

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI - CHLEF

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET SCIENCES BIOLOGIQUES

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences alimentaires

Thème

**EXTRACTION ET CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE
DE L'HUILE D'ARGAN PROVENANT D'ARBRES CULTIVÉS
DANS DEUX RÉGIONS DE L'ALGÉRIE
(TINDOUF ET MOSTAGANEM)**

Présenté par : KOUIDRI Mohamed

Soutenu le,

Devant le jury :

Président : M^r DILMI BOURAS A.

Professeur (UHB Chlef)

Promoteur : M^r SAADI A.

Maître de conférences (UHB Chlef)

Examineurs :

M^{me} ALLEM R.

Maître de conférences (UHB Chlef)

M^r BRADA M.

Maître de conférences (CU Khmis Miliana)

M^r BENZAÏD A.

Maître de conférences (UHB Chlef)

Année Universitaire : 2007 - 2008.

TABLE DES MATIERES

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

Chapitre 1 : Généralités sur l'Arganier (*Argania spinosa L skeels*).

1. Historique	03
2. Classification et description botanique	05
3. Aire de Répartition	07
4. Phénologie	09
5. Ecologie et physiologie	10
5. 1. Physiologie de l'arbre	10
5. 2. Facteurs édaphiques et climatiques	10
- <i>Pluviométrie</i>	11
- <i>Humidité</i>	11
- <i>Température</i>	11
- <i>Altitude</i>	11
6. Multiplication de l'Arganier	11

Chapitre 2 : Intérêts et usages de l'Arganier

1. Intérêts écologiques et socio-économiques	13
1. 1. Intérêts écologiques	13
1. 2. Intérêts socio-économiques	14
2. Utilisation des produits de l'arganier	15
2. 1. Fruits	13
2. 2. Feuilles et bois	17

Chapitre 3 : Huile d'Argan

1. Composition Chimique	18
1. 1. La fraction saponifiable	18
- <i>Les acides gras</i>	18
- <i>Triglycérides</i>	19
1. 2. La fraction insaponifiable	20
- <i>Tocophérols</i>	20
- <i>Phytostérols</i>	22

- <i>Alcools triterpéniques</i>	23
- <i>Pigments caroténoïdes</i>	24
- <i>Les saponines</i>	24
2. Propriétés physico-chimiques	26
2.1. Propriétés physiques	26
- <i>Densité</i>	26
- <i>Indice de réfraction</i>	26
- <i>Absorbance dans l'UV</i>	26
2.2.. Propriétés chimiques	27
- <i>Indice d'acide</i>	27
- <i>Indice de peroxyde</i>	27
- <i>Indice d'iode</i>	27
- <i>Indice de saponification</i>	27
3. Propriétés organoleptiques	28
4. Conservation	28
5. Vertus et utilisation de l'huile d'argan	28
5. 1. Les vertus de l'huile d'argan	28
5. 2. Utilisation de l'huile d'argan	30
- <i>En médecine traditionnelle</i>	30
- <i>En alimentation et diététique</i>	30
- <i>En cosmétologie</i>	32

Chapitre 4 : Les différents procédés d'extraction de l'huile d'argan

1. Préparation des amandes pour l'extraction	33
1. 1. Séchage	33
1. 2. Dépulpage	33
1. 3. Concassage	33
1. 4. Torréfaction	33
1. 5. Mouture	34
2. Procédé traditionnel	34
2.1. Malaxage et pressage	34
3. Procédé industriel	34
3. 1. Extraction par pression	34
- <i>Les principaux paramètres influençant le rendement d'extraction par pressage</i>	35
▪ <i>Effet du type de presse</i>	35
▪ <i>Effet de la charge</i>	35
▪ <i>Effet de la granulométrie</i>	36

▪ <i>Effet de la pression</i>	37
▪ <i>Effet de la température</i>	38
3. 2. Extraction par solvant	39
- <i>Les différents types d'extracteurs</i>	39
▪ <i>Extraction à percolation</i>	39
▪ <i>Extraction à chaînes</i>	39
▪ <i>Extraction à bande perforée</i>	39
- <i>Les principaux paramètres influençant le rendement d'extraction par solvant</i>	40

Partie II : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal	42
1. 1. Provenance	42
1. 2. Préparation des échantillons	42
2. Méthodes expérimentales	43
2. 1. Identification biométrique	43
2. 2. Techniques d'extraction et détermination du rendement en huile par amande	43
2. 2. 1. Extraction par solvant	43
2. 2. 2. Rendement en huile par rapport à l'amande	44
2. 2. 3. Etude des caractéristiques physico-chimique de l'huile d'argan	45
- <i>Caractéristiques physiques</i>	45
▪ <i>Densité</i>	45
▪ <i>Indice de réfraction</i>	46
▪ <i>La viscosité</i>	46
▪ <i>Couleur</i>	46
• <i>Extinction spécifique dans l'UV</i>	47
- <i>Caractéristiques chimiques</i>	48
▪ <i>Acidité</i>	48
▪ <i>Indice de peroxyde</i>	49
▪ <i>Indice de saponification</i>	50
▪ <i>Indice d'iode</i>	51
2. 3. 4. Etude des Constituants chimiques de l'huile d'argan	51
- <i>Détermination des acides gras</i>	51
- <i>Détermination des triglycérides par HPLC</i>	53
- <i>Détermination des insaponifiable</i>	53

	▪ <i>Détermination des tocophérols</i>	54
	• <i>Détermination et dosage des stérols par HPLC</i>	55
3. Analyse des données		56

Partie III: Résultats et discussions

Introduction		57
1. Analyse biométrique de certains paramètres liés aux noyaux et aux amandes		57
2. Détermination du rendement en huile		60
2. 1. Effet de la nature du solvant sur le rendement en huile		60
2. 2. Effet de la durée d'extraction sur le rendement en huile		60
3. Etude des caractéristiques physico-chimiques de l'huile		62
3.1. Caractéristiques physiques		62
3.1.1. Densité		62
3.1.2. Indice de réfraction		63
3.1.3. Viscosité		64
3.1.4. Couleur		64
3.1.5. Extinction spécifique dans l'UV		65
3.2. Caractéristiques chimiques		66
3.2.1. Indice d'acide		66
3.2.2. Indice de peroxyde		67
3.2.3. Indice de saponification		67
3.2.4. Indice d'iode		68
4. Etude des constituants chimiques de l'huile		69
4.1. Détermination de la fraction saponifiable		69
4.1.1. Détermination des acides gras		69
4.1.2. Détermination des triglycérides		71
4.2. Détermination de la fraction insaponifiable		74
4.1.1. Détermination et dosage des tocophérols		74
4.1.2. Détermination des stérols		76

Conclusion générale

Liste des figures

Figure 01 : Arbres de l'arganier de la région de Chlef, Mostaganem et de Tindouf.....	07
Figure 02 : Aire de répartition de l'Arganier en Algérie	08
Figure 03 : Aire de répartition de l'Arganier au Maroc.....	09
Figure 04 : Pulpes et noyaux de l'arganier.....	15
Figure 05 : Fruits de l'arganier de Mostaganem.....	16
Figure 06 : Amandes del'arganier.....	16
Figure 7 : Structure du tocol et de la chaîne phytique.....	22
Figure 8 : Structure des Phytostérols	22
Figure 9 : Structure du Schotténol et Spinastérol.....	23
Figure 10 : Structure des saponines.....	25
Figure 11 : Schéma d'un soxhlet.....	44
Figure 12 : Aspects des noyaux d'argan des régions de Tindouf et de Mostaganem.....	59
Figure 13 : Aspects des Amandes d'argan des régions de Tindouf et de Mostaganem.....	59
Figure 14 : Rendement en fonction de la nature du solvant.....	60
Figure 15 : Rendement en huile en fonction du temps chez les deux variétés d'amandes.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition en acides gras de l'huile d'argan selon la norme marocaine	19
Tableau 2 : Triglycérides de l'huile d'argan.....	20
Tableau 3. Phytostérols de l'huile d'argan.....	23
Tableau 4: Effet de l'épaisseur de la charge sur le rendement d'huile extraite.....	36
Tableau 5 : Effet de la granulométrie des amandes sur le rendement en huile extraite.....	37
Tableau 6 : Effet de la pression sur le rendement en huile extraite.....	38
Tableau 7 : Effet de la durée de reflux dans le soxhlet sur l'huile extraite	40
Tableau 8 : Influence la quantité de l'hexane sur l'extraction d'huile	41
Tableau 9 : Analyse biométrique des noyaux et des amandes des régions.....	58
Tableau 10 : Les propriétés physiques de l'huile d'argan des deux régions.....	62
Tableau 11 : Les propriétés chimiques de l'huile d'argan des deux régions.....	66
Tableau 12 : Composition en acides gras des huiles d'argan de Tindouf et de Mostaganem..	71
Tableau 13 : Composition en triglycérides de l'huile de Tindouf et de Mostaganem.....	72
Tableau 14 : Pourcentage des tocophérols de l'huile d'argan de Tindouf et Mostaganem...	76

Liste des abréviations

AG	acides gras
AGPI	acides gras polyinsaturés
°C	degré Celsius
cm	centimètre
cp	centpoise
CPG	chromatographie en phase gazeuse
d ₂₀	densité
DL	Dose létale
FID	détecteur à ionisation de flamme
FT3	triiodothyrosine
FT4	tétraiodothyrosine
g	gramme
HDL	lipoprotéines à haute densité
HPLC	chromatographie à haute performance en phase liquide
HM	huile de Mostaganem
HT	huile de Tindouf
Kg	kilogramme
LDL	lipoprotéines à faible densité
LLL	trilinoléine
LLO	dilinéoléine
LPS	linoléio-palmito-stéarine
λ	longueur d'onde
m	mètre
max	maximum
mg	milligramme
meq	milliéquivalence
min	minute
ml	millilitre
μl	microlitre
μm	micromètre
mm	millimètre
mPa	millipascal
MPa	megapascal
N	normalité
NF	norme française
nm	nanomètre
NM	norme marocaine
OOO	trioléine
OOL	dioléinoléine
PLL	palmito-dilinéoléine
ppm	partie par million
POL	palmito-oléo-linéoléine
POO	palmito-dioléine
POS	palmito-oléo-stéarine
PPL	dipalmito-linéoléine
PPO	dipalmito-oléine
s	seconde
SOO	stéaro-dioléine
TSH	thyrotropine
UVB	ultra violettes B
V	volume

Organismes

CEE	communauté économique européenne
COI	Conseil oléicole international
ISO	organisme international de normalisation
FIL	fédération internationale du lait

Introduction

Les huiles, de manière générale, occupent une place importante dans le secteur agricole et agroalimentaire. La production d'huile végétale est considérée depuis plusieurs années comme l'une des filières les plus prometteuses pour la diversification des productions agricoles dans le domaine des applications alimentaires et non alimentaires.

Les observations épidémiologiques ainsi que les études nutritionnelles menées sur l'animal et sur l'homme ont montré que les huiles végétales alimentaires disposent de nombreux composants doués d'activités biologiques, nutraceutiques et thérapeutiques (BELLUZZI, 2002).

Parmi les huiles végétales actuellement en vogue, figure l'huile d'argan. Cette huile, très proche de l'huile d'olive, est réputée pour ses diverses vertus. C'est une huile très riche en acides gras insaturés (essentiellement l'acide oléique, et l'acide linoléique) (CHARROUF et *al.*, 1997) et en composés antioxydants naturels (fraction insaponifiable) tels que les tocophérols et les polyphénols (CHERKI, 2005). Elle renferme aussi, avec une remarquable distribution, des constituants triglycéridiques, des pigments caroténoïdes (β -carotène) et des stérols, ce qui explique sa polyvalence et son efficacité. La richesse de cette huile en ces constituants, la prédestine à être employée pour des usages multiples : diététiques, nutraceutiques et cosmétiques (CHARROUF, 2002c). Elle en passe de devenir la première production oléagineuse au Maroc.

L'huile en question est extraite à partir des amandes de fruits d'un arbre millénaire appelé « Arganier » (*Argania spinosa*), appartenant à la famille des sapotacées. C'est un arbre endémique Marocco-Algérien qui pousse à l'état spontané et en abondance (1 million d'hectare) dans les zones arides et semi arides du Sud-ouest marocain. Quelques populations de cet arbre existent aussi en Algérie précisément dans les régions de Sud-ouest (région de Hamada de Tindouf), le long des berges des oueds (BAUMER et ZERAIA, 1999). Selon les estimations des services de conservation des forêts de Tindouf, l'arganeraie algérienne qui formait une couverture végétale naturelle d'environ 40 000 ha dans la wilaya de Tindouf, ne recouvre plus aujourd'hui qu'une superficie avoisinant les 3 000 ha (MILAGH, 2007).

La production d'huile d'argan au Maroc (où les pouvoirs publics accordent beaucoup de crédit à sa promotion et à son développement) joue un rôle socio-économique capital en créant des milliers d'emplois. Ces emplois garantissent la survie de plusieurs familles et fixe les populations locales dans leurs régions d'origine (limitation du phénomène d'exode rural). En plus des débouchés qu'elle engendre, la production d'huile d'argan constitue aussi une source de devis non négligeable pour le Maroc.

Malheureusement, cette plante (qui semble faire le bonheur de nos voisins marocains) se trouve actuellement, dans notre pays, en voie de déperdition. Elle est restée, jusqu'à présent, peu étudiée et sous exploitée.

Compte tenu de l'importance de l'arganier et de son huile, il était de notre devoir d'entreprendre quelques travaux de recherche afin de maîtriser son développement et son exploitation. C'est dans cet esprit que nous avons proposé, dans le cadre d'un projet de recherche (visant la préservation et la valorisation de l'arganier), plusieurs thématiques telles : la micropropagation, les huiles essentielles, le bouturage par voie traditionnelle, etc.

La présente étude entre également dans ce contexte et vise à caractériser les paramètres physico-chimiques des huiles d'argan algériennes provenant de deux régions distinctes (Tindouf et Mostaganem). Cette caractérisation pourrait nous amener à déceler des différences positives (par rapport aux huiles Marocaines) qui joueront en faveur de nos produits.

L'étude sera conduite en plusieurs étapes. Après une évaluation biométrique effectuée sur les noyaux et les amendes de fruits, nous procéderons à la quantification du rendement en huile en fonction du temps d'extraction. Puis, nous réaliserons des analyses physico-chimiques afin de mettre en évidence certains critères de qualité (acidité, indice de peroxyde et l'extinction spécifique) et de pureté (densité, indices de : réfraction, iode et saponification) de nos huiles. L'identification de certains constituants de nos produits comme : les acides gras, les triglycérides et les insaponifiables (tocophérols et stérols) sera effectuée par les analyses chromatographiques CPG et HPLC.

Généralités sur l'Arganier

1. Historique

L'essentiel des informations collectées à ce sujet se rapportent à l'arganier marocain. Très peu de données existent sur l'arganier algérien (pour ne pas dire aucune) à cause sans doute de son importance économique qui reste très limitée dans notre pays.

D'après les résultats de la recherche bibliographique entreprise sur le sujet, Il est probable que l'arganier soit installé depuis des millions d'années (on évoque le chiffre de 85 millions d'années) quand les dinosaures régnaient sur la planète. L'arbre à certainement une origine très ancienne (Tertiaire), au moment où l'Europe jouissait d'un climat tempéré chaud ou subtropical, comme en témoigne la découverte en Sardaigne d'un genre tellement semblable qu'il a été appelé *Arganioxylon* (MSANDA et al., 2005).

Les premières informations rapportées sur l'arganier sont signalées par les géographes et médecins arabes qui ont sillonné la région du Maghreb. Parmi eux, le médecin égyptien IBN AL BAYTAR, qui a décrit, dès 1219, dans son ouvrage intitulé « traite des simples », l'arbre et la technique d'extraction de l'huile par les autochtones (BENZYANE, 1995).

HASSAN EL WAZZAM dit Léon l'Africain (1515), évoque l'existence d'arbres épineux produisant un fruit dénommé « Argan » à partir duquel on extrait une huile servant pour l'alimentation et l'éclairage (BENZYANE, 1995).

De même certaines sources indiquent que les Phéniciens ont connu l'arbre et l'ont exploité pour en extraire ses huiles (particulièrement dans la région d'Essaouira au Maroc).

En outre, les récits des voyageurs et des agents consulaires anglais au Maroc, au 18^{ème} siècle, révèlent que les forêts d'arganier étaient très denses et s'étendaient d'Ouadaï au Nord de Safi, aux confins du Sahara (HACHEM, 2004).

En 1737, CARL VON LINNE classe l'arganier, dans son « *Hortus Chifortianus* », sous le nom de *Sideroxylon Spinosun L* du genre *Rhammus* (*Sapotacées*) (GASMI, 2001).

SCHOUSBOE, Consul Danois au Maroc en 1791, publie ses observations sur la flore marocaine et en particulier sur l'arganier. En 1801, de nombreux auteurs tels : CORREA DE SERRA (1806), CANDONNE (1844), VICOMTE DE NOE (1853) et ENGLER (1897), reprendront ses écrits et complètent sa description de l'arbre (RADI, 2003).

En 1888, COTTON isole un principe actif à partir du tourteau du fruit de l'arbre et l'identifie comme un mélange de saponines et l'appelle arganine (RADI, 2003).

LEMAIRE, en 1926, publie à la suite de ses missions dans le Souss un premier article sur la végétation du Sud-ouest marocain, citant deux types d'arganeraies : celle à *Euphorbia Echinus* du littoral atlantique et celle à *Hesperola Barnum Platycarpum* (Maire) des montagnes d'Adar- ou- Amane ébauchant la première classification d'arganeraie des plaines et des montagnes.

En 1929, BATTINO s'intéresse à l'huile d'argan et à d'autres produits de l'arganier notamment l'arganine isolée par COTTON et à laquelle il prête une action lénolytique in vivo et in vitro.

En 1938, EMBERGER publie «les chèvres et l'arganier» tandis qu'en 1965, MONNIER, ingénieur des eaux et forêts, montre déjà que l'exploitation abusive et le défrichement sont les deux principaux dangers qui menacent l'arganier.

Actuellement l'arganier au Maroc couvre plusieurs milliers d'hectares. Vu l'intérêt qu'il présente sur le plan écologique, certains pays l'ont introduit pour enrichir leur patrimoine forestier. Parmi ces pays on peut citer : la Hollande (1697), l'Angleterre (1711), la France (1852), les Etats Unis (1927) et actuellement la Tunisie, la Libye (Golfe de Syrte) et même la Palestine occupée (Israël) tentent de l'introduire (BENZYANE, 1995).

2. Classification et description botanique

Le genre *Argania Roem et Schult* est monotype. Il appartient au phylum des Ebénales et à la famille tropicale et subtropicale des Sapotacées qui compte une cinquantaine de genres et plus de 600 espèces (M'HIRIT et *al.*, 1998).

Selon QUEZEL et SANTA (1962) in TAIEB BRAHIMI, (2005) et BEN ABEDASSALEM (2005), l'arganier (*Argania spinosa (L.) Skeels*) appartient à :

Embranchement : Spermaphytes

S/ Embanchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones.

S/ Classe : Gamopétales.

Ordre : Ebénales.

Famille : Sapotacées.

Genre : *Argania*.

Espèces : *Argania spinosa L. Skeels*.

Nom vulgaire : Argan (anglais), Arganier (français).

L'arganier, *Argania spinosa (L.) Skeels* (synonymes *Argania sideroxylon Roem et Schult.*, *Sideroxylon spinosum L.*) est le seul représentant, en Algérie et au Maroc, de la famille tropicale des Sapotacées. Le nombre chromosomique de cette espèce est de $2n = 20$ chromosomes (TAIEB BRAHIMI, 2005 et BEN ABEDASSALEM, 2005).

L'arganier, à l'état adulte, lorsqu'il n'est pas mutilé ou soumis à l'action des troupeaux, est un arbre de grande taille (pouvant dépasser les 8 à 10 m de hauteur) à tronc court et tourmenté et avec une grande couronne (figure 1). Dans beaucoup d'endroits, l'arganier est réduit à l'état de buissons médiocres (parce qu'il est souvent brouté à outrance par les caprins et les camelins).

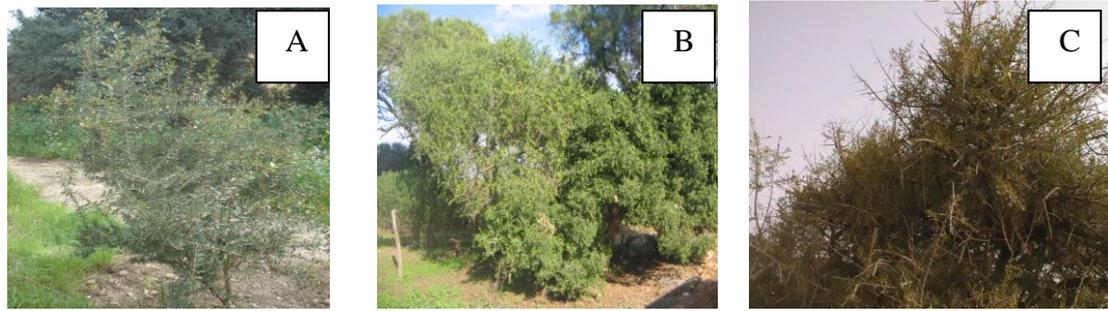


Figure 1 : Arbres adultes de l'arganier de la région de Chlef (A), Mostaganem (B) et de Tindouf (C).

L'arganier possède un bois très dur et lourd avec une écorce rugueuse craquelée en "peau de serpent". Il possède des rameaux aux extrémités épineuses et des feuilles subpersistantes, d'un vert plus clair dessous que dessus, coriaces, alternes ou fasciculées, ovales à lancéolées, atténuées à la base en un court pétiole (GASMI, 2001).

D'après FAOUZI (2006), l'arganier connaît une certaine polymorphie qui laisse penser que le peuplement d'arganiers, malgré son uniformité, est hétérogène. En effet, l'auteur en question a pu distinguer les individus épineux (à feuilles larges et longues et à feuilles larges et courtes) et ceux dépourvus d'épines (rameaux flexueux et retombants).

L'arganier est une espèce monoïque à fleurs hermaphrodites apparaissant au printemps sous la forme de petits glomérules axillaires et sessiles. Elles sont pentamères et à pétales soudés.

Le fruit apparaît au bout de 9 à 16 mois et se présente sous plusieurs formes : ovale, arrondie, fuseau, court, globuleux et de types intermédiaires. Les fruits peuvent avoir des calibres variés (2,5 à 4 cm de long contre 1,40 à 2cm de large) (BANI AAMEUR, 2000 ; 2002 ; FAOUZI, 2006).

Les fruits sont de type baie (vert jaunâtre, de forme et de dimension variables) renfermant deux ou trois graines soudées à téguments sclérifiés (fausse drupe). Le transport du pollen par le vent est restreint à de courtes distances, ce qui permet de comprendre l'intervention de mouches (*Calliphoridae*) dans la pollinisation (NERD et *al.*, 1998). Sur ce

point précis M'HIRIT *et al.*, (1998) notent, au contraire, que la pollinisation des fleurs est anémophile à hauteur de 80 % et entomophile à 20 %.

La longue période nécessaire pour la maturation des fruits (environ 9 mois après l'anthèse) est considérée comme un obstacle sévère pour une production fruitière organisée (NERD *et al.*, 1998).

Le fruit entier se compose de 43 % de péricarpe, 52,6 % de coque et 4,4 % d'amande (DRAOUI, 1998).

La racine pivotante peut atteindre 30 m de profondeur à la recherche de l'humidité. De plus, l'arbre est doté d'un réseau très dense de racines superficielles ayant de bonnes capacités de renouvellement (MOKHTARI, 2002). Certains auteurs comme NOUAIM et CHAUSSOD (1991) signalent la présence d'endomycorhizes à arbuscules au niveau des racines d'arganier, dont l'indice de dépendance mycorhizienne relative atteint les 80 % (HACHEM, 2004).

3. Aire de Répartition

Commençant d'abord par présenter les régions d'Algérie où sont localisées les quelques colonies d'arganier restantes. C'est dans la région de HAMADA de Tindouf, plus précisément le long des berges des oueds et de ses affluents que se rencontre l'arganier Algérien (figure 2) (KHALLOUKI *et al.*, 2005 ; MSANDA *et al.*, 2005). Son aire de distribution semble donc très restreinte. Il existe aussi quelques essais d'introduction réussis de cet arbre dans de nombreux endroits du pays comme la région de Stidia (Wilaya de Mostaganem), de Chlef, de Sig (Mascara) et de l'INA d'El Harrach (MEBARKI *et al.*, 2006). Nous ne disposons malheureusement pas de chiffres officiels évaluant la densité réelle de ces arganiers ou leur superficie.

Au Maroc, l'arganier couvre actuellement une superficie d'environ 800 000 hectares. Il se localise essentiellement dans le sud-ouest du Maroc (figure 3), le long du littoral océanique, depuis l'embouchure de l'oued Tensift au nord, jusqu'à l'embouchure de l'oued Drâa au sud (M'HIRIT *et al.*, 1998).

L'arganier se développe aussi dans la plaine du Souss, sur le versant sud du Haut-Atlas occidental et sur les versants septentrionaux et méridionaux de l'Anti-Atlas occidental jusqu'à des altitudes de 1300 à 1500 m (BENZYANE, 1995). Deux petites stations sont signalées dans la haute vallée de l'oued Grou au sud-est de Rabat et dans le piémont nord-ouest des Béni-Snassen, près d'Oujda. Ces deux stations, très isolées, résulteraient d'une dispersion assez récente, probablement par l'homme (FAOUZI, 2006).

Actuellement des études ont déterminé l'existence d'un peuplement de l'arganier au nord oriental du Maroc dans le Rif oriental (TAZI, 2003).

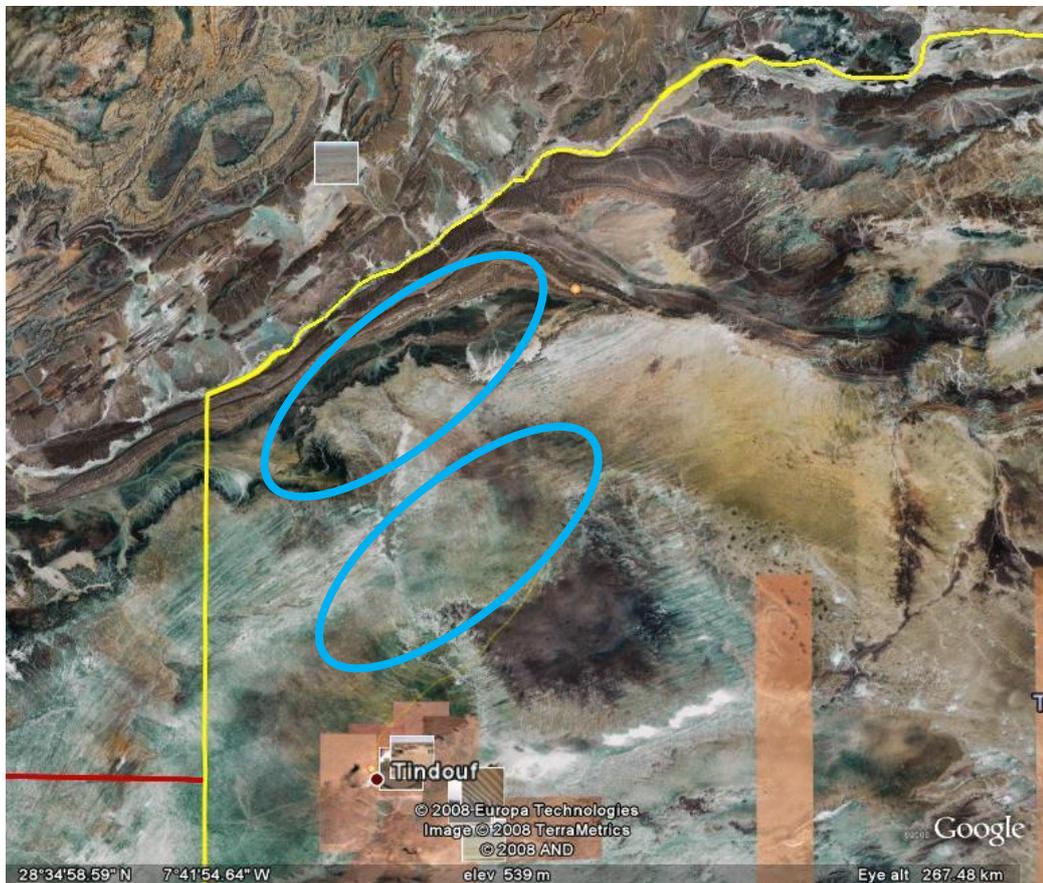


Figure 2 : Aire de répartition de l'arganier en Algérie (région d'Ouarkziz, Tindouf)
(Image satellitaire tirée de Google eart, 2008)

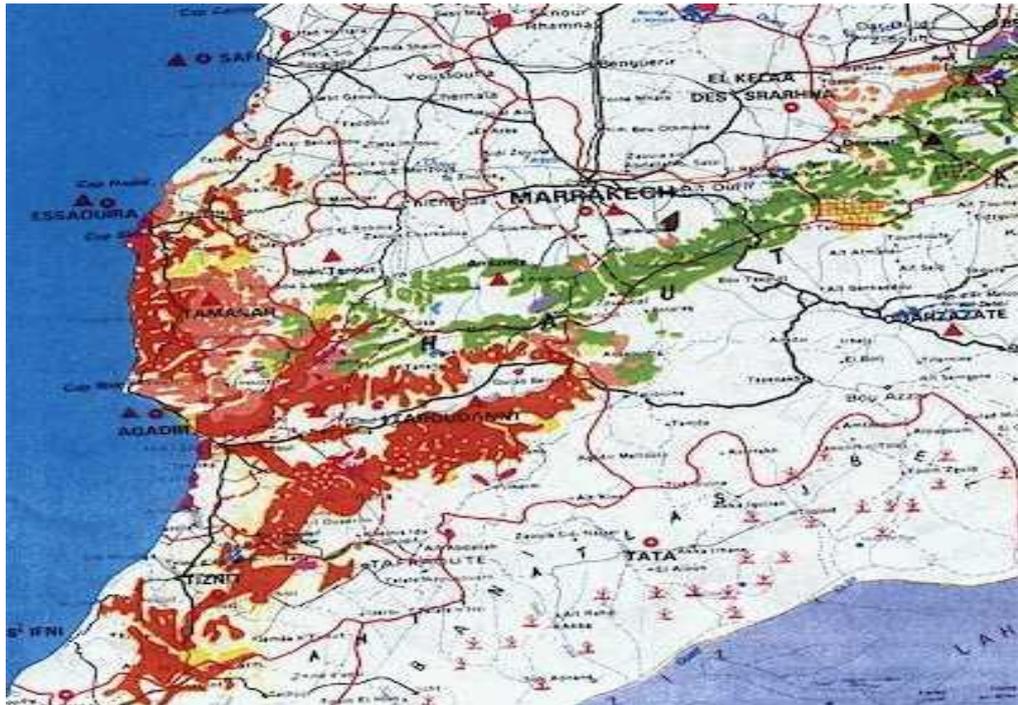


Figure 3 : Aire de répartition de l'arganier au Maroc (M'HIRIT et *al.*, 1998)

 La couleur rouge représente les forêts d'Arganier

4. Phénologie

Selon FAOUZI (2006), la foliation de l'arganier débute en octobre après les premières pluies. Elle est complète en janvier ou les rameaux poussent. Au mois de février, les rameaux continuent à pousser et les fleurs apparaissent de plus en plus nombreuses sur les anciens rameaux et les rameaux en croissances. De mars à fin mai, la floraison atteint son maximum, et les jeunes fruits, qui y sont issus, restent incomplètement développés jusqu'aux premières pluies de l'automne suivant. En juin, arrêt de la croissance des rameaux, avec jaunissement des fleurs de l'année précédente.

Toujours, selon le même auteur (FAOUZI, 2006), en août, la défoliation de l'arganier commence par rapport à cette chronologie. Il est possible de distinguer deux types d'individus, ceux dont la maturation est plus ou moins précoce ou tardive et ceux dont la défoliation est plus ou moins précoce ou tardive.

Les résultats de l'étude phénologique, réalisée par BENCHETTOUH (1999) et conduite sur les sujets d'arganier de la région de Stidia (Mostaganem), ont permis de récolter

pour la première fois des données très intéressantes. Les différents stades phénologiques observés peuvent être énumérés comme suit :

- stade de grossissement des fruits sur les rameaux de l'année précédente ;
- stade de bourgeonnement au début du mois de mars ;
- stade de foliation au mi-printemps (avril) et de floraison qui commence vers le mois d'avril et qui se déroule durant le printemps ;
- stade de maturité et chute des fruits en été (mi- Juin) ;
- stade de nouaison sur les rameaux de l'année en cours (début du mois d'août) ;
- stade de fructification au début du mois de septembre.

5. Ecologie et physiologie

5. 1. Physiologie de l'arbre

Malgré sa résistance à la sécheresse l'arganier se caractérise par une forte dépense en eau. Ceci est dû à la transpiration maximale de $0,05 \text{ g} / \text{m}^2 / \text{s}$ et à un potentiel hydrique foliaire faible. En été, la régulation stomatique est incomplète puisqu'elle conduit à une chute du potentiel hydrique foliaire qui atteint la valeur de $- 4,5 \text{ mPa}$.

L'étude du potentiel hydrique foliaire à différentes profondeurs a montré que les racines de l'arganier possèdent la capacité de puiser l'eau et de la préserver dans son réservoir interne d'où sa résistance à la sécheresse (NOUAIM, 2005).

5. 2. Facteurs édaphiques et climatiques

L'arganier procure un équilibre écologique essentiel à son écosystème. Des études biologiques, physiologiques et génétiques, réalisées sur l'arganier ont montré que cette espèce peut résister à des conditions écologiques d'une extrême sévérité. Il peuple des bioclimats sahariens, arides et semi-arides (sud marocain et sud-ouest algérien) (ALIFRIQUI, 2004).

L'arganier est une essence qui semble être indifférente à la structure physico-chimique des substrats du sol. C'est un arbre qui peut résister à tous les types de sols : salés, superficiels, squelettiques, profonds, pauvres, siliceux ou calcaires (ALIFRIQUI, 2004).

Nonobstant, l'arganier est thermophile et xérophile, il exige un climat doux, à contrastes thermiques très atténués avec une hygrométrie élevée (entre 75 % et 85 %).

- Pluviométrie

Le régime de précipitation varie selon les régions. En semi-aride la pluviométrie est en moyenne comprise entre 250 et 400 mm/an. Dans les régions arides, elle fluctue entre 250 et 150 mm / an et dans les zones sahariennes les pluies descendent au dessous de 100 mm / an (M'HIRIT et *al.*, 1998).

- Humidité

Les arganiers exigent une atmosphère humide surtout en période estivo-automnale, ce qui explique sa présence au niveau des zones littorales de l'océan atlantique où nous enregistrons une forte saturation en humidité par les brumes, brouillards et rosées (M'HIRIT et *al.*, 1998).

- Température

De point de vue thermique, l'arganier essence thermoxérophile, peut supporter les périodes chaudes même prolongées avec un maximum de températures très élevées pouvant dépasser les 50 °C (Tindouf). Cependant, l'arganier peut prospérer en ambiances les plus froides comprises entre 3 et 7 °C voire des périodes où les températures sont extrêmement minimales inférieures à - 2,6 °C (M'HIRIT et *al.*, 1998).

- Altitude

L'Arganier peuple les tronçons altitudinales allant du littoral à 1600 - 1700 m d'altitude sur le versant sud du haut Atlas occidental et l'anti-Atlas (ALIFRIQUI, 2004).

1. 6. Multiplication de l'Arganier

La régénération de l'arganier peut se faire de plusieurs manières (M'HIRIT et *al.*, 1998).

- Par **reboisement**, opération consistant à récolter les graines et à les semer en pépinière pour avoir des plants qu'il faut planter ultérieurement.

- Par **germination naturelle**, technique s'effectuant par le biais des graines qui tombent de l'arbre sur le sol.

- Par **rejet de souches**, qui sont en fait des pousses qui démarrent des plantes mères ayant subies une taille ou suite à un incendie.

- Par **bouturage**, technique consistant à multiplier l'arganier par des boutures. Ces dernières peuvent être récoltées à partir de jeunes plants et / ou de rameaux d'arbres adultes.

- Par **micropropagation in vitro**, opération visant à reproduire des plantes semblables à la plante-mère par la stimulation des capacités naturelles de multiplication végétatives de l'espèce. C'est une technique efficace et rapide dans la reproduction des plants d'Arganier. Elle comprend deux phases : la première consiste à produire des plantules d'arbre d'arganier, et la deuxième permet d'initier et développer des racines sur ces plantules. Avec cette méthode on peut produire des plants maîtrisés enracinés pendant 3 à 4 mois (SCRIBAN, 1999).

Intérêts et usages de l'Arganier

L'arganier, arbre sublime, comme aiment le qualifier les autochtones, peut jouer plusieurs rôles à la fois : écologique, économique et social. C'est une essence à multi usages, puisque chaque partie de l'arbre est utilisée et valorisée.

1. Intérêts écologiques et socio-économiques

1. 1. Intérêts écologiques

L'arganier joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique et dans la préservation de la biodiversité grâce à son système racinaire puissant pouvant se prolonger jusqu'à 30 m de profondeur pour aller chercher l'eau nécessaire à sa survie (RADI, 2003). Grâce à son puissant système racinaire, l'arbre contribue au maintien du sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menacent de désertification une bonne partie de la région (OTTMANI, 1995 ; TARFES, 1997 ; CHARROUF, 2000 ; CALONNE, 2007).

De plus, grâce à son effet ombrage et améliorateur du sol, il permet une production agricole non négligeable dans les conditions climatiques actuelles. Le sol est toujours plus humide sous l'arbre et les activités microbiennes y sont plus importantes, en particulier, pour ce qui concerne la minéralisation d'azote et la disponibilité du phosphore (NOUAIM, 1995 ; RADI, 2003).

Enfin, de nombreux organismes vivants (faune, flore et microflore) sont directement liés à sa présence. Pour la flore, on y trouve, selon les régions de répartition de l'arganier, des éléments crassulescents et souvent aphyllés (*Euphorbia officinarum* ssp. *echinus*, *Euphorbia obtusifolia* ssp. *regis-jubae*, etc.), de nombreuses endémiques (*Asparagus pastorianus*, *Helianthemum canariense*, *Artemisia canariensis*, etc.) et de nombreuses autres espèces de souche tropicale « figurant parmi les plus grandes raretés de la flore Nord Africaine » (*Chloris gayana*, *Kalanchoe faustii*). L'arganier abrite aussi de nombreux éléments halophiles, souvent endémiques (*Suaeda ifniensis*, *Asparagus pastorianus*, *Artemisia reptans*, etc.) (BENCHEKROUN, 1995).

La disparition de l'arganier entraînerait certainement la disparition de plusieurs espèces, provoquant une diminution de la biodiversité dans la région, c'est-à-dire, une réduction du patrimoine génétique, aussi bien pour l'arbre que les autres espèces animales, végétales ou microbiennes (TAIEB-BRAHIMI, 2005).

1. 2. Intérêts socio-économiques

L'arganier joue un rôle socio économique très important. Dans ce cas, l'exemple des arganeraie marocaine est édifiant. Dans ce pays, l'arganeraie s'est toujours prête à une exploitation traditionnelle que les populations usagers continuent à pratiquer. Dans certaines zones du royaume, elle constitue l'unique recours pour la survie de ces populations (CHARROUF, 1998). Elle permet de stabiliser les populations des campagnes et donc de limiter l'exode rurale (BENZYANE, 1995 ; TARFES, 1997). Plusieurs emplois (coopératives féminines) ont été créés dans différentes provinces du royaume afin de valoriser localement les produits de l'arganier. Ces initiatives sont faites dans le cadre d'un « programme d'appui à l'amélioration de la situation de l'emploi de la femme rurale et gestion durable de l'arganeraie » (ZIANE, 2006).

De plus, l'arganeraie fournit un couvert herbacé et feuillage qui alimente le cheptel camelin et caprin. D'après RAHMANI (1989), un hectare d'arganeraie fournit l'équivalent énergétique de 400 Kg d'orge. De même, le tourteau (résidu de l'extraction d'huile à partir d'amandes, riche en glucide et en protéine) peut servir comme aliment concentré pour les bovins soumis à l'engraissement. La pulpe de fruit est utilisée aussi dans l'alimentation des caprins (CHARROUF, 1995).

Son bois est fort apprécié comme matériau de charpente et pour la fabrication de toutes sortes d'outils agricoles. Aussi, comme il est dense, et se consume lentement, il est très utilisé par les autochtones en tant que combustible, sous forme de charbon (OTTMANI, 1995; ZIANE, 2006).

2. Utilisation des produits de l'arganier

L'arganier est l'unique essence qui fournit une exploitation rationnelle de tous ces produits. En effet, chaque partie de l'arbre est utilisée pour des fins économiques. Les divers usages de l'arganier encouragent à la production et à l'exploitation de cette essence.

2. 1. Fruits

Le fruit de l'arganier est une baie composée d'un péricarpe et d'un pseudoendocarpe où sont logées des graines. Les fruits de l'arganier ont différentes formes et dimensions (M'HIRIT et *al.*, 1998). La principale richesse de l'arganier réside dans sa production de fruits. Le fruit contient deux parties de grande importance : la pulpe et l'amande.

- La pulpe de l'arganier est consommée par les camelines et les caprins (figure 4). Elle renferme des glucides (19 %), des protéines (5 %), des lipides (6 %) et de la cellulose (13 %). Les lipides contiennent des glycérides (33,3 %), du latex (63,4%) et de l'insaponifiable (3,3 %). Cette fraction est composée de triterpénoides et de stérols. Les triterpénoides sont représentés surtout par : l'erythrodiol, le lupeol, la β -amyrine, le taraxasterol, le betulinaldéhyde et la betuline. Les stérols se trouvant en faible quantité renferment comme composants dominants : le schotténol et le spinastérol (CHARROUF, 1998).



Figure 4: Pulpes et noyaux de l'arganier.

- Le fruit de l'arganier contient un noyau qui renferme un, deux, voire trois amandes (appelées aussi amondons) par noyaux (figure 5). Ces amandes (figure 6) ont des tailles variables et leur poids est de l'ordre de 250 à 360 mg. Elles sont riches en matière grasse puisque leur teneur en huile oscille entre 30 et 55 % (CHARROUF, 1998). L'huile d'arganier est utilisée en alimentation, en cosmétique et en nutraceutique. Cette huile possède aussi des propriétés diététiques très intéressantes, car elle est constituée de 80 % d'acides insaturés de type oléio-linoléique. Ces qualités diététiques en font une huile très recherchée, vendue nettement plus chère que l'huile d'olive (OTTMANI, 1995).



Figure 5: Fruits de l'arganier



Figure 6: Amandes de l'arganier.

- Même le tourteau (résidu des amandes après extraction des huiles), vu sa grande valeur énergétique, est utilisé comme aliment pour l'engraissement des bovins. Il est riche en glucides (27 %), en protéines (24 %), en lipides (19 %) et en cellulose (17 %). Il contient aussi des saponines (CHARROUF et *al.*, 1992).

2. 2. Feuilles et bois

Les feuilles sont utilisées comme fourrage suspendu. Elle renferme des lipides (4,4 %) dont 27 % sont constitués d'insaponifiable contenant principalement des monotriterpenes, des stérols tels que le *schotténol* et le *spinastérol* et aussi des *tocophérols* (16 %). Deux flavonoïdes ont aussi été isolées : la quercétine et la myricétine (CHAHBOUN, 1993).

Une nouvelle valorisation des feuilles consiste en l'utilisation d'extraits de feuilles (**flavonoïdes**) en cosmétique (PUMAREDA et *al.*, 2006).

Le bois est utilisé comme combustible. Sa composition chimique a montré trois nouvelles saponines nommée arganines G, H, et J (CHARROUF, 1995).

Huile d'argan

L'énigme de l'arganier réside dans sa prodigieuse et fameuse huile extraite de l'amande et qui représente environ 50 % de son poids. L'extraction de l'huile d'argan est réalisée par plusieurs procédés, mais le plus répandu reste le procédé artisanal qui peut fournir des rendements pouvant atteindre les 30 %, malgré une introduction de la mécanisation (RAHMANI, 1992).

1. Composition Chimique

La composition chimique de l'huile d'argan, comme toutes les huiles, est représentée par une fraction saponifiable (99 %) et une autre insaponifiable (1 %) (CHARROUF, 1984).

1. 1. La fraction saponifiable

Cette fraction est composée essentiellement de deux constituants : les acides gras et les triglycérides.

- Les acides gras

Les acides gras sont des composés majoritaires des triglycérides dont se déroulent la plupart des propriétés nutritionnelles et métaboliques des lipides. Ces acides, représentent à eux seuls 90 à 96 % du poids de la matière grasse (NAUDET, 1992).

La majorité, des acides gras de l'huile d'argan, est insaturée, représentant un taux avoisinant les 80 %. Il en ressort que l'huile d'argan est de type oléique - linoléique. Ces deux acides représentent respectivement 43 à 49, 1 % et 29, 3 à 36 % comme le montre le tableau 1 (RAHMANI, 2005).

Les variations de la composition en acides gras de l'huile d'argan sont tributaires de plusieurs facteurs comme l'aire géographique et les conditions climatiques dans lesquelles

poussent les arbres qui fournissent l'huile. Le taux d'acide palmitique et d'acide linoléique s'accroît avec l'altitude et le taux d'acide oléique augmente avec la pluviosité.

Tableau 1 : Composition en acides gras de l'huile d'argan selon la norme marocaine (NM 08.5.090).

Acides gras	Valeur en (%)
– acide myristique C14 : 0	≤ 0, 2
– acide pentadécanoïque C15 : 0	≤ 0, 1
– acide palmitique C16 : 0	11, 5 – 15
– acide palmitoléique C16 : 1	≤ 0, 2
– acide heptadécanoïque C17 : 0	traces
– acide stéarique C18 : 0	4, 3 - 7, 2
– acide oléique C18 : 1 n-9	43, 0 – 49, 1
– acide linoléique C18 : 2 n-6	29, 3 – 36
– acide linoléique C18 : 3 n-3	≤ 0, 3
– acide arachidique C20 : 0	≤ 0, 5
– acide gadoléique C20 : 1 n-11	≤ 0, 5
– acide béhénique C22 : 0	≤ 0, 2

(RAHMANI, 2005)

- Triglycérides

La fraction des triglycérides a été spécifiquement identifiée par HPLC. Cette détermination a montré que les triglycérides majoritaires sont : OOO, LLO, POL, OOL, POO comme le montre le tableau 2 (MAURIN, 1992).

Tableau 2 : Triglycérides de l'huile d'argan

triglycérides	Huile d'argan CHARROUF (1984)	Huile d'argan M AURIN (1992)
LLL	5,3	7,4
LLO	12,7	13,6
PLL	5,00	6,3
OOL	16,3	19,5
POL	13,3	13,6
PPL	1,5	1,6
OOO	15,6	12,8
POO	13,7	11,5
PPO	-	3,2
LPS	-	1,6
SOO	5,2	3,4
POS	2,1	1,8

P = acide palmitique ; **S** = acide stéarique ; **O** = acide oléique ; **L** = acide linoléique.

(M AURIN, 1992)

1. 2. La fraction insaponifiable

Elle désigne l'ensemble des constituants qui ne sont pas estérifiés et qui sont solubles dans les solvants tels que l'éther, l'éther diéthylique, l'hexane, etc. (MARTIN, 1992).

Elle comprend de nombreux constituants mineurs à fractions diverses : des hydrocarbures et des carotènes (37 %), des tocophérols (7 %), des alcools triterpéniques (20 %), des méthyl-stérols et stérols (20 %) et des xanthophylles (6 %) (CHARROUF, 1984).

- *Tocophérols*

Substitutions	Tocophérols
5, 7, 8 - Trimethyl	α - tocophérol
5, 8 - Dimethyl	β - tocophérol
7, 8 - Dimethyl	γ - tocophérol
8 - Methyl	δ - tocophérol

Figure 7 : Structure du tocol et de la chaîne phytique (BERTOLI, 2001).

- Phytostérols

Les phytostérols sont des composés non nutritifs naturels présents dans les plantes oléagineuses. Ce sont les analogues botaniques du cholestérol. Les plus abondants sont le sitostérol, le campestérol et le stigmastérol. (LECERF, 2007)

Les phytostérols sont des triterpènes tétracycliques avec généralement 27, 28, à 29 atomes de carbone. Ils représentent une proportion considérable de la fraction insaponifiable. La structure de base des phytostérols est voisine à celle du cholestérol (figure 8) ; seule la chaîne latérale en C-17 est changée. Le groupe hydroxyl du C-3 est caractéristique pour le stérol (BERTOLI, 2001)

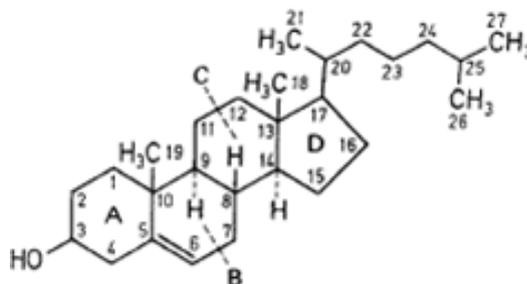


Figure 8 : Structure des Phytostérols (BERTOLI, 2001).

L'huile d'argan contient une teneur qui peut atteindre 220 mg des stérols totaux pour 100 g d'huile. Les stérols de l'huile d'argan représentent environ 20 % de la fraction insaponifiable (KHALLOUKI *et al.*, 2005).

Les phytostérols se composent notamment de schottérol (49 %) et du spinastérol (44 %) et comme stérols minoritaires se trouvent le delta-7-avenastérol (7 %), le stigmasta-8 – 22 – diène-3b – ol (5 %) et le campestérol ($\leq 0,4$ %). La teneur en cholestérol ne dépasse

pas les 0,4 % des stérols totaux ; une teneur plus élevée indique une adultération avec une huile d'origine animale (KHALLOUKI *et al.*, 2003).

Le spinastérol et le schottérol (figure 9) sont rarement trouvés dans les huiles végétales. Le phytostérol caractéristique de la famille des Sapotacées est le spinastérol (GUNASEKERA *et al.*, 1977).

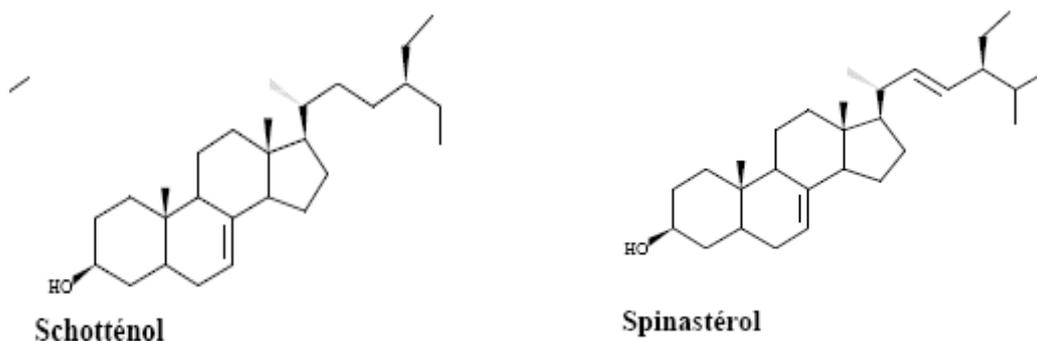


Figure 9 : Structure du schottérol et spinastérol (CHARROUF, 1999).

La composition des phytostérols est très différente de celle des autres huiles (KHALLOUKI *et al.*, 2005). Le tableau 3 présente les différents phytostérols de l'huile d'argan.

Tableau 3 : Phytostérols de l'huile d'argan

Phytostérols	Valeur en (%)
– Schottérol	44 – 49 %
– Spinastérol	34 – 44 %
– Delta-7-avenastérol	4 – 7 %
– Stigmasta-8-22-diène-3β-ol	3,2 – 5,7 %
– Campesterol	≤ 0,4 %

(KHALLOUKI *et al.*, 2005).

- Alcools triterpéniques

Les alcools triterpéniques ou triterpénols sont des constituants de la fraction insaponifiable dont la molécule d'origine est le squalène. Les triterpénols peuvent être utilisés pour caractériser les huiles et graisses végétales. Leur analyse est toutefois plus délicate en raison de la présence possible de nombreux isomères et de l'absence d'étalons (NTSOURANKOUA *et ARTAU*, 1997).

L'huile d'argan renferme cinq alcools triterpéniques : le lupéol (7 %), le butyrospermol (18 %), le tirucallol (28 %), la β - amyryne (27 %), le 24 - méthylène cycloartanol (5 %), ainsi que deux méthylstéroïls (le citrostadiénol (4 %) et le cycloeucaalénol (< 5 %)) (RAHMANI, 2005).

- Pigments caroténoïdes

Les caroténoïdes, constituent une importante famille de pigment de nature terpénoïde. Ces pigments naturels apportent la coloration jaune orangée au rouge violet lorsqu'ils sont à l'état libre. Ils sont à l'origine de la coloration jaune et rouge de nombreux produits. Ils sont synthétisés par les organismes photosynthétiques et 600 caroténoïdes sont identifiés dont une soixantaine possède l'activité provitaminique A, notamment l'alpha, bêta et gamma carotène (ADRIAN *et al.*, 1995 ; NICOL et MAUDET, 2000).

L'huile d'argan doit sa coloration rougeâtre à ces composés caroténoïdiques naturels. Ces composés sont représentés essentiellement par les xanthophylles (500 mg/kg) (RAHMANI, 1979). L'huile d'argan est pauvre en provitamine A; sa teneur en *trans*-bêta-carotène est négligeable (COLLIER, 1974 ; RAHMANI, 1979).

- Les saponines

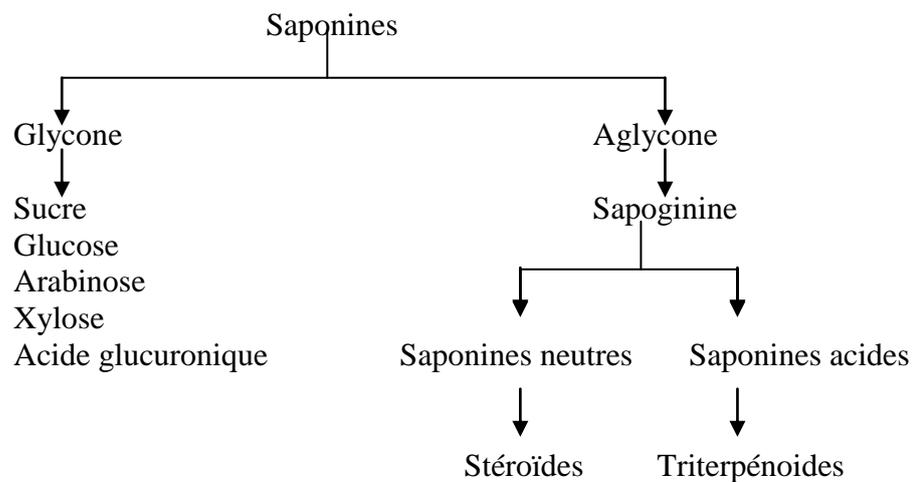
Les saponines sont des tensioactifs naturels se trouvant, en quantité variable, dans plusieurs plantes, ayant un goût amer. Ces molécules sont des hétérosides appartenant aux triterpènes cycliques. Elles sont composées de deux entités : un noyau lipophile (aglycone, sapogénine) et d'une ou plusieurs chaînes de sucres hydrophiles (glycone), variables selon le type de saponine. La chaîne glucidique est composée de pentoses, d'hexoses ou d'acides uroniques (figure 10) (FRIEDLI, 2008).

Les saponines triterpènes qui sont des génines contenant trente atomes de carbone (C₃₀) sont acides et les stéroïdes qui sont des génines à vingt-sept atomes de carbone (C₂₇) sont neutres (CHARROUF, 2002).

Les saponines ont des propriétés variées ; leur propriété détergente est le résultat d'une combinaison de composants lipophiles et hydrophiles. Elles sont émoullientes, astringentes,

anti-oxydantes, anti-cancéreuses, anti-inflammatoires, expectorantes, anticholestérolémiques, antibactériennes, antifongiques, insecticides. Elles provoquent la lyse des cellules (ce qui explique leur toxicité pour de nombreux organismes, en particulier aquatiques) et peuvent augmenter la perméabilité intestinale aux larges molécules (ce qui peut être à la fois intéressant et dangereux) (FRIEDLI, 2008).

Les plantes produisent ces saponines pour se protéger contre les insectes et les maladies (bactéries, champignons) (WIESMAN, 2003).



(FRIEDLI, 2008).

Figure 10 : Structure des saponines

Les saponines de l'arganier isolées sont toutes triterpéniques. En fonction de la liaison reliant ces atomes de carbone, des sous-familles de triterpènes ont été déterminées. Les génines des saponines de l'arganier appartiennent toutes à la sous-famille des « D12-oléananes » (FRIEDLI, 2008).

Certains atomes de carbone du squelette triterpénique des génines peuvent être substitués par un groupement hydroxyle ou carboxylique. Sur ces positions les sucres peuvent se fixer. Selon les saponines, la fraction glycosidique peut être composée d'un seul sucre, d'une seule chaîne de sucre linéaire ou ramifiée ou de plusieurs chaînes (linéaires ou ramifiées) de sucre. Il est fréquent de rencontrer des saponines bidesmosidiques (GUILLAUME, 2005).

Sept saponines ont été isolées et identifiées dans le résidu de l'huile d'argan. Ces saponines présentent des activités biologiques diverses : mollusquicides, fongicides et antibactériennes. Elles possèdent également une activité analgésique et anti-inflammatoire consécutive à une interaction avec les leucotriènes (LIAMS, 2001)

La toxicité aiguë des saponines a été évaluée : leur DL50 est de 1,3 g / kg. Suite à une administration chronique, les saponines du tourteau provoquent une diminution de la glycémie et induisent une toxicité rénale (BOUCHELTA et *al.*, 2005). Ces saponines présentent aussi une activité antioxydante et stimulent la lipolyse *in vitro*. Elles protégeraient aussi l'ADN des effets néfastes des UVB (GUILLAUME, 2005).

2. Propriétés physico-chimiques

Comme toutes les huiles, l'huile d'argan possède des propriétés physico-chimiques révélées par des analyses.

2. 1. Propriétés physiques

- Densité

L'huile d'argan présente une densité variable allant de 0,9060 jusqu'à 0,9190 (MAURIN, 1992). Ces valeurs sont très proches de celle de l'huile d'olive (0,9100 – 0,9160) et d'amande (0,9110 – 0,9170) (KARLESKIND, 1992), ce qui explique la richesse de l'huile d'argan en éléments minéraux et autres composés non lipidiques.

- Indice de réfraction

L'indice de réfraction est considéré comme étant un paramètre de pureté d'un corps gras. La valeur de l'indice de réfraction de l'huile d'argan varie de 1,463 à 1,472 (MAURIN, 1992).

- Absorbance dans l'UV

L'absorbance de radiations UV renseigne sur la nature, le nombre et la position de la double liaison des acides gras. Les longueurs d'onde maximales d'absorption (λ max) dépendent de la forme et de la position des doubles liaisons. L'acide linoléique cis-trans

possède une longueur d'onde maximale $\lambda_{\max} = 234 \text{ nm}$ alors que l'acide linoléique trans représente une absorption maximale à 231 nm .

La détermination de l'extinction spécifique en UV des huiles est un critère pour détecter l'état d'oxydation des corps gras (WOLF, 1968).

2.2. Propriétés chimiques

Les indices chimiques sont des données conventionnelles, exprimées par des nombres. Classiquement, ces indices sont : l'indice d'acide, de saponification et d'iode. Les différents indices caractérisant l'huile d'argan montrent que cette huile est d'une excellente qualité.

- Indice d'acide

L'huile d'argan présente une acidité très faible avec une valeur inférieure à 1,5 %.

- Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde renseigne sur l'état d'oxydation des huiles. L'huile d'argan séquestre un indice de peroxyde très faible de l'ordre de 3 (meq O_2 / kg de corps gras), ce qui explique la richesse de cette huile en antioxydant (surtout les tocophérols) (YAGHMUR et *al.*, 1999).

La norme marocaine NM (08.5.090) limite l'indice de peroxyde de 15 à 20 (meq O_2 / kg de corps gras) (RAHMANI, 2005).

- Indice d'iode

L'indice d'iode informe sur l'état de siccativité et d'insaturation des huiles. L'huile d'argan possède un indice d'iode qui varie entre 91 et 110, selon la norme marocaine NM (08.5.090).

- Indice de saponification

Cet indice est d'une grande utilité dans l'industrie des savons. Il renseigne sur la longueur des chaînes d'acides gras que renferme le corps gras. L'huile d'argan possède un indice de saponification qui varie entre 189 et 199, selon la norme marocaine NM (08.5.090).

3. Propriétés organoleptiques

L'huile d'argan est très caractéristique par son goût de noisette, son arôme exotique et sa couleur jaune foncée. Le traitement thermique des amandes a un effet sur le goût, l'odeur et la couleur de l'huile d'argan extraite. En effet, l'huile extraite à partir des amandes non torréfiées ne présente ni odeur, ni saveur caractéristique mais dispose d'une couleur jaune foncée, alors que celle extraite à partir des amandes torréfiées exhibe une odeur caractéristique, une saveur prononcée de noisette et possède une couleur brune (MOUNTASSER et El. HADEK, 1999)

4. Conservation

Une étude a été menée au Rancimat montre que l'huile d'argan se dégrade moins vite que l'huile de table fraîchement raffinée. Il ressort de préconiser une durée de conservation de deux ans pour l'huile d'argan (FDILI- ALAOUI, 2001)

Les résultats d'une étude, effectuée par CHIMI (2005), en vue de déterminer les facteurs intervenant sur la durée de conservation de l'huile d'argan montrent une différence de conservation en fonction du mode d'extraction. Ainsi, l'huile extraite industriellement se conserve mieux que celle produite de façon artisanale. Il est à préciser que lors de cette étude les durabilités de ces huiles ont été réalisées à 35 °C et à l'obscurité. Elles ont été évaluées par détermination de l'indice de peroxydes et dosage des diènes conjugués formés.

Comparée à l'huile d'olive, l'huile d'argan se conserve plus longtemps. Ces durabilités pourraient être dues, à la présence de composés phénoliques et de tocophérols (CHIMI, 2005).

5. Vertus et utilisation de l'huile d'argan

5. 1. Les vertus de l'huile d'argan

La popularité et la grande valeur ajoutée caractérisant actuellement l'huile d'argan revient en fait aux innombrables vertus prodigieuses et sensationnelles qu'elles recèlent (nutritionnelles, biologiques, diététiques et cosmétiques) (CHRIQI *et al.*, 2003).

L'huile d'argan, compte parmi les rares huiles qui sont riches en acides gras essentiels insaturés (plus de 80 %). Environ 45 % de ces acides sont représentés par l'acide oléique (Oméga-9) et 35 % par l'acide linoléique (Oméga-6). Ces deux acides gras apportent à l'huile d'argan des propriétés hydratantes, nutritives et protectrices, idéales sur les peaux sèches et fragiles, retardant le vieillissement de la peau et l'apparition de rides (CHARROUF, 2002).

Ces acides gras ont attiré l'attention des médecins pour leur relation à la maladie coronaire du cœur, aux athéroscléroses, aux risques des inflammations et du cancer (KHALLOUKI *al.*, 2005).

L'huile d'argan renferme aussi des tocophérols (700 ppm) dont l'isomère γ est prédominant et des composés phénoliques (56 ppm) qui sont des puissants antioxydants naturels. Ils activent les fonctions vitales des cellules et augmentent les défenses naturelles de la barrière cutanée face aux agressions extérieures (KHALLOUKI *al.*, 2003). Les tocophérols modulent plusieurs voies impliquées dans la prévention des maladies. Une confirmation expérimentale suggère que le γ -tocophérol est un chimiopréventif du cancer plus persuasif que le α -tocophérol (BRIGELIUS-FLOHE *et al.*, 1999; GAO *et al.*, 2002 ; HUANG *et al.*, 2003).

Les phytostérols comptent aussi parmi les constituants de l'huile d'argan. Ils sont pourvus d'une grande activité protectrice contre le cancer de la peau. De même, ils réduisent fortement le taux de cholestérol dans le foie et le plasma. Ces composés possèdent une action antitumoragénique et exhibent un potentiel anticarcinogénèse et cytotoxique (ARISAWA *et al.*, 1985).

L'huile d'argan renferme aussi des pigments de carotènes. Ces pigments adaptent la réponse de la peau aux rayons UV et contribuent à la défense contre certains effets nocifs des radiations solaires et jouent un rôle dans la prévention du cancer (ITO et *al.*, 1991).

Autre constituant de l'huile d'argan, les saponines, qui ont montré des activités anti-tumeur. Ce sont des agents chimiopréventifs du cancer et provoquent la cytotoxicité des cellules cancéreuses (GU et *al.*, 2001).

5. 2. Utilisation de l'huile d'argan

L'huile d'Argan est utilisée à des fins diverses et dans plusieurs domaines, du fait de ses intérêts alimentaires, diététiques, pharmaceutiques et cosmétiques.

- Médecine traditionnelle

L'huile d'argan est utilisée en médecine traditionnelle, depuis l'antiquité, pour le soin des maladies dermiques telles que l'eczéma, l'acné juvénile, les gerçures, les brûlures et la teigne. L'huile est également utilisée pour les soins des cheveux secs, du cuir chevelu et aussi pour les ongles cassants (CHARROUF, 2002). Elle sert aussi dans la désinfection des blessures. C'est une huile qui nourrit, hydrate, active et régénère la peau (CHARROUF, 2002).

- Alimentation et diététique

L'huile d'argan alimentaire est produite à partir d'amandes torréfiées. Elle est très caractéristique par son goût de noisette et arôme exotique. C'est une huile très employée par les berbères marocains dans leur alimentation quotidienne (pour la préparation des plats cuisinés et pour l'assaisonnement). Elle rehausse la saveur des plats.

Avec l'huile d'argan se prépare aussi une pâte à tartiner appelée « Amlou ». C'est un mélange apprêté avec des amandes broyées, d'huile d'argan et du miel. Ce mélange délicieux est servi, lors du petit déjeuner ou comme dessert, après un repas. C'est un fortifiant réputé aphrodisiaque (CHARROUF, 1984).

L'huile d'argan, vu sa richesse en plusieurs composés, constitue une source diététique de grande importance. Ces composés ont des propriétés antioxydantes, antiprolifératives et anti-inflammatoires et des effets sur cancer de la prostate (BENNANI et *al.*, 2006).

L'huile d'Argan est riche en acides gras insaturés plus de 80 %. Les acides oléique et linoléique sont majoritaires. Ils confèrent à l'huile de très bonnes qualités diététiques. Ils sont des précurseurs des hormones tels les prostaglandines. Ces dernières sont les régulateurs fondamentaux de différentes activités cellulaires.

Sa teneur en acide oléique rend cette huile particulièrement intéressante dans la régulation du cholestérol. Des études en cours semblent montrer que la consommation de deux cuillerées à soupe par jour d'huile d'Argan pendant un mois pourrait réduire considérablement le taux de cholestérol sanguin (CHARROUF, 2002).

Les tocophérols ont des propriétés diététiques. La vitamine E (α -tocophérol) est eutrophique. Les γ et δ tocophérols ont des actions antioxydantes puissantes, ce qui permet de neutraliser l'oxydation destructive des radicaux libres.

Les stérols (composés essentiellement de Schotténol et Spinastérol) se sont révélés aussi anticancéreux (FARINES et *al.*, 1981 ; ARISAWA et *al.*, 1985).

D'après CHARROUF (2002), l'huile d'argan possède aussi une activité hypocholestérolémiant et hypolipidémiant. Suite à une étude faite sur un groupe de 8 personnes, soumis à un régime à base d'huile d'argan, les auteurs ont constaté que le taux de cholestérol commence à diminuer à partir du troisième jour.

Les résultats, d'une étude ayant porté sur des hormones thyroïdiennes (FT3, FT4 et TSH) et du bilan lipidique, cholestérol total et triglycéride, menée sur des sujets connus par leur grande consommation en huile d'argan et de sel non iodé, montrent que les sujets sont normolipidiques et euthyroïdiens (DEROUICHE et *al.*, 2005).

Son profil unique d'acides gras, tocophérols, squalène, stérols et composés phénoliques, confèrent à l'huile d'argan des effets chimiopréventifs précieux du cancer (en particulier de la prostate) et des maladies cardio-vasculaires (BENNANI et *al.*, 2006).

Grâce à des principes actifs l'huile d'Argan stimule des activités anti-diabétiques, antiprolifératrices et neuroprotectrices. L'huile est riche en (AGPI) considérés comme protecteurs contre le cancer. Certains auteurs signalent que la quantité et la qualité des lipides diététiques ingérés exercent une influence significative chez les humains diabétiques.

L'huile est conseillée aussi pour traiter la résistance à l'insuline liée à l'obésité et au diabète de type 2 (SAMANE, 2006).

- Cosmétologie

L'huile destinée à l'usage cosmétique provient généralement d'amandes non torréfiées. Cette huile constitue un trésor de beauté. C'est la plus riche, la plus précieuse pour un soin intense. Grâce à sa composition exceptionnelle et ses diverses propriétés, l'huile développe un intérêt grandissant pour beaucoup de laboratoires cosmétiques.

L'huile d'Argan est utilisée par les femmes marocaines pour leurs soins corporels et capillaires. Naturellement, elle redynamise la peau, l'hydrate, agit contre le dessèchement et le vieillissement de la peau. Elle convient à tous les types de peaux en les régénérant durant le sommeil (STUSSI, 2005).

Par sa richesse en schotténol, l'huile d'argan est incorporée dans les produits cosmétiques et remplace le cholestérol (produit capable de pénétrer dans la peau et fait augmenter le taux de cholestérol sanguin). Le schotténol est un stérol doué de propriétés anticancérigènes (ARISTAURA et *al.*, 1985).

Les différents procédés d'extraction de l'huile

Les graines de l'arganier peuvent contenir jusqu'à trois amandes à partir desquelles l'huile est extraite avec des rendements variant de 30 à 55 % selon le mode d'extraction employé (CHARROUF, 1998).

Avant que l'opération d'extraction des huiles soit entamée, les fruits et amandes subissent d'abord une série de traitement tel : le séchage, le dépulpage, le concassage, la torréfaction et la mouture. Une fois ces étapes franchies, l'extraction d'huile peut être entamée selon deux principaux procédés : le procédé traditionnel et le procédé industriel.

1. Préparation des amandes pour l'extraction

1. 1. Séchage

Une fois les fruits arrivent à maturité, ils sont récoltés puis séchés.

1. 2. Dépulpage

Après séchage de la pulpe, les femmes commencent à en retirer le noyau qui sera concassé. Les chèvres participent aussi à ce dépulpage en escaladant l'arganier et en mangeant le fruit dont la pulpe nourrissante, le noyau, très dur, est rejeté. Les propriétaires récupèrent ces noyaux, les lavent et les sèchent (RADI, 2003).

1. 3. Concassage

Les noyaux sont concassés manuellement en les écrasant entre deux galets (RADI, 2003).

1. 4. Torréfaction

Les amandes sont torréfiées dans des récipients pour leur donner une couleur brunâtre, ce qui attribue à l'huile extraite une couleur, une odeur et un goût remarquable (RAHMANI, 1989).

1. 5. Mouture

Les amandes torréfiées sont écrasées par une meule en pierre taillée; ainsi une pâte de couleur brune est obtenue.

2. Procédé traditionnel

Ce mode de fabrication ancestral, long et pénible est transmis depuis des siècles. Il est effectué par les femmes berbères à l'échelle familiale et par des coopératives de femmes. Lors de ce procédé, hormis les étapes de préparation des amandes décrites précédemment, il existe une autre étape de malaxage et de pressage qui conduira finalement à l'extraction de d'huile (M'HIRIT et *al.*, 1998 ; CHARROUF, 2002).

2.1. Malaxage et pressage

La pâte obtenue par mouture est mélangée avec de l'eau tiède puis malaxée à la main, il en résulte une pâte huileuse. Une fois obtenue, la pâte est pressée manuellement jusqu'à apparition de l'huile qui est mise en bouteilles.

3. Procédé industriel

L'extraction de l'huile d'argan a demeuré pendant longtemps artisanale. Ce mode d'extraction long et pénible a incité les chercheurs à améliorer et à automatiser la production de l'huile d'argan

3. 1. Extraction par pression

Ce processus d'extraction d'huile, effectué en plusieurs étapes, utilise des presses mécaniques et respecte les bonnes pratiques de fabrication en optimisant les paramètres de transformation (CHRIQI et *al.*, 2003 ; CHIMI, 2005). Les différentes étapes peuvent être résumées comme suit :

- **Pressage** : L'extraction s'effectue par des presses mécaniques.
- **Décantation** : L'huile obtenue est décantée pendant une durée de 15 jours.
- **Filtration** : Après décantation l'huile est filtrée dans un filtre presse.

- Les principaux paramètres influençant le rendement d'extraction par pressage

Plusieurs paramètres ont été étudiés pour contribuer à optimisation le rendement en huile extraite par pression (MOUNTASSER et EL HADEK., 1999).

- *Effet du type de presse*

Dans leur étude MOUNTASSER et EL HADEK., (1999) ont développé et utilisé deux types de presse, une presse hydraulique et une presse continue.

Les presses hydrauliques, de capacité 366 cm³, constituées d'un four, de plaques cylindriques trouées (110 trous par plaque), de toiles filtrantes et d'un récipient. Les amandes séchées et broyées sont agencées entre les plaques, puis pressées pendant 10 min. L'huile extraite est filtrée.

Les presses continues, quant à elles, ont une capacité de 10 kg. Elles sont réglées manuellement et la température est fixée de manière automatique.

L'extraction moderne en plus de l'amélioration des rendements et de la qualité de l'huile qu'elle génère contribue aussi à la réduction du temps de travail. Une fois l'huile obtenue, elle est conditionnée dans des bocaux ou des bouteilles en verre.

- *Effet de la charge*

Le rendement en huile augmente au fur et à mesure que la charge augmente jusqu'à atteindre une charge d'épaisseur de 0,4 cm (MOUNTASSER et EL HADEK., 1999). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Effet de l'épaisseur de la charge sur le rendement en huile extraite

Epaisseur de la charge (cm)	Masse d'huile / masse des amandes séchées (%)
0,25	17,9 ± 0,7
0,30	23,7 ± 0,6
0,35	28,3 ± 0,2
0,40	34 ± 1
0,45	33 ± 1
0,50	32 ± 1
0,70	31 ± 1
0,85	29,9 ± 0,3
1,30	21 ± 1

(MOUNTASSER, 1999)

- *Effet de la granulométrie*

Selon HAMMONDS (1991) in KOUICHE, (2001), le rendement en huile est optimal lorsque les amandes sont finement broyées et que le diamètre des particules est inférieur à 2 mm. La pulvérisation des amandes à des particules fines, facilite l'extraction des huiles et renforce leur rendement. Avec une granulométrie de 800 µm, le taux d'huile extraite a pu atteindre une valeur optimale (35,5%) (tableau 5) (MOUNTASSER et EL HADEK., 1999).

Tableau 5 : Effet de la granulométrie des amandes sur le rendement en huile extraite

Granulométrie des amandes (μm)	Masse d'huile / masse des amandes séchées (%)
320	27,9 \pm 0,3
630	31,6 \pm 0,5
800	35,5 \pm 0,5
1 250	35,1 \pm 0,5
1 800	34,8 \pm 0,5
2 000	30,9 \pm 0,8
2 250	30,9 \pm 1,4

(MOUNTASSER, 1999)

- *Effet de la pression*

Plusieurs auteurs rapportent qu'au fur et à mesure que la pression augmente, le rendement en huile extraite s'accroît. Par leurs travaux sur le son du riz SILVALA et *al.*, (1991) in KOÏCHE (2001) ont montré que le rendement en huile atteint une valeur maximale lorsque la pression est élevée (4,9 à 32,4 Mpa). De même, certaines études conduites sur les amandes d'abricot, ont montré que pour des pressions élevées, le rendement en huile extraite passe de 10,09 % pour une pression de 100 bars à 22,95 % pour des pressions avoisinant les 150 à 200 bars KOÏCHE (2001).

Chez l'arganier, MOUNTASSER et EL HADEK., (1999) ont montré que le taux d'huile extraite augmente lorsque la pression croît. La quantité de tourteau quant à elle diminue dans ces conditions (tableau 6).

Tableau 6 : Effet de la pression sur le rendement en huile extraite

Pression (Kg/cm)	Masse d'huile extraite/ masse des amandes séchées (%)
52	18,5 ± 2,4
78	23,9 ± 0,7
104	24,8 ± 0,9
130	25,4 ± 0,9
156	27,4 ± 0,6
182	28,8 ± 0,9
208	32,2 ± 0,9
234	33,8 ± 0,6
260	35,0 ± 0,1

(MOUNTASSER, 1999)

- *Effet de la température*

La torréfaction des amandes semble, elle aussi, influencer le rendement en huile lors de l'extraction. En effet, les résultats, de l'étude menée par MOUNTASSER et EL HADEK., (1999) sur le sujet, ont montré que la torréfaction des amandes augmente le rendement en huile de 26,5 (amandes non torréfiées) à 34,9 % (amandes séchées dans l'étuve à 40 °C) et même à 39,8 % (amandes torréfiées artisanalement).

Les amandes oléifiantes doivent subir un traitement thermique. La cuisson des matières oléagineuses joue un rôle primordial dans l'extraction des huiles. Elle permet de réduire l'humidité, de favoriser la rupture des lipocytes, d'augmenter la plasticité des graines et d'accroître la fluidité de l'huile (KARLESKIND, 1992). La cuisson permet aussi la coalescence des gouttelettes d'huile en large gouttes par destruction de l'émulsion protéine - lipide (WOLF, 1992 ; LANOISELLE et BOUVIER, 1994).

Les faibles températures (25 °C et 75 °C) influencent négativement le rendement en huile lors de l'extraction. Cependant, des températures élevées (> 75 °C) paraissent plus

efficaces et augmentent le rendement en huile jusqu'à atteindre un optimal vers des températures avoisinant les 200 °C (MOUNTASSER et EL HADEK., 1999).

3. 2. Extraction par solvant

A l'échelle du laboratoire, l'extraction chimique se fait avec du solvant par le biais d'un appareil nommé soxhlet (WOLF, 1992).

A l'échelle industrielle, l'extraction par solvant est réalisée par plusieurs appareils (KARLESKIND, 1992).

- Les différents types d'extracteur

- *Extracteur à percolation*

Le principe de la technique consiste à répandre le solvant sur une touffe de particules posée sur une toile filtrante. Les appareils servant à ce type d'extraction sont moins encombrants puisque les volumes de solvant utilisés sont plus faibles et la manutention de grosses masses est plus facile (KARLESKIND, 1992).

- *Extracteurs à chaînes*

La matière oléifère est transportée par deux chaînes à barrettes cloisons tournantes. Ces barrettes véhiculent la matière vers deux sections qui retiennent le produit en laissant passer le solvant (KARLESKIND, 1992).

- *Extracteurs à bande perforée*

Le produit est porté par une bande perforée. Un râteau sépare les zones d'arrosage du solvant. Le système permet une multiplication des arrosages avec solvant de plus en plus pauvres (KARLESKIND, 1992).

- Les principaux paramètres influençant le rendement d'extraction par solvant

Plusieurs paramètres influencent le rendement en huile extraite par solvant (KARLESKIND, 1992). Les plus importants sont :

- La granulométrie, du produit soumis à l'extraction, est d'une énorme importance, le produit doit être bien préparé et très fin. La granulométrie doit être serrée.
- L'indice de percolation, représente le temps qu'il faut pour passer un litre de solvant (Hexane) à travers le produit (200g) entrant à l'extraction
- L'humidité, des produits, a énormément d'importance, en effet les problèmes de collage dans les paniers commencent lorsque les produits gras renferment une humidité supérieure à 9,5 %
- La température du solvant joue aussi un rôle important. Il est souhaitable de travailler à des températures inférieures à 60° C afin d'améliorer la diffusion, en effet toute augmentation de température augmente le risque de perte.
- Durée d'extraction : Selon MOUNTASSER et EL HADEK., (1999), la durée d'extraction influence le rendement en huile. En effet, au fur et à mesure que la durée d'extraction augmente la quantité d'huile obtenue augmente, le rendement optimal (54 %) est atteint pour une durée de 18 heures (tableau 7).

Tableau 7 : Effet de la durée de reflux dans le Soxhlet sur le rendement en huile extraite

Durée d'extraction en heure	Masse d'huile extraite/ Poids des amandes séchées (%)
4	49,2
6	52,6
8	52,6
10	53,6
14	53,8
18	53,9

(MOUNTASSER, 1999)

- La quantité de l'hexane employé lors de l'extraction influence aussi le rendement en huile extraite. Le rendement en huile semble augmenter avec l'augmentation de la quantité du solvant et atteint son maximum (53,7 %) lorsque le rapport est de 5 ml/g d'amande séchée (tableau 8) (MOUNTASSER et EL HADEK., 1999).

Tableau 8 : Influence de la quantité d'hexane sur l'extraction d'huile

volume d'hexane/ masse des amandes (ml/g)	Masse d'huile extraite/ poids des amandes séchées (%)
1,5	45,3
2,5	51,0
3,25	53,3
4,00	53,4
5 ,00	53

(MOUNTASSER, 1999)

Matériel et méthodes

L'ensemble du travail a été réalisé aux laboratoires du contrôle de la qualité et de la répression des fraudes d'Alger et de Chlef.

1. Matériel végétal

1. 1. Provenance

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation de notre travail, provient de deux régions du pays : Oued L'ma (situé dans la Hamada de Tindouf) et Stidia (localité de Mostaganem).

Des fruits, provenant de ces deux régions, ont été récoltés durant le mois de juin et juillet de l'année 2006. Des amandes de ces fruits, nous avons procédé à l'extraction des huiles sur lesquelles nous avons effectué une série d'analyse en vue de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs constituants chimiques.

Les expériences ont été réalisées, dans leur majorité, dans les laboratoires des répressions des fraudes et du contrôle de la qualité de la Wilaya de Chlef et d'Alger. Certaines manipulations ont été conduites dans le laboratoire de l'unité de Saida (Wilaya de Médéa).

1. 2. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons concerne les fruits murs à pulpes sèches. L'obtention de l'huile nécessite un traitement des fruits en cinq étapes.

- *Dépulpage* : L'opération consiste à éplucher le fruit sec manuellement ;
- *Concassage* : Il s'effectue manuellement à l'aide d'un marteau ;
- *Torréfaction* : Elle s'effectue à une basse température (40 °C) dans le but d'éliminer l'eau et de favoriser la destruction des saponines et faciliter ainsi l'extraction de l'huile ;
- *Trituration* : Elle s'effectue à l'aide d'un broyeur de laboratoire. Pour respecter une granulométrie optimale du broyat (qui doit avoisiner les 10 mesh), nous étions amenés à le tamiser sur un tamis de 1300 µm de diamètre (Ø des mailles).

2. Méthodes expérimentales

2. 1. Identification biométrique

La biométrie est définie comme étant l'étude des paramètres morphologiques d'un sujet. Les mensurations ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Le poids a été déterminé par une balance analytique de type Metler 160. Les mesures sont faites sur des échantillons de 100 graines triées aléatoirement.

2. 2. Techniques d'extraction et détermination du rendement en huile par amande

2. 2. 1. Extraction par solvant

D'abord, une prise d'essai de 20 g de broyat (des amandons) est introduite dans la cartouche en cellulose du soxhlet. Puis l'ensemble est mis dans l'extracteur à siphon. Le ballon est rempli au $\frac{3}{4}$ avec du solvant. Les parties du soxhlet (Figure 11) sont montées et l'ensemble est placé dans un bain marie à la température du solvant. Puis le chauffage est conduit à ébullition et l'extraction est maintenue continuellement pour une durée de 6 heures. L'huile extraite est recueillie grâce à un évaporateur rotatif.

Le principe de cette manipulation consiste en l'extraction de la fraction lipidique des amandes par un solvant organique à l'aide d'un dispositif « soxhlet » d'une capacité de 250 ml. Cette étape sera suivie par une autre où il sera question d'évaporer le solvant pour récupérer l'huile extraite.

De cette façon, nous parvenons à déterminer la teneur en huile contenue dans les amandes.

Notons par ailleurs, que lors de cette manipulation, nous avons testé aussi l'effet que peut avoir la nature des solvants employés sur le rendement en huile. Quatre solvants ont fait l'objet de cette expérience, il s'agit en l'occurrence de l'éther diéthylique, de l'hexane, du cyclohexane et du chloroforme.

De même, l'influence du temps de séjour dans le soxhlet sur le rendement en huile a été également testée. Les durées expérimentées varient de 6 à 16 heures.

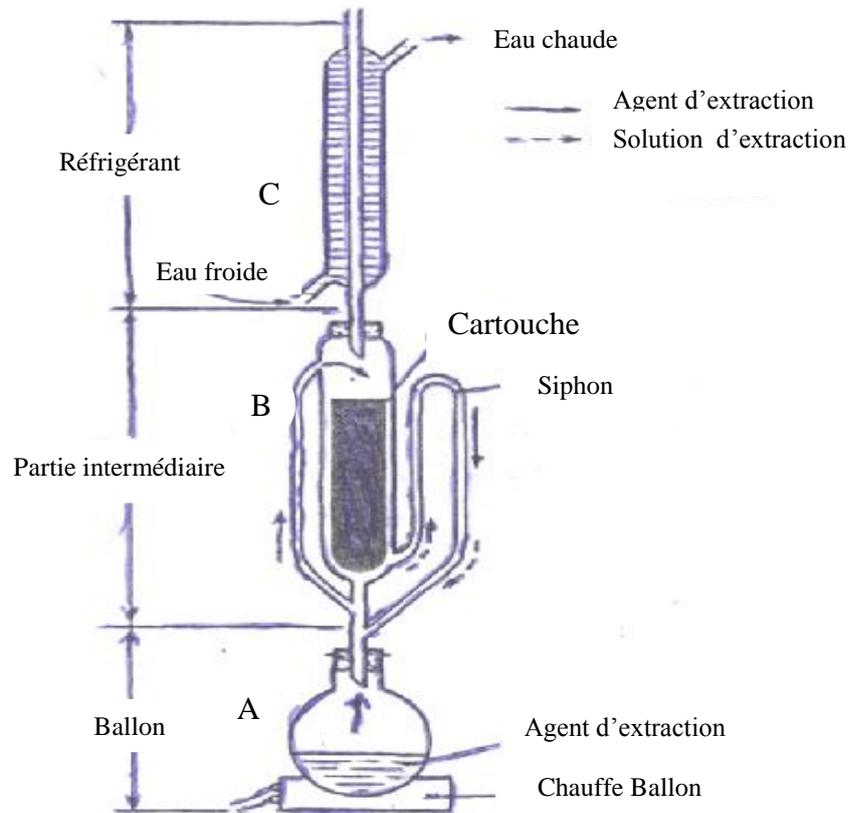


Figure 11 : Schéma d'un soxhlet

2.2. 2. Rendements en huile par rapport à l'amande

Le rendement en huile est déterminé après l'extraction. Il exprime le pourcentage d'huile obtenu par rapport à la quantité d'amande utilisée durant l'extraction. Le rendement est calculé en se basant sur la formule suivante :

$$Rdt.\% = \frac{H}{A} \times 100$$

H : Quantité, en gramme, d'huile obtenue par extraction.

A : Prise d'essai, en gramme, d'amande utilisée.

Rendement en huile extraite par rapport à la matière sèche

$$H\% (MS) = \frac{(A - B)}{m \times \frac{MS}{100}} \times 100$$

A : Masse, en gramme, du ballon après extraction.

B : Masse, en gramme, du ballon vide.

m : Masse, en gramme, de la prise d'essai.

H : Teneur en huile extraite.

MS : Matière sèche.

2. 2. 3. Etude des caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'argan

- Caractéristiques physiques

▪ La densité

La densité de l'huile est définie comme étant le rapport de la masse volumique de l'huile sur celle de l'eau ou bien le rapport de la masse d'huile sur celle de l'eau dans un volume déterminé à une température donnée.

Le principe est basé sur le mesurage de la masse, à la température demandée, d'un volume de corps gras contenu dans un pycnomètre préalablement étalonné à la même température par rapport à l'eau. La méthode utilisée est celle décrite dans la norme ISO 6882 de septembre 1987 selon la formule suivante.

$$d_{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

- m_0 : Masse en gramme du pycnomètre vide.
- m_1 : Masse en gramme du pycnomètre rempli d'eau.
- m_2 : Masse en gramme du pycnomètre rempli d'huile

- *Indice de réfraction*

L'indice de réfraction est le rapport de la vitesse d'un rayon lumineux (la raie D du sodium (589 nm) dans le vide à sa vitesse dans le milieu. Autrement dit, c'est la mesure de la réfringence d'un corps donné par rapport à la raie D du sodium et permet de classer les huiles en huile siccative, demi siccative ou non siccative.

La mesure de l'indice de réfraction se fait par le biais d'un réfractomètre relié à un bain thermostaté à la température où l'huile est liquide. Le réfractomètre est préalablement étalonné avec de l'eau distillée. La méthode utilisée est celle décrite dans la norme ISO 6320 (1983).

- *La viscosité*

La viscosité est définie comme étant le coefficient de frottement moléculaire interne. Elle est déterminée par les forces de frottement d'un solide se mouvant dans un liquide selon les recommandations de l'Union internationale de la chimie pure et appliquée (I.U.P.A.C.).

La mesure de la viscosité (donnée en centipoise) est réalisée par un viscosimètre de torsion relié à un bain thermostaté à 20°C. La méthode utilisée est celle décrite par l'I.U.P.A.C (KARLESKIND, 1992).

- *La couleur*

La mesure de la couleur de l'huile est basée sur la détermination de l'absorbance de celle-ci, dans le domaine du visible, selon la recommandation de la société américaine des chimistes des huiles (A.O.C.S.) KARLESKIND (1992).

Les mesures se font à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible, dans les longueurs d'onde suivantes 460 nm, 550 nm, 620 nm et 670 nm. La valeur de la couleur se calcule par la formule (présentée ci-après) proposée par l'A.O.C.S après obtention des densités optiques sur les longueurs d'onde suivantes: 460 nm, 550 nm, 620 nm et 670 nm.

$$\text{Couleur (A.O.C.S)} = 1,29 A_{460} + 69,7 A_{550} + 41,2 A_{620} + 56,4 A_{670}$$

A : désigne l'absorbance de l'huile

▪ *L'extinction spécifique dans l'UV*

L'absorbance dans le domaine des UV repose sur la détermination des coefficients d'extinction, aux radiations de longueur d'onde 232 nm et 270 nm, selon la formule présentée ci-après. La mesure des extinctions à 232 et 270 nm renseigne sur la qualité et l'état d'oxydation de l'huile. Elle correspond à l'absorption maximale des systèmes diéniques et triéniques conjugués qui résultent de la décomposition de l'huile. Les hydroperoxydes absorbent à 232 nm alors que les produits d'oxydation absorbent à 270 nm.

Le principe de cette méthode est basé sur le calcul de la quantité d'énergie lumineuse absorbée par un composé non transparent aux radiations données. L'extinction de l'huile (dissoute à 1 % dans le cyclohexane) est déterminée après son passage sur spectrophotomètre UV- Visible, aux longueurs d'ondes 232 et 270 nm, selon la méthode : COT/T20 N°19.

Calcul des extinctions spécifiques aux différentes longueurs d'onde

$$E_{\lambda} = \frac{A_{\lambda}}{c \cdot l}$$

E_{λ} : Extinction spécifique à la longueur d'onde λ

A_{λ} : Extinction mesurée à la longueur d'onde λ

c : Concentration en gramme par 100 ml

l : Epaisseur de la cuve (1 cm)

Outre la détermination des extinctions spécifiques aux longueurs d'onde de 232 et 270 nm, la méthode officielle d'analyse des huiles prévoit aussi la détermination du ΔK qui se calcule selon la formule suivante :

$$\Delta K = K_m - \frac{K_{m-4} + K_{m+4}}{2}$$

K_m : Extinction spécifique à la longueur d'onde 270 nm.

- Caractéristiques chimiques▪ *Indice d'acide et acidité*

La teneur en acides gras libres d'une matière grasse est exprimée de deux manières soit par son acidité soit par son indice d'acide. Ces deux paramètres sont déterminés de la même manière, seuls leurs modes d'expressions en diffèrent.

- Pour l'indice d'acide (IA), il évalue la quantité d'acides gras libres qui sont responsables du rancissement. Cet indice représente le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans un gramme de corps gras. Il s'exprime par la relation suivante:

$$IA = \frac{56,11 \times T \times V}{m}$$

V: Nombre de ml de la solution de KOH.

T: normalité de la solution de KOH.

m: masse en gramme de la prise d'essai.

- Quant à l'acidité, elle exprime le pourcentage d'acides gras libres contenus dans un corps gras. Selon la nature du corps gras, l'acidité peut être exprimée en pourcentage d'acide oléique, palmitique, érucique ou laurique selon la relation suivante :

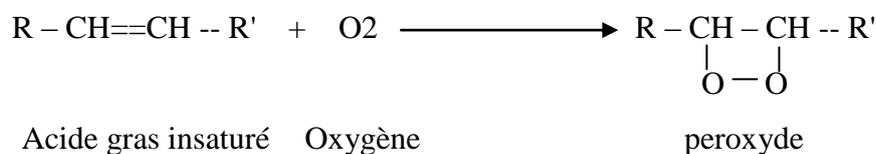
$$A\% = \frac{IA}{2}$$

Le principe de l'analyse (de l'acidité ou de l'indice d'acide) consiste en la mise en solution, d'une prise d'essai de 5 g d'huile, dans un mélange d'éthanol et d'oxyde diéthylique (V/V). On procède par la suite à un titrage des acides gras libres présents dans le mélange (huile – solvant) à l'aide d'une solution éthanolique de potassium (0,1N) en présence de phénophtaléine. La méthode utilisée est celle recommandée par l'ISO 660.

- *Indice de peroxyde*

L'indice de peroxyde permet d'évaluer la quantité de peroxydes présents dans un corps gras, ce qui renseigne sur le taux d'acides gras rances. Cet indice correspond à la teneur en oxygène actif du peroxyde présent dans le corps gras et susceptible d'oxyder l'iodure de potassium avec libération d'iode.

Au contact de l'oxygène, les acides gras insaturés s'oxydent par fixation d'oxygène et forment les peroxydes, comme il est indiqué dans la réaction suivante :



Cet indice est souvent exprimé en millimoles ou milliéquivalents d'oxygène actif par Kg de corps gras.

Le principe de la manipulation repose sur la mise d'une prise d'essai en solution dans un mélange d'acide acétique et de chloroforme avec addition d'une solution de KI. Après 5 minutes à l'obscurité, l'iode libéré est titré par une solution de thiosulfate de sodium (0,002N) en présence d'empois d'amidon comme indicateur. Parallèlement à cela, on effectue un essai à blanc. La méthode utilisée est celle décrite par la norme ISO 3960.

Les résultats sont exprimés par la relation suivante :

$$IP = \frac{T \times (V_0 - V_1)}{m} \cdot 100 \cdot \left(\frac{\text{méqd}' O_2}{\text{Kg} \cdot \text{de} \cdot \text{corps} \cdot \text{gras}} \right)$$

V_0 : Volume en ml de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour l'essai à Blanc.

V_1 : Volume en ml de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour l'échantillon.

T : Normalité exacte de la solution de thiosulfate de sodium utilisée (0,002N).

M : Masse en gramme de la prise d'essai (2g).

- *Indice de saponification*

L'indice de saponification est le nombre en milligrammes de potasse caustique (KOH), nécessaire pour transformer en savon les acides gras et les triglycérides de un gramme de produit.

L'échantillon d'huile est soumis à ébullition à reflux avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium à 0,5 N. L'excès d'hydroxyde de potassium est titré par une solution d'acide chlorhydrique à 0,5 N en présence de phénophtaléine. La méthode d'analyse utilisée est celle recommandée par la norme ISO 3657 (1977).

L'indice de saponification est donné par la relation suivante:

$$IS = \frac{56,11 \times T(V_0 - V_1)}{m}$$

V_0 : Volume en ml de la solution d'HCl utilisée pour l'essai à Blanc.

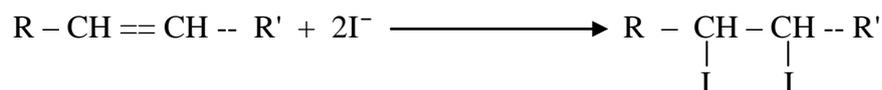
V_1 : Volume en ml de la solution d'HCl utilisée pour l'échantillon.

T : Normalité exacte de la solution d'HCl utilisée (0,5N).

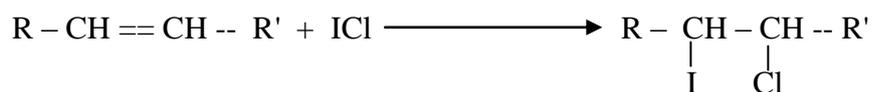
m : Masse en gramme de la prise d'essai (2g).

- *Indice d'iode*

L'indice d'iode renseigne sur le degré d'insaturation d'un acide gras. Cette insaturation facilite le rancissement du corps gras. L'indice d'iode d'un corps gras est le nombre de g d'halogène fixé par 100g de corps gras exprimé en iode selon la réaction suivante :



Le principe de la manipulation consiste en l'addition, à une prise d'essai (se trouvant en solution dans le tétrachlorure de carbone) d'un excès de réactif de Wijs (réactif composé de monochlorure d'iode en solution dans un mélange d'acide acétique et de tétrachlorure de carbone).



Après le temps de réaction, l'excès d'iode est réduit par une solution aqueuse d'iodure de potassium selon la réaction suivante



L'iode libéré est alors titré par une solution de thiosulfate de sodium à 0,1N.



La méthode utilisée est celle décrite par la norme ISO 3961 (1979).

L'indice d'iode est donné par la relation suivante :

$$II = \frac{12,69 \times T(V_0 - V_1)}{m}$$

V_0 : Volume, en ml, de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour essai à blanc

V_1 : Volume, en ml, de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour l'échantillon.

T : Normalité de la solution de thiosulfate de sodium utilisée 0,1N.

m : Masse, en grammes, de la prise d'essai 0,15g.

2. 2. 4. Etude des constituants chimiques de l'huile d'argan

- Détermination des acides gras

Les acides gras sont les constituants essentiels des glycérides. L'étude de leur nature occupe une place prépondérante dans l'identité des corps gras, ce qui permet de juger de sa pureté et de son intérêt alimentaire et industriel (MORDRET, 1976).

Les principales méthodes analytiques utilisées font appel aux techniques chromatographiques et spectrométriques.

La détermination des acides gras a été effectuée par chromatographie phase gazeuse (CPG), selon la méthode préconisée par la norme AFNOR NF 60- 233.

Le principe de ces techniques repose sur la transformation des acides gras en dérivés esters d'acides gras ou esters méthyliques.

➤ Préparation des ester méthyliques

L'estérification est effectuée par le méthanol en présence d'un acide fort HCl. La norme AFNOR NF 60- 233 comporte 4 différentes méthodes d'estérification et une microméthode qui s'apparente aux 4 méthodes normalisée (KARLESKIND, 1992). Cette microméthode est actuellement la plus utilisée par les laboratoires d'analyse. Les différentes étapes de cette technique peuvent être résumées comme suit :

Dans un tube en verre de 5 ml.

- Introduire 2 gouttes d'huile.
- Ajouter 1ml d'hexane et agiter 2 secondes.
- Introduire 0,2 ml de soude méthanolique (2N) et agiter pendant 10 secondes.
- Porter au bain-marie à 50 °C pendant 20 secondes et agiter pendant 10 secondes.
- Ajoute 0,2 ml d'acide chlorhydrique méthanolique (2N), agiter et laisser décanter.
- Prélever la phase surnageante puis injecter l'échantillon dans le CPG.

➤ Chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques

L'analyse des esters méthyliques a été effectuée par CPG avec détecteur à ionisation de flamme (FID) dans les conditions opératoires suivantes :

- Colonne capillaire de longueur: 30 m.
- Phase stationnaire : BPX 70.
- Gaz vecteur : azote (N₂) : débit 30ml/min.
- Température de la colonne : 180 °C.
- Température de l'injecteur : 240 °C.
- Température du détecteur FID : 230 °C.
- Quantité injectée : 1 µl.
- La surface des pics : est calculée en pourcentage par un logiciel.
- Chromatographe capillaire de la marque THERMO FINNIGAN.

- Détermination des triglycérides par chromatographie en phase liquide (HPLC)

Les différents triglycérides que renferment les corps gras se distinguent par la nature et la position des acides gras composant ces triglycérides. La chromatographie liquide (HPLC) est la technique qui, depuis longtemps, permet la séparation des triglycérides. Le principe de la manipulation est basé sur la séparation des triglycérides selon leur nombre de carbones par chromatographie liquide à haute performance (HPLC).

La détermination de la composition des triglycérides par HPLC est effectuée selon la norme apparue dans le journal officiel européen N° 248 du 05/09/91 du règlement (CEE) N°2568/91 de la commission du 11 Juillet 1991.

L'analyse des triglycérides (faite à partir d'une solution d'acétone contenant 5 % d'huile) a été effectuée par HPLC (de marque WATERS) muni d'un détecteur à UV-Visible dans les conditions opératoires suivantes :

- Colonne en acier de longueur de colonne : 25 cm.
- Phase stationnaire : C₁₈.
- Solvant d'éluion : mélange acétonitrile /acétone (50/50).
- Débit : 1,5 ml/min.
- Quantité injectée : 20 µl.
- Longueur d'onde $\lambda = 292$ nm.
- Boucle d'injection : 20 µl
- Détecteur UV-Visible.
- La surface des pics : est calculée en pourcentage par un logiciel BREEZE.

- Détermination des insaponifiables

L'insaponifiable d'une matière grasse est l'ensemble des composés extractibles par solvants des lipides après saponification du corps gras par une solution de potasse (KARLESKIND, 1992).

Cet ensemble représente généralement une fraction mineure de l'ordre de 0,5 à 2 %. Malgré sa teneur infime, l'insaponifiable renferme un très grand nombre de constituants tels

que: les hydrocarbures aliphatiques, les stérols, les pigments, les vitamines, les antioxydants, les alcools aliphatiques et triterpéniques, le squalène et les caroténoïdes.

Le principe de la manipulation repose sur la saponification d'une prise d'essai de 5 g d'huile par une solution de potasse éthanoïque (2N) à chaud, pendant 20 minutes. Les substances insaponifiables sont extraites par l'éther éthylique puis lavées avec de l'eau jusqu'à réaction neutre de lavage. L'évaporation du solvant se fait par un évaporateur rotatif et le résidu restant représente les insaponifiables. La teneur des insaponifiables est déterminée par la relation suivante :

$$\text{Teneur en insaponifiable} = \frac{m_1}{m} \times 100$$

m_1 : Masse, en gramme, du résidu séché.

m : Masse, en gramme, de la prise d'essai.

▪ *Détermination des tocophérols*

Les tocophérols sont des composés contenus dans les insaponifiables, ces composés possèdent un pouvoir vitaminique et antioxydant (DRISSI, 2006). Ce sont les techniques spectroscopiques et chromatographiques qui permettent d'identifier la fraction tocophérolique, mais la technique la plus adaptée et la plus recommandée est celle de l'HPLC.

La méthode utilisée pour la détermination des teneurs en α -, β -, γ - et δ -tocophérols des corps gras est celle prescrite par la norme ISO 9936. La méthode est applicable à la fois aux corps gras d'origines animale et végétale. Les fractions massiques des différents tocophérols sont exprimées en ppm.

Le principe de la manipulation consiste à dissoudre une prise d'essai de 2 g d'huile dans l'hexane. La séparation des tocophérols se fait, à partir de cette solution, par HPLC mais l'identification est réalisée par un spectromètre UV (l'absorbance s'effectue à 292 nm).

Les différentes étapes caractérisant cette analyse peuvent être résumées comme suit :

➤ *Préparation des solutions étalons*

La préparation d'une solution standard mère (alpha-tocophérol, gamma-tocophérol et delta -tocophérol) en faisant dissoudre 10 mg de l'étalon dans 100 ml d'hexane. En partant de la solution mère, des solutions standard de travail ont été préparées. Pour cela, 10 ml de la solution mère est transvasée dans un évaporateur rotatif afin d'éliminer l'hexane. Une fois éliminé, l'hexane est immédiatement remplacé par 10 ml de méthanol.

Après cette préparation, l'absorbance de chaque solution standard de travail doit être déterminée à la longueur d'onde de 292 nm.

➤ *Préparation des solutions d'essais*

Les solutions d'essais sont préparées en dissolvant 2 g d'huile dans 25 ml d'hexane. Une fois réalisée, un volume de 20 µl sera prélevé de la solution puis injecté dans l'HPLC. L'analyse s'effectue selon les conditions opératoires suivantes :

- La colonne en acier de longueur de 25 cm
- Phase stationnaire C₁₈
- solvant d'élution : Solution à 0.5% (V//V) de isopropanol dans l'hexane.
- Débit : 1, 50 ml/min.
- Longueur d'onde: 292 nm.
- Quantité injecté: 20µl.
- Boucle d'injection : 20µl.
- Détecteur UV Visible.
- Intégration se fait par Logiciel BREEZE.

▪ *Détermination et dosage des stérols par HPLC*

La détermination de la fraction stérolique est d'une très grande importance puisque cette fraction est spécifique pour chaque corps gras et elle est utilisée comme traceur pour évaluer l'adultération des huiles (KARLESKIND, 1992). L'analyse des stérols intervient dans le contrôle de la pureté des corps gras. Une teneur anormale en un stérol sera un indice de l'adultération.

L'analyse des stérols est préconisée par la réglementation européenne surtout pour l'huile d'olive. Plusieurs organismes (AFNOR, ISO, IUPAC, FIL) ont normalisé de nombreuses méthodes. La méthode recommandée par AFNOR est celle décrite par la norme NFT 60-232.

Le principe de la méthode, selon son concepteur SANCHEZ-MACHADO *et al.*, (2006), consiste à doser les stérols par HPLC. Les stérols ont été identifiés par spectrométrie (HPLC/UV). Les échantillons ont été saponifiés à reflux avec une solution molaire de KOH éthanolique. La fraction insaponifiable a été extraite par l'hexane. Les stérols ont été mesurés par HPLC avec détection UV. L'analyse s'effectue selon les conditions opératoires.

- La colonne en acier de longueur de 25 cm.
- Phase stationnaire C₁₈.
- Solvant d'élution : méthanol et acétonitrile (30:70 V//V).
- Débit : 1, 20 ml/min.
- Longueur d'onde: 205 nm.
- Quantité injecté: 20µl.
- Boucle d'injection : 20µl.
- Détecteur UV-Visible.
- Intégration se fait par Logiciel BREEZE.

3. Analyse des données

Pour chaque détermination nous avons effectué trois essais et nous avons calculé la moyenne des essais, ainsi que l'écart type. Puis nous avons procédé à l'analyse de variance de tous les facteurs. Les comparaisons sont réalisés au moyen du test de Tukey's HSD (Honest Significant Difference), pour son efficacité, au seuil de confiance $\alpha = 5 \%$.

Résultats et discussion**Introduction**

L'Algérie à l'instar des pays du bassin méditerranéen, possède une grande richesse en termes de ressources phytogénétiques. Malheureusement ces ressources naturelles sont restées, jusqu'à présent, peu étudiées et sous-exploitées. Parmi ces espèces naturelles figure l'arganier, une espèce endémique Marocco-Algérienne qui dans notre pays se trouve actuellement en difficulté pour ne pas dire en voie d'extinction.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche (intégré au laboratoire de recherche "Bioressources" ayant fixé comme objectifs la préservation et la valorisation de l'arganier. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'analyse de la qualité physico chimique et organoleptique de l'huile d'argan algérienne, en vue de la comparer avec les huiles Marocaines qui envahissent actuellement le marché international. Déceler une qualité particulière dans la composition de l'huile d'argan algérienne (chose possible à obtenir compte tenu de la variabilité génotypique caractérisant les arganeraies Algériennes, des Marocaines) lui confère une valeur ajoutée lors de sa commercialisation.

Nous avons essayé à travers cette étude de déterminer un certain nombre de caractéristiques (biométriques, physico chimiques, organoleptiques, etc.) de l'huile d'argan extraite d'amandes provenant de deux régions d'Algérie (Oued L'Ma dans la Hamada de Tindouf et Stidia de Mostaganem).

1. Analyse biométrique de certains paramètres liés aux noyaux et aux amandes

Les noyaux d'argan des deux régions se distinguent entre eux aisément selon leurs formes. Cette observation est confirmée par la détermination de certaines caractéristiques biométriques. En effet, les noyaux des variétés d'arganier de la région de Mostaganem, sont généralement de petites tailles comparativement à ceux provenant de Tindouf. Ils prennent toujours des aspects ronds et fusiformes (figure 12). La même forme se rencontre chez les variétés de Tindouf avec cependant une taille plus importante chez ces dernières. La couleur des noyaux quant à elle, toujours brune, est identique aux deux variétés (figure 12).

Pour les amandes, les formes des variétés, quelle que soit leur origine, prennent souvent un aspect aplati et fusiforme et de coloration blanchâtre (figure 13).

Les résultats de l'analyse biométrique, des noyaux et des amandes de l'arganier des deux régions, sont présentés dans le tableau 9

Tableau 9 : Analyse biométrique des noyaux et des amandes provenant des régions de Tindouf et de Mostaganem

Paramètres mesurés		Régions	
		Tindouf	Mostaganem
noyau	longueur (mm)	25,77 ± 0,99	24,8 ± 1,69
	largeur (mm)	20,35 ± 1,37	16,7 ± 1,42
	épaisseur (mm)	20,65 ± 1,32	14,9 ± 1,73
	masse (g)	3,49 ± 0,53	2,59 ± 0,70
Amande	longueur (mm)	18,93 ± 1,07	18,3 ± 1,06
	largeur (mm)	10,87 ± 1,10	09,6 ± 1,26
	épaisseur (mm)	1,5 ± 0,53	3,01 ± 0,55
	masse (g)	0,25 ± 0,096	0,28 ± 0,11

Les résultats de ce tableau (où chaque chiffre représente en fait la moyenne d'un échantillon de 100 noyaux ou amandes), montrent qu'il existe, dans la plupart des paramètres mesurés, des différences significatives chez les noyaux.

Les différences sont notables entre les deux variétés particulièrement au niveau de la largeur, l'épaisseur et la masse des noyaux. Les noyaux des variétés de Tindouf sont plus larges et plus épais que ceux des variétés de Mostaganem. En termes de poids ce sont les variétés de Tindouf qui l'emportent.

Quant aux amandes, l'analyse statistique montre que les deux variétés ne présentent pas beaucoup de différence entre elles à l'exception de l'épaisseur où les variétés de Mostaganem paraissent plus fournies. En effet, les amandes de Mostaganem présentent une épaisseur deux fois plus importantes que les amandes de Tindouf. En termes de poids ce sont les variétés de Mostaganem qui l'emportent (tableau 9).

Dans notre cas, la plupart des paramètres biométriques mesurés ne semblent pas nous éclairer dès le départ sur le rendement potentiel en huile des variétés. Ni les paramètres mesurés sur les noyaux ni ceux pris sur les amandes ne peuvent être utilisés comme indice (ou marqueur) morphologique pour prévoir (à titre approximatif) les rendements potentiels en huile des variétés. Seule l'épaisseur des amandes semble avoir une corrélation avec le rendement en huile puisque, les variétés de Mostaganem (à épaisseur importante) enregistrent des rendements meilleurs que celles de Tindouf et aussi le poids des amandes semble avoir une corrélation (tableau 9).

Une étude, concernant le poids et l'épaisseur des noix, a été effectuée sur des variétés dans des régions distinctes montre que le poids des noyaux varient de 0,9 à 4,7 g par noix et leurs épaisseurs varient de 11 à 19 mm (NOUAIM, 2007).

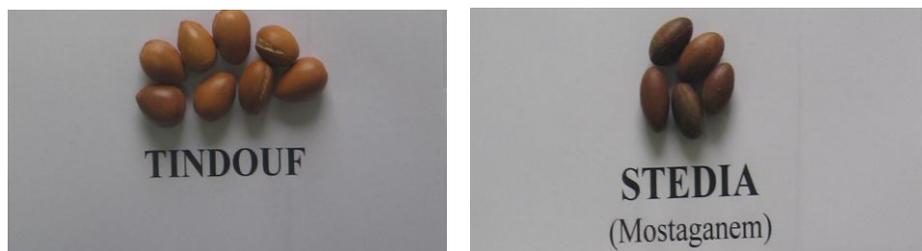


Figure 12 : Aspects des noyaux d'argan provenant des régions de Tindouf et de Mostaganem.



Figure 13 : Aspects des Amandes d'argan des régions de Tindouf et de Mostaganem

2. Détermination du rendement en huile

L'extraction des huiles à partir d'amandes s'est effectuée par solvant à l'aide du soxhlet. Elle s'est réalisée à des temps variés et en présence de solvants de différentes natures.

2. 1. Effet de la nature du solvant sur le rendement en huile

Dans ce travail, nous avons trouvé opportun de quantifier le rendement en huile en fonction de la nature du solvant. Quatre solvants notamment: l'hexane, l'éther diéthylique, le cyclohexane et l'éther de pétrole, ont été testés. La durée d'extraction était de 6 heures pour l'ensemble des solvants testés. Les expériences ont été conduites avec les deux variétés (de Tindouf et de Mostaganem). Le meilleur rendement a été acquis par l'hexane avec un taux de 66,5% pour l'huile de Mostaganem et un taux de 55,9%, pour l'huile de Tindouf. Les solvants polaires provoquent l'extraction de la matière grasse ainsi que d'autres produits non gras.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure 14

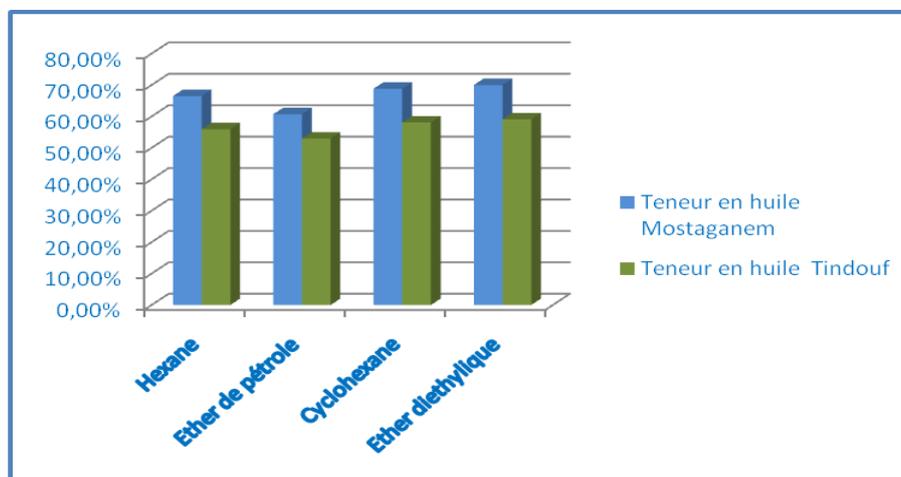


Figure 14 : Rendement en fonction de la nature du solvant

2. 2. Effet de la durée d'extraction sur le rendement en huile

L'influence de la durée d'extraction sur le rendement a été expérimentée seulement avec l'hexane comme solvant compte tenu de son efficacité. L'estimation des rendements a

été effectuée à des temps d'extraction variés allant de 6 à 16 heures. Les résultats représentés dans la figure 15.

A la lecture des résultats, la première observation qui peut être faite est relative au temps d'extraction. La durée de 6 heures semble suffire pour extraire le maximum d'huile chez les deux variétés. Le prolongement de la durée d'extraction au delà de cette limite n'apporte aucune amélioration notable du rendement en huile. Entre 6 heures et 16 heures d'extraction, la variation du rendement n'était que de 1,31 % chez les variétés de Mostaganem et de 0,28 % chez les variétés de Tindouf.

La deuxième remarque est liée à la différence de rendement en huile enregistrée par les variétés. Les amandes provenant de la région de Mostaganem paraissent plus riches en huile (66,52 %) que celles de Tindouf (55,94 %) et cela quelle que soit la durée d'extraction appliquée. A cette échelle, les rendements sont significativement différents entre les deux variétés avec une probabilité ($P = 0,0043$).

Les rendements obtenus avec les deux variétés et particulièrement les variétés de Mostaganem semblent, en les comparant avec ceux rapportés par la littérature, meilleurs. En effet, selon de nombreux auteurs, ayant travaillé avec des variétés Marocaines, en empruntant le même procédé d'extraction, les rendements maximaux enregistrés, ont atteint les 50 % (RAHMANI, 1978), 55 % (CHARROUF, 1998) et 52 % (MOUNTASSER, 1999). Les rendements obtenus avec les variétés de Mostaganem ont atteint les 66,52 %. Ces différences de rendement entre les différentes variétés peuvent être attribuées à l'effet génotypique existant entre les arbres sur les quelles les graines ont été récoltées, comme l'a souligné HILALI (2005).

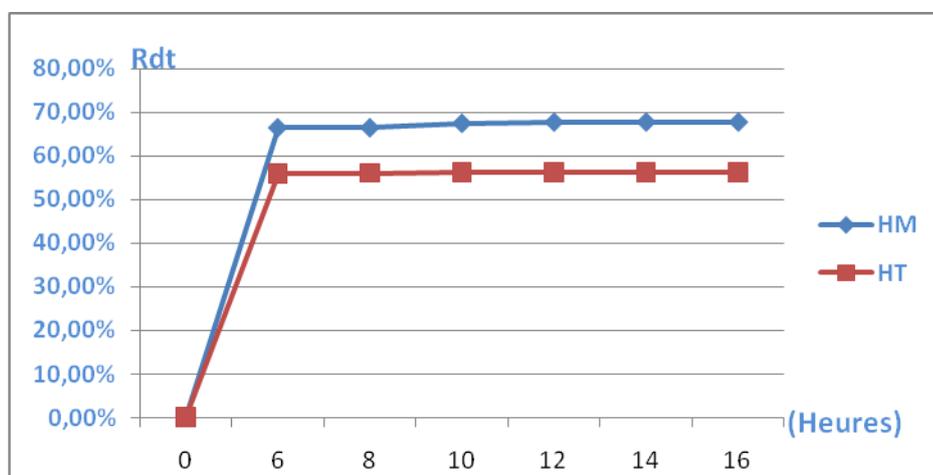


Figure15 : Rendement en huile en fonction du temps chez les deux variétés d'amandes

3. Etude des caractéristiques physico-chimiques de l'huile

3.1. Caractéristiques physiques

Les résultats obtenus des caractéristiques physiques sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Les propriétés physiques de l'huile d'argan des deux régions

Paramètres		Huile d'argan Mostaganem	Huile d'argan Tindouf	P	NM
Densité à 20 °C		0,9180 ± 0,00	0,9120 ± 0,00	0,0114	0,906 - 0,919
Indice de réfraction 20°C		1,4695 ± 0,00	1,4650 ± 0,01	0,6361	1,463 - 1,472
Extinction spécifique	A 270 nm	0,2900 ± 0,08	0,1900 ± 0,10	0,2177	0,35- 0,45
	A 232 nm	1,2500 ± 0,03	1,8200 ± 0,09	0,0011	
$\Delta K =$		0,0015	0,0015	0,000	$\leq 0,01$
Viscosité en Cpoise		75,33 ± 1,53	70,33 ± 1,53	0,0172	
Couleur		29,33 ± 1,53	24,33 ± 1,53	0,0172	

3.1.1. Densité

La détermination de la densité d'une huile nous renseigne sur sa pureté Elle est fonction de la composition chimique des huiles et de la température (KARLESKIND, 1992). Dans notre étude, nous avons déterminé ce critère de pureté à une température de 20 °C, chez les variétés de Tindouf et de Mostaganem

Les résultats révèlent que les valeurs moyennes des densités des deux variétés d'huile sont significativement différentes ($P = 0,0114$). La densité de l'huile de Tindouf (HT) est de 0,9120 contre 0,9180 pour celle de Mostaganem (HM).

Ces valeurs concordent avec celles décrites par la norme marocaine (NM 08.50.90) pour laquelle les valeurs de la densité de l'huile d'argan varient généralement entre 0,906 – 0,919 à 20 °C (BERRADA, 1972 ; FARINES, 1984; CHARROUF, 1998 et RAHMANI, 2005). Les densités de nos huiles sont aussi proches de celles de l'huile d'olive (0,910 à 0,916), qui Selon MODET (1990) est de type oléique-linoléique.

D'après le classement des huiles, effectué par KARLESKIND (1992) (annexe 1), en fonction de leur densité, les variétés de Tindouf peuvent être classées parmi les huiles de type oléique alors que celle de Mostaganem est du type oléique-linoléique.

3. 1. 2. Indice de réfraction

L'indice de réfraction (IR) représente aussi un critère de pureté de l'huile. Il dépend de la composition chimique des huiles et de la température. Généralement, l'indice augmente avec l'insaturation ou la présence de produits secondaires (KARLESKIND, 1992).

D'après les résultats (tableau 10), les IR des deux variétés ne présentent aucune différence significative ($P = 0,6361$). En effet, les variations moyennes des IR des huiles de Tindouf et de Mostaganem sont respectivement de 1,4650 et de 1,4695. Ces deux valeurs sont très proches de celles énoncées par la norme marocaine (NM 08.50.90) où les indices de réfraction oscillent entre 1,4630 et 1,4720 (RAHMANI, 2005). CHARROUF (1998) rapporte des indices de 1,468 (chez les huiles extraites par solvant) et BERRADA (1972) trouve une valeur de 1,463 (chez les huiles extraites par voie traditionnelle). HILALI (2001) quant à lui, en travaillant sur 21 échantillons (provenant d'arbres différents) a trouvé que les valeurs des indices de réfraction se répartissent entre 1,4656 et 1,4708. Ces dernières valeurs se rapprochent des résultats signalés par MAURIN (1992).

Il est utile de noter que l'huile d'olive encore une fois présente des valeurs d'IR (1,468 à 1,470) voisines aux nôtres (NAUDET, 1992)

Notons par ailleurs, qu'à travers les indices trouvés, qui caractérisent nos huiles, nous pouvons dire que le taux des triènes (dans nos huiles) est très bas, nos huiles se classent parmi les huiles de type oléique - linoléique (KARLESKIND, 1992).

3. 1. 3. Viscosité

La viscosité d'une huile constitue aussi un critère de pureté. Elle dépend, comme les critères précédents, de la composition chimique des huiles et de la température. Elle croît avec le poids moléculaire et la saturation des corps gras ou avec la présence de fonctions secondaires sur les chaînes grasses (KARLESKIND, 1992).

Les valeurs obtenues pour les huiles de Tindouf et de Mostaganem sont respectivement de 70, 33 et 75, 33 CP (tableau 10). Il existe une différence significative ($P = 0, 0172$) de viscosité entre ces deux variétés d'huiles. De ces chiffres, l'HM paraît plus visqueuse que celle de Tindouf. Ces deux valeurs sont très proches de celle de l'huile d'olive qui varient de 75 – 79 CP (MORDRET, 1999) La comparaison de nos résultats avec d'autres données sur l'huile d'argan n'a pas été possible par manque de référence bibliographique sur le sujet.

3. 1. 4. Couleur

La détermination de la couleur des huiles renseigne sur les pigments qui peuvent éventuellement exister dans une huile (RAHMANI, 1990).

La couleur est déterminée en analysant l'huile par spectrométrie dans le visible (selon le mode opératoire décrit par l'A.O.C.S (AFNOR). Les résultats obtenus, sur ce critère, avec les huiles provenant de Mostaganem et de Tindouf sont respectivement de 29,33 et 24,33 (tableau 10). L'analyse statistique montre qu'il existe une différence très significative ($P = 0, 0172$) entre la couleur des deux variétés d'huiles.

Les deux huiles semblent contenir plus de pigments résiduels dans la mesure où elles font apparaître des valeurs situées entre 24, 33 et 29, 33 (valeurs correspondantes à une coloration jaune à brunâtre des huiles). Ceci laisse penser qu'en plus de la chlorophylle, les huiles sont riches en pigments caroténoïdes et en xanthophylles (KARLESKIND, 1992).

3. 1. 5. Extinction spécifique dans l'UV

L'extinction spécifique d'une huile représente un critère de qualité. Elle est déterminée par spectrophotométrie dans le domaine des ultraviolets.

Les résultats obtenus, présentés dans le tableau 10, peuvent se résumer comme suit :

- Pour l'HT, les valeurs des absorbances obtenues à 270 nm (K_{270}) et 232 nm (K_{232}) sont respectivement de l'ordre de 0,19 et de 1,82. La valeur du ΔK est de 0,0015.
- Pour l'HM, les valeurs des absorbances obtenues à 270 nm et 232 nm sont respectivement de 0,29 et 1,25. La valeur du ΔK est de 0,0015.

Les valeurs de l'extinction spécifique de nos résultats, obtenues à 270 nm (K_{270}), répondent à la norme marocaine (NM.08.5.090), puisque ces valeurs sont toutes inférieures (comme le prescrit la norme) à 0,35 (huile extra vierge) et à 0,45 (huile vierge courante) (RAHMANI, 2005).

L'extinction spécifique des huiles d'argan a été aussi déterminée par HILALI (2005) sur des échantillons prélevés à partir de 21 arbres. Les résultats de cette étude, révèlent que les valeurs de K_{270} varient généralement entre 0,228 et 0,426.

Pour les valeurs de ΔK que nous avons obtenues, elles restent dans les limites fixées par la norme marocaine pour toutes les catégories d'huile (la norme recommande un ΔK toujours $\leq 0,01$) (RAHMANI, 2005).

D'après les valeurs des extinctions spécifiques obtenues, et en comparant nos résultats à la norme marocaine, nous pouvons classer sans ambages nos huiles (quelle que soit leur provenance) dans la catégorie des huiles extra vierges.

3.2. Caractéristiques chimiques

Les résultats obtenus pour les caractéristiques chimiques sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Les propriétés chimiques de l'huile d'argan des deux régions

Paramètres	Huile de Tindouf	Huile de Mostaganem	P	NM
Acidité (% d'acide oléique)	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,1005	0,8- 2,5
Indice de peroxyde (meq d'O ₂ /Kg d'huile)	2,65 ± 0,03	2,60 ± 0,03	0,3387	15 - 20
Indice de saponification (mg de KOH/g d'huile)	190,79 ± 1,28	188,55 ± 0,58	0,0516	189,0 - 199,1
Indice d'iode (g d'iode /100g d'huile)	97,02 ± 1,75	101,45 ± 1,50	0,0301	91 - 110

3.2.1. Indice d'acide

L'indice d'acide (ou acidité) est un critère de qualité permettant de déterminer la teneur en acides gras libres qui renseigne sur l'activité des lipases, la stabilité de l'huile ainsi que sur la qualité du fruit. Les acides gras libres dérivent de l'hydrolyse des triglycérides.

Les valeurs de l'acidité des huiles de Tindouf et de Mostaganem sont respectivement de l'ordre de 0,12 % et de 0,11 % (tableau 11). L'acidité des deux huiles (quelle que soit leur origine) ne présentent aucune différence significative (P = 0,1005). Ces valeurs sont inférieures à celles décrites par la norme marocaine (NM 08.50.90) qui les fixe entre 0,8 et 2,5 % (RAHMANI, 2005). D'après les résultats trouvés, l'acidité de nos huiles est très faible, ce qui leur confère une meilleure stabilité oxydative (CHIMI, 2005).

Les résultats de l'acidité de nos huiles confrontés à d'autres études (conduites sur des huiles marocaines) montrent que les valeurs sont très proches les unes des autres. Ainsi, dans

l'étude menée par HILALI (2001), l'acidité des huiles testées oscillait entre 0,14 à 1,4. Selon l'AFSSA (2002), les valeurs de l'acidité des huiles étaient de 0,49 % à 1,3 %.

L'acidité semble être influencée aussi par le procédé d'extraction des huiles. Selon l'étude conduite par CHARROUF (1998), l'acidité des huiles a atteint : 1 % (huile extraite par voie chimique) et 1,3 % (huile extraite traditionnellement). FABRE et *al.*, (1998) travaillant sur l'huile d'argan, trouvent quant à lui, des valeurs d'acidité de l'ordre de 1,8 %.

3. 2. 2. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde (IP) est un critère de qualité, il permet de voir l'état d'oxydation des huiles et de contrôler les premières étapes de l'altération oxydative (CHIMI, 2005).

Les valeurs de l'IP obtenues avec les huiles de Tindouf et de Mostaganem sont respectivement de l'ordre de 2,65 et de 2,60 meq d'O₂ / Kg d'huile (tableau 11), L'analyse de variance concernant ce paramètre ne révèle aucune différence significative (P = 0,3387) entre les deux huiles. Les valeurs que nous avons obtenues sont inférieures à celles prescrites par la norme marocaine (NM 08.50.90) et qui sont inférieures à 20 meq d'O₂ / Kg d'huile (RAHMANI, 2005). De telles valeurs nous mènent à dire que nos huiles ne présentent aucun état d'oxydation.

Certains auteurs ayant analysé l'IP des huiles d'argan marocaines trouvent des valeurs plus importantes que les nôtres. Généralement ces valeurs varient de 0,25 à 4,1 meq d'O₂ / Kg d'huile (HILALI, 2005) ou de 0,2 à 11,5 meq d'O₂ / Kg d'huile (AFSSA, 2002).

3. 2. 3. Indice de saponification

L'indice de saponification (IS) renseigne sur la longueur des chaînes d'acides gras ; il décroît avec l'augmentation de la longueur de ces chaînes. C'est un indice qui est très utile dans l'industrie des savons. Une huile qui se caractérise par un indice de saponification important, est une huile très commode pour servir dans la fabrication du savon. .

Les indices de saponification caractérisant nos huiles (tableau 11), indiquent l'existence de différences significatives (P = 0,0516) selon la région d'origine des huiles. Les huiles provenant de Tindouf avaient un IS légèrement important (190,79) par rapport à celui

de Mostaganem (188, 55). Ces valeurs sont conformes à celles signalées par la norme marocaine (NM 08.50.90) qui les fixe entre 189 - 199 (mg KOH /g d'huile) (tableau 11) (RAHMANI, 2005). Les IS de nos huiles se rapprochent beaucoup des ceux signalés par d'autres auteurs comme CHARROUF (1998) ; AFSSA (2002) ; HILLALI (2005).

Comme les autres critères, l'IS d'une huile semble varier en fonction de son origine géographique (région de provenance) (HILLALI, 2005) mais aussi selon le procédé utilisé lors de son extraction. En effet, d'après les résultats de CHARROUF (1998), l'IS des huiles extraites par voie chimique avait une valeur moyenne avoisinant les 195 alors que celui des huiles extraites par voie traditionnelle était de l'ordre de 191.

D'après le classement des huiles, effectué par KARLESKIND (1992), en fonction des IS, nos huiles peuvent être rangées dans la catégorie des huiles de type acide oléique et linoléique.

3.2.4. Indice d'iode

L'indice d'iode (II) est un critère de pureté qui informe sur la présence des liaisons éthyléniques ou acétyléniques des acides gras, ce qui permet de mesurer l'insaturation des corps gras.

D'après les résultats du tableau 11, les II des huiles de Tindouf et de Mostaganem sont très différents. Cela est confirmé par l'analyse statistique qui révèle l'existence de différences très hautement significatives ($P = 0,0301$). En effet, l'II de l'huile de Tindouf (97, 02) est plus faible comparativement à celui de Mostaganem (101, 45). Ces valeurs sont très proches de ceux signalés par AFSSA (2002) et qui varient de 99 – 102.

En plus de l'effet géographique, le procédé d'extraction se montre, une nouvelle fois, très influant sur l'II des huiles. D'après CHARROUFF (1998), l'II de l'huile extraite par voie chimique (98) était supérieur par rapport à l'II de l'huile extraite par voie traditionnelle (96 à 97).

D'après les valeurs de l'II que nous avons trouvées, nous pouvons dire que nos huiles sont non siccatives, autrement dit «des huiles comestibles».

Les valeurs des constantes physico - chimiques varient selon les auteurs. Les différences entre les résultats peuvent être expliquées par la diversité de l'origine géographique des prototypes des huiles et du processus d'extraction (MAURIN, 1992)

4. Etude des constituants chimiques de l'huile

Comme pour toutes les huiles végétales, l'huile d'argan aussi se compose essentiellement d'une fraction saponifiable qui est constituée des triglycérides constituants majoritaires et des acides gras et d'une faible fraction insaponifiable regroupant des proportions mineures de substances diverses (FELLAT-ZARROUK *al.*, 1987).

La détermination de ces fractions est essentielle dans l'identification de la nature des corps gras (MORDRET, 1976).

4.1. Détermination de la fraction saponifiable

4.1.1. Détermination des acides gras

L'analyse chromatographique permet d'identifier les acides gras (AG) qui composent l'huile d'argan.

A la lecture des résultats du tableau 12 (tiré du profil chromatographique des AG, annexe 2 et 3), nous constatons que les AG majoritaires chez les deux types d'huiles sont par ordre d'importance : l'acide oléique, linoléique, palmitique et stéarique. Nos deux huiles sont donc de type oléique-linoléique.

Les résultats du tableau 12 montrent que l'huile de Tindouf se caractérise par des teneurs élevées en acide oléique (50, 30 %) par rapport à l'HM (45, 02%).

Au contraire, pour l'acide linoléique, c'est l'HM qui semble l'emporter avec un taux qui a atteint les 36, 80 % contre 28, 99 % chez l'huile de Tindouf.

Quant à l'acide palmitique, sa proportion dans l'HT (13,84 %) est légèrement supérieure à celle de Mostaganem (12,28 %). L'analyse de la variance révèle une différence significative entre les deux huiles concernant ce composé majoritaire.

D'après nos résultats, les huiles paraissent très bien pourvues en Oméga 6 (acide linoléique) et 9 (oléique) mais appauvries en Omega 3 (acide linoléique). En effet, les teneurs en acide linoléique de nos huiles étaient de 0,23 % et de 0,12 % respectivement pour l'HM et l'HT.

De manière générale, les études statistiques ont montré des différences très hautement significatives ($P = 0,0050$) entre les HT et celles de Mostaganem pour l'ensemble des acides gras majoritaires à l'exception de l'acide stéarique. Ces variations peuvent être attribuées en grande partie à des facteurs génotypiques, environnementaux (en particulier climat et altitude) mais aussi au procédé d'extraction des huiles comme le confirment MAURIN, (1992) ; CHARROUFF, (1998) ; HILLALI, (2005) et RAHMANI, (2005).

La confrontation des nos résultats avec les résultats d'autres études menées sur des huiles marocaines montre que nos huiles sont plus riches en acides oléiques (particulièrement les HT). Ainsi, CHARROUFF (1998) dans des analyses qu'elle avait effectuées sur des huiles marocaines, avance un taux d'acide oléique de 46,4 % contre 50,30 % (HT).

Nous avons également calculé, lors de cet essai, le taux d'acides gras insaturés (AGI) totaux et qui était de 82,58 % pour l'HM et de 79,88 % pour celle de l'HT. Ces taux élevés confèrent à nos huiles des valeurs nutritionnelles et nutraceutiques (MOULIN 2007). On note cependant, que l'analyse de variance de ces données, n'indique aucune différence significative entre les deux huiles. Les taux d'acide gras insaturés totaux sont très voisins de ceux signalés par CHARROUF (1998) ; AFSSA (2002) et HILALI (2005).

Par ailleurs, il est utile de signaler que les teneurs (souvent inférieures à 0,5 %) en acides gras non majoritaires ne présentent aucune différence significative (P entre 0,1682 et 0,7560) entre les deux huiles (d'après l'analyse statistique). Ces acides gras minoritaires sont représentés essentiellement par les acides : myristique, palmitoléique, linoléique, arachidique et gadoléique (tableau 12).

Tableau 12 : Composition en acides gras (AG) des huiles d'argan provenant de Tindouf (HT) et de Mostaganem (HM).

AG	Huile d'argan Tindouf (%)	Huile d'argan Mostaganem (%)	NM 08.50.90	Huile d'argan MAURIN (1992)	Huile d'argan BELCADI (1994)
C14:0	0,20 ± 0,10	0,15 ± 0,02	≤ 0,2	Traces	0,2
C16:0	13,84 ± 0,81	12,28 ± 0,25	11,5 - 15	13,4	11,7
C16:1	0,12 ± 0,04	0,11 ± 0,05	≤ 0,2	Traces	0,1
C18:0	5,68 ± 1,34	4,72 ± 0,30	4,3 - 7,2	5,1	5
C18:1	50,30 ± 0,79	45,02 ± 1,30	43 - 49,1	44,8	46,4
C18:2	28,99 ± 1,48	36,80 ± 1,31	29,3 - 36	35,7	34,9
C18:3	0,12 ± 0,08	0,23 ± 0,19	≤ 0,3	0,2	0,6
C20:0	0,39 ± 0,05	0,27 ± 0,12	≤ 0,5	0,4	-
C20:1	0,35 ± 0,07	0,42 ± 0,06	≤ 0,5	Traces	-

4.1.2. Détermination des triglycérides

L'analyse, effectuée par HPLC, a permis d'identifier la composition de la fraction des triglycérides des deux huiles (HT et HM). Les résultats obtenus (tableau 13), montrent que les teneurs en triglycérides constituent la proportion dominante des constituants de nos huiles quelle que soit leur provenance. Ces teneurs ont atteint les 98,3 % chez l'HM et 98,5 % chez l'HT.

Les résultats sont présentés dans le tableau 13 et les chromatogrammes sont en annexe 4 et 5

Les analyses des huiles ont révélé l'existence de cinq triglycérides majoritaires qui sont : l'oléo-dilinéine (LLO), la dioléo-linéine (OOL), la palmito-oléo-linéine (POL),

palmito- dioléine (POO), et la trioléine (OOO). Ces triglycérides majoritaires comportent trois résidus d'acides gras (acide oléique, linoléique et palmitique).

Tableau 13 : Composition en triglycérides (TG) de l'huile d'argan provenant de Tindouf (HT) et de Mostaganem (HM).

TG	Huile d'argan Tindouf (%)	Huile d'argan Mostaganem (%)	Huile d'argan CHARROUF (1984)	Huile d'argan M AURIN (1992)	Huile d'argan FELLAT- ZARROUK (1985)
LLL	2,90 ± 0,01	2,83 ± 0,17	5,3	7,4	6,6
LLO	11,98 ± 0,03	15,01 ± 0,23	12,7	13,6	14,2
PLL	4,22 ± 0,07	4,55 ± 0,5	5,00	6,3	5,1
OOL	15,51 ± 0,03	18,79 ± 1,36	16,3	19,5	16,7
POL	12,61 ± 0,03	14,32 ± 0,80	13,3	13,6	14,2
PPL	2,42 ± 0,05	2,32 ± 0,27	1,5	1,6	7,6
OOO	12,08 ± 0,13	11,28 ± 1,09	15,6	12,8	14,7
POO	16,84 ± 0,24	15,76 ± 0,61	13,7	11,5	15,7
PPO	5,28 ± 0,11	4,04 ± 0,24	-	3,2	3,3
LPS	4,31 ± 0,03	2,68 ± 1,10	-	1,6	-
SOO	8,29 ± 0,01	6,38 ± 0,55	5,2	3,4	5,1
POS	3,15 ± 0,01	1,99 ± 0,24	2,1	1,8	2,9

Les résultats du tableau 13 montrent que l'HT se caractérise par des teneurs élevées en POO (16,84 %) par rapport à l'HM (15,76 %). L'analyse de variance ($P = 0,01$) montre que les teneurs en POO sont significativement différentes entre les deux huiles.

Pour le composé OOL, c'est l'HM qui contient des teneurs supérieures (18,79 %) à l'HT (15,51 %). Cette différence (hautement significative) est confirmée par l'analyse des variances ($P = 0,05$).

Les résultats du tableau 13 indiquent aussi que l'HM est plus riche en LLO (15,1 %) que l'HT (11,98 %). La différence, en ce constituant, est hautement significative entre les deux huiles (selon l'analyse de variance ($P = 0,01$)).

S'agissant du composé POL, il est plus présent chez l'HM (14,32 %) que sur l'HT (12,61 %). La différence ($P = 0,05$) entre les deux huiles, en ce composé, est hautement significative.

Le dernier constituant majoritaire, en l'occurrence l'OOO, se présente dans les deux huiles à des teneurs presque similaires. L'HT renferme 12,08 % et celle de Mostaganem 11,28 %. L'analyse de variance ne décèle aucune différence significative ($P = 0,2777$) en ce constituant chez les deux huiles.

Les triglycérides non majoritaires sont représentés essentiellement par : stéarodioléine (SOO) (6,4 - 8,3 %), trilinoléine (LLL) (2,8 - 2,9 %), palmito-dilinoléine (PLL) 4,2 - 4,6 %, dipalmito-linoléine (PPL) (2,3 - 2,4 %), linoléio-palmito-stéarine (LPS) (2,7 - 4,3), palmito-oléo-stéarine (POS) (2 - 3,1 %) et dipalmito-oléine (PPO) (4,1 - 5,3 %), (tableau 13). Certains de ces constituants non majoritaires, tels : le LPS, présentent des différences significatives entre les deux huiles (HM et HT). D'autres, par contre, comme LLL, PLL, PPL, ne présentent aucune différence significative.

Le composé, le plus important (en termes de teneur), parmi les constituants non majoritaires est le SOO. Ces teneurs varient selon les huiles (8,29 % chez l'HT et 6,38 % chez l'HM).

La comparaison, de nos résultats (relatifs aux constituants triglycérides), avec d'autres travaux, confirme la présence et la prédominance des cinq composés majoritaires (OOO, LLO, POL, OOL, POO) (que nous avons trouvés) dans la constitution des huiles d'argan (FARINES et *al.*, 1984 ; FELLAT-ZARROUK, 1987 ; MAURIN et *al.*, 1992 ; CHARROUF, 1998 ; HILLALI, 2005).

Cependant, les variations dans les proportions de ces constituants semblent varier d'une huile à une autre. Cette variation a été démontrée d'abord entre les deux huiles que nous avons testées. Elle existe aussi entre nos huiles et les huiles avec lesquelles d'autres auteurs

ont travaillé (tableau 13). Nous constatons que l'HM semble être plus riche par exemple en LLO par rapport aux autres huiles (FELLAT-ZARROUK, 1987; MAURIN et *al.*, 1992 ; CHARROUF, 1998).

Comme pour les autres constituants de l'huile, les paramètres qui peuvent influencer qualitativement et quantitativement les triglycérides sont essentiellement des paramètres liés aux génotypes, à l'environnement et aux procédés d'extraction (MAURIN, 1992 ; CHARROUFF, 1998 ; HILLALI, 2005 et RAHMANI, 2005).

4.2. Détermination de la fraction insaponifiable

Parmi les objectifs que nous nous étions fixé dans ce travail, figure la détermination de la fraction insaponifiable. Malgré sa faible teneur dans l'huile, elle revêt une importance capitale à cause des nobles composés (stérols, vitamines..) qu'elle contient (RAHMANI, 2006).

Les résultats des analyses nous ont conduit à des teneurs en insaponifiable variant entre 1,46 (HT) et 1,71 (HM). Aucune différence significative ($P = 0,1425$) ne semble exister entre les deux types d'huiles, en ce qui concerne les insaponifiables. De manière générale, les insaponifiables n'ont jamais dépassé le seuil de 2 % même dans d'autres études menées sur l'huile d'argan. Nos résultats paraissent meilleurs comparativement à ceux avancés par MAURIN (1992) (0,36 – 1,1 %), CHARROUFF (1998) (1,03 %) , YAGHMUR et *al.*, (1999) (0,3 – 1,1 %) et HILALI (2005) (0,34 - 0,56 %).

4.1.1. Détermination et dosage des tocophérols

Les tocophérols sont des constituants important dans la fraction des insaponifiables à cause de leurs actions vitaminiques et antioxydantes.

L'analyse des huiles par HPLC, nous a permis de quantifier les teneurs en tocophérols totaux de nos huiles. Ces teneurs variaient en fonction du type d'huile. Les valeurs les plus importantes sont obtenues avec l'HM (749,38 ppm) contre 657,424 ppm avec l'HT. La différence en tocophérols totaux est significative entre les deux types d'huiles et c'est l'HM qui semble l'emporter.

Ces valeurs témoignent de la richesse de nos huiles (particulièrement celle de Mostaganem) en tocophérols totaux par rapport aux variétés d'huiles marocaines où les teneurs oscillent généralement entre 629 à 660 ppm (KHALLOUKI et *al.*, 2005).

L'huile d'argan est relativement riche en tocophérols par rapport à l'huile d'olive qui enregistre des teneurs pouvant aller jusqu'à 320 mg / kg (RAHMANI, 1989). La teneur élevée en tocophérols totaux constitue une spécificité de l'huile d'argan comparativement à d'autres huiles.

L'analyse des huiles (HT et HM) nous a permis aussi d'identifier les constituants essentiels des tocophérols totaux. En général, trois tocophérols (vitamères) ont été dépistés : γ -tocophérol, α -tocophérol (vitamine E) et δ -tocophérol (tableau 14) (tiré du profil chromatographique, annexe 6 et 7) .

Le vitamère majoritaire est le γ -tocophérol avec une teneur de 689, 496 ppm (92 %) chez l'HM et 555, 827 ppm (84, 6 %) chez l'HT. D'après KHALLOUKI, (2003), ce vitamère représente environ 75 % (avec des teneurs de 500 ppm) de la fraction des tocophérols présente dans les huiles marocaines. Nos résultats concordent avec ceux de KHALLOUKI (2003) et viennent corriger l'erreur disant que l' α -tocophérol est le vitamère majoritaire (CHARROUF, 1998, AFSSA 2002).

Les résultats de l'analyse (tableau 14) nous ont révélé aussi que l'HT est plus pourvue en α -tocophérol (vitamine E) que l'HM. Chez l'HT, l' α -tocophérol représente environ 14, 6 % de la fraction des tocophérols totaux (avec des teneurs de 95, 96 ppm) alors que chez l'HM, elle ne représente que 5, 5 % (avec des teneurs de 41,22 ppm). Les taux élevés que nous avons pu obtenir avec l'HT dépassent de loin les résultats rapportés par la littérature. Les taux avancés par ces auteurs ne dépassent guère les 6,5 % (avec des teneurs proches de 57 ppm) (HILALI, 2005).

Pour l'isomère δ -tocophérol, l'analyse a révélé son existence à des teneurs de 5, 64 ppm (0, 9 %) chez l'HT et de 18,66 ppm (2,5 %) chez l'HM. C'est donc l'HM qui renferme plus δ -tocophérol comparativement à l'HT. Cela est confirmé par l'analyse de variance

($P = 0,0451$). Ces taux restent, comme même, en deçà des taux enregistrés chez des huiles marocaines (taux variant entre 6 et 12 %) (HILALI, 2005).

Tableau 14 : Pourcentage des tocophérols de l'huile d'argan de Tindouf et Mostaganem.

Tocophérols	Provenance de l'huile d'argan		
	Tindouf	Mostaganem	Maroc (RAHMANI, 2005)
Alpha-tocophérol	14,6 %	5,5 %	2,4 à 6,5 %
Gamma-tocophérol	84,6 %	92 %	81 à 92 %
Delta-tocophérol	0,9 %	2,5 %	6,2 à 12,8 %

4.1.2. Détermination des stérols

Le fractionnement des stérols a été réalisé par HPLC et a donné un ensemble de chromatogrammes. L'analyse des chromatogrammes des phytostérols obtenus pour les deux huiles (HT et HM) a révélé la présence d'un pic majoritaire correspondant probablement au schotténol, d'après la bibliographie (KHALLOUKI *et al.*, 2003). L'identification des différents pics n'a pas pu être réalisée à cause du manque enregistré dans les solutions étalons et même dans disponibilité d'un appareillage performant comme le spectromètre de masse.

Voir annexe 8 et 9

Conclusion générale

Au terme de cette étude qui avait comme objectif l'identification des constituants et la caractérisation des paramètres physico-chimiques des huiles provenant de deux régions d'Algérie : Tindouf et Mostaganem, nous pouvons retenir, de l'ensemble des résultats obtenus, ce qui suit :

- Pour ce qui est du rendement en huile extraite par voie chimique, les résultats obtenus sont sensiblement élevés par rapport à ceux rapportés par la bibliographie. Avec l'huile de Mostaganem par exemple, ces rendements ont atteint les 66,52 % alors que la bibliographie avance, dans les meilleurs des cas, des rendements allant jusqu'à 60 %.
- Quant à l'effet de la nature des solvants et de la durée d'extraction sur le rendement en huile, nos résultats n'ont pas été différents des autres études publiées sur le sujet. L'efficacité de l'hexane comme solvant et la durée d'extraction de 6 heures semblent faire l'unanimité entre les auteurs.
- Sur le plan des caractéristiques physiques de nos huiles (densité, indice de réfraction, couleur, viscosité et extinction spécifique), l'ensemble des résultats obtenus semblent répondre aux spécificités de la norme marocaine. On note cependant quelques légères différences entre les HT et HM concernant certaines caractéristiques telles : la couleur, la viscosité, la densité et l'indice de réfraction. Pour certaines de ces caractéristiques, nous n'avons malheureusement pas pu les comparer avec d'autres résultats faute de publications sur le sujet.
- Quant aux caractéristiques chimiques, nous avons relevé que l'acidité et l'indice de peroxyde de nos huiles répondent à la norme marocaine. Cependant, il y a lieu de préciser que l'acidité de nos huiles était faible comparativement à d'autres huiles, ce qui lui confère une meilleure stabilité durant la conservation. Aucune différence significative n'a été décelée entre les deux types d'huiles étudiées au sujet de ces deux paramètres.
- En tenant compte des caractéristiques physico-chimiques de nos huiles et en les comparant avec la norme marocaine, nous pouvons les classer dans la catégorie des « huiles extra-vierges ».

- Pour le volet des différents constituants identifiés, nous avons relevé que nos huiles sont pourvues d'acide gras, de triglycérides et de tocophérols.
- Nos huiles (particulièrement celles de Mostaganem) sont relativement riches en AGI totaux (plus de 82,16 %) par rapport aux huiles marocaines. La fraction des AGI est constituée, en grande partie, par l'acide oléique et linoléique. Nos deux huiles sont donc de type oléique-linoléique.
- Les acides gras saturés à faible teneur (20 %) sont représentés principalement par l'acide palmitique et stéarique.
- Pour les triglycérides, cinq composés majoritaires ont été identifiés : l'oléodiloléine (LLO), la dioléo-linoléine (OOL), la palmito-oléo-linoléine (POL), palmito-dioléine (POO), et la trioléine (OOO). Les teneurs entre ces différents composés diffèrent significativement entre les HM et HT à l'exception du (OOO). La comparaison de nos résultats avec d'autres travaux ne fait pas ressortir beaucoup de différences sur ces constituants.
- Pour les tocophérols, l'analyse a permis d'identifier 3 vitamères (l' α , le γ et le δ -tocophérol), le taux global en tocophérols est très intéressant puisqu'il a atteint les 749,38 ppm avec l'HM. Cette richesse en tocophérols donne une valeur ajoutée supplémentaire à nos huiles comparativement aux autres. D'après les résultats, l'HM est riche en γ -tocophérol (92,01 %) tandis que l'HT est riche en α -tocophérol (14,60 %).
- Pour la fraction des stérols, nous n'avons malheureusement pas pu identifier ses différents constituants par manque de standards et d'équipement approprié (spectrométrie de masse).
- Quand aux insaponifiables, nos résultats étaient plus riches (1,46 pour HT et 1,71 pour HM) en ces constituants par rapport aux résultats d'autres travaux. Ces constituants renferment beaucoup de composés nobles.

Les différences notables enregistrées au niveau des caractéristiques physico-chimiques et des constituants des deux types d'huiles peuvent être attribuées essentiellement à des facteurs génotypiques (facteurs liés à la plante ayant servi à la récolte des fruits) mais aussi à des facteurs édaphiques (facteurs liés aux conditions pédo-climatiques). Même le procédé d'extraction apporte son lot d'influence dans ce genre d'étude.

De manière générale, nous pouvons dire que les résultats obtenus, lors de cette étude, sont très encourageants.

La thématique mérite d'être poursuivie et approfondie. Nombreux sont les aspects qui peuvent être développés comme : l'influence d'autres procédés d'extractions sur le rendement en huile, le dosage des résidus mineurs de la fraction insaponifiable (stérols, les composés vitaminiques, les pigments, les saponines, les alcools triterpéniques, les hydrocarbures, les phospholipides et les composés phénoliques).

- **ADRIAN J., PORTUS J. et FRANGNE R., 1995.** La science alimentaire de A à Z édition Tec et Doc Lavoisier 2^{ème} ed Paris 1-477.
- **AFNOR., 1993.** Corps gras, graines oléagineux, produits dérivés. 5^{ème} ed, 531 p.
- **AFSSA., 2002.** Rapport relatif à l'équivalence en substance de l'huile d'argan (*Argania spinosa* L. Skeels) avec d'autres huiles alimentaires conformément à l'article 5 du règlement CE 258/97 relatif aux nouveaux aliments et nouveaux ingrédients. 8 p.
- **ALIFRIQUI M., 2004.** L'écosystème de l'arganier. PNUD. Maroc 124 p
- **ARISTAURA., 1985.** Le schotténol serait doué de propriétés anticancérigènes. Revue Planta Med. .5, 461-469.
- **ARIZAWA M., KINGHORN A.D., CORDELL G.A., PHOEBE CH. et FANSWORTH N.R., 1985.** Plants anticancer agents: Schottenol glucoside from *Baccharis cordofolia* and *ippomopsis agrretgatta*. Revue, Planta Medica. 6: 544-545.
- **BANI-AAMEUR F., 2000.** Phenological phases of *Argania spinosa* (L.) Skeels flower. For Genetics.7: 333-338.
- **BANI-AAMEUR F., 2002.** *Argania spinosa* (L.) Skeels, flowering phenology. Gen Res Crop, 49, 11-19
- **BAUMER M. et ZERAIA L., 1999.** La plus continentale des stations de l'arganier en Afrique du Nord. Revue Française Forestière. N° 3 446-450.
- **BELCADI R., 1994.** Etude des variations du système antioxydant cellulaire en fonction de l'âge et de l'apport alimentaire d'acides gras polyinsaturés, chez le rat. Influence particulière de l'ingestion de l'huile d'argan. Thèse 3ème cycle. Univ. Ibnou Zohr. Agadir, Maroc, 86 p
- **BELLUZZI A., 2002.** Fatty Acids for the Treatment of Inflammatory Bowel Diseases. Proc Nutr Soc., vol. 61(3), 391-395.
- **BENABDESSLEM Y., 2005.** Etude cytogénétique de deux population L'Arganier (*Argania spinosa*) (L) Skeels du Maroc. mémoire de magister université des sciences et de la technologie d'Oran: Mohamed BOUDIAF USTO. 57 p.
- **BENCHEKROUN F., 1995.** Les systèmes agro-sylvo-pastoraux de l'Arganier approche typologique de leur mise en valeur in Actes de journées d'étude sur l'Arganier. Essaouira du 29 au 30 septembre, Maroc.
- **BENCHETTOH A., 1999.** Contribution à l'étude de la minéralomasse de la phénologie et de la mycorization chez l'Arganier. Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie Université de Mostaganem.89 p.

- **BENNANI H., DRISSI A., GITON F., KHEUANG L., FIET J. et ADLOUNI A., 2006.** Antiproliferative effect of polyphenols and sterols of virgin argan oil on human prostate cancer cell lines. Elsevier, 09.N° 331, 1-6.

- BENZYANE M., 1995.** Le rôle socio-économique et environnemental de l'Arganier in Actes de journées d'étude sur l'arganier. Essaouira du 29 au 30 septembre Maroc.

- **BERRADA M., 1972.** Etude de la composition de l'huile d'argan. Al Awamia, 42, 1-14.

- **BERROUGUI H., ETTQIB A., HERREA-GONWALEZ M.D., ALVAREZ DE SOTOMAYOR M., BENNANI-KABCHI N. et HMAMOUCHE M., 2003.** Hypolipidemic and hypocholesterolemic effect of argan oil (*Argania spinosa* L.) in *Meriones shawi* rats Journal of Ethnopharmacology 89. 15–18

- **BERTOLI C., LÖLIGER J. et BAMER W., 2001.** Les lipides. (Polycopie de cours) Université de Lausanne. 150 p.

- **BOUCHELTA A., BOUGHADAD A. et BLENZAR A., 2005.** Effet biocides des alcaloïdes, des saponines et des flavonoïdes extraits de *Capsicum frutescens* L. Biotechnol, Agron, Soc, Environ. 9 (4), 259-269.

- **BRIGELIUS-FLOHE R. et TRABER MG., 1999.** Vitamin E: function and metabolism. FASEB J. 13: 1145–1155.

- **BRUNETON J., 1987.** Élément de phytochimie et de pharmacologie. Tec et Doc, Lavoisier Paris 585 p.

- **CALONNE C., 2007.** Maroc : l'huile d'argan, une affaire de femmes in le magazine de voyage reçu (Absolute travail Mag) N° 88.

- **CHAHBOUN J., 1993.** La filière triterpénique dans les lipides des feuilles d'*Argania spinosa*. Thèse. Université de Perpignan. France. 130 p

- **CHARROUF M., 1984.** Contribution à l'étude chimique de l'huile d'*Argania spinosa* (L.) (Sapotaceae). Thèse Sciences Univ. de Perpignan. France. 170p

- **CHARROUF Z., WIERUZESKI J.M., FKIH-TETOUANI S., LEROY Y., CHARROUF M. et FOURNET B., 1992.** Triterpenoid Saponins from *Argania Spinosa*. Phytochemst, 31 (6), 2079.

- **CHARROUF Z., 1995.** L'arganier patrimoine marocain et mondial à sauvegarder et à protéger : mini-review sur la composition de ses produits et sur les essais de valorisation. Al Biruniya, Revue Maroaine de Pharm. Tome 11, N°2, 119 p

- **CHARROUF Z., 1995.** Valorisation des produits de l'arganier. Acte des journées d'étude sur l'Arganier «groupement d'études et de la recherche pour la promotion d'ESSAOUIRA ». ESSAOUIRA 29 - 30 septembre, Maroc.

- **CHARROUF Z., EI KABOUSS A., NOUAIM R., BENSOUDA Y. et YAMEOGO R., 1997.** Etude de la composition chimique de l'huile d'argan en fonction de son mode d'extraction. Al Biruniya, Rev. Mar. Pharm. Tome 13, N°1, 35-39
- **CHARROUF Z., 1998.** Valorisation de l'huile d'argan par des groupements de femmes. In : Colloque International sur les ressources végétales 'L'Arganier et les plantes des zones arides et semi-arides' Agadir 23-25 avril.
- **CHARROUF Z. et GUILLAUME D., 1998.** Ethnoeconomical, Ethnomédical, and phytochemical study of (*Argania spinosa* (L) Skeels): Elsevier- Journal of Ethnopharmacology. 67, 7-14.
- **CHARROUF Z., 2000.** L'arganier est vital à l'économie du sud-ouest du Maroc. Biofutur, Mars. N° 220, 54-57.
- **CHARROUF Z., 2002a.** Valorisation de l'huile d'argan. Résultats et perspectives. In : Collin et Garneau, ed. Produits naturels d'origine végétale. Actes du cinquième colloque de Sainte-Foy (Québec), Université du Québec à Chicoutimi (Canada).
- **CHARROUF Z., 2002b.** L'huile d'argan, une prodigieuse vitalité née au bord du désert. Espérance Médicale. Octobre 2002. Tome 9 N° 87, 1-9.
- **CHERKI M., DEROUICHE A., DRISSI A., EI MESSAL M., BAMOU Y., IDRISSE-OUADGHIRI A., KHALIL A. et ADLOUNI A., 2005.** Consumption of argan oil may have an antiatherogenic effect by improving paraoxonase activities and antioxidant status: Intervention study in healthy men. Elsevier, 08.N° 5, 1-6.
- **CHIMI H., 2005.** Conservations comparées de l'huile d'argan et de l'huile d'olive. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 5, septembre-octobre. 467-471.
- **CHRIQI A., BALOUK A., HOUJAJI A., ADNAN A., BACHA L. et ADDEBBOUS R., 2003.** L'huile d'argan un produit de terroir : Quelle stratégie pour sa valorisation? Terre et vie n° 70, juillet. 1-5
- **COLLIER A. et LEMAIRE B., 1974.** Carotenoids of argan oil. Cah Nutr Diet, 9: 300-303
- **CONSEIL OLEICOLE INTERNATIONAL., 2001.** Norme internationale applicable à l'huile d'olive et à l'huile de grignon d'olive. COI/T.20/Doc N° 17/ Rév.1
- **DEROUICHE A., CHERKI M., DRISSI A., BENOUHOU M., CHATER R., KETTANI A., SAILI R., CHRAIBI A. et ADLOUNI A., 2005.** Profil des hormones thyroïdiennes et lipidique de deux populations du sud-ouest Marocain productrices de l'huile d'argan, Biologie et Santé vol. 5, n° 1,185-192.

- **DRAOUI M., 1998.** Contribution à l'étude de l'aspect physico-chimique de l'huile d'argan et de la composition chimique des pulpes et tourteaux. Mémoire d'ingénieur d'état en science agronomique. Mostaganem.92 p.

- **DRISSI A., BENNANI H., GITON F., CHARROUF Z., FIET J. et ADLOUNI A 2006.** Tocopherols and Saponins Derived from *Argania spinosa* Exert, an Antiproliferative Effect on Human Prostate Cancer. *Cancer Investigation*, N° 24:588–592

- **FABRE B., FORT-LACOSTE L. et CHARVERON M., 1998.** L'intérêt de l'huile d'argan vierge et enrichie en insaponifiable ainsi que les peptides extrait de tourteaux en cosmétologie. In : Colloque International sur les ressources végétales " L'Arganier et les plantes des zones arides et semi-arides " Agadir 23-25 avril

- **FAOUZI H., 2006.** L'Arganier, caractéristiques botaniques et phénologie. *Espaces marocains* - Mars-avril. 1- 11.

- **FARINES M., - CHARROUF M. et SOULIER J. 1981.** The stérols of *Argania spinosa* seed oil, *Phytochemistry*, 20, 2038-2039

- **FARINES M., SOULIER J., CHARROUF M. et CAVE A., 1984.** Etude de l'huile des graines d'*Argania spinosa* (L), spotaceae. II. Stérols, alcools triterpéniques et méthylsterols de l'huile d'argan. *Rev. Fr des corps gras* Vol 31 n° 11, Novembre, 443- 448.

- **FDILI ALAOUI B., ZEROUCH A. et CILLARD P., 2001.** Conservation study of the argan oil by thermogravimetry. *Asian J Chem*; 13: 144-150.

- **FELLAT-ZARROUCK K., SMOUGHEN S. et MAURIN R., 1987.** Etude de la pulpe du fruit de l'arganier (*Argania spinosa*) du Maroc. Matière grasse et latex. *Actes I.A.V .Rabat*.7, 17-22

- **FRIEDLI GL., 2008.** On-line Tutorials in Phytochemistry: (http://www.friedli.com/herbs/phytochem/phyto_tutorial.html).

- **GAO R., STONE W.L., HUANG T., PAPAS AM., et QUI M., 2002.** The uptake of tocopherols by RAW (264) 7 Macrophages. *J Nutr.* 1-2.

- **GASMI K., 2001.** Contribution à l'étude de l'Arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels) : croissance et mycorrhization. Mémoire d'ingénieur d'état en sciences Agronomique Mostaganem. 92 p.

- **GU J., PARK E., LUYENGI L., HAWTHORNE ME., MEHTA RG., FARNSWORTH NR., PEZZUTO JM., et KINGHORN AD., 2001.** Constituents of *Eugenia sandwicensis* with potential cancer chemopreventive activity. *Phytochemistry* 58: 121-127

- **GUILLAUME.D., 2005** Saponines et métabolites secondaires de l'arganier *Cahiers Agricultures* vol. 14, n° 6, novembre-décembre. 509-513.

- **GUNASEKERA SP., KUMAR V., SULTABAWA US., et BALASUBRAMANIAN S., 1977.** Triterpenoids and sterols of some sapotacea and their chemotaxonomic significance. *Phytochemistry*. 16, 923-926

- **HACHEM K., 2004.** Etude biochimique et histochimique des rameaux caulinaires de l'Arganier (*Argania spinosa* (L)Skeels). Mémoire de magister université des sciences et de la technologie d'Oran : MOHAMED BOUDIAF USTO. 89 p.

- **HAFES K., 1998.** Essai de micropropagation in vitro de l'Arganier (*Argania spinosa* (L) SKEELS) culture de microboutures à partir de plantes en plein champ et à partir de graines germées (hypocotyles, cotyledon, bourgeon apical). Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Université de MOSTAGANEM. 60 p.

- **HILALI M., 2001.** Contribution à la valorisation de l'arganier : Etude des caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'argan en fonction de son mode d'extraction et étude comparative des fruits de l'arganier en fonction de leurs formes et de leurs régions DESA, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Maroc. 96 p.

- **HILALI M., CHARROUF Z., SOULHI A., HACHIMI L. et GUILLAUME D., 2005.** Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. *J. Agric. Food Chem*, N° 53, 2081-2087

- **HUANG HY., ALBERG AJ., NORKUS E., HOFFMAN SC., COMSTOCK GW., et HELZLSOUER KJ., 2003.** Prospective study of antioxidant micronutrients in the blood and the risk of developing prostate cancer. *Am. J. Epidemiol.* 157: 335–344.

- **ITO Y., SASAKI R., SUZUKI S. et AOKI K., 1991.** Relationship between serum xanthophyll levels and the consumption of cigarettes, alcohol or foods in healthy inhabitants of Japan. *Intl. J. Epidemiol.* 20: 615-620.

- **KARLESKIND A., 1992** Manuel des corps gras Tome II, Ed. Tec et doc. Paris, 1992, P 1-1565

- **KHALLOUKI F., YOUNOS C., SOULIMANI R., OSTER T., CHARROUF Z., SPIEGELHALDER B., BATSCH H. et OWEN RW., 2003.** Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, squalene, sterols, tocopherols and phenolic antioxidants should confer valuable cancer chemopreventive effects. *Eur. J. cancer prev.* 12: 67-75.

- **KHALLOUKI F., SPIEGELHALDR B., BARTSCH H et OWEN RW., 2005.** Secondary metabolites of the argan tree (Morocco) may have disease prevention properties. *African Journal of Biotechnology* Vol. 4 (5), May. 381-388.

- **KOÏCHE M., 2001.** Extraction de l'huile d'amande d'abricot par voie physique et biologique. Thèse de magister INA, El Harrach, Alger. 106 p.

- **LANOISELLE J.L. et BOUVIERJ.M., 1994.** Le pressage hydraulique des oléagineux, mise au point. *Rev Franc. Des corps gras*, 3/4, Mars-Avril, 61-72.

- **LECERF J.M., 2007.** Phytostérols et phytostanols. Quel bénéfice cardiovasculaire? Cholé-Doc n° 101 Mai-Juin. CERIN.

- **LIAMS B., 2001** Les vertus d'un patrimoine. Agro-ligne, N°15 Juin-juillet, 49-50

- **MARTIN A., 1992.**Structure des lipides. Dossier scientifique de l'IFN n°1.Les lipides. Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1-15

- **MATSUDA SPT., 1998.** Biochemical Principles and Mechanisms of Biosynthesis and biodegradation of Polymers. Ed. Wiley, 300 p.

- **MAURIN R., 1992.** L'huile d'argan *Argania spinosa* (L.) Skeels, Sapotaceae. Mise au point. Rev Franç Corps Gras; 39: 139-146

- **MEBARKI M., LAMHAMADI S., MARGOLIS H. ZINE EL ABIDINE A., ABOURRAH M. et TAIMI A., 2006.** Mise au point d'un substrat de culture organique par compostage de la biomasse forestière pour la culture de l'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) en pépinière forestière. Les premières assises de la recherche forestière « L'Arganier : un rempart contre la désertification ». Essaouira : 25 et 26 Mai.

- **M'HIRIT O., BENZYANE M., BENCHAKROUNE F., EL YOUSFI S.M. et BENDAANOUN M., 1998.** L'Arganier une espèce fruitière- forestière a usages multiples. I.S.B.N.Pierre Mardaga. Belgique. P11.

- **MILAGH M., 2007.** L'arganier de Tindouf « l'arbre vert du désert menacé ». El WATAN : le quotidien indépendant. 23 août.

- **MOKHTARI M., 2002.** Production rapide de plants d'arganier aptes à la transplantation. Bulletin mensuel d'information du PNTTA n° 95 AOUT.

- **MORDRET F., 1976.** Previously methylated fatty acids in a. supelcowax 10 capillary column. Revue Française des corps gras. N° 23, 409 p.

- **MOULIN DU PONT., 2007.** Huile d'argan (Applications nutraceutiques et Intérêts cosmétiques). POLARIS. N° 55, Juin. 1-2

- **MOUNTASSER A. et EL HADEK M., 1999.** Optimisation des facteurs influençant l'extraction de l'huile d'argan par une presse. OCL, vol 6 n°3 Mai/Juin. 273-281.

- **MSANDA F., EL ABOUDI A. et PELTIER J., 2005.** Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures. V 14 N°4. 357-364.

- **NAUDET M., 1992.** Principaux constituants chimiques des corps gras. Manuel. Ed Lavoisier Tec et Doc, Paris 65-94.
- **NERD A., IRIJIMOVICH V. et MIZRAHI Y., 1998.** Phenology, breeding system and fruit development of argan (*Argania spinosa*, *Sapotaceae*) cultivated in Israel. *Econ Bot.* 52: 161-167.
- **NICOL M. et MAUDET M., 2000.** Caroténoïdes et vitamine A. *Actualité OCL* 7,3, 266-270
- **NOUAIM R., CHAUSSOD.R., EL ABOUDI A., SCHNABEL C et PELTIER J.P., 1991.** L'Arganier. Essai de synthèse de cet arbre. *Physiologie des arbres et arbustes en zone arides et semi-arides.* 373-388
- **NOUAIM R. et CHAUSSOD.R., 1993.** L'Arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels). (Sapotacées), le flamboyant bulletin de liaison des membres du réseau arbres tropicaux 27 Septembre.
- **NOUAIM R., 1995.** Biologie de l'Arganier in Actes de journées d'études sur L'Arganier. Essaouira 29 au 30 septembre 1995.
- **NOUAIM R., 2005** L'arganier au Maroc, entre mythes et réalités. Edition L'Harmattan, 230 p.
- **NTSOURANKOUA H. et ARTAUD J., 1997.** Dosage et identification des alcools triterpéniques dans les huiles de bourrache, cassis et onagre Oléagineux, *Corps Gras, Lipides.* *Revue agro-biotec.* Volume 4, N° 2, 147-151.
- **OTTMANI N., 1995.** Etude sur l'Arganier et la lutte contre la désertification in Actes de journées d'études sur l'Arganier. Essaouira 29 au 30 septembre 1995.
- **PUMAREDA L., HENRY F., CHARROUF Z., PAULY G. et FALCONNET G., 2006.** Valorisation des feuilles d'arganier : impact environnemental. *Bois et forêt des tropiques.* 2006, N° 287, 35-44
- **RADI N., 2003.** L'Arganier arbre de Sud-ouest Marocain, en péril à protéger. Thèse de docteur en pharmacie, université NANTES. 96 p.
- **RAHMANI M., 1989.** Contribution a la croissance de l'huile d'argan. Mémoire de 3^{ème} cycle. Institut agronomique et vétérinaire, Rabat. 38 p.
- **RAHMANI M., 1992** L'huile d'argan, un produit alimentaire et diététique de qualité. Actes du Séminaire sur l'arganier. Rabat : Division de recherche et d'exploitation forestière.
- **RAHMANI M., 2005.** Composition chimique de l'huile d'argan « vierge ». *Cahiers Agricultures* vol. 14, n° 5, septembre-octobre, 461-465.
- **SAMANE S., NOËL J., CHARROUF Z., AMAROUCH H. et HADDAD P.S 2006.** Insulin-sensitizing and antiproliferative effects of *Argania spinosa* seed extracts. *CAM*, 3(3) : 317-327.

- **SANCHEZ-MACHADO D.I., LOPEZ-HERMANDEZ J., PASEIRO-LOSADA P. et LOPEZ-CERVANTES J., 2004.**Quantification of sterols in seaweeds. Biomed. Chromatogr N°18, P 183–190.

- **SCRIBAN R., 1999.** Biotechnologie. Ed tec et doc. 613 p.

- **STUSSI I., HENRY F., MOSER PH., DAMOUX L., JEANMAIRE CHR., GILLON V., BENOIT I., CHARROUF Z. et PAULY G., 2005.** How Ecological Farming, Fair Trade and Sustainability Can Drive the Reasearch for New Cosmetic Active Ingredients. SOFW-Journal, 131, 10, 35-46

- **TAIEB BRAHIMI A., 2005.** Etude cytogénétique de deux populations L'Arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels présentes en Algérie. Thèse de magister université des sciences et de la technologie d'Oran : MOHAMED BOUDIAF USTO. 82 p.

- **TAZI M R., 2003.** Esquisse cartographique de l'aire de l'arganier *Argania spinosa* (L) Skeels au Maroc nord-oriental. Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, section science de la vie, 2003, N° 25, 53-55.

- **TERFAS M.N., 1997.** Arganier (argan en amazigh) thèse pour l'obtention de doctorat d'état .université de Dakar SENEGAL. 120 p.

- **WIESMAN Z. et CHAPAGAIN B. P., 2003.** Laboratory Evaluation of Natural Saponin as a Bioactive Agent against *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. Dengue Bulletin n°27.

- **WOLF J.P., 1968.** Manuel d'analyse des corps gras. Ed Azoulay, Paris, 218-264.

- **WOLF J.P., 1992.** Manuel d'analyse des corps gras. Ed Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 552 p.

- **YAGHMUR A., ASERIN A., MIZRAHI Y., NERD A. et GARTI N., 1999.** Argan oil-in-water emulsions: preparation and stabilization. J.A.O.C. 76: 15-18

- **ZIANE N., 2006.** Importances subventions pour le « projet Arganier » pour la sauvegarde d'une grande ressource forestière marocaine. Le portrait smagigh.