienne des Grignons d'olives

Type de microorganisme	FMAT	Levure	Bactéries lactiques
Charge (ufc/ml)	2.10^4 à 1.10^7	2.10^4 à $3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$ à $7 \cdot 10^6$
Nombre des souches sélectionnés	-	12	11
Genre identifié	-	-	<i>Leuconostoc</i> (une) <i>Pediococcus</i> (deux) <i>Lactobacillus</i> (huit)

II.3. Essai de valorisation

Le suivi de l'essai (tableau II) a montré une diminution du pH de 5,00 à 4,52 pour le premier essai et de 5,05 à 4,70 pour le deuxième. La FMAT, les levures et les bactéries lactiques ont subi une augmentation importante. Un tel pH est le résultat de la croissance des bactéries lactiques. En effet, des souches de *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *lactobacillus* ont été identifiées.

III. DISCUSSION :

III.1. Composition physico-chimique

Les teneurs élevées en cendres nous permettent de conclure qu'ils sont riches en minéraux. Pour la matière azotée, les études ont montré que la plus grande partie se

trouve liée à la fraction pariétale ce qui les rend moins disponibles à l'animal. Les valeurs de la matière grasse sont élevées ceci permet de conclure que les systèmes d'extraction de l'huile par pression dans les différentes Maâsras artisanales de Beni Mellal n'arrivent pas à extraire totalement la matière grasse des olives. Le grignon est caractérisé par des taux élevés de lignine ce qui explique la faible digestibilité de ce dernier. Ceci nous amène à penser à des techniques permettant la valorisation des grignons pour être plus utilisés dans l'alimentation du bétail

Les valeurs trouvées pour les différentes composantes correspondent à ceux trouvés par Nefzaoui et al (1984, 1985), la matière sèche est supérieure à celle de F. Sellami (2007) et Z. Salem (2006), mais similaire à celle de F. Aloui (2007), alors que les cendres et la matière azotée sont inférieures à celles de F. Aloui (2007).

III.2. Composition microbiologique

La charge de la flore mésophile aérobie totale des échantillons de grignons d'olive (Tableau II) a atteint des valeurs élevées, cela est probablement favorisé par : le stockage prolongé au niveau des vergers au contact du sol et à l'exposition des contaminant microbiens, ainsi qu'à la multiplication des microorganismes au niveau des opérations de trituration et de pressage des olives et le stockage prolongé à l'air libre des grignons dans les maâsras. Pour les bactéries lactiques les souches identifiées (*Leuconostoc*, *Pediococcus* et les *Lactobacillus*) ont un pouvoir fermentaire assez important ce qui permettra de mener des procédés biotechnologique (Güner Özay, 1995).

III.3. Essais de valorisation

L'essai de valorisation (Tableau III) a montré une variation significative du pH et de la flore microbiologiques contrôlées (la flore mésophile aérobie, les bactéries lactiques et les levures) ce qui indique le bon déroulement de la fermentation.

L'enrichissement des grignons par les deux groupes de micro-organismes, levures et bactéries lactiques, nous a donné un produit fini riche en biomasse probiotique mixte (Bactérie lactique + Levure) qui est bénéfique dans l'alimentation animale, en effet ces microorganismes sécrètent un grand nombre de substance (Vitamines, Antibiotiques ...)

(Philippe Seksik 2007) qui augmentent la valeur nutritionnelle et hygiénique des grignons. Donc c'est plus intéressant d'utiliser les grignons enrichis en biomasse probiotique dans l'alimentation du bétail et parmi les effets positifs de ces probiotiques est l'augmentation de la digestibilité de l'aliment.

L'essai de valorisation des grignons d'olive a montré que ces deniers peuvent être transformés par fermentation, pour produire une biomasse probiotique ou bien pour productions des enzymes à intérêt industriel c'est le cas du travail de J. Cordova (1998). L'enrichissement des déchets alimentaires par des moyens biotechnologiques s'avère un moyen adéquat pour une valorisation des déchets indigestibles tel que les grignons d'olive.

Tableau III : Résultats de l'essai de valorisation

Echant.	Période	Levure 10 ⁵ ufc/ml	Lactobacillus 10 ⁴ ufc/ml	Pediococcus 10 ³ ufc/ml	Leuconostoc 10 ³ ufc/ml	FMAT 10 ⁴ ufc/ml	pH
Sceau 1	1ère jour	10	100	1	60	200	5.00
Sceau 2		2	100	100	60	3000	5.05
Sceau 1	8ème jour	8	30	20	4000	20	4.6
Sceau 2		4	500	300	300	200	4.81
Sceau 1	15 ème jour	20	1000	300	100	1	4.52
Sceau 2		10	800	800	40	10	4.7

Conclusion

L'étude que nous avons réalisée sur les grignons d'olive a permis de conclure que les caractéristiques chimiques de ces sous-produits de l'olivier sont comparables aux

données apportées dans la littérature. On remarque une teneur en matière grasse importante relativement à la teneur initiale en huile dans les olives. La teneur en azote est relativement élevée cependant, la plus grande partie est liée à la fraction pariétale. La teneur importante en fibres est représentée en majorité par la lignine.

La composition chimique des grignons s'avère intéressante sur le plan nutritionnel. Sa faible digestion due à la présence des fibres reste une contrainte importante.

Les résultats des analyses microbiologiques montrent que les grignons sont chargés en microorganismes tel que : les levures et les bactéries lactiques (surtout les lactobacilles) qui représentent un intérêt technologique. L'essai de valorisation des grignons d'olive a montré que ces deniers peuvent être transformés par fermentation, pour produire une biomasse probiotique.

L'enrichissement des déchets alimentaires par des moyens biotechnologiques s'avère un moyen adéquat pour la valorisation des grignons d'olive.

Références Bibliographiques

Agri.Med, 2005 : Agriculture, pêche, alimentation et développement durable dans la région méditerranéenne.

Ahmed TRIGUI 2008. Etude en vue de l'élaboration d'un plan d'action pour l'utilisation énergétique des sous produits de l'oliveraie tunisienne ; PNUDTunisie/ANME (33/2008)

Aloui. F., Abid .N., Roussos. S., Sayadi. S., 2007 : Decolorization of semisolid olive residues of "alperujo" during the solid state fermentation by *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus cinnabarinus* and *Aspergillus niger*. *Biochemical Engineering Journal*, 35 120–125

Alalaoui I. 1998 : Valorisation des sous produits des industries alimentaires par biotransformation en milieu solide et enrichissement en protéine, XIII congrès international de génie rural. Rabat, 2-6 février 1998.

Aranda .E, Garcí'a-Romera.I, Ocampo .J.A., Carbone V., Mari. A., A. Malorni , Sannino. F. , De Martino. A., Capasso. R., 2007: Chemical characterization and effects on *Lepidium sativum* of the native and bioremediated components of dry olive mill residue *Chemosphere* 69 :229–239.

El jazoli A., 1998 : Enrichissement protéique des grignons d'olive par fermentation en milieu solide. Thèse en industrie agro alimentaire. Institut agronomique Hassan 2 Rabat., Maroc

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970: Forage fiber analyses (Apparatus, procedures, and some applications). U.S.D.A., AgE Handb. 379.

Güner Özay, Mehlika Borcakh 1995 , Effect of brine replacement and salt concentration on the fermentation of naturally black olives . Food Research International, Volume 28, Issue 6, 1995, Pages 553-559

J. Cordova ., M. Nemmaoui., M. Ismaïli-Alaoui., , A. Morinc, S., Roussos., M. Raimbault and B. Benjilal., (1998) Lipase production by solid state fermentation of olive cake and sugar cane bagasse: Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic ;Volume 5, Issues 1-4, 15, P 75-78

MAP 2008 : ministre d'agriculture et de pêche maritime Maroc.

Nefzaoui A. et Vanbelle M., 1984. Publication du laboratoire de Biochimie de la Nutrition (UCL). 80 pp.

Nefzaoui .A, 1985. Sous produits d'olive. Thèse de Doctorat. Université Catholique de Louvain (Belgique).

NM ISO 749-2007 :Tourteaux de graines oléagineuses - Détermination des cendres totales ; (IC 08.5.066) 5p.

NM 08.3.030-2001 : Jus de fruits et de légumes - Dosage de l'azote – Méthode de Kjeldahl -09 p.

NM 08.5.054-1996 : Tourteaux de graines oléagineuses -Détermination de la teneur en matière grasse -06p

NM 00.2.213-2008 : Caractérisation des déchets - Analyse des éluats, 18p.

Philippe Seksik 2007. Probiotiques et maladies inflammatoires chroniques intestinales. Cahiers de Nutrition et de Diététique. Volume 42, Supplement 2, P 51-59

Sellami .F, Jarboui .R, Hachicha. S, Medhioub. K, Ammar .E.,2008: Cocomposting of oil exhausted olive-cake, poultry manure and industrial residues of agro-food activity for soil amendment. Bioresource Technology 99: 1177–1188

Salem. Z., Lebig.H., Cherfa H. W .K., Allia .K., 2007: Valorisation of olive pits using biological denitrification. Desalination 204 :72–78

CONCLUSION

Au Maroc les grignons d'olive sont disponibles en quantités appréciables, et sont principalement utilisés comme combustibles. Leur utilisation en alimentation animale est limitée par leur faible valeur nutritive.

A la lumière des données bibliographiques et de l'étude de caractérisation physico-chimique et microbiologique que nous avons menées, nous constatons que les grignons d'olive ont une faible teneur en azote (5,8%MS), élevée en fibres, particulièrement en lignine (36,17%MS). Leur teneur en matière grasse est élevée (9,4%) à cause du manque de déshuilage. Ce dernier est dû aux faibles pressions appliquées et à l'absence du malaxage, dans les maâsras traditionnelles. Par ailleurs, ils sont chargés en micro-organismes pouvant être utiles tels que les levures et les bactéries lactiques, ce qui fait du grignon un sous-produit se prêtant bien aux fermentations.

Ces premières données nous ont motivé à mener un procédé de fermentation en milieu semi-solide dans l'objectif de stabiliser les grignons d'olives pour leur utilisation en alimentation animale. Les bactéries lactiques du biotope naturel présent dans les grignons d'olives ont permis par leur croissance d'abaisser le pH jusqu'à 4,5 auquel les entérobactéries et les bactéries aérobies facultatifs sont inhibés.

CONCLUSION GENERALE

La valorisation biotechnologique des sous-produits et déchets solides constitue bien une source potentielle susceptible de contribuer à l'amélioration de la rentabilité et à la protection de l'environnement. Actuellement les sous-produits et déchets solides sont partiellement valorisés par beaucoup de pays, alors que leurs possibilités d'emploi sont nombreuses. Ils constituent une source d'approvisionnement :

D'aliments de Bétail

D'énergie

Des fertilisants

Des produits chimiques à nombreuses applications industrielles (agro-alimentaires, pharmaceutiques ou cosmétiques).

Parmi ces sous-produits, nous nous sommes intéressés dans la présente étude aux graines des figues de barbarie et aux grignons d'olives.

La valorisation des graines des figues de barbarie a porté sur l'extraction des huiles y contenus pour leur utilisation industrielle en l'occurrence le cosmétique très demandeur de cette matière. Dans ce travail, nous avons essayé d'évaluer le rendement en huile, les caractéristiques physico-chimiques et la composition en acides gras pour les huiles issues deux variétés marocaines d'*Opuntia ficus indica*, Aissa et Moussa. Nous avons constaté que le rendement en huile est meilleur dans le cas d'extraction par solvant (7,89 à 11,86%) que l'extraction par pression à froid (3,47 à 8,08%). Il est optimal vers fin juillet pour la variété Aissa, et fin octobre pour la variété Moussa.

Concernant les caractéristiques physico-chimiques, les indices d'acidité, de saponification, de peroxyde et de réfraction, sont conformes aux normes et aux données

bibliographiques. On note les valeurs élevées de l'indice d'iode montrant que les huiles des graines du cactus sont riches en acides gras insaturés. Ceci a été bien confirmé par les analyses chromatographiques qui ont montré que ces huiles sont très riches en acides gras insaturés représentant 89,86% du total des acides gras. L'acide linoléique est l'acide gras prédominant, suivi de l'acide oléique, l'acide palmitique. Vers la fin de la période de maturation, une partie d'acide linoléique est saturée et convertie en acide oléique et stéarique. La méthode d'extraction utilisée par solvant ou par pression à froid a effet sur le rendement en huile, mais pas d'effet sur la composition en acides gras.

Par ailleurs, notre travail sur la valorisation des grignons d'olives s'est focalisé sur sa caractérisation physico-chimique et microbiologique, et sa stabilisation par voie biotechnologique pour son utilisation en alimentation animale. Cette étude a révélé que les grignons d'olives sont riches en fibres et pauvres en protéines. Sa flore microbienne est assez riche en bactéries lactiques et en levures. Aussi a-t-on conduit un essai de fermentation en milieu semi-solide par les bactéries lactiques provenant du biotope naturel des grignons. Les résultats étaient concluantes, puisqu'au bout de 15 jours le pH a baissé jusqu'à 4,5, un tel pH a permis d'inhiber le développement des bactéries putréfiantes et de garder le produit stable assez de temps dans le but de son utilisation en alimentation animale.

A l'issue de cette étude, il s'avère que les possibilités de valorisation des résidus agro-alimentaires sont nombreuses et prometteuses, aussi faut-il intensifier les recherches dans ce sens afin d'apporter des solutions efficaces aux contraintes que posent leurs utilisations. Dans ce sens, nous travaillons actuellement sur la valorisation des pulpes de betterave et sur les pelures des figues de barbarie.

En perspectives pour cette étude, nous comptons :

- Étendre cette étude à toutes les variétés marocaines du figuier de barbarie et étudier la possibilité d'exploitation des autres constituants de la graine à savoir les polysaccharides pariétaux dans des utilisations industrielles.
- Mener des essais de fermentation en milieu semi-solide pour les grignons d'olives, par des champignons non toxiques permettant d'enrichir le produit en protéines et de dégrader la lignine.