

UNIVERSITÉ MOHAMMED V - AGDAL  
FACULTÉ DES SCIENCES  
Rabat



N° d'ordre: 2689

## THÈSE DE DOCTORAT

Présentée par

***Khouloud LAKRARI***

Discipline : **Chimie**

Spécialité : **Chimie Physique**

### **Contribution aux études de Traitement et Valorisation des Huiles Végétales d'Intérêt Ecologique**

Soutenue le 20 Décembre 2013

Devant le jury

#### **Président**

**Mr. Najem HASSANAIN**

PES - Faculté des Sciences - Rabat

#### **Examineurs**

**Mr. Mohammed EL AZZOUZI**

PES - Faculté des Sciences - Rabat

**Mr. Abdelaziz LAGHZIZIL**

PES - Faculté des Sciences – Rabat

**Mr. Ahmed SATRALLAH**

PES - Institut Agronomique et Vétérinaire – Rabat

**Mr. Abdelmejid BAHLOUL**

PES - Faculté des Sciences Ben M'Sik Casablanca

**Mr. Chouaib BENQLILOU**

PH - Ecole Nationale de l'Industrie Minérale Rabat

**Mr. Said KITANE**

PES - Ecole Nationale de l'Industrie Minérale Rabat

**Mr. Mohammed ALAOUI EL BELGHITI**

PES - Faculté des Sciences - Rabat

## Avant propos

Les travaux présentés dans le mémoire ont été effectués au laboratoire de Chimie Physique Générale, Département de Chimie de la Faculté des Sciences de Rabat, en collaboration avec le laboratoire de Chimie Appliquée du Département de Mines et Minéralurgie de l'Ecole Nationale de l'Industrie Minérale (ENIM) RABAT.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude au directeur de thèse Monsieur le professeur **Mohammed ALAOUI ELBELGHITI** qui a dirigé ce travail avec une grande compétence, sa grande disponibilité et son dynamisme sa rigueur scientifique m'a incité à aller toujours de l'avant, j'ai été particulièrement sensible à la confiance qu'il m'a témoignée. Les tâches qu'il m'a confiées m'ont permis d'acquérir une expérience très enrichissante dans le domaine de la recherche scientifique. Veuillez accepter par ces quelques pages mon plus profond respect, et mes plus vifs remerciements.

Je tiens à remercier mon correspondant extérieur Monsieur le Professeur **Saïd KITANE** de l'ENIM. Je vous suis extrêmement reconnaissante d'avoir accepté de me diriger et de me guider dans l'élaboration de ce travail, je vous remercie d'avoir éveillé mon intérêt à la recherche. Je tiens à vous remercier pour votre rigueur, votre capacité de synthèse, et votre aide précieuse, qui ont permis de mener à terme cette thèse. Je tiens à vous adresser mes plus vifs remerciements.

Je tiens aussi à remercier Monsieur le professeur **Najem HASSANINE** de m'avoir aidé à la réalisation du troisième chapitre de ce travail, de la confiance qu'il m'a témoignée, et de ses conseils pour mener à bien mes travaux de recherche. Il me fait le grand honneur de présider mon jury de thèse.

Je remercie Monsieur le Professeur **Mohammed EL AZZOUZI**, de me faire l'honneur d'être rapporteur de ce travail, je souhaite vous remercier pour vos remarques et suggestions afin d'améliorer la qualité de ce travail. J'espère que vous trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur **Ahmed SATRALLAH** d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail, je souhaite vous remercier pour le temps que vous avez accordé à la lecture de cette thèse et à l'élaboration de mon rapport. J'espère que vous trouveriez ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie également Monsieur le Professeur **Abdelaziz LAGHZIZIL**, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'examiner ce travail et de siéger parmi les membres de ce jury de thèse. Je tiens à vous présenter mon plus profond respect et mes sincères remerciements.

Je tiens à remercier Monsieur **Abdelmejid BAHLOUL** professeur à la Faculté des Sciences Ben M'Sik Casablanca, d'avoir accepté de juger ce travail. Je vous suis reconnaissante pour votre déplacement pour faire partie des membres du jury.

Je remercie Monsieur le professeur **Chouaib BENQLILOU** d'avoir accepté de juger ce travail et de siéger parmi les membres du jury. Je vous suis très reconnaissante. Veuillez croire en l'expression de ma sincère et profonde gratitude.

### *À l'âme de*

Mon grand-père Mohammed Lakrari que je n'ai pas eu la chance de connaître. Ma grand-mère Khadouj Elkorchi ça va faire bientôt une année que tu nous as quitté et j'aurais été encore plus fière de mon travail si tu étais encore là l'mima...

### *À mes grands parents*

Baba Hajj et Mama Hajja que Dieu tout puissant vous procure santé et longue vie.

### *À mes parents*

M'hamed Lakrari et Fatiha Touddar

Pour l'amour que vous m'avez donné, pour les valeurs que vous m'avez inculquées, et pour avoir fait de moi la personne que je suis aujourd'hui... Je vous témoigne ma plus affectueuse gratitude

### *À ma petite sœur*

Leila Lakrari pour ton soutien et ton amour fraternel. Que Dieu nous garde toujours réunies pour le bonheur et la prospérité ma chère lilouse.

### *À tous les membres de ma grande famille*

Pour m'avoir soutenu dans mes efforts : LAKRARI, TOUDDAR, DOUKHANI, ELGHETTASS, BOULANOUAR, ZAHID, ELKABABRI, ZIRI, NAJI, ZAKARIA, HAJJI, CHERIF, SQUALI, JELDA, DAOUDI, ZAMAMA, ZAAMI, FAIK.

### *Je dédie cette thèse...*

Je remercie enfin toutes les personnes intéressées par mon travail, en espérant qu'elles puissent trouver dans mon rapport des explications utiles pour leurs propres recherches...

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b>	<b>08</b>
<b>Chapitre I : : Traitement et valorisation de déchets des margines et de grignons d'olives au Maroc</b>	<b>13</b>
<b>I. Synthèse bibliographique</b>	<b>14</b>
1. Introduction	14
1.1 Production de l'huile d'olive dans le monde	14
1.2 La production de l'huile d'olive au Maroc	15
2. L'olive	17
2.1 Composition de l'olive	17
2.2 Condition climatique de l'olive au Maroc	17
2.3 Condition du sol	18
2.4 Variétés	18
2.5 Cycle végétatif et productif de l'olivier	18
2.6 Techniques culturales	19
2.7 Entretien du sol et fertilisation	19
2.8 Irrigation	20
2.9 Taille	20
2.10 Récolte et conservation	20
3. Huile d'olive	21
3.1 Procédé d'obtention de l'huile d'olive	21
3.1.1 Procédés discontinus ou systèmes à presses	22
3.1.2 Procédés continus ou systèmes à centrifugation	23
3.2 Composition générale des huiles d'olive	24
3.2.1 Acides gras	24
3.2.2 Composés phénoliques	26
3.2.3 Tocophérols	28
3.2.4 Composés aromatiques	28
4. Impact des effluents d'huileries d'olive	30
4.1 Impact sur l'environnement	30
4.2 Impact sur les eaux	30
4.3 Impact sur les sols	31
4.4 Impact sur les plantes	31
5. Procédés de traitement des effluents d'huileries d'olive	31
5.1 Valorisation des margines	32
5.1.1 Valorisation du concentré margine pour le tannage	33
5.2 Valorisation des grignons d'olive	36
5.2.1 Le charbon actif	36
<b>II. Partie expérimentale</b>	<b>38</b>
1. Matériels et méthodes	39
1.1 Procédé de valorisation des margines	39
1.1.1 Evaporation naturelle	39

1.1.2	Extraction des polyphénols	41
1.1.3	Traitement des peaux par les concentrés de margines issus de l'évaporation sous serre	42
1.2	Procédé de valorisation des grignons d'olive	44
1.2.1	Saponification de l'huile de grignon	46
1.2.2	Préparation du furfural	46
1.2.3	Préparation du charbon actif	47
<b>III.</b>	<b>Résultats et discussions</b>	<b>48</b>
1.	Margine	48
1.1	Les polyphénols	49
1.2	Traitement des peaux par les margines	51
2.	Grignons d'olive	52
2.1	Saponification de l'huile de grignon	52
2.2	Préparation du furfural	53
2.3	Préparation du charbon actif	53
<b>IV.</b>	<b>Conclusion</b>	<b>54</b>
<b>V.</b>	<b>Références Bibliographiques</b>	<b>55</b>
<b>Chapitre II :</b>	<b>Valorisation de l'huile d'avocat</b>	<b>59</b>
<b>I.</b>	<b>Synthèse bibliographique</b>	<b>60</b>
1.	Introduction	60
1.1	Production mondiale d'avocat	60
1.2	La culture et la production d'avocat au Maroc	61
1.2.1	Importance et aire de culture	61
2.	Avocatier	62
2.1	Conditions climatiques	62
2.2	Condition du sol	63
2.3	Variétés d'avocat au Maroc	63
2.4	Récolte et conservation	63
3.	Utilisation de l'huile d'avocat	64
3.1	Propriété de l'huile d'avocat	64
3.2	Composition de la pulpe d'avocat	64
4.	Extraction d'huile d'avocat	66
4.1	Le séchage	69
<b>II.</b>	<b>Partie expérimentale</b>	<b>72</b>
1.	Matériels et méthodes	73
1.1	Le séchage	73
1.2	Extraction de l'huile d'avocat	75
1.3	Fabrication du savon à partir de l'huile d'avocat extraite	78
<b>III.</b>	<b>Résultats et discussions</b>	<b>78</b>

<b>IV. Volet Socio-Economique</b>	<b>80</b>
<b>V. Conclusion</b>	<b>84</b>
<b>VI. Références bibliographiques</b>	<b>86</b>
<b>Chapitre III : Etude des propriétés physiques des huiles végétales</b>	<b>88</b>
<b>I. Synthèse Bibliographique</b>	<b>89</b>
1. Introduction	89
2. Technologie des transformateurs de puissance	90
2.1 Rôle des huiles isolantes dans le transformateur	91
2.2 Huiles minérales	91
2.3 Huiles végétales ou esters naturels	92
3. Propriétés des huiles isolantes	93
3.1 Résistivité électrique	93
3.1.1 Définition	93
3.1.2 La loi d'ohm	94
3.1.3 Caractérisation des huiles	94
3.2 Viscosité	95
3.2.1 Définition	95
3.2.2 Relation viscosité – température (V-T)	96
3.2.3 Viscosité des huiles	97
<b>II. Partie expérimentale</b>	<b>100</b>
1. Matériels	100
2. Méthodes	102
<b>III. Résultats et discussions</b>	<b>102</b>
<b>VI. Conclusion</b>	<b>105</b>
<b>V. Références bibliographique</b>	<b>106</b>
<b>Conclusion Générale</b>	<b>107</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>109</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>110</b>
<b>Liste des schémas</b>	<b>111</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>112</b>
<b>Annexe 1</b>	<b>113</b>
<b>Annexe 2</b>	<b>118</b>
<b>Annexe 3</b>	<b>122</b>
<b>Annexe 4</b>	<b>134</b>
<b>Résumé de la Thèse en Français et en Anglais</b>	<b>141 - 142</b>

---

---

# Introduction Générale

---

---

## **Introduction générale**

L'agriculture au Maroc a été toujours un secteur stratégique pour le développement socio-économique du pays. Depuis l'indépendance, le secteur agricole a connu de nombreux programmes de développement agricole et rural et de réformes structurelles pour permettre d'assurer sa sécurité alimentaire et de contribuer dans la croissance économique du pays. Malgré ce soutien dont a bénéficié l'agriculture par le passé, elle reste un secteur sous-développé. Si l'on peut admettre que des facteurs comme la croissance démographique, les sécheresses et la mondialisation ont joué un rôle déterminant dans cette situation, il n'en demeure pas moins que ce diagnostic n'explique pas tout, puisque des pays comparables ont été confrontés à ces problèmes et ont pu sortir de ce fléau [Ministère de l'agriculture2012]

D'autres facteurs endossent en fait une partie moins importante de cette responsabilité. Il s'agit notamment de déficits de politiques, d'institutions et de gouvernance. C'est l'une des principales conclusions de l'étude prospective sur l'agriculture à l'horizon 2030, menée sous la conduite du Haut Commissariat au Plan (HCP). " Les politiques agricoles successives des 50 dernières années, même si elles ont apporté des progrès indéniables, n'ont pas pu aborder le développement agricole dans sa totalité, dans sa diversité et dans sa relation fondamentale avec le développement rural et avec la durabilité. Elles sont restées d'une façon générale trop dirigistes et technicistes, elles n'ont pas pu s'adresser au capital humain, mobiliser et responsabiliser suffisamment les acteurs ou appuyer efficacement leurs initiatives".

Le contexte mondial marqué par la sécurité alimentaire, le changement climatique, la hausse des prix des produits agricoles, la responsabilisation des producteurs, la lutte contre la pauvreté a imposé au Maroc de revoir sa stratégie agricole dans un sens de mise à niveau, de restructuration et de redéfinition des missions. C'est dans cette perspective que le nouveau Plan Maroc Vert a été élaboré et ce, pour rendre l'agriculture le principal moteur de croissance de l'économie nationale dans les 10 à 15 prochaines années. Ceci avec des retombées importantes en termes de croissance du PIB, de création d'emplois, d'exportation et de lutte contre la pauvreté [Ministère de l'agriculture2012]

Après avoir exposé les défis posés par le contexte national et mondial à l'agriculture marocaine, il nous semble très opportun de présenter la nouvelle stratégie agricole au Maroc, qui vient d'être élaboré au moment où les défis sus-indiqués l'obligent à entreprendre des réexamens radicaux pour répondre à une exigence de changement, d'innovation et de réforme pour un scénario de progrès durable.

En effet, devant de tels défis et en exécution des hautes Directives de Sa Majesté le Roi et de ses multiples expressions de sa volonté pour que le secteur agricole contribue pleinement à l'essor global de notre pays, le Département de l'Agriculture s'est attelé à formuler une nouvelle stratégie de développement agricole, nommée Plan Maroc Vert, qui devra nécessairement :

- Imprimer au secteur agricole une dynamique d'évolution harmonieuse, équilibrée et évolutive qui tient compte de ses spécificités;
- Exploiter les marges de progrès et valoriser au mieux les potentialités;
- Faire face aux nouveaux enjeux tout en préservant les équilibres sociaux et économiques;
- Accompagner la profonde mutation que connaît le système agro-alimentaire

### **La chimie verte : une alternative aux ressources non renouvelables.**

Comment limiter, voire remplacer le recours systématique au pétrole, en particulier dans le secteur des transports où sa suprématie est encore quasi totale, tout en réduisant les émissions de polluants et les gaz à effet de serre ? Pour faire face à cette problématique mondiale, il s'agit à la fois d'anticiper, à terme, la pénurie inéluctable de pétrole, de faire face aux variations du cours du baril et de contribuer à un environnement durable. Le développement durable consiste à réconcilier le développement économique et social, la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles. Dans ce cadre, la valorisation de la biomasse (forêts, déchets céréaliers, déchets huileux,...) apparaît comme une alternative séduisante aux hydrocarbures, tant pour produire de l'énergie que des biocarburants. La biomasse, constituée par la matière vivante, terrestre ou marine, peut constituer une source d'énergie considérable. Sa forme la plus traditionnelle est le bois utilisé pour le chauffage ou la cuisson des aliments. Toutefois, la biomasse sert aussi à produire des biocarburants, à partir de plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja) ou de plantes sucrières (betterave, canne à sucre) et de céréales (blé, maïs). Ces biocarburants représentent un intérêt majeur, car ils permettent de limiter les rejets dans l'atmosphère du CO<sub>2</sub> (principal gaz à effet de serre), car les quantités de CO<sub>2</sub> rejetées tout au long de la chaîne de production (engrais, opérations de découpe et de raffinage, émissions des moteurs automobiles) sont absorbées par la biomasse pour sa propre croissance par photosynthèse. Ainsi la valorisation des huiles végétales rentre dans le cadre de recherches de ressources renouvelables et respectent l'environnement [Ministère de l'agriculture2012].

Au Maroc, il existe actuellement plus de 4200 plantes dont seulement 850 sont utilisées et exploitées industriellement, telles que : romarin, caroubier, lavande, thym, menthe, verveine, sauge, pin d'Alep, origan, armoise...

L'objectif de ce travail s'inscrit dans le concept du développement durable et la protection de l'environnement, pour une gestion intégrale des produits agroalimentaires, notamment de l'industrie oléicole au Maroc. Plusieurs opportunités de valorisation de ces produits présentent le double intérêt de résoudre les problèmes environnementaux mais aussi et surtout d'augmenter la rentabilité des unités de l'industrie agroalimentaire, la qualité de l'huile et les déchets en proposant des nouveaux procédés écologiques.

Le premier volet de ce travail consiste à traiter et valoriser les déchets margine et grignons d'olives au Maroc qui sont devenus des matières premières non négligeables pour élaborer et récupérer beaucoup de produits de grandes valeurs, ce qui contribue à la protection et la préservation de l'environnement. En effet les procédés écologiques de traitement et de valorisation de déchets que nous proposons, visent de s'approcher à zéro déchet au niveau de chaque unité de traitement créé selon le principe 3R (Réduire, Réutiliser et Recycler) et en se conformant aux règles et lois relatives à la gestion des déchets et à leur élimination.

Les résultats du procédé de traitement et de valorisation des déchets d'extraction de l'huile d'olive sont multiples :

- Les rejets des margines sont évaporés sous serre pour produire un concentré tanin pour le tannage écologique des peaux.
- L'huile de grignons est utilisée pour la fabrication du savon biodégradable, de la glycérine une fois le produit épuisé il est utilisé pour la fabrication du furfural et du charbon actif.

Le deuxième volet de ce travail vise à valoriser le fruit d'avocat Marocains, En proposant un nouveau procédé écologique d'extraction de l'huile d'avocat, à partir des chutes de la collecte du fruit et des déchets générés par la non commercialisation d'une partie d'avocat dégradée lors de l'exposition prolongée aux étalages des commerçants, selon les résultats de recherche que nous avons réalisés au laboratoire de chimie appliquée. Les analyses et le contrôle de ces huiles ont montré que la teneur en huile est de l'ordre de 20% et que cette huile a une grande valeur nutritive et cosmétique c'est pour ces raisons que nous proposons de développer les recherches en vue d'industrialiser ces procédés.

Nous avons fait une étude comparative des procédés d'extraction de l'huile d'avocat : extraction sous pression mécanique Extraction par Solvant hexane, Extraction par séchage à l'air , Extraction après Lyophilisation, et extraction par un nouveau procédé séchage modéré sous vide qui consiste à sécher partiellement le fruit sous vide (12mmHg) et sous une température inférieure à 60°C pour éliminer 40%

d'humidité pendant max 1h. Pour obtenir une pâte claire contrairement aux conditions de séchage à l'étuve pendant 24H qui donne souvent une oxydation partielle de la pâte et de l'huile. L'extraction de l'huile d'avocat par l'alcool éthylique à partir de la pâte obtenue selon ce nouveau procédé permet d'isoler l'huile avec un rendement presque quantitatif et une qualité meilleure par rapport aux procédés traditionnels, de plus le tourteau isolé garde ses qualités suite aux conditions douces proposées.

Le troisième volet de ce travail a pour objectif de faire une étude comparative de différentes huiles végétales en analysant le comportement de la résistivité électrique et la viscosité en fonction de la température. En effet L'importance croissante des questions en faveur du développement durable implique la prise en compte de critères environnementaux dans le développement de tous nouveaux matériaux et matériels. Au sein des transformateurs, un liquide stable, inerte, ayant de bonnes propriétés électriques et thermiques est nécessaire ; à l'extérieur, ce liquide doit être non toxique pour l'environnement et facilement biodégradable. Les propriétés intrinsèques des huiles végétales naturelles, en termes de tenue au feu, performances environnementales et caractéristiques électriques et thermiques, font des compositions diélectriques des produits particulièrement intéressants dans le domaine de l'électrotechnique. Cette étude peut être utile pour une éventuelle application de ces huiles dans le domaine technologique.

## **Chapitre I :**

---

# **Traitement et valorisation des déchets de margines et de grignons d'olives au Maroc**

---

## **I. Synthèse bibliographique**

### **1. Introduction**

L'huile d'olive est le produit méditerranéen par excellence. On la retrouve à travers l'histoire, depuis la civilisation grecque jusqu'à nos jours. Elle est la principale source de matières grasses du régime crétois ou du régime méditerranéen qui sont bien connus pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine. Si l'huile d'olive est un produit intéressant d'un point de vue nutritionnel c'est tout d'abord par sa composition en acides gras. En effet elle est largement insaturée et contient une petite partie d'acides gras essentiels. Outre cette composition particulière en acides gras, l'huile d'olive est surtout intéressante par ses composés minoritaires tels que les polyphénols. L'intérêt nutritionnel de ces composés phénoliques réside dans leur forte capacité antioxydante qui pourrait prévenir ou ralentir l'apparition de certaines maladies dégénératives ainsi que les maladies cardiovasculaires. Optimiser leur contenu dans l'huile d'olive présente donc un réel intérêt de santé publique. L'huile d'olive est une huile de table directement issue d'un fruit sans recourir à des étapes de raffinage. En effet, selon les normes officielles, l'huile d'olive ne peut être obtenue qu'à partir du fruit de l'olivier et uniquement par utilisation de procédés physiques. L'absence d'étape de raffinage permet à l'huile d'olive de conserver tous ses antioxydants car ils ne vont pas être éliminés lors de ce procédé. L'olive étant un fruit riche en antioxydants (oleuropéine, ligstroside...), l'huile brute qui en résulte est elle aussi riche en composés antioxydants. Les principaux antioxydants de l'huile d'olive sont des dérivés de l'oleuropéine et du ligstroside et font donc partie de la classe des composés phénoliques. Ces composés vont permettre une bonne conservation de l'huile d'olive dans le temps puisque ces molécules ainsi que le tocophérol vont prévenir son oxydation [ Thèse Sebastien Veillet 2010]

#### **1.1 Production de l'huile d'olive dans le monde**

Les pays du bassin méditerranéen seront les premiers à bénéficier de l'appétence des Chinois, des Brésiliens et des Russes pour ce fruit oléagineux. Sur le podium des gagnants, trois pays de l'Union européenne (UE) en difficulté économique : l'Espagne, l'Italie et la Grèce. Une production presque monopolistique puisque, selon le dernier rapport mensuel de l'International Oil Council, 75 % de la production mondiale d'olive provient de l'UE [le monde 2013].

**Tableau 1 : Evolutions des importations d'huile d'olive dans le monde**

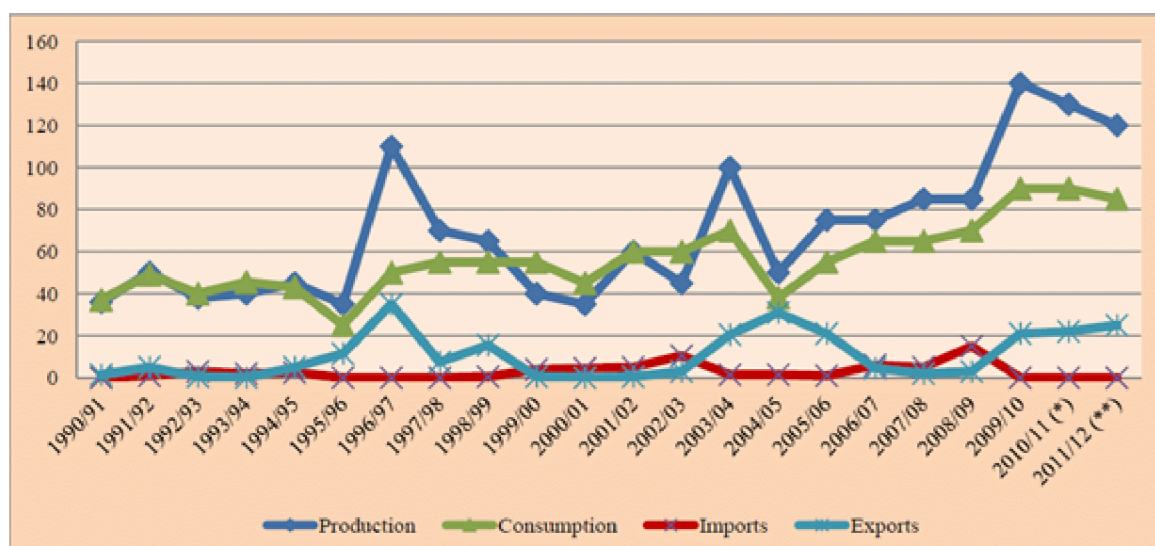
Évolutions des importations d'huiles d'olive (y compris les huiles de grignons d'olive) (1000 t)											
Pays	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11
Australie	30,0	27,0	32,0	31,0	29,0	32,7	42,1	27,8	29,0	35,5	31,9
Brésil	25,0	23,0	21,0	24,0	27,0	26,0	36,0	44,0	44,5	53,8	65,0
Canada	26,0	24,0	25,0	26,0	32,0	30,0	34,0	34,0	32,0	37,9	41,0
Corée du Sud	2,6	3,2	5,1	12,0	27,1	23,1	11,7	12,5	9,5	11,4	12,8
Chine	0,4	0,5	0,8	2,0	4,0	5,7	7,0	10,4	12,8	20,6	33,2
États-Unis	215,0	218,0	216,0	248,0	246,9	242,5	262,0	264,0	276,5	272,0	292,0
Japon	30,0	32,0	31,0	32,0	33,2	30,2	32,0	30,0	33,3	43,0	37,5
Inde	0,5	0,9	0,9	1,0	1,0	1,4	1,5	2,5	2,7	3,4	5,0
Russie	3,0	5,1	7,7	8,6	11,7	10,5	16,6	19,3	16,5	24,8	26,6
<b>Total</b>	<b>332,5</b>	<b>333,7</b>	<b>339,5</b>	<b>384,6</b>	<b>411,9</b>	<b>402,1</b>	<b>442,9</b>	<b>444,5</b>	<b>456,8</b>	<b>502,4</b>	<b>545,0</b>

L'Espagne, championne du monde de l'olive, produit plus de la moitié de l'huile mondiale. Pour la troisième année consécutive, la récolte 2011-2012 devrait être abondante, avec un record historique de 1,6 million de tonnes, alors que l'Italie prévoit quelque 400 000 tonnes et la Grèce 300 000 tonnes. Au total, la production européenne devrait connaître une hausse de 9 % avec 2,4 millions de tonnes. En face, une hausse de la consommation devrait être observée sur l'année passée, atteignant un record historique avec 3,1 millions de tonnes.

Certes, Portugais, Italiens, Français et Britanniques consomment une large part de la production en provenance d'Andalousie mais il faut aussi compter avec les Etats-Unis et les économies dites "émergentes". La Chine, notamment, importe son huile à 91 % de l'UE. En 2012, les Chinois ont importé 45 000 tonnes d'huile d'olive, les Brésiliens 71 000, soit des hausses de respectivement 38 % et 9 % [le monde2013]

## 1.2 Production de l'huile d'olive au Maroc

L'oléiculture marocaine, principale culture fruitière du pays, se porte très bien. En effet, le secteur connaît actuellement une grande expansion avec un accroissement important de la superficie consacrée aux oliviers qui est passée de 763.000 ha lors de la saison agricole 2007-2008 à 933.475 ha en 2012-2013. La figure 1 montre la production et la consommation du Maroc de l'huile d'olive [Ministère de l'Agriculture 2012]



**Figure 1 : Production, consommation, importation et exportation de l'huile d'olive**

En dépit d'une baisse de 15% de sa production lors de la saison 2012/2013, l'oléiculture reste une filière qui témoigne de l'élan pris par les secteurs agricoles depuis le lancement du Plan Maroc Vert. Si les conditions climatiques défavorables de 2012, année marquée par un retard des pluies au mois de mars (période d'initiation florale), et les fortes chaleurs de mai et juin (période de nouaison) ont directement impacté la production de cette année, il n'en demeure pas moins que les services du département de l'agriculture paraissent satisfaits de l'essor que connaît cette filière depuis cinq ans. Du moins en ce qui concerne le volet lié à la superficie plantée.

En effet, les spécialistes du ministère constatent que ce secteur connaît un accroissement important de la superficie consacrée aux oliviers. Celle-ci est passée de 763000 ha en 2007/2008 à 933 475 ha en 2012/2013. Ce mouvement ascendant bénéficie de la mise en œuvre du Plan Maroc Vert. Pour rappel, ce dernier s'est fixé comme objectif de porter la superficie plantée au Maroc à 1,2 million d'hectares à l'horizon 2020.

Il reste maintenant juste à orienter les nouvelles plantations vers les variétés ciblées dans le cadre du plan. A ce titre, la directive oléicole de 2012 a fixé comme orientation stratégique majeure la diversification du verger national à travers la plantation des variétés autres que la Picholine. Cette dernière représente actuellement 96% de la superficie globale plantée.

En misant donc sur la diversité, le Maroc devrait sensiblement renforcer sa production dans les prochaines années. A ce titre, il faut noter que la filière oléicole a déjà connu une nette croissance de sa production depuis 2007 à aujourd'hui, passant de 765 377 tonnes à 1,3 million de tonnes. L'année 2010 avait même connu un pic de production avec un score de plus de 1,5 million de tonnes. Dès lors

que les nouvelles variétés seront renforcées, la production du secteur devrait atteindre des niveaux beaucoup plus importants.

Les exploitations nationales totalisent une production de l'ordre de 1.500.000 tonnes d'olives. Le pays produit également 160.000 tonnes d'huile d'olive et 90.000 tonnes d'olives de table. En termes d'exportations, 17.000 tonnes d'huile d'olive et 64.000 tonnes d'olives de table se retrouvent sur les marchés internationaux [Ministère de l'Agriculture 2012].

## 2. L'olive

L'olive est le fruit de l'olivier, un arbre fruitier caractéristique des régions méditerranéennes. Sur le plan botanique, il s'agit d'une drupe, à peau lisse, à mésocarpe charnu riche en matière grasse, renfermant un noyau ligneux, qui contient une graine. Sa forme ovoïde est typique. Sa couleur, d'abord verte, vire au noir à maturité complète chez la plupart des variétés. La maturité est atteinte entre octobre et décembre dans l'hémisphère nord [PNTTA 2006]

### 2.1 Composition de l'olive

L'olive est une drupe. Sa composition dépend de sa variété, du sol et du climat. Le contenu de l'olive est composé selon la figure 2 [thèse Ajmia chouchen 2010]

- noyau : 17,3% - 23% m
- d'amandon : 2% - 5,5% m
- d'épicarpe : 2% - 2,5% m
- de la pulpe : 71,5% - 80,5% m

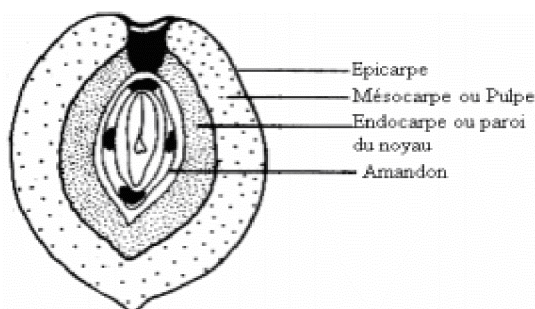


Figure 2. Composition de l'olive [Nefzoui 1984]

### 2.2 Condition climatique de l'olive au Maroc

L'olivier résiste jusqu'à -8 à -10 en repos végétatif hivernal, mais à 0 à -1°C, les dégâts peuvent être importants sur la floraison. A 35-38 °C, la croissance végétative s'arrête au-delà de 40°C, des brûlures apparaissent et endommagent l'appareil foliacé et peuvent faire chuter les fruits, surtout si

l'irrigation et insuffisante. Avec 600 mm de pluie bien répartis, l'olivier végète et produit normalement. Entre 450 et 600 mm, la production est possible à condition que les capacités de rétention en eau du sol soient suffisantes (sol profond argilo-limoneux). Au Maroc avec une pluviométrie inférieure à 200 mm, l'oléiculture est économiquement non rentable. Les vents chauds au cours de la floraison, les brouillards et les fortes hygrométries, la grêle et les gelées printanières sont autant de facteurs défavorables à la floraison et à la fructification. L'olivier étant exigeant en lumière, l'insolation est à considérer dans le choix de l'orientation des arbres, la densité de plantation et les tailles d'éclaircie [PNTTA 2006]

### **2.3 Condition du sol**

Le sol doit être profond, perméable, bien équilibré en éléments fins (50% d'argile + limons) et 50% en éléments grossiers (sables moyens et grossiers). Le pH peut aller jusqu'à 8 à 8,5 avec, cependant des risques d'induction de carence en fer et en magnésium (cas de sols trop calcaires)[PNTTA2006]

### **2.4 Variétés**

La Picholine Marocaine domine l'olivieraie au niveau du pays, vu qu'elle est à double fin, l'huile et la conserve, cependant d'autres variétés plus performantes ont été développées. Il s'agit de la Picholine de Languedoc, la manzanille, la picholine marocaine avec ces deux clones : la Mènera et Haouzia, variétés à double fin au niveau des zones irriguées, et Picual, Frantonio et arbequine pour la production d'huile. Il est conseillé de planter au moins deux variétés inter-compatibles et à floraison concordantes dans un même verger[PNTTA2006]

### **2.5 Cycle végétatif et productif de l'olivier**

Au cours de son cycle annuel de développement, l'olivier passe par les phases suivantes:

- Janvier, février: induction, initiation et différenciation florale.
- courant mars: croissance et développement des inflorescences à raisselle des feuilles que portent les rameaux des années précédentes.
- Avril: pleine floraison.
- Fin Avril-début mai: fécondation et nouaison des fruits.
- Juin: début de développement et grossissement des fruits.
- Septembre: véraison.
- Octobre: maturation du fruit et son enrichissement en huile.
- Mi-Novembre en janvier: récolte des fruits.

La période la plus intense du cycle annuel se déroule de mars à juin. Au cours de cette phase, les besoins en eau et en nutriments de l'arbre sont les plus intenses. La durée de vie des oliviers s'étale sur plusieurs dizaines d'années à des siècles. Les rendements sont variables en fonction de l'âge des arbres, des densités de plantation et des soins culturaux. Pour des vergers de 400 arbres/ha conduits en irrigué, les rendements sont de 3 T/ha à 4-5 ans et de 15 T/ha à 8-9 ans [PNTTA2006]

## 2.6 Techniques culturales

La multiplication, plantation et entretien de la culture se fait selon deux types de procédés

- les méthodes traditionnelles. (bouturage ligneux, division de souchets, greffage sur oléastre)[PNTTA2006]
- les méthodes intensives (semis de noyau suivi de greffage, bouturage semi-ligneux avec traitement hormonal des boutures, leur élevage en serre équipée de nébulisation et leur endurcissement en serre d'adaptation).[PNTTA2006]

C'est ce dernier procédé qui tend à se développer dans les pépinières modernes. La plantation doit être précédée d'une étude de faisabilité incluant les contraintes climatiques, agro-pédologiques et l'analyse des tendances du marché.

## 2.7 Entretien du sol et fertilisation

Le sol doit être préparé à l'aide de chisel sur une profondeur comprise entre 60 à 70 cm pour permettre un bon développement racinaire et meilleure rétention en eau de pluie et d'irrigation. Le fumier doit être appliqué dans les trous destinés à la plantation d'olivier et mélangé au sol. Les jeunes plants doivent être exempts de maladies.

Un apport de fumier est recommandé chez les jeunes plants d'olivier à raison de 20 à 40 kg de fumier/arbre/an. Le fumier doit être appliqué sur le rang de plantation. Pour les oliviers en production il faut appliquer 40 à 60 kg de fumier/arbre/an et 800 à 1000g d'azote/arbre soit 4 à 5 kg de sulfate d'ammoniaque. Les apports en azote doivent être revus à la hausse pour l'oléiculture intensive, soit 20g d'azote/arbre en plus. Les apports en phosphore et en potassium doivent être de 800 à 1000g de phosphore ( $P_2O_5$ ), soit 1,5 à 2 kg de super triple à 45% et entre 1000 à 1500g de potassium ( $K_2O$ )/arbre, soit 2 à 3 kg de sulfate de potasse à 48%.

Le P et K doivent être appliqués en automne, alors que l'azote doit être fractionné en deux, la moitié doit être appliquée en février, et l'autre moitié après la floraison.[PNTTA2006]

## 2.8 Irrigation

En dehors des mesures d'évapotranspiration et en l'absence d'appareil de mesure ou de contrôle (tensiomètres), l'expérience personnelle de l'oléiculteur permet seule, par un compromis permanent entre la nature du sol, la densité de plantation et les variations climatiques, d'apporter les doses nécessaires aux besoins en eau de l'olivier. Dans certaines zones où les précipitations sont de 450 à 650 mm/an, les apports d'eau en gravitaire sont estimés à 6000 à 8500 m<sup>3</sup>/ha/an entre Mars et Septembre. En irrigation localisée et pour une oliveraie de 400 arbres/ha (olive de table), le volume d'eau apporté est de 3200 m<sup>3</sup>/ha/an (capillaire d'un débit de 4 l/heure avec 4 goutteurs/arbre, 8-10 h par irrigation tous les 3 jours). La durée de fonctionnement du système d'irrigation est de 5 à 6 mois/an[PNTTA2006]

## 2.9 Taille

La taille a pour objectifs d'accroître la production, de limiter l'alternance, de freiner le vieillissement, d'éliminer le bois mort et le bois superflu. On distingue la taille de formation, la taille annuelle d'entretien et de fructification et la taille de régénération. La taille de formation s'effectue en deux phases:

- Lorsque l'arbre atteint 1,50 m de hauteur, on veille à la formation d'un mono tronc en éliminant les branches basses et en conservant la tige centrale.
- Lorsque l'arbre dépasse 1,50 m de hauteur, on sélectionne un maximum de 5 branches charpentières en éliminant la tige centrale au dessus du départ d'une charpentièrè.

La taille d'entretien et de fructification a pour effet d'exposer tout le feuillage à la lumière, de stimuler l'apparition du feuillage jeune en éliminant le bois épuisé (la feuille est le lieu de synthèse des éléments carbonés et elle a une durée de vie de 3 ans).

Par cette taille aussi, le rapport feuilles/bois est maintenu le plus élevé possible et l'air doit circuler dans toute la frondaison sans rencontrer de zones à feuillage trop dense. La taille de régénération s'applique à des arbres qui ont été abandonnés sans taille ni soins depuis une longue période. Elle fait apparaître de nouvelles branches et rend la fructification plus accessible à la cueillette [PNTTA2006]

## 2.10 Récolte et conservation

La récolte nécessite de disposer des sacs de cueillettes et d'échelles mobiles légères pour améliorer la productivité et exécuter une cueillette de qualité. L'utilisation de filets plastiques étendus sous les arbres évite de salir les olives. Les peignes de récolte améliorent le rendement des cueilleurs et

réduisent les lésions sur les fruits destinés à la conserve. Suivant le degré de maturité des fruits, ceux-ci sont classés en: olives vertes, tournantes, noires et noires ridées [PNTTA2006]

### **3. Huile d'olive**

La production d'olives enregistrée en 2012/2013 est de l'ordre de 1.500.000 tonnes. La variété Picholine marocaine représente 95% des variétés cultivées au Maroc, pour produire à la fois, les olives de table (4<sup>ème</sup> place mondiale) et l'huile d'olive (HO). Malgré le caractère fluctuant de la production d'HO, son évolution depuis 2002 montre une tendance à la hausse qui est due essentiellement à une extension des superficies plutôt qu'à une amélioration des rendements. Le Maroc s'est situé en 2010 au rang de sixième fournisseur mondial de l'huile d'olive, alors que ses exportations en ce produit ont enregistré une évolution annuelle moyenne négative sur les deux dernières décennies, avec un rythme de près de -1,4%, indique la direction des études et des prévisions financières (DEPF), relevant du ministère de l'économie et des finances.

Les exportations d'huile d'olive marocaines restent concentrées sur deux principaux marchés, à savoir l'Union européenne (UE) et les Etats-Unis avec respectivement des parts moyennes dans ces exportations de près de 50% et de 37% sur la période 1998-2011 et une tendance ces dernière années à l'augmentation de la part du marché américain, relève la DEPF (Direction des Etudes et des Prévisions Financières au Maroc) dans une étude intitulée «Valorisation des avantages comparatifs à l'export du secteur agroalimentaire marocain» [DEPF2012]

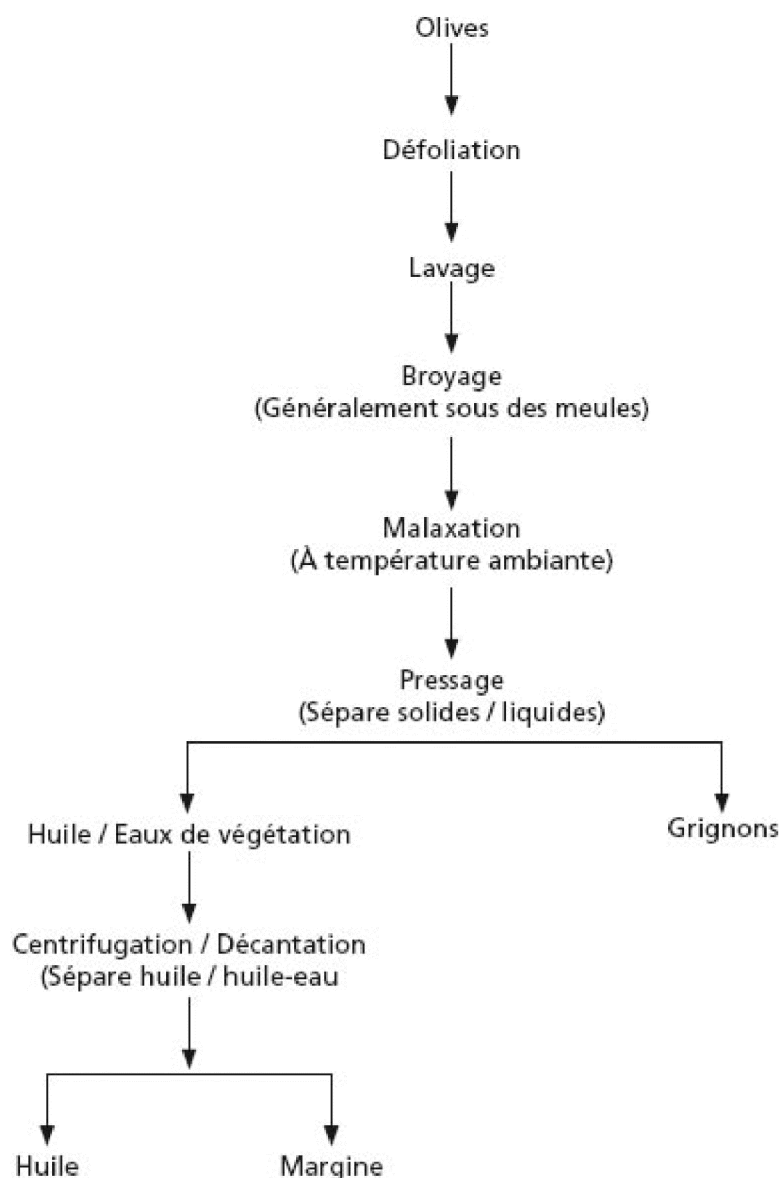
#### **3.1 Procédé d'obtention de l'huile d'olive**

Au Maroc et jusqu'à ces dernières décennies, l'extraction de l'huile se faisait par des techniques traditionnelles. Elle était en général réalisée à l'aide de systèmes discontinus de trituration puis de pressage en faisant intervenir la force animale à défaut de l'énergie électrique.

Avec le développement du secteur oléicole, les systèmes traditionnels ont été remplacés par des équipements modernes. Le perfectionnement des procédés a permis d'extraire l'huile en continue à travers des phases successives alors qu'au paravent les processus étaient réalisés de manière discontinue (lavage des olives, broyage mécanique, malaxage, extractions des moûts huileux). De même, après le développement des appareils de centrifugation, la séparation de l'huile des eaux de végétation est devenue moins onéreuse [Thèse Ajmia chouchen 2010]

### 3.1.1 Procédés discontinus ou systèmes à presses

Ce sont des systèmes classiques par pression à l'aide de broyeurs. Le broyage des olives suivi du malaxage se font sous des meules. Une pâte est obtenue au bout d'une demi-heure environ. Elle est composée de grignon et d'un moût contenant l'huile et les margines. La séparation des deux phases solide-liquide se fait par simple pression, alors que l'huile est séparée des margines par décantation naturelle (figure 3) [ Thèse Ajmia chouchen 2010]



**Figure 3: Extraction de l'huile d'olive par le système de presse traditionnel**

Aujourd'hui, l'extraction par pression est effectuée en super-presses hydrauliques avec une pression allant jusqu'à 400 atm. Le système super-presse fonctionne en mode simple avec une augmentation progressive de la pression jusqu'à sa valeur maximale obtenue après 45- 60 min et qui est maintenue

pendant 10-20 min. Après le pressage, une petite quantité d'eau est utilisée pour rincer le matériel et transférer l'huile vers les bassins de clarification. En moyenne, le rendement de transformation obtenu s'élève à 86-90 % et l'humidité des grignons à 'environ 28% [thèse Ajmia chouchen 2010]

### 3.1.2 Procédés continus ou systèmes à centrifugation

Cette méthode est basée sur la séparation des différents constituants d'un mélange en fonction de leur densité. Si seulement la force gravitationnelle est appliquée, la vitesse de séparation peut être extrêmement lente, toutefois, si le mélange est soumis à une force de gravitation artificielle, la vitesse de séparation peut être augmentée. Cela se fait avec des machines tournantes dont la vitesse et l'efficacité de séparation sont directement proportionnelles à la vitesse angulaire au rayon de rotation, ainsi que de la différence de la densité des liquides qui doivent être séparés. Les machines utilisées sont des centrifugeuses horizontales qui opèrent à une vitesse angulaire jusqu'à 3000 fois plus grande que l'accélération gravitationnelle naturelle. La centrifugation en continu comprend les étapes suivantes (figure 4): effeuillage et lavage, broyage des olives, malaxage de la pâte d'olive, centrifugation avec ou sans addition d'eau pour le système à deux phases et à trois phases, respectivement.

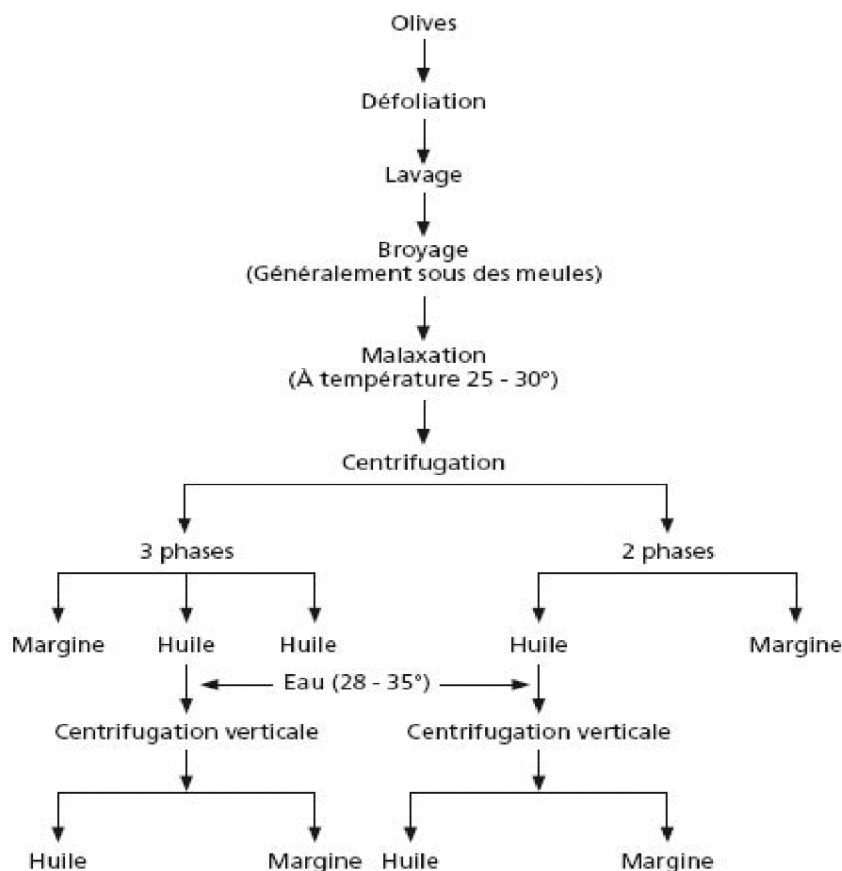


Figure 4 : Extraction de l'huile d'olive par le système de centrifugation

- **Procédé continu à trois phases**

L'extraction de l'huile d'olive se fait à travers des phases successives contrairement au procédé discontinu. Les olives sont lavées, broyées, mélangées avec de l'eau chaude et malaxées pour former la pâte d'olive qui est ensuite diluée. Les phases liquides et solides sont séparées par centrifugation donnant les grignons et le moût. Le moût subit à son tour une centrifugation pour séparer l'huile des effluents d'huileries d'olive [Thèse Ajmia Chouchen 2010]

- **Procédé continu à deux phases ou procédé écologique**

Variante du système précédant, ici le décanteur sépare l'huile et mélange le grignon et les eaux de végétation en une unique phase de consistance pâteuse appelée grignon humide ou grignon à deux phases.

Ce système permet d'extraire une huile d'olive de bonne qualité sans production d'effluents d'huileries d'olive. Son seul inconvénient est la production de grignons humides.

En effet, les grignons résultant de ce procédé contiennent 8 à 10% plus d'eau que ceux du procédé à trois phases. Il est donc indispensable d'équiper les huileries travaillant selon le procédé écologique d'une installation de séchage des grignons [Thèse Ajmia Chouchen 2010]

### **3.2 Composition générale des huiles d'olive**

Les huiles d'olive vierges jouent un rôle important dans l'industrie agroalimentaire et sont importantes en nutrition humaine pour plusieurs raisons. En premier lieu les lipides qui sont la principale source d'énergie pour le corps humain en comparaison de leur masse. De plus l'intérêt pour les huiles d'olive a été accru depuis la découverte de leur richesse en vitamines liposolubles et en polyphénols qui sont des antioxydants. Elles sont également une source importante d'acides gras poly-insaturés essentiels car non synthétisables par le corps humain. Si les acides gras sont les constituants majeurs de l'huile d'olive, ce sont les constituants mineurs qui permettent l'authentification d'une huile, tant sur le plan de la provenance géographique que sur sa qualité physico-chimique [thèse Sebastien Veillet 2010]

#### **3.2.1 Acides gras**

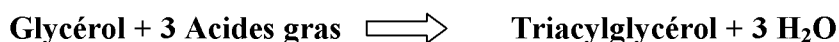
Les acides gras appartiennent à la famille des lipides. Ces lipides contiennent une fraction principale dite saponifiable (phospholipides, triglycérides) et une fraction mineure insaponifiable (stérols,

vitamines liposolubles, caroténoïdes). Les lipides sont caractérisés par leur insolubilité dans l'eau et la solubilité dans les solvants organiques.

Les acides gras sont des molécules organiques comprenant une chaîne carbonée terminée par un groupement carboxyle. Cette chaîne carbonée peut être dépourvue de toute double liaison carbone-carbone, dans ce cas les acides gras sont dits « saturés ». Elle peut également contenir une double liaison (acides gras mono insaturés AGMI) ou plusieurs doubles liaisons (acides gras polyinsaturés AGPI) [thèse Sebsten Veillet 2010]

Pour les acides gras insaturés, ils sont souvent référencés selon la position de la première double liaison par rapport au groupement méthyl terminal. Il existe 2 grandes familles d'AGPI : la série en n-6 (ou oméga 6) et la série n-3 (ou oméga 3). Dans l'huile d'olive on trouve de l'acide linoléique (oméga 6) et de l'acide alpha-linolénique (oméga 3).

Ces acides gras sont dits « essentiels » car ils ne peuvent pas être synthétisés par l'homme et doivent donc être apportés par l'alimentation. Dans la nature, les acides gras sont généralement sous forme de triesters entre des acides gras et du glycérol selon la formule :



Dans le cas de l'huile d'olive les triacylglycérides représentent entre 98% et 99% de la masse totale. Quelques rares acides gras libres peuvent être trouvés et témoignent d'une oxydation du triester. La composition en acide gras est très variable et dépend de la variété d'olives, la région de production et de l'année de la récolte (influence des conditions environnementales). Des normes telles que celle du codex alimentarius régulent cependant cette variabilité en plaçant des limites hautes et basses sur les proportions de chacun des acides gras (Tableau 2).

**Tableau 2 : Composition en acide gras d'une huile d'olive**

Acide gras	Formule brute	Olivier et coll. (%)	Codex alimentarius (%)
Acide myristique	C14:0	Tr	<0,1
Acide palmitique	C16:0	7,5-15,6	7,5-20
Acide sapiénique	C16:1n-9	0,1-0,2	] 0,3-3,5
Acide palmitoléique	C16:1n-7	0,3-1,9	
Acide margarique	C17:0	<0,3	<0,5
Acide margaroléique	C17:1n-8	<0,5	<0,6
Acide stéarique	C18:0	1,4-3,4	0,5-5
Acide oléique	C18:1n-9	60,9-82,1	55-83
Acide vaccénique	C18:1n-7	0,7-3,6	-
Acide linoléique	C18:2n-6	4,5-16,1	3,5-21
Acide $\alpha$ -linoléique	C18:3n-3	0,4-1,2	<1,5
Acide arachidonique	C20:0	0,3-0,5	<0,8
Acide gadoléique	C20:1n-9	0,2-0,5	-
Acide béhénique	C22:0	<0,2	<0,2
Acide lignocérique	C24:0	<0,1	<1

### 3.2.2 Composés phénoliques

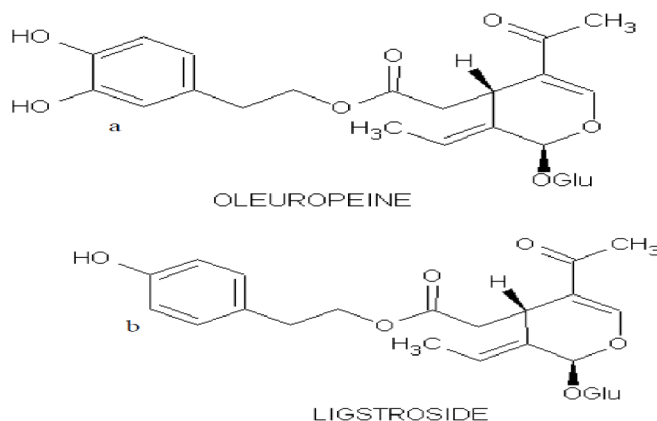
Si les acides gras représentent la très grande majorité de la composition de l'huile d'olive en terme de masse, les composés mineurs tels que les composés phénoliques jouent un rôle très important dans la caractérisation des huiles et pour leur intérêt nutritionnel [Brenes, 2002 ; Visioli, 1998].

L'huile d'olive contient des composés phénoliques simples et complexes qui augmentent sa stabilité et lui confère des propriétés antioxydantes et modulent sa saveur [Fedeli, 1977]. Les composés phénoliques contribuent fortement au goût piquant, à l'astringence et à l'amertume des huiles [Brenes, 2000]. Mais si les composés phénoliques sont aujourd'hui au centre de nombreuses études, c'est surtout pour leur potentiel en matière de prévention de la santé humaine [Garcia, 2010 ; Vierhuis, 2001].

Différentes familles de composés phénoliques sont présentes dans les olives et dans les huiles :

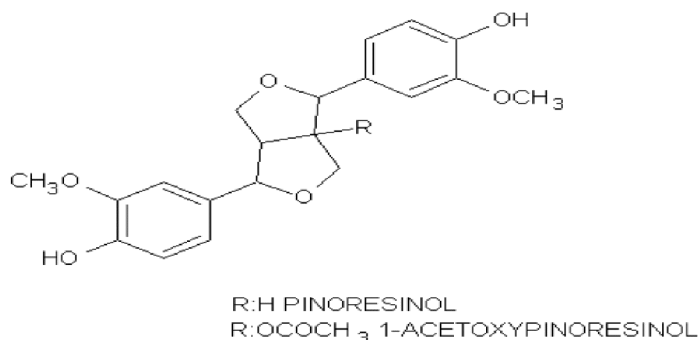
- Les dérivés sécoiridoïdes qui sont des composés glycosylés issus du métabolisme secondaire des terpènes [Soler, 2000]. Parmi eux, l'oleuropéine (Figure 5a) est le composé majoritaire dans les feuilles d'olivier et dans les olives, et c'est le principal responsable de l'amertume des olives [Andrews, 2003 ; Soler, 2000 ; Shasha, 1961]
- Le ligstroside (un groupement hydroxyle de moins que l'oleuropéine) (Figure 5b) est également présent en grande quantité dans l'olive. Cependant, lors de la transformation en

huile d'olive, ces molécules sont hydrolysées en de nombreux dérivés de masses moléculaires très variables, les plus grosses molécules résiduelles étant leurs dérivés aglycones.



**Figure 5: Structure de l'oleuropéine (a) et du ligstroside (b)**

- les lignanes telles que le pinorésinol, l'acétylpinorésinol et l'acide élenolique sont également détectées dans les huiles [Yang, 2007 ; Brenes, 2000] (Figure 6).



**Figure 6 : Structure du pinorésinol et de l'acétylpinorésinol**

Les composés phénoliques sont très variables d'une huile à une autre, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Il est généralement admis que l'activité phénolique se situe entre 200 et 600 mg d'équivalents d'acide gallique par litre d'huile. Si la composition phénolique peut servir de marqueur pour l'identification des huiles c'est parce que l'origine géographique a une forte influence sur le développement de certains phénols [Vinha, 2005].

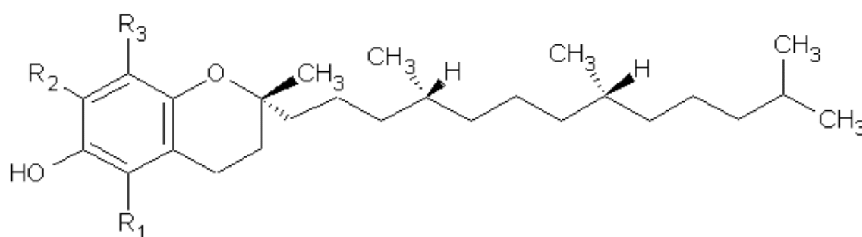
Le second facteur influençant la composition phénolique est la culture de l'olivier, notamment les systèmes d'entretien des arbres ou les systèmes d'irrigation [Gomez, 2009].

En effet, un stress hydrique engendrera une plus grande richesse des huiles en composés phénoliques. Si l'entretien des parcelles ainsi que les systèmes d'irrigation peuvent être optimisés ou standardisés,

le facteur climatique ne peut pas être maîtrisé par les oléiculteurs or différentes conditions météorologiques engendreront des compositions phénoliques très variables. Enfin le facteur le plus déterminant de tous est la variété des olives cultivées. De nombreuses études ont montré que certaines variétés d'olives étaient plus riches en composés phénoliques que d'autres [Gomez, 2008 ; Tura, 2008 ; Tura, 2007 ; Vinha, 2005]. Les auteurs ont par exemple trouvé que la variété *Cornicabra* avait beaucoup plus de composés phénoliques que *Picolimon* (Espagne) ou encore que la variété *Madural Fina* était plus riche en composés phénoliques que la *Borrenta* (Portugal). Une forte teneur en composés phénoliques semble constituer un attrait nutritionnel et donc pourrait favoriser une variété d'olive plutôt qu'une autre.

### 3.2.3 Tocophérols

Les tocophérols (Figure 7) sont reconnus pour leur double action bénéfique. En effet ils ont tout d'abord l'atout d'être une vitamine (vitamine E) et ils ont également une forte activité antioxygène [Burton, 1986]. La teneur totale en tocophérols dans les huiles d'olive est très variable puisqu'elle a été reportée dans une gamme allant de quelques mg à 450 mg/kg d'huile [Grigoriadou, 2007 ; Boskou, 2006 ; Gutierrez, 1999]. L'alpha-tocophérol représente à lui seul 90% de la totalité des tocophérols [Sherwin, 1976], mais on trouve également un peu de beta et gamma tocophérols, alors que le delta tocophérol n'est présent qu'à l'état de traces [Psomiadou, 2000].



	R1	R2	R3
Alpha-tocophérol	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>
Beta-tocophérol	CH <sub>3</sub>	H	CH <sub>3</sub>
Gamma-tocophérol	H	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>
Delta-tocophérol	H	H	CH <sub>3</sub>

Figure 7: Structure des tocophérols

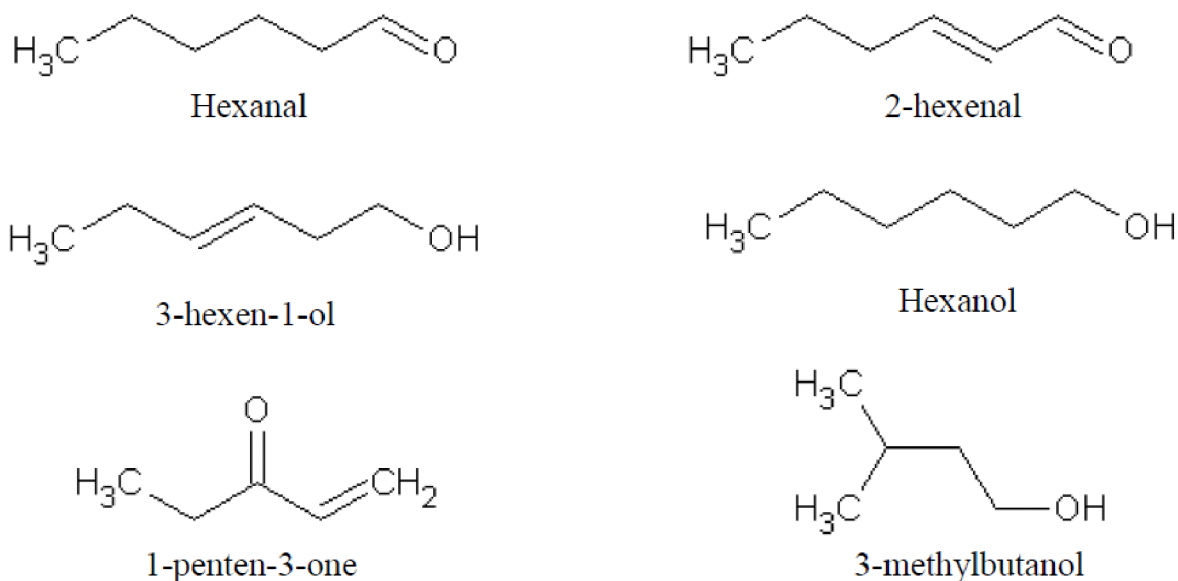
### 3.2.4 Composés aromatiques

Si l'huile d'olive est intéressante d'un point de vue nutritionnel, elle est surtout appréciée pour son goût et ses arômes particuliers. Les composés aromatiques sont des molécules de faible poids moléculaire (inférieur à 300 Dalton) possédant une volatilité à température ambiante. L'odeur de

l'huile est due à la capacité de certaines de ces molécules volatiles à atteindre les récepteurs olfactifs du nez [Angerosa, 2002].

Ces composés volatiles sont majoritairement des produits de l'oxydation des acides gras. D'une manière générale, les enzymes endogènes présentes dans l'olive, vont dégrader les acides gras par des voies de lipoxygénases et ces produits de dégradation vont être associés aux perceptions positives des arômes de l'huile d'olive. A l'inverse, les produits d'oxydation chimique ou dus à des enzymes exogènes (activité microbologique) seront généralement associés à des défauts sensoriels [Venkateshwarlu, 2004].

Plus de 70 molécules composent la fraction volatile des huiles d'olive. Elles sont réparties en aldéhydes, alcools, esters, hydrocarbures et cétones. La majorité des composés a 5 ou 6 atomes de carbone (Figure 8) et parmi eux on trouve l'hexanal, le trans-2-hexenal, l'hexan-1-ol et le 3-méthylbutan-1-ol [Angerosa, 2002 ; Kiritsakis, 1998 ; Aparicio, 1997].



**Figure 8: Composés volatiles de l'huile d'olive**

Aucune de ces molécules ne peut être à elle seule responsable d'un arôme caractéristique d'une huile, cependant des corrélations positives ou négatives ont été observées entre concentration de certaines molécules et développement de certains attributs de l'huile.

Ainsi le 1-penten-3-one est positivement corrélé à la sensation d'amer alors que le 3-hexen-1-ol et l'hexanal sont eux corrélés de façon négative avec l'amertume [Angerosa, 2000]. De même,

concernant la sensation de piquant, le 1-penten-3-one est positivement corrélé à la sensation de piquant alors que le 2-hexenal et l'hexanal sont eux corrélés de façon négative avec le piquant [Angerosa, 2000].

#### **4. Impact des effluents d'huileries d'olive**

##### **4.1 Impact sur l'environnement**

Le rejet des effluents d'huileries d'olive est un problème majeur dans les pays du bassin méditerranéen. Au Maroc, la production annuelle de ces effluents est estimée à environ 250000 m<sup>3</sup> [IOM, 2003/2004]. Ces eaux fortement polluées causent de sérieux dégâts environnementaux. L'absence de méthodes de traitements adaptées pousse les propriétaires de moulins à huile à rejeter ces eaux dans la nature sans aucun contrôle ou à surcharger le réseau d'égouts avec des substances toxiques. La concentration et la charge en matières organiques ne peut qu'entraîner un dysfonctionnement des stations d'épuration [thèse Ajmia chouchen 2010]

##### **4.2 Impact sur les eaux**

Les effluents d'huileries d'olive sont peu dégradables à cause des substances phytotoxiques et antimicrobiennes (phénols, acides gras, etc.) qu'ils contiennent. Souvent rejetés dans des récepteurs naturels sans aucun traitement préalable, les effluents d'huileries d'olive nuisent fortement à la qualité des eaux de surfaces. La coloration des eaux naturelles due aux tannins est l'un des effets les plus visibles de la pollution. La très forte charge en DCO et surtout en DBO empêche les eaux de s'auto-épurer et la pollution peut s'étendre sur de très longues distances [Mebirouk, 2002]. Les polyphénols contenus dans les effluents d'huileries d'olive, rejetés dans les cours d'eau de faible débit où l'échange de l'air est limité, exercent une action antagoniste sur la flore et la faune aquatique en causant souvent leur mort.

Ces substances peuvent capter facilement l'oxygène dissout, ce qui finit par rendre le milieu totalement anoxique et provoquant ainsi la mort de tous les êtres vivants par asphyxie [Ranalli, 1991]. L'épandage des effluents d'huileries d'olive sur les sols peut également poser des problèmes environnementaux. Les eaux souterraines peuvent être polluées, ce qui affecte la qualité de l'eau potable [Fki et al., 2005]. Aussi, l'épandage des effluents d'huileries d'olive, très riches en éléments azotés, peut causer une pollution par les nitrates des nappes situées dans la zone ou à proximité de la zone d'épandage et souiller la qualité de l'eau potable [Benyahia et Zein, 2003]; or dans le bassin méditerranéen, les ressources en eau sont rares et leur préservation, tant quantitativement que qualitativement est capitale.

Les lipides présents dans les effluents d'huileries d'olive peuvent avoir aussi un impact négatif sur les eaux. Ils forment un film impénétrable à la surface des rivières et ses bords empêchant ainsi la pénétration de la lumière et de l'oxygène [Nassif, 2004].

#### **4.3 Impact sur les sols**

L'épandage direct des effluents d'huileries d'olive sur les sols provoque un colmatage des sols et une diminution de leur qualité. Ces déchets sont à l'origine de l'augmentation de la salinité des sols [Fistas Ros de Urcenos, 1981] et de la diminution du pH, qui pourrait être à l'origine du changement des caractéristiques physico-chimiques. De même, les substances toxiques contenues dans ces effluents se fixent dans les sols. Certaines de ces substances telles que les phénols peuvent inhiber l'activité microbienne et détruire la microflore du sol [Marisot et Tournier, 1986].

#### **4.4 Impact sur les plantes**

Les composés phénoliques sont les responsables majeurs de la phytotoxicité des effluents d'huileries d'olive. L'application directe des effluents d'huileries d'olive bruts diminue les rendements en matière sèche des tomates et du soja [Samperdro et al., 2004] et inhibe la germination de quelques graines comme le pin, la tomate et l'atriplex [DellaGreca et al., 2001 ; Muscolo et al., 2001]. Les résidus de pesticides présents dans les effluents d'huileries d'olive peuvent également être nocifs pour les plantes. Par conséquent, l'utilisation agronomique par épandage direct des déchets d'huileries d'olive a de mauvaises répercussions sur les eaux, les sols, les microorganismes et les plantes. D'où la nécessité de traiter ces effluents afin de palier aux problèmes environnementaux qu'ils engendrent. Dans ce sens, plusieurs travaux ont été effectués pour remédier à ce problème.

### **5. Procédés de traitement des effluents d'huileries d'olive**

A partir des années soixante-dix, les effluents d'huileries d'olive ont fait l'objet d'une grande attention de la part des institutions scientifiques, des entreprises et des organismes publics afin d'étudier et de proposer les meilleures technologies en matière de minimisation des impacts environnementaux, de valorisation ou d'élimination. Compte tenu de leur composition et de leur pourcentage en matière organique (10 à 25%) [El Alami, 2000], les effluents d'huileries d'olive seuls ne peuvent constituer un produit de valeur ajoutée intéressante. Enrichis, mélangés à d'autres résidus, concentrés, séchés et /ou purifiés, ils peuvent être valorisés et employés pour la production de certains composants plus utiles. Dans les travaux scientifiques, on trouve plus de 20 procédés ou technologies applicables au traitement des effluents d'huileries d'olive. Il s'agit dans la plupart des cas

d'opérations élémentaires ou combinées essayées au laboratoire ou dans une installation pilote, sans projection industrielle réelle.

Les techniques suivantes ont été décrites comme les plus utilisées ou comme étant potentiellement applicables. Ces techniques de traitement peuvent être classées en procédés thermiques, physico-chimiques et biologiques.

### 5.1 Valorisation des margines

Les margines sont considérées parmi les effluents les plus polluants des industries agroalimentaires, et lorsqu'elles sont déchargées dans la nature sans aucun traitement, elles causent de sérieux dégâts environnementaux. Leur pouvoir polluant est dû principalement à des causes diverses, parmi lesquelles :

- Le pH : qui est la première cause directe de la mort des poissons, lorsque la marge est déversée dans les lits des fleuves.
- Le contenu organique qui contribue à la consommation de l'oxygène dissous et empêche les eaux d'auto-épurer, et la pollution peut s'étendre sur de très longues distances [Benyahia et Zein,2003].

Le tableau 3, résume les conséquences de ces rejets non seulement sur l'environnement, mais aussi au niveau des stations d'épuration et égouts [Bousdira,2005]

**Tableau 3: Conséquences environnementales des rejets de marge dans le milieu naturel**

	<b>Cause</b>	<b>Effet</b>
<b>Sols</b>	- composés phénoliques - acidité - huiles et matières grasses - MES	- sols obturés et suffoqués - mauvaise odeur - pollution de l'aquifère - coloration des eaux naturelles - effet phytotoxique sur la population microbienne
<b>Espèces aquatiques</b>	- matières organiques - huile et MG - MES - composés phénoliques	- augmentation de la demande en O <sub>2</sub> - formations des croûtes - dégradation de l'esthétique - toxicité de la microflore
<b>Egouts</b>	- acidité - MES	- la corrosion des matériaux - destruction de l'écoulement - putréfaction
<b>Station d'épuration des eaux usées</b>	- acidité - MES - huile et matière grasse - matières organiques - polyphénols	- perturbation persistances de l'activité des boues - perturbation de l'activité des digesteurs des boues à cause de l'aspect saisonnier

### 5.1.1 Valorisation du concentré margine pour le tannage

Le tannage est une étape primordiale dans la fabrication du cuir puisqu'il permet la transformation des peaux animales brutes en cuir. Au cours de leur immersion dans un bain tannant, elles acquièrent une résistance à l'hydrolyse et à la purification par combinaison chimique irréversible entre le collagène et la substance tannante. Celle-ci peut être d'origine organique (végétaux, fumées) ou minérale (chrome) [A.R.I.C 2006]

- **Le tannage végétal**

Le tannage végétal : les tanins sont des substances d'origines organique issues des végétaux (sève, feuilles, écorce) et à divers taux de concentrations. A l'origine, ils ont une fonction naturelle de protection contre les parasites. Chaque tanin ayant des propriétés chimiques qui lui sont propres, cela produit des effets différents sur le cuir, ce qui explique que l'on ait recouru à certaines espèces végétales plutôt qu'à d'autres en fonction des résultats à obtenir.

Le tannage végétal est un procédé lent et gourmand en eau, mais qui comparé au tannage au chrome est moins nocif pour l'environnement. En fin de processus il faut traiter les bains et le reste des boues pleines d'eau et de tanins, qui sont des substances naturelles parfaitement biodégradables. En effet le tannage végétal est également moins nocif pour la santé de ceux qui le produisent, de ceux qui l'utilisent dans leurs fabrications mais aussi de celle des utilisateurs finaux. Une des grandes qualités de ce type de tannage est qu'il produit un cuir qui ne génère pas d'allergie, contrairement au tannage au chrome.

C'est pourquoi nous privilégions ce mode de tannage qui reflète notre état d'esprit ancré dans le respect et les traditions de notre savoir faire artisanal [A.R.I.C 2006]

- **Le tannage au chrome :**

Le tannage au chrome fait partie des tannages minéraux et s'emploie pour les cuirs à dessus de chaussures (tiges), la maroquinerie etc. On l'applique aux peaux de veaux, chevreaux ou gros cuirs. Les cadences de production de l'industrie moderne ont rapidement imposé ce mode de tannage comme un standard et aujourd'hui près de 85% des peaux tannées dans le monde le sont avec des sels chrome ou d'aluminium.

Ce qui est gagné en productivité et en rendement se fait au détriment de la qualité du produit et qualité d'environnement. En effet dans le cas du tannage au chrome, il reste des boues fortement

concentrées en sels de chrome (qui est un métal lourd), qui sont nocives et dangereuses lorsqu'elles sont répandues dans l'environnement.

Il faut donc les « neutraliser » chimiquement avec de l'oxyde de magnésium, de la chaux ou de la soude. Une fois séchés les restes ne peuvent pas être valorisés dans la filière agricole (contrairement aux résidus du tannage végétal) et doivent être entreposés en décharges pour les déchets présentant un caractère dangereux [A.R.I .C 2006]

- **le tannage au Maroc**

Le tannage de la peau est une activité très ancienne au Maroc. Au cours des siècles, les produits en cuir sont placés parmi les articles principaux d'échange commercial entre le Maroc et les autres pays. Depuis les années soixante-dix, grâce aux investissements industriels, l'industrie du cuir a pu bénéficier d'une forte croissance tant au niveau productif qu'en termes d'exportation.

La tannerie constitue la première opération dans le traitement du cuir avant de le façonner pour produire les différents articles. Le procédé le plus ancien est le tannage végétal des peaux, il est effectué principalement à l'aide de produits végétaux naturels ayant des propriétés particulières pour transformer une peau brute en cuir fini.

Actuellement, les peaux sont principalement traitées au chrome. Le cuir tanné au chrome a rapidement pris une place importante dans la production des cuirs pour dessus de chaussures. Cependant, les tanneries ont un impact particulièrement sévère sur la qualité de l'eau, si leurs rejets sont envoyés à l'égout sans traitements.

Elles déversent en effet une grande quantité de produits biodégradables, et des produits toxiques, dont le plus grave est le chrome utilisé de manière très étendue pour le tannage de peaux. Cet impact est plus accentué au niveau de la ville de Fès.

- **Les différentes étapes de tannage :**

Le tanneur ne présente pas au tannage la peau brute telle qu'il la reçoit de l'usine. Il lui fait subir un travail préalable au cours duquel il en élimine les souillures superficielles

**Le salage :**

La peau, en provenance des abattoirs arrive à la tannerie recouverte de sel. Le salage permet de conserver la peau en bon état et d'éviter la putréfaction des éléments qui constitue le cuir.

### **Le reverdissage ou la tempe :**

La tempe consiste en une immersion plus ou moins prolongée dans une eau agitée et renouvelée. Ainsi, la peau absorbe le plus d'eau possible afin de lui rendre tout la souplesse et toute la fermeté qu'elle a perdue au cours de sa conservation dans le sel.

### **Le pelanage :**

La peau est mise, en suite, dans des pelains (scéroprotéine imperméable à l'eau, riche en soufre, substance fondamentale des poils, ongles.

### **L'ébourrage :**

Sortie du pelain, la peau, placée sur un chevalet est ébourrée à l'aide d'un couteau à lame légèrement incurvée

### **Le premier rinçage**

Un premier rinçage permet d'éliminer les poils restants à la surface de la peau

### **L'écharnage ou écolage sur le chevalet**

L'outil utilisé pour cette opération, la faux, ressemble au couteau d'ébourrage : sa lame est plus tranchante. La graisse et les particules de chair récupérées sont revendues et servent de la colle.

### **Le déchaulage**

A l'issue de cette opération, toute la chaux doit avoir disparu. Le déchaulage était jadis un travail long et pénible ; il consistait en trempage dans la rivière : une eau très douce dissoudrait la chaux qu'en petite quantité

### **Les basseries**

Placées dans une caisse, les peaux sont ensuite suspendues sur des cadres de bois dans des bacs « basseries » contenant des solutions de plus en plus concentrées de matière tannante : écorce de chêne moulue ; orge châtaigner.

### **Le tannage**

Les peaux sont placées dans des fosses, sortes de grand bouquet de bois enterrées. On remplissait la fosse par des couches alternantes d'écorces et de cuirs. Elles y resteront 5 à 8 mois. Le tan (écorce

de chêne d'un brun roux, réduite en poudre pour le tannage des peaux) usagé est ensuite entreposé dans de grands bacs avant d'y être piétiné par des chaux, mélangé à un peu de terre, moulée et séchée. Le tan est ensuite vendu comme combustible.

## 5.2 Valorisation des grignons d'olive

Les principaux déchets solides générés lors de l'élaboration de l'huile d'olive sont les grignons. Les grignons d'olives contiennent une quantité d'huile résiduelle qu'il n'est pas possible d'extraire par des moyens physiques et qui est obtenue dans les installations d'extraction d'huile de grignons par l'utilisation des solvants comme l'hexane. La composition des grignons dépend étroitement de la variété d'olives, le degré de maturation des olives et le système employé lors de l'extraction de l'huile d'olive. Le tableau 4 montre la composition chimique des grignons obtenus lors de l'élaboration de l'huile d'olive avec différents procédés et provenant d'origines variées.

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux, les grignons d'olive bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses (huile d'olive). Le dénoyautage partiel réduit les teneurs en cellulose brute par l'élimination partielle des noyaux d'olives. Dans une autre étude, [Chiofalo et al. (2004)] ont constaté une nette différence entre le rendement gras des grignons de pressoir et les grignons des systèmes en continu. La différence est due fondamentalement à l'efficacité d'extraction des systèmes en continu par rapport aux systèmes traditionnels.

**Tableau 4 : Composition chimique indicative des différents types de grignons [DPV, 2009].**

Type	Matière sèche (%)	% de la matière sèche			
		Matière minérale	Matière azotée totale	Cellulose brute	Matière grasse
Grignon brut	75 - 80	3 - 5	5 - 10	35 - 50	8 - 15
Grignon gras p. d.*	80 - 95	6 - 7	9 - 12	20 - 30	15 - 30
Grignon épuisé	85 - 90	7 - 10	8 - 10	35 - 40	4 - 6
Grignon épuisé p.d.	85 - 90	6 - 8	9 - 14	15 - 35	4 - 6
Pulpe grasse	35 - 40	5 - 8	9 - 13	16 - 26	26 - 33

\* p.d. = partiellement dénoyauté

### 5.2.1 Le charbon actif

Les charbons actifs ont une caractéristique essentielle qu'est l'existence d'un réseau très développé de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir absorbant très important. Les charbons actifs

sont des absorbants non spécifiques ou très peu spécifiques avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres [Thèse Yahyaoui 2012]

- Fabrication du charbon actif

Les déchets solides (le noyau et grignon d'olive) sont utilisés comme matière première pour la production de charbon actif après carbonisation et activation [Thèse Yahyaoui 2012]

- Carbonisation

Après séchage de la matière première, il est procédé à une carbonisation qui s'effectue sous atmosphère contrôlée à 400-600°C pendant 5 à 6 heures, celle-ci a pour but d'éliminer les matières organiques volatiles emprisonnées dans le squelette carboné. La carbonisation se déroule généralement à une vitesse grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Les produits obtenus après carbonisation n'ont pas une forte capacité d'adsorption car leur structure poreuse est limitée (surface spécifique 10 m<sup>2</sup>/g)

- Activation

L'activation consiste à développer la structure poreuse des matériaux. On peut distinguer deux voies d'activation : activation physique ou le matériau carbonisé est soumis à une atmosphère hautement contrôlée en présence de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau à 1000°C et une autre activation chimique qui met en jeu un agent chimique tel le chlorure de zinc, acide phosphorique ou sulfurique. Elle favorise la déshydrations puis une réorganisation structurale à des températures plus faible comprise entre 400 et 600°C en présence de catalyseurs (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnCl<sub>2</sub> [thèse Yahyaoui 2012]

- Quelques applications du charbon actif

Les charbons sont couramment utilisés dans le traitement des eaux par l'adsorption de certains colorants organiques des rejets liquides des industries tels que : textile, papier, plastique [Thèse Yahyaoui 2012]

Il existe d'autres utilisations du charbon actif qui sont :

- La récupération des solvants
- La dessiccation des gaz ou des liquides
- L'élimination des polyphénols et des métaux lourds
- Utilisation en pharmacie pour l'adsorption des gaz intestinaux

## II. Partie expérimentale

L'objectif de ce travail entre dans le cadre des nouveaux concepts de l'économie verte au Maroc appliqués aux traitements et valorisation des plantes d'intérêt écologique tels que l'olive, pour extraire de l'huile industrielle et valoriser les déchets de margines et grignons, qui sont devenus des matières premières non négligeables pour élaborer et récupérer beaucoup de produits de grandes valeurs ce qui contribue à la protection et la préservation de l'environnement.

Le procédé que nous avons proposé vise la valorisation des déchets oléicole en utilisant les équipements employés pour l'extraction de l'huile d'olives selon le procédé de deux phases par centrifugation [D.Ghatas 2004]

Nous focalisant notre étude sur la valorisation des sous produits suivants :

- Margines.
- Grignons d'olive.

Nous proposons le procédé écologique suivant qui permettra la gestion intégrale des déchets de l'industrie oléicole :

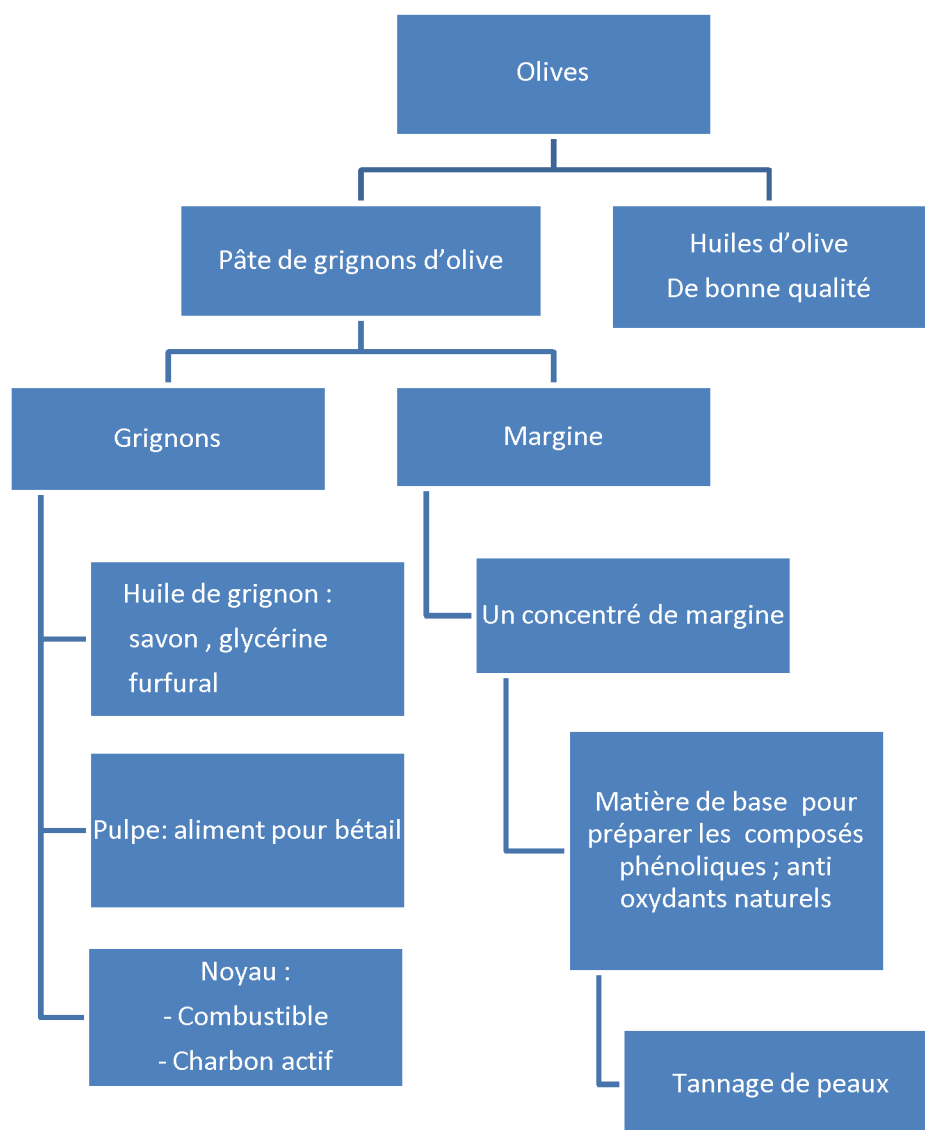


Schéma1 : Traitement et Valorisation d'Olive

## 1. Matériels et méthodes

Le matériel utilisé pour extraire de l'huile d'olive est une centrifugeuse à deux phases. Ce procédé est le moins polluant, garantit une huile avec une teneur élevée en antioxydant naturel.

La figure 9 représente la méthode utilisée pour extraire de l'huile d'olive on suivant le procédé de deux phases.

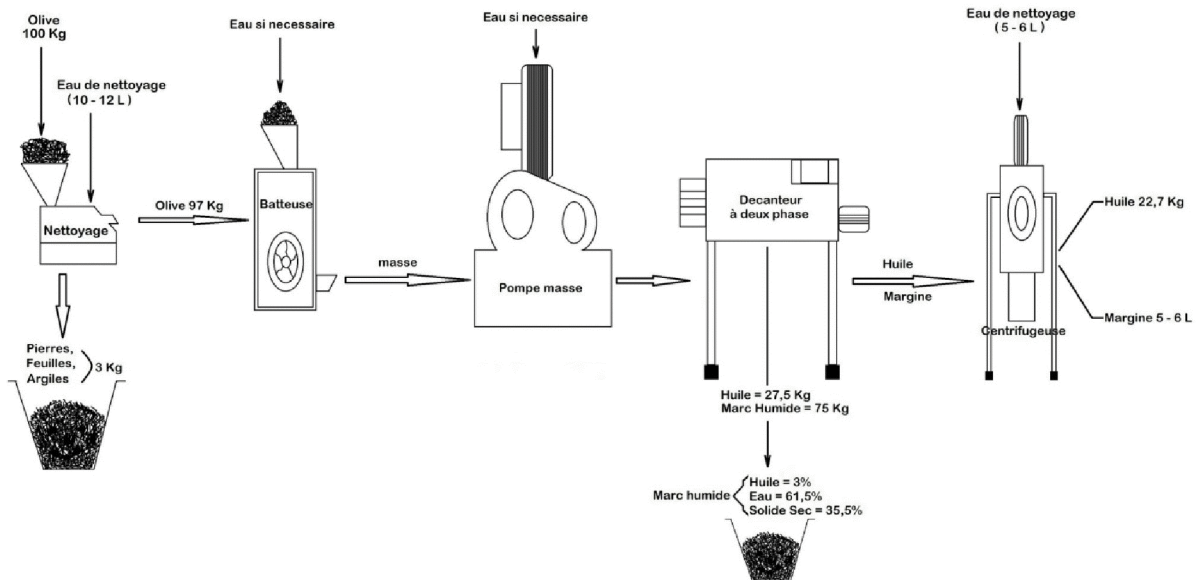


Figure 9: Extraction de l'huile d'olive selon le système de deux phases

### 1.1 Procédé de valorisation des margines

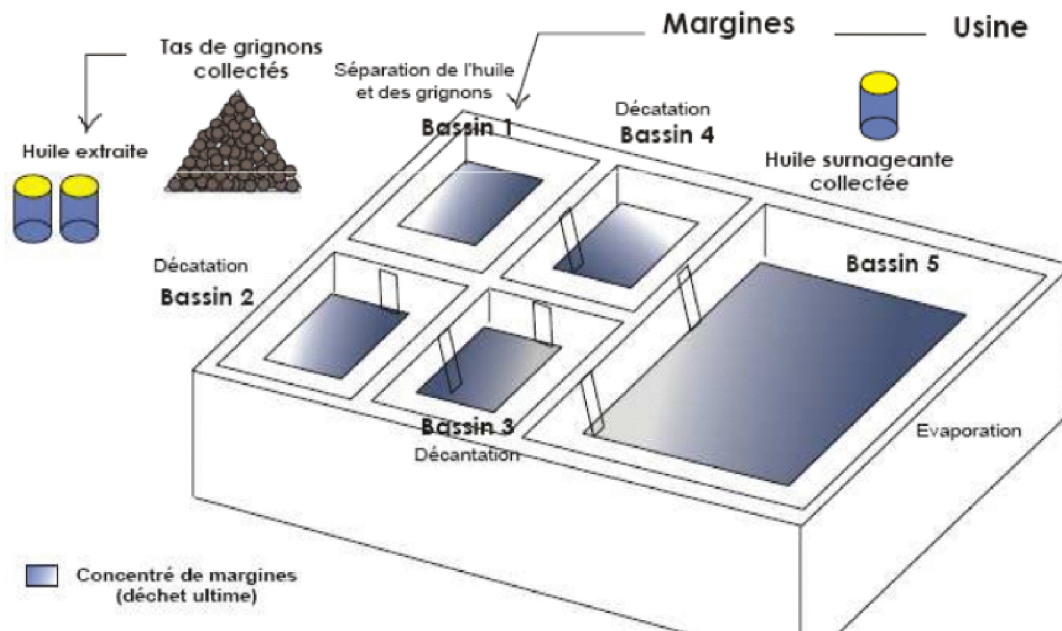
#### 1.1.1 Evaporation naturelle

Le matériel utilisé pour le traitement des margines est un système d'évaporation naturelle, ce dernier est composé de 4 bassins en cascade de dimensions : côtés = 4,5 m, hauteur = 1,80 m volume = 36,46 m<sup>3</sup> et de volume totale = 145,8 m<sup>3</sup> et un cinquième bassin de dimension 9 m de largeur, 20 m de longueur et 1 m de profondeur. Pour appliquer l'évaporation sous serre (voir schéma 2)

- 4 Bassins de séparation de l'huile de la phase aqueuse, dans lequel il y aura un dépôt des grignons, l'huile surnageante sera évacuée et stockée pour une utilisation comme source de fabrication du savon.
- Bassin d'évaporation sous serre ou se fait l'évaporation naturelle donnant comme résidus final un concentré de margine riche en polyphénols.

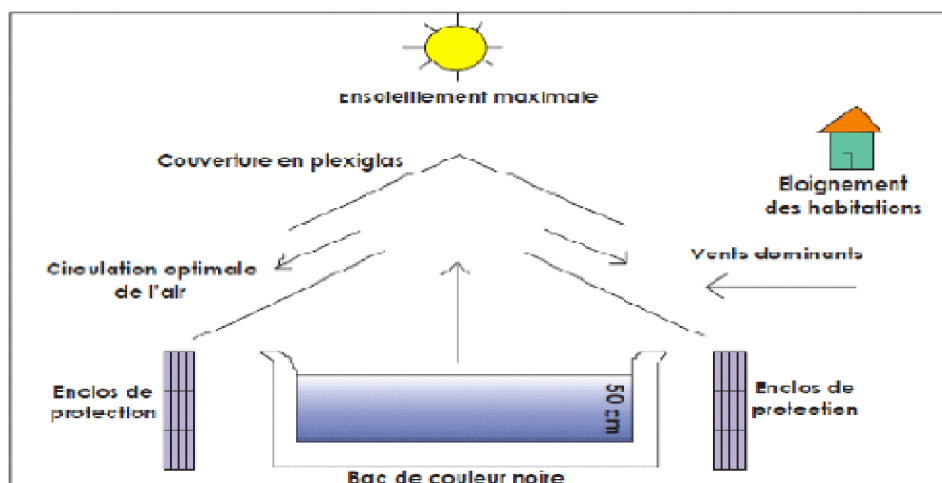
Le temps de séjour de margines au niveau des 4 bassins est de 25 jours ce qui correspond à 100 jours de la campagne oléicole. Le volume de margine traité dans le 1<sup>er</sup> bassin est de 36,46 m<sup>3</sup>, après séparation des phases, on fait passer la phase aqueuse dans le bassin 2 et on procède de nouveau à la

collecte des margines dans le 1 bassin de la même façon jusqu'à remplissage des 4 bassins. Une fois la campagne oléicole est terminée on étale le volume total sur le 5<sup>ème</sup> bassin d'évaporation sous serre pour favoriser l'évaporation naturelle. On laisse évaporées les margines pendant 8 mois, on obtient un volume résiduel de 20 m<sup>3</sup>.



**Schéma 2 : Traitement des margines par permutation circulaire**

Dans le cadre d'un écoulement gravitaire, les bacs doivent être disposés dans une fosse, ce qui limite assez le potentiel d'évaporation. Le procédé est proposé par Saïd KITANE (brevet d'invention OMPIC -Maroc 2006 N°29150).



**Schéma 3 : Optimisation d'un bassin d'évaporation**

### 1.1.2 Extraction des polyphénols

Les réactifs utilisés pour analyser les polyphénols sont :

- Réactif de Folin
- Réactif tartrate de potassium de sodium. à 1kg/99%  $M=282,23\text{g/mol}$   
( $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- Solution mère étalon d'acide tannique à 1g/L
- Solution fille étalon d'acide tannique à 0,05g/L
- Acétate d'éthyle  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ,  $0,924\text{ g/cm}^3$ ,  $88,105\text{g/mol}$
- Hexane  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ,  $86,175\text{g/mol}$ ,  $0,695\text{g/cm}^3$
- Sulfate de Sodium Anhydre  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $142,04\text{g/mol}$ ,  $2,7\text{g/cm}^3$

La méthode utilisée pour analyser les polyphénols est celle du réactif de Folin-Denis. Cette méthode colorimétrique est basée sur la réduction en milieu alcalin d'un mélange d'acide phosphomolybdique  $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$  et d'acide phospho-tungstique  $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ . Cette méthode permet d'évaluer la teneur des polyphénols d'un extrait de margine.

Dans cette partie on décrit le mode opératoire du traitement et de l'extraction des polyphénols de margines prévenant de la région de Fes. La margine manipulée dans notre étude a été obtenue à partir des olives mi verts et mi noires pressées selon le processus de deux phases.

- **Margine brute**

Dans un bécher, on met 250 ml de margine brute, puis on ajoute une quantité double d'hexane. On agite pendant 10 mn, puis on met le mélange dans un séparateur. On recueille la margine après séparation complète en deux phases : l'hexane surnageant et la margine au fond.

- **Extraction par l'acétate d'éthyle**

Cette étape consiste à extraire les polyphénols de la margine : On sèche la phase organique avec le sulfate de sodium anhydre puis on ajoute l'acétate d'éthyle. On agite pendant 20mn puis on met le mélange dans un séparateur. On récupère la partie organique constituée des polyphenols en bas, et la partie aqueuse constituée d'acétate d'éthyle en haut. On passe par une évaporation d'acétate d'éthyle, pour obtenir les polyphenols.

- **Margine délipide**

On prend 200 ml de dépôt, et on élimine les matières en suspension par décantation après l'avoir purifié avec de l'eau. On ajoute de l'hexane, puis on récupère la phase organique à laquelle on ajoute le chlorure de sodium NaCl pour faciliter la séparation des deux phases.

On effectue un deuxième lavage de la partie organique puis on le sèche avec du sulfate de sodium hydrate. On le met dans un rotavapor. Ainsi on récupère les polyphénols.

- **La gamme étalon**

La gamme d'étalonnage est préparée à partir d'une solution d'acide tannique de concentration égale à 0,05g/L obtenue à partir d'une solution mère de 1g/L. A cette gamme, on a ajouté 1ml de réactif de Folin-Denis et 10 ml de Réactif tartrate de potassium sodium. Pour caractériser les polyphénols.

- **Analyse par spectrométrie**

Dans un tube de Nessler de 50ml, on a introduit l'eau à analyser (la température est comprise entre 20° et 22°C). Juste après on ajoute 1ml de réactifs de Folin et 10ml de réactif de carbonate tartrate. Trente minutes après, on mesure les absorbances au spectrophotomètre à la longueur d'onde 725nm.

### **1.1.3 Traitement des peaux par les concentrés de margines issus de l'évaporation sous serre**

Notre travail consiste à remplacer l'effet du chrome par les polyphénols identifiés dans les margines.

Le matériel utilisé lors du tannage est :

- Récipients en plastique
- Chevalet en bois
- Eau de chaux
- Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- La soude caustique NaOH
- Chlorure de sodium NaCl

- **Technique utilisées au laboratoire**

Préparation de la peau d'animal, pour 10kg de peaux brutes séchées à l'air, on mettra 0,1kg de soude dans 150 litres d'eau le rôle de la soude caustique provoque un fort gonflement de la peau pour éviter son endommagement.

- **Le chaulage**

Le procédé consiste à appliquer du côté de la chair à l'aide d'une brosse, une pâte composée de 6kg de chaux hydratée avec 0,5 kg de sulfure de sodium et 10 litre d'eau les peaux restent empilées chair sur chair pendant une nuit environ pour que la peau puisse se dépoiler (figure10)

- **Le pelanage**

Il consiste à décoller encore plus de poils, détruire les racines capillaires de la peau et la graisse contenue dans l'hypoderme (figure10)

- **Le rinçage**

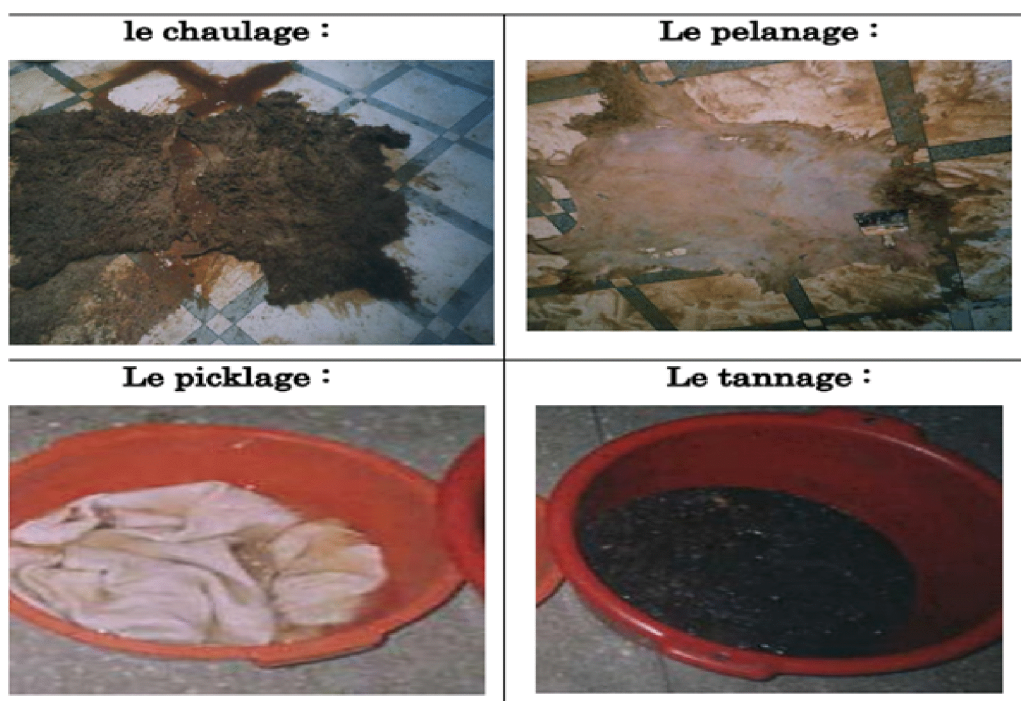
Le rinçage se fait à l'eau, il permet d'éliminer les poils restants à la surface de la peau

- **Le picklage**

Le picklage neutralise l'excès de chaux et prépare la peau à accepter le tannage. Pour cela on trempe la peau pendant environ 12 heures dans le mélange de 0,2 litre d'acide sulfurique et 10 litre d'eau (figure10)

- **Le tannage**

Le stade le plus important parmi toutes les étapes citées plus haut. La peau est trempée dans une bonne quantité de margines puis malaxer de temps à autre pour obtenir une peau imputrescible. Ce stade a duré presque 3 semaines. Une fois la peau a retrouvé la qualité du vrai cuir, celle-ci est ensuite rincée à l'eau et tendue sur un chevalet en bois avec des lacets de corde (figure10).



**Figure 10: Technique de tannage utilisée au laboratoire**



**Figure 11 : Photo des résultats du tannage**

### **1.2 Procédé de valorisation des grignons d'olive**

La pulpe des grignons extraite donne une huile non utilisable dans l'alimentation à cause de sa forte acidité. Elle contient de la bensoalphyréne. Cette huile de grignon est obtenue par extraction à l'hexane. Elle rentre dans la fabrication du savon et de la glycérine. Une deuxième extraction avec du tétrachlorure de carbone effectuée sur le résidu après hydrolyse acide permet d'obtenir du furfural (schéma 4)

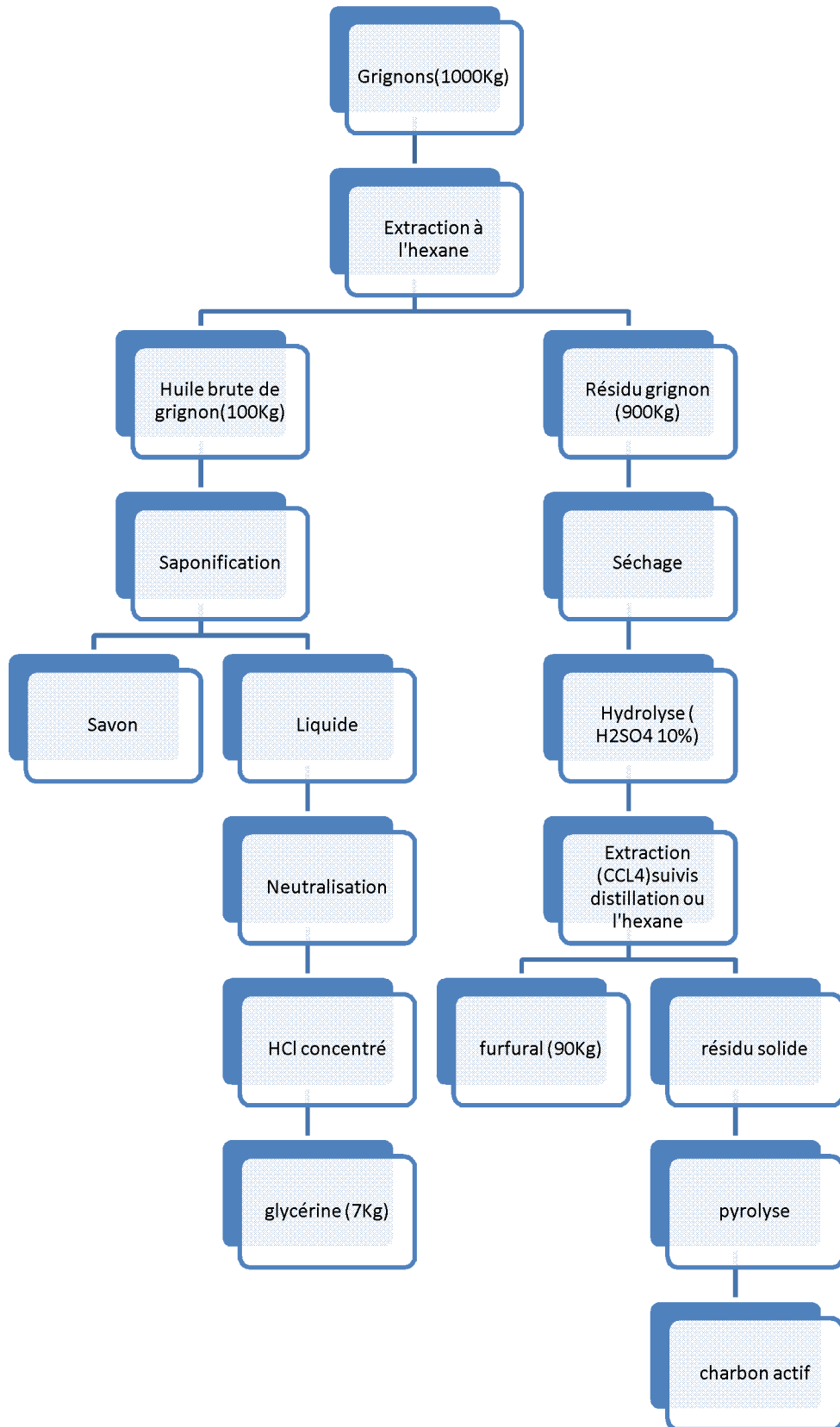


Schéma 4: Valorisation des grignons

### 1.2.1 Saponification de l'huile de grignon

Le matériel utilisé lors de la saponification est schématisé dans la figure 12

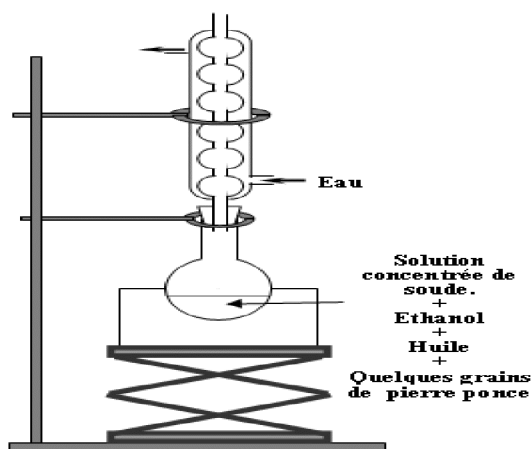


Figure 12 : Matériel de saponification

La méthode d'obtention du savon à partir de l'huile extraite se fait par hydrolyse en présence de soude à 30%. Après chauffage à reflux pendant six heures, le mélange réactionnel est traité par une solution de chlorure de sodium. Nous obtenons deux phases, une phase solide qui est le savon et une phase aqueuse riche en glycérine.

### 1.2.2 Préparation du furfural

Le matériel utilisé pour extraire le furfural est schématisé dans la figure 13

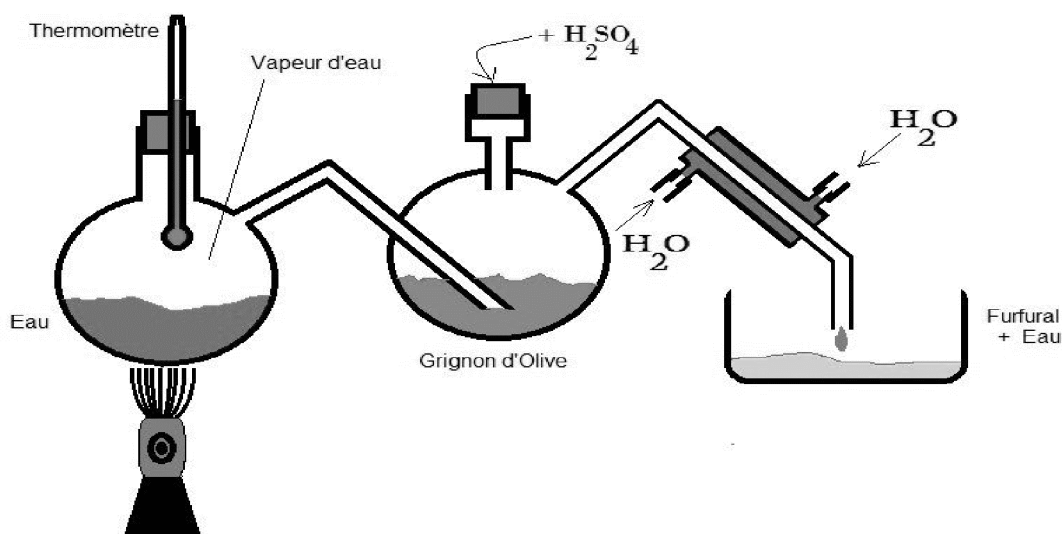
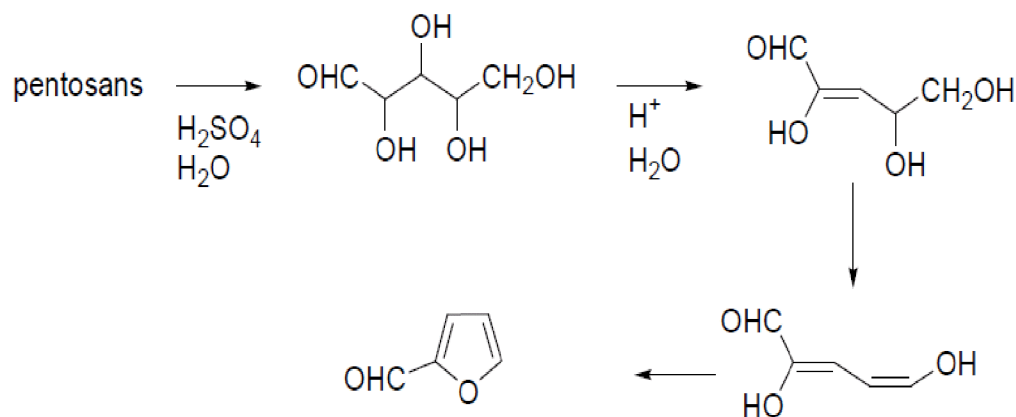


Figure 13 : Dispositif expérimental de fabrication du furfural

**La méthode utilisée pour extraire le furfural est la suivante :**

La biomasse est peut être utilisée comme une source potentielle de molécules organiques. Il est possible d'obtenir des produits à forte valeur ajoutée possédant un intérêt commercial comme par exemple le furfural à partir de pentosans contenus dans les hémicelluloses. La synthèse du furfural est décrite dans le Schéma 5.

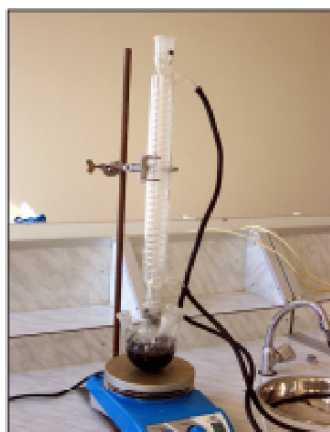


**Schéma 5: structure du furfural**

Les grignons d'olive préalablement séchés et broyés, sont traités par une solution diluée d'acide sulfurique 10%. Dans ce cas le temps de l'hydrolyse n'est pas contrôlé. Le mélange (grignon + solution acide) est distillé à pression atmosphérique. Le distillat ainsi obtenu est traité par une base (hydroxyde de potassium) et extraite par un solvant organique (tétrachlorure de carbone), ce qui permet d'obtenir le furfural après évaporation du solvant.

**1.2.3 Préparation du charbon actif**

Le dispositif utilisé pour l'activation du charbon actif est le suivant (figure 14), les reactifs dont on a besoin sont : l'acide phosphorique et le chlorure de zinc.



**Figure 14 : dispositif d'activation chimique du charbon actif**

La méthode de préparation du charbon actif consiste à carboniser à 400°C les grignons pendant 30 minutes dans un four. Les grignons carbonisés sont imprégnés dans une solution phosphorique (3N) et de chlorure de zinc (2N) et à un rapport massique égal à 2 g d'acide/g de grignon, la température de la solution est maintenue à 110°C avec un reflux total des vapeurs et cela pendant trois heures. Le solide imprégné est séparé par filtration simple de la solution. Après refroidissement, le charbon actif produit est lavé plusieurs fois avec de l'eau distillée à chaud pour éliminer les phosphates résiduels jusqu'à stabilisation du ph de la solution d'épuisement à une valeur neutre. L'étape finale consiste à sécher le charbon actif à 105°C jusqu'à poids constant.

### III. Résultats et discussions

Dans cette partie nous allons présenter les résultats des procédés que nous avons développés précédemment pour valoriser les margines et les grignons d'olive.

La principale nouveauté du système continu à deux phases c'est qu'il permet l'élaboration d'huile d'olive vierge sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau dans le décanteur, ce qui permet de minimiser la quantité de margine. Cette méthode permet d'économiser une grande quantité d'eau et d'énergie et d'atténuer l'impact sur l'environnement.

Les caractéristiques de l'huile d'olive obtenue par la méthode de système continu à deux phases sont représentées dans le tableau 5 [Thèse Sébastien 2010]

**Tableau 5: comparaison entre l'huile d'olive obtenue et celle de la littérature**

Caractéristiques	Huile d'olive	Littérature [Thèse Sébastien 2010]
Acidité	0,3%	0
Indice d'iode	87	75-94
Indice de Saponification	185	184-196
Indice de Refraction	1,4677	1,468-1,470
Densité (à 20°C)	0,915	0,910-0,916

#### 1. Margine

Après extraction de l'huile d'olive par le système de deux phases on obtient de l'huile d'olive et une pâte de grignon d'olive. Ce solide pâteux (grignons et margine) est récupéré dans des sacs filtres en plastiques qu'on replace sur la grille métallique afin que les grignons continuent de s'égoutter et d'éliminer la matière liquide (margines).

Le procédé d'évaporation naturelle des margines, permet d'isoler le concentré de margine après évaporation sous serre en utilisant l'énergie solaire et le vent. Le potentiel d'évaporation varie sensiblement selon les régions (vent, température, hygrométrie) et l'implantation des bassins de traitement.

Les margines obtenue ont les caractéristiques représentées dans le tableau 6 :

**Tableau 6: Composition chimique des margines**

caractéristiques	Composition des margines	Composition des margines [Mebirouk2002]
Eau	83%	83- 88%
Matière organique en suspension	10%	10,5-15%
Matière minérale soluble	2%	1,5-2%
Matière azotées solubles	2,5%	1,25-2,4%
Matière grasses	1%	0,03-1%

### 1.1 Les polyphénols

La méthode que nous avons utilisés pour analyser les polyphénols permet d'évaluer la teneur des polyphénols des margines. La coloration bleu produite d'une absorption maximale aux environ de 750 nm déterminée par spectrophotométrie UV visible. Elle permet la détermination de la concentration des polyphénols en se référant à une courbe d'étalonnage d'une solution standard de l'acide tannique selon les concentrations suivantes : (0mg/L, 1mg/L ;5mg/L ;10mg/L ;20mg/L ) (Méthode de Folin)

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 7 suivant :

**Tableau 7: Mesure des absorbances des solutions**

Numéro de tube	Témoin	1	2	3	4
<b>Absorbance</b>	0	0.049	0,135	0,230	0,423
<b>Concentration mg/l</b>	0	1	5	10	20

- **Traçage de la courbe d'étalonnage**

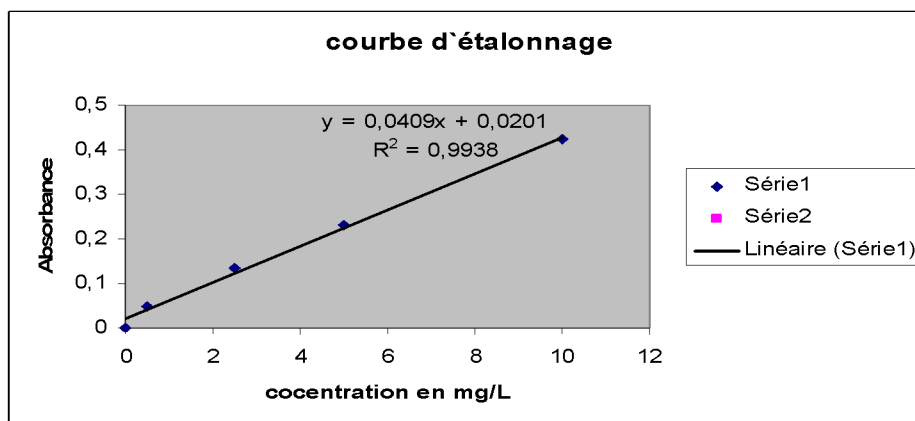


Figure 15: Courbe d'étalonnage

La valeur des concentrations inconnues de polyphénols sont obtenue à partir de la courbe d'étalonnage. Le tableau 8 représente les absorbances et les concentrations trouvées dans différents échantillons :

**Tableau 8 : mesure de la concentration des différents échantillons de margines**

	Margine délipide	Margine brute
Absorbance	0,287	0,269
Concentration (mg/L)	13,02	12,15

- **Détermination de la quantité des polyphénols dans les margines**

Pour pouvoir mesurer l'absorbance des solutions inconnues, on procède à des séries de dilutions, le calcul ci après permet de déterminer la quantité des polyphénols existante réellement dans les différents types de margines.

- Margine délipide

$$C_0 \times V_0 = C_f \times V_f$$

$$C_0 = (13,02 \times 11) / 0,5 = 286,44 \text{ mg/L}$$

La solution a été diluée 1000 fois donc :  $C_0 = (286,44 \times 100) / 1000 = 28,65 \text{ g/L}$

- Margine brute

$$C_0 \times V_0 = C_f \times V_f$$

$$C_0 = (12,15 \times 11) / 0,5 = 267,3 \text{ mg/L}$$

La solution a été diluée 1000 fois donc :  $C_0 = (267,3 \times 100) / 1000 = 26,73 \text{ g/L}$

C'est la concentration des margines obtenues par évaporation sous serre. La méthode d'évaluation du contenu du polyphénols dans les margines en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu donne des résultats fiables et reproductibles. La figure 15 montre la structure des principaux composés phénoliques de l'huile olive.

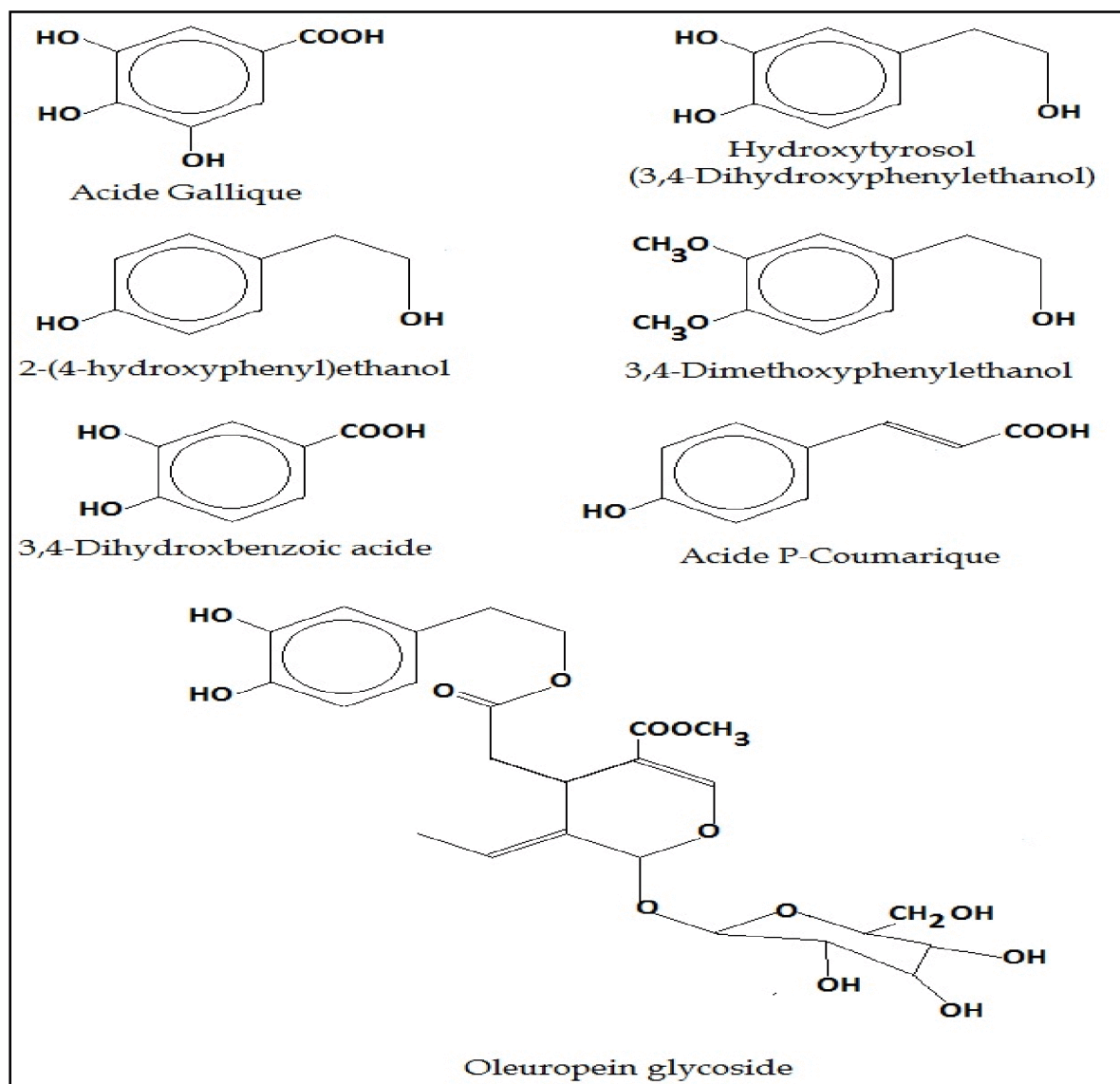


Figure 16: Structure des principaux composés phénoliques d'olive

## 1.2 Traitement des peaux par les margines

Notre travail a consisté à remplacer l'effet du chrome par les polyphénols identifiés dans les margines. Les tanins sont des polyphénols dont la structure est complexe.

Les tanins hydrolysables renferment trois groupes :

- Esters d'acides phénoliques
- Esters d'acides phénoliques et sucres
- Glucides (le groupe le plus abondant)

Les tannins condensés appelés également flavotannins sont formés par polymérisation de la catéchine à différents degrés. Notre travail a consisté à remplacer l'effet du chrome par celui des margines, étudier les caractéristiques des peaux pendant et après le temps de séjours dans les margines et essayer d'avoir une peau bien finie pour pouvoir la comparer en terme de qualité avec les peaux traités au chrome. Nous avons obtenu une peau imputrescible, solide, de faible élasticité et ne chauffe pas malgré les frottements

Nous avons obtenu :

- Sur le plan qualité un produit de qualité semblable à celle de cuir ordinaire
- Sur le plan économique, un produit moins couteux que le cuir traité par le chrome
- Et sur le plan environnemental un produit qui collabore pour la protection de l'environnement et surtout la faune aquatique.

## 2. Grignons d'olive

### 2.1 Saponification de l'huile de grignon

Nous obtenons après saponification de l'huile de grignon d'olive, deux phases une phase solide qui est le savon et une phase aqueuse riche en glycérine. Nous séparons les deux phases le savon lavé et séché à l'air à une couleur beige. Il est lisse au toucher et sa mousse est abondante et consistante (tableau9)

**Tableau 9: caractéristique du savon obtenu**

Caractéristiques	Teneur	Littérature [ Nefzaoui 1987]
Humidité	5,5%	5%
Alcali libre	0,1%	0%
Alcali combiné	8,85%	8,85%
Acide gras	64,65%	64,60%
Matières grasse saponifiées	73%	73,5%
Chlorure	3,8%	3,9%
Glycérol	0,6%	0,7%

La solution aqueuse alcaline issue de la fabrication du savon est neutralisé par de l'acide chloridrique concentré. Après évaporation et distillation, nous isolons la glycérine. Elle a la forme d'un liquide incolore, anhydre et pur sirupeux, à saveur sucrée. (Tableau10)

**Tableau 10 : Caractéristique de la glycérine**

Caractéristiques	Teneur	Littérature [Nefzaoui 1987]
Densité	1,265	1,26
Bouillant sous pression atmosphérique	290°C	290°C
Cristallise	17°C	17-18°C

## 2.2 Préparation du furfural

Le furfural obtenu est un liquide jaune qui noircit à l'air libre en s'oxydant en acide correspondant. Les caractéristiques physiques sont rassemblées dans le tableau 11.

**Tableau 11: Caractéristiques physiques du furfural fabriqué**

Rendement(%)	Aspect	Point d'ébullition	Indice de réfraction
5	Liquide jaune	160°C	1.522

Caractéristiques du furfural sont représentées dans le tableau 12 :

**Tableau 12: Caractéristiques du furfural**

Caractéristiques	Teneur	La littérature [Thèse Banacer 1996]
Point d'ébullition	160°C	161-162°C
Indice de réfraction	1,5240	1,5243
Infrarouge	2850 cm <sup>-1</sup> et 2810cm <sup>-1</sup> $\nu_{C-H}$ 1670 cm <sup>-1</sup> $\nu_{C=O}$	2855 cm <sup>-1</sup> et 2810cm <sup>-1</sup> $\nu_{C-H}$ 1680 cm <sup>-1</sup> $\nu_{C=O}$
UV-Visible	$\lambda_{max}$ : 226 et 272 nm	228 272nm

## 2.3 Préparation du charbon actif

Les principales caractéristiques du charbon actif préparé sont présentées dans le tableau suivant:

**Tableau 13 : Caractéristiques du charbon actif**

Caractéristiques	Teneurs	Littérature [Belkbir2007]
Humidité	5	4
Taux de cendre	14	13
PH à 20°C	9	8,42
Indice d'iode (mg/g)	810,26	810
Indice de phénol (mg/l)	30,48	30

Les résultats obtenus lors de notre étude nous ont permis de vouloir réaliser ces procédés dans les huileries marocaines pour valoriser les déchets de l'huile d'olive et surtout préserver notre environnement. Le résultat obtenu concernant la valorisation des margines, nous a permis de conclure que le système de centrifugation à deux phases nous a permis de diminuer la production des margines et que le tannage de peau d'animaux par des tanins végétaux ne laissent pas des produits nocifs pour le milieu récepteur. En plus les grignons d'huile d'olive sont valorisés par l'extraction de l'huile de grignon d'olive non propre à la consommation vu son taux d'acidité qui est trop élevé 68%, d'où on l'utilise pour extraire du savon biodégradable, de la glycérine et du furfural, les grignons résiduels sont utilisés comme matière première pour la préparation du charbon actif.

#### **IV. Conclusion**

Ce premier chapitre nous a permis de développer des procédés de valorisation des grignons d'olives et des margines pour élaborer et récupérer beaucoup de produits de grandes valeurs, ce qui contribue à la protection et à la préservation de l'environnement.

Le premier procédé que nous avons proposé vise à la valorisation des margines par l'utilisation de l'énergie solaire comme source renouvelable pour l'évaporation sous serre des margines. Cette évaporation permet de résoudre plusieurs problèmes rencontrés lors de l'évaporation naturelle liés essentiellement aux paramètres climatiques. Le résultat obtenu concernant l'essai de traitement de peau par les margines nous a permis de conclure que ce pré traitement peut jouer deux rôles. Le premier concerne la diminution des tanins (polyphénols) dans les margines vu qu'on a utilisé le système de centrifugation à deux phases, le deuxième rôle s'agit de tannage de peau d'animaux par des tanins végétaux qui ne laissent pas des produits nocifs pour le milieu récepteur.

Le deuxième procédé présente un traitement qui permet d'extraire l'huile des grignons d'olive qui est de mauvaise qualité nutritive, mais qui peut être utilisée pour la fabrication de savon biodégradable de bonne qualité ainsi que de la glycérine. Les pentoses des grignons sont transformés en furfural de qualité analytique. Une fois le produit épuisé, il est ensuite valorisé soit comme combustible soit comme matière première pour la fabrication du charbon actif.

Cette valorisation tend à assurer une protection environnementale et contribuer à l'amélioration de la rentabilité du secteur oléicole qui souffre de la concurrence des autres huiles végétales et aussi à l'augmentation de la rentabilité du secteur de tannage par la commercialisation d'un produit moins coûteux.

## V. Références Bibliographiques :

- Andrews P., Busch J. L. C. H., Joode T. D., Groenewegen A. & Alexandre H. (2003)** Sensory properties of virgin olive oil polyphenols: identification of deacetoxy-ligstroside agglycon as akey contributor to pungency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (5) pp 1415-1420.
- A. Nefzaoui. 2008** Laboratoire de nutrition animale INRA de Tunisie. Ressources. Cihem.org/om/pdf à 16/19.605051.
- A. Nefzaoui et Vanbelle(1983) ; Nefzaoui, (1985) ; Casanerie, (1986).** Importance de la production oléicole et des sous- produits de l'olivier.
- Angerosa F. (2000)** Sensory quality of olive oil. Dans J. Harwood & R. Aparicio (Eds.), *Handbook of olive oil: analysis and properties*. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen publications, Inc.
- Angerosa F. (2002)** Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 104 (9-10) pp 639-660.
- A.R.I.C 2006.** Association des Recherches des Industries de Cuir et Annexes, 'Manuel des Bonnes Pratiques dans le Secteur du Tannage de la Région du Maghreb', Edition Maroc, Janvier 2006.
- Benyahia N., Zein K. (2003).** Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. Contribution spéciale de Sustainable Business Associates (Suisse) à SESEC II, pp 2-7.
- Belkbir Zohra, 2007.** Valorisation des dechets agroalimentaire cas des grignons d'olive. Université 2007 Université M'hamed Bougara Boumerdes, 2007
- Boskou D., Blekas G. & Tsimidou M. (2006)** Olive oil composition. Dans D. Boskou (Ed.), *Olive oil, chemistry and technology* (2nd edition). Champaign Illinois: American oil chemists society.USA. pp 41-72.
- Bousdira L, 2005.** Contribution à la dépollution des eaux des huileries d'olive de la région d'El Milia (site de BELLARA) par oxydation catalytique au peroxyde d'hydrogène et par voie électrochimique. Mémoire d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement. Université de Boumerdes.
- Brenes M., Hidalgo F. J., Garcia A., Rios J. J., Garcia P., Zamora R. & Garrido A. (2000)** Pinoresinol and 1-acetoxypinoresinol, two new phenolic compounds identified in olive oil. *Journal of American oil Chemist's Society*. 77 (7) pp 715-720.
- Chiofalo, B., Azzarra, V., Liotta, L., Chiofalo L., 2004.** The chemical and physical parameters of the Ragusana ass's milk during lactation. Proc. 6th Congress SIDI, Campobasso (I), july 2004: 77-84.
- De Felice B., Pontecorvo G., Carfagna M. (1997)** degradation of waste waters from olive oil mills by *Yarrowia lipolytica* ATCC 20 255 and *pseudomonas pitida*. *Acta Biotechnol.*, 17, 231-239.

- DellaGreca M., Monaco P., Pinto G., Pollio A., Previtiera L., Temussi F. (2001).** Phytotoxicity of low-molecular-weight phenols from olive mill waste waters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 67, 352-359.
- D.Ghataf. Juillet 2004.** valorisation de margines par digestion anaérobie. Mémoire de diplôme d'études approfondie. Agence universitaire de la francophonie.
- DEPF 2012,** Direction des Etudes et des Prévisions Financières au Maroc.
- DPV 2009,** Direction de la Production végétale, ministère de l'agriculture Maroc.
- El Alami B. (2000).** Contribution à l'étude de l'activité anti-oxydante de la fraction phénolique des margines. Mémoire de 3ème cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc. 93p.
- Fedeli E., (1977)** Lipids of olives. *Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids*. 15 pp 57-74.
- Fiestas Ros de Ursenos J.A. (1981).** Différentes utilisations des margines : Actes séminaire international sur la valorisation des sous-produits de l'olivier. FAO-UNDP. Tunisie, pp 93-110.
- Garcia-Villalba R., Carrasco-Poncorbo A., Oliveras-Ferraro C., Vasquez-Martin A., Menéndez J. A., Segura-Carretero A. & Fernandez-Gutiérrez A. (2010)** Characterisation and quantification of phenolic compounds of extra-virgin olive oils with anticancer properties by a rapid LC-ESI-TOF MS method. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 51 (2) pp 416-429.
- Gomez-Rico A., Fregapane G. & Desamparados M. S. (2008)** Effect of cultivar and ripening on minor components in Spanish olive fruits and their corresponding virgin olive oils. *Food Research International*. 41 (4) pp 433-440.
- Gomez-Rico A., Desamparados M. S. & Fregapane G. (2009)** Virgin olive oil and olive fruit minor constituents as affected by irrigation management based on SWP and TDF as compared to Etc in medium-density young olive orchards (*Olea europaea* L. cv. Cornicabra and Morisca). *Food Research International*. 42 (8) pp 1067-1076.
- IOM. (2003/2004).** Industrie oléicole au Maroc et son impact sur l'environnement : Propositions d'actions de lutte contre la pollution générée par les huileries d'olives, cas de la province de Taounate. 14 p.
- Le monde 2013** [http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/04/12/le-gout-des-emergents-pour-l-huile-d-olive-lueur-d-espoir-pour-l-europe-du-sud\\_3158998\\_3234.html](http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/04/12/le-gout-des-emergents-pour-l-huile-d-olive-lueur-d-espoir-pour-l-europe-du-sud_3158998_3234.html)
- Kiritsakis A. K. (1998)** Flavor of olive oil – a review. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 75 (6) pp 673-681.
- Marisot A., Tournier J.P. (1986).** Répercussions agronomique de l'épandage d'effluents et déchets de moulins à huile d'olive. *Agronomie*. 6, 235-241.

- Martinez-Nieto, L., Garrido-Hoyos, S.E., Camacho Rubio, F., Garcia-Pareja, M. P. & Ramos-Cormenzana. A. (1993).** The biological purification of waste products from olive oil extraction. *Biores. Technol.*, 43, 215- 9.
- Mebirouk M. (2002).** Rejets des huileries. Développement d'un procédé intégré dans la biodégradation des polyphénols dans la margine. *CMPP News*, n°11.
- Merck.Index.** 11,4214
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime Maroc 2013.**
- Muscolo A., Panuccio M.R., Sidari M. (2001).** The effect of phenols on respiratory enzymes in seed germination respiratory enzyme activities during germination of *Pinus laricio* seeds treated with phenols extracted from different forest soils. *Plant Growth Regulation.* 35, 31-35.
- Nassif D. (2004).** Valorisation des polyphénols extraits des margines en tant qu'antioxydants naturels dans les huiles végétales. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, Université Libanaise, Liban. 41 p.
- Nefzaoui A. (1987).** Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits, séminaire sur l'économie de l'olivier. Tunis, 20-22 Janvier. *Science et Technique, Olivae* n° 19.
- PNTTA 2006,** Bulletin Mensuel D'Information et de Liaison du PNTTA, TRANSFER DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE ;
- Psomiadou E., Tsimidou M. & Boskou D. (2000)**  $\alpha$ -tocopherol content of Greek virgin olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 48 (5) pp 1770-1775.
- SF.MILTON, W.H.DONALD, B.NSUSAN.1972** *Jorg.Chem*,37, 1606(1972).
- Samperdro I., Aranda E., Martin J., Garcia Garrido J.M., Garcia Romero I., Ocampo J.A. (2004).** Saprobic fungi decrease plant toxicity caused by olive mill residues. *Applied Soil Ecology.* 26, 149-156.
- Shasha B. & Leibowitz J. (1961)** On the oleuropein, the bitter principle of olives. *Journal of Organic Chemistry.* 26 (6) pp 1948-1954.
- Sherwin E. R. (1976)** Antioxidants for vegetable oils. *Journal of the American Chemical Society.* 53 pp 430-436.
- S.KITANE; A.SEBBAN; A.BAHLLOUL; J.L PINEAU. 2006**Brevet Marocain N°29150 déposé le 29/06/2006 à l'OMPIC
- S.KITANE; A.SEBBAN; A.BAHLLOU.2003** Brevet Marocain N° 27014 déposé le 24/01/2003 à l'OMPIC.
- Soler-Rivas C., Espin J. C. & Wichers H. J. (2000)** Oleuropein and related compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 80 (7) pp 1013-1023.

**Thèse Ajmia Chouchen 2010**, Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique. De l'école Nationale d'ingénieurs de Monastir et de l'université de HAUTE-ALSACE.

**Thèse Banacer Himmi, 1996**. Préparation du furfural a partir des Grignons d'olive du Maroc, université Mohammed V Rabat.

**Thèse Sebastien Veillet 2010**, Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

**Thèse Yahyaoui Nouara 2012**, Etude de l'absorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif. Université Mouloud Mammeri Tizi ouzou.

**Tura D., Gigliotti C., Pedo S., Failla O., Bassi D. & Serraiocco A. (2007)** Influence of cultivar and site of cultivation on levels of lipophilic and hydrophilic antioxidants in virgin olive oils (*Olea europaea* L.) and correlation with oxidative stability. *Scientia Horticulturae*. 112 (1) pp 108-119.

**Tura D., Failla O., Bassi D., Pedo S. & Serraiocco A. (2008)** Cultivar influence on virgin olive (*Olea europaea* L.) oil flavor based on aromatic compounds and sensorial profile. *Scientia Horticulturae* 118 (2) pp 139-148.

**Vierhuis E., Servili M., Baldioli M., Schols H. A., Voragen A. G. J. & Montedoro G. F. (2001)** Effect of enzyme treatment during mechanical extraction of olive oil on phenolic compounds and polysaccharides. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49 (3) pp. 1218–1223.

**Vinha A. F., Ferreres F., Silva B. M., Valentao P., Gonçalves A., Pereira J. A., Oliveira M. B., Seabra R. M. & Andrade P. B. (2005)** Phenolic profile of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): Influence of cultivar and geographical origin. *Food Chemistry*. 89 (4) pp 561- 568

**Visioli F. & Galli C. (1998)** The effect of minor constituents of olive oil on cardiovascular disease: new findings. *Nutrition Reviews*. 56 (5) pp 142-147.

**Yang D. P., Kong D. X. & Zhang H. Y. (2007)** Multiple pharmacological effects of olive oil phenols. *Food Chemistry*. 104 (3) pp 1269-127

## Chapitre II

---

# Valorisation de l'huile d'avocat

---

## **I. Synthèse bibliographique**

### **1. Introduction**

Nombreux auteurs s'accordent sur le fait que les zones d'altitude du centre du Mexique et du Guatemala constituent le point géographique d'origine de l'avocatier. SMITH (1969), par exemple, affirme que les trois grandes variétés d'avocatier ont la même origine mexico guatémaltèque. De même, dès la découverte du continent américain en 1492, les européens constatèrent la présence de l'avocatier depuis le nord du Mexique jusqu'au Pérou (HODGSON, 1950). Puis, au cours des XVI<sup>ème</sup> et XVII<sup>ème</sup> siècles, à partir de ces zones d'origine, l'avocatier est propagé à plusieurs pays du monde notamment le Venezuela, les Antilles et le Chili. Au Brésil, la culture d'avocatier n'est apparue qu'à partir de 1925.

A l'extérieur de la grande masse du continent américain, les premiers avocats ont apparu à Hawaï en 1825 [HODGSON, 1950], en Malaisie et aux Philippines vers 1900 [LABOURNE, 1934]. Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie, en 1843, était la première à connaître l'introduction de l'avocatier. Dans les autres pays cette opération a été plus tardive.

Au Maroc, par exemple, l'avocatier a été signalé, pour la première fois, en 1931 [VOGEL, 1961]. Par ailleurs, de point de vue écologique, l'avocatier est considéré parmi les plantes qui préfèrent des sols légers, notamment ceux sablonneux et qui bénéficient d'un climat qui n'est ni trop froid pendant l'hiver ni trop chaud pendant l'été.

#### **1.1 Production mondiale d'avocat**

Le marché de l'avocat est désormais en phase de transition entre les origines d'été et d'hiver. Ainsi tandis que les apports mexicains et israéliens se restreignent, les offres kenyanes, péruviennes et sud-africaines se développent mais l'on s'attend de nouveau cette année à des volumes sans excès sur l'été. Ainsi, les derniers éléments publiés par l'organisation des producteurs sud-africains, semblent confirmer les premières estimations faites pour cette origine, c'est-à-dire un potentiel d'exportation en baisse par rapport à l'an dernier qui pourrait ne pas dépasser 10,5 millions de cartons (4 kg) contre 12 millions de cartons en 2012, avec un potentiel de 60% de Hass et de 40% de variétés vertes. La production péruvienne devrait encore sensiblement progresser (249.000 t en 2012) et les exportations pourraient dépasser les 100.000 t (190.000 t estimées à l'horizon 2017 compte-tenu du rythme de plantations de plus de 1.000 ha par an pour une surface actuellement de plus de 12.000 ha) mais elles devraient encore surtout se développer à destination des Etats-Unis où elles ont atteint 16.000 t en 2012.

Au Pérou, les conditions de culture des 12 000 hectares de vergers d'avocat ont été quasi-parfaites cette année et le Hass s'attend à une croissance d'environ 7% des exportations vers l'Europe par rapport à 2012. Les derniers chiffres estimés de la production péruvienne d'avocats Hass sont de 95 000 tonnes, dont 61 750 t prévus pour l'Europe. 16 350 tonnes seront destinées au marché français et 6 189 pour le marché britannique.

La campagne méditerranéenne devrait monter en puissance dans le courant du mois d'octobre 2013. Le potentiel devrait être sans excès. Les volumes pourraient, en effet, être inférieurs à la normale en Espagne, Asaja Málaga, annonce ainsi une baisse de -10 à -20% de la production en raison de l'alternance qui pourrait toutefois en partie être compensée par une hausse du calibre. La production andalouse a atteint l'an dernier 40.775 t dont 30.000 t de Hass. La récolte était pour l'instant estimée à 32.000 t.

La production devrait être d'un bon niveau en Israël, alternance positive oblige, d'autant que les conditions climatiques ont été dans l'ensemble favorables. La récolte pourrait donc avoisiner 90.000 à 95.000 t pour un potentiel d'exportation de 45.000 à 50.000 t soit environ +10% à +15% + par rapport à l'an dernier (60% de variétés vertes et 40% de Hass).

Côté Maroc, la production devrait également revenir sur un bon niveau après les gelées de l'année dernier, sachant que le rythme de plantations est 300 à 400 ha/an[Fruit Logistica2013]

## **1.2 La culture et la production d'avocat au Maroc**

### **1.2.1 Importance et aire de culture**

Au Maroc, ces conditions édaphiques et climatiques ne sont réalisées que dans certaines zones côtières. Pour la campagne agricole 2006/2007, la superficie cultivée pour l'avocatier (toutes variétés confondues) était de 1920 hectares. Selon le Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime du Maroc, celle-ci s'étalait sur plusieurs régions principalement la plaine du Gharb les régions de Rabat et Salé, Khemisset , Loukkos et de Ben Slimane

La production était estimée à 16.896 tonnes pour une superficie productive de 1516 ha. Le rendement moyen de 11,14 tonnes/hectares. Le reste de la superficie (404 ha) était constituée de jeunes plantations non productives [Ministère de l'Agriculture]

Selon le rendement (Tab. I), la production varie remarquablement d'une région à l'autre (4 à 14,5 tonnes/hectares), en fonction du stade de développement de la culture. Mais, pour cette campagne, les meilleurs rendements ont été obtenus dans la zone de Sous Massa et de Rabat/Salé.(Tableau 14)

**Tableau 14 : Situation de la culture d'avocatier au Maroc**

Régions	Nombre producteurs	Superficie (ha)		Production Totale	Production (Tonne)	Rendement (Tonne/ha)
		Jeune	Productive			
Gharb	96	230	475	705	4.275	9,0
Rabat/ Sale	ND	113	418	531	6.093	14,5
Khemisset	43	-	257	257	1.800	7,0
Loukkos	37	48	200	248	2.570	12,8
Ben Slimane	13	8	52	60	270	5,19
Souss Massa	ND	-	70	70	1.500	-
EL Jadida	10	5	35	40	280	8,0
Mekhnès	1	-	2	2	8	4,0
El Hajeb	3	-	7	7	100	14,3
TOTAL	-	404	1.516	1.920	16.896	11,14

## 2. Avocatier

L'avocatier est un arbre de 5 à 15m de haut originaire d'Amérique tropicale. Cet arbre est très couramment cultivé. Plusieurs espèces sont commercialisées, notamment l'avocatier du Mexique et des Antilles. Aux États-Unis, l'avocatier est principalement cultivé en Californie et en Floride. Son tronc est recouvert d'une écorce grisâtre et crevassée, sa cime est ample et touffue. Ses feuilles sont persistantes, simples, ovales, vert foncé brillant. La graine est un gros noyau brun [PNTTA2006]

### 2.1 Conditions climatiques

L'avocatier est une espèce d'origine tropicale qui s'adapte parfaitement à des climats subtropicaux à hivers doux. Elle supporte peu le froid. A  $-4^{\circ}\text{C}$ , les variétés mexicaines manifestent des dégâts. La variété Fuerté est une des variétés les plus sensibles, elle est endommagée à  $-2^{\circ}\text{C}$ . Les variétés guatémaltèques sont sensibles de  $-1^{\circ}\text{C}$  à  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . La température moyenne de croissance est comprise entre  $12,8$  et  $28,3^{\circ}\text{C}$  avec un optimum à  $25^{\circ}\text{C}$  pour les mois les plus chauds et  $15^{\circ}\text{C}$  pour la moyenne des mois les plus froids.

La culture de l'avocatier réussit mieux le long du littoral. L'altitude retarde la maturation des fruits. Les vents forts et desséchants sont à craindre non seulement pour la chute prématurée des fruits, mais aussi pour des dégâts sur feuillage et bois.

Les jeunes plants doivent être protégés individuellement contre les vents et les fortes insulations. La culture réussit mieux dans des climats humides à pluviométrie modérée et bien distribuée (1000 à 1200 mm). Une saison sèche et très longue entraîne la défoliation des arbres.

Des pluies fortes à la floraison peuvent provoquer la coulure. L'hygrométrie doit être élevée à la nouaison (70 à 80%) et plus modérée lors du grossissement des fruits [PNTTA2006]

## **2.2 Condition du sol**

Bien que s'accommodant d'une large gamme de sols dans la mesure où ils sont bien drainés, l'avocatier préfère des sols sableux ou sablo-argileux. Il est sensible à la salinité, particulièrement au chlorure de sodium. La race mexicaine est la plus sensible au sodium et la race antillaise la plus tolérante. L'excès du chlore provoque des brûlures apicales, alors que le sodium occasionne des brûlures marginales.

Le pH optimum du sol est de 5,5 à 6,5. En sol alcalin, des symptômes de carence en fer, en magnésium ou en zinc apparaissent du fait du blocage des cations. Les besoins en eau sont de 1000 à 1200 mm. Les apports doivent être bien répartis. Une saison sèche et trop longue entraîne des défoliations.

L'aire de culture s'est très largement étendue hors des limites de la zone d'origine du genre *Persea*. En effet, on trouve, actuellement, l'avocatier cultivé plus ou moins intensivement de part et d'autre de l'équateur, jusqu'à une latitude proche de 43° [PNTTA2006]

## **2.3 Variétés d'avocat au Maroc**

Au Maroc, quatre variétés dominent le marché : ce sont Zutano, Bacon, Fuerté et Hass. Zutano est la plus précoce, étant récoltée de la mi-October à la mi-Décembre. Hass est la plus tardive, car récoltée du début Mars à la mi-Mai. D'autres variétés sont présentes mais en très faible quantité, tel que Lula, Anaheim, Corona, Nabal, Gween etc. En verger, les variétés sont associées pour assurer une bonne inter pollinisation [PNTTA2006]

## **2.4 Récolte et conservation**

La récolte est obtenue 3 à 4 ans après plantation pour les arbres greffés. Au niveau d'un verger bien entretenu, le rendement varie de 9 à 20 T/ha/an. Il n'existe pas de paramètres exacts pour l'évaluation de stade de maturation de stade de maturité. Seules les appréciations tactiles et visuelles et la teneur en huile, ajustée parfois par des tests de dégustation, permettent de déterminer l'époque de récolte. Les fruits murs de certains cultivars qui tolèrent le froid peuvent être conservés un mois et plus à 4-7C°. Les cultivars qui ne tolèrent pas le froid peuvent être conservés 3 à 4 semaines à 13C° [PNTTA2006]

### **3. Utilisation de l'huile d'avocat**

Outre que la consommation «directe» des fruits frais, généralement comme hors d'œuvre avec un assaisonnement mais, aussi, avec du sucre comme dessert, la pulpe d'avocat est consommée en purée épicée par les mexicains (Guacamole) et les antillais (Féroce). Aux îles Hawaï l'avocat sert à la fabrication de sorbet et de crème glacée.

Une seconde utilisation, est la fabrication d'huile d'avocat pour la consommation humaine ou bien la fabrication de produits cosmétologiques ou pharmaceutiques. En cosmétologie, l'huile d'avocat sert à la préparation des crèmes de beauté, des huiles de massage, des shampooings, des savons de luxe. En pharmacie, les pommades à base d'huile d'avocat sont utilisées en dermatologie pour leur propriété régénérante de la peau, due en particulier, à la richesse de l'huile en vitamine A. Enfin, les tourteaux de presse, après extraction de l'huile, peuvent servir d'aliment de bétail [GAILLARD1987]

#### **3.1 Propriété de l'huile d'avocat**

L'huile d'avocat est remarquable par sa teneur élevée en acide palmitoléique de 2 à 13 % selon les variétés ou les procédés d'extraction choisis. Par ailleurs cette huile appartient au groupe oléique. La teneur en insaponifiable est élevée : elle est fréquemment donnée entre 1 à 5 % jusqu'à 12 % pour des variétés équatoriennes ou israéliennes.

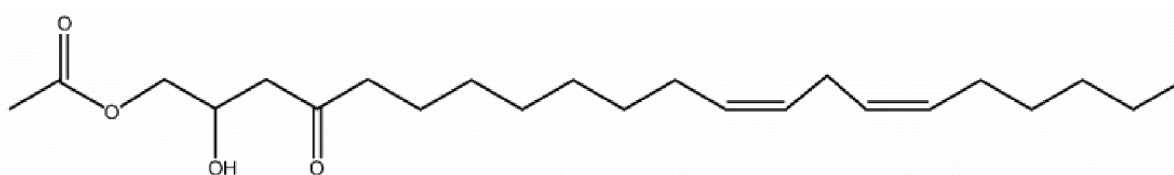
Les stérols représentent 35 à 70 % de l'insaponifiable. La fraction stérolique se compose essentiellement de B-sistostérol (60 à 92 %). Très complète en vitamines A, B, C, D, E, H, K, P, elle agit contre le vieillissement. L'huile d'avocat est une huile épaisse, pénétrante, qui se laisse facilement absorber. Elle est utilisée comme médicament, comme agent dermatologique, comme agent cosmétique, ou comme nutraceutique, à visée humaine ou animale, dans des applications vétérinaires [ GAILLARD J.P., 1987]

#### **3.2 Composition de la pulpe d'avocat**

La pulpe, qui représente selon les variétés de 55 à 80 % du poids des fruits, est riche en lipides. Les teneurs sont variables en fonction des variétés, du stade de maturité du fruit et des conditions écologiques de culture. Elles peuvent varier de 6 à 8 % pour les variétés de race antillaise, à plus de 20 % chez certaines variétés de races mexicaines ou guatémaltèques ou bien leurs hybrides Le reste de la pulpe est constituée : [GAILLARD J.P, 1987]

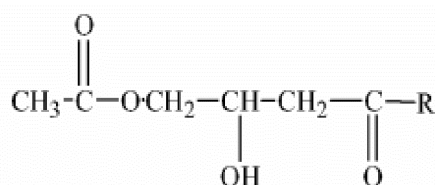
- d'eau (70 à 80 %),
- lipides ( environ 20%)
- de protéines (2 à 3 %),
- de glucides (2 à 5 %),
- d'éléments minéraux (1 à 2 %)
- de fibres (2 à 3 %).

L'avocat comprend de manière connue des lipides particuliers de type acétogénines aliphatiques, dont le principal composant est un acétogénine linoléique répondant à la formule suivante :



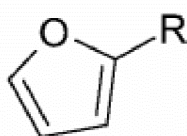
Ces

composés sont aussi communément appelés du nom générique de persin. Ainsi, par «acétogénines aliphatiques», on entend selon l'invention les composants répondant à la formule :



dans laquelle R est une chaîne linéaire hydrocarbonée en C<sub>11</sub>-C<sub>19</sub> de préférence C<sub>13</sub>-C<sub>17</sub>, saturée ou comprenant une ou plusieurs insaturation(s) éthylénique(s) ou acétylénique(s).

« Par lipides furaniques d'avocat », on entend les composants répondant à la formule :



dans laquelle R est une chaîne linéaire hydrocarbonée en C<sub>11</sub>-C<sub>19</sub> de préférence C<sub>13</sub>-C<sub>17</sub>, saturée ou comprenant une ou plusieurs insaturation(s) éthylénique(s) ou acétylénique(s)

La pulpe d'avocat a une composition chimique un peu différente en fonction des variétés, de l'origine géographique et des conditions climatiques:

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| . Eau: 65 à 80%     | . Sucre: 2 à 10%  |
| . Protéines: 1 à 4% | . Huile : 3 à 30% |

On trouve des Vitamines A et E et du complexe vitaminique B, peu ou pas de Vitamine C. L'huile d'avocat est épaisse, colorée en vert, d'odeur et de goût agréable rappelant la noisette, elle rancit difficilement.

Sa composition moyenne: [GAILLARD J.P., 1987]

- **Acide oléique** : 42 à 63%
- **acide palmitique** : 17 à 29%.
- **acide linoléique** : 9 à 16%.
- **acide linoléique** : < à 1%.

L'huile d'avocat contient une fraction insaponifiable riche en stérols, contenant au moins 80% en poids de triglycérides, par rapport au poids total de l'huile d'avocat. L'huile d'avocat raffinée ne contient pas plus de 1 % en poids de monoglycérides. La teneur en diglycérides présents dans l'huile est comprise entre 1 et 5 % en poids.

#### **4. Extraction d'huile d'avocat**

L'avocat est riche en huile, puisque les lipides représentent entre 10 et 20 % du fruit frais. La grande richesse en corps gras est en effet une des caractéristiques de ce fruit. L'huile, qui par son profil en acides gras est très proche de l'olive, est utilisée depuis de nombreuses années pour ses applications en cosmétique et pharmacie. En outre, grâce à ses propriétés nutritionnelles, son intérêt comme huile alimentaire ou complément alimentaire est apparu depuis ces dernières années, et la production mondiale ne cesse de progresser.

L'huile d'avocat présente une haute stabilité son contenu en vitamine E (alpha-tocophérol) 12 à 15 mg/g d'huile et (beta-sitostérol) 4.5 mg/g d'huile permet respectivement une réduction des maladies cardiovasculaires et inhibe l'absorption intestinal du cholestérol. Il est clair que l'huile d'avocat est très salubre vue sa richesse en acide oléique, oméga3 et oméga 6 qui réduisent les radicaux libres dans le sang et agit comme un antioxydant. A part l'utilisation thérapeutique (alimentation) de l'huile d'avocat il faut ajouter ces vertus cosmétiques. Par ailleurs l'huile d'avocat présente une grande capacité à traverser la peau d'où son utilisation comme agent transporteur d'autres éléments actifs en dermatologie.

Les huiles brutes ou vierges d'avocat sont généralement extraites par un procédé qualifié de pression à froid, qui consiste en un malaxage et une macération des fruits frais dans l'eau, suivis d'une séparation

des trois phases, solide, huileuse et aqueuse dans un décanteur centrifuge. Une ultime phase de polissage par clarification centrifuge permet de produire une huile parfaitement limpide.

D'autres procédés, tels que la pression à froid avec addition d'adjuvants solides ou encore l'extraction supercritique, permettent de produire des huiles d'avocat vierges. Des huiles d'avocat raffinées peuvent être obtenues à partir des huiles vierges ou brutes d'avocat selon les procédés classiques de raffinage, tels que ceux généralement mis en œuvre pour la production d'huiles de tables conventionnelles, par exemple les huiles de tournesol, de soja, ou de colza. Ce raffinage comprend les opérations suivantes :

- la démulcination
- la neutralisation
- la décoloration
- la frigélisation
- la désodorisation
- Méthode d'extraction de l'huile d'avocat

Les fruits d'avocat fraîchement récoltés sont découpés et sont de préférence répartis en couches les plus régulières et fines possibles, afin de faciliter un séchage et/ou une déshydratation rapide et homogène, qui permettent d'extraire l'eau d'un composé. Parmi ces techniques, on peut citer le séchage sous courant d'air chaud ou sous atmosphère contrôlée (ex. azote), le séchage à pression atmosphérique ou sous vide, le séchage en couche épaisse ou couche mince, ainsi que le séchage par micro-ondes, le séchage par pulvérisation, la lyophilisation ou encore la déshydratation osmotique en solution (ex. osmose directe) ou en phase solide (ex. séchage en sacs osmotiques) [Brevet 2010]

La déshydratation consiste en un séchage des fruits tranchés, de préférence réalisé dans un séchoir à air chaud à une température comprise entre 70 et 90°C. La durée du séchage est comprise entre 8 et 36 heures jusqu'à l'obtention d'un taux résiduel d'humidité dans le fruit de préférence inférieur ou égal à 5 % en sortie de séchoir [Brevet2010]

Lorsque la déshydratation est réalisée par séchage, à une température supérieure à la température ambiante, ce traitement thermique de l'avocat, mené dans des conditions bien définies, permet de favoriser la transformation moléculaire de composés spécifiques de l'avocat et d'optimiser le rendement de transformation tout en évitant la synthèse de produits de dégradation thermique ou d'oxydation [Brevet 2010]

L'extraction de l'huile peut être par une simple pression à froid ou à l'aide d'un solvant à basse température. La pression mécanique des fruits déshydratés permet de garantir la qualité de l'huile et

de ses constituants insaponifiables, et d'obtenir un taux de récupération élevé de l'huile sans emploi d'un produit organique tel qu'un solvant.

L'extraction de l'huile d'avocat peut se faire sous une presse mécanique, les lamelles d'avocats déshydratés, de préférence par séchage, sont broyées à l'aide d'un broyeur mécanique. La poudre obtenue est alors alimentée par l'intermédiaire d'un pré-cuiseur dans une presse mécanique à vis continue. L'huile produite par pression mécanique est décantée, puis filtrée sur filtre presse. Après l'extraction de l'huile un fractionnement peut être réalisé par une cristallisation à froid, une distillation sous vide, ou une distillation moléculaire [Brevet2010]

Cette étape de fractionnement permet de séparer d'une part une fraction riche en insaponifiables, et d'autre part une fraction lourde riche en triglycérides. Typiquement, la fraction riche en insaponifiables représente 8 à 15 % en poids de l'huile brute et la fraction riche en triglycérides représente 85 à 92 % en poids de l'huile brute.

L'insaponifiable est la fraction d'un corps gras qui, après action prolongée d'une base alcaline, reste insoluble dans l'eau et peut être extraite par un solvant organique. Cinq grands groupes de substances sont présents dans la plupart des insaponifiables d'huiles végétales : hydrocarbures saturés ou insaturés, alcools aliphatiques ou terpéniques, stéroïdes, tocophérols, les pigments caroténoïdes et xanthophylles [Brevet 2010]

L'étape de fractionnement, avantageusement réalisée par distillation moléculaire, permet de débarrasser substantiellement des composés spécifiques de l'avocat, tels que les acétogénines potentiellement toxiques, et de leurs composés de transformation ou de dégradation, notamment les lipides furaniques responsables de l'amertume. Cette étape permet également d'isoler sans dégradation thermique la fraction concentrée en insaponifiables d'une part, et la fraction concentrée en triglycérides d'autre part. Par ailleurs, elle permet d'abaisser fortement la teneur en acides gras de la fraction riche en triglycérides, facilitant l'étape ultérieure de raffinage telle que la neutralisation, et limitant les pertes de produits [Brevet 2010]

La distillation moléculaire, peut être réalisée à une température comprise entre 180 et 260°C, en maintenant une pression comprise entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$  mmHg. Cette étape de distillation moléculaire est de préférence réalisée en utilisant un dispositif choisi parmi les distillateurs moléculaires de type centrifuge, ou le produit à distiller est étalé en couche mince sur la surface chauffée (surface chaude) d'un rotor conique tournant à grande vitesse. L'enceinte de distillation est placée sous vide. Dans ces conditions, il y a évaporation et non pas ébullition, depuis la surface chaude, des constituants de

l'huile tels que les insaponifiables, l'avantage étant que l'huile et ses constituants, notamment les insaponifiables ne sont pas dégradés au cours de l'évaporation [Brevet 2010]

Des huiles d'avocat peuvent également être obtenues à partir des avocats séchés. Un traitement thermique des avocats permet de réduire l'humidité résiduelle dans les fruits à une teneur inférieure à 10%, rendant possible l'extraction de l'huile par un solvant organique ou par pression mécanique.

Le séchage du fruit d'avocat permet de passer la teneur en huile de 15 à 30% jusqu'à les 70 à 75%. Ce prétraitement est une étape qui conditionne considérablement le rendement de l'extraction de l'huile d'avocat.

Plusieurs techniques de séchage ont été reportées en littératures et le rendement correspondant moyennant une extraction a été obtenu: lyophilisation (85%), chauffage (73%) [ Jacobsberg 1988]

#### **4.1 Le séchage**

Le séchage est une opération unitaire qui met en jeu un transfert de matière (le liquide quitte le produit et passe à l'état de vapeur) et un transfert thermique (responsable du changement d'état du liquide). Il se distingue de l'évaporation par les quantités de liquide traitées. En effet, le liquide est à une teneur initiale beaucoup plus faible dans le cas du séchage. Le séchage permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau. Il est souvent associé à des traitements (salage, sucrage, traitement après séchage avec une huile alimentaire ...) qui favorisent la diminution de l'activité de l'eau, limitent les réactions biochimiques et améliorent la conservation du produit.

Le séchage a pour but d'éliminer par vaporisation le liquide qui imprègne un solide. Il est largement utilisé dans l'industrie chimique où il vient souvent en complément d'opérations comme la sédimentation, la filtration ou l'essorage. Le séchage permet outre l'élimination du liquide, la création de modifications de la structure interne du solide soit par exemple l'apparition d'une structure poreuse [Profil technologie 2006]

- **Séchage naturel**

Le séchage naturel effectué en plein air représente le moyen le plus ancien et le plus simple. Il est encore utilisé pour des matériaux dont le séchage est aisé comme les briques, mais présente des insuffisances et des inconvénients : [Profil technologie 2006]

- \* L'exposition des produits à des conditions climatiques défavorables et irrégulières.
- \* Une longue durée de séchage.
- \* L'impossibilité d'obtenir un degré d'humidité précis.
- \* L'attaque par les champignons et les insectes (cas du bois).

Toutes ces raisons ont conduit les professionnels à s'orienter vers le séchage artificiel.

- **Séchage artificiel**

Le séchage artificiel permet, dans une certaine mesure de pallier les inconvénients du séchage naturel, il permet de réduire considérablement la durée du séchage et d'atteindre l'humidité souhaitée des matériaux [Profil technologie 2006]

Les méthodes de séchage les plus utilisées dans l'industrie sont les suivantes :

- Le séchage par air chaud ou séchage 'traditionnel'.
- Le séchage à la vapeur surchauffée.
- Le séchage par pompe à chaleur.
- Le séchage par chambre chaude.
- Le séchage sous vide.
- La Lyophilisation.

- **La lyophilisation**

La lyophilisation, ou séchage à froid, est un procédé qui permet de retirer l'eau contenu dans un aliment ou un produit afin de le rendre stable à la température ambiante et ainsi faciliter sa conservation.[ROUX1994]

La lyophilisation utilise un principe physique fort simple qu'on appelle la sublimation. La sublimation est le passage d'un élément de l'état solide à l'état gazeux directement sans passer par l'état liquide. Dans le cas de l'eau que l'on veut retirer des aliments, l'opération de lyophilisation consiste à :

- Congeler les aliments pour que l'eau qu'ils contiennent soit sous forme de glace.
- Ensuite sous l'effet du vide, sublimer la glace directement en vapeur d'eau.
- Récupérer cette vapeur d'eau.

Une fois que toute la glace est sublimée, les aliments sont séchés à froid et on peut les retirer de l'appareil.

Il faut toutefois noter qu'il y a parfois une étape préliminaire à la lyophilisation, soit la réduction en poudre ou purée des aliments et des médicaments car la lyophilisation est très coûteuse. De plus, il existe un principe de base qui dit que plus le rapport surface/volume est grand, plus un produit chauffera et séchera plus efficacement. En réduisant le produit en purée ou en poudre et en le plaçant en couche mince sur une plaque, le temps de séchage est réduit, diminuant simultanément le coût d'énergie relié au séchage. On peut cependant lyophiliser des fruits ou des légumes en petits morceaux ou en tranches. [ROUX1994]

- **La Congélation**

La première étape consiste à congeler les aliments pour que l'eau qu'ils contiennent soit transformée en glace. La température doit rester plus basse que  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  tout au long du processus de lyophilisation [Agroculture Canada 2003]

### **La sublimation**

L'étape suivante permet la sublimation de la glace. La sublimation est un principe physique simple. C'est le passage d'une substance de l'état solide à l'état gazeux directement. On dessèche donc l'aliment ou le produit en le mettant sous vide : la glace devient de la vapeur et elle est récupérée [Agroculture Canada 2003]

### **Séchage final**

Cette dernière étape débute lorsque toute la glace est sublimée. Les aliments sont alors séchés. La température s'élève spontanément une fois que toute l'eau a été sublimée. Une température variant entre  $20$  et  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant deux à six heures permet d'amener une humidité résiduelle entre 2 et 8 % [Agroculture Canada 2003]

### **Les avantages de lyophilisation** [Agroculture Canada 2003]

- Le principal avantage de la lyophilisation est que l'aliment garde sa structure et ses saveurs comparativement au séchoir commercial.
- La réfrigération n'est pas nécessaire pour conserver les aliments lyophilisés.
- Le poids des aliments est aussi diminué par la lyophilisation. C'est un avantage pour le transport.
- La réhydratation des aliments lyophilisés se fait très rapidement car ils ont une texture très poreuse.

### **Les inconvénients de lyophilisation** [Agroculture Canada 2003]

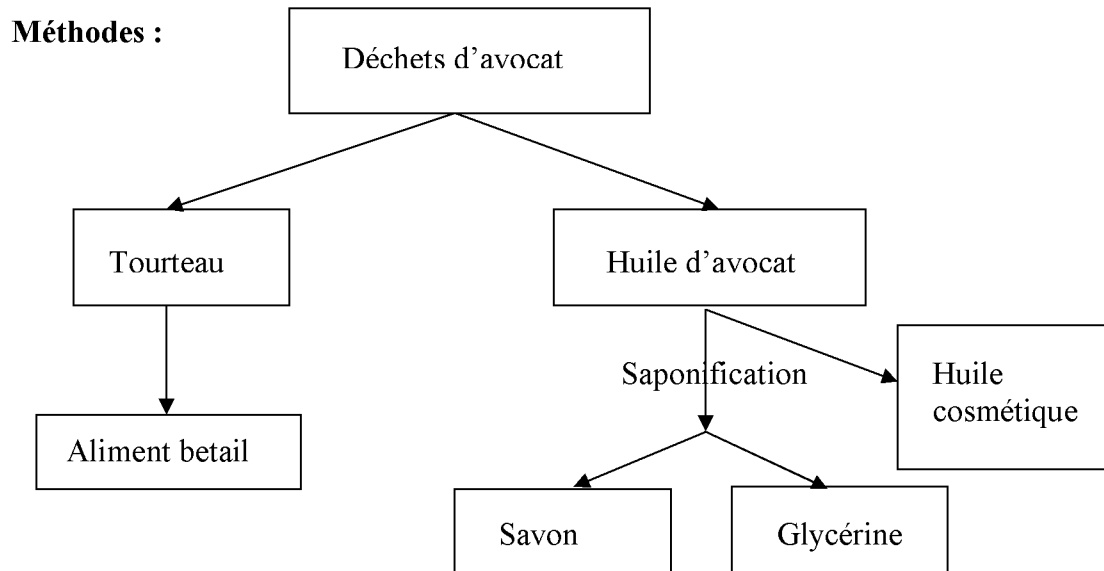
- C'est une méthode très coûteuse. Il faut environ 1500 kWh d'énergie pour éliminer une tonne d'eau. De plus, les installations (dont le lyophilisateur) sont très dispendieuses.
- À cause des coûts, la généralisation aux produits courants est impossible. Cependant, la lyophilisation est utile pour les aliments qui composent les repas pour les randonnées pédestres ainsi que pour la nourriture des astronautes.
- Il faut faire attention à la conservation de ces aliments lyophilisés, car ils captent facilement l'humidité de l'air. Il faut souvent utiliser des emballages à atmosphère contrôlée (sous vide).
- On peut traiter les aliments qui sont en gros morceaux, mais ils nécessitent trop d'énergie à produire, donc leur vente est très coûteuse. La lyophilisation est donc limitée aux aliments en poudre ou en très petits morceaux.

## **II. Partie expérimentale**

L'objectif de ce travail s'inscrit dans le concept du développement durable et la protection de l'environnement, pour une gestion intégrale des déchets agroalimentaires, notamment de l'industrie oléicole au Maroc. Plusieurs opportunités de valorisation de ces déchets présentent le double intérêt de résoudre le problème environnementale mais aussi et surtout d'augmenter la rentabilité des unités d'extraction de l'huile d'olives après la saison oléicole qui ne dure que 100 jours, ce qui donne la possibilité d'utiliser les mêmes équipements pour extraire d'autres variétés d'huiles : l'huile d'avocat, selon le procédé écologique que nous présentons par cette contributions et qui était publier dans Asian journal of Chemistry voir annexe 2. (schéma5)

Le procédé que nous proposons vise la valorisation des déchets oléicole en utilisant les mêmes équipements employés pour l'extraction de l'huile d'olives selon le procédé de deux phases par centrifugation et faire une étude comparative des procédés d'extraction de l'huile d'avocat : extraction sous pression mécanique Extraction par Solvant hexane, Extraction après Lyophilisation, et extraction par un séchage modéré sous vide.

L'huile d'avocat isolé quantitativement selon ce procédé, après filtration peut être utilisée dans la cosmétique, la fabrication de certains médicaments, du savon d'avocat riche en protéine et la glycérine. Le sous produit tourteau riche en protéine est valorisé comme complément alimentaire pour le bétail. Nous terminons notre analyse par une étude technico-économique de l'huile d'avocat selon le modèle de l'huile d'olive, cette partie était publiée dans la revue scientifique internationale de management et l'ingénierie des systèmes (annexe 3).



**Schéma 5 : Exemple de valorisation des déchets d'avocat.**

## 1. Matériels et méthodes

### 1.1 le séchage

L'extraction de l'huile d'avocat est délicate car elle se trouve sous la forme d'une très fine émulsion dans les cellules du fruit. Il existe deux types de procédés : l'un traite le fruit frais, l'autre le fruit séché.

Nous optons sur le procédé qui traite le fruit séché car le séchage du fruit d'avocat permet de passer la teneur en huile de 15 à 30% jusqu'à les 70 à 75%. Ce prétraitement est une étape qui conditionne considérablement le rendement de l'extraction de l'huile d'avocat.

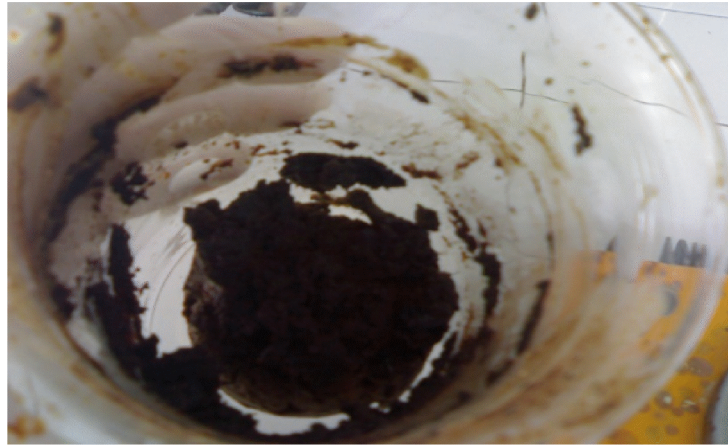
En effet, au niveau de notre laboratoire on a essayé de suivre trois méthodes de séchage du fruit d'avocat: le séchage à l'étuve, la lyophilisation, le séchage sous vide.

- **Le séchage à l'étuve**

Nous avons pris environ 5 avocat de taille moyenne dont les caractéristiques sont comme suit :

- Poids d'avocat : 482,26g
- Poids du noyau : 44,5g
- Poids des épiluchures : 23,24g
- Poids de la pulpe : 414,52g

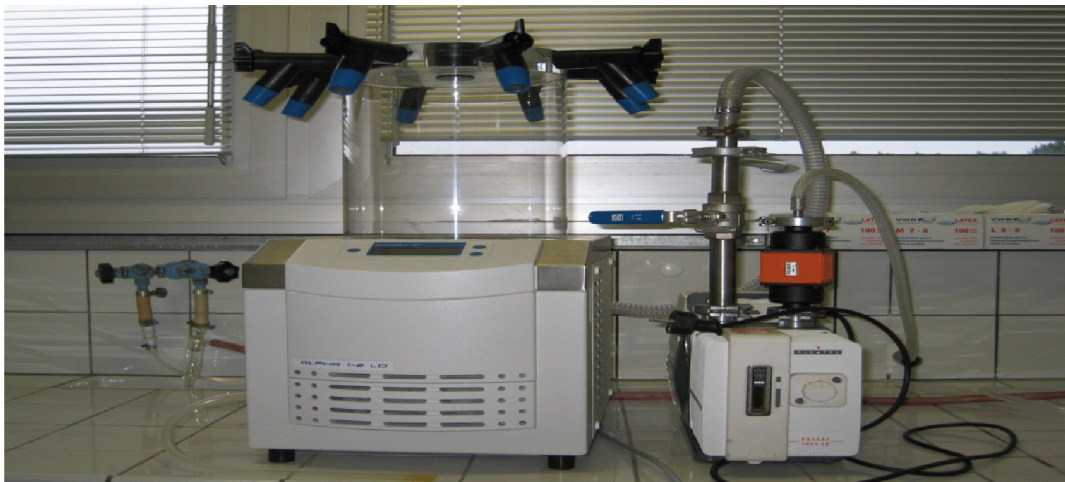
La pulpe d'avocat obtenue est placée dans un four à 80°C pendant une durée de 24h. La masse d'avocat séché est de 102g figure 17. Ce qui donne un pourcentage de 75% d'humidité.



**Figure17 : Pulpe d'avocat séché à l'étuve.**

- **La lyophilisation**

Le lyophilisateur est l'appareil utilisé pour séché le fruit d'avocat (figure 18)



**Figure 18 : lyophilisateur**

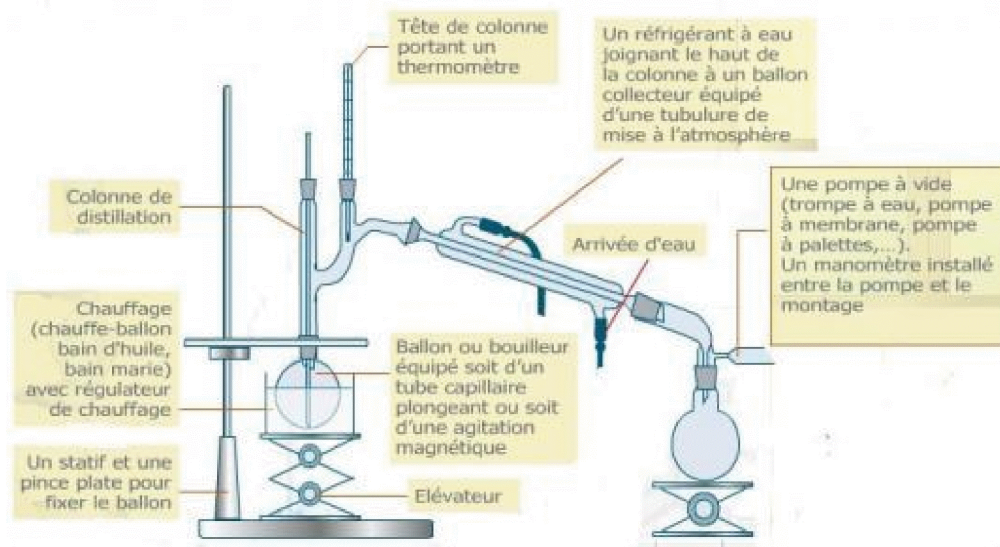
On a pris environ 500g de fruit d'avocat après dénoyautage, et on obtient 430g de pulpe d'avocat qu'on met dans un congélateur à  $-80^{\circ}\text{C}$ . Une fois le produit congelé, on le met dans un lyophilisateur à une pression de  $5 \cdot 10^{-2}$  mbar, pendant 48h. On obtient 103,1g de pulpe d'avocat lyophilisé. (figure 19)



**Figure 19 : Avocat lyophilisé**

- **Le séchage sous vide**

Le matériel utilisé est schématisé dans la figure 20.



**Figure 20 : Montage du séchage du fruit d'avocat sous vide**

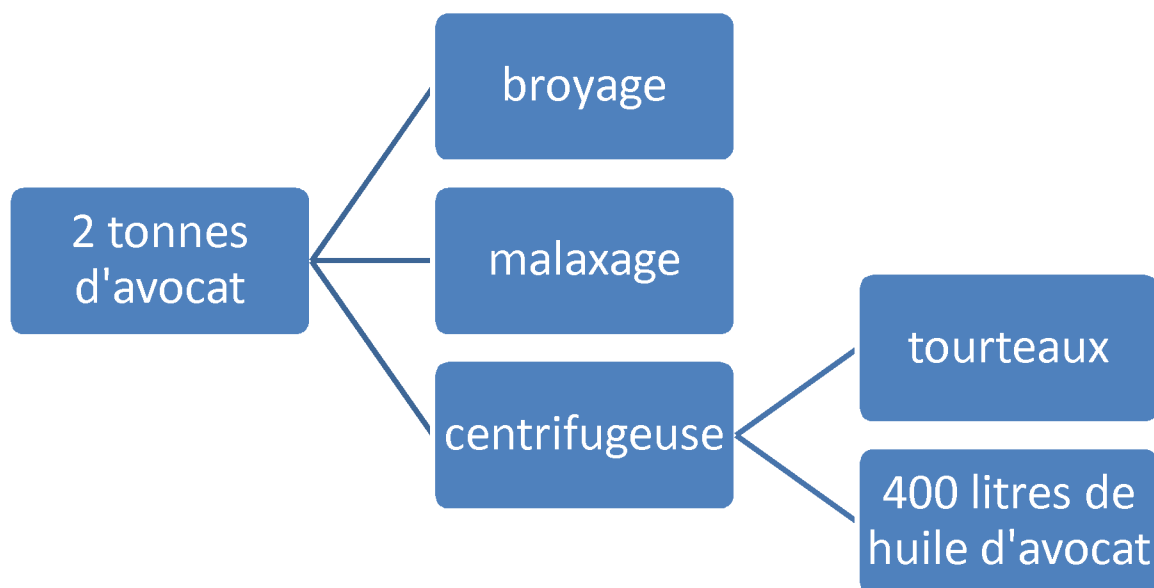
On utilise 100g de pâte d'avocat séché sous vide pour obtenir 45,9g de pâte d'avocat séché sous vide.

### 1.2 Extraction de l'huile d'avocat

- **Extraction par procédé de deux phases (E.D.P)**

Le procédé d'extraction de l'huile d'avocat par centrifugation à deux phases se fait dans les mêmes conditions d'extraction des huiles d'olives expliqué dans le chapitre 1 (figure 9). Vu la taille du noyau d'avocat par rapport à celui de l'huile d'olive, cela nous a poussé à dénoyauter le fruit d'avocat.

C'est un projet en construction dans l'unité pilote de Ain Aouda Rabat par la société SIHOM-INNOV dans la zone industrielle de AIN AOUDA RABAT pas loin de la région de production d'avocat (voir volet socio-économique)



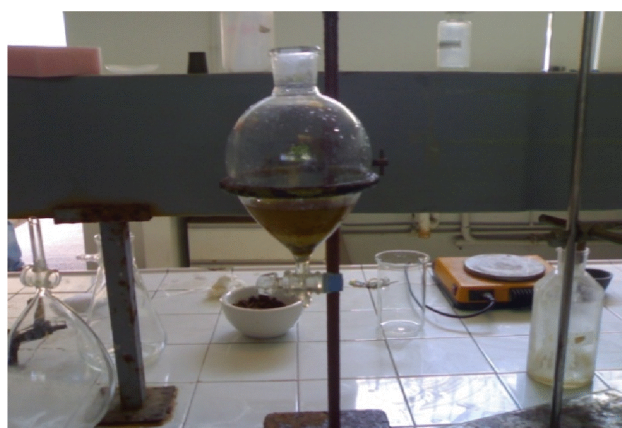
**Schéma 6: Procédé d'extraction de l'huile d'avocat**

- **Extraction par Solvant (E.S)**

Cette méthode consiste à extraire l'huile d'avocat après séchage à l'étuve par le solvant hexane. Les proportions utilisées dans notre travail sont les suivantes :

Dans un ballon1 on met 100g de pulpe d'avocat séché puis broyé, on extrait l'huile d'avocat par l'hexane on laisse décanter (figure 21) puis en fait passer notre phase organique dans un

rotavapeur (figure 22), après évaporation du solvant on récupère 13,90g de l'huile d'avocat. Avec un rendement de 14%.



**Figure 21 : Décantation de notre huile d'avocat**



**Figure 22 : Evaporation du solvant**

- **Extraction par une presse mécanique (E.P.M)**

La méthode d'extraction de l'huile d'avocat consiste à déshydrater la pulpe d'avocat par chauffage et d'enlever l'huile par un procédé de pression.

On fait passer dans une presse mécanique 112g de pulpe d'avocat séché à l'étuve pour extraire l'huile d'avocat. L'huile obtenue est de l'ordre de 12,37g avec un rendement de 11,04%.

On fait passer dans la même presse 50g de pulpe d'avocat lyophilisé pour extraire l'huile, on obtient une quantité d'huile de l'ordre de 5,35g avec un rendement de 10,7%

- **Extraction après lyophilisation (E.L)**

On a pris 45,82g de pulpe d'avocat lyophilisé puis broyé, extraites par l'hexane, après évaporation du solvant on récupère 6g de l'huile d'avocat. Avec un rendement de 13,09%.

- **Extraction par séchage sous vide (E.S.V)**

Nous proposons un nouveau procédé d'extraction de l'huile d'avocat qui consiste à sécher partiellement le fruit sous vide (12mmHg) et sous une température inférieure à 60°C pour éliminer 40% d'humidité pendant max 1h. Pour obtenir une pate claire contrairement aux conditions de séchage à l'étuve pendant 24H qui donne souvent une oxydation partielle de la pate et de l'huile.

L'extraction de l'huile d'avocat par l'alcool éthylique à partir de la pate obtenue selon ce nouveau procédé permet d'isoler l'huile avec un rendement presque quantitatif et une qualité meilleure par

rapport aux procédés traditionnels, de plus le tourteau isolé garde ses qualités suite aux conditions douces proposées.

On utilise 45,9g de pâte d'avocat séché sous vide à une pression de 12mmHg et à une température de 60°C. Pour éliminer l'eau environ 40% d'humidité. Après on fait une extraction par l'alcool éthylique et on récupère 12,37g de l'huile d'avocat. Avec un rendement de 26,94%.

### 1.3 Fabrication du savon à partir de l'huile d'avocat extraite

La saponification de l'huile d'avocat se fait par hydrolyse et en présence de la soude caustique à 30%. Après le chauffage à reflux pendant 40min, le mélange réactionnel est relargué par chlorure de sodium. Ceci donne deux phases, une phase solide qui est le savon et l'autre, aqueuse, riche en glycérine (figure12)

## III. Résultats et Discussions

La comparaison des caractéristiques de l'huile d'avocat obtenue par nos procédés avec celles relatives aux normes internationales (NI) montre que cette huile présente des indices d'iodes et de peroxyde et de saponification tout à fait conformes aux NI

Le tableau 15 regroupe les rendements de l'huile d'avocat obtenue par les différentes méthodes de séchage, on remarque que les rendements varient entre 10% jusqu'à 27%.

**Tableau 15: les rendements en huile selon les différentes méthodes de séchage**

	Séchage à l'étuve + solvant	Séchage par lyophilisation+ solvant	Séchage à l'étuve + presse mécanique	Séchage par lyophilisation+ presse mécanique	Séchage sous vide + solvant	Littérature [Walali 2003]
<b>Rendements</b>	14%	13,09%	11,04%	10,07	15%	30%

Le tableau 16 illustre les différentes propriétés physico-chimiques des huiles obtenues :

**Tableau 16 : Caractérisation physico chimique des huiles obtenue**

	<b>E.D.P</b>	<b>E.S</b>	<b>E.P.M</b>	<b>E.L</b>	<b>E.S.V</b>	<b>Normes SI</b>
<b>Acidité</b>	2%	5,5%	5,5%	3,5%	1%	<6
<b>Indice d'iode</b>	89	94	94	90	87	80-95
<b>Indice de saponification</b>	176	176	176	180	182	180-195
<b>Indice de refraction</b>	1,4659	1,4679	1,4655	1,4673	1,4657	1,4650-1,4740
<b>Densité</b>	0,915	0,915	0,919	0,918	0,919	0,915-0,920

- **Fabrication du savon**

Après saponification et un repos d'une nuit on sépare le savon de la phase aqueuse. On le lave à l'eau et on le sèche à l'air libre. Le savon obtenu des différentes huiles extraites sont, à vue d'œil, de bonnes qualités.

- Aspect propre
- Lisse au toucher
- Couleur vert claire
- Mousse abondante et consistante.

- **Extraction de la glycérine**

La solution aqueuse alcaline issue de la fabrication du savon ainsi préparé est neutralisée par l'acide chlorhydrique concentré. Après évaporation et distillation, on isole la glycérine (ou glycérol) avec un rendement de 40%

- Liquide incolore
- Anhydre et pur
- Sirupeux, à saveur sucrée
- Densité de 1,24

- **Valorisation du tourteau d'avocat comme aliment de bétail**

Après extraction de l'huile d'avocat, la partie solide appelé tourteau est utilisés comme aliment de bétail. Le tourteau d'avocat est riche en vitamine, minéraux, fibres, sucres et matières grasses est utilisés en substitution à du foin ou de la paille comme aliment de bétail.

L'objectif de notre étude était de valoriser le fruit d'avocat en suivant le procédé de valorisation de l'huile d'olive. Notre étude a montré que le séchage joue un rôle très important dans l'extraction de l'huile d'avocat, on a constaté que le séchage sous vide permet d'extraire le maximum d'huile d'avocat on arrivant à un rendement de 27% avec un taux d'acidité très faible, En plus cette méthode est rentable du coté qualité et aussi économique en réduisant l'énergie utilisée lors du séchage par les autres méthodes. Cette huile est utilisée pour fabriquer du savon biodégradable et de la glycérine, le tourteau est utilisé comme aliment de bétail.

Le procédé d'extraction de l'huile d'avocat en suivant le procédé d'extraction de deux phases nous a permis de vouloir appliquer cette méthode au niveau des maasras marocains, vue que l'extraction de l'huile d'olive se fait entre le mois 9 et le mois 12, cela laisse les équipement en repos pendant les 9 mois qui reste de l'année. En effet la production de la variété Hasse au Maroc connue par sa teneur élevée en huile ce fait en mois de mai ce qui rend possible l'utilisation les mêmes équipements pour extraire l'huile d'avocat. Nous complétons nos résultats par une étude technico-économique.

#### **IV. Volet Socio-économique**

Par cette étude nous donnons l'expérience et les démarche suivies par le centre d'incubation et d'accueil d'entreprises innovantes de l'ENIM crée par le réseau marocain d'incubation et d'essaimage RMIE-CNRST pour la création des sociétés innovantes sur la base des travaux de recherche réalisés par les chercheurs et les porteurs de projets.[hui.2002]

Cette étude était publiée dans : la revue scientifique internationale Management et ingénierie des systèmes voir annexe 2.

Les avantages technico-économiques de la production de l'huile d'avocat à partir de l'huile d'olive sont nombreux :

- Avec la même unité de production d'huile d'olive on peut produire l'huile d'avocat.
- La période oléicole de l'huile d'olive est de 100 jours : de fin octobre au mois d'avril, La production d'huile d'avocat ne commencera qu'à partir de mois de mars ce qui va permettre d'avoir du travail toute l'année.
- Le procédé de deux phases permettra de limiter le volume des margines pour la production d'huile d'olive et l'eau de végétation d'huile d'avocat
- Ces eaux seront traitées sur place selon le procédé breveté par S.KITANE et collaborateur. (expliquer dans le premier chapitre)

Selon l'étude technico- économique prévisionnelle, nous avons procédé de la manière suivante :

On a suivi le mode d'extraction de l'huile d'olive à deux phases :

Pour une unité de traitement de 2 tonnes de fruits par jour, il faut prévoir :

- Un local de 80 à 100 m<sup>2</sup> pour l'atelier d'extraction, non compris le magasin de stockage.
- La même machine d'extraction d'huile d'olive à deux phases.
- Une cuve de 250 litres avec agitateur en inox et chauffage.
- L'abri de séchage d'avocat et de ces déchets sous serre
- Des décanteurs
- Des filtres
- Des cuves en inox de 1000 litres pour le stockage d'huile.

La main d'œuvre nécessaire est de 5 ouvriers et d'un contremaître. Il est évidemment indispensable avant de créer un atelier d'extraction d'huile, de faire une étude économique, afin d'en estimer la rentabilité. En général, l'extraction d'huile est faite sur les écarts de tirage de fruits destinés à la vente, à l'exportation en frais. A titre d'ordre de grandeur, on considère qu'un atelier d'extraction doit traiter 100 tonnes de fruits par an pour être rentable. Si on estime les écarts de tri à 25%, la production d'avocat doit être de 400 tonnes, ce qui nécessite 50 à 60 hectares de verger d'avocatiers. Enfin, un arboriculteur équipé pour les avocats produits sur son verger peut acheter des fruits produits dans la région. Il s'agit, le plus souvent, d'avocat récoltés sur des arbres de semis de Guinée dont la teneur en huile est variable.

#### **Prix de revient :**

Structure de l'exploitation

Le taux de marge dégagé par une huilerie est aux alentours de 22%, ce taux peut toujours être amélioré par l'effort déployé par le promoteur au niveau de l'augmentation de la productivité et de la qualité.

- Matière première : 78%
- Main d'œuvre : 7%
- Frais généraux : 15%

- Prix de revient : 100%
- Taux de marge : 22% à 30%

La capacité de traitement par jour est de 2 tonnes d'avocat. Le travail pendant l'année sera entre septembre et décembre, d'une moyenne de 100 jours. Ce qui nous donne qu'en 100 jours, on va traiter : 200 Tonnes. D'après les études faites précédemment le pourcentage d'huile d'avocat varie entre 10 et 30% ce qui nous fait une moyenne de 20%. cela donne 40 000 litres d'huiles d'avocat.

Le prix des déchets d'avocat varie entre 2 et 8 dh le kilo. Ce qui donne une moyenne de 5dh le kilo, cela fait un total d'achat de 1 million de dirham.

Le prix de revient est de 100% et La matière première est de 78% cela donne le prix de 40000 litres d'huile d'avocat est de 1282051dh. ( $(1000000*100)/78= 1282051$  dh)

Le prix d'un litre d'avocat est de 43dh ( $1282051/ 40000=32.05=33$ dh).

Le taux de marge est de 13dh ( $33*30/100=9,9$ )

Prix de vente de départ de l'usine est de 43dh ( $10+33=43$ )

Le chiffre d'affaire est de 1720000dh ( $40000*43=1720000$ )

Le bénéfice est de 440000dh brut (le chiffre d'affaire – prix de 40000 litres de huiles d'avocat)

- **L'amortissement**

La méthode d'amortissement retenue est la méthode linéaire.[hui.2002]

Les taux d'amortissement utilisés sont :

- Logiciel : 30%
- Bâtiment : 5%
- Matériel est emballage industriel : 15%
- Matériel de transport : 20%
- Agencement, Aménagement, Installation : 10%
- Equipement de bureau : 10%

- Matériel informatique : 5%
- **Investissement et financement :**

Investissement en Dh	
Terrain et Batiments	2 000 000
Investissement matériel et immatériel	2 000 000
Fond de roulement	1 000 000
Total investissement	5 000 000

Pour voir plus clair on a calculé quelques Ratios de rentabilité :

- **Ratios de rentabilité économique :**

Cet indicateur mesure la rentabilité mesurée par rapport aux actifs immobilisés par l'entreprise pour produire. On la calcule donc en faisant le rapport suivant :

Rentabilité économique =  $(\text{résultat net} * 100) / \text{investissement total}$

Dans notre cas ce ratio est de :  $(440000 * 100 / 5000000) = 9\%$

- **Ratios de rentabilité commerciale :**

Ce ratio mesure la rentabilité de l'entreprise en fonction de son volume d'activité. Il se détermine de la manière suivante :

Rentabilité commerciale =  $(\text{résultat net} * 100) / \text{chiffre d'affaire}$

Dans notre cas ce ratio est de :  $440000 * 100 / 1720000 = 25.58\%$

Par cette présentation nous donnons l'expérience et les démarches suivies par le centre d'incubation et d'accueil d'entreprises innovantes de l'ENIM créée par le réseau marocain d'incubation et d'essaimage RMIE-CNRST pour la création des sociétés innovantes sur la base des travaux de recherches réalisés par les chercheurs et les porteurs de projets.

Les avantages technico-économiques sont nombreux :

- Avec la même unité de production d'huile d'olive on peut produire l'huile d'avocat.

- La période oléicole est de 100 jours : de fin octobre au mois d'avril
- La production d'huile d'avocat à partir de déchets ne commencera qu'à partir de mois de mars ce qui va permettre d'avoir du travail toute l'année.
- Le procédé de deux phases permettra de limiter le volume des margines pour la production d'huile d'olive et l'eau de végétation d'huile d'avocat.
- Ces eaux seront traitées sur place selon le procédé breveté par S.KITANE et collaborateur (schéma 2) qui consiste à séparer les phases et évaporer les margines sous serre.
- L'unité pilote est en phase de montage par la société SIHOM-INNOV dans la zone industrielle de AIN AOUDA RABAT pas loin de la région de production d'avocat.

Les résultats obtenus lors de cette étude restent très prometteurs et nous encourage à vouloir concrétiser le procédé au Maroc. Le seul inconvénient que nous avons c'est le dénoyautage du fruit d'avocat contrairement à l'olive dont on utilise tout le fruit.

## V. Conclusion

Lors de cette étude sur la valorisation du fruit d'avocat Marocain, nous avons proposé plusieurs méthodes de séchage du fruit d'avocat : séchage à l'étuve, séchage sous vide, séchage par lyophilisation, ainsi on a présenté plusieurs schémas de traitement qui permettent d'extraire l'huile d'avocat :

- Extraction par Pression
- Extraction par Solvant hexane
- Extraction après Lyophilisation
- Extraction après Séchage sous Vide

L'extraction de l'huile d'avocat par l'alcool éthylique à partir de la pâte obtenue selon le procédé sous vide permet d'isoler l'huile avec un rendement presque quantitatif et une qualité meilleure par rapport aux procédés traditionnels, de plus le tourteau isolé garde ses qualités suite aux conditions douces proposées.

L'huile d'avocat, qui après purification peut être utilisée dans la cosmétique ou dans la fabrication de certains médicaments. Et qui peut être utilisée aussi pour la fabrication du savon d'avocat riche en protéine et qui est très utilisé. Ainsi que l'extraction de la glycérine. Une fois le produit épuisé, il est valorisé comme complément alimentaire pour le bétail.

Nous avons terminé notre travail par une étude socio-économique, qui consiste à faire une étude de faisabilité du projet d'extraction de l'huile d'avocat en suivant le procédé d'extraction de l'huile d'olive par le système de centrifugation à deux phases.

Le procédé que nous avons mis au point selon le schéma de traitement ci-joint constitue une solution spécifique et efficace à la valorisation de ces déchets au Maroc. Ce procédé est basé sur les méthodes d'extraction de l'huile d'avocat à base des déchets d'avocat selon le protocole d'extraction de l'huile d'olive à deux phases. L'objectif de ce travail s'inscrit dans le concept du développement durable, la protection de l'environnement et du management pour la création d'entreprise capable de gérer ces déchets. Il apporte en outre des avantages sur le plan social, économique et environnemental. Il permet d'une part d'économiser les ressources non renouvelables et d'autre part la protection de l'environnement.

## VI. Références Bibliographiques

**ALVAREZ DE LA PEÑA F., 1979**, El aguacate Publicaciones de extension agraria, Bravo Murillo, 101, Madrid-20; 225 p.

**Agriculture et agroalimentaire Canada**, Le séchage; Pas si aride..., 2003  
[http://res2.agr.gc.ca/crda/pubs/art13\\_f.htm](http://res2.agr.gc.ca/crda/pubs/art13_f.htm)

**BREVET 2010 : MSIKA . PHILIPPE** PROCÉDÉ D'OBTENTION D'UNE HUILE D'AVOCAT RAFFINÉE RICHE EN TRIGLYCÉRIDES ET HUILE SUSCEPTIBLE D'ÊTRE OBTENUE PAR UN TEL PROCÉDÉ. Laboratoire Exponciences Courbevoie France

Date de publication et mention de la délivrance du brevet: 21.07.2010 Bulletin 2010/29. EP 1 966 358 B1

**BROKAW W.H., 1987**, Field experiences with clonal rootstocks. Proceedings of the world avocado congress; 4-8 may. South african avocado growers' association, Yearbook, vol. 10, p. 34-36.

**CALABRESE F., 1989**, Avocado. Edizioni agricole della Calderini, Via Emilia Levante 31; Bologna; 219 p. Farmnote No. 76/2000 Avocado maturity testing (Agdex235/50).

**Fruits logistica 2013**,

<http://www.fruitlogistica.de/PresseService/Pressemeldungen/index.jsp?lang=fr&id=275456>

**GAILLARD J.P., 1987**. L avocatier, sa culture, ses produits. Editions G.P.MAISONNEUVE et LAROSE et A.C.C.T.; 419 p. Haendler, L., Fruits 20:625 (1965)Hakim Challot. 2011. Avocat : 1 800 ha de plantations pour 10 000 tonnes par an, Hakim Challot. La vie éco 12/04/2011

**HASSAN EL ARJANE.2005** Projet incubé à l'ENIM et soutenu par RMIE-CNRST Maroc numéro FSP / RMIE-32 /05.

**Hulme A.C.,1971** The Biochemistry of Fruits and Their Products, Vol. 2, Academic Press, New York, 1971, p. 6

**Hui.2002**, Huilerie moderne, Tunisie industrie une étude technico économique du projet

[www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/Guides/IAA/3.pdf](http://www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/Guides/IAA/3.pdf)

**Jacobsberg, B., BelgianJ. Food Chem. Biotechnol.** 43.'115 (1988). Masson, EG., J.C. Mukezangango and A. Hassanien, 1986 Technoserve Agro- Industry Survey, Technoserve, Inc\_, Kigali, Rwanda, 1986, p. 53.

**Profil Technologie, Valeur au bois Novembre 2006,**

[http://www.valuetowood.ca/imports/pdf/fr/profil\\_tech/TP-0601E\\_VLavoie\\_S%E9chage\\_Francais.pdf](http://www.valuetowood.ca/imports/pdf/fr/profil_tech/TP-0601E_VLavoie_S%E9chage_Francais.pdf)

**ROUX, Jean-L. (1994)** Conserver les aliments, Comparaison des méthodes et des technologies des aliments, Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, p. 436-456.

**Walali loudyi dou elMacane**; Skiredj Ahmed septembre 2003 Fiche technique de l'avocatier.

**Werman, MJ. Mokady, S. ; Néeman, I ; Auslaender, L. ; Zeidler, A.** Food and chem. Toxicol, 1989 27, 279

## **Chapitre III**

---

# **Etude des Propriétés Physico- chimique des Huiles Végétales**

---

## **I. Synthèse Bibliographique**

### **1. Introduction**

L'impact environnemental de l'activité humaine suscite des inquiétudes grandissantes : le constat est pessimiste entre les problèmes climatiques, les pollutions, les ressources surexploitées et les consommations individuelles qui ne cessent d'augmenter. Ces évolutions obligent à envisager des solutions concrètes et compatibles avec un développement durable.

Le concept de chimie verte a vu le jour afin de "soutenir la conception des produits et des procédés réduisant ou éliminant l'usage et la formation de substances dangereuses". Ces règles d'éco-conception paraissent parfois contraignantes mais elles peuvent devenir profitables, notamment pour les chimistes et les industriels.

Les principes de chimie verte tendent vers des procédés de synthèse plus respectueux de l'environnement et l'utilisation de matières premières renouvelables. Les industriels (et financiers) se sont donc logiquement tournés vers la substitution des ressources fossiles par les matières premières renouvelables, notamment les huiles végétales pour la filière biocarburant. Pour autant, nous devons veiller à ce que la consommation d'huiles végétales pour ces nouvelles applications ne perturbe pas l'équilibre des filières déjà existantes, en particulier celles liées à la consommation humaine.

Les huiles végétales, suivant leur composition en acides gras, possèdent des applications non-alimentaires. Par exemple, les acides azélaïque et pélargonique peuvent être produits industriellement par ozonolyse de l'acide oléique, acide gras majoritaire des huiles d'olive, de colza et de tournesol. L'acide azélaïque possède des propriétés pharmacologiques et est utilisé en cosmétique et dermatologie. L'acide pélargonique est quant à lui considéré comme un sous produit de cette réaction et entre dans la formulation de lubrifiants.

Les huiles constituent la principale classe de lubrifiants aussi bien en ce qui concerne le nombre d'utilisations que le volume de lubrifiant employé dans le monde (rappelons qu'une graisse est composée de 80 à 90 % d'huile). Grâce à leur affinité naturelle pour les surfaces métalliques et leur viscosité, les huiles s'infiltreront entre les surfaces en mouvement relatif et réduisent ainsi le frottement, l'échauffement et l'usure.

Du fait de leur inertie chimique lorsqu'elles sont soumises à des champs électriques, les huiles sont souvent utilisées comme isolant pour certaines applications électrotechniques, notamment dans les transformateurs, les disjoncteurs, les câbles, et les condensateurs.

Pour les applications électrotechniques, outre les propriétés électriques (rigidité, résistivité, et pouvoir inducteur spécifique), sont également recherchées de bonnes propriétés thermiques. En effet, nous verrons que pour certaines application, le phénomène de dissipation électrique entraine un échauffement de l'huile qui intervient également comme agent caloporteur, c'est notamment le cas pour les transformateurs [M. Hemmer 2002]

Les huiles végétales sont de plus en plus utilisées, en pharmacie, en cosmétique. Par conséquent, plusieurs études ont été réalisées pour évaluer la qualité de l'huile sur la base de leurs propriétés physiques : viscosité, indice de réfraction, résistivité électrique. Pace, Risman, Bengtsson et El-Al Shami ont suggéré que les propriétés électriques peuvent être utilisés comme indicateurs de l'état et de la qualité des huiles végétales [M. Hemmer 2002]

Certaines huiles végétales présentent des propriétés électriques et thermiques proches, voire meilleures que celles des liquides diélectriques actuels avec des performances environnementales supérieures.

Au sein des transformateurs, un liquide stable, inerte, ayant de bonnes propriétés électriques et thermiques est nécessaire, à l'extérieur ce liquide doit être non toxique pour l'environnement et facilement biodégradable. Les propriétés intrinsèques des huiles végétales naturelles, en termes de tenue au feu, performances environnementales et caractéristiques électriques et thermiques, font des compositions diélectriques des produits particulièrement intéressants dans le domaine de l'électrotechnique [M. Hemmer 2002]

## 2. Technologie des transformateurs de puissance

De nos jour, les transformateurs de puissance sont tous de type immergés, c'est-à-dire remplis d'huile afin :

- d'assurer une isolation électrique efficace, par imprégnation avec des isolants cellulosique (bois, papier, carton) qui sont en fait des polymères naturels, ou bien des polymères synthétique.
- De réaliser une bonne évacuation de la chaleur générée par le circuit magnétique et le bobinage.

## 2.1 Rôle des huiles isolantes dans le transformateur

Les huiles isolantes sont utilisées en électrotechnique comme imprégnas d'isolations celluloses ou comme produit de remplissage de matériels électriques très divers : transformateurs, condensateurs, câbles, disjoncteur, chargeurs de prise... les volumes d'huiles employés varient de quelques litres pour les condensateurs, à plusieurs dizaines de milliers de litres pour les transformateurs de puissance. Leur rôle principal est d'éliminer l'air et les autres gaz de façon à améliorer la tenue diélectrique de l'isolation solide, sachant que la rigidité diélectrique des liquides est nettement supérieure à celle des gaz. Cependant, dans beaucoup d'applications, ils servent à la fois à assurer l'isolation électrique et l'évacuation de la chaleur d'un assemblage, comme dans le cas des transformateurs [R.Maina2009]

## 2.2 Huiles minérales

Les huiles minérales sont obtenues par le raffinage des bruts pétroliers et sont essentiellement constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (figure 23)

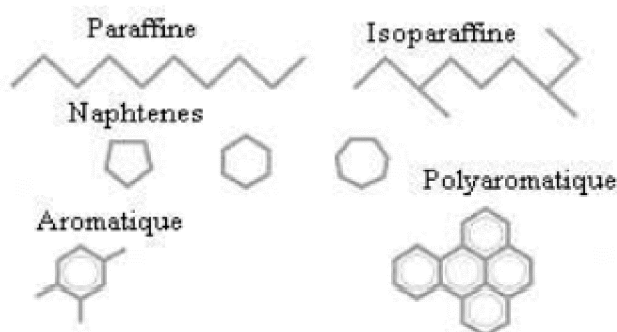


Figure 23 : Structure des hydrocarbures de base dans une huile minérale

Les huiles minérales contiennent également un faible pourcentage de molécules d'hydrocarbure, qui comprennent dans leur structure d'autres éléments comme l'azote, le soufre et l'oxygène (figure24) [M.Hemmer2002]

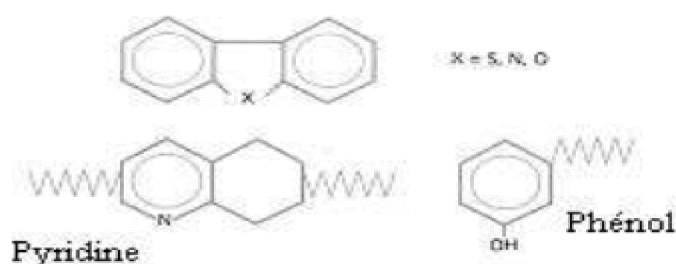


Figure 24: Hétéroatome dans l'huile minérale

Les huiles minérales sont obtenues suivant un procédé qui inclut habituellement une distillation suivie d'une opération de déparaffinage, d'une extraction par solvant des molécules indésirables et d'une hydrogénation catalytique.

Un des avantages de l'huile minérale réside dans le fait qu'elles ont une faible viscosité, ce qui permet une bonne évacuation de la chaleur et un démarrage à froid correct.

L'un des inconvénients des huiles minérales est leur inflammabilité. En effet, ces huiles possèdent un point éclair relativement bas (entre 140 et 150 °C). Ceci pose alors un problème pour les appareils installés près de la population tels que les transformateurs de traction ou de distribution. Cependant, il reste toujours grave du fait que ces derniers peuvent provoquer d'importants dégâts aux installations qu'ils alimentent (centrale nucléaire, industries).

Les principaux problèmes en rapport avec la toxicité sont liés au fait que certaines molécules poly-aromatiques contenues dans les huiles minérales sont classées comme cancérigènes. Du point de vue écotoxicité, les huiles minérales peuvent être néfastes à l'environnement lorsqu'il y a des fuites au niveau du transformateur, dans le sens où elles sont potentiellement accumulables (bioaccumulation, contamination de la chaîne alimentaire possible) [R.Maina2009]

### 2.3 Huiles végétales ou esters naturels

Les huiles végétales sont synthétisées naturellement par tous les organismes vivants et sont obtenues par estérification d'un tri-alcool simple, le glycérol, avec trois acides gras. Ces acides sont mono carboxyliques (de formule R-COO-H), à chaîne linéaire non branchée comprenant un nombre pair d'atomes de carbone (entre 8 et 24). Ils peuvent être saturés (sans double liaison) ou insaturés et parfois hydroxylés. Les triglycérides sont obtenus par trituration (broyage et pression) des graines (colza, tournesol, olive, ricin ....)

L'un des inconvénients des huiles végétales, il n'existe pas de spécification définie à ce jour pour les huiles végétales, et il est donc difficile de pouvoir utiliser ce type d'huile au niveau industriel dans les transformateurs.

Un des grands atouts de ces huiles est leur excellente biodégradabilité, leurs autres atouts est d'être peu inflammables et d'avoir une grande solubilité de l'eau, comparés aux huiles minérales.

Les huiles végétales sont en général très peu toxiques et possèdent une excellente biodégradabilité. Ces qualités sont dues notamment à une faible résistance à l'oxydation et l'hydrolyse. Ces deux caractéristiques, qui sont favorables à l'aspect éco-toxicologique, représentent un désavantage

important pour les applications électrotechniques. En outre, leur comportement diélectrique n'est pas très élevé. Malgré ces inconvénients, les huiles végétales sont déjà utilisées dans les transformateurs de distribution et des tentatives sont en cours pour étendre leur utilisation dans les transformateurs de puissance. Deux unités ont été d'ailleurs installées ces dernières années : l'une au Royaume-Uni (90 MVA/132 kV) et l'autre au Brésil (245 kV/22 MVA) [M. Hemmer2002]

### 3. Propriétés des huiles isolantes

#### 3.1 Résistivité électrique

##### 3.1.1 Définition

La résistivité électrique ( $\rho$ ) d'un corps peut se définir comme la résistance d'un cube de côté unité entre deux faces opposées sur lesquelles sont appliquées des électrodes métalliques la résistivité qui s'exprime en  $\Omega \cdot m$  est pour des raisons pratiques souvent donnée en  $\Omega \cdot cm$ .

La résistivité électrique est un paramètre fondamental, non destructif dans la caractérisation des composés. L'étude de la conductivité électrique en fonction de la température des huiles nous permettra de mieux caractériser ces huiles. Cette résistivité dépend de différents facteurs tels que la qualité du fluide, la saturation, la porosité ou encore la température du milieu étudié. Dans le cas de la prospection électrique en courant continu, le courant électrique est principalement transporté par les électrons (conduction électronique dans les métaux) ou par les ions (conduction électrolytique dans les fluides). La résistivité des différents matériaux, inertes ou vivants, est donc une propriété physique variant dans de grandes proportions, ce qui constitue un atout majeur des méthodes électriques. Dans la nature, la gamme des résistivités est très étendue, variant de moins de  $\Omega m$  à plusieurs milliers d' $\Omega m$ . [Pace WE, Westphal WB, Goldbith SA (1968)]

Les propriétés électriques des huiles dépendent de leur composition chimique et moléculaire. La résistivité électrique  $\rho$  et la rigidité diélectrique, sont les caractéristiques électriques principales d'une substance. La conductivité électrique d'une huile est due à la présence des charges libres, et sous l'effet d'un champ électrique, ces charges se déplacent pour donner ainsi un courant électrique. La résistivité électrique est l'inverse de la conductivité électrique  $\sigma$ .

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif. Un courant alternatif est utilisé pour atténuer la perturbation causée par la polarisation des électrodes résultant du passage d'un courant électrique. Les électrolytes peuvent être

considérés comme des conducteurs métalliques et ils obéissent à la loi d'Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution. La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant [Risman PO, Bengtsson NE (1971)]

### 3.1.2 Loi d'ohm

La capacité des différents matériaux à conduire l'électricité a intrigué et préoccupé de nombreux chercheurs au 18<sup>ème</sup> et au début du 19<sup>ème</sup> siècle. En 1827, Georg Simon Ohm, inspiré par les travaux de Fourier et Poisson sur les transferts de chaleur, a présenté une base dérivée mathématiquement de quelques observations qualitatives des précédents chercheurs. La «loi » d'Ohm établit que la magnitude d'un courant continu, I, à travers un élément conducteur, est proportionnelle au voltage traversant cet élément (potentiel conducteur). Dans une terminologie plus familière :

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Où, } I = \text{l'intensité du courant, en (A)} ; V = \text{la tension électrique, en (V)} ; R = \text{la}$$

résistance, en ( $\Omega$ ).

La résistance, R, est une propriété de l'élément conducteur, et varie directement avec sa longueur et inversement avec sa section. Introduisons donc le coefficient de proportionnalité

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{Où } L = \text{la longueur de l'élément en (m)} ; A = \text{la section en (m}^2\text{)} ; \rho = \text{la résistivité}$$

électrique, en ( $\Omega/m$ )

L'inverse de la résistivité est appelé la conductivité, il est définie par :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \frac{L}{A} \quad \text{où, } \sigma = \text{la conductivité en } ([1/(\Omega/m)] = [\text{Siemens/m}])$$

La conductivité et la résistivité sont des propriétés intrinsèques du milieu conducteur.[R. TOBAZEON.1996 ]

### 3.1.3 Caractérisation des huiles

La résistivité des huiles isolantes diminue en raison de son altération chimique. En effet, les produits d'oxydation de l'huile dont la formation est favorisée par la présence de métaux, le contact avec l'air,

le fonctionnement à température élevée et la présence de polluants polaires comme l'eau ou des particules solides, accroissent fortement la conductivité des huiles isolantes.

La détermination de la résistance électrique permet également de caractériser l'évolution des huiles de moteurs de manière précise. De la même manière, la présence d'eau, de produits d'oxydation ou encore de certains additifs comme les détergents de type sulfonate, peut faire décroître la résistivité d'un facteur 1000, voire davantage. On notera que l'eau peut également contribuer de manière indirecte à l'augmentation de la conductivité des huiles en favorisant la miscibilité d'additifs dans l'huile. On remarquera aussi que l'eau peut se retrouver piégée au sein de micelles d'aditifs, ce qui entraîne alors une baisse de la conductivité [R. TOBAZEON,1996]

La figure 25 représente la variation de la résistivité de différentes huiles minérales en fonction de la température [Thèse Christophe PERRIER 2005]

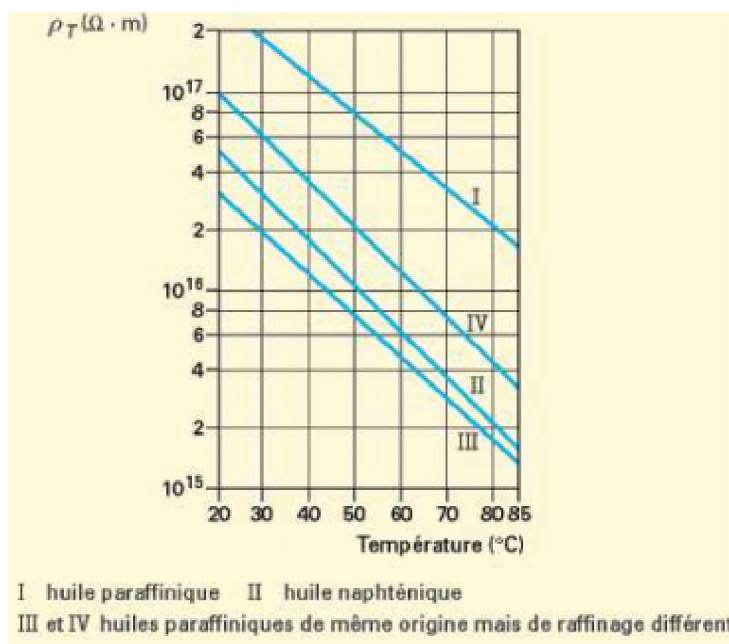


Figure 25 : Variation de la résistivité de différentes huiles minérales

### 3.2 Viscosité

#### 3.2.1 Définition

La viscosité est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un corps à s'opposer au cisaillement. Mais on parle surtout de la viscosité en parlant d'un fluide. On dira alors qu'elle exprime la résistance d'un liquide à l'écoulement uniforme et sans turbulence. La connaissance de la viscosité

est capitale. Si elle peut être négligée à très basses vitesses, sa présence se fait remarquer d'autant plus à des vitesses conséquentes. Que ce soit pour construire l'aile d'un avion, les tubes d'écoulement d'une centrale hydraulique ou encore d'obtenir une huile particulière, l'ingénieur a besoin de connaître le comportement du fluide en question.

En 1687, Newton publiait le résultat de ses travaux sur la résistance interne des liquides. Il remarque que la force  $F$  nécessaire pour conserver le mouvement relatif de deux plateaux était proportionnelle à l'aire  $A(x, y)$  de surfaces mouillées et à la vitesse  $V$ , et inversement proportionnelle à l'épaisseur  $h$  du fluide situé entre ces deux plateaux, soit

$$F = \mu \frac{AV}{h}$$

où  $\mu$  est une constante caractéristique de chaque huile pour une température donnée, appelée viscosité dynamique. [M. Hemmer, R. Badent and A.J. Schwab, 2002]

### 3.2.2 Relation viscosité – température (V-T)

La viscosité d'une huile varie très sensiblement avec la température. L'indice de viscosité est un nombre qui exprime la résistance de l'huile à la variation de viscosité en fonction de la température. Si l'on considère, en première approximation, que la relation entre la viscosité et la température est log-linéaire, au moins dans la plage de 40°C à 100°C, l'indice traduit l'inverse de la pente de cette droite. Plus la valeur de l'indice est élevée plus la pente est proche de l'horizontale et, par conséquent, meilleure est la résistance de l'huile à la variation de température. Les huiles multigrades ont été créées afin de garantir un meilleur indice de viscosité et les huiles de synthèse sont celles qui présentent les plus hautes valeurs d'indice de viscosité.

La température exerce une influence importante sur la viscosité d'une huile. Toutefois, la variation de la viscosité en fonction de la température est non linéaire et très difficile à relier aux autres propriétés de l'huile. Dans l'industrie, on exprime cette variation à l'aide de deux mesures complémentaires : l'équation de Walther; l'indice de viscosité.

L'équation de Walther est une relation semi-empirique qui rend linéaire la relation viscosité température des huiles. Cette équation, s'écrit

$$\text{Log}[\log(v + c)] = m \log T + g$$

où  $v$  est la viscosité cinématique (en cSt),  $c$  est une constante variant entre 0,6 et 0,8,  $T$  la température (en °K) et  $m$  et  $g$  des constantes caractéristiques de chaque huile. [Norme ISO 3104].

### 3.2.3 Viscosité des huiles

C'est sans doute dans ce domaine que la viscosité joue son plus grand rôle. Elle intervient dans tous les phénomènes de frottement mécanique et ce sont ses variations en fonction de la température qui sont recherchées. Les variations de température sont en effet très importante pour les huiles de graissage. Il existe de très nombreuses expressions empiriques permettant de représenter la loi de variation, par exemple la loi de Mac Coull et Walther, utilisable pour les huiles minérales de viscosité cinématique supérieure à 1,5 cSt:

$$\log(v + 0,6) = A + B \cdot \log T$$

$A$  et  $B$  étant des constantes spécifiques de l'huile, que l'on peut déterminer à partir de la mesure de  $v$  à deux températures différentes.

Au point de vue commercial, c'est la viscosité à 50°C qui est choisie comme référence. Cependant, les huiles ayant par exemple même viscosité à 50°C peuvent avoir des lois de variation de la viscosité en fonction de la température très différentes.

L'indice de viscosité est une caractéristique permettant de chiffrer cette variation. La valeur 100 a été assignée arbitrairement à une série d'huiles paraffiniques étalons dont la viscosité varie peu avec la température et la valeur 0, à une série d'huiles naphthéniques ayant une grande variation. Pour déterminer l'indice de viscosité d'une huile, on choisit une huile d'indice 100 et une huile d'indice 0 ayant même viscosité que l'huile étudiée à 98,8°C. On compare ensuite les 11 viscosités à 37,7°C. Soit  $S_{100}$  et  $S_0$  les viscosités Saybolt des huiles étalon et  $S$  la viscosité de l'huile étudiée. Son indice de viscosité est défini par : [IEC 60296]

$$\text{Indice de viscosité} = 100 \cdot \frac{S - S_0}{S - S_{100}}$$

L'huile d'indice élevé est donc plus fluide à froid et plus visqueuse à chaud. Elle facilite donc le démarrage à froid et un meilleur graissage à chaud, tout en diminuant la consommation pour les moteurs à combustion interne.

D'une façon assez paradoxale, on comprend l'importance de la viscosité dans les phénomènes de lubrification. En effet, si l'on se rapporte à ce qui a été dit du mouvement relatif d'un liquide et d'une

surface solide, il apparaît qu'une pièce en mouvement dans un milieu liquide communique son mouvement aux couches de liquide proches de sa surface. Imaginons la surface cylindrique d'un axe qui tourne dans un palier. Les contraintes extérieures font qu'en l'absence de lubrifiant à tout moment l'axe et le palier sont en contact le long d'une génératrice du cylindre.

En présence d'un lubrifiant, l'axe en rotation entraîne avec lui un film de liquide, lequel est capable de subsister malgré la pression extérieure qui tend à réduire son épaisseur dans la zone où les deux pièces sont pratiquement en contact. De l'analyse des forces en présence, on conclut aisément que le film résiduel est d'autant plus épais que le liquide est plus visqueux. Cependant, il est évident que la viscosité n'est pas le seul facteur important et que les propriétés de l'interface métal / liquide jouent également un rôle.

Figure 26 représente la variation de la viscosité des huiles minérales en fonction de la température [Thèse Christophe Perrier 2005]

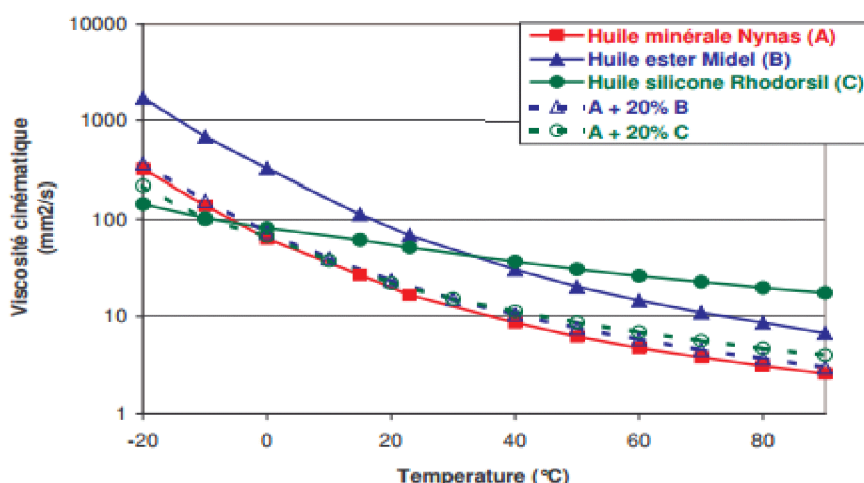


Figure 26 : Variation de la viscosité cinématique en fonction de la température des différentes huiles minérales.

Le tableau 17 représente les différentes propriétés des huiles minérales et végétales [IEC 60296]

**Tableau 17 : Comparaison des propriétés des huiles minérales et végétales**

Propriétés	Huiles Minérales	Huiles Végétales
Tension de claquage, kV	30 – 85	82 – 97
Relative Permittivité à 25°C	2,1 – 2,5	3,1 – 3,3
Viscosité à 0°C, mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	< 76	143 – 77
“ à 40°C, “	3 – 16	16 – 37
“ à 100°C, “	2 – 2,5	4 – 8
Point d'écoulement, °C	-30 – -60	-19 – -33
Point d'éclair, °C	100 – 170	315 – 328
Point de feu, °C	110 – 185	350 – 360
Densité à 20°C, kg.dm <sup>3</sup>	0,83 – 0,89	0,87 – 0,92
Chaleur spécifique, J.g <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	1,6 – 2,0	1,5 – 2,1
Conductivité Thermique, W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,11 – 0,16	0,16 – 0,17
Coefficient de dilatation, 10 <sup>-4</sup> .K <sup>-1</sup>	7 – 9	5,5 – 5,9

- **Aspects environnementaux et de santé**

Actuellement, les performances technique et le coût ne peuvent plus être les seuls critères de sélection pour un nouveau matériau (ou matériel). Les données concernant leur impact environnemental et leur cycle de vie complet doivent participer à l'analyse et la décision finale. Les exigences minimales relatives aux questions environnementales et aux impératifs de santé sont les suivants :

- Toxicité nulle
- Biodégradabilité
- Production de composés « acceptables » en cas de dégradation thermique (incendie)
- Recyclabilité et/ou élimination aisée

Les diélectriques végétaux présentés ici comme une alternative aux produits pétroliers satisfont l'ensemble de ces critères avec l'avantage supplémentaire d'être issus de ressources agricoles renouvelables. De plus, les semences retenues pour ces liquides correspondent à des cultures d'ores et déjà très répandues et disponibles.

## II. Partie expérimentale

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative des différentes huiles végétales : Avocat, Olive, Argan, Colza et Tournesol et d'analyser le comportement de la résistivité électrique et la viscosité en fonction de la température. Cette étude peut être utile pour une éventuelle application de ces huiles dans le domaine technologique. Le présent travail de recherche que nous développerons dans cette partie vient d'être publié dans African Journal Of Food Sciences en novembre 2013 (voir annexe 1).

Les huiles végétales : Argan, Colza, Tournesol disponibles dans le commerce ont été achetées sur le marché.

### 1. matériel

- **Schéma de la cellule utilisée pour mesurer la résistivité électrique (schéma 7).**

Nous avons utilisé la méthode de mesure de résistivité dite « des deux points » : la résistance électrique de l'huile est déterminée en mesurant le courant et la différence de potentiel (ddp) entre les deux électrodes de la cellule.

La cellule utilisée pour mesurer la résistivité électrique est schématisée sur le schéma 7 :

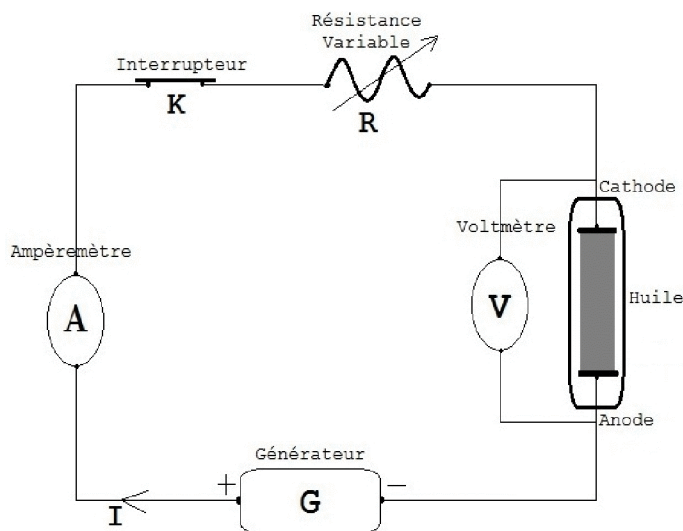


Schéma 7: Montage de l'appareillage utilisé

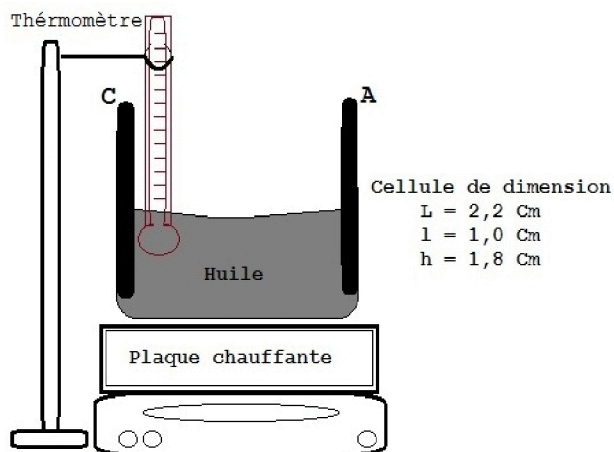


Schéma 8: cellule de mesure de la résistivité

- **Mesure de viscosité:**

Le viscosimètre à tube capillaire appelée viscosimètre d'Osswald : est très couramment utilisés, en particulier pour la mesure de viscosité des phases liquides. Il a comme avantage son simplicité de construction et de mise en œuvre. Il est souvent choisi pour déterminer des étalons de viscosité, mais aussi pour des mesures industrielles de la viscosité des liquides à la pression atmosphérique (schéma 9)

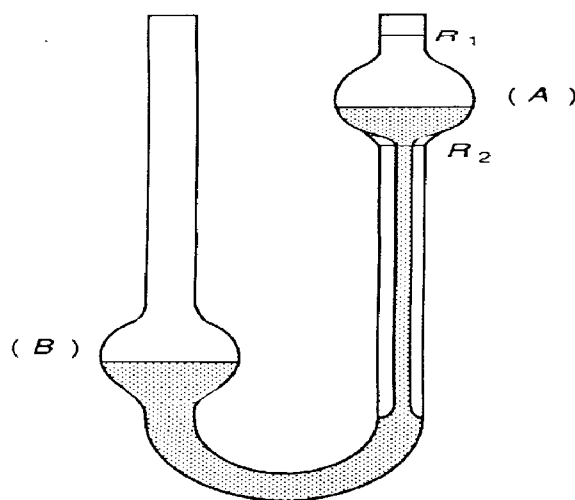


Schéma 9: Viscosimètre d'Osswald

## 2. Méthodes

### • Mesure de la résistivité électrique des huiles végétales

La méthode de mesure de la résistivité électrique est la suivante :

On fait passer le courant électrique et on mesure l'intensité  $I$  et la tension  $U$  à la température ambiante puis on lance le chauffage et à l'aide d'un thermomètre on relève aux différentes températures l'intensité et la tension. On refait les mêmes démarches pour les différentes huiles végétales utilisées.

Nous avons utilisé la formule(I) suivante, pour mesurer la résistivité électrique  $\rho$ :

$$(\rho = R \times \frac{S}{L}) \text{ (I)}$$

Où  $\rho$  représente: la résistivité ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) ;  $S$  : la section ( $\text{cm}^2$ );  $L$  : la longueur (cm);  $l$  : la largeur (cm).  
 $S = l \times L$  ;  $l = 1.1 \text{ cm}$  ;  $L = 2.2 \text{ cm}$  (distance entre les deux électrodes).

### • Mesure de la viscosité dynamique des huiles végétales

Pour la mesure de la viscosité, on met en place le viscosimètre dans le bain thermostatique et régler la température désirée. Par la tubulure terminée par la boule B, on verse le liquide à l'aide d'une pipette jusqu'au trait R2. Attendre 5 à 10 mn pour qu'il y ait équilibre thermique et vérifier le niveau au trait R2. Au moyen d'un caoutchouc monté sur la branche A, aspirer le liquide dans A Laisser le liquide descendre et déclencher le chrono entre le repère  $R_1$  et  $R_2$  . Faire plusieurs essais. Pour calculer la viscosité, il faut déduire du temps de passage, déterminé le montant en secondes pour les différentes huiles étudiées.

La viscosité cinématique est calculée selon la formule (II) :

$$(\eta = k \Delta t) \text{ II}$$

Où La constante  $K$  du viscosimètre est indiquée dans le certificat d'étalonnage du fabricant de tube capillaire.  $\Delta t$  le temps d'écoulement.

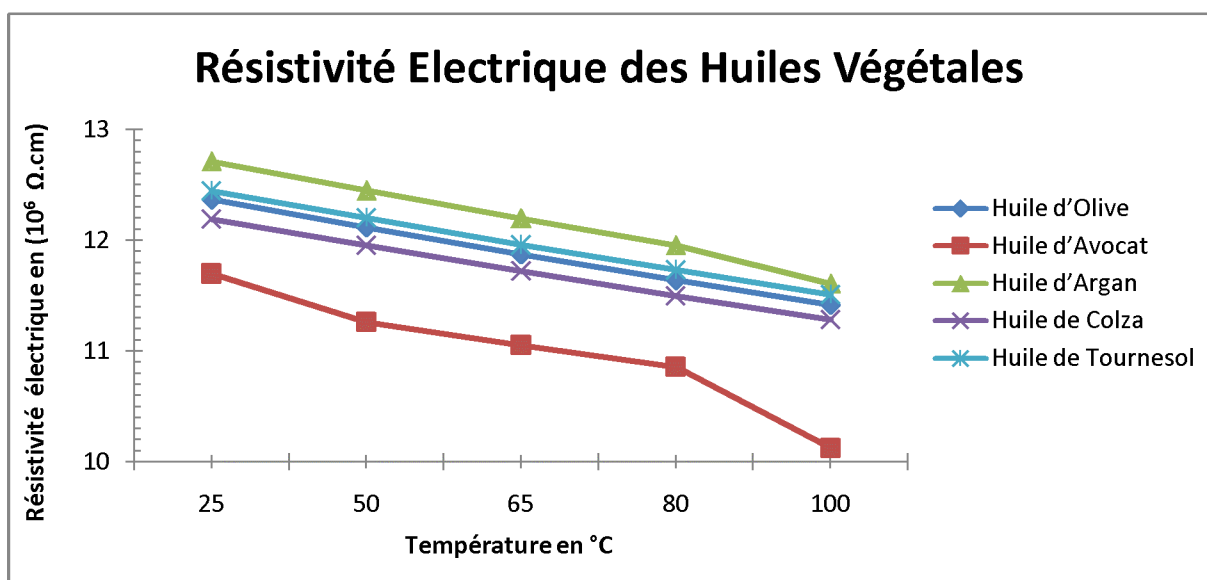
## III. Résultats et discussions

Nous avons étudié la variation de la résistivité électrique et la viscosité dynamique en fonction de la température des huiles végétales. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux 18 et 19.

**Tableau 18 : Données expérimentales de la résistivité**

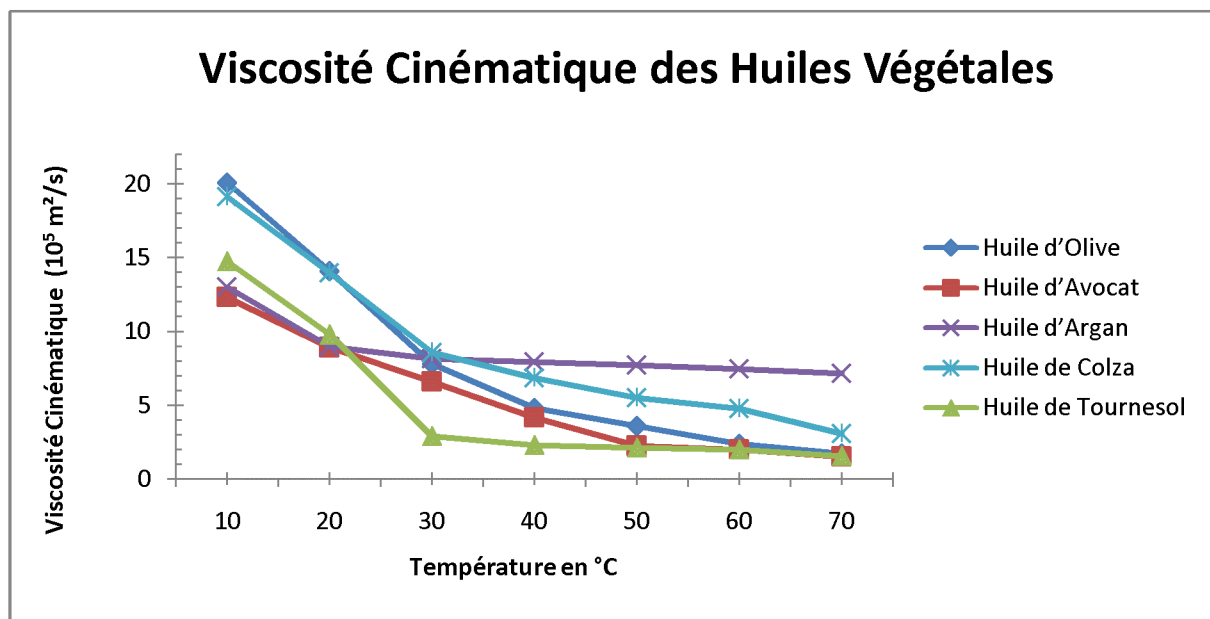
Température en °C	Résistivité électrique de l'huile d'olive en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	Résistivité électrique de l'huile d'avocat en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	Résistivité électrique de l'huile d'argan en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	Résistivité électrique de l'huile de colza en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	Résistivité électrique de l'huile de tournesol en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )
25	12,37	11,7	12,714	12,195	12,45
50	12,117	11,263	12,451	11,956	12,207
65	11,875	11,057	12,2	11,724	11,96
80	11,642	10,857	11,958	11,501	11,734
100	11,419	10,123	11,612	12,286	11,511

La figure 27 ci-dessous représente la variation de la résistivité électrique des huiles végétales en fonction de la température. On remarque que toutes les huiles ont le même comportement de la résistivité sauf pour le cas de l'huile d'avocat pour laquelle on constate une légère différence.


**Figure 27 : Résistivité Electrique des huiles Végétales**
**Tableau 19 : Données de la viscosité des huiles végétales**

Température en °C	Viscosité Cinématique de l'huile d'olive ( $10^5 \text{m}^2/\text{s}$ )	Viscosité Cinématique de l'huile d'avocat ( $10^5 \text{m}^2/\text{s}$ )	Viscosité Cinématique de l'huile d'argan ( $10^5 \text{m}^2/\text{s}$ )	Viscosité Cinématique de l'huile de colza ( $10^5 \text{m}^2/\text{s}$ )	Viscosité Cinématique de l'huile de tournesol ( $10^5 \text{m}^2/\text{s}$ )
10	20,068207	12,30338	13,009051	19,141173	14,7426535
20	14,099967	8,9101665	8,9688705	13,9649235	9,777885
30	7,79051	6,5929165	8,146403	8,5665035	2,88735715
40	4,8017145	4,171258	7,951216	6,8658035	2,28258745
50	3,6109075	2,2313635	7,725691	5,499436	2,13456713
60	2,38005695	1,998382	7,446768	4,764413	1,98745327

La figure 28 ci-après représente la variation de viscosité cinématique en fonction de la température. On remarque que sauf pour les huiles d'Olive et de Colza et à 20°C, la viscosité des autres huiles végétales est presque pareille.



**Figure 28 : Viscosité Cinématique des Huiles Végétales**

On observe que la résistivité électrique et la viscosité diminue lorsque la température augmente, on peut expliquer cette diminution :

- Par les différents changements chimiques que subit l'huile lors de son chauffage.
- Par l'orientation des molécules, quand la température augmente, (diminution de la viscosité quand la température augmente) ce qui favorise le passage du courant dans l'huile. A. Tekin et all, ont étudié l'influence de la température sur les mesures de la résistivité électrique de l'huile de soja, ces auteurs ont observés les mêmes variations de la résistivité en fonction de la température. Nos résultats sont en bon accord avec ceux de la référence A. TEKIN and EARL G. HAMMOND.2000

Nos résultats sont en bon accord avec ceux de la littérature (tableau17, figures 26, 27) Les données montrent par ailleurs que l'huile végétale présente une meilleure résistance à l'inflammation. Son point d'éclair et de feu sont supérieurs à ceux de l'huile minérale. Les diélectriques végétaux

apparaissent donc comme une alternative possible, plus écologique, aux liquides à haute tenue au feu actuels.

La dépendance de la viscosité du fluide de la température est une manifestation de son comportement des énergies de cohésion et thermique, avec une montée en température, l'attraction entre les molécules polaires a diminué tandis que leurs énergies thermiques ont augmenté ainsi la viscosité de l'huile a diminué. Nos mesures sont en accord avec les mesures de [Dilip Kumar] car le coefficient estimé par l'auteur est très petit donc on peut le négliger.

La mesure de la résistivité électrique et la viscosité constitue une méthode pour le contrôle de la qualité des huiles et comme indicateur des modifications de l'huile neuve ou en service résultant d'une contamination ou d'une détérioration.

#### **IV. Conclusion**

On peut conclure que la température facilite quand elle augmente, la conductivité électrique et la viscosité des huiles que nous avons étudiées. Cette étude nous a permis de faire une comparaison de nos résultats sur le comportement de la résistivité et la viscosité en fonction de la température avec ceux des autres chercheurs travaillant sur le même thème de recherche. Les mesures électriques des huiles en fonction de la température, peuvent être utilisées comme un fort indicateur de la dégradation de la qualité alimentaire des huiles à haute température, L'étude de la viscosité et la résistivité électrique de ces huiles, peut être utile pour une application dans le domaine technologique (isolation, transformateur...)

Enfin, on notera que les liquides diélectriques et caloporteurs présentés ici, élaborés à partir de produits végétaux pour une première utilisation dans des transformateurs représentent une réponse intéressante aux problèmes posés par les transformateurs à huile minérale, mais aussi à ceux des appareils à tenue au feu améliorée. L'introduction de ces huiles d'origine végétale ne constitue pas en effet une rupture technologique majeure pour les matériels. Ces diélectriques végétaux permettent ainsi de conserver sans changement une technologie qui a fait ses preuves tout en garantissant une meilleure prise en compte des contraintes environnementales actuelles et futures.

En perspective, nous envisageons compléter notre travail par une étude de la résistivité thermique, en fonction de la température.

## V. Références bibliographiques

- A.K.MAHAPATRA, B. L. JONES, C.N.NGUYEN, and G.KANNAN 2010.** « An Experimental Determination of the Electrical Resistivity of Beef ». Agricultural engineering international : the CIGR Ejournal. Manuscript 1664. Vol. XX. July 2010.
- A. TEKIN and EARL G. HAMMOND.2000.** Journal of the American oil Chemists' Society, volume 77,number 3, (281-283). 2000.
- IEC 60296,** Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgears, 3<sup>ème</sup> Ed.
- M. Hemmer 2002,** R. Badent and A.J. Schwab, Electrical properties of rape-seed oil, Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 83-86, 2002
- N.BERGER.2002.**“liquids isolants en électrotechnique-caractéristiques des produits”,techniques de l'ingénieur, Traité D2471, Novembre 2002,24p.
- Norme CEI 60247 (Ed. 3),** « Liquides isolants-Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation électrique et de la résistivité en courant continu », février 2004.
- Norme ISO 3104,** « Produits pétroliers-Liquides opaques et transparents- détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique », octobre 1994.
- Pace et al. 1968; Risman et Bengtsson 1971; El-Al Shami et. 1992**
- Pace WE, Westphal WB, Goldbith SA (1968)** Dielectric properties of commercial cooking oil.J Food Sci 33:30-36.
- R. Maina, V. Tumiatti, M. Pompili and R. Bartnikas, “Corrosive sulfur effects in transformers oils and remedial procedures”, IEEE TDEI, Vol. 16, pp. 1655–1663, 2009.**
- Risman PO, Bengtsson NE (1971)** Dielectric properties of foods at 3 GHz determined by cavity perturbation technique. J Microwave Power 6:101-106
- R. TOBAZEON.1996 .** conduction électrique dans les liquids”, Techniques de l'ingénieur, Traité D2430, Novembre 1996,p.4
- Vitilingon G. et al. (1998)** Development of rapeseed oil burners for drying and heating, Industrial Crops and Products 7 (1998) 273-279

## Conclusion Générale

Ce travail de thèse a cherché à valoriser les déchets d'olive et d'avocat pour une gestion intégrale des déchets au Maroc.

Le premier volet de la thèse a donc été focalisé sur la valorisation des sous produits d'olive, les margines et les grignons pour contribuer à l'amélioration de la rentabilité du secteur oléicole, en effet elle permet de résoudre en grande partie les problèmes posés par les effluents des huileries qui ont un pouvoir polluant très élevé. Les résultats obtenus concernant l'essai de traitement des peaux par les margines nous a permis de conclure que ce pré traitement permet de diminuer les tanins dans les margines, et d'utiliser des margines comme tannants de peaux à la place du chrome. Il permet, non seulement l'utilisation des grignons d'olive comme combustible mais aussi la synthèse de composés d'intérêt tels que la glycérine, le furfural, le charbon actif ou encore la préparation d'un savon biodégradable.

Dans le deuxième volet de ce travail nous avons proposé plusieurs schémas de traitement qui permettent d'extraire l'huile d'avocat :

- Extraction par Pression
- Extraction par Solvant hexane
- Extraction après Lyophilisation
- Extraction après Séchage sous Vide

L'extraction de l'huile d'avocat par l'alcool éthylique à partir de la pâte obtenue selon le procédé sous vide permet d'isoler l'huile avec un rendement presque quantitatif et une qualité meilleure par rapport aux procédés traditionnels, de plus le tourteau isolé garde ses qualités suite aux conditions douces proposées. L'huile d'avocat, qui après purification peut être utilisée dans la cosmétique ou dans la fabrication de certains médicaments. Elle peut être utilisée aussi pour la fabrication du savon d'avocat riche en protéine et qui est très utilisé, ainsi que l'extraction de la glycérine. Une fois le produit épuisé, il est valorisé comme complément alimentaire pour le bétail.

Dans le troisième volet de cette thèse, nous avons comparé les caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'avocat avec celles de l'huile d'olive. L'étude de la viscosité et la résistivité électriques de ces huiles, peut être utile pour une application dans le domaine technologique (isolation, transformateur.). On a conclu que la température quand elle augmente facilite, la conductivité électrique des huiles étudiées. Cette étude nous a permis de faire une comparaison de

nos résultats sur le comportement de la résistivité et la viscosité en fonction de la température avec ceux des autres chercheurs travaillant sur le même thème de recherche. Les mesures électriques des huiles en fonction de la température, peuvent être utilisées comme un fort indicateur de la dégradation de la qualité alimentaire des huiles à haute température.

En perspective nous envisageons de compléter notre travail par faire une analyse technico-économique pour comparer le coût du charbon actif à partir des grignons d'olive par rapport au charbon actif vendu au marché national. La valorisation des déchets solides d'avocat comme charbon actif et extraire la molécule du furfural en suivant la méthode de l'huile d'olive ainsi on complète notre étude par la mesure de la résistivité thermique en fonction de la température.

## Liste des Abréviations

**A.R.I.C** : Association des Recherches des Industries de Cuir

**DPV** : Direction de la Production végétale

**E.D.P** : Extraction deux phases

**E.S** : Extraction par Solvant

**E.P.M** : Extraction par Presse Mécanique

**E.L** : Extraction par Lyophilisation

**E.S.V** : Extraction sous Vide

**L** : longueur

**I** : largeur

**m** : la moyenne

**$\rho$**  : Résistivité

**$\eta$**  : viscosité

**S.I** : Système International

**S** : Surface

**U.V** : Ultrat violet

**U.E** : Union européenne

## Liste des figures

- Figure 1** : production, consommation, importation et exportation de l'huile d'olive
- Figure 2** : Composition de l'olive
- Figure 3**: Extraction de l'huile d'olive par le système de presse traditionnel.
- Figure 4** : Extraction de l'huile d'olive par le système de centrifugation.
- Figure 5**: Structure de l'oleuropéine (a) et du ligstroside (b)
- Figure 6** : Structure du pinorésinol et de l'acétoxypinorésinol
- Figure 7**: Structure des tocophérols
- Figure 8**: Composés volatiles de l'huile d'olive
- Figure 9**: Extraction de l'huile d'olive selon le système de deux phases
- Figure 10**: Technique de tannage utilisée au laboratoire
- Figure 11** : Photo du résultat du tannage
- Figure 12** : Matériel de saponification
- Figure 13** : Dispositif expérimental de fabrication du furfural
- Figure 14** : Dispositif d'activation chimique du charbon actif
- Figure 15** : Courbe d'étalonnage
- Figure 16** : Structure des principaux composés phénoliques d'olive
- Figure 17** : pulpe d'avocat séché à l'étuve
- Figure 18** : lyophilisateur
- Figure 19** : Avocat lyophilisé
- Figure 20** : Montage du séchage du fruit d'avocat sous vide
- Figure 21** : Décantation de notre huile d'avocat
- Figure 22** : Evaporation du solvant
- Figure 23** : Structure des hydrocarbures de base dans une huile minérale
- Figure 24**: Hétéroatome dans l'huile minérale
- Figure 25** : Variation de la résistivité de différentes huiles minérales
- Figure 26** : Variation de la viscosité cinématique en fonction de la température des différentes huiles minérales
- Figure 27** : Résistivité Electrique des huiles Végétales
- Figure 28** : Viscosité Cinématique des Huiles Végétales

## Liste des schémas

**Schéma 1** : Traitement et Valorisation d'Olive

**Schéma 2** : Traitement des margines par permutation circulaire

**Schéma 3** : Optimisation d'un bassin d'évaporation

**Schéma 4**: valorisation des grignons

**Schéma 5** : Exemple de valorisation des déchets d'avocat.

**Schéma 6**: procédé d'extraction de l'huile d'avocat

**Schéma 7**: Montage de l'appareillage utilisé

**Schéma 8** : cellule de mesure de la résistivité

**Schéma 9** : Viscosimètre d'osswald

## Liste des Tableaux

**Tableau 1 :** Evolutions des importations d'huile d'olive dans le monde

**Tableau 2 :** Composition en acide gras d'une huile d'olive

**Tableau 3:** Conséquences environnementales des rejets de margine dans le milieu naturel

**Tableau 4 :** Composition chimique indicative des différents types de grignons

**Tableau 5:** comparaison entre l'huile d'olive obtenue et celle de la littérature

**Tableau 6:** Composition chimique des margines

**Tableau 7:** Mesure des absorbances des solutions

**Tableau 8 :** mesure de la concentration des différents échantillons de margines

**Tableau 9:** caractéristique du savon obtenu

**Tableau 10 :** Caractéristique de la glycérine

**Tableau 11:** Caractéristiques physiques du furfural fabriqué

**Tableau 12:** Caractéristiques du furfural

**Tableau 13 :** Caractéristiques du charbon actif

**Tableau 14 :** Situation de la culture d'avocatier au Maroc

**Tableau 15:** les rendements en huile selon les différentes méthodes de séchage

**Tableau 16 :** Caractérisation physico chimique des huiles obtenue

**Tableau 17 :** Comparaison des propriétés des huiles minérales et végétales

**Tableau 18 :** Données expérimentales de la résistivité

**Tableau 19 :** Données de la viscosité des huiles végétales

---

---

# Annexe 1

---

---

Full Length Research Paper

## Study of electrical properties of vegetable oils for the purpose of an application in electrical engineering

Khouloud LAKRARI<sup>1\*</sup>, Mouloud EL MOUDANE<sup>2</sup>, Imane HASSANAIN<sup>1</sup>, Imane ELLOUZI<sup>1</sup>, Said KITANE<sup>3</sup> and Mohamed ALAOUI EI BELGHITI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Physique Générale, Département de Chimie, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Batouta, BP 1014 Rabat.

<sup>2</sup>Laboratoire de Matériaux, Nanotechnologies et Environnement (LMNE), Département de Chimie, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Batouta, BP 1014 Rabat.

<sup>3</sup>Laboratoires de chimie appliquée à l'École Nationale de l'Industrie Minérale, Avenue Hadj Ahmed Cherkaoui BP 753 Agdal Rabat.

Accepted 25 September, 2013

The growing importance of the issues for sustainable development requires the consideration of environmental criteria in the development of all new materials and equipment. In the case of dielectric liquid, a better balance must be found between technical performance within the filled equipment and the impact on the environment always possible leaks. In transformers, a stable liquid, inert, with good electrical and thermal properties is necessary; outside, the liquid must be non-toxic to the environment and readily biodegradable. The intrinsic properties of natural vegetable oils in terms of fire resistance, environmental performance and electrical and thermal characteristics of dielectric compositions are particularly useful products in the field of electrical engineering. The objective of our work was to make a comparative study of different vegetable oils: Argan, Rapeseed, Sunflower and analyze the behavior of the electrical resistivity and viscosity as a function of temperature. This study may be useful for a possible application of these oils in technology.

**Key words:** Electrical resistivity, viscosity, vegetable oil, electrotechnical.

### INTRODUCTION

The environmental impact of human activity causes increasing concern: the situation is worst between climate problems, pollution, overexploitation of resources and individual consumption, which are continually increasing. These developments make it necessary to consider practical and compatible solutions with sustainable development (Bozell and Patel, 2006).

The concept of green chemistry (Anastas and Warner, 1998) was created to "support the design of products and processes that reduce or eliminate the use and formation of hazardous substances." These eco-design rules some-

times seem restrictive, but they can be beneficial, especially for chemists and manufacturers. The principles of green chemistry tend to more environmentally friendly processes for the synthesis of the environment and the use of renewable raw materials (Baumann et al., 1988). Industrials (and financials) have logically turned to the substitution of fossil fuels with renewable raw materials, such as vegetable oils for biofuel sector. However, we must ensure that the consumption of vegetable oils for these new applications does not disturb the balance of existing networks, in particular those related to human

\*Corresponding author. E-mail: [lkhouloud@hotmail.com](mailto:lkhouloud@hotmail.com). Tel: +212651872716.

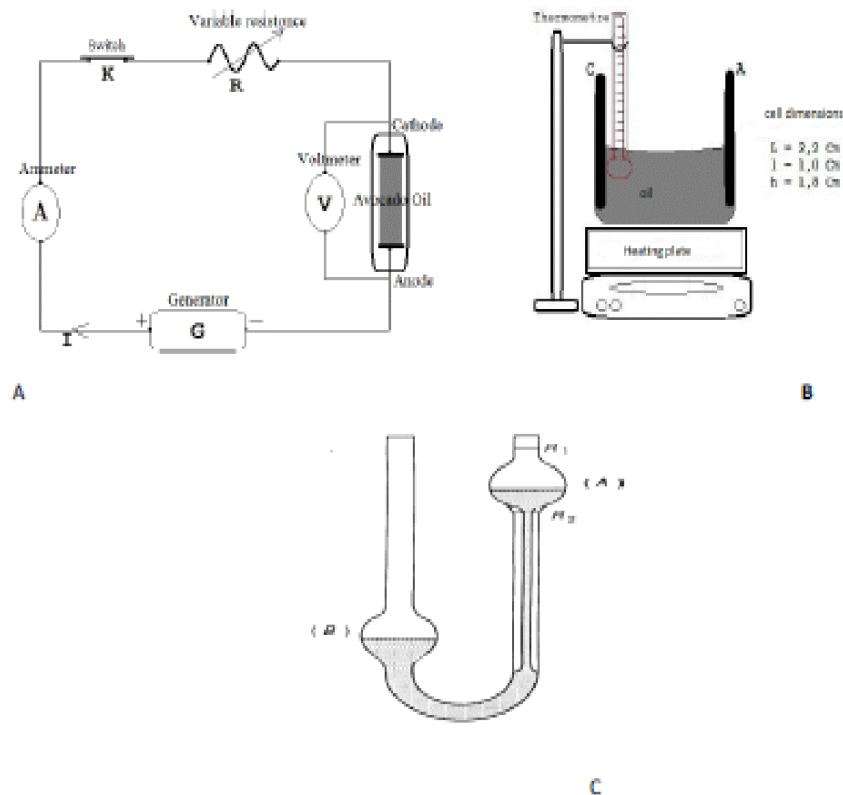


Figure 1. The diagram of the cell used to measure the electrical resistivity and viscosity. a. Construction of the used apparatus. b. Measurement of cell resistivity. C, Ostwald viscometer.

consumption. Vegetable oils according to their fatty acid composition, have non-food applications. For example, azelaic acid and Pelargonic can be industrially produced by ozonolysis of oleic acid (Goebel et al., 1957), the majority fatty acid of olive oil, rapeseed and sunflower. Azelaic acid has pharmacological properties and is used in cosmetics and dermatology. The pelargonic acid is itself regarded as a by product of this reaction between and in the formulation of lubricants.

The oils are the main class of lubricants as well as the number of applications that the volume of lubricant used in the world (remember that fat is composed of 80 to 90% oil). Due to their natural affinity for metal surfaces and their viscosity, oil seep between the surfaces in relative motion and reduce friction, heat and wear.

Because of their chemical inertness when subjected to electric fields, oils are often used as electrical insulation for certain applications, including transformers, circuit breakers, cables, and capacitors.

For electrotechnical applications, in addition to electrical properties (rigidity, resistivity, and specific power inductor) are also sought good thermal properties.

Mineral oils, especially used at the beginning of electrical engineering, are now abandoned in favor of synthetic oils whose properties are much better for this type of application (Berger, 2002).

There are prototypes of biodegradable insulating oil for transformers based on derivatives of vegetable oils (fatty acids) and with unmatched performance at low temperatures. The biodegradability and non-toxicity of these insulating oils are substitutes choice for those that are commonly used in full based petrochemical derivatives, and therefore more prone to price fluctuations of petroleum products (Vittington et al., 1998) The application of vegetable oils in technology, requires a thorough study of their electrical and physical cleanliness (resistivity, viscosity etc.)

#### MATERIALS AND METHODS

Vegetable oils are generally very low toxics and have excellent biodegradability. These qualities are due in particular to a low resistance to oxidation and hydrolysis. Because of these two characteristics that are conducive to eco-toxicological aspects, plant oils are already used in distribution transformers and attempts are being made to expand their use in power transformers. (Darwin et al., 2007)

The vegetable oils: Argan, Rapeseed, Sunflower commercially available were purchased from the market.

The diagram of the cell used to measure the electrical resistivity is shown in Figure 1a and b. We used the method of resistivity measurement called "colon": the electrical resistance of the oil was determined by measuring the current and the potential difference

## Measuring the Electrical Resistivity

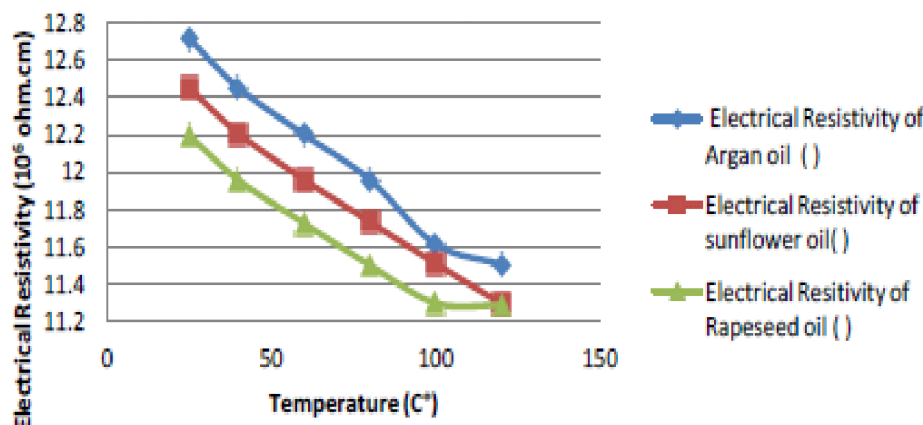


Figure 2. represents measurements of dynamic viscosity of vegetable oils: argan, rapeseed, sunflower.

(ddp) between the two electrodes of the cell. The viscosity WAS measured by a viscometer Osswald (Figure 1c):

### Measurement of the electrical resistivity of vegetable oils

We used the following formula to measure the electrical resistivity ( $\rho$ ):

$$\rho = R \times \frac{S}{L}$$

Where  $\rho$  is the resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}$ );  $S$  is the section ( $\text{cm}^2$ );  $L$  is the length ( $\text{cm}$ ).

$S = l \times L$ ;  $l = 1.1 \text{ cm}$ ;  $L = 2.2 \text{ cm}$  (distance between the two electrodes).

### Measurement of the dynamic viscosity of vegetable oils

Measuring the time of a flow of a volume  $V$  of fluid through a capillary tube, the kinematic viscosity is proportional to the flow time:

$$\nu = K \cdot \Delta t$$

The constant  $K$  of the device is given by the manufacturer of the viscometer.

## RESULTS AND DISCUSSION

We studied the variation of the electrical resistivity and the dynamic viscosity as a function of the temperature of vegetable oils: Argan, rapeseed and sunflower, the results obtained are represented in Figures 2 and 3.

We observe that the electrical resistivity decreased with increasing temperature, this decrease can be explained by: 1) By the chemical various changes occurring in the

oil when heated; 2) the orientation of the molecules when the temperature increases (decrease in viscosity with increasing temperature) which promotes the flow of current in the oil. Tekin and Hammond (2000) studied the influence of temperature on the measurements of the electrical resistivity of soybean oil. These authors observed the same changes in resistivity as a function of temperature. Our results are in good agreement with those of Tekin and Hammond (2000).

The dependence of the viscosity of the fluid temperature is a manifestation of the behavior of cohesive energies and heat, with a rise in temperature, the attraction between polar molecules decreased while their thermal energy increased and the viscosity of the oil decreased.

Our measurements are in agreement with the measurements of Dilip et al. (2013) because the estimated coefficient by the author is very small so we can neglect it.

Measuring the electrical resistivity and the viscosity is a method for the control of the quality of oil and as an indicator of changes in new or oil in service resulting from contamination or damage.

We can conclude that the temperature facilitates when it increases the electrical conductivity and viscosity of the oils we studied. This study has allowed us to make a comparison of our results on the behavior of the resistivity and viscosity as a function of temperature with those of other researchers working on the same research topic (Pace et al., 1968; Risman and Bengtsson, 1971). Electrical measurements of oils that depend on the temperature can be used as a strong indicator of the deteriorating food quality oils at high temperatures.

The study of the viscosity and electrical resistivity of these oils can be useful for application in the field of technology (insulation, transformer etc). In perspective, we plan to complete our work by a study of the thermal resistivity as a function of temperature.

## Mesurement of Dynamic Viscosity

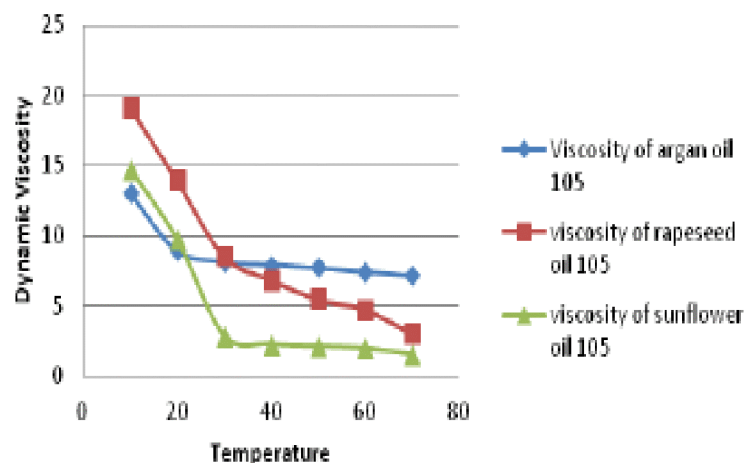


Figure 3. Measurements of dynamic viscosity of vegetable oils: argan, rapeseed, sunflower.

### REFERENCES

- Anastas PT, Warner JC (1998). *Green chemistry theory and practice*, Edition Oxford University press.
- Baumann H, Bühler M, Focher H, Hirsinger F, Zoebelin H, Falbe J, Angew (1988). "Natural Fats and Oils –Renewable Raw Materials for the Chemical Industry. Chem. Int. Ed. Eng. 27:41-62.
- Berger N (2002). "liquids isolants en électrotechnique-caractéristiques des produits", techniques de l'ingénieur, Traité D2471, Novembre 2002, p. 24.
- Bozell JJ, Patel MK (2006). *Feedstocks for the Future – Renewable for the Production of Chemicals and Materials*, Edition American Chemical Society.
- Darwin A, Perrier C, Foliot P (2007). "The use of natural ester fluids in transformer", Proceedings of MATPOST conference, Lyon (France), Paper 0036: 15-16.
- Dilip K, Amarjit S, Paramjit ST (2013). Interrelationship between viscosity and electrical properties for edible oils. *J. Food Sci. Technol.*
- Goebel CG, Brown AC, Oehlschlaeger HF, Rolles RP (1958). Method of making azelaic acid, Patent US 2813113, 1957. Chem. Abstr. 52:2431.
- Pace WE, Westphal WB, Goldbith SA (1968). Dielectric properties of commercial cooking oil. *J. Food Sci.* 33:30-36.
- Risman PO, Bengtsson NE (1971). Dielectric properties of foods at 3 GHz determined by cavity perturbation technique. *J. Microw. Power.* 6:101-106.
- Tekin A, Earl G. Hammond. (2000). *J. Am. of Chemists' Society.* 77 (3): 281-283.
- Vatlingom G, Perihon Ch, Liennard A, Gandon M (1998). Development of rapeseed oil burners for drying and heating. *Indus. Crops Prod.* 7, 273-279.

---

# Annexe 2

---

## Valorization of Olive Industry Through the Application of Two-Phase Process for Extraction and Improvement of Physical and Chemical Properties of Avocado Oil

K. LAJRAH<sup>1\*</sup>, S. KITANI<sup>2</sup>, N. HASSANAN<sup>3</sup> and M. ALAOUI EL BELGHITI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Physique Générale, Département de Chimie, Université Mohammed V Agdal, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Morocco

<sup>2</sup>Laboratoire de Chimie Appliquée, Ecole Nationale de l'Industrie Minérale, Avenue Hadj Ahmed Cherkaoui BP 753 Agdal, Rabat, Morocco

<sup>3</sup>Laboratoire de Physique des Matériaux, département de physique, Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Morocco

\*Corresponding author: Tel: +212 6 51872716; E-mail: lkhououd@hotmail.com

(Received: 9 December 2011;

Accepted: 21 September 2012)

AJC-12163

The objective of this work fits into the framework of sustainable development and environmental protection for a comprehensive management of agribusiness waste, including olive industry in Morocco. Several opportunities for recycling such wastes have the dual benefit of solving the environmental problems and particularly increasing the profitability of olive oil extraction units after the olive season that lasts 100 days only. This gives the possibility of using the same equipment to extract the other varieties of oils (i.e., avocado oil, according to the ecological process that we present in this contribution. In this study, we have given, by means of the HPLC analysis, the fatty acid composition of isolated avocado oil and compared the physical and chemical analysis of avocado oil by measuring the electrical resistivity.

**Key Words:** Vegetable oils, Avocado oil, Fatty acid, Saponification, Soap, Resistivity.

### INTRODUCTION

Due to its high price value, the price of exotic avocado fruit was considered out of reach by the common Moroccan consumers. It's costed more than 50 MAD (7 USD) for one kg, which was more expensive than one kg of meat. Now days, avocado, as well as banana fruit is abundant in the market and available as juice in all milk shops<sup>1</sup>.

This achievement is attributed to the increasing of surface plantation and the improvement of local production. Actually, surface devoted to this plantation jumped from 10 ha in 1970 in Skhirat area to more than 1800 ha for 10000 metric tons. On another hand the convenient local climate conditions, soil properties, the maintenance easiness and low production cost stand behind the increasing development of this plantation mainly along the north Atlantic coast strip (Larache-Casablanca), Khemisset and Souss Massa region.

However, this production (September to May) is not always sufficient to face local demand estimated to 12000 tons compensated by importation from international market though in good season 20 % of the production could be exported. In terms of perspectives, increasing demand by international

market (IEC), the encouraging offer prices, low and weak competition are promising stimulus for the development of the plantation.

Over varieties of avocado are planted in Morocco with different harvested time: zutano (mid-October to mid-December), bacon, fuerte and hass commonly known under the appellation "harcha" (in rough Arabic) harvested at the beginning of March to the mid-May. It is also most appreciated by Moroccan and European consumers for its resistance to stressing conditions of transportation and its higher content and its size/weight varying from 150 to 200 g per piece compared with 200 to 500 g for the smooth varieties (zutano) and fuerte.

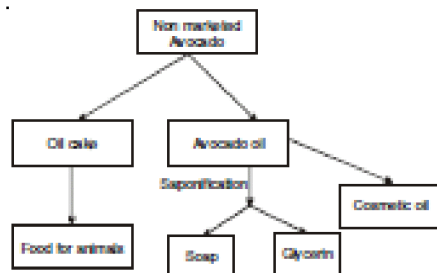
Though exportation generates appreciable cash income to growers, valorization of this commodity could be achieved by extraction of oil from non exported production. In this respect we propose a new ecological process of extraction of the avocado oil. Previous analysis by our team has estimated to 30 % the content of oil in avocado fruit. As it well known this oil is characterized by its nourishing and cosmetic value.

The process proposed consists on the adaptation of the same facilities used for the extraction of the olive oil of based on two phases by centrifugation<sup>2,3</sup>. The main objectives are as follows:

- Adapt the process to extraction of the avocado oil.
- Manufacture of soap from the extracted avocado oil.
- Extraction of glycerin.
- Use of avocado oil cake as food for the animals.
- Assess the electric resistance of the avocado oil.

Clarification of the different methods of extraction of the oil of avocado: 1-Steps of the process.

Finalized process will be used on the following diagram:



**Process of extraction of the oil of avocado:** Due to the difficulty encountered in traditional olive oil extraction (emulsion formation) it has been necessary, the introduction of some modification as follows.

**Extraction of the oil after drying of the fruit:** The presence of oil as fine emulsion makes its extraction very difficult. A drying step would facilitate its extraction. The fruit is cut on lamella is dried in oven at 80 °C during 24 h, or under sun light 3 days. After dehydration (residual humidity: 5 to 9 %) three time extraction are performed by hexane as avocado oil is recuperated after vacuum evaporation of solvent<sup>6</sup> (Table-1).

**Two phases process:** This process applied in the same conditions as in olive oil sector has been revealed of important economical and ecological benefit for its higher rate in oil extraction, low acid properties and free pollutant generation<sup>7</sup>.

**Results:** Extraction of 1 kg of dried avocado has generates 250 g of oil. The main physical and chemical properties are presented in Table-1 compared with olive oil drawn from a literature survey. Comparison of avocado oil characteristics such as iodine, peroxide and saponification indexes with international standards has shown to be fit to these standards while acidity remained little bit higher.

Chromatography analysis has allowed the determination of the composition of avocado oil in fatty acid which are compared to the composition of olive oil from the literature (Table-2).

TABLE-1  
CHARACTERISTICS OF AVOCADO OIL EXTRACTED FROM AVOCADO WASTES AND COMPARISON OF THE PREVIOUS RESULTS WITH THOSE OF THE LITERATURE FOR OLIVE OIL AND AVOCADO OIL.

Characteristics	Avocado oil (extracted from avocado wastes)	Avocado oil (literature results) [Ref. 8]	Olive oil (literature results) [Ref. 9]
Acidity	2 %	< 6	0
Iodine index	87	80-95	75-94
Saponification index	177	180-195	184-196
Peroxide index	0.2 mg/kg	-	-
Refractive index	1.4679	1.4690-1.4740	1.468-1.470
Density (to 20 °C)	0.915	0.915-0.920	0.910-0.916

TABLE-2  
VALUES OF FATTY ACIDS CONTAINED IN AVOCADO OIL, EXTRACTED FROM AVOCADO WASTES AND COMPARISON OF THE PREVIOUS RESULTS WITH THE LITERATURE FOR OLIVE OIL AND AVOCADO OIL.

Fatty acids	Avocado oil (extracted from avocado wastes) (%)	Avocado oil (literature results) (%) [Ref. 8]	Olive oil (literature results) (%) [Ref. 9]
Myristic C14:0	0.3	Trace	< 0.1
Linoleic C18:2	11.2	6 à 16	9-24
Palmitic C16:0	19.6	7 à 29	8-21
Palmitoleic C16:1	11.1	3 à 12	< 4
Linolenic C18:3	0.7	Trace à 5%	< 2
Stearic C18:0	0.8	0.1 à 1.5	1-4
Docic C18:1	55.0	42 à 73	53-75

#### Manufacture of soap from the avocado oil

**Saponification of the oil of avocado:** Saponification is the result of alkaline attack of fatty acid. Avocado oil was treated at reflux conditions with sodium hydroxide (30 %). The two phases obtained are well separated by adding sodium chloride. The solid phase constitutes the soap and the aqueous phase is rich in glycerin. Soap is washed with water and left to dry at room temperature. Soap obtained was of clean aspect, left green, smooth touching, smooth to the touch, consistent and foamy.

**Extraction of the glycerin:** The aqueous solution was neutralized with concentrated chlorhydric acid. After vaporization and distillation glycerol is obtained with a recovery of 40 %. The characteristics are as follows: colourless liquid; pure and anhydrous; syrupy, to sugary flavour; density of 1.24; high distillation point.

**Electrical resistance property:** In this work, we tried to make complementary comparisons on electrical resistance between avocado oil and olive oil. Several studies have associated the quality of given oil with its physical properties such as resistance properties. Thus, Pace *et al.*<sup>10</sup>, Risman *et Bengtsson*<sup>11</sup>, El-A1 Sharni *et al.*<sup>12</sup> suggested that the electrical properties can be used like indicators of the state and the quality of the vegetable oils.

#### EXPERIMENTAL

The called "two point method" was used to measure the resistivity of the oil. It's obtained by the mesure of the current and the potential recorded (Fig. 1).

**General procedure:** Calculation of the resistivity was based on the following formula:

$$\rho = R \times \frac{S}{L}$$

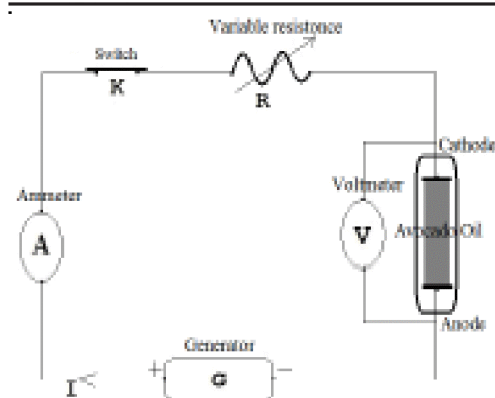


Fig. 1. Assembly for measuring resistivity

where  $\rho$ : resistivity ( $\Omega$  cm);  $R$ : resistance ( $\Omega$ );  $S$ : section ( $\text{cm}^2$ );  $L$ : length (cm).

### RESULTS AND DISCUSSION

Records of the electric resistance of the avocado and olive oils are presented Table-3.

Temp. (°C)	Electrical resistivity of avocado oil in ( $10^9 \Omega$ cm)	Electrical resistivity of olive oil in ( $10^9 \Omega$ cm)
25	11.700	12.470
50	11.263	12.217
65	11.057	11.975
80	10.857	11.742
100	10.123	11.519

The effect of the temperature on the electrical resistance of the avocado oil and olive oil are presented in the Figs. 2 and 3.

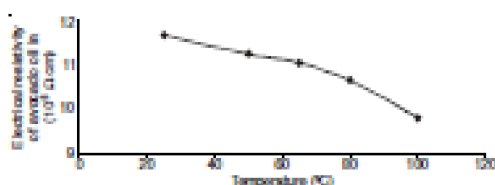


Fig. 2. Electrical resistivity of avocado oil according to temperature

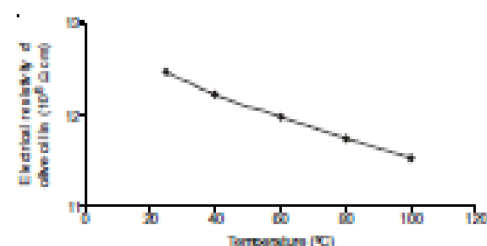


Fig. 3. Electrical resistivity of olive oil according to temperature

Interpretation of results shown in Tables 1 and 2 suggest that the palmitic acid content is higher in avocado oil than olive oil. On another hand Figs. 2 and 3 showed that electrical resistance decreased with increasing temperature. This decrease could be attributed to eventual chemical changes in the oil, probable changes in orientation of the molecules constituting the oil (decrease in viscosity) that enhance the current circulation as it was suggested by soya oil<sup>17</sup>. This results are corroborated by previous results<sup>13,14</sup>.

### Conclusion

As conclusion we can assess that higher temperatures enhance electrical conductivity of the studied oil. Comparison of our results on with similar results from the literature showed good agreements. However we plan to extend our study to thermal resistivity and viscosity of this oil.

On another hand this study allowed us to suggest the usage of two phases process used in olive oil sector after which is more economically and ecologically beneficial to the growers and consumers.

In addition, avocado oil could be used in the cosmetic after purification or in the manufacture of some medicinal compounds or rich in protein soap, as well as glycerin. The remaining residues could be used as food complement for livestock.

### REFERENCES

1. A.K. Cowan and B.N. Wobstholme, *AVOCADO*, Ency clopedia of Food Science and Nutrition, vol 2, pp. 348-353 (2003).
2. I. Donato, *AVOCADO: Post Harvest Operations*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy (2004).
3. A.W. Wiley, T.S. Rasmussen, J.B. Sarantak and B.N. Wobstholme, *Scien. Horticult.*, **66**, 23 (1996).
4. M. Vincenzo-Gadua and N.C. Elstrand, *Scien. Horticult.*, **27**, 215, (1985).
5. P.I. Hoffman, B.A. Stabbings, M.F. Atkins, G.F. Melberg and A.B. Wood, *Posthara. Acta Technol.*, **34**, 183 (2002).
6. V. Birkman, W.M. Brasse and A.S. Caillany, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **70**, 821 (1993).
7. R. Borja, F. Raposo and B. Rincón, *Grass Acetate*, **57**, 72 (2006).
8. <http://www.italic.com/italic/avocat.fr.htm>
9. A. Aloui, Z. Charouf, G. Dubourg, E. Maa, J.C. Michalski and M.R. Souffian, Saponins from the pulp of the fruit of *Argania spinosa* (L.) Gaertn (Sapotaceae), in: *International Symposium of the Physicochemical Society: Local Compounds from Higher Plants*, Lanneme, France (2001).
10. W.E. Pace, W.B. Westphal and S.A. Goldblith, *J. Food Sci.*, **33**, 70 (1968).
11. P.O. Rinnan and N.E. Bengtsson, *J. Microwave Power*, **6**, 101 (1971).
12. S.M. El-Shardi, I. Zaki Selim, I.M. El-Anwar and M.M. El-Hassan, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **69**, 872 (1992).
13. A. Tekin and E.G. Hammond, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **77**, 281 (2000).
14. A.K. Mahapatra, D.L. Harris, C.N. Nguyen and G. Karim, *Agric. Eng. Internat.: The CIGR J.*, **12**, 124 (2010).

---

---

# Annexe 3

---

---

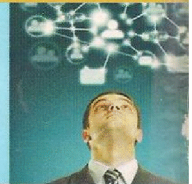
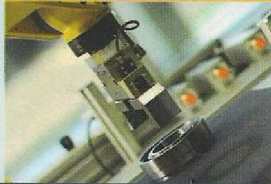
Royaume du Maroc



Ecole Nationale  
de l'Industrie Minérale

LA REVUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

# MANAGEMENT ET INGENIERIE DES SYSTEMES



EDITION 2012

# CONGRES INTERNATIONAL : MANAGEMENT ET INGENIERIE DES SYSTEMES

**Actes du premier congrès international  
MIS 2012 à Rabat (Maroc)  
(29 et 30 novembre 2012)**

Les articles publiés dans cette revue scientifique n'engagent que la  
responsabilité de leurs auteurs.

Dépôt légal : 2012 PE 0120  
ISSN : 2028 – 9421

**Président du congrès**

**Directeur de la revue « MIS »**

*Docteur Aziz SOULHI, Professeur à l'ENIM*

## **Valorisation de l'industrie oléicole par l'extraction d'huile d'avocat selon le procédé de deux phases ainsi que les propriétés physico-chimique de l'huile d'avocat obtenue**

*K.LAKRARI\*, S. KITANE\*\*, N.HASSANAIN\*\*\*, M.ALAOUI El BELGHITI\*\*\*\*.*

*\* Laboratoire de Chimie Physique Générale, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal, Rabat(Maroc) E-mail lkhouloud@hotmail.com*

*\*\* Ecole Nationale de l'Industrie Minérale « ENIM » (Maroc) E-mail kitane@enim.ac.ma*

*\*\*\*Laboratoire de Physique des Matériaux, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal Rabat(Maroc). E-mail najem.hassanain@gmail.com*

*\*\*\*\* Laboratoire de Chimie Physique Générale, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal, Rabat(Maroc) E-mail daf-101@hotmail.com*

### **Résumé**

L'objectif de ce travail s'inscrit dans le concept du développement durable et la protection de l'environnement, pour une gestion intégrale des déchets agroalimentaires, notamment de l'industrie oléicole au Maroc. Plusieurs opportunités de valorisation de ces déchets présentent le double intérêt de résoudre le problème environnementale mais aussi et surtout d'augmenter la rentabilité des unités d'extraction de l'huile d'olives après la saison oléicole qui ne dure que 100 jours, ce qui donne la possibilité d'utiliser les mêmes équipements pour extraire d'autre variétés d'huiles : l'huile d'avocat, selon le procédé écologique que nous présentons par cette contributions. Par cette étude nous avons donné par l'analyse HPLC la composition en acide gras de l'huile d'avocat isolée, et on a complété l'analyse physico-chimique par une étude technico-économique de l'huile d'avocat et d'olive.

### **1°) Introduction**

Il y a quelques années, l'avocat était considéré comme un fruit exotique et un produit de luxe inaccessible à la majorité des Marocains, à cause de son prix excessif qui avoisinait les 50 DH le kilo soit autant sinon plus cher que le kilo de viande. Aujourd'hui, l'avocat, comme la banane à une certaine époque, est sur la table d'un grand nombre de ménages. Ce produit est aussi désormais à la portée de tous à travers le réseau des laiteries où son jus est très prisé.

Le secret de la «démocratisation» de l'accès à ce fruit, est Le développement remarquable d'une production locale. En fait, la demande croissante pour ce produit n'a pas laissé indifférents les agriculteurs marocains qui ont développé cette culture durant les quinze dernières années. «Au début des années 70, on comptait une dizaine d'hectares réservés à la plantation de ce fruit notamment dans la région de Skhirat. Des recherches étaient aussi initiées dans un centre à Taoujdate dans la région de Meknès», se rappelle un producteur. La production nationale ne dépassait pas les 1 000 tonnes par an dans les années 80. Mais, depuis, cette culture tropicale a trouvé dans les terres marocaines des facteurs propices à son épanouissement. S'adaptant aux climats subtropicaux à hivers doux et supportant peu le froid, l'avocatier s'est développé dans les régions limitrophes des côtes atlantiques notamment dans la

bande allant de Larache à Casablanca. Il s'est bien comporté également dans les régions de Khémisset et Souss-Massa.

Encouragés par les facilités d'entretien de cette culture, par son faible coût de production et surtout par des prix de vente souvent très intéressants, les producteurs nationaux ont amélioré leurs rendements au point de devenir les principaux fournisseurs du marché local alors qu'il y a 30 ans, on recourait à l'importation pour satisfaire la totalité de nos besoins. Aujourd'hui, la récolte annuelle s'élève à 10 000 tonnes et les superficies cultivées totalisent plus de 1 800 ha qui regroupent des plants productifs et de jeunes plantations non encore productives. N'empêche que cette production n'est toujours pas suffisante pour répondre aux besoins de la consommation locale. Celle-ci est estimée à 12 000 tonnes. Le recours aux marchés étrangers est donc inévitable. Malgré tout, le Maroc exporte 2 000 tonnes, soit 20% de la production nationale. Et les perspectives de développement sont encourageantes pour deux raisons. D'abord parce que le marché européen est très demandeur pour ce produit et les prix de vente y sont, de l'avis d'exportateurs marocains, «très intéressants en particulier dans les pays de l'Europe du Nord». Et surtout parce que les concurrents ne sont pas aussi nombreux et agressifs comme dans d'autres filières comme les primeurs.

La production nationale d'avocats s'étend de septembre à mai. Quatre variétés d'avocats dominent le marché marocain : zutano, bacon, fuerté et hass. La première est la plus précoce, étant récoltée de la mi-octobre à la mi-décembre. Quant à la variété hass, connue communément sous l'appellation «harcha» (rugueuse en arabe), elle est la plus tardive puisqu'elle est récoltée de début mars à la mi-mai. C'est aussi la préférée des consommateurs marocains et européens. D'ailleurs, les 2 000 tonnes exportées vers les pays européens sont issues de cette variété. Elle est très demandée car elle résiste mieux aux conditions de transport et elle contient un taux d'huile élevé. La hass n'est pas grosse et elle pèse de 150 à 200 grammes l'unité contre 200 à 500 grammes pour la variété lisse (zutano) et fuerté.

En vue de valoriser ce fruit de grande valeur ajoutée, nous proposons un nouveau procédé écologique d'extraction de l'huile d'avocat, à partir des chutes de la collecte du fruit et des déchets générés par la non commercialisation d'une partie d'avocat dégradée lors de l'exposition prolongée aux étalages des commerçants, selon les résultats de recherche que nous avons réalisés au laboratoire de chimie appliquée. Les analyses et le contrôle de ces huiles ont montré que la teneur en huile est de l'ordre de 30% et que cette huile a une grande valeur nutritive et cosmétique c'est pour ces raisons que nous proposons de développer les recherches en vue d'industrialiser ce procédé.

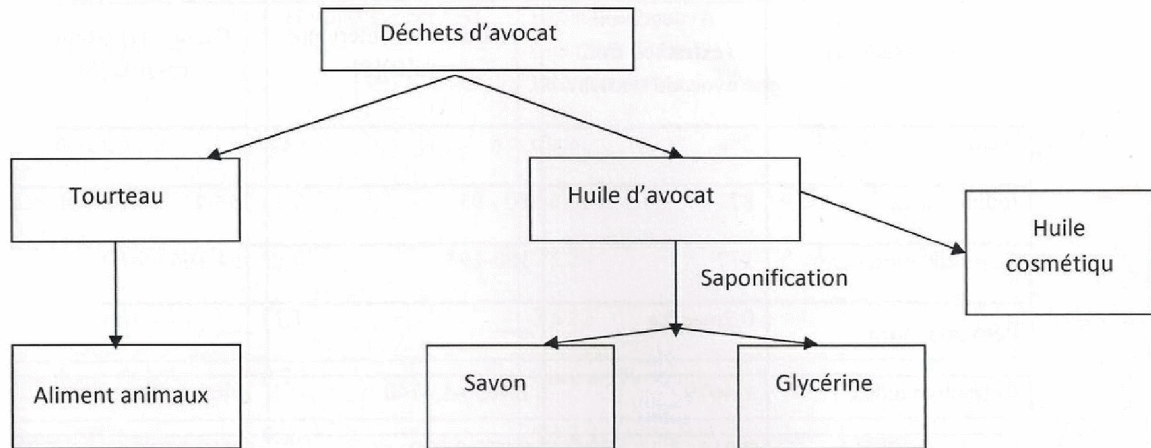
Le procédé que nous avons proposé vise la valorisation des déchets oléicole en utilisant les mêmes équipements employés pour l'extraction de l'huile d'olives selon le procédé de deux phases par centrifugation. Tout en nous fixant les objectifs suivants :

1. Proposer cette méthode d'extraction de l'huile d'avocat.
2. Fabrication du savon à partir de l'huile d'avocat extraite.
3. Extraction de la glycérine.
4. Utilisation du tourteau d'avocat comme aliment pour les animaux.
5. mesure de la résistivité électrique de l'huile d'avocat.

Mise au point des différentes méthodes d'extraction de l'huile d'avocat :

Le procédé que nous avons mis au point permet de valoriser les déchets agro-alimentaires:

***Exemple de valorisation de déchets d'avocat.***



**2°) Procédé d'extraction de l'huile d'avocat :**

Vue que l'extraction de l'huile d'avocat est difficile à extraire car en suivant la méthode d'extraction de l'huile d'olive traditionnelle nous obtenons une émulsion c'est pour cela que nous avons modifié les méthodes d'extraction et nous proposons deux nouveaux procédés:

**Extraction de l'huile d'avocat après séchage du fruit :**

L'extraction de l'huile d'avocat est délicate car elle se trouve sous la forme d'une très fine émulsion dans les cellules du fruit. Il existe un procédé qui traite le fruit séché.

Le traitement du fruit coupé en lamelles séchées (80°C pendant 24 h), ou séchage au soleil pendant 3 jours. Après déshydratation (humidité résiduelle : 5 à 9 %), de la pulpe on procède à l'extraction trois fois par l'hexane comme solvant, l'élimination du solvant sous vide donne l'huile d'avocat ayant les caractéristiques suivantes.

*Tableau 1 : la comparaison des caractéristiques de l'huile d'avocat extraite, avec ceux de la littérature de l'huile d'avocat et d'olive.*

Characteristics	Avocado oil (extracted from avocado wastes)	Avocado oil (literature results)[8]	Olive oil (literature results) [6]
Acidity	2%	< 6	0
Iodine Index	87	80 - 95	75-94
Saponification index	177	180-195	184-196
Peroxide index	0,2meq/kg	—	—
Refractive index	1,4679	1,4650-1,4740	1,468-1,470
Density (to 20°C)	0,915	0,915-0,920	0,910-0,916

***Procédé deux phases :***

Le procédé d'extraction de l'huile d'avocat par centrifugation à deux phases se fait dans les mêmes conditions d'extraction des huiles d'olives, le procédé est le plus rentables et écologique que les études récentes ont révélés de grande intérêt industriel et environnementale parce qu'il ne génère pas de rejets liquides comme les margines connue par leurs polluants, il permet l'obtention de rendements en huile légèrement plus élevés ainsi qu'une diminution de l'acidité des huiles produites.

***Résultats :***

La double extraction de l'huile brute d'avocat par l'hexane à partir de 1kg d'avocat séchée a permis d'obtenir 250g d'huile.

L'huile d'avocat extraite présente les caractéristiques suivantes, décrites dans le tableau 1, qui regroupe les caractéristiques de l'huile d'avocat et de l'huile d'olive selon la littérature.

La comparaison des caractéristiques de l'huile d'avocat obtenue par notre procédé avec celles relatives aux normes internationales (NI) montre que cette huile présente des indices d'iodes et de peroxyde et de saponification tout à fait conforme aux NI tandis que l'acidité reste un peu élevé.

L'analyse par HPLC a donné la composition en acide gras de l'huile extraite :

La composition en acide gras de l'huile d'avocat extraite à partir des déchets et celle de l'huile d'olive et l'huile d'avocat selon la littérature est représentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : la comparaison des valeurs des acides gras de l'huile d'avocat extraite, avec ceux de la littérature de l'huile d'avocat et d'olive.

Acides Gras	Huile d'avocat (%)	Huile d'avocat (résultats de la littérature) (%)	Huile d'olive (résultats de la littérature) (%)
Myristic C14:0	0,3	trace	<0,1
Linoleic C18:2	11,2	6 à 16	9-24
Palmitic C16:0	19,6	7 à 29	8-21
Palmitoleic C16:1	11,1	3 à 12	<4
Linolenic C18:3	0,7	trace à 5%	<2
Stearic C18:0	0,8	0,1 à 1,5	1-4
Oleic C18:1	55,0	42 à 73	53-75

### **3°) Fabrication du savon à partir de l'huile d'avocat extraite à partir des déchets d'avocat.**

Saponification de l'huile d'avocat :

L'obtention du savon à partir de l'huile extraite se fait en traitant par hydrolyse l'huile en présence de la soude caustique à 30%. Après le chauffage à reflux, le mélange réactionnel est traité par chlorure de sodium (relargage). Ceci donne deux phases, une phase solide qui est le savon et l'autre, aqueuse, riche en glycérine. Après repos d'une nuit on sépare le savon de la phase aqueuse, on le lave à l'eau et on le sèche à l'air libre. Le savon obtenu est, à vue d'œil, de bonne qualité.

- Aspect propre
- Lisse au toucher
- Couleur vert claire
- Mousse abondante et consistante.

### **4°) Extraction de la glycérine**

La solution aqueuse alcaline issue de la fabrication du savon ainsi préparé est neutralisée par l'acide chlorhydrique concentré.

Après évaporation et distillation, on isole la glycérine (ou glycérol) avec un rendement de 40%.

- Liquide incolore
- Anhydre et pur
- Sirupeux, à saveur sucrée

- Densité de 1,24
- Point de distillation élevée.

**5°) étude technico-économique :**

Par cette présentation nous donnons l'expérience et les démarches suivies par le centre d'incubation et d'accueil d'entreprises innovantes de l'ENIM créé par le réseau marocain d'incubation et d'essaimage RMIE-CNRST pour la création des sociétés innovantes sur la base des travaux de recherche réalisés par les chercheurs et les porteurs de projets.

Les avantages technico-économiques sont nombreux :

- Avec la même unité de production d'huile d'olive on peut produire l'huile d'avocat.
- La période oléicole est de 100 jours : de fin octobre au mois d'avril
- La production d'huile d'avocat ne commencera qu'à partir de mois de mars ce qui va permettre d'avoir du travail toute l'année.
- Le procédé de deux phases permettra de limiter le volume des margines pour la production d'huile d'olive et l'eau de végétation d'huile d'avocat
- Ces eaux seront traitées sur place selon le procédé breveté par S.KITANE et collaborateur.

Selon l'étude technico-économique prévisionnelle, nous avons procédé de la manière suivante :

On a suivi le mode d'extraction de l'huile d'olive à deux phases :

Pour une unité de traitement de 2 tonnes de fruits par jour, il faut prévoir :

- Un local de 80 à 100 m<sup>2</sup> pour l'atelier d'extraction, non compris le magasin de stockage.
- La même machine d'extraction d'huile d'olive à deux phases.
- Une cuve de 250 litres avec agitateur en inox et chauffage.
- L'abri de séchage d'avocat et de ces déchets sous serre
- Des décanteurs
- Des filtres
- Des cuves en inox de 1000 litres pour le stockage d'huile.

La main d'œuvre nécessaire est de 5 ouvriers et d'un contremaître. Il est évidemment indispensable avant de créer un atelier d'extraction d'huile, de faire une étude économique, afin d'en estimer la rentabilité. En général, l'extraction d'huile est faite sur les écarts de tirage de fruits destinés à la vente, à l'exportation en frais. A titre d'ordre de grandeur, on considère qu'un atelier d'extraction doit traiter 100 tonnes de fruits par an pour être rentable. Si on estime les écarts de tri à 25%, la production d'avocat doit être de 400 tonnes, ce qui nécessite 50 à 60 hectares de verger d'avocatiers. Un atelier coopératif de cette importance ou plus grand, si les tonnages de fruit à traiter le justifient, peut être une solution plus économique. Enfin, un arboriculteur équipé pour les avocats produits sur son verger peut

acheter des fruits produits dans la région. Il s'agit, le plus souvent, d'avocat récoltés sur des arbres de semis de Guinée dont la teneur en huile est variable.

Etude technico-économique :

- Matière première : 78%
- Main d'œuvre : 7%
- Frais généraux : 15%
- Prix de revient : 100%
- Taux de marge : 22% à 30%

La capacité de traitement par jour est de 2 tonnes d'avocat. Le travail pendant l'année sera entre septembre et décembre, d'une moyenne de 100 jours. Ce qui nous donne qu'en 100 jours, on va traiter : 200 Tonnes. D'après les études faites précédemment le pourcentage d'huile d'avocat varie entre 10 et 30% ce qui nous fait une moyenne de 15%. 200 tonne représente 100% de notre pourcentage, cela nous donne 30 000 litres d'huiles d'avocat.

Le prix des déchets d'avocat varie entre 2 et 8 dh le kilo. Ce qui nous donne une moyenne de 5dh le kilo, cela fait un total d'achat de 100000dh.

Le prix de revient est de 100% cela nous donne le prix de 30000litres d'huile d'avocat est de 1282051dh.

Le prix d'un litre d'avocat est de 43dh ( $1282051 / 30000 = 42.73 = 43$ dh).

Le taux de marge est de 13dh ( $43 * 30 / 100 = 12,9$ )

Prix de vente de départ de l'usine est de 56dh ( $13 + 43 = 56$ )

Le chiffre d'affaire est de 1680000dh ( $30000 * 56 = 1680000$ )

Le bénéfice est de 400000dh brut (le chiffre d'affaire – prix de 30000 litres de huiles d'avocat)

L'amortissement :

La méthode d'amortissement retenue est la méthode linéaire.

Les taux d'amortissement utilisés sont :

- Logiciel : 30%
- Bâtiment : 5%
- Matériel est emballage industriel : 15%
- Matériel de transport : 20%
- Agencement, Aménagement, Installation : 10%

- Equipement de bureau : 10%
- Matériel informatique : 5%

Investissement et financement :

Investissement en Dh	
Terrain et Batiments	2 000 000
Investissement matériel et immatériel	2 000 000
Fond de roulement	1 000 000
Total investissement	5 000 000

Pour voir plus clair on a calculé quelques Ratios de rentabilité :

Ratios de rentabilité économique :

Cet indicateur mesure la rentabilité mesurée par rapport aux actifs immobilisés par l'entreprise pour produire. On la calcule donc en faisant le rapport suivant :

$$\text{Rentabilité économique} = (\text{résultat net} * 100) / \text{investissement total}$$

Dans notre cas ce ratios est de :  $(400000 * 100 / 5000000) = 8\%$

Ratios de rentabilité commerciale :

Ce ratio mesure la rentabilité de l'entreprise en fonction de son volume d'activité. Il se détermine de la manière suivante : **Rentabilité commerciale = (résultat net\*100)/chiffre d'affaire**

Dans notre cas ce ration est de :  $400000 * 100 / 1680000 = 23.80\%$

**6°) Conclusions**

Lors de cette étude sur la valorisation des déchets d'avocat marocains : produit périmes ou agricole. Nous avons proposé deux schémas de traitement qui permet d'extraire l'huile d'avocat, procédé après séchage de l'avocat et extraction par solvant l'hexane ce qui conduit à l'huile d'avocat que nous avons caractérisée, et le procédé par centrifugation à deux phases à froid selon le procédé d'extraction de l'huile d'olives avec double avantage, qualité d'huile supérieure acidité faible et profit économique suite à la valorisation de l'équipement d'industrie d'huile d'olive doublement employés.

L'huile d'avocat, qui après purification peut être utilisé dans la cosmétique ou dans la fabrication de certains médicaments. Et qui peut être utilisé aussi pour la fabrication du savon d'avocat riche en protéine et qui est très utilisé. Ainsi que l'extraction de la glycérine. Une fois le produit épuisé, il est valorisé comme complément alimentaire pour le bétail.

Les résultats obtenus restent très prometteurs et nous encourage à vouloir concrétiser le procédé au Maroc.

**6°) Références Bibliographies**

- [Giz. 2010] Giz-2010 étude de la faisabilité de nouvelles techniques pour la valorisation des déchets dans le secteur agroalimentaire au Maghreb Arabe.
- [ARJ 2005] HASSAN EL ARJANE. Projet incubé à l'ENIM et soutenu par RMIE-CNRST Maroc numéro FSP / RMIE-32 /05.
- [SEB 2004] A.Sebban, A. Bahloul, M. Saadoune, A. Ait Kassi, M. Berrada, J.-L. Pineau, S. Kitane. Schéma de valorisation des grignons d'olives produits par les maasras marocaines DECHETS SCIENCES ET TECHNIQUES numéro 34. année 2004.
- [KIT 2003] S.KITANE , A.SEBBAN ET A.BAHOUL .Procédés et schéma de traitement pour la valorisation de déchets agro-alimentaires :fabrication de savon biodégradable,du furfural,de la glycérine et du charbon actif des grignons d'olive brevet numéro 27014 déposé à l'OMPIC le 20 /06/2003.
- [KIT 2007] S.KITANE, A. SEBBAN, A. BAHLOUL et J.L.PINEAU .Procédé écologique de traitement et de valorisation de rejets solides et des margines. Brevet numéro 29150 déposé à l'OMPIC le 14 /03/2007.
- [ALA 2001] A.Alaoui, Z.Charrouf, G.Dubreueq, E.Maes, JC. Michalski et M.Soufiaoui. Saponins from the pulp of the fruit of argania spinosa (L) skeels (sapotaceae), in : international symposium of the phytochemical society :lead compounds from higher plants. Lausanne.2001.
- [GAI 87]. GAILLARD J.P.,. L avocatier, sa culture, ses produits. Editions G.P. MAISONNEUVE et LAROSE et A.C.C.T.; 419 p. année1987.

---

# Annexe 4

---

**CONGRES INTERNATIONAL :  
MANAGEMENT ET INGENIERIE DES  
SYSTEMES**

**Actes du premier congrès international  
MIS 2012 à Rabat (Maroc)  
(29 et 30 novembre 2012)**

Les articles publiés dans cette revue scientifique n'engagent que la  
responsabilité de leurs auteurs.

Dépôt légal : 2012 PE 0120  
ISSN : 2028 – 9421

**Président du congrès**

**Directeur de la revue « MIS »**

*Docteur Aziz SOULHI, Professeur à l'ENIM*

## **Etude de la résistivité électrique des huiles végétales : Argan, Avocat, Olive**

*K.LAKRARI\*, S. KITANE\*\*, N.HASSANAIN\*\*\*, M.ALAOUI EI BELGHITI\*\*\*\*.*

*\* Laboratoire de Chimie Physique Générale, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal,  
Rabat(Maroc) E-mail lkhouloud@hotmail.com*

*\*\* Ecole Nationale de l'Industrie Minérale « ENIM » (Maroc) E-mail kitane@enim.ac.ma*

*\*\*\*Laboratoire de Physique des Matériaux, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal  
Rabat(Maroc). E-mail najem.hassanain@gmail.com*

*\*\*\*\* Laboratoire de Chimie Physique Générale, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal,  
Rabat(Maroc) E-mail daf-101@hotmail.com*

### **Résumé**

L'objectif de ce travail est de faire une étude la résistivité électrique des huiles d'argan . l'huile d'avocat et d'olive ainsi d'analyser le comportement de la résistivité électrique en fonction de la température, pour les huiles végétales : argan, avocat, olive. Cette étude a montré que la résistivité électrique diminue quand la température T augmente (20 -140 C°). Nous avons attribué cette diminution à l'effet de l'agitation thermique sur la désorientation des molécules de l'huile.

### **1°) Introduction**

L'arganier (*Argania spinosa*, Skeels L., Sapotacées) est un arbre endémique du sud-ouest marocain, où il joue un rôle socio-économique et environnemental très important. Il est profondément implanté dans la vie quotidienne des populations rurales et joue un rôle fondamental dans leur subsistance. L'huile d'argan constitue le produit principal de l'arganier. Elle est utilisée en alimentation et en médecine traditionnelle pour ces nombreuses vertus.

Elle a été introduite sur le marché européen en août 1997. Elle est commercialisée à des fins alimentaires dans divers Etats-membres de la Communauté européenne (Allemagne, Belgique, Angleterre et Espagne), en Suisse, aux Etats-Unis, au Japon et au Canada.

En 2002, l'agence française de la sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) a officiellement permis la vente de l'huile d'argan en France.

L'extraction d'un litre d'huile d'argan nécessite plusieurs heures de travail pénible et intense et une moyenne de 34 kilogrammes de fruits secs (la production de sept à huit arbres). En conséquence, l'huile d'argan est un produit rare et cher et son prix est plus élevé que celui des autres huiles alimentaires.

En 2006, dans les pays développés, le prix moyen d'une bouteille de 100 ml d'huile d'argan était autour de 20 Euro. Un tel prix est susceptible d'inciter des comportements sans scrupules et, par conséquent, il y a un besoin pressant de s'assurer de la qualité de l'huile d'argan.

**Extraction de l'huile d'Argan :**

L'huile d'argan de bonne qualité est une huile extraite par pressage mécanique des amandons contenus dans le fruit oléagineux de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels, famille des Sapotacées). La source de l'huile d'argan est un fruit issu d'un arbre sauvage du Sud Ouest marocain. Elle est consommée localement depuis plusieurs siècles.

Cette huile est très appréciée dans la diététique moderne, elle est constituée de 80% d'acides gras insaturés et elle est relativement riche en vitamine E et en antioxydants. En plus de son utilisation alimentaire, l'huile d'argan est utilisée dans la cosmétique pour les soins corporels, pour le traitement des gerçures des peaux sèches ou déshydratées. A long terme, l'application d'huile d'argan conduit à une réduction de la vitesse d'apparition des rides et à la disparition des cicatrices provoquées par la rougeole ou la varicelle, dans le traitement de l'acné juvénile, de la varicelle et des rhumatismes. Elle présente des propriétés hypocholestérolémiantes et elle est indiquée chez les patients présentant des risques d'artériosclérose.

Le procédé d'obtention de l'huile d'argan, comporte une phase de séchage des fruits, qui sont ensuite dépulvés. Les noix contenues dans ces fruits sont concassées manuellement, et les amandons ainsi obtenus sont pressés dans une presse mécanique ou par un procédé traditionnel. Les inconvénients de ce procédé se manifestent par un déficit économique se traduisant par la perte de 20 à 25 % d'huile dans les tourteaux et une dégradation sanitaire et hygiénique. L'huile produite se conserve mal en plus de la pénibilité du procédé d'extraction. Par contre les deux procédés ne contiennent aucun traitement de raffinage.

**2°) Composition Chimique de l'huile d'argan en comparaison avec l'huile d'avocat et l'olive :**

*Tableau 1 : Principales constantes physico-chimiques des huiles d'argan et celle de l'huile d'avocat et l'huile d'olive données par la littérature.*

Constantes	Argan	Huile d'avocat à partir des déchets	Huile d'olive résultat de la littérature
Indice de réfraction à 20 (C°)	1.468	1,4679	1,468-1,470
Indice d'iode	98.1	87	75-94
Indice de saponification	195.2	177	184-196

*Tableau 2 : les valeurs des acides gras de l'huile d'argan et celle de l'huile d'avocat et l'huile d'olive données par la littérature.*

A.G/ Type	Argan	Avocat	Olive
Myristique C14:0	0.15	0,3	<0,1
Pentadecanoïque C15 :0	0.06	-	-
Palmitique C16:0	11.57	19,6	8-21
Palmitoléique C16:1	0.09	11,1	<4
Hepatadecanoïque C17:0	0.09	-	-
Stéarique C18 :0	5.32	0,8	1-4
Oléique C18 :1	43.15	55,0	53-75
Linoléique C18 :2	38.86	11,2	9-24
Linoléique C18 :3	0.1	0,7	<3

### **3°) Etude de la résistivité électrique de l'huile d'argan et d'avocat :**

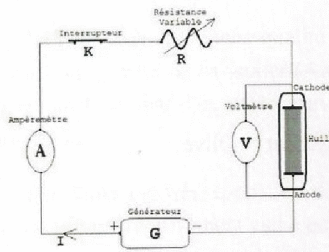
Les propriétés électriques des huiles dépendent de leur composition chimique et moléculaire. La résistivité électrique  $\rho$  et la rigidité diélectrique, sont les caractéristiques électriques principales d'une substance. La conductivité électrique d'une huile est due à la présence des charges libres, et sous l'effet d'un champ électrique, ces charges se déplacent pour donner ainsi un courant électrique. La résistivité électrique est l'inverse de la conductivité électrique  $\sigma$ .

La résistivité électrique est un paramètre fondamental, non destructif dans la caractérisation des composés. L'étude de la conductivité électrique en fonction de la température des huiles : argan d'avocat et l'huile d'olive nous permettra de mieux caractériser ces huiles.

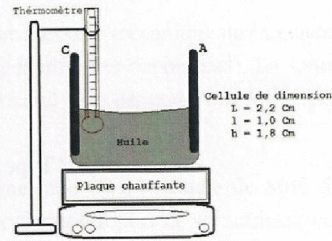
#### 1) Matériel et méthodes :

Nous avons utilisé la méthode de mesure de résistivité dite "des deux points": la résistance électrique de l'huile est déterminée en mesurant le courant et la différence de potentiel (ddp) entre les deux électrodes de la cellule (voir montage).

Schéma de la cellule utilisée pour mesurer la résistivité électrique.



a. Montage de l'appareillage utilisé.



b. cellule de mesure de la résistivité.

Méthodes :

Nous avons utilisé la formule suivant, pour mesurer la résistivité électrique  $\rho$ :

$$\rho = R \times \frac{S}{L}$$

Où  $\rho$  représente: la résistivité ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) ; S : la section ( $\text{cm}^2$ ); L : la longueur (cm)

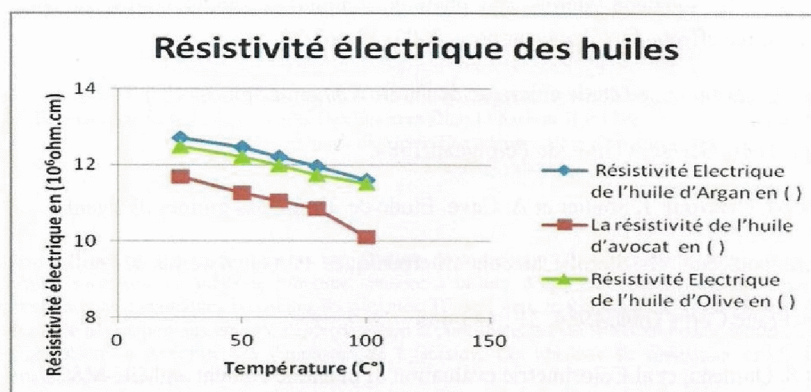
$S = l \times L$  ;  $l = 1.1 \text{ cm}$  ;  $L = 2.2 \text{ cm}$  (distance entre les deux électrodes).

**4°) Résultats :**

Les mesures de la résistivité électrique de l'huile d'argan, d'avocat et l'huile d'olive sont représentées sur le tableau 3.

La température en C°	Résistivité Electrique de l'huile d'Argan en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	La résistivité de l'huile d'avocat en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )	Résistivité Electrique de l'huile d'Olive en ( $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ )
25	12,714	11,700	12,470
50	12,451	11,263	12,217
65	12,200	11,057	11,975
80	11,958	10,857	11,742
100	11,612	10,123	11,519

Figure 1 : Résistivité électrique de l'huile d'argan d'avocat et d'olive.



#### Discussions :

On observe que la résistivité électrique diminue lorsque la température augmente, on peut expliquer cette diminution :

-Par les différents changements chimiques que subit l'huile lors de son chauffage.

-Par l'orientation des molécules, quand la température augmente, (diminution de la viscosité quand la température augmente) ce qui favorise le passage du courant dans l'huile. Tekin et al., ont étudié l'influence de la température sur les mesures de la résistivité électrique de l'huile de soja, ces auteurs ont observés les mêmes variations de la résistivité en fonction de la température. Nos résultats sont en bon accord avec ceux de la référence [Ris 71].

#### 5°) Conclusions

On peut conclure que la température facilite quand elle augmente, la conductivité électrique des huiles que nous avons étudiées. Cette étude nous a permis de faire une comparaison de nos résultats sur le comportement de la résistivité en fonction de la température avec ceux des autres chercheurs travaillant sur le même thème de recherche. Les mesures électriques des huiles en fonction de la température, peuvent être utilisées comme un fort indicateur de la dégradation de la qualité alimentaire des huiles à haute température,

En perspective, nous envisageons compléter notre travail par une étude de la résistivité thermique et de la viscosité de ces huiles, en fonction de la température.

Les mesures physico-chimiques des huiles peuvent donner des informations sur les huiles étudiés, nous envisageons de continuer sur ce sujet : en particulier, nous prévoyons de faire des mesures de viscosité et de conductibilité thermique en fonction de la température.

#### 6°) Références Bibliographies

[Pac 92] Pace et al. 1968; Risman et Bengtsson 1971; El-Al Shami et. 1992

[Cha 2001] Z. Charrouf. Valorisation de l'arganier, résultats et perspectives ; in : Collin G.

Garneau F-X 5<sup>ème</sup> colloque Produits naturels d'origine végétale. Proceeding Actes du colloque de Sainte Foy (Québec) 4. au 9 août 2001. Laboratoire d'analyse et de séparation des essences végétales. 2001 Université de Québec.

## **THESE DE DOCTORAT**

Résumé de la Thèse  
Discipline : Chimie  
Spécialité : Chimie physique

Titre de la thèse :

### **Contribution aux études de Traitement et Valorisation des Huiles Végétales d'Intérêt Ecologique**

#### **Résumé :**

Le travail de cette thèse propose une métrologie innovante pour l'extraction de l'huile d'avocat en adoptant principalement un pré-séchage optimal du mésocarpe et une adaptabilité par un ajustement adéquat aux machines d'extraction de l'huile d'olive. Nous avons d'abord présentée les différents appareillages et méthodes de préparation de l'huile d'olive. En second, nous nous sommes intéressés au traitement et à la valorisation des déchets de margines et de grignons d'olives. Des solutions ont été apportées pour des fins de protection de l'environnement.

Les constats réalisés nous ont permis de valoriser l'industrie oléicole sur l'extraction d'huile d'avocat selon le procédé de deux phases, qui a permis une valorisation des déchets obtenus. Un volet socio économique du développement de l'industrie de l'avocatier est présenté à la fin de cette partie.

Afin d'augmenter le rendement et la qualité de l'huile d'avocat, un procédé d'extraction d'huile d'avocat a été proposé par le séchage sous vide du fruit dénoyauté, suivi de l'extraction à l'éthanol.

En fin, nous avons étudié les propriétés physico-chimiques des huiles d'olives et d'avocats par rapport à d'autres huiles végétales (argan ; colza et tournesol). Cette étude nous a permis de déterminer la qualité des huiles qui peuvent être utiles pour une application dans le domaine technologique (isolation ; transformateur ...).

**Mots-clefs :** Huile d'avocat, huile d'olive, grignon d'olive, margines, viscosité, résistivité électrique, évaporation sous serre, séchage sous vide.

# THESE DE DOCTORAT

Résumé de la Thèse

Discipline : Chimie

Spécialité : Chimie physique

Titre de la thèse :

## **Contribution to the studies of Treatment and Valuation of Vegetable Oils for the Ecological interest**

### **Abstract :**

This thesis proposes an innovative metrology for the extraction of avocado oil by adopting principally an optimal pre-drying mesocarp and an adaptability using appropriate adjustment of the operating parameters of oil extraction machinery in order to treat avocado oil: First, we began by specifying different devices and methods of making olive oil . Second, we were interested in the treatment and the valuation of waste of vegetable and olive grumpy. Solutions were made for the purpose of environmental protection.

The observations made have enabled us to enhance the olive oil industry on the extraction of avocado oil by a method based on two phases. This has allowed the valuation of the obtained waste. A socio-economic component of the development of the avocado industry is presented at the end of this part.

According to the literature review and in order to increase the yield and the quality of avocado oil, we have proposed a method for extracting avocado oil, first by drying fruit pitted, then by extraction with ethanol.

Last but not least, we treated the physicochemical priorities of olive oil and avocados compared to other vegetable oils ( argan , rapeseed and sunflower) .

This study has allowed us to know the quality of the oils and that they can be useful for application in the field of technology (insulation, transformers, ...)

**Key words:** Avocado oil, olive oil, olive pomace, margins or vegetable waters, viscosity, electrical resistivity, evaporation under a hothouse, drying under vacuum.