

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach - Alger
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر

Département de Technologie Alimentaire et de Nutrition Humaine

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques
Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème

**Optimisation des paramètres influençant le
rendement en huile des graines du pistachier de
l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) par pressage**

Réalisé par : M^{elle} ALIOUANE Rachida

Soutenu devant le jury :

Président: Mr. BELLAL M.M.

Directeur de thèse: Mr. FERRADJI A.

Examineurs: Mr. KADI H.

Mr. MEDDOUR H.

Professeur (ENSA)

Maitre de conférences (ENSA)

Professeur à l'Université Mouloud

MAAMMERI de Tizi Ouzou

Chargé de cours (ENSA)

Année universitaire 2009/2010

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach - Alger
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر

Département de Technologie Alimentaire et de Nutrition Humaine

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques
Spécialité : Sciences Alimentaires

Thème

**Optimisation des paramètres influençant le
rendement en huile des graines du pistachier de
l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) par pressage**

Réalisé par : M^{elle} ALIOUANE Rachida

Soutenu devant le jury :

Président: Mr. BELLAL M.M.

Directeur de thèse: Mr. FERRADJI A.

Examineurs: Mr. KADI H.

Mr. MEDDOUR H.

Professeur (ENSA)

Maitre de conférences (ENSA)

Professeur à l'Université Mouloud
MAAMMERI de Tizi Ouzou

Chargé de cours (ENSA)

Année universitaire 2009/2010

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer mes sincères gratitudee à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont cependant, tout particulièrement à :

Mr. BELLAL M.M., professeur à l'ENSA, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Mr. FERRADJI A., Maître de conférences à l'ENSA, pour avoir accepté d'encadrer ce travail. Qu'il veuille trouver ici l'expression de mes sincères gratitudee pour sa volonté, sa patience et ses critiques judicieuses qu'il m'a prodigué tout au long de ce travail.

Mr. KADI H., professeur à l'Université Mouloud MAAMMERI de Tizi Ouzou (Département de la chimie appliquée et génie chimique) pour l'honneur qu'il m'a fait de vouloir examiner ce travail.

Mr. MEDDOUR H., chargé de cours à l'ENSA (Département de Foresterie et Protection de la nature) de m'avoir assuré la matière première et bien sûr d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je ne saurai jamais remercier Mme BEN CHIKH née BOUDOOR A., responsable de laboratoire au Centre Algérien du Contrôle de Qualité et d'Emballage (CACQE), de m'avoir sacrifié de son temps pour la réalisation des analyses physico-chimiques.

Je tiens également à remercier Mr. KEDAD chef de département botanique à l'ENSA et Mme Fatima responsable de laboratoire pour leur aide tout au long de la réalisation des observations sous microscope.

Je souhaite exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont apporté leur aide, leurs conseils et leur encouragement particulièrement Hakima.

Mes remerciements vont également à tout le personnel du Département de Technologie Alimentaire et Nutrition Humaine.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes très chères et merveilleux parents qui m'ont tout apporté, ne mon privé de rien et se sont toujours sacrifiés pour ma réussite.

Mes très chères frères et sœurs

Toute ma famille

Tous mes ami(e)s

A tous ceux que j'aime et qui me sont chers.

Sommaire

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

Chapitre I: Généralités sur le pistachier de l'Atlas

1. Systématique	3
2. Origine	3
3. Description de l'espèce	4
3.1. L'arbre	4
3.2. Le fruit	5
4. Distribution de l'espèce	6
5. Stations et exigences écologiques	7
6. Intérêt de l'espèce	8
6.1. Utilisation de l'arbre	8
6.2. Utilisation de la graine	9

Chapitre II : Optimisation des paramètres influençant l'extraction d'huile des graines oléagineuses

1. Traitement des graines	10
1.1. Nettoyage	10
1.2. Séchage	10
1.3. Décorticage	10
1.4. Broyage et aplatissage	10
1.5. Cuisson thermique	11
1.6. Pression	11
2. Pressage hydraulique des graines oléagineuses	11
2.1. Paramètres influençant le taux d'extraction d'huile	11
2.1.1. Effet des prétraitements de la graine	11
2.1.2. Effet des paramètres opératoires de pressage	13
a) Effet de la température	13
b) Effet de la pression	15
c) Effet de la durée de pressage	16
d) Effet de l'épaisseur du gâteau et de la vitesse de pressage	17
2.1.3. Effet de la teneur en eau des graines oléagineuses	18

Chapitre III : Huile des graines du pistachier de l'Atlas

1. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas	20
2. Composition chimique de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	21
2.1. Composition en acides gras.....	21
2.2. Composition en stérols	23
2.3. Composition en tocophérols.....	24
2.4. Composition en triacylglycerols.....	26
2.5. Teneur en polyphénols	28
2.6. Teneur en cires	28

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

1. Matériel végétal	29
2. Méthodes analytiques.....	29
2.1. Détermination des caractéristiques physiques et histologiques de la graine du pistachier de l'Atlas.....	29
2.2. Détermination de la composition biochimique de la graine du pistachier de l'Atlas	29
2.2.1. Humidité.....	29
2.2.2. Protéines	30
2.2.3. Cellulose (Fibres)	30
2.2.4. Cendres brutes	31
2.2.5. Huile.....	31
2.2.6. Glucides.....	32
2.3. Etude des paramètres influençant le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	32
2.3.1. Extraction par voie chimique	32
2.3.2. Extraction par presse hydraulique	32
a) Description de la presse	32
b) Protocole d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse	33
c) Expression du rendement en huile par pressage	36
2.4. Détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	36
2.4.1. Caractéristiques physiques	36
a) Densité	36
b) Indice de réfraction	37

c) Viscosité.....	37
d) Absorbance dans l'ultraviolet	38
2.4.2. Caractéristiques chimiques (les indices chimiques de qualité).....	38
a) Indice d'acide	39
b) Indice de peroxyde.....	39
c) Indice d'iode	40
d) Indice de saponification	41
e) Teneur en matières insaponifiables.....	41
2.5. Etude des acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas	42
2.5.1. Préparation des esters méthyliques :	42
2.5.2. Analyse des esters méthyliques d'acide gras par CPG	42

Chapitre V : Résultats et Discussions

1. Caractéristiques physico-chimiques et histologiques de la graine du pistachier de l'Atlas	43
1.1. Caractéristiques physiques	43
1.2. Composition biochimiques.....	44
1.3. Localisation et répartition des sites producteurs d'huile dans la graine du pistachier de l'Atlas	45
2. Optimisation des paramètres influençant le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas	47
2.1. Optimisation de l'extraction de l'huile par voie chimique.....	47
2.1.1. Effet de la durée d'extraction.....	47
2.1.2. Effet de la teneur en eau de la graine	47
2.1.3. Effet du type de solvant.....	48
2.2. Optimisation des paramètres influençant l'extraction par presse.....	49
2.2.1. Effets des prétraitements de la graine	49
a) Effet du broyage des graines.....	49
b) Effet du traitement thermique de la graine	50
2.2.2. Effet des paramètres opératoires de pressage sur le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	52
a) Effet de la charge de la presse	52
b) Effet de la durée de pressage	53
c) Effet de la pression	54
d) Effet de la température de pressage	55

2.2.3. Effet de la teneur en eau de la graine	56
3. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas	59
4. Composition en acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas	60
4.1. Composition en AG de l'huile extraite par presse et par solvant.....	60
4.2. Acides gras de l'huile du péricarpe et du noyau de la graine du pistachier de l'Atlas	64
5. Effet de la température sur la qualité de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	68
Conclusion	73
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des fruits du genre <i>Pistacia</i>	6
Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des graines du pistachier iranien.....	20
Tableau 3: Caractéristiques chimiques de l'huile des graines de <i>Pistacia atlantica</i> Desf	21
Tableau 4 : Composition en acides gras de l'huile de <i>Pistacia atlantica</i> d'origine iranienne	22
Tableau 5: Composition en acides gras libres et totaux de l'huile des graines	22
de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	22
Tableau 6 : Composition en acides gras en pourcentage par rapport aux acides gras totaux de l'huile de deux espèces de pistacia	23
Tableau 7: Composition en stérols de l'huile des fruits de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	24
Tableau 8 : Teneurs en tocophérols de quelques huiles végétales	26
Tableau 9 : Composition en TAG (%) de l'huile des graines du Pistachier de l'Atlas, déterminée par HPLC selon leur degré de saturation et le nombre total de carbone dans les 3 chaînes d'acide gras. 27	27
Tableau 10 : Composition en acides gras des TAG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas ..	27
Tableau 11 : Teneur en phénols de quelques huiles végétales	28
Tableau 12 : Teneur en cires de l'huile des graines de quelques variétés du pistachier Iranien	28
Tableau 13 : Caractéristiques physiques des graines de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.	44
Tableau 14 : Composition biochimique des graines du pistachier de l'Atlas	44
Tableau 15: Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.	59
Tableau 16 : Composition en AG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par presse et par solvant.	61
Tableau 17: Composition en AG de l'huile du tégument et du noyau de la graine du pistachier de l'Atlas.....	65
Tableau 18 : Caractéristiques des huiles des graines de pistachier de l'Atlas extraites par presse à différentes températures.....	69

Liste des figures

Figure 1 : Arbres du pistachier de l'Atlas de la région de Messaâd (Djelfa-Algérie).....	5
Figure 2 : Fruits du pistachier de l'Atlas	5
Figure 3 : Structure chimique de la vitamine E.....	25
Figure 4 : Presse hydraulique conçue au laboratoire.....	33
Figure 5: Les prétraitements des graines du pistachier de l'Atlas.....	34
Figure 6: Les paramètres opératoires de pressage des graines du pistachier de l'Atlas	35
Figure 7 : Variation de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas.....	35
Figure 8 : Graines du pistachier de l'Atlas (A) provenant de la région de Messaâd.....	43
(B) d'origine Iranienne	43
Figure 9: Coupes transversales de la graine du pistachier de l'Atlas (A, B et C)	46
Figure 10 : Effet de la durée de reflux dans le soxhlet sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.....	47
Figure 11 : Effet de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas sur le taux d'extraction d'huile.....	48
Figure 12 : Effet de la nature du solvant sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas	49
Figure 13 : Effet du broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux.....	50
Figure 14 : Effet de la cuisson des graines avant leur broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux	51
Figure 15 : Effet de la charge de la presse sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux.....	52
Figure 16: Effet de la durée d'application de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux	53
Figure 17 : Effet de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux à	54
Figure 18 : Effet de la température sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux à différentes pressions	55
Figure 19 : Effet de la teneur en eau des graines sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux.....	57
Figure 20 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par solvant, obtenu par CPG.....	62
Figure 21 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par presse (dans les conditions optimales), obtenu par CPG.....	63
Figure 22 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite du tégument, obtenu par CPG.	66
Figure 23 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite du noyau, obtenu par CPG.....	67
Figure 24 : Aspect des huiles extraites à différentes températures.....	68
Figure 25 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite à température ambiante, obtenu par CPG.....	70
Figure 26: Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite à 60°C, obtenu par CPG.....	71

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation
AG : acide gras
AGI : acides gras insaturés
AGI/AGS : le rapport des acides gras insaturés aux acides gras saturés
AGMI : Acides gras mono insaturés
AGPI : Acides gras polyinsaturés
AGS : acides gras saturés
Cp : Centipoises
CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse
E : Efficacité de la presse
GCMS: Gas Chromatography coupled to a Mass Spectrometry recorder
Gr: Grossissement
H : Humidité
HPLC: chromatographie liquide de haute performance
HRT : Huile Résiduelle dans les Tourteaux
LDL: Low Density Lipoproteins
MG: matière grasse
MPa : millipascal
MS : matière sèche
P: pression
PAK: *Pistacia atlantica ssp kurdica*
PAM: *Pistacia atlantica ssp mutica*
Rdt: Rendement
ssp : sous espèce
T° : température
TAG: triacylglycérols

Introduction

Introduction

Le pistachier de l'Atlas est par excellence, un arbre des régions arides et semi-arides. Il croit dans les régions des dayas au pied de l'Atlas Saharien. Il s'étend depuis les îles Canaries à l'Ouest jusqu'au Proche Orient vers l'Est.

En Algérie, si la régénération du pistachier de l'Atlas avait été protégée depuis longtemps, elle se serait traduite par la construction de populations plus homogènes et plus nombreuses (Monjauze, 1980). Cependant, le bétoum ne cesse de régresser d'année en année suite à des actions anthropiques très sévères. Il est répertorié parmi les espèces à protéger en Algérie, nécessitant une prise en charge effective et immédiate.

Malgré son potentiel d'adaptation aux conditions arides de notre pays et son grand intérêt tant sur le plan pharmacologique qu'industriel ; l'utilisation du pistachier de l'Atlas reste faible et peu de travaux lui ont été consacrés. En effet, en plus des utilisations que trouvent ses feuilles, son bois et sa résine mastic ; ses fruits sont des graines comestibles, très riches en huile dont le procédé d'extraction et les vertus thérapeutiques et nutritionnels sont méconnus.

Divers travaux de recherche ont été menés sur l'extraction de l'huile des graines oléagineuses par presse hydraulique ou continue et sur l'influence des différents paramètres opératoires sur le rendement en huile (Lanoisellé, 1994 ; Mountasser et El Hadek, 1999 ; Ferradji et al., 2001 ; Kartika, 2005 ; Tchiegang et al., 2005 ; Yé et al. 2007). Cependant, aucune étude, dans ce sens, n'a été effectuée sur les graines du pistachier de l'Atlas, mis à part les travaux de Yousfi et al., (2003), Ghalem et Benhassaini (2007) et Benhassaini et al. (2007) en Algérie et ceux de Daneshrad et Aynehchi (1980) et Farhoosh et al. (2008) en Iran, traitant la composition chimique, surtout en acides gras, de l'huile extraite par solvant.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail de recherche qui porte sur la mise au point d'un procédé d'extraction, optimisant le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse hydraulique et ensuite l'analyse physico-chimique de l'huile ainsi obtenue.

Introduction

Notre étude comporte trois grandes parties. La première est consacrée à la description de l'espèce et les différents travaux antérieurs concernant l'optimisation des paramètres influençant le rendement en huile de diverses graines oléagineuses, ainsi qu'aux résultats concernant la qualité de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, rapportés par la bibliographie.

La seconde, quant à elle, sera consacrée à la description de la presse hydraulique conçue au laboratoire pour le pressage des graines, à l'étude de l'effet des principales variables opératoires sur le taux d'extraction d'huile, ainsi qu'à l'analyse physico-chimique d'huile obtenue.

La dernière partie va comporter les résultats et les discussions.

Etude bibliographique

*Chapitre I : Généralités sur
le pistachier de l'Atlas*

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE PISTACHIER DE L'ATLAS

Le pistachier de l'Atlas, **bétoum**, **botma**, **betouma**, **btouma** ou encore **boutmaia** en arabe local, **Ighh** en berbère et **boutmela** au Proche Orient, est une espèce caractéristique de l'Atlas Algérien, elle s'étend de la Mitidja aux régions sahariennes où elle est présente à l'état isolé dans les dayas (Chaba et *al.*, 1991).

Il semble que le *Pistacia atlantica* ait fait dans le passé l'objet d'une confusion assez fréquente, bien que la formulation princeps de l'espèce datât de la publication de **Flora atlantica** par le botaniste Français **René Louiche Desfontaines** en 1798 (Monjauze, 1980).

1. Systématique

Pistacia atlantica Desf. appartient au genre *Pistacia*, sous famille des *Rhoideae*, famille des *Anacardiaceae* et ordre des *Therebinthales*.

Pistacia est de part sa dioïcie et ses fleurs nues, un genre particulier des *Anacardiaceae* (Gausson et *al.*, 1982). Il est représenté en Algérie par quatre espèces, en l'occurrence *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Pistacia vera* et *Pistacia atlantica* (Belhadj, 1999).

L'étude monographique de ce genre faite par Zohary (1952) montre qu'il comprend quatre sections (**Lentiscella Zoh**, **Eu-Lentiscus Zoh**, **Eu-Terebinthus**, et **Butmella**) et onze espèces. Le pistachier de l'Atlas fait partie de la section **Butmella**. Cette espèce comprend plusieurs variétés, dont les plus importantes sont : *mutica*, *kurdica*, *cabulica* en Iran et *atlantica* en Algérie.

2. Origine

D'après l'étude bibliographique de Brousse (1974), le genre *Pistacia* serait d'une origine très ancienne et comptait déjà plusieurs représentants à l'époque tertiaire, ceci explique le fractionnement actuel des différentes espèces.

Le pistachier de l'Atlas est originaire du Nord Africain. Il est assez commun en Algérie (Somon, 1987).

3. Description de l'espèce

3.1. L'arbre

Le pistachier de l'Atlas est un bel arbre de 12 à 15 m de haut au port élégant, à la cime ample et touffue (Brosse, 2005). Le tronc est court avec un diamètre pouvant dépasser 1m. (Figure 1). Sa croissance est très rapide et sa longévité est de plusieurs siècles (Monjauze, 1968 ; 1980 ; 1982).

C'est une espèce xérophile, possédant un système racinaire pivotant qui peut descendre jusqu'à cinq mètres de profondeur.

L'écorce de l'arbre est d'abord rouge, puis grisâtre assez claire avant de devenir un rhytidome dur et crevassé, tessellé en profondeur, disposé en damier et noirâtre comme celui du frêne oxyphylle (Monjauze, 1980).

C'est un arbre résineux, aux feuilles semi-persistantes, alternées, à rachis finement ailé, irrégulièrement imparipennées, de 5 à 11 folioles entières, oblongues-lancéolées de 2,5 à 5 X 1 à 1,5 cm, obtuses au sommet, sessiles et glabres (Somon, 1987).

Le bétoum est une espèce dioïque à pollinisation généralement anémophile, dont la floraison se fait en Mars-Avril, en panicules axillaires pyramidales de 5 à 10 cm de haut. Ses fleurs sont unisexuées : les mâles sont des inflorescences terminales à calice de 3 à 5 sépales, pubescent avec 5 à 7 étamines ; les femelles quand à elles, sont en grappes, à calice très petit et à ovaire surmonté de 3 styles pourpres (Sahli, 1997).



Figure 1 : Arbres du pistachier de l'Atlas de la région de Messaâd (Djelfa-Algérie)

3.2. Le fruit

Appelés **EL KHODIRI** par les populations locales, appellation due à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 2001), les fruits sont des drupes ovoïdes de 6 à 8 mm de long, pointues au sommet, monospermes à endocarpe osseux et mésocarpe sec plus au moins plissé.

Ils arrivent à maturité en Septembre et on compte en moyenne 10 000 graines dans 1 Kg (Sahli, 1997). (Figure 2).



Figure 2 : Fruits du pistachier de l'Atlas

Les principales caractéristiques physiques des graines du pistachier de l'Atlas, comparées à d'autres fruits du même genre, rapportées par la bibliographie, sont rassemblées sur le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des fruits du genre *Pistacia*

Caractéristiques \ Espèces	<i>Pistacia terebinthus</i>	<i>Pistacia vera</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>Pistacia Atlantica</i>
Longueur du fruit (mm)	5,7	15 à 21	4,7	5,9 à 8,5
Largeur du fruit (mm)	4,2	6 à 9	3,9	4,2 à 6,2
Epaisseur du fruit (mm)	5,1	10 à 11	4,9	5,9 à 7,7
Poids de 100 fruits (g)	4 à 4,7	40 à 75	3,85	8,34 à 15,43
Forme du fruit	Ronde	Allongée	Ronde	Ovoïde
Couleur du fruit	Vert	Vert	Noir	Vert

Source : (Atli et al., 2001)

4. Distribution de l'espèce

Le bétoum est le plus ubiquiste des arbres du Nord Africain et du Proche Orient, sa présence indique l'existence d'anciennes forêts claires ou de steppes arborées. Il n'est pas un endémique nord-africain exclusif car l'espèce existe des Canaries au Pamir. Il est largement reparti à l'Est méditerranéen (Grèce, Chypre, Turquie, Syrie, Palestine, Crimée, dans le Caucase, en Iran, en Afghanistan et jusqu'en Inde). Le bétoum existe également dans le Sud de l'Afrique du Nord à l'état disséminé dans l'étage aride et semi-aride. (Monjauze, 1980).

En Algérie, *Pistacia atlantica* Desf. est, par excellence, un arbre des milieux steppiques. Cependant, il peut pénétrer profondément jusqu'aux régions sahariennes (Kadi-Bennane et al., 2005). L'aire de distribution du pistachier de l'Atlas au Maghreb, et plus particulièrement en Algérie, a été décrite par Monjauze (1968).

Le pistachier de l'Atlas est l'une des espèces autochtones très réponsées dans le Sud Algérien. C'est l'une des rares espèces arborescentes encore présente dans les régions semi-arides et arides, voire même sahariennes. Sa limite extrême se trouve en plein cœur du Hoggar où il existe à l'état de relique (Monjauze, 1980).

Il se trouve à l'état disséminé dans la région de Djelfa (Senalba, Ain Oussera, Messaâd), Laghouat (partie sud), Ghardaïa (Oued M'Zab) (Monjauze, 1980 ; Seigne, 1985) et dans la région Nord Occidentale de l'Algérie (Oranie) à l'état épars souvent en dehors des forêts (Benhassaini et al., 2007).

Dans le sud et particulièrement sur l'Atlas saharien, le pistachier de l'Atlas s'associe avec le genévrier de phénicie, le chêne vert et l'olivier (Bouzenoune, 1984). Il forme une association stable avec l'espèce *Myrthus nivellei* (Pistacio-Myrtetum Nivellei), dans l'Oued Idikel de l'Ahaggar (Abdelkrim, 1989).

Des populations plus importantes et dans un meilleur état sanitaire se retrouvent dans les régions arides en Algérie, elles sont groupées au niveau des dayas (dayas d'El Guelb et daya de Gaou au sud de Djelfa) et les dayas de Ghardaïa (Belhadj, 2001).

5. Stations et exigences écologiques

L'existence du pistachier de l'Atlas dans certains endroits, sous formes de reliques, isolées ou groupées, reflète sa position d'arbre de climat naturel et non pas de parac climat mono spécifique (Belhadj, 1999).

C'est un arbre xérophile, très rustique à grande amplitude vis-à-vis des facteurs climatiques, nullement affecté par les longues périodes de sécheresse. Il se développe en général sous une pluviométrie de 200 à 250 mm par an (Sahli, 1997). En effet, l'étude phytodermologique du *Pistacia atlantica* Desf. a permis de noter l'adaptation de cette espèce au manque d'eau par une absence totale des stomates au niveau de la face supérieure des feuilles (Smail-Saadoun, 2005).

En Algérie, il bénéficie d'une pluviométrie de 70 mm/an dans la région de Ghardaïa, il supporte aussi bien les basses températures (-12°C dans la région de Djelfa) que les températures élevées (49°C dans la région de Ghardaïa), néanmoins les jeunes plants craignent la gelée dans les zones semi-arides.

Il se développe sur les alluvions de plaines, le calcaire ne semble pas affecter son développement (Abdelkrim, 1985).

La nature gréseuse ou gypso-calcaire de la roche mère conditionne son association avec le jujubier dans les dépressions alluviales et le long du réseau hydrographique de l'Atlas Saharien (Benhassaini et al., 2007).

Cette association intime entre le pistachier de l'Atlas et le *Zizyphus lotus* constituerait une bonne protection aux jeunes pousses du bétoum contre les vents et le pâturage, en plus le sol où les feuilles du *Zizyphus lotus* tombent deviendrait acide et faciliterait la germination des graines du pistachier de l'Atlas (Belhadj, 2001).

6. Intérêt de l'espèce

Le genre **Pistacia** est connu par ses propriétés médicinales depuis l'antiquité. En effet, les plantes de ce genre ont été utilisées en médecine traditionnelle pour le traitement de l'eczéma, des infections de la gorge, des calculs rénaux, de l'asthme, des douleurs d'estomac, comme anti-inflammatoire et antiviral. (Kordali et *al.*, 2003).

6.1. Utilisation de l'arbre

Le pistachier de l'Atlas est un arbre à la fois protecteur que productif (Monjauze, 1967). C'est un excellent porte-greffe pour le *Pistacia vera*.

Il peut être utilisé dans les reboisements pour la protection de la steppe pastorale, en raison de sa rusticité et sa résistance à la sécheresse. Dans ce cadre, en Algérie 100 ha environ sont plantés chaque année en pistachier de l'Atlas dans les actions du barrage vert (Chaba et *al.*, 1991).

Le bétoum fournit un bois lourd peu résilient, de bonne conservation. C'est un bois d'artisanat et, bien entendu, un bois excellent pour le chauffage et la carbonisation (Monjauze, 1980).

C'est un arbre fourrager, fournissant un apport considérable en unités fourragères aux cheptels de ces régions pendant la période estivale.

L'écorce produit une résine-mastic (Oléorésine), qui exsude naturellement de façon abondante par temps chaud (Dogan et *al.*, 2003). Les populations locales faisaient autre fois quelques usages et dont la pharmacie s'est longtemps servi pour la fabrication d'onguents (Monjauze, 1980).

Cette résine dont l'odeur rappelle celle de la térébenthine est largement utilisée en industrie agro-alimentaire pour préparer les masticatoires, dans l'industrie photographique et en médecine dentaire. Elle est également utilisée comme colle (Yousfi et *al.*, 2003). Cette résine est riche en huiles essentielles (32,6%) (Barrero et *al.*, 2005), présentant un pouvoir antibactérien très intéressant surtout vis-à-vis de *E.coli*, *Staphylococcus aureus* et *Staphylococcus pyogens* (Ghalem et Benali., 2009).

Le suintement du tronc d'arbre donnant l'encre rouge est utilisé dans la tannerie des peaux (Yousfi et *al.*, 2003).

Les feuilles du pistachier de l'Atlas donnent un extrait phénolique qui présente une activité antifongique considérable et qui trouve ses utilisations dans le domaine pharmacologique (Benhamou *et al.*, 2008).

6.2. Utilisation de la graine

En Algérie, le fruit du pistachier de l'Atlas, riche en matière grasse, n'est utilisé que par la population locale d'une façon très artisanale en médecine comme anti-diarrhéique et aussi en alimentation des troupeaux (Yousfi *et al.*, 2003).

Les graines sont séchées, écrasées ou moulues et ramassées avec de l'eau sucrée et consommées en boulettes ou bien séchées et croquées telles quelles comme des cacahuètes. (Belhadj, 2001).

Les graines du pistachier de l'Atlas sont très riches en protéines et en lipides. Elles fournissent une huile riche en acides gras mono-insaturés et en phytostérols, teneur comparable à celle de l'huile d'olive, qu'on commence à peine à entrevoir ses vertus thérapeutiques et nutritionnelles envers certaines pathologies (Ghalem et Benhassaini, 2007).

L'huile du fruit est utilisée pour la saponification, pour l'éclairage et pour préparer des cosmétiques adoucissant (Chief, 1982). Elle est souvent mélangée aux dattes écrasées et peut être consommée à toute heure de la journée avec du petit lait par les populations locales (Belhadj, 2001).

L'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas et son utilisation dans différentes industries serait un moyen de valorisation de cette espèce en Algérie. Cependant, l'obtention des rendements élevés nécessite la maîtrise des paramètres influençant l'extraction de l'huile. C'est dans ce but que nous allons, dans ce qui suit, illustrer les travaux antérieurs traitant l'optimisation des facteurs influençant l'extraction de l'huile de quelques graines oléagineuses.

*Chapitre II : Optimisation des paramètres
influençant l'extraction d'huile des graines
oléagineuses*

CHAPITRE II : OPTIMISATION DES PARAMETRES INFLUENÇANT L'EXTRACTION D'HUILE DES GRAINES OLEAGINEUSES

Classiquement, l'extraction de l'huile des graines oléagineuses est réalisée dans une suite d'étapes comprenant un prétraitement thermique, un pressage et une extraction finale à l'hexane (Parmentier *et al.*, 2004).

1. Traitement des graines

Généralement, le traitement des graines riches en huile comprend les étapes suivantes : le nettoyage, le décorticage, le broyage et le laminage, la cuisson, la pression et l'extraction (Laisney, 1992).

1.1. Nettoyage

Le nettoyage est effectué dans le but d'éliminer les impuretés de grande taille (tiges, feuilles, pierres,...etc.) et les poussières. Il consiste en un tamisage par des tamis rotatifs ou vibrants puis un passage devant des aimants (aimants permanents, tambour magnétique) pour éliminer les pièces métalliques.

1.2. Séchage

L'humidité supplémentaire des graines récoltées doit être éliminée par les organismes stockeurs, pour assurer un bon stockage sans altérations.

Un séchage est aussi indispensable pour les graines qui vont subir un décorticage où la coque fait corps avec la graine (Laisney, 1992).

1.3. Décorticage

Certaines graines oléagineuses telles que le tournesol doivent subir un décorticage qui permet de séparer l'amande de la coque. Cette opération a pour objectif de diminuer la friction et l'usure dans la presse et d'améliorer la qualité de l'huile et du tourteau (Isobe *et al.*, 1992), mais surtout de faciliter les traitements ultérieurs (Laisney, 1984 ; 1992).

1.4. Broyage et aplatissage

Réalisé dans un broyeur à marteau ou à cylindre cannelés, le broyage a pour but d'augmenter le rapport de surface/volume.

L'aplatissage est une opération de laminage, réalisée par écrasement entre des cylindres lisses, à une température de 40°C permettant d'augmenter la plasticité de la graine traitée.

1.5. Cuisson thermique

Cette opération permet de stériliser les graines en détruisant les bactéries et les champignons, d'inactiver les enzymes thermosensibles (Myrosinases), de détruire les substances toxiques susceptibles d'affecter la qualité de l'huile et du tourteau, de diminuer l'humidité de la graine aux environs 3 à 5%, de coaguler les protéines et d'accroître la plasticité de la graine, assurant ainsi la libération des gouttelettes lipidiques (Laisney, 1992).

1.6. Pression

La pression est l'opération permettant l'extraction du liquide huileux hors des cellules des graines oléagineuses, par une action mécanique de compression, et la séparation du tourteau gras.

La pression s'effectue en discontinu par presse hydraulique ou en continu par presse à vis. Elle est suivie d'une extraction chimique à l'hexane pour récupérer l'huile résiduelle dans les tourteaux.

2. Pressage hydraulique des graines oléagineuses

Malgré les avantages qu'offrent les presses modernes, les presses hydrauliques sont toujours utilisées pour des applications particulières et des productions artisanales des huiles de valeur à faible tonnage. Très efficaces, les presses hydrauliques fournissent des pressions de 4 à 500 bars (Laisney, 1992).

L'utilisation des presses hydrauliques pour l'extraction des huiles des graines oléagineuses permet d'étudier l'influence de nombreux paramètres : la pression appliquée, la vitesse de descente du piston ou vitesse de compression, l'épaisseur caractéristique de pressage, la durée de pressage, la température du gâteau et la teneur en eau, pour de nombreuses graines brutes ou prétraitées (Lanoisellé et Bouvier, 1994).

2.1. Paramètres influençant le taux d'extraction d'huile

L'influence des ces paramètres a fait l'objet de nombreux travaux pour différentes graines oléagineuses (Annexe 1).

2.1.1. Effet des prétraitements de la graine

Le prétraitement des graines oléo-protéagineuses comprend le plus souvent une opération mécanique et une cuisson thermique. Il vise à faciliter l'extractibilité de l'huile et permet d'accroître les performances du pressage mécanique (Lanoisellé et Bouvier, 1994).

Les tous premiers travaux sur l'effet des prétraitements sont ceux de Taylor (1937) qui a montré que la cuisson des graines de coton, à des températures supérieures à 130°C, permettait d'accroître le rendement d'extraction d'huile.

Hickox (1953) a exploré les effets de la cuisson de la graine de coton sur la teneur en huile résiduelle du gâteau de pressage. Il a étudié l'effet du temps de cuisson (de 30 à 120 minutes) et de la température (de 104,5 à 121°C).

Les résultats montrent que la température et le temps de cuisson n'ont eu qu'un effet faible sur la teneur résiduelle en huile des graines après pressage.

Les auteurs affirment qu'une température de 104,5°C maintenue pendant 30 minutes permettait de coaguler les protéines et de détruire les parois cellulaires. Conséquemment, un accroissement de la température et du temps de maintien en température ne permettaient pas d'accroître sensiblement le rendement d'extraction.

Récemment, Khan et Hanna (1984) ont comparés trois types de prétraitements mécaniques de soja : des graines broyées avec coques, des graines brutes floconnées par extrusion à 140°C et des graines dépilliculées et aplaties.

Les résultats montrent que le meilleur rendement est enregistré pour le soja aplati (85,7%) suivi du soja floconné (60%) puis en dernier lieu le soja broyé (57%).

Singh et *al.* (1984) ont travaillé sur le pressage du tournesol, à partir des graines entières, des graines décortiquées, des graines grossièrement et finement broyées (tailles moyennes respectives des particules de 0,88 et 0,70 mm).

Les résultats ont montrés que les graines broyées avaient un meilleur rendement d'extraction que les graines entières ou décortiquées.

Pour les noix de cajou, le pressage de la graine entière donnait un rendement d'extraction de 79% contre 96% si la taille des particules était réduite à 1,5 – 1,8 mm. Inversement pour le colza, le rendement d'extraction d'huile passe de 68% à 20% lorsque la graine est broyée en particules de 0,3 et 0,6 mm respectivement (Mrema et Nc Nulty, 1986).

Mountasser et El Hadek (1999) ont également étudié l'effet de la granulométrie des amandes d'*Argania spinosa* sur le rendement en huile, les résultats obtenus montrent qu'il existe une granulométrie optimale de l'ordre de 1000 µm, pour laquelle le rendement est maximal.

Selon ces auteurs les variations du rendement d'huile d'argan en fonction de la granulométrie sont dues à l'action du broyage, en effet, ce dernier permet de réduire et de fractionner les amandes en

fines particules, ce qui facilite alors le travail de la presse et la sortie de l'huile par simple écrasement des cellules lipidiques.

D'autre part, ces auteurs ont étudiés l'effet de la cuisson thermique sur le rendement en huile d'argan. Ils ont comparés le rendement en huile des amandes torréfiée de façon artisanale, des amandes séchées à l'étuve pendant 14 heures à 40°C et des amandes non traitées.

L'ensemble des résultats a mis au point l'effet positif du conditionnement thermique, pratiqué avant l'extraction d'huile.

Les travaux de Ferradji et *al.* (2001) montrent l'importance des prétraitements des amandes des noyaux d'abricot sur le rendement en huile.

Ces auteurs rapportent que le pressage hydraulique de 500g d'amandes grossièrement broyées et précuites à la vapeur d'eau pendant 40 minutes, donne un rendement de 42,8% contre 12,33% pour les amandes non traitées.

Pour l'effet de la granulométrie, ces auteurs définissent une valeur optimale de 1mm pour laquelle le rendement est maximal (55,23%).

Tchiegang et *al.* (2005) ont étudié l'effet des traitements thermiques, par voie sèche et par voie humide, des amandes de *Ricinodendron heudelotii* Pierre Ex Pax, sur le taux d'extraction d'huile.

Les résultats obtenus montrent que quelque soit le mode de traitements des amandes, par voie sèche ou par voie humide, la température et la durée de traitement ont une influence significative sur le taux d'extraction. Cependant, le traitement par voie humide permet d'obtenir un taux d'extraction optimale pouvant atteindre 70% (72,6 % pour un traitement à 90°C pendant 90 min) ; le traitement par voie sèche ne donne que 40% (40,77 % pour un traitement à 90°C pendant 120 min).

Ce ci s'explique par le fait que l'eau absorbée par les amandes réduit l'affinité de l'huile pour les particules solides de ces dernières.

En étudiant l'effet de la granulométrie sur le taux d'extraction du beurre de Karité, Yé et *al.* (2007) ont observé que la finesse de la mouture influence favorablement le taux d'extraction avec une augmentation de la moyenne de 73% à 84% entre la fraction la plus grossière et la fraction la plus fine.

2.1.2. Effet des paramètres opératoires de pressage

a) Effet de la température

De nombreux travaux de recherche ont montré une corrélation positive entre l'augmentation de la température de pressage et le rendement d'extraction d'huile des graines oléagineuses.

Les tous premiers travaux sont ceux de Smith et Kraybill (1933). Ces auteurs ont étudié l'effet de la température (de 25 à 100°C, selon un chauffage conductif du soja, finement broyé, directement dans la cavité de pressage) et de la pression (de 35 à 138 Mpa). Le meilleur rendement de pressage (78,7%) a été obtenu à la température la plus élevées (100°C).

Mrema et Nc Nulty (1986) ont étudié le pressage de la noix de cajou et de la graine de colza. Ils ont montré que le rendement en huile augmentait de façon significative avec une augmentation de la température (de 20 à 140°C) et une réduction de la vitesse de pressage.

Hammonds et *al.* (1991) ont observé qu'un préchauffage de la pâte d'arachide à 60°C dans un four à micro-ondes permettait d'accroître notablement le rendement en huile notamment aux faibles pressions.

En étudiant l'effet de la température (35, 55, 75, 95 et 115°C) à 75 bars sur le rendement en huile des graines de tournesol, de lin, de ricin et de colza, Lanoisellé (1994) a observé que l'évolution du taux d'extraction est indépendante de la température pour le tournesol et le colza, alors que pour le lin et le ricin la température a une influence importante.

Selon cet auteur, l'augmentation de la température d'une part, tend à diminuer la viscosité de l'huile et donc favoriser son écoulement dans les plasmodesmes des parois cellulaires, mais d'autre part elle tend à accroître la mobilité des biopolymères des parois cellulaires et à modifier leur état conformationnel et donc à augmenter la résistance à l'écoulement dans les plasmodesmes.

Mountasser et El Hadek (1999) ont étudié l'effet de la température de 25 à 200°C sur le rendement en huile d'argan. Les résultats montrent qu'entre 25°C et 75°C l'effet de la température est faible, mais au delà de 75°C, le rendement en huile augmente nettement pour atteindre une valeur optimale de l'ordre de 36% à 175°C mesurée au niveau de la presse.

Selon ces auteurs, les variations du rendement d'huile d'argan extraite sont dues à l'augmentation de la fragilité et à la perméabilité des parois des cellules lipidiques en fonction du chauffage, par la suite, la libération d'huile stockée à l'intérieur de celles-ci croit lorsque la température est plus élevée.

Les auteurs (Karleskind, 1996 et Singh et *al.*, 2002) confirment que l'élévation de la température favorise la fluidité de l'huile, la destruction des cellules contenant les gouttelettes lipidiques, la coagulation des protéines et la diminution de la teneur en eau des graines, rendant plus facile la diffusion de la phase liquide dans le support solide.

Yé et *al.* (2007) ont étudié l'influence de la température sur le taux d'extraction du beurre des amandes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn C.F. (karité). Ce paramètre a été mesuré pour une pression de 20 Mpa maintenue sur des éprouvettes de broyat fragilisé à des températures variables de 30 à 150°C par pas de 20°C.

Le taux d'extraction présente un maximum de 80% à une température de 90°C. Lorsque la température augmente de 90 à 150°C, une décroissance apparaît (70%).

Un tel comportement a été observé dans les travaux relatifs à l'arachide menés par Adeeko et Ajibola (1990) et par Hamzat et Clarke (1993).

Une autre étude a aussi montré que l'expression d'huile à haute température augmente la teneur résiduelle en huile du tourteau, à cause de la réduction de la plasticité des graines (Wiesenborn et *al.*, 2001).

Comme dans le cas des presses hydrauliques, l'influence de la température sur le taux d'extraction d'huile dans les presses continues à vis a fait l'objet de plusieurs études. Kartika (2005), en étudiant l'effet de ce paramètre sur le pressage des graines de tournesol, a montré que la teneur en huile résiduelle du tourteau augmente effectivement de 21,3 à 23,5% lorsque la température augmente de 80 à 120°C, traduisant une moins bonne efficacité de pressage.

b) Effet de la pression

Lorsqu'un milieu solide-liquide confiné est sollicité par une pression, il se crée un drainage du liquide hors du solide. En règle générale, plus la pression est élevée plus la proportion du liquide extrait est importante (Yé et *al.*, 2007). Mais à basse pression l'huile extraite est de bonne qualité avec un rendement de 2/3 environ (Cheftel, 1992).

L'effet de la pression sur le taux d'extraction d'huile des graines oléagineuses a fait l'objet de plusieurs études :

Hammond et *al.* (1991) ont étudié le pressage hydraulique de la pulpe de noix de coco broyée et de la pâte d'arachide. Ces auteurs ont montré qu'une augmentation de la pression permettait d'accroître le rendement d'extraction, dans les deux cas, le rendement tendait vers des valeurs asymptotiques.

Sivala et *al.* (1991) ont examiné le pressage du son de riz et notamment le rendement d'extraction d'huile en fonction de la pression (4,9 à 32,4 Mpa) et du temps de pressage (5 à 45 minutes).

L'analyse de la variance a montré qu'une augmentation de la pression et du temps de pressage permettrait d'accroître de façon importante le rendement d'extraction d'huile.

Lanoisellé (1994) a étudié l'effet de la pression (20, 30, 50, 75 et 120 bars) à 95°C sur le rendement en huile pour les graines de tournesol, de lin, de ricin et de colza.

Les résultats montrent que le rendement de pressage augmente en fonction de la pression pour les quatre graines testées. Ce comportement est légèrement différent pour le tournesol qui présente un palier dès la pression de 50 bars, avec un rendement maximum obtenu d'environ 80%.

Les résultats obtenus par Mountasser et El Hadek (1999) montrent que le rendement d'huile d'argan augmente en fonction de la pression, sans atteindre des valeurs optimales. Ceci laisse penser que le rendement augmente jusqu'à épuisement total pour des pressions de l'ordre de 400 kg/cm². Ce comportement est dû à l'augmentation des forces mécaniques qui favorisent la fragilité et la fragmentation des cellules lipidiques.

Ferradji et *al.* (2001) ont montré que l'huile des amandes des noyaux d'abricot, grossièrement broyées et précuites à la vapeur pendant 40 minutes, s'écoule dès que la pression atteint 150 bars. A cette valeur le rendement est de 42,8%, au-delà ce dernier varie peu.

Afin de quantifier l'influence de la pression sur le taux d'extraction du beurre de Karité, des pressions de 7, 10, 13.5, 15, 16, 17, 17.5, 20, 22.5 et 25 Mpa ont été appliquées sur les éprouvettes de broyat fragilisé à 90°C par Yé et *al.* (2007).

Les résultats montrent que pour une augmentation de la pression de 7 Mpa à 25 Mpa, le taux d'extraction passe de 40% à 80%.

c) Effet de la durée de pressage

De façon générale, l'étude des paramètres opératoires de pressage hydraulique montre que quelque soit le type de graines oléagineuses, l'augmentation de la pression appliquée, de la température et de la durée de pressage favorise le rendement en huile.

Les temps de pressage explorés allaient de quelques minutes à quelque heures ; à l'évidence, le temps de pressage sera d'autant plus court que la pression est élevée et que l'épaisseur caractéristique de pressage est faible (Lanoisellé, 1994).

Les travaux de Koo (1942), relatifs aux caractéristiques de pressage de sept variétés de graines cultivées en Chine (soja, coton, colza, arachide, abrasin, ricin et sésame), montrent que

l'augmentation de la pression, de la température et du temps de pressage a permis d'accroître le rendement en huile de façon importante.

Khan et Hanna (1984) ont étudié les caractéristiques du pressage de la graine de soja. Ils ont travaillé sur des échantillons de 5 g à des pressions de 35 et 45 Mpa.

Les résultats ont montré que l'augmentation du temps de pressage de 4 à 6 minutes a permis d'accroître légèrement le rendement en huile.

Singh et al. (1984) ont étudié l'effet des caractéristiques de pressage du tournesol sur la teneur résiduelle en huile dans le tourteau. Ils ont testé 31 combinaisons des facteurs comprenant la pression (14, 28, 42, 56 et 70 Mpa), le temps de pressage (4, 5.5, 7, 8.5 et 10 minutes) et la température (20, 35, 50, 65 et 80°C) pour les graines décortiquées et finement broyées.

L'étude statistique a permis de hiérarchiser les effets. Ainsi le facteur le plus influant s'est avéré être la pression, suivi du temps de pressage puis de la température.

Les auteurs ont ainsi obtenu une teneur résiduelle minimale en huile (1%) dans le cas de la graine entière à 6% de teneur en eau, pressée à 70 Mpa et 20°C, pendant 7 minutes.

Les études d'Adeeko et Ajibola (1990) montrent une corrélation entre le taux d'extraction et la durée de pressage avec un ralentissement progressif de l'écoulement en raison du bouchage des pores sous l'effet du drainage.

Plus récemment, des essais ont été réalisés par Yé et al. (2007) en vue de déterminer le temps de pressage nécessaire pour atteindre une stabilisation du taux d'extraction du beurre de Karité. Dans ce but, des éprouvettes de broyat fragilisées à 90°C et soumises à une pression de 20 Mpa ont été pressées pendant des durées de 5, 8, 11, 14 et 17 minutes. Les résultats montrent que le taux d'extraction est stable aux environs de 75% dès les cinq premières minutes.

d) Effet de l'épaisseur du gâteau et de la vitesse de pressage

Les observations relatives à l'effet de la vitesse et de l'épaisseur du gâteau de pressage sur le taux d'extraction d'huile montrent qu'une réduction de la vitesse et de l'épaisseur du gâteau de pressage tend à accroître le rendement en huile, tous les autres paramètres étant gardés constants.

Hickox (1953) a montré que le rendement en huile des graines de coton augmente avec la réduction de la vitesse de pressage et de l'épaisseur du gâteau.

Khan (1981) a également montré qu'une vitesse de pressage faible conduisait à un rendement en huile élevé.

Mountasser et El Hadek (1999) ont constaté que le rendement d'huile d'argan augmente au fur et à mesure que l'espacement des plaques de la presse augmente jusqu'à atteindre une valeur optimale de 34% pour une charge de 0.4 cm d'épaisseur.

Si la quantité des amandes pressées augmente (épaisseur supérieur à 0.4 cm), le rendement en huile diminue.

2.1.3. Effet de la teneur en eau des graines oléagineuses

Les tous premiers travaux sur le pressage hydraulique des graines oléagineuses indiquent que la teneur en eau des graines influence de façon importante le rendement d'extraction (Lanoisellé et Bouvier, 1994) et même la qualité de l'huile extraite (Cheftel et Cheftel, 1984).

Jamieson (1932) a obtenu un rendement optimal en huile de coton pour des teneurs en eau de 8 à 9%, alors que Taylor (1937) rapporte que le rendement de pressage de la même graine est amélioré si la teneur en eau est fixée à 7- 8 %, grâce à une cuisson préalable sous pression à 129,5°C.

Koo (1942) a montré expérimentalement qu'il existait une teneur en eau optimale permettant d'obtenir un rendement de pressage maximum. Ainsi, l'auteur a identifié des teneurs optimales de 5% et de 9 - 13% respectivement pour les graines de sésame et de coton.

La teneur en eau optimale dépend étroitement de la température de pressage. Ainsi Hickox (1953) a obtenu une teneur résiduelle en huile minimale de 4.5% pour des conditions de pressage de 98°C et 6.5% de teneur en eau des graines de coton.

Khan et Hanna (1984) ont confirmé l'interaction humidité-température. Les meilleurs résultats, pour le pressage des graines de soja, ont été obtenu à 9.5-10% de teneur en eau.

Sivala et *al.* (1991) ont montré que le rendement d'extraction augmentait lorsque la teneur en eau du son de riz augmentait. A pression élevée (25,5 Mpa), les auteurs ont mis en évidence une teneur en eau optimale de 10,5%.

Les études de Hammonds et *al.* (1991), sur la pâte d'arachide et la pulpe de noix de coco, montrent également une teneur en eau optimale, de l'ordre de 10 à 12% dans les deux cas, quelle que soit la pression appliquée.

En étudiant l'effet de la teneur en eau des graines de colza (3.58, 6.55 et 9.62%) et de la température de pressage (85, 95, 105 et 115°C) sur le taux d'extraction d'huile, Lanoisellé (1994) a pu mettre au point l'effet favorable du couplage température-humidité de la graine.

Les résultats montrent que les deux facteurs influents très significativement sur le rendement en huile. Pour chaque température testée, l'humidité optimale de pressage des graines est le maximum testé (3.58%). L'auteur attribue l'obtention de rendements plus favorables à faible teneur en eau au fait que les globules lipidiques seraient rendus plus fragiles.

Récemment, Ferradji et *al.* (2001) ont constaté que le rendement en huile augmente avec l'accroissement de la teneur en eau.

Pour les amandes des noyaux d'abricot précuites à la vapeur pendant 40 minutes, la teneur en eau augmente de 8,34% à 14,66% parallèlement le rendement augmente de 12,33% à 42,8%. Au delà de 14,66% de teneur en eau, le rendement en huile diminue.

*Chapitre III : Huile des graines
du pistachier de l'Atlas*

CHAPITRE III : HUILE DES GRAINES DU PISTACHIER DE L'ATLAS

1. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Très appréciée par les populations locales, les graines du pistachier de l'Atlas sont très riches en huile dense très énergétique avec un goût très proche de celui du beurre (Belhadj, 2001).

Ces graines renferment **56,62 g d'huile /100g MS** (Ghalem et Benhassaini, 2007), présentant un poids spécifique de 0,918 à 15°C, fluide de couleur jaune à odeur et saveur agréable, et se solidifie entre 5 et 10°C (Nigon et al., 2000 ; Yousfi et al., 2003).

Daneshrad et Aynehchi (1980) ont étudié séparément l'huile des téguments et des noyaux de deux variétés du pistachier iranien (*Pistacia atlantica ssp. Mutica* et *Pistacia atlantica ssp. Kurdica*). Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des graines du pistachier iranien

Variétés	Poids de 100 Fruits	Noyau (%)	Teneur en eau dans le noyau (%)	Teneur en cendres dans le noyau (%)	Teneur en huile		Teneur en insaponifiables	
					Noyau (%)	Tégument (%)	Noyau (%)	Tégument (%)
<i>P.atlantica ssp.Mutica</i>	5,51	25,40	2,7	2,7	57	30,10	0,49	1,58
<i>P.atlantica ssp.Kurdica</i>	6,56	18,73	2,6	2,7	54	63	0,49	1,54

Source : (Daneshrad et Aynehchi, 1980)

Récemment Yousfi et al. (2003) ont travaillé sur les fruits du pistachier de l'Atlas provenant d'une petite forêt de la région de Telghimit wilaya de Laghouat située à 500 Km d'Alger. Ces fruits sont d'abord séchés à l'étuve à 70°C pendant 24 heures, puis broyés en poudre fine. Après 16 heures d'extraction par l'hexane dans un extracteur continu de soxhlet, les auteurs ont constaté que les graines étudiées renferment **52%** d'huile, dont les caractéristiques chimiques (indices chimiques) sont regroupées sur le tableau 3.

D'une façon générale, les drupes de petit calibre (6 à 8 mm) du bétoum donnent un rendement très appréciable en huile de l'ordre 40%, comparativement à celui de *Pistacia vera* qui varie entre 25 et 50% malgré la grosseur de son fruit (Ghalem et Benhassaini, 2007).

Tableau 3: Caractéristiques chimiques de l'huile des graines de *Pistacia atlantica* Desf.

Indices chimiques	Huile extraite par solvant
Teneur en huile (%)	52
Indice d'acide (mg KOH/g)	18,7
Indice d'iode (g I ₂ /100g)	88,5
Indice de peroxyde (még/kg)	-
Indice de saponification (mg KOH/g)	199,5
Teneur en insaponifiable (%)	1,72

Source : (Yousfi et al., 2003)

2. Composition chimique de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

2.1. Composition en acides gras

Les lipides extraits des graines du pistachier de l'Atlas sont des triglycérides riches en acides gras insaturés. Les glucides présents dans la graine, par lipogénèse, se transforment en lipides (Ghalem et Benhassaini, 2007).

La séparation des acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par GCMS a montré que l'acide oléique (46%), l'acide linoléique (27,5%) et l'acide palmitique (24%) représentent la majeure partie des acides gras de cette huile, le reste étant des AG saturés (palmitique + stéarique = 25,8%) (Yousfi et al., 2002).

Les huiles des variétés cultivées en Iran (*P.atlantica ssp. mutica* et *P.atlantica ssp. Kurdica*) sont riches en acide oléiques (50,4 et 57% respectivement) et renferment environ 12% d'acide palmitique (Tableau 4). La teneur en acide palmitique des huiles de ces deux variétés sont nettement inférieure à celle de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas de la région de Laghouat, rapportée par Yousfi et al. (2003) (Tableau 5).

Tableau 4 : Composition en acides gras de l'huile de *Pistacia atlantica* d'origine iranienne

	<i>P.atlantica ssp. Mutica</i>	<i>P.atlantica ssp. Kurdica</i>
% huile / amande	57	54
% insaponifiables / huile	0,5	0,5
AG (% poids)		
Palmitique	12,2	12,5
Palmitoléique	2	1,5
Stéarique	2,2	2,5
Oléique	50,4	57,0
Linoléique	32,8	25,8
Linoléénique	0,4	0,5

Source: (Ucciani, 1995)

Tableau 5: Composition en acides gras libres et totaux de l'huile des graines de *Pistacia atlantica* Desf.

Acides gras (AG)	Fraction AG totaux (%)	Fraction AG libres (%)
C16 :0	25,2	31,9
C16 :1	1,0	1,5
C18 :0	1,8	2,3
C18 :1	45,8	39,4
C18 :2	25,4	23,4
C18 :3	0,8	1,5
Total des AG saturés	27,0	34,2
Total des AG insaturés	73,0	65,8

Source : (Yousfi et al., 2003)

Ghalem et Benhassaini (2007) en étudiant les acides gras de l'huile de deux espèces du genre *pistacia* provenant de la localité Stisef distante de 40 km de la ville de Sidi Bel Abbas à l'Ouest Algérien, ont rapporté que l'huile de *Pistacia atlantica* est plus riche en acide oléique que celle de *Pistacia vera*. Mais elles présentent les mêmes teneurs en acides palmitique 12.21 et 11.55% respectivement. Les principaux résultats obtenus sont reportés sur le tableau 6.

Tableau 6 : Composition en acides gras en pourcentage par rapport aux acides gras totaux de l'huile de deux espèces de **pistacia**.

Acides gras	<i>Pistacia atlantica</i>	<i>Pistacia vera</i>
Acide laurique (12 :0)	0,07	0,10
Acide myristique (14:0)	0,09	0,19
Acide palmitique (16:0)	12,21	11,55
Acide palmitoléique (16 :1n-9)	1,77	0,58
Acide stéarique (18:0)	2,39	15,21
Acide oléique (18:1n-9)	54,15	65,64
Acide lénooléique (18 :2n-6)	28,84	4,81
Acide linoléique (18 :3n-6)	0,42	1,35
Acide arachidonique (20 :0)	0,05	0,58
Total des acides gras	100	100
Acide gras saturés	14,81	27,62
Acide gras mono-insaturés	55,92	66,22
Acide gras poly-insaturés	29,27	6,16

Source : (Ghalem et Benhassaini, 2007)

Selon ces auteurs, la fraction d'acides gras insaturés est majoritaire et confère à l'huile de bétoum une haute valeur nutritionnelle malgré qu'elle soit moins stable du point de vue oxydatif.

2.2. Composition en stérols

Les stérols végétaux (phytostérols) sont des analogues botaniques du cholestérol qui ne diffèrent de celui-ci que par leur chaîne latérale (Ling et Jones, 1995). Ce sont des composés naturels présents dans les plantes, les oléagineux, le germe de blé et les huiles non raffinées qui en sont issues ainsi que dans l'huile de bois de pin. Parmi les 44 phytostérols actuellement identifiés, le bêta sitostérol étant le principal (Lecerf, 2007).

Les sources naturelles sont surtout les huiles de maïs (830 à 968 mg/100g), de colza (584 mg/100g) et d'olive (225 à 258 mg/100g) (Ostlund et al., 2002). Des compléments alimentaires sous forme de capsules existent également (Nissinen et al., 2006).

Parmi les métabolites végétaux qui ont été supposés réduire l'absorption du cholestérol, les phytostérols s'avèrent être d'un grand intérêt. En effet, le campé stérol et β -sitostérol abaissent le taux du cholestérol dans le sang (Lutjohann et al., 1995 ; Moghadasian et Frohlich, 1999).

De nombreuses études ont montré que la consommation d'environ 2g par jour de β -sitostérol abaisse le LDL-cholestérol d'environ 10%. Toutefois, certains produits d'oxydation des stérols, particulièrement les dérivés oxydés en 7, semblent avoir une activité inhibitrice sur certains modèles de cancers (Chazan, 1992).

L'étude de la fraction stérolique de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas a permis d'isoler les stérols suivants : le campé stérol, le stigmastérol, le β -stérol et le Δ^5 -avenastérol. Le β -stérol étant le constituant majoritaire (tableau 7).

Tableau 7: Composition en stérols de l'huile des fruits de *Pistacia atlantica* Desf.

Stérols (%)	(Ghalem et Benhassaini, 2007)	(Yousfi et al., 2002)
Cholestérol	-	1,5
Campé stérol	5	4,3
Stigmastérol	4	—
β -stérol	91	87
Δ^5 -avenastérol	-	4
Δ^7 -avenastérol	-	3,2

Ghalem et Benhassaini (2007) rapportent que l'huile des graines du pistachier de l'Atlas renferme des proportions non négligeables de phytostérols pouvant ainsi constituer une importante source en ces substances hypocholestérolémiantes concurrençant ainsi les autres huiles végétales (soja, maïs, tournesol, colza) qui sont les principales références en ces biomolécules.

2.3. Composition en tocophérols

La vitamine E est reconnue comme l'anti-oxydant majeur des milieux lipidiques (huiles, membranes biologiques, lipoprotéines) (Leger, 2000). En effet, les tocophérols assurent la rigidité des membranes et s'opposent aux phénomènes oxydatifs, notamment à l'oxydation des acides gras. En raison de cette activité, l' α -tocophérol est un additif très utilisé dans les industries agroalimentaires (Vilkas, 1994).

L'étude détaillée de la structure chimique de ces molécules est très importante pour la compréhension de la méthode d'analyse, du métabolisme ainsi que du mode d'action de la vitamine E (Cuvelier et al., 2003).

La molécule présente deux parties : un noyau 6-OH-chromane qui possède la fonction anti-oxydante, et une chaîne latérale à 16 atomes de carbone de structure isoprénique, celle-ci définissant deux grandes familles : **les tocophérols** à chaîne latérale saturée et **les tocotriénols** avec une chaîne latérale présentant trois doubles liaisons. Cette chaîne latérale détermine la lipophilicité et la stéréochimie de la molécule (Leger, 2000). (Figure 3)

Les différents tocophérols se distinguent les uns des autres par le nombre et la position des groupements méthyles sur le noyau chromanol (Lindsay et Astley, 2002).

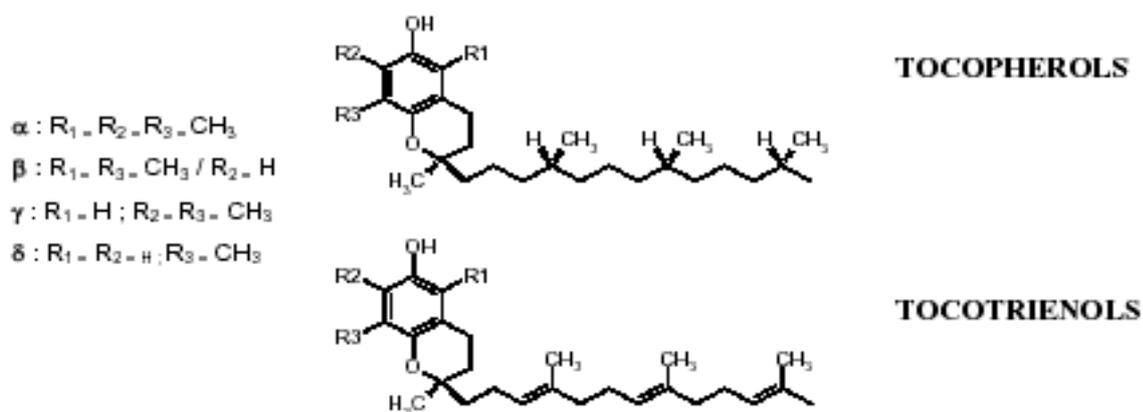


Figure 3 : Structure chimique de la vitamine E

Les sources alimentaires de la vitamine E sont soit d'origine végétale, soit d'origine animale (Artur et al., 1994 ; Bonvehi et al., 2000). Les produits d'origine végétale constituent la source majeure de la vitamine E, les aliments les plus riches étant les céréales et les huiles.

Le tableau 8 représente la composition en vitamine E de quelques huiles végétales, déterminée par HPLC en phase inversée avec détecteur de fluorescence après une extraction directe par solvant sans saponification.

Tableau 8 : Teneurs en tocophérols de quelques huiles végétales

	Tocophérols (µg/ ml)			
	α-Tocophérol	β-Tocophérol	γ-Tocophérol	δ-Tocophérol
Huile de tournesol	765	--	--	--
Huile de noisette	425	--	68	17
Huile de maïs	263	--	1365	88
Huile de palme	198	--	--	11
Beurre de cacao	14	--	225	37
Huile de noix	12	--	517	61
Huile de noix de coco	03	--	--	13

(Source : Bonvehi et al., 2000)

En étudiant la composition en tocophérols de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, Farhoosh et al. (2008) rapportent que l'huile des graines de *Pistacia atlantica ssp Mutica* est riche en tocophérols ($818,58 \pm 14,09$ mg/Kg) par rapport à d'autres huiles végétales telle que l'huile des pistaches (*Pistacia vera*), de colza, de tournesol, de coton, de maïs qui présentent des teneurs en tocophérols de 815.9 ± 8.29 , 695, 640, 630 et 605 mg d' α tocophérol / kg d'huile respectivement. L'huile des graines de *Pistacia atlantica ssp Kurdica*, quand à elle, présente une teneur en tocophérols beaucoup plus faible de l'ordre de $499,91 \pm 18,46$ mg d' α tocophérol /Kg.

2.4. Composition en triacylglycerols

Yousfi et al. (2005) ont étudié la composition en triacylglycérols (TAG) de l'huile des fruits du pistachier de l'Atlas provenant de la région de Tadjrouna (Wilaya de Laghouat). Les résultats obtenus montrent que cette huile contient des TAG trisaturés (0,93 %), disaturés (15,06 %), monoinsaturés (44,64%) et tri-insaturés (38,10%) . (Tableau 9).

Selon ces auteurs, la composition en TAG de cette huile est très proche de celle de l'huile de soja, l'huile d'olive et d'arachide.

Tableau 9 : Composition en TAG (%) de l'huile des graines du Pistachier de l'Atlas, déterminée par HPLC selon leur degré de saturation et le nombre total de carbone dans les 3 chaînes d'acide gras.

Classes	Nombre d'insaturations	Nombre de Carbone	TAG	%
000	0		PPP	1,50
			PPS	
001	1	52	POS	
	1	54	SSO	
		50	PPO	8,00
011	2	52	POO	16,70
	2	54	SOO	
	2	50	PPL	3,07
	2	52	PSL	
111	3	54	OOO	12,40
012	3	52	POL	17,01
	3	54	SOL	
112	4	54	OOL	16,50
022	4	52	PLL	6,12
	4	54	SLL	
122	5	54	OLL	8,41
222	6	54	LLL	2,60
Autres				3,69

Source : (Yousfi et al. 2005)

La plus part des TAG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas résultent de la combinaison de l'acide oléique et linoléique (Tableau 10). L'acide palmitique est généralement estérifié en position 1 et 3 dans les TAG, par contre, l'acide linoléique et l'acide oléique présentent une préférence pour la position 2.

Tableau 10 : Composition en acides gras des TAG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

AG	(%) dans les TAG
C16 : 0	25,20
C16 : 1	1,00
C18 : 0	1,84
C18 : 1	45,80
C18 : 2	25,40
C18 : 3	0,84
AG Saturés	27,00
AG Insaturés	73,00

Source : (Yousfi et al., 2005)

2.5. Teneur en polyphénols

Les phénols sont des antioxydants puissants, montrant une importante activité biologique, in vivo, contre la formation des radicaux libres.

Farhoosh et al. (2008) ont étudié la composition en phénols totaux de l'huile des graines du pistachier Iranien. Le tableau 11 représente la teneur en phénols, exprimée en mg d'acide gallique par Kg d'huile des variétés étudiées, ainsi que celle d'autres huiles végétales.

Tableau 11 : Teneur en phénols de quelques huiles végétales

Huiles végétales	mg d'acide gallique/Kg
<i>Pistacia atlantica ssp Mutica</i>	81,12 ± 1,73
<i>Pistacia atlantica ssp Kurdica</i>	56,51 ± 1.49
<i>Pistacia vera</i>	62,84 ± 1.02
Colza	48,19
Soja	45,80
Tournesol	45,27
Maïs	30,80
Olive	15,27

Source : (Farhoosh et al., 2008)

2.6. Teneur en cires

Les cires sont des composés insolubles de haut poids moléculaire, naturellement présents dans les huiles végétales brutes. Ils offrent de potentielles applications en pharmacologie, cosmétologie et dans les industries des polymères et de cuir.

Farhoosh et al. (2008) en déterminant la teneur en cires de l'huile des graines de quelques variétés du pistachier Iranien, rapportent que l'huile des graines du genre **pistacia** constitue une source non négligeable en cires, concurrençant ainsi l'huile du son de riz qui est considérée comme étant la plus riches en ces éléments. (Tableau 12).

Tableau 12 : Teneur en cires de l'huile des graines de quelques variétés du pistachier Iranien

Huile	Teneur en cires (%)
<i>Pistacia atlantica ssp Mutica</i>	6,48 ± 0,32
<i>Pistacia atlantica ssp Kurdica</i>	5,67 ± 0,48
<i>Pistacia vera</i>	6,39 ± 0,38

Source : (Farhoosh et al., 2008)

Partie expérimentale

Matériels et Méthodes

CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES

1. Matériel végétal

Les graines du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) sont récoltées durant la campagne de Décembre 2007 à Janvier 2008. Elles proviennent de la région de Messaâd sur les frontières Djelfa-Laghouat.

2. Méthodes analytiques

2.1. Détermination des caractéristiques physiques et histologiques de la graine du pistachier de l'Atlas

Les caractéristiques physiques de la graine regroupent, la taille, la forme, la couleur et le poids de 1000 graines déterminé par le Numigral selon la norme (NF V03-703).

L'étude histologique de la graine se limite à la localisation des sites producteurs d'huile sur les graines entières. Elle est effectuée au laboratoire du département botanique (ENSA) selon le procédé suivant :

- a) Une coupe à main levée en utilisant comme support la moelle de sureau ;
- b) Un prétraitement dans une solution d'hypochlorite de sodium à 12° pendant 20 minutes pour vider les cellules de leur contenu ;
- c) Un rinçage dans de l'eau distillée durant 1 à 15 minutes, puis dans l'acide acétique à 5% pendant 5 minutes ;
- d) Une coloration des coupes par le carmino-vert qui donne une coloration rose pour les parois celluloses et une coloration verte pour les parties lignifiées.

Un échantillon dans une goutte d'eau distillée, entre lame et lamelle, est observé immédiatement au microscope photonique mené d'un appareil à photo.

Plusieurs coupes ont été observées et les plus intéressantes sont photographiées.

2.2. Détermination de la composition biochimique de la graine du pistachier de l'Atlas

2.2.1. Humidité

La teneur en eau et en matières volatiles des graines est déterminée selon la norme (NF V 03-761, Juillet 1992), utilisant l'humidimètre.

Dans ce cas l'humidimètre utilisé est de type SARTORIUS MA dont le principe consiste à un séchage infrarouge de l'échantillon broyé à 130°C.

Après quelques minutes, le résultat est lu directement sur l'appareil en pourcentage en masse du produit.

2.2.2. Protéines

Le dosage des protéines par la méthode de **KJELDAHL** consiste à transformer l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence d'un catalyseur approprié et doser, après déplacement en milieu alcalin et distillation, l'ammoniaque formé, par une méthode potentiométrique après l'avoir reçu dans l'acide borique.

Le résultat est exprimé en gramme d'azote pour 100g de substance, par la formule suivante :

$$\frac{n \cdot 100 \cdot a}{p}$$

Où :

n est le nombre de millilitres d'acide sulfurique utilisé ;

a = 0,00028g d'azote par 1 millilitre de la solution d'acide sulfurique 1/50N ;

p est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

Par conversion, cet azote total peut être exprimé en protéines du produit, en multipliant le résultat obtenu par un coefficient de conversion (**5,3 pour les graines oléagineuses**).

2.2.3. Cellulose (Fibres)

Par convention on appelle cellulose, le résidu insoluble obtenu après hydrolyse acide et hydrolyse alcaline du tourteau.

La teneur en matière cellulosique de la graine du pistachier de l'Atlas est déterminée selon la méthode de la station agronomique de **WEENDE** décrite par Wolff (1968). Elle est donnée en pourcentage en masse par la formule suivante :

$$\text{Cellulose en \%} = \frac{p - p'}{m} * 100$$

Où :

P est le poids, en gramme, du creuset séché à 105°C ;

P' est le poids, en gramme, du creuset calciné ;

m est la masse, en gramme, de la prise d'essai.

2.2.4. Cendres brutes

La détermination de la teneur en cendres brutes par la norme (NF V03-922, Janvier 1967) consiste à l'incinération du produit à 550°C ± 15°C dans un four à moufle à chauffage électrique, jusqu'à masse pratiquement constante.

Le pourcentage en masse de cendres brutes, des graines fraîches, est égal à :

$$(m_2 - m_1) * \frac{100}{(m_1 - m_0)}$$

Où :

m₀ est la masse, en grammes, de la capsule d'incinération ;

m₁ est la masse, en grammes, de la capsule d'incinération avec la prise d'essai ;

m₂ est la masse, en grammes, de la capsule d'incinération avec les cendres.

2.2.5. Huile

La teneur en huile des graines oléagineuses est le facteur de qualité essentiel et celui qui a le plus de répercussion sur la valeur marchande de ces dernières.

La détermination de la teneur en huile des graines du pistachier de l'Atlas consiste à l'extraction d'une prise d'essai dans un soxhlet pendant 6 heures, avec de l'hexane technique. Elimination du solvant d'extraction et pesée de l'extrait obtenu.

La teneur en matière grasse totale, exprimée en pourcentage en masse de la matière sèche, est donnée par la formule suivante :

$$MG\% = \frac{m_1 * 100}{m_0 (100 - H)} * 100$$

Où :

m_0 est la masse, en grammes, de la prise d'essai ;

m_1 est la masse, en grammes, de l'extrait après séchage ;

H est le pourcentage, en masse, de l'eau et de la matière volatile.

2.2.6. Glucides

Lorsqu'il n'est pas nécessaire de connaître les différents sucres présents dans une denrée, on peut se contenter de calculer la teneur globale en glucides par différence avec les autres constituants (Anonyme, 2007).

La teneur en glucides (sucres totaux) est déterminée par différence selon la formule suivante :

$$\text{Glucides(\%)} = \text{total (100\%)} - [\text{eau} + \text{lipides} + \text{protides} + \text{matières minérales (cendres)} + \text{fibres alimentaires (cellulose)}]$$

2.3. Etude des paramètres influençant le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Les graines du pistachier de l'Atlas, récemment récoltées sont d'abord nettoyées. Les différentes impuretés (pierres, feuilles, poussières...) sont éliminées après un tamisage à travers un tamis dont l'ouverture des mailles est de 4 mm.

Les graines nettoyées sont, par la suite, broyées à l'aide d'un broyeur tamiseur RETSC, puis celles-ci vont subir l'extraction par solvant et par presse dans le but d'optimiser les rendements en huile. (Annexe 2)

2.3.1. Extraction par voie chimique

L'extraction chimique est réalisée dans un soxhlet de 250 ml pendant des durées variables, sur des graines broyées, de teneurs en eau différentes, et par différents solvants organiques.

2.3.2. Extraction par presse hydraulique

a) Description de la presse

L'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par pressage hydraulique est réalisée dans la presse conçue au laboratoire (Figure 4), constituée des éléments suivants :

- Une centrale hydraulique ;
- Une enceinte (cylindre perforé), conçue pour recevoir les scourtins contenant l'échantillon à presser ;

- Des toiles filtrantes sous forme de cylindre de 14 cm de diamètre et 0,5 cm d'épaisseur, intercalant les scourtins ;
- La pression est réalisée à l'aide d'un vérin hydraulique de force allant de 0 à 20 tonnes. Le chauffage de l'échantillon est assuré par une résistance électrique qui est commandée par un thermostat ;
- Au cours du pressage, les variations de la température à cœur des échantillons sont suivies par une sonde, celles de la pression sont maîtrisées par un manomètre ;
- A la fin du pressage, l'huile sortant à travers les pores est récupérée dans un plateau inférieur.

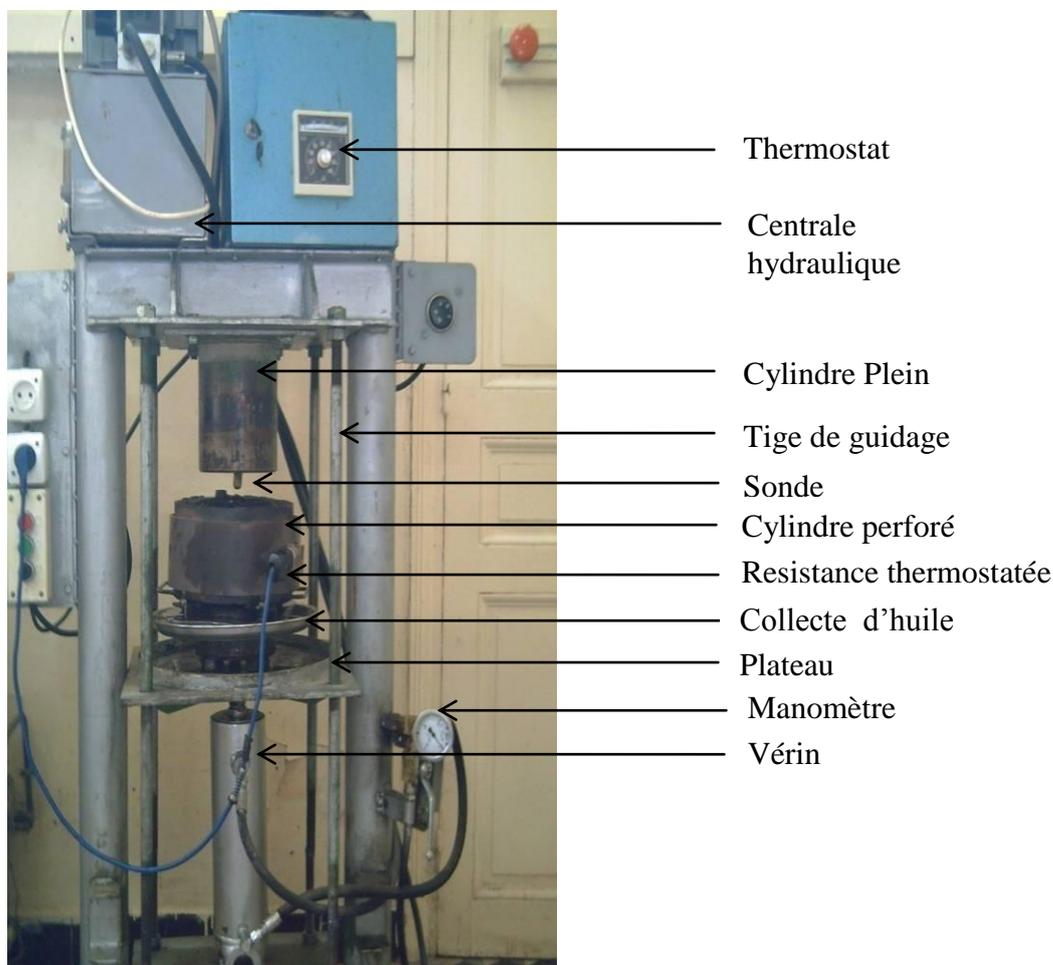


Figure 4 : Presse hydraulique conçue au laboratoire

b) Protocole d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse

Les graines nettoyées puis broyées sont, par la suite, placées dans des scourtins pour subir le pressage dans différentes conditions. (Annexe 3).

Le pressage du broyat brut est réalisé sur une presse de laboratoire dont la pression et la température sont contrôlées en vue de caractériser l'influence des prétraitements (broyage et cuisson) de la graine (Figure 5), des paramètres opératoires de pressage (la durée de pressage, la température, la pression, l'épaisseur du gâteau ou charge de la presse) (Figure 6), et de la teneur en eau du broyat sur le rendement en huile (Figure 7). Les paramètres indiqués sont choisis en fonction des performances de la presse hydraulique.

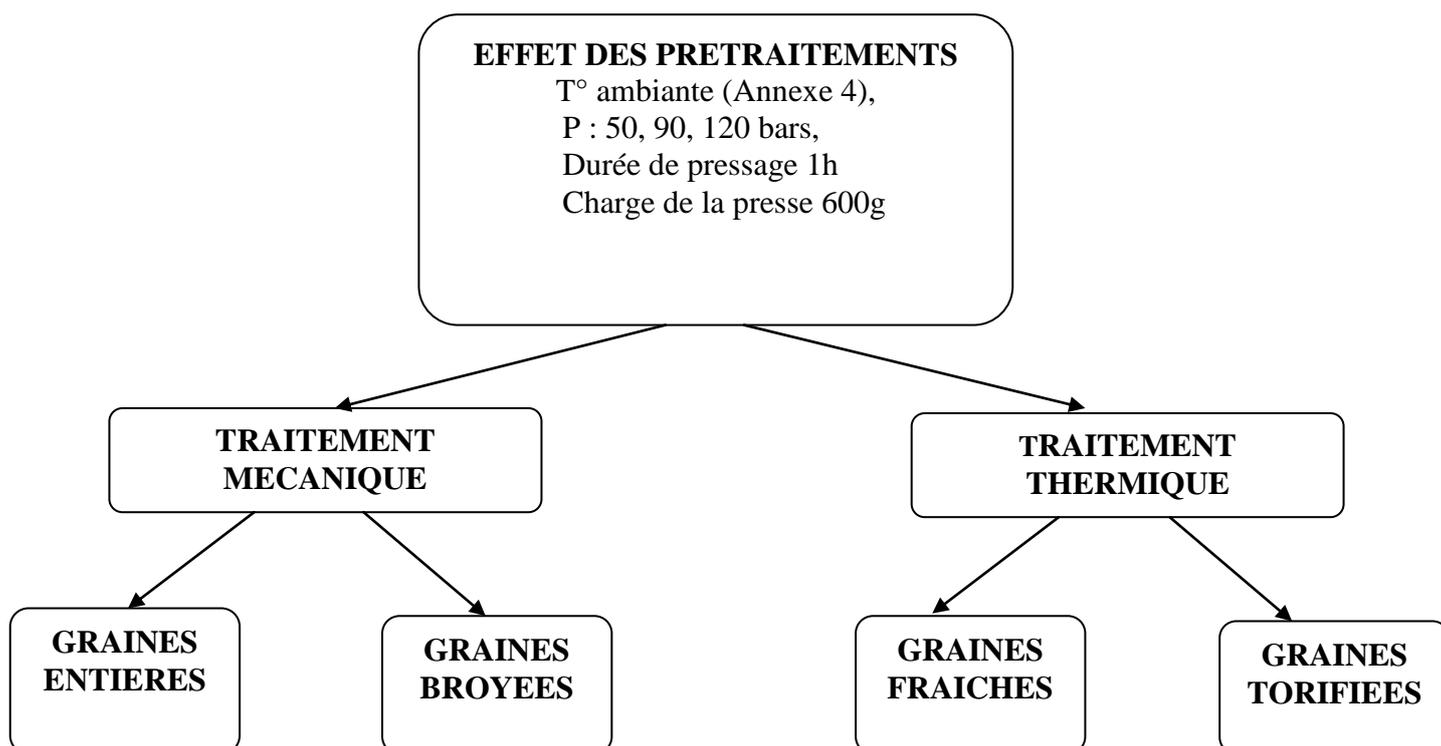


Figure 5: Les prétraitements des graines du pistachier de l'Atlas

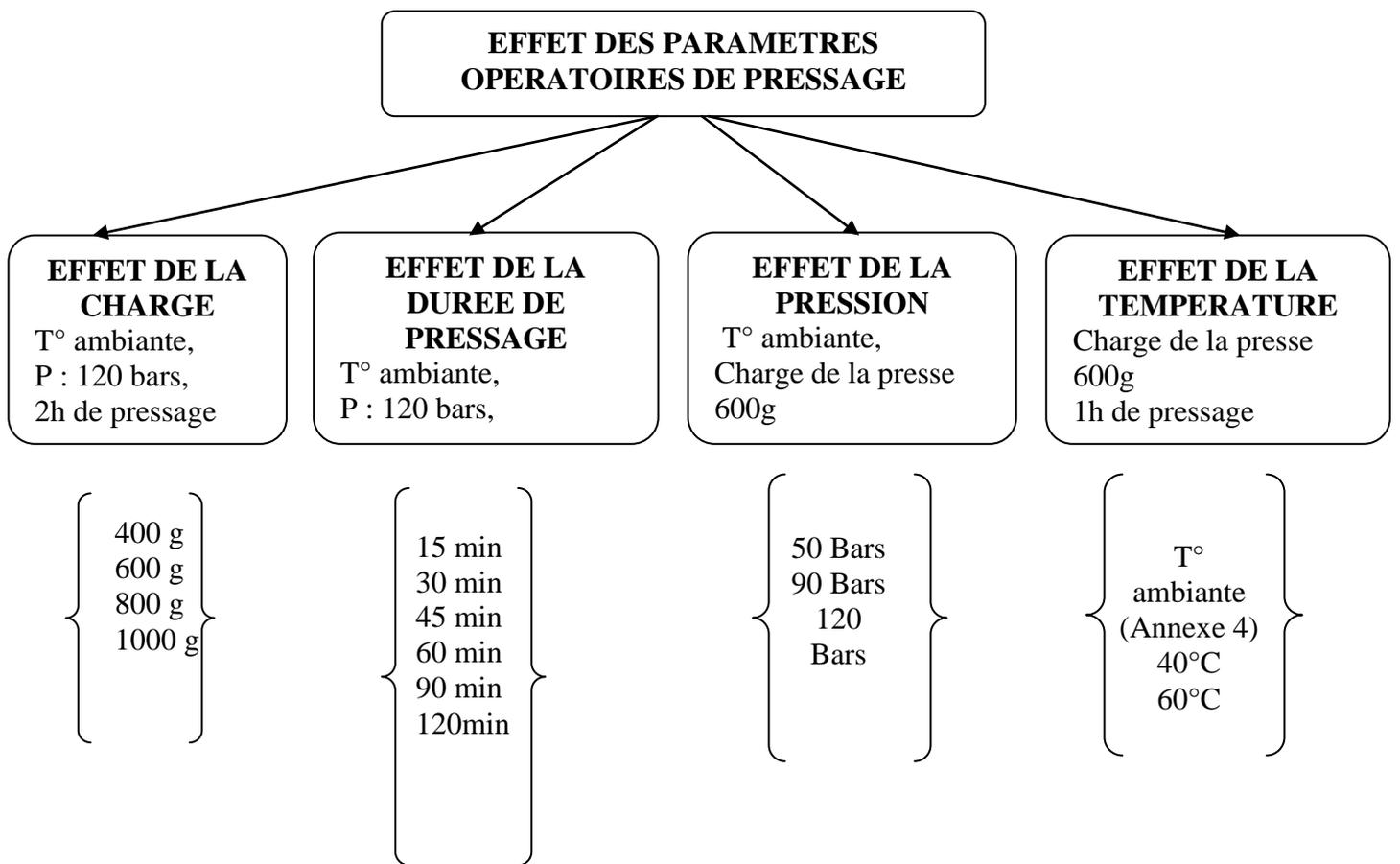


Figure 6: Les paramètres opératoires de pressage des graines du pistachier de l'Atlas

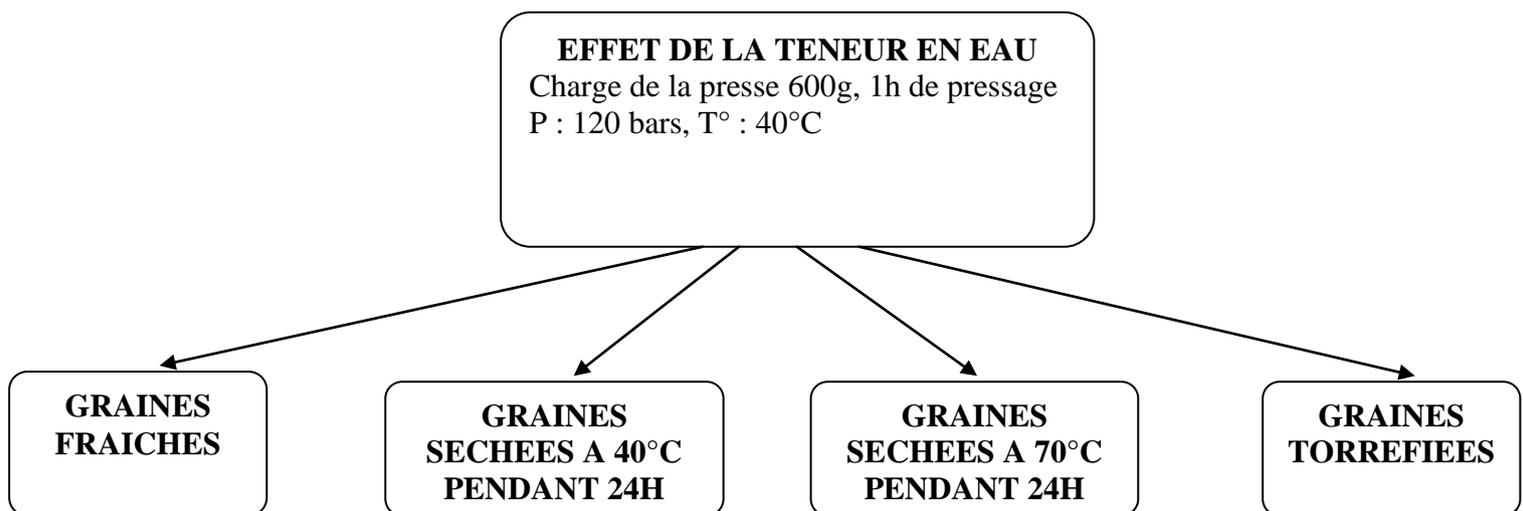


Figure 7 : Variation de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas

c) Expression du rendement en huile par pressage

- Les performances du procédé d'extraction sont exprimées en terme de rendement d'huile (R%) qui est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile extraite (M_h) et la masse des graines pressées (M_g) exprimée dans la même unité.

$$R\% = \frac{M_h}{M_g} * 100$$

Où :

M_h est la masse, en grammes, d'huile extraite ;

M_g est la masse, en grammes, des graines pressées ;

- L'efficacité de la presse hydraulique (E%) est évaluée par le rapport entre la masse d'huile extraite par presse et la masse initiale d'huile dans la graine (extraite par solvant) :

$$E\% = \frac{R}{R_0} * 100$$

Où :

R est le rendement d'extraction par presse

R₀ est le rendement d'extraction par solvant

2.4. Détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

2.4.1. Caractéristiques physiques

a) Densité

La masse volumique, désignée souvent par l'appellation « densité », est le rapport de la masse du corps gras à son volume, à une température donnée. Elle dépend de la composition chimique de l'huile et de la température, elle renseigne également sur le groupe auquel appartient une huile (Wolff, 1968).

Sa détermination se fait à l'aide d'un pycnomètre selon la norme (NF ISO 6883, Juillet 1995) et le résultat est exprimé selon la formule suivante :

$$d_{20}^{20} = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0}$$

Où :

M_0 est la masse, en grammes, du pycnomètre ;

M_1 est la masse, en grammes, du pycnomètre rempli d'eau distillée ;

M_2 est la masse, en grammes, du pycnomètre rempli d'huile.

b) Indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une substance est le rapport de la vitesse de la lumière, à une longueur d'onde définie dans le vide, à sa vitesse dans la substance. Il est déterminé par le réfractomètre, à raies D de sodium, à 20°C selon la norme (NF ISO 6320, Janvier 1996).

Si la différence entre la température de mesurage t_1 et la température de référence t (20°C) est inférieure à 3°C, l'indice de réfraction η_D à la température de référence t est donné par la formule suivante :

$$\eta_D^t = \eta_D^{t_1} + (t_1 - t) * F$$

Où :

t_1 est la température de mesurage en °C ;

t est la température de référence 20°C ;

F est un facteur = 0,00035 pour une température de 20°C.

c) Viscosité

La viscosité des corps gras et des triglycérides est liée à leur structure, et en particulier à la longueur des chaînes et à leur insaturation (Wolff, 1968). Elle dépend également de la température. Il n'existe pas de méthode spécifique de mesure sur la viscosité des huiles (Karleskind, 1992).

La viscosité de l'huile, des graines du pistachier de l'Atlas, est déterminée par un viscosimètre à mobile tournant, dont le principe est basé sur la mesure des forces de cisaillement au sein du milieu liquide (huile) placé entre deux cylindres coaxiaux dont l'un est mû par un moteur et l'autre entraîné par rotation du premier.

d) Absorbance dans l'ultraviolet

La détermination de l'absorbance dans l'UV, par la méthode décrite par la norme (NF ISO 3656, Décembre 1991), consiste au mesurage spectrométrique du coefficient d'extinction dans un domaine de longueur d'onde dans l'UV, de l'absorbance de l'échantillon en solution dans le triméthyl-2, 2, 4 pentane. Puis calcul de l'absorbance à une concentration de 1g pour 100 ml.

L'extinction spécifique des huiles dans l'UV constitue un important paramètre de qualité. Elle permet d'évaluer l'état d'oxydation d'un corps gras.

L'absorbance d'une solution d'un corps gras à concentration de 1 g pour 100 ml (1%), mesurée en utilisant un parcours optique de 1 cm, à une longueur d'onde λ , est donnée par la formule suivante :

$$E_{1cm}^{1\%}(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{C}$$

Où :

$A(\lambda)$ est l'absorbance à la longueur d'onde λ ;

C est la concentration, en gramme par 100 ml, de l'échantillon pour essai dans la solution d'essai ;

λ est généralement au voisinage de 232 nm et 268 nm.

2.4.2. Caractéristiques chimiques (les indices chimiques de qualité)

Malgré tous les progrès des techniques analytiques des corps gras, les indices offrent encore un intérêt, de nos jours, pour le contrôle de qualité.

La teneur en acides gras libres ou l'indice d'acide est un indicateur de l'activité de la lipase ainsi que de la qualité du fruit oléagineux, du temps de stockage et de la stabilité de l'huile (Ryan et al., 1998). L'indice de peroxyde renseigne sur le degré d'oxydation de l'huile. Ces deux indices nous renseignent sur l'état d'altération plus au moins important d'un corps gras (Wolff, 1992).

La longueur des chaînes grasses et leurs degrés d'insaturation sont définis respectivement par l'indice de saponification et l'indice d'iode.

La détermination des différents indices est effectuée selon les méthodes décrites par le recueil des normes de l'association française de normalisation (AFNOR, 2000).

a) Indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 gramme de corps gras.

Cet indice est déterminé expérimentalement selon la norme (**NF EN ISO 660, Juillet 1999**) par la mise en solution d'une prise d'essai dans un mélange de solvant, puis titrage avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium en présence d'un indicateur.

L'indice d'acide (I_a) exprimé mg KOH/g d'huile est donné par la formule suivante :

$$I_a = \frac{56,1 * V * C}{m}$$

Où :

V est le volume, en millilitre, de la solution titrée de KOH utilisée ;

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai ;

C est la concentration, en mole par litre, de la solution titrée de KOH utilisée.

b) Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde d'un corps gras est défini comme étant le nombre de microgrammes actifs du peroxyde contenu dans un gramme de produit et oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode.

Le principe de mesure selon la méthode décrite par la norme (**NFT 6220, Octobre 1995**) consiste au traitement du corps gras, en solution dans l'acide acétique et du chloroforme, par une solution d'iodure de potassium, puis titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium.

L'indice de peroxyde (I_p) (en microgrammes d'oxygène actif par gramme) est donné par la formule suivante :

$$I_p = 80 \frac{V}{E}$$

Où :

V est le volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai, corrigé compte tenu de l'essai à blanc, exprimé en millilitre de solution 0,01 N ;

E est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

Remarque : Ip en milli molécules par Kg = Ip en $\mu\text{g/g} * 1/16$

Ip en milliequivalent d'oxygène par Kg = Ip en $\mu\text{g/g} * 1/8$

c) Indice d'iode

L'indice d'iode est la masse d'iode, exprimée en grammes, que l'on peut fixer sur 100 grammes de corps gras.

L'indice d'iode augmente en même temps que la proportion des acides gras non saturés, il est constant pour une matière grasse donnée (GAVRILOVIC et *al.*, 1996).

La détermination se fait selon la norme (NF EN ISO 3961, Juillet 1999) par dissolution d'une prise d'essai dans un solvant et addition de réactifs de WIJS. Après un temps donné, addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau et titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

L'indice d'iode (Ii), exprimé en grammes pour 100g d'huile est donné par la formule suivante :

$$I_i = \frac{12,69 * C(V_1 - V_2)}{m}$$

Où :

C est la concentration, en moles par litre, de la solution de thiosulfate de sodium ;

V₁ est le volume, en millilitres, de la solution de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc ;

V₂ est le volume, en millilitres, de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour la détermination ;

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

d) Indice de saponification (NF ISO 3657, Février 1990)

L'indice de saponification est la quantité d'hydroxyde de potassium, exprimée en milligrammes nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras.

La saponification est obtenue à chaud, par ébullition à reflux d'un échantillon avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium, et titrage de l'excès d'hydroxyde de potassium par une solution titrée d'acide chlorhydrique en présence de phénolphaléine.

L'indice de saponification (I_s) (mg KOH/g de corps gras) est donné par la formule suivante :

$$I_s = \frac{(V_0 - V_1) * C * 56,1}{m}$$

Où :

V_0 est le volume, en millilitres, de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée pour l'essai à blanc ;

V_1 est le volume, en millilitres, de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisée pour la détermination ;

C est la concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'acide chlorhydrique ;

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

e) Teneur en matières insaponifiables

On appelle insaponifiables l'ensemble des constituants, naturels ou accidentels, présents dans le produit qui, après saponification de celui-ci par l'hydroxyde de potassium et extraction par un solvant spécifié, restent non volatils.

Le principe de la détermination selon la norme (NF T60 -205.1, Décembre 1988) consiste à la saponification du corps gras par traitement, à l'ébullition à reflux, avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. Extraction de l'insaponifiable de la solution de savon par l'oxyde diéthylique. Évaporation du solvant et pesée du résidu après séchage à 103°C.

La teneur en matière insaponifiable, exprimée en pourcentage en masse, est donnée par la formule suivante :

$$\frac{m_1}{m} * 100$$

Où :

m_1 est la masse, en grammes, du résidu ;

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

2.5. Etude des acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

La détermination des indices chimiques fournis des informations globales qui restent insuffisantes pour rendre compte de la nature des acides gras présents et de leurs quantités.

L'analyse qualitative et quantitative des acides gras, représente une caractéristique d'identité du corps gras et permettant ainsi de juger de sa pureté et de son intérêt tant sur le plan nutritionnel qu'industriel.

2.5.1. Préparation des esters méthyliques :

Les acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas sont analysés sous forme d'ester méthylique pour éviter les inconvénients liés à l'excessive polarité de ces acides.

Les esters méthyliques sont obtenus à partir des triglycérides selon la méthode décrite par l'AFNOR (NF T60-233, Mai 1977) qui consiste à la saponification des glycérides du corps gras, puis estérification des acides gras libérés en présence de trifluorure de bore.

2.5.2. Analyse des esters méthyliques d'acide gras par CPG

Le profil en acide gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas est quantifié par l'analyse des esters méthyliques par le chromatographe type Thermo-Finnigan au laboratoire d'analyse du CACQE, dans les conditions opératoires suivantes :

- Gaz Vecteur : Azote (N₂)
- Débit du Gaz Vecteur : 1ml/min
- Colonne polaire avec une phase stationnaire (F. F. A. P.)
- Température de la Colonne : 190°C
- Température de l'injecteur : 210 °C
- Volume injectée : 0,4µl
- Température de détecteur : 230°C
- Détecteur : FID

Résultats et Discussions

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Caractéristiques physico-chimiques et histologiques de la graine du pistachier de l'Atlas

1.1. Caractéristiques physiques

Membre de la famille des anacardiées, le pistachier de l'Atlas est caractérisé par des fruits de forme ovoïdes à épicarpe ridé de couleur vert foncé. Ce sont des drupes de $8 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de long à un seul noyau osseux représentant 55,6% du poids total du fruit (Figure 8, A). 1000 graines pèsent $94 \pm 0,23 \text{ g}$.



(A)



(B)

Figure 8 : Graines du pistachier de l'Atlas (A) provenant de la région de Messaâd

(B) d'origine Iranienne.

Les caractéristiques physiques des graines du pistachier de l'Atlas diffèrent selon les variétés et les conditions pédoclimatiques de la culture. En effet, les graines étudiées présentent des caractéristiques différentes de celles des variétés Irlandaises (figure10, B) et de celles des graines de la même espèce provenant de la région montagneuse Manisa-Yunt de Turquie.

Le tableau 13 regroupe quelques caractéristiques physiques des graines du pistachier de l'Atlas de différentes origines.

Tableau 13 : Caractéristiques physiques des graines de *Pistacia atlantica* Desf.

Caractéristiques	Turquie ¹	Iran ²		Algérie ³
		Ssp. <i>Mutica</i> (PAM)	Ssp. <i>Kurdica</i> (PAK)	
Épaisseur du fruit (mm)	3,64 – 3,76	--	--	--
Longueur du fruit (mm)	5,15 – 6,12	5 à 9	5	8 ± 1
Largueur du fruit (mm)	5,02 – 5,52	5 à 7	5	5 ± 1
Forme du fruit	Ovoïde - Globulaire	Ovoïde - ronde	Ronde	Ovoïde
Poids de 20 fruits (g)	1,70 – 2,24	--	--	1,98 ± 0,13
Poids de 1000 fruits (g)	--	55,1	65,6	94 ± 0,23

(Source : (1) Ozeker et al., 2001 ; (2) Daneshrad et Aynehchi, 1980), (3) valeurs déterminées)

1.2. Composition biochimiques

Les résultats relatifs à la composition biochimique des graines du pistachier de l'Atlas sont regroupés sur le tableau 14.

Tableau 14 : Composition biochimique des graines du pistachier de l'Atlas

Caractéristiques	Graines étudiées (g/ 100g MS)	Résultats bibliographiques* Variété Algérienne	Résultats bibliographiques* Variété Iranienne
Teneur en eau	7,83 ± 0,03	21,26 ± 1,24	14,87 ± 1,32
Teneur en cendres	3,24 ± 0,23	5,54 ± 0,11	2,07 ± 0,06
Teneur en lipides	52,08 ± 0,07	39,80 ± 1,37	26,80 ± 3,05
Teneur en protéines	14,8 ± 0,11	10,39 ± 0,66	8,20 ± 0,04
Teneur en cellulose	12,11 ± 0,03	12,60 ± 0,71 (Fibres totaux)	32,43 ± 1,52
Teneur en sucres totaux	9,95 ± 0,17	5,43 ± 0,35	5,23 ± 0,29

(*Benhassaini et al., 2007)

Les résultats de l'analyse biochimique de la graine montrent une forte teneur en lipides (**52,08 ± 0,07% MS**), teneur comparable à celle rapportée par Yousfi et al. (2003) mais inférieure aux

résultats de Ghalem et Benhassaini (2007). Le tégument qui ne représente que 44,4% du poids total de la graine renferme 57% de cette huile.

Comparée à d'autres graines oléagineuses (tournesol, arachide, coton, maïs, colza), les graines du pistachier de l'Atlas sont relativement riches en huile, d'où l'intérêt de valoriser cette espèce pour la production d'huile à des fins cosmétologiques et alimentaires.

Les différences constatées dans la composition biochimique des graines du pistachier de l'Atlas de différentes origines (tableau 14) pourraient être attribuées à l'influence de divers facteurs en particulier : le mode de culture, les origines géographiques, les variétés cultivées et les conditions climatiques (Blanc, 1992).

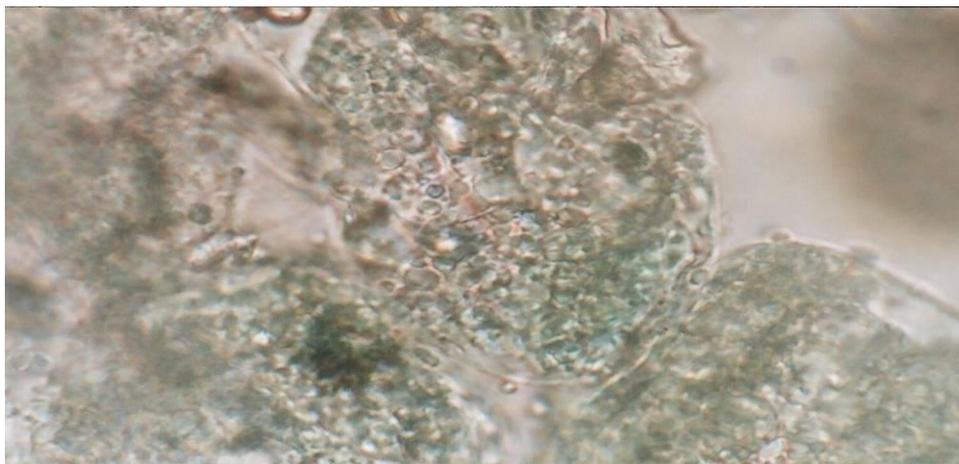
1.3. Localisation et répartition des sites producteurs d'huile dans la graine du pistachier de l'Atlas

L'observation des coupes histologiques des graines du pistachier de l'Atlas sous le microscope photonique, révèle la présence de canaux sécréteurs d'huile au niveau du péricarpe et du noyau comme l'illustre la figure 9. **(Gr.: 25 x 3.2)**

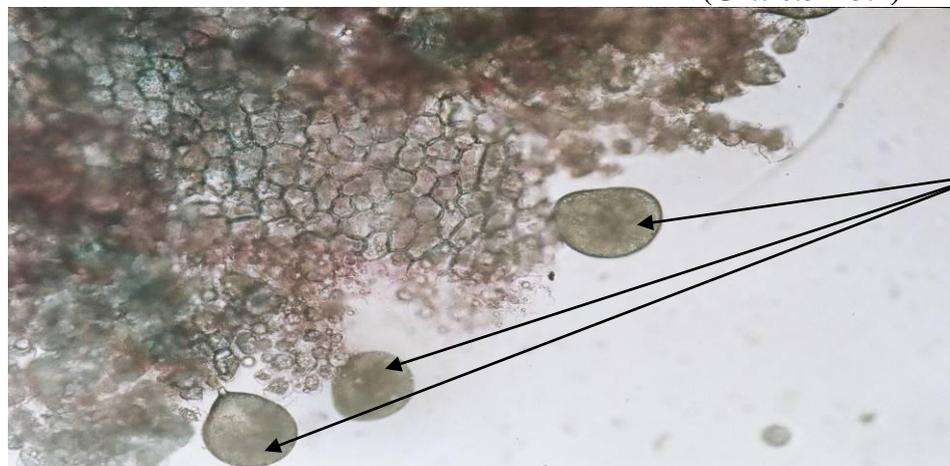
Les différences que nous avons pu relever résident dans le fait que ces canaux sont plus abondants dans le tégument qu'au niveau du noyau et ils devraient en principe fournir la majeure partie de l'huile. De nombreuses gouttelettes lipidiques sont d'ailleurs observées au niveau du tégument. **(Gr.: 12.5 x 3.2)**

Les réserves lipidiques des graines du pistachier de l'Atlas sont donc à dépôt endogène, nécessitant un traitement mécanique (broyage) pour faciliter l'extraction d'huile.

L'extraction de cette huile nécessite la mise au point d'un procédé d'extraction par solvant et par presse hydraulique et l'étude de l'effet des principaux paramètres opératoires de pressage sur le rendement en huile.

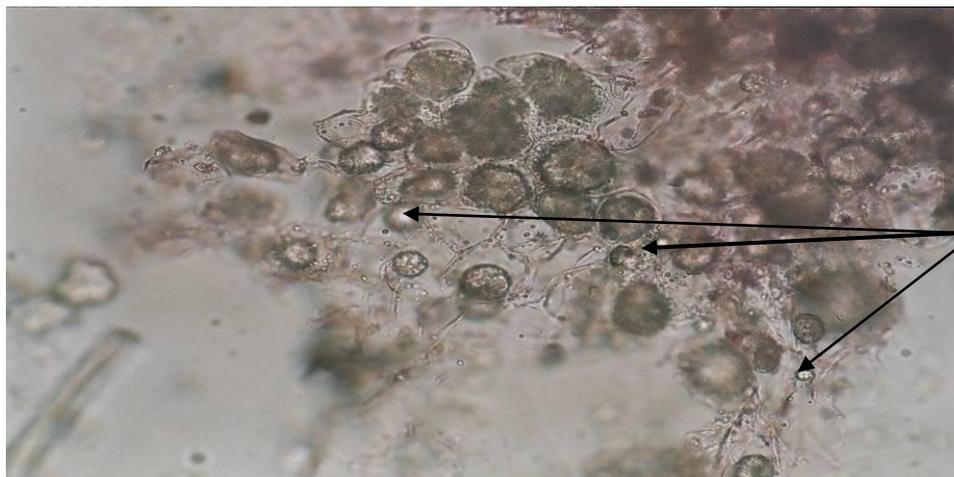


A (Gr.: 6.3 x 3.2)



B (Gr.: 12.5 x 3.2)

Gouttelettes d'huile



C (Gr.: 25 x 3.2)

Canaux producteurs d'huile

Figure 9: Coupes transversales de la graine du pistachier de l'Atlas (A, B et C)

2. Optimisation des paramètres influençant le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas

2.1. Optimisation de l'extraction de l'huile par voie chimique

L'extraction chimique de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas est réalisée par la méthode de soxhlet. Le rendement en huile dépend de la durée d'extraction, du solvant utilisé ainsi que de la granulométrie et de la teneur en eau des graines.

2.1.1. Effet de la durée d'extraction

L'extraction de l'huile a été effectuée par l'hexane à partir de 10 g de l'échantillon broyé pendant des durées variables allant de 2 à 12 heures.

Les résultats obtenus sont rassemblés sur le tableau 01 (Annexe 5) et la figure 10.

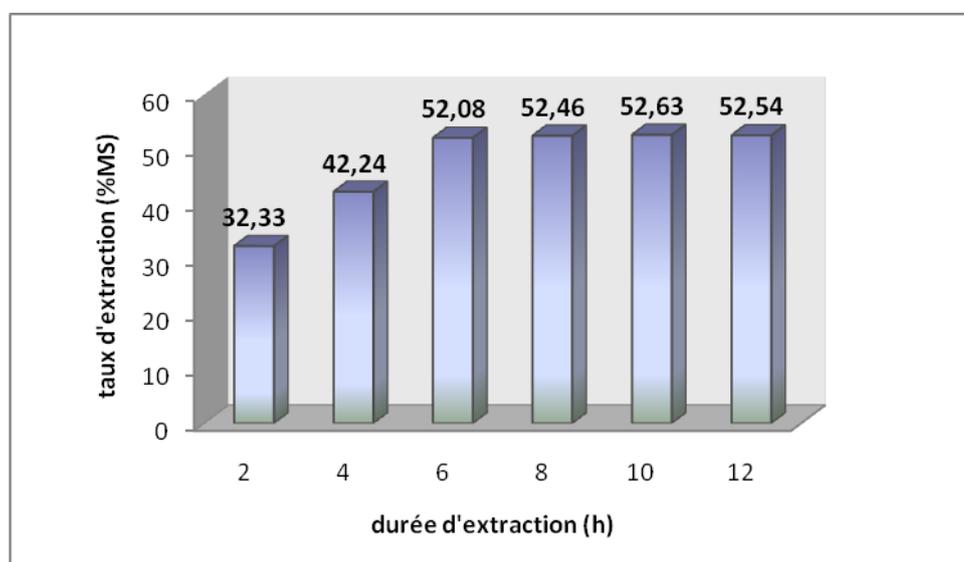


Figure 10 : Effet de la durée de reflux dans le soxhlet sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Le rendement en huile se stabilise et atteint une valeur optimale au bout de 6 heures d'extraction. Au delà le taux d'extraction varie peu.

2.1.2. Effet de la teneur en eau de la graine

Pour étudier l'effet de la variation de la teneur en eau des graines sur le taux d'extraction d'huile par solvant, les fruits du pistachier de l'Atlas sont d'abord broyés, séchés à différentes températures puis soumis à l'extraction par l'hexane pendant 6 heures.

Les valeurs moyennes des résultats et leurs écarts sont reportés sur le tableau 02 (Annexe 5) et sur la figure 11.

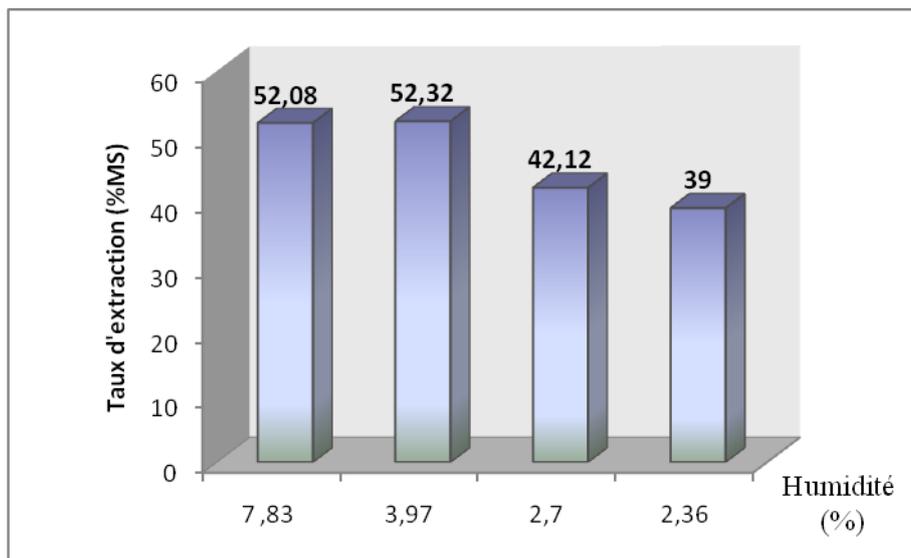


Figure 11 : Effet de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas sur le taux d'extraction d'huile

Le séchage des graines broyées à 40°C pendant 24 heures permet d'avoir le meilleur rendement par rapport à la graine fraîche, torréfiée ou séchée à 70°C pendant 24h. Mais du point de vue économique ce ci n'améliore pas sensiblement le taux d'extraction, malgré que l'eau contenue dans la matière première a une influence aussi bien sur le rendement ou le taux d'extraction que sur la qualité de l'huile extraite (Cheftel et Cheftel, 1984).

2.1.3. Effet du type de solvant

L'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas a été effectuée pendant 6 heures par différents solvants organiques, en vue de déterminer celui qui permet d'obtenir le taux d'extraction le plus élevé.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 03 (Annexe 5) et la figure 12.

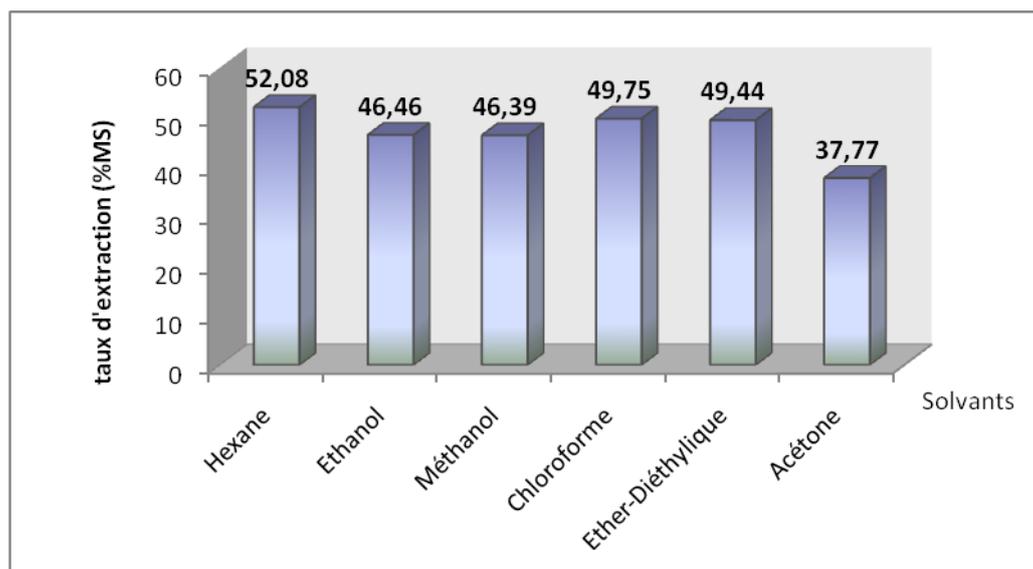


Figure 12 : Effet de la nature du solvant sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Les résultats de l'effet de la nature du solvant sur le taux d'extraction montrent que l'hexane donne le meilleur rendement en huile ($52,08 \pm 0,07$ %). Ainsi, à ce jour, la majorité des procédés d'extraction des huiles des graines oléagineuses l'utilisent comme solvant pour le déshuilage des tourteaux obtenus après pressage. (Kartica, 2005).

L'analyse statistique des résultats obtenus sur l'effet de la durée d'extraction, de la teneur en eau des graines et de la nature du solvant sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas (Annexe 05) ont montré que tous ces paramètres ont une influence hautement significative sur ce dernier et il faudrait 24 heures de séchage des graines dans une étuve à 40°C pour obtenir une teneur en eau de $3,97\% \pm 0,23$ et 6 h d'extraction par l'hexane pour optimiser le rendement en huile.

2.2. Optimisation des paramètres influençant l'extraction par presse

2.2.1. Effets des prétraitements de la graine

Le traitement thermique et le broyage sont les deux prétraitements de la graine du pistachier de l'Atlas étudiés.

a) Effet du broyage des graines

L'étude de l'effet du broyage sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux obtenus, a porté sur le pressage des graines

entières et des graines broyées à température ambiante de laboratoire (annexe 4) pendant 2h à différentes pressions. Les résultats sont regroupés sur le tableau 01 (Annexe 06) et figure 13.

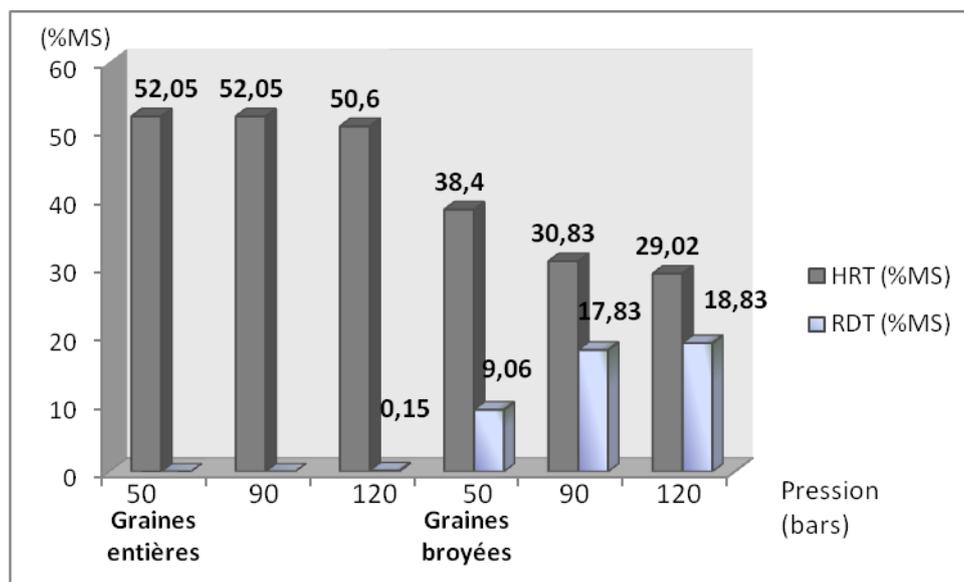


Figure 13 : Effet du broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux

Le rendement en huile obtenu à partir des graines entières du pistachier de l'Atlas est nul, même aux pressions élevées ($0,15\% \pm 0,05$ à 120 bars).

Un résultat identique a été obtenu dans les travaux relatifs à la graine de tournesol et à la graine de soja menés respectivement par Singh et *al.* (1984) et par Othmer et Agarwal (1987) qui rapportent qu'il est impossible de recueillir de l'huile à partir des graines entières. Ce résultat peut être expliqué par l'étanchéité élevée des parois cellulaires à l'huile.

Cependant, après le broyage des graines, le taux d'extraction d'huile augmente et l'huile résiduelle dans les tourteaux obtenus diminue avec l'augmentation de la pression.

Il en découle que le broyage est le facteur primordial pour l'optimisation du rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse hydraulique et ce paramètre a une influence très significative ($p < 0,05$). (Annexe 6).

b) Effet du traitement thermique de la graine

Pour mettre au point l'effet du prétraitement thermique sur le taux d'extraction d'huile des graines du pistachier de l'Atlas, et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux, nous avons

comparé le pressage des graines torréfiées de façon artisanale pendant 15 minutes à celui des graines fraîches.

Les échantillons broyés sont soumis à une pression de 120 bars pendant 2h à température de laboratoire (annexe 4).

Les valeurs des résultats obtenus, et leurs écarts sont reportés sur le tableau 02 (Annexe 06) et la figure 14.

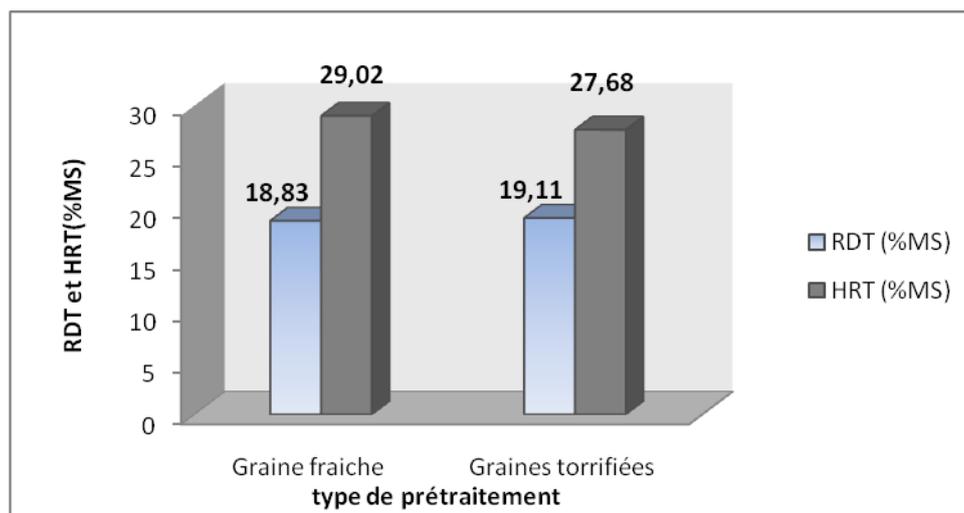


Figure 14 : Effet de la cuisson des graines avant leur broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Il apparaît nettement que la torréfaction des graines du pistachier de l'Atlas avant leur broyage ne permet pas d'améliorer sensiblement de rendement en huile ($p > 0,05$) (Annexe 6) ($18,83\% \pm 0,75$ pour les graines fraîches contre $19,11\% \pm 0,48$ pour les graines torréfiées).

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Hickos (1953) qui affirment qu'un accroissement de la température et du temps de cuisson des graines de coton n'a eu qu'un effet faible sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux. Les travaux de Khan et Hanna (1984) sur l'effet de la cuisson-extrusion à 140°C des graines de soja n'ont pas permis de mettre en évidence le rôle spécifique de la cuisson.

Bien que la torréfaction des graines du pistachier de l'Atlas à un effet trop faible sur le rendement en huile, on constate qu'elle améliore l'odeur, le goût et la couleur de l'huile extraite, ainsi qu'elle facilite le broyage. Par conséquent, le traitement thermique des graines du pistachier de l'Atlas avant leur broyage n'a pas été retenu pour l'étude de l'effet des autres paramètres.

2.2.2. Effet des paramètres opératoires de pressage sur le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas

La charge de la presse, la durée de pressage, la pression et la température sont les paramètres étudiés.

a) Effet de la charge de la presse

L'effet de la variation de la charge de la presse (épaisseur du gâteau de pressage) sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux obtenus après le pressage des graines du pistachier de l'Atlas, a été étudié à température ambiante pour une pression de 120 bars et pendant 2h de pressage, avec variation de la charge. Les résultats relatifs à l'effet de ce paramètre sont regroupés dans le tableau 03 (Annexe 06) et figure 15.

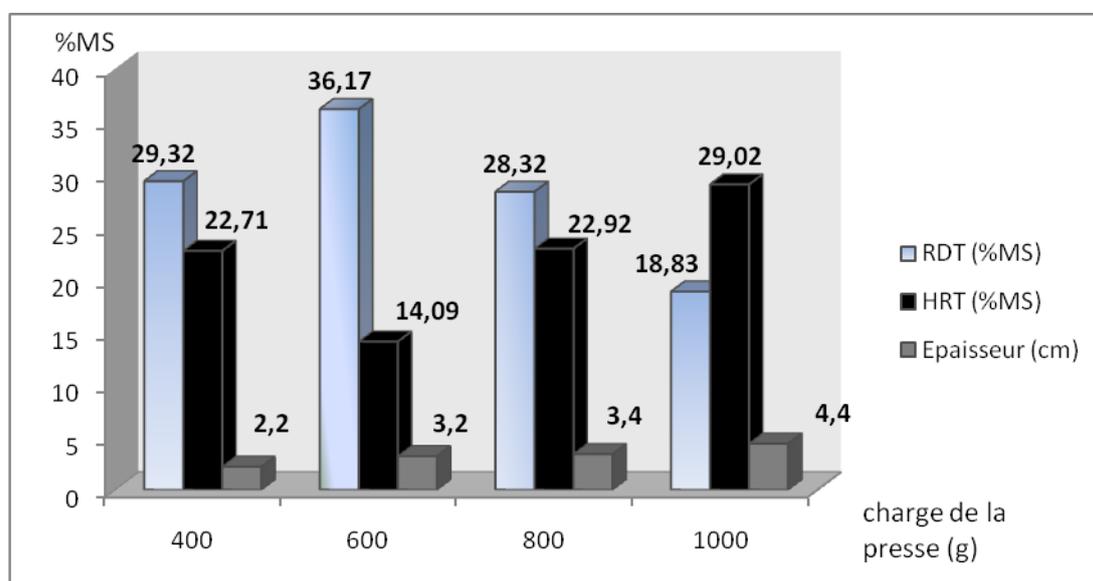


Figure 15 : Effet de la charge de la presse sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Le rendement augmente de 6,85% lorsqu'on passe de 400 à 600 g. À partir de 600 g, l'augmentation de la charge de la presse (épaisseur du gâteau de pressage) entraîne une diminution du rendement en huile et une augmentation de l'huile résiduelle des tourteaux. Cela mis au point une charge optimale de 600g correspondant à une épaisseur du gâteau de pressage de $3,2 \pm 0,3$ cm, qui sera donc maintenue pour l'étude de l'effet des autres paramètres opératoire sur le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Mountasser et El Hadek (1999) pour l'huile d'argan.

b) Effet de la durée de pressage

Plusieurs essais ont été réalisés en vue de déterminer le temps de pressage nécessaire pour atteindre une stabilisation du taux d'extraction d'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse hydraulique de laboratoire.

Des échantillons de 600 g de graines broyées ont été soumis à une pression de 120 bars pendant des durées variables à température ambiante.

Les résultats reportés sur le tableau 04 (Annexe 06) et la figure 16 montrent que le taux d'extraction d'huile se stabilise aux environs de $33.40\% \pm 0,64$ dès la première heure de pressage.

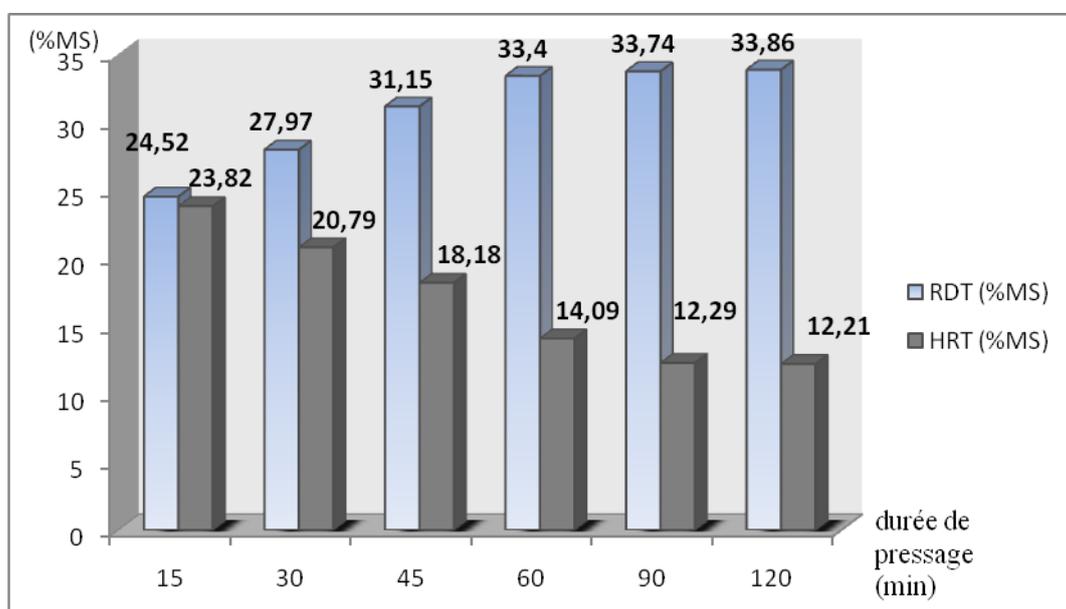


Figure 16: Effet de la durée d'application de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Il est à noter, que la majorité de l'huile extraite (environ 25%) est récupérée après 15 minutes de pressage, au-delà, le rendement en huile augmente et la teneur en huile résiduelle des tourteaux diminue avec l'augmentation du temps de pressage jusqu'à une heure ($33,4 \pm 0,64$), puis devient pratiquement stable avec un ralentissement progressif de l'écoulement.

Les résultats similaires rapportés par Adeeko et Ajibola (1999) et Yé et *al.* (2007) nous permettent de conclure que le ralentissement progressif de l'écoulement de l'huile serait dû au bouchage des pores sous l'effet du drainage après 1h de pressage.

Dans la suite de l'étude, le pressage des graines du pistachier de l'Atlas sera maintenu 60 minutes au lieu de 120 mn en vue d'obtenir le rendement en huile maximal.

c) Effet de la pression

L'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas a été effectuée sur 600g de graines broyées, pendant 1h de pressage, à température ambiante et à différentes pressions (50, 90, 120 bars).

Les résultats montrant l'effet de la variation de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux sont présentés sur le tableau 05 (Annexe 06) et la figure 17.

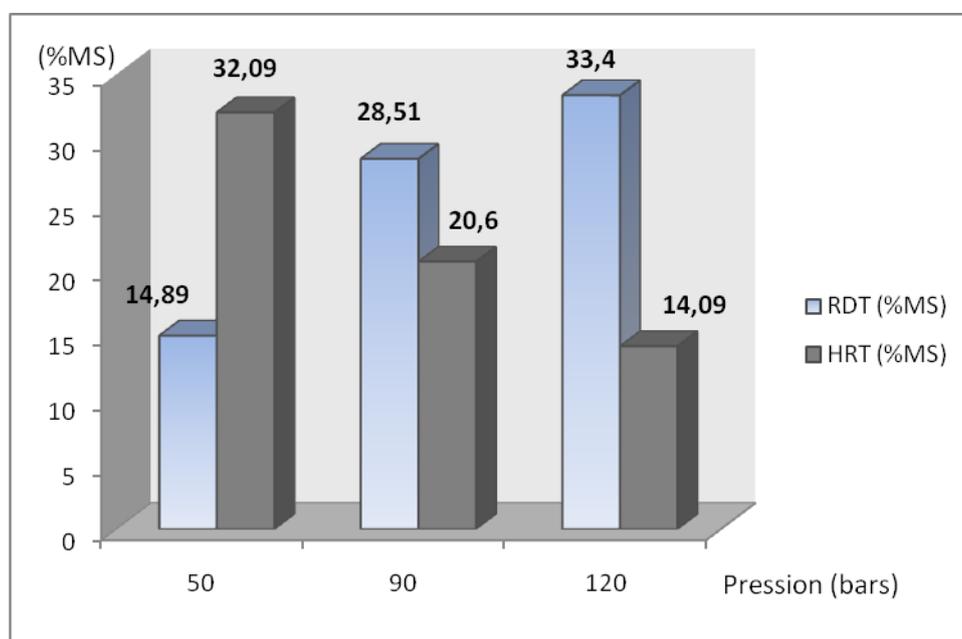


Figure 17 : Effet de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Lors de l'extraction à froid l'effet favorable de la pression apparait lorsqu'on passe de 50 bars à 90 bars (le rendement en huile passe de $14,89\% \pm 0,64$ à $28,51\% \pm 0,95$). A partir de 90 bars, le taux d'extraction d'huile tend vers des valeurs asymptotiques et atteint $33,4\% \pm 0,64$ à 120 bars.

Cet effet favorable ($p < 0,05$) (Annexe 6) des pressions élevées pourrait être du à l'action des forces mécaniques qui augmentent la fragilité et la fragmentation des cellules lipidiques.

Nos résultats confirment ceux obtenus par Hammonds et al. (1991), Sivala et al. (1991), Mountasser et El Hadek (1999), Ferradji et al. (2001) et Yé et al. (2007).

d) Effet de la température de pressage

Les résultats mettant au point l'effet de la variation de la température, sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux obtenus après le pressage des graines du pistachier de l'Atlas pendant 1h à différentes pressions, sont rassemblés dans le tableau 06 (Annexe 06) et figure 18.

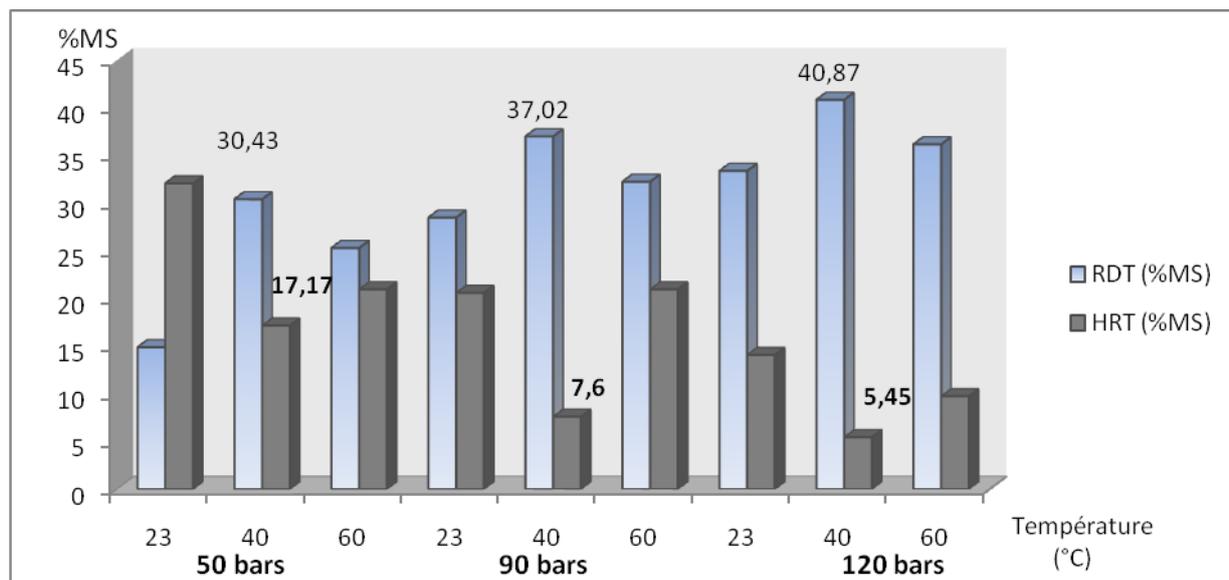


Figure 18 : Effet de la température sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux à différentes pressions

A la lumière de ces résultats, il apparaît nettement que le taux d'extraction d'huile présente un maximum à une température de 40°C à cœur pour toutes les pressions étudiées.

Aux pressions élevées (120 bars), le rendement en huile des graines du pistachier de l'Atlas atteint sa valeur optimale, où la teneur en huile résiduelle des tourteaux est à son minimum. En effet, le taux d'extraction d'huile passe de $33,40\% \pm 0,64$, à température ambiante, à $40,87\% \pm 0,53$ quant la température s'élève à 40°C à cœur. Parallèlement, la teneur en huile résiduelle des tourteaux diminue de $14,09\% \pm 1,09$ à $5,45\% \pm 0,53$.

Dans ce cas, l'amélioration de l'efficacité du pressage ($78,59\% \pm 0,09$) peut être attribuée à l'effet combiné de la température et de la pression ($p < 0,05$) (Annexe 6), mais surtout à l'augmentation de la perméabilité des parois des cellules lipidiques sous l'effet du traitement thermique, ainsi qu'à la

diminution de la viscosité de l'huile qui tend à s'écouler facilement sous l'effet des pressions élevées.

L'augmentation de la température de 40°C à 60°C à cœur du produit fait diminuer d'une part le rendement en huile de **40,87% ± 0,56** à **36,19% ± 1,20** et de l'autre part à augmenter la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux de **5,45% ± 0,53** à **9,75% ± 1,09**, traduisant ainsi une mauvaise efficacité du pressage (**78,59 ± 0,09** à 40°C et **69,59 ± 0,1** à 60°C).

En accord avec Wiesenborn et *al.* (2001), ce serait surtout la moindre plasticité de la graine pressée, liée à la perte en eau à haute température qui serait responsable de la moindre efficacité du pressage.

Rappelons cependant que l'élévation de la température tend à accroître la viscosité de l'huile d'une part, mais d'autre part elle tend à accroître la mobilité des biopolymères des parois cellulaires et donc à augmenter la résistance à l'écoulement (Lanoisellé, 1994).

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Yé et *al.* (2007) sur le beurre de Karité.

2.2.3. Effet de la teneur en eau de la graine

Pour montrer expérimentalement l'effet de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux obtenus après pressage, les graines broyées ont été soumises à des traitements thermiques différents permettant de varier leur teneur en eau.

Le pressage hydraulique des différents échantillons est effectué à 120 bars et à 40°C à cœur du produit pendant 1h. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 07 (Annexe 06) et la figure 19.

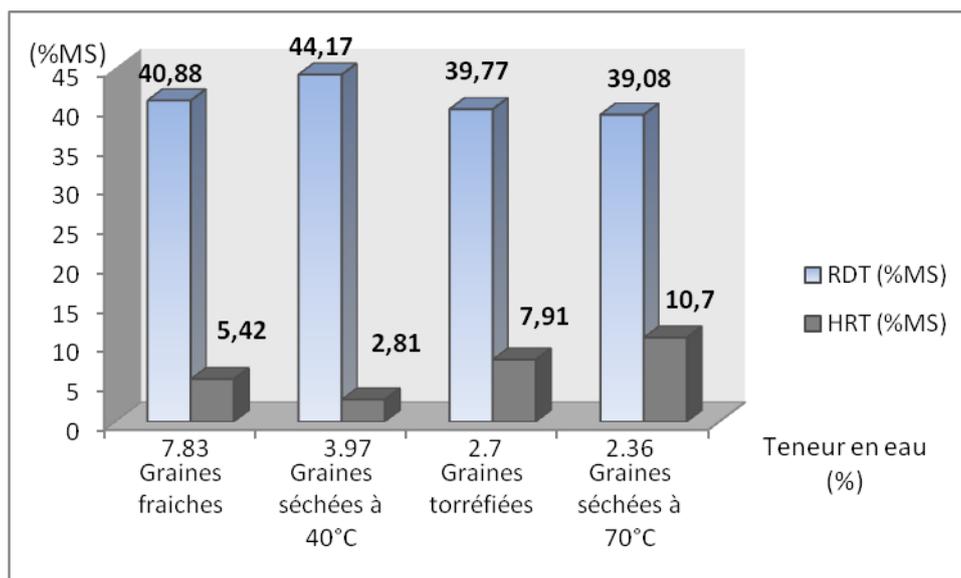


Figure 19 : Effet de la teneur en eau des graines sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

La première remarque qui s'impose, en analysant les résultats, est l'apparition d'une teneur en eau optimale (**3,97% ± 0,23**) (obtenue par séchage des graines broyées à 40°C pendant 24h) pour la quelle le taux d'extraction atteint sa valeur optimale (**44,17% ± 0,62**) et la teneur en huile résiduelle des tourteaux passe par son minimum (**2,81% ± 0,96**) correspondant, à une efficacité de pressage optimale (**84,94 % ± 0,05**).

Le séchage des graines du pistachier de l'Atlas améliore nettement le rendement en huile, mais on constate que pour des teneurs en eau inférieures à **3,97% ± 0,23** le taux d'extraction diminue à **39,08% ± 0,84** avec une augmentation de la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux pour atteindre **10,70% ± 0,63**.

Nos résultats sont en accord avec plusieurs travaux [Koo (1942) ; Hickox (1953) ; Sivala et al. (1991) ; Hammonds et al. (1991) ; Lanoisellé (1994) ; Ferradji et al. (2001)] qui ont montré qu'il existe une teneur en eau optimale, étroitement dépendante de la température de pressage, pour chaque graine oléagineuse.

Dans notre cas, l'optimisation du rendement en huile peut être attribuée à la faible teneur en eau de graines pressées qui influence de façon très significative ($p < 0,05$) (Annexe 6) et à la fragilité des parois des globules lipidique sous l'effet de la température.

L'étude menée sur l'optimisation des paramètres influençant le taux d'extraction d'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse hydraulique et le traitement statistique des résultats obtenus (Annexe 6) nous ont permis de conclure que le pressage de **600g** de graines broyées, de teneur en eau de **3,97% ± 0,23** pendant 1h sous une pression de **120 bars** à une température de **40°C** à cœur, sont les conditions optimales pour obtenir un rendement en huile de **44.17% ± 0.62**, correspondant à une très bonne efficacité de pressage (**84,94% ± 0.05**) et une teneur en huile résiduelle des tourteaux minimale.

3. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

L'étude de la qualité physicochimique de l'huile extraite par solvant et par presse, dans les conditions optimale de température et de pression et la détermination de sa composition en acides gras peuvent constitués une étape intéressante pour la mise au point des vertus thérapeutiques et nutritionnelles de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.

Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas extraite par solvant et par presse, dans les conditions optimales, sont représentées dans le tableau 15.

Tableau 15: Caractéristiques physico-chimiques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas.

caractéristiques	Huile extraite par presse	Huile extraite par solvant
Densité à 20°C	0,918±0,002	0,917±0,002
Indice de réfraction à 20°C	1,471±0,001	1,472±0,001
Viscosité absolue à 20°C (Cp)	92±0,50	85±0,75
Absorbance dans l'UV à 268nm	0,655±0,023	0,650±0,081
Indice d'acide (mg KOH/g d'huile)	9,95±0,05	8,35±0,12
Indice de peroxyde (méq O ₂ /Kg d'huile)	10,49±0,023	9,95±0,95
Indice d'iode (g de I/100g d'huile)	87,15±0,32	88,20±0,01
Indice de saponification (mg de KOH/g d'huile)	202,75±0,25	204,49±0,04
Teneur en matières insaponifiables (%)	1,58±0,02	1,74±0,01

L'huile des graines du pistachier de l'Atlas présente un poids spécifique de 0,918± 0,002 à 20°C, peu visqueuse (92±0,50 Cp à 20°C), de couleur jaune foncé, à odeur et saveur agréable. Elle se solidifie à une température comprise entre 5 et 10°C.

Les valeurs de l'indice d'iode et de saponification sont comparables à ceux obtenus par Yousfi et *al.* (2003) 85,5 et 19,5 respectivement, celles-ci indiquent une forte teneur en acides gras saturés.

L'huile extraite dans les conditions optimales, de température et de pression, montre une valeur d'indice d'acide relativement élevée ($9,95 \pm 0,05$ mg de KOH/g d'huile) par rapport à une huile de bonne conservation qui doit présenter une acidité nulle ou faible ne devant pas dépasser 2% d'acide oléique, correspondant à 4mg de KOH/g d'huile (Lecoq, 1965).

Cette acidité de l'huile peut être due à la nature de la graine, en effet, certaines huiles végétales (huile d'olive et de palme) présentent une acidité élevée (Patterson, 1989), ou à l'action enzymatique des lipases, favorisée par le broyage et la température de pressage. Notons que la présence de la lipase dans les graines oléagineuses pourrait augmenter le taux d'acide gras libre à 40% et plus (Ustun, 1990).

La mauvaise conservation des graines augmente également l'acidité de l'huile. En effet, les graines oléagineuses mal stockées pendant plusieurs mois peuvent avoir une acidité dix fois plus élevée (Wolff, 1992).

L'huile des graines du pistachier de l'Atlas est relativement riche en matières insaponifiables puisque la plupart des huiles végétales présentent des teneurs comprises entre 0,5 et 2,5%. En accord avec Lecoq (1965), les huiles extraites par solvant se montrent plus riches en insaponifiables que les huiles extraites par pression.

4. Composition en acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

4.1. Composition en AG de l'huile extraite par presse et par solvant

L'analyse des esters méthyliques d'acides gras de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par presse et par solvant, par CPG a mis au point les résultats du tableau 16 (Figure 20 et 21).

Tableau 16 : Composition en AG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par presse et par solvant.

Acides Gras (%)	Huile des graines de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.				Huile des graines de <i>Pistacia vera</i> **
	Extraite par solvant	Extraite par presse	Algérienne *	Iranienne *	
C12 :0	-	-	0,07±0,02	-	-
C14 :0	-	-	0,09±0,01	0,07±0,00	0,06±0,12
C16 :0	20,42±0,05	22,05±0,01	12,21±0,48	17,29±1,41	8,50±0,50
C16 :1	1,02±0,01	1,05±0,02	1,77±0,06	6,09±0,60	1,23±0,30
C18 :0	1,93±0,02	2,09±0,01	2,39±0,12	2,35±0,18	1,48±0,48
C18 :1	52,68±0,05	50,61±0,02	54,15±0,30	54,66±0,89	51,46±0,07
C18 :2	22,81±0,07	22,86±0,06	28,84±0,23	18,51±2,27	35,85±0,76
C18 :3	0,60±0,23	0,83±0,16	0,42±0,46	0,59±0,02	0,95±0,70
C20 :0	0,13±0,11	0,12±0,11	0,05±0,01	0,02±0,11	-
C20 :1	0,38±0,15	0,35±0,18	-	-	-
AGS	22,48±0,18	24,26±0,31	14,76±0,15	19,71±0,39	10,04±1,13
AGI	77,49± 0,51	75,70±0,44	85,23±0,41	79,87±0,82	89,49±0,89
AGMI	54,08± 0,21	52,01±0,22	55,92±0,18	60,75±0,79	52,69±0,32
AGPI	23,41±0,30	23,69±0,23	29,31±0,23	19,12±0,80	36,80±1,41
AGI/AGS	3,44±0,61	3,12±0,75	5,77±0,14	4,05±0,66	8,91±1,01

(source : *Benhassaini et al., 2007.* **Farhoosh et al., 2008)

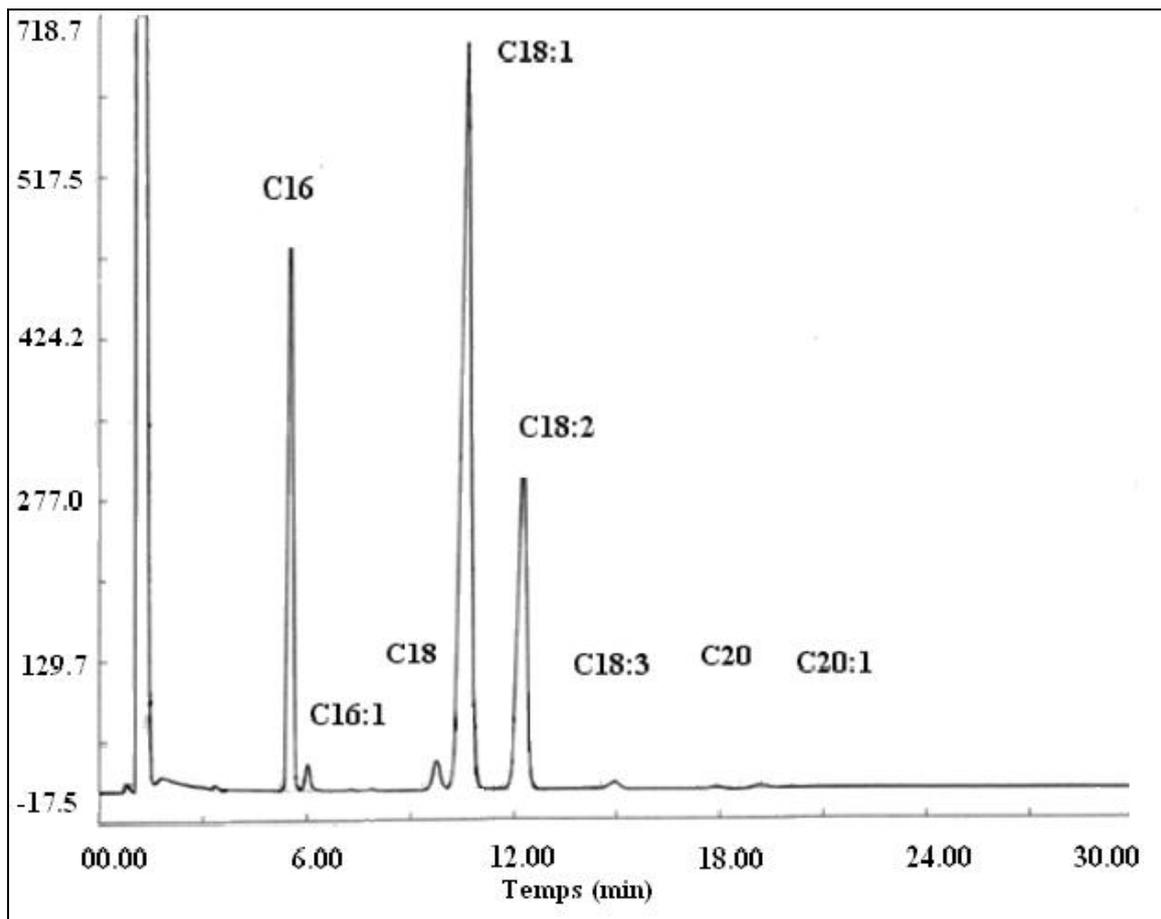


Figure 20 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par solvant, obtenu par CPG.

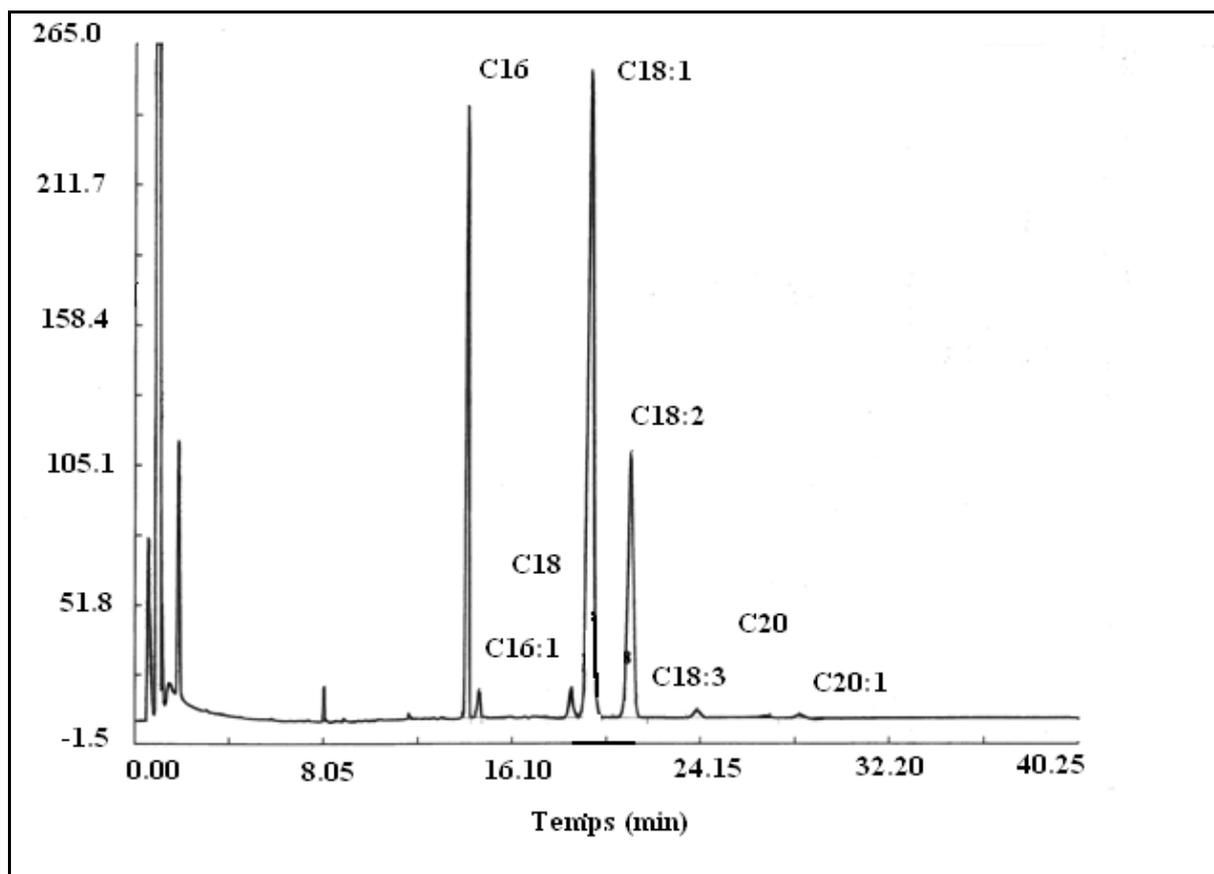


Figure 21 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite par presse (dans les conditions optimales), obtenu par CPG.

La première remarque qui s'impose est que la méthode d'extraction a une influence considérable sur la composition en AG de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas. Les mêmes résultats ont été obtenus par Atta (2003) qui a mis au point des différences nettes au niveau de la composition en acide palmitique et oléique de l'huile des graines de nigelle obtenu par presse et par solvant (12,1% et 18,9%) et (9,9% et 20,1%) respectivement.

La fraction d'acide gras insaturés de l'huile extraite par presse est majoritaire (75,70%±0,44). Elle est représentée par l'acide oléique (50,61%±0,02) suivi de l'acide linoléique (22,86%±0,06). Les rôles de ces AG dans la prévention de certains troubles du métabolisme et de maladies cardiovasculaires n'est pas à démontrer, ce qui confère à cette huile une haute valeur nutritionnelle. En accord avec (Ghalem et Benhassaini, 2007), la présence de l'acide linoléique, protège l'huile des phénomènes d'oxydation lors des traitements thermiques et par conséquent la prédispose à des chauffages éventuels.

En se basant sur les résultats de la composition en AG insaturés, il est possible de conclure que l'huile des graines du pistachier de l'Atlas est classée parmi les huiles végétales de type oléolinoléique.

La fraction d'acides gras saturée (**24,26% ± 0,31**) est représentée par l'acide palmitique avec une teneur de 22,05%±0,01, l'acide stéarique 2,09% ± 0,01 et l'acide arachidonique 0,13%±0,11. L'huile des graines du pistachier de l'Atlas se montre la plus riche en ces acides que l'huile des fruits de *Pistacia vera* dont les teneurs ont été rapportées par Farhoosh et al. (2008).

Cependant, les profils en acide gras des huiles extraites des graines de *Pistacia atlantica* et des fruits de *Pistacia vera*, présentent une certaine similitude dans la teneur en acide oléique et stéarique, mais une grande différence au niveau de la teneur en acide palmitique et linoléique.

En examinant de près les profils en AG des huiles extraites des graines de *Pistacia atlantica* de la région de Messaâd (graine étudiées), de Tilimsen et la région dite Zagrossian en Iran, on constate une différence certaine dans la composition en AG, surtout en acide palmitique et linoléique. Cette différence pourrait être due à l'effet des conditions pédoclimatiques des cultures. Selon Benhassaini et al., (2007) cette caractéristique est dite stratégie de survie ou d'adaptation.

En plus des conditions d'extraction (presse ou solvant) d'huile et du facteur climatique, les conditions de conservation et de récolte des graines peuvent également influencer la composition en acides gras.

4.2. Acides gras de l'huile du péricarpe et du noyau de la graine du pistachier de l'Atlas

Les résultats concernant la composition biochimique de la graine du pistachier de l'Atlas ont montré que cette dernière renferme 52,08% ± 0,07 d'huile dont 57% proviennent du tégument et le reste du noyau.

De point de vue organoleptique, l'huile extraite du tégument (péricarpe) est de couleur verte et se solidifie rapidement à température ambiante. L'huile des noyaux, quant à elle, est de couleur jaune et plus visqueuse.

Ces observations reflètent une différence de composition en AG des deux huiles et probablement la richesse du tégument en AG saturés.

C'est cette observation qui nous a mené à étudier la composition en AG des huiles extraites des téguments et des noyaux des graines du pistachier des l'Atlas. Les résultats obtenus et leurs écarts sont regroupés sur le tableau 17 (Figure 22 et 23).

Tableau17: Composition en AG de l'huile du tégument et du noyau de la graine du pistachier de l'Atlas

Espèces Acides gras	Espèce étudiée		<i>Pistacia atlantica ssp. Mutica (PAM)*</i>		<i>Pistacia atlantica ssp. Kurdica (PAK)*</i>	
	Noyaux	Tégument	Noyaux	Tégument	Noyaux	Tégument
C14 :0	-	-	0,06	0,03	0,07	0,01
C16 :0	12,50±0,02	28,63±0,54	12,20	24	12,48	24,50
C16 :1	0,56±0,66	1,49±0,88	1,90	12,80	1,53	6,80
C18 :0	2,64±0,06	1,48±0,01	2,20	2,10	2,50	2,20
C18 :1	55,80±0,85	48,62±0,79	50,40	55,80	57,00	54,79
C18 :2	27,15±0,90	18,23±0,23	32,80	4,50	25,80	11,30
C18 :3	0,52±0,02	0,88±0,42	0,40	0,70	0,50	0,40
C20 :0	0,19±0,01	0,11±0,02	Traces	Traces	-	traces
C20 :1	0,61±0,03	0,25±0,05	-	0,10	-	-
AGS	15,33±0,09	30,22±0,57	14,46	26,13	15,05	26,71
AGI	84,64±0,90	69,47±0,48	85,5	73,9	84,83	75,49
AGMI	56,36±0,23	50,36±0,67	52,30	68,7	58,53	61,59
AGPI	27,67±0,33	19,11±0,65	33,2	5,20	26,3	11,70
AGI/AGS	5,52±0,21	2,29±0,61	5,91	2,82	5,63	2,82

*Source : (Daneshrad et Aynehchi, 1980)

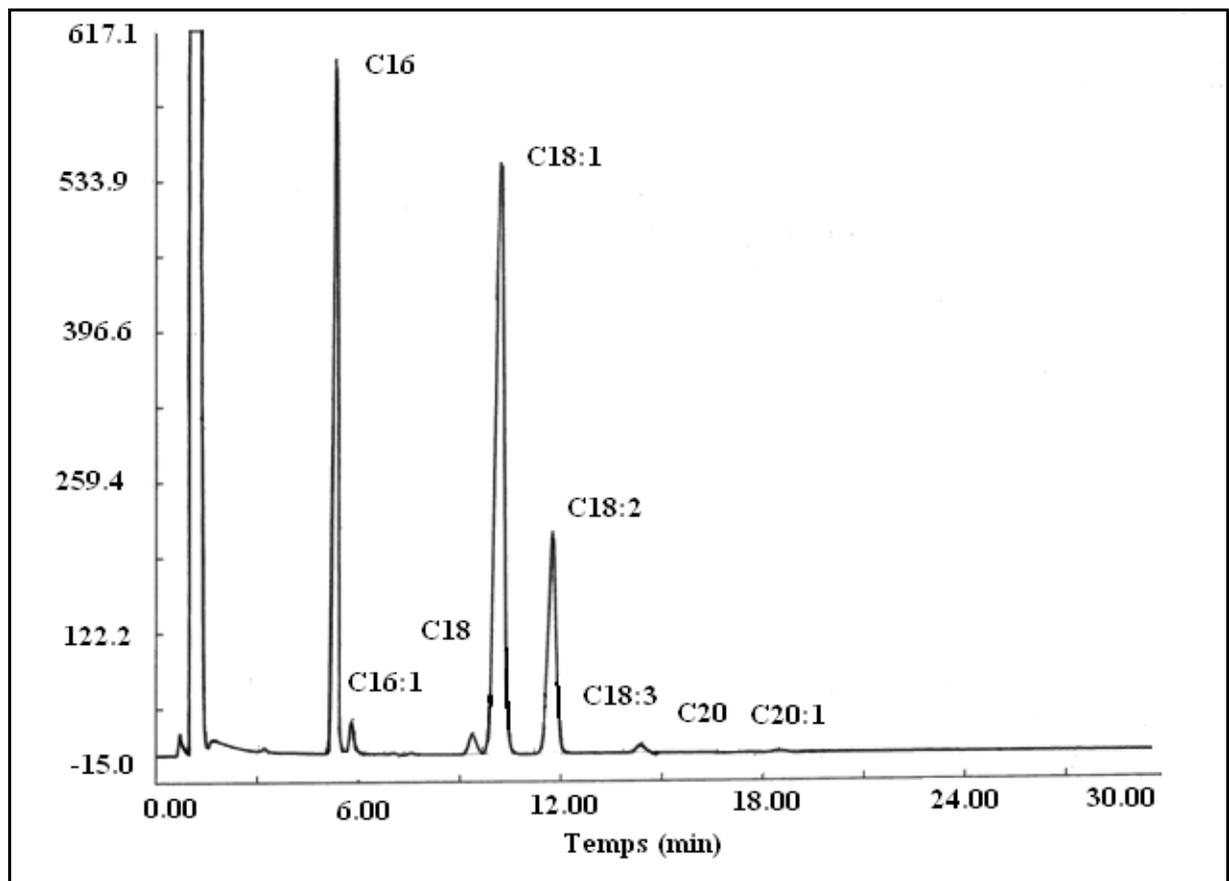


Figure 22 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite du tégument, obtenu par CPG.

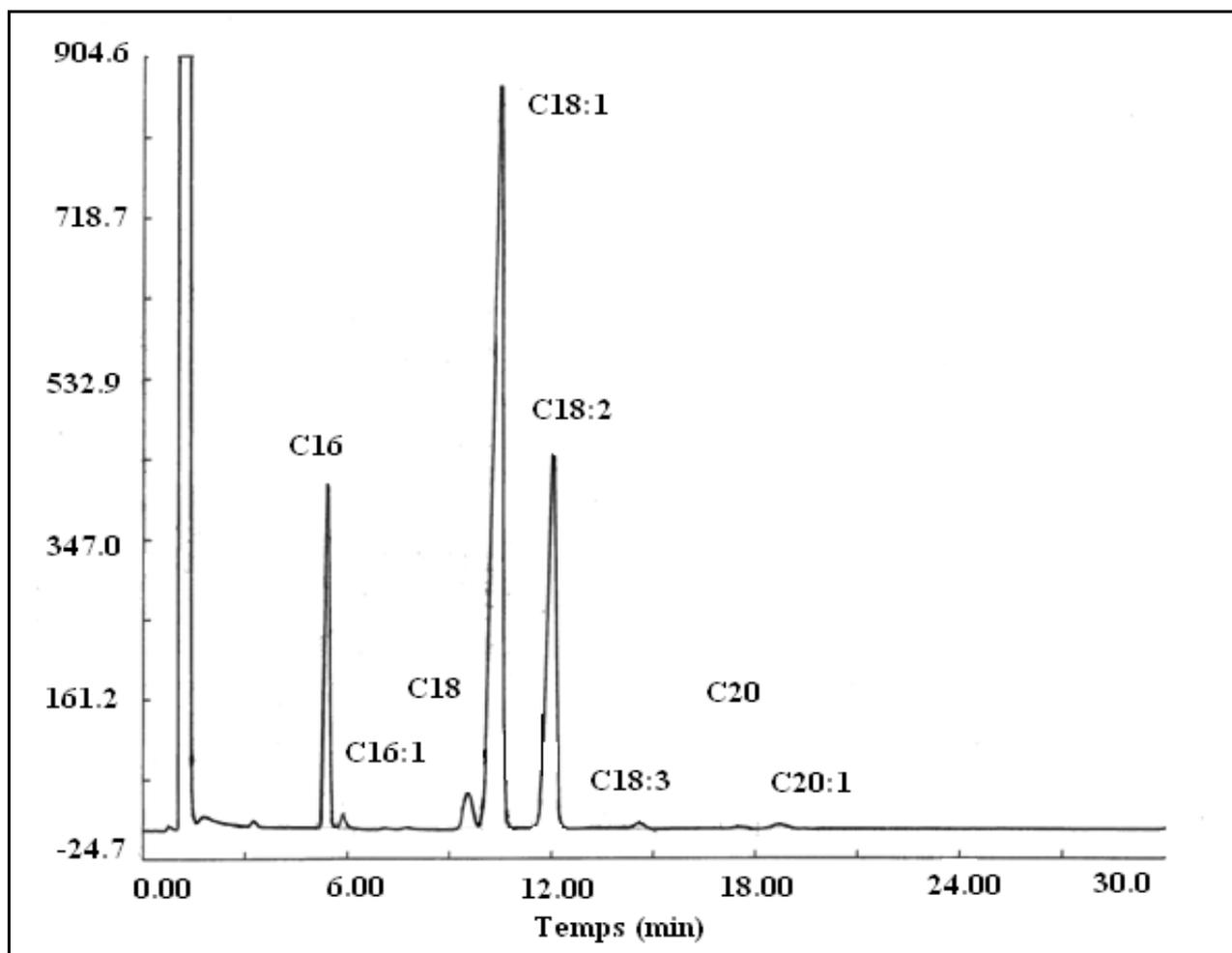


Figure 23 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite du noyau, obtenu par CPG.

D'après ces résultats, il apparaît nettement que les huiles extraites du tégument et du noyau présentent des profils en AG différents. La différence de concentration en acide palmitique et linoléique dans les noyaux et les téguments est très significative.

L'huile du noyau est riche en AG insaturés, notamment en acides oléique et linoléique $55,80\% \pm 0,85$ et $27,15\% \pm 0,90$ respectivement, leur concentration dans le tégument est plus faible, ce dernier quant à lui, est deux fois plus riche en acide palmitique ($28,63\% \pm 0,54$) et par conséquent, c'est la présence de ce dernier en quantités importantes qui explique la solidification de l'huile à température ambiante.

La variété étudiée se rapproche de la variété Kurdica dont la composition en AG est rapportée par Daneshrad et Aynehchi (1980). En effet, la composition en AG des huiles des noyaux de ces

deux variétés présente une certaine similitude. Mais les huiles extraites des téguments présentent une différence nette au niveau de la teneur en acide palmitique, palmitoléique et linoléique.

Cette différence de composition en AG des huiles des graines du pistachier de l'Atlas de différentes origines ne peut être attribuée qu'à l'effet des conditions de stockage des graines, d'extraction des huiles, du dosage de ces éléments et notamment à l'effet variétale et environnementale.

5. Effet de la température sur la qualité de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

La température de pressage a un effet considérable sur la couleur, l'odeur et le goût de l'huile extraite (figure 24). L'extraction à froid donne le meilleur aspect, puis la couleur de l'huile devient de plus en plus noirâtre avec un goût de cuit aux températures élevées surtout à 60°C à cœur.

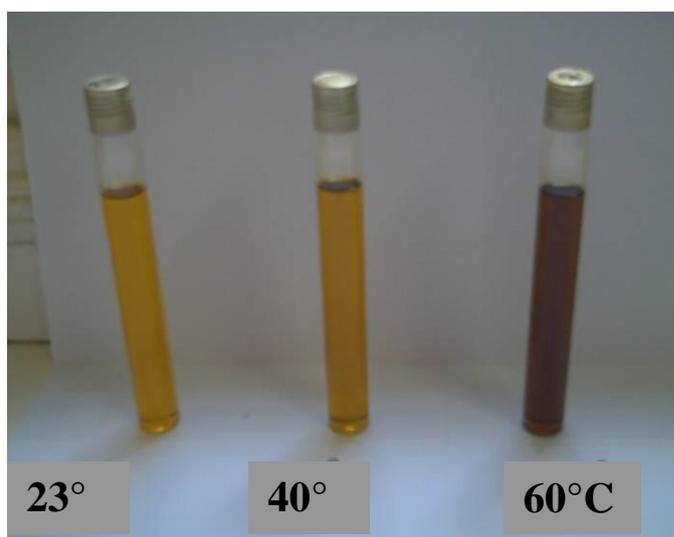


Figure 24 : Aspect des huiles extraites à différentes températures

Le fait d'avoir effectué un pressage aux températures élevées (40 et 60°C), il nous paru nécessaire de savoir si la température de pressage a un effet sur la qualité de l'huile. C'est pour cela, une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et de la composition en AG de ces huiles a été réalisée.

Les résultats obtenus pour une augmentation de la température de pressage sous une pression de 120 bars sont rassemblés dans le tableau 18 et les figures 21, 25 et 26.

Tableau 18 : Caractéristiques des huiles des graines de pistachier de l'Atlas extraites par presse à différentes températures.

Caractéristiques	Température de pressage (°C)		
	ambiante	40	60
<u>Caractéristiques physiques</u>			
Densité à 20°C	0,919±0,001	0,918±0,002	0,920±0,001
Indice de réfraction à 20°C	1,472±0,001	1,471±0,001	1,469±0,002
Viscosité à 20°C (Cp)	87±0,55	92±0,50	95±0,13
Absorbance dans l'UV	0,652±0,027	0,655±0,023	1,259±0,02
<u>Indices chimiques</u>			
Indice d'acide (mg KOH/g)	8,74±0,06	9,95±0,05	11,31±0,01
Indice de peroxyde (méc O ₂ /Kg)	9,85±0,13	10,49±0,23	11,62±0,12
Indice d'iode (g de I/100g)	88,03±0,05	87,15±0,32	87,96±0,14
Indice de saponification (mg de KOH/g)	204,53±0,01	202,75±0,25	199,71±0,92
Insaponifiable (%MS)	1,72±0,01	1,58±0,02	1,49±0,07
AG (%)			
C16:0	21,68±0,42	22,05±0,01	20,66±0,45
C16 :1	0,97±0,13	1,05±0,02	0,97±0,12
C18:0	1,96±0,12	2,09±0,01	2,13±0,01
C18 :1	50,90±0,01	50,61±0,02	52,17±0,01
C18 :2	23,30±0,01	22,85±0,06	22,69±0,09
C18 :3	0,70±0,11	0,83±0,16	0,79±0,12
C20:0	0,11±0,02	0,12±0,11	0,14±0,01
C20 :1	0,35±0,12	0,35±0,18	0,40±0,05

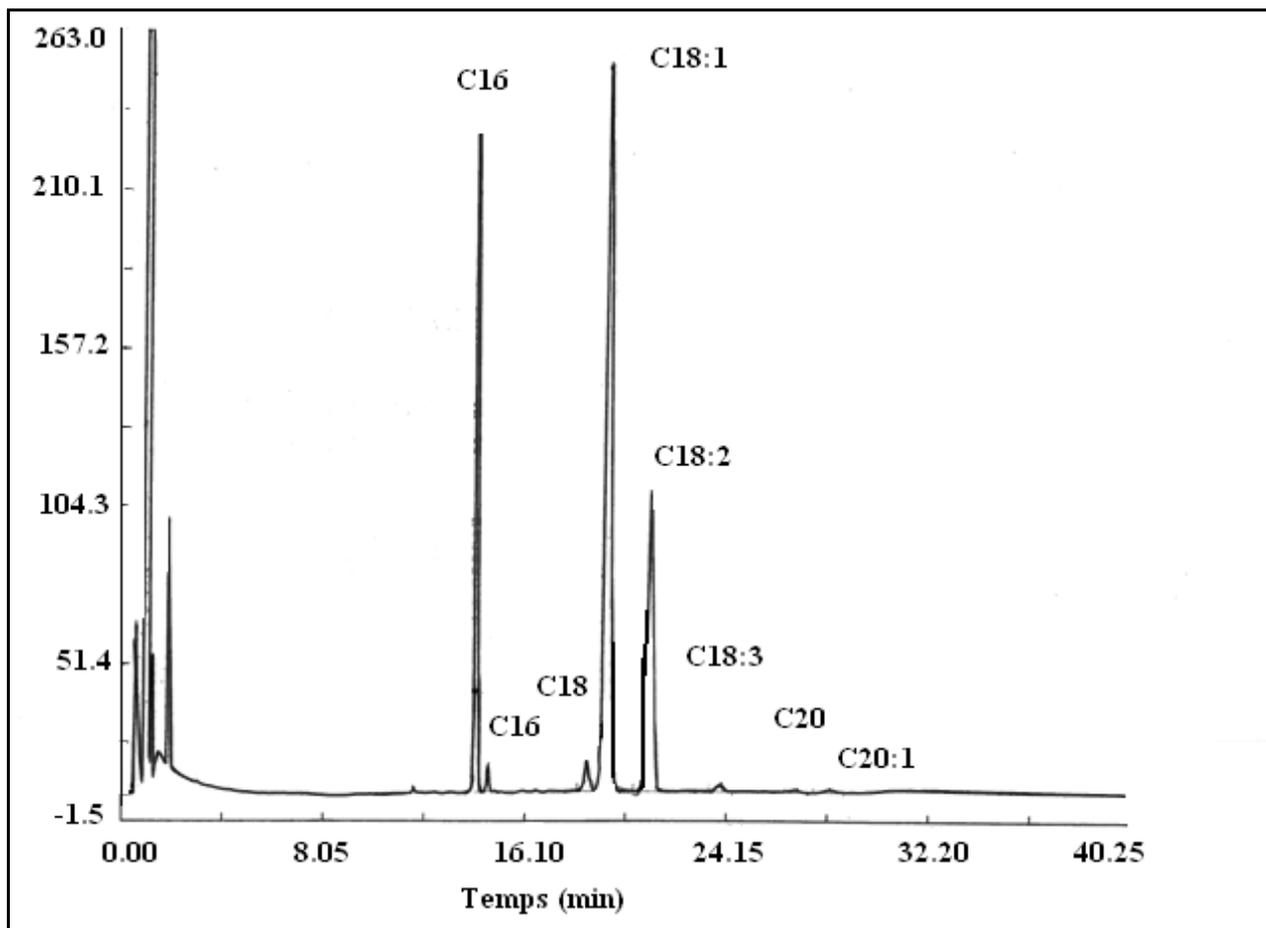


Figure 25 : Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite à température ambiante, obtenu par CPG.

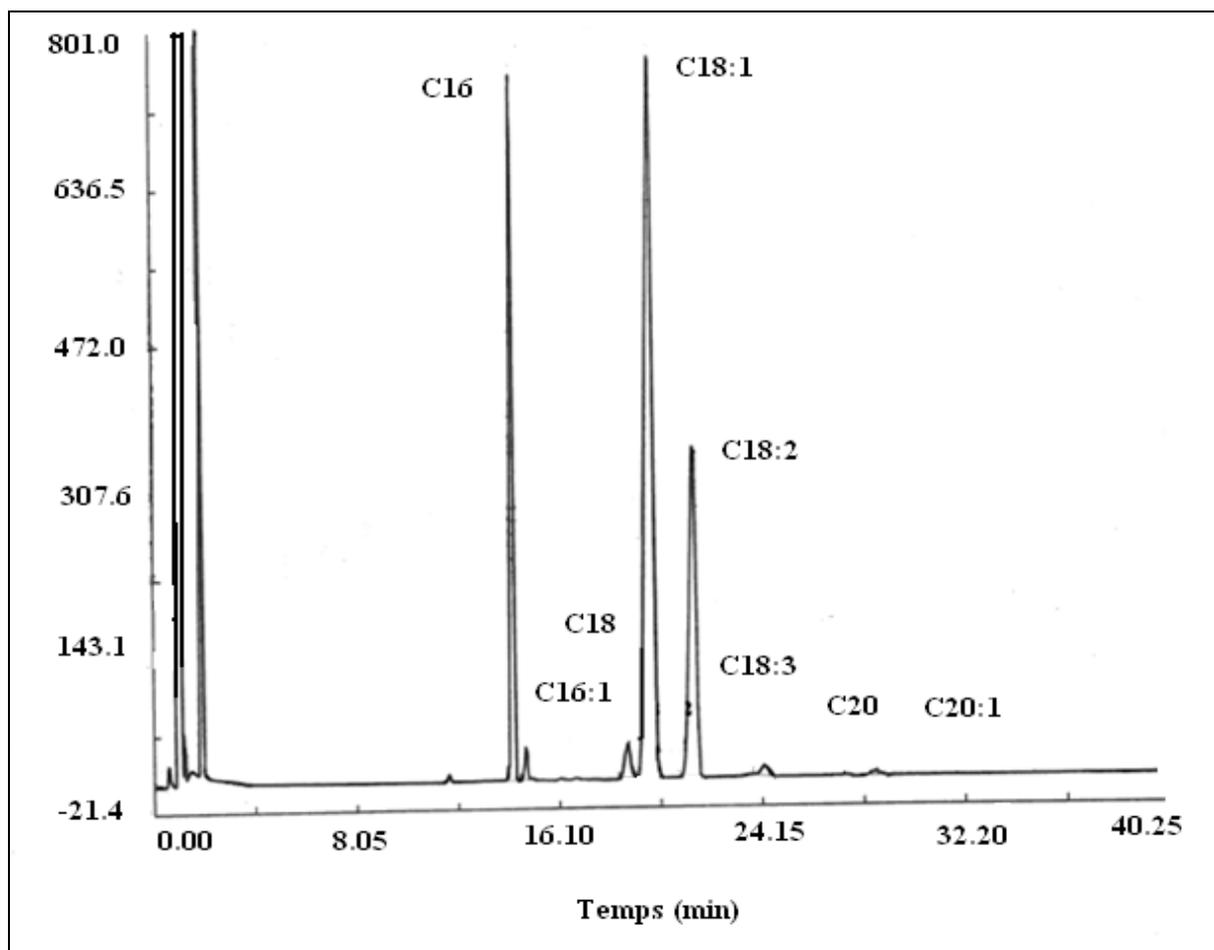


Figure 26: Chromatogramme des esters méthyliques de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite à 60°C, obtenu par CPG.

Du point de vue de la qualité de l'huile extraite, la composition en acides gras reste dominée par l'acide oléique suivi de l'acide linoléique et l'acide palmitique, sans effet significatif d'une augmentation de la température sur la répartition des autres acides gras (figure 21, 25 et 26). De même les caractéristiques physiques, les indices d'iode et de saponification et la teneur en matières insaponifiables sont peu affectés.

Par contre, l'augmentation de la température semble favoriser l'oxydation de l'huile et l'augmentation de la teneur en acide oléique à 60°C et par conséquent l'acidité de l'huile. En effet, la présence d'eau combinée à la chaleur et à la pression est un facteur renforçateur de l'hydrolyse des triglycérides, responsables de l'acidification de l'huile (Wolff, 1992).

L'extinction spécifique des huiles dans l'ultraviolet constitue un important paramètre de qualité des huiles. Mesurées à 268nm, elle renseigne sur la présence de produits secondaires d'oxydation des acides gras (alcools, cétones,...).

L'absorbance dans l'ultraviolet de l'huile des graines de pistachier de l'Atlas augmente sensiblement à 60°C, notant que les valeurs maximales des huiles extraites à différentes températures sont toutes supérieures à 0,3 : valeur limite dans le cas d'huile d'olive vierge (codex, 1989).

Les valeurs de l'indice de peroxyde augmentent sensiblement, mais elles restent inférieures à 20 méq/Kg d'huile : valeur indiquant que le corps gras est rance.

D'une façon générale, l'augmentation de la température a peu d'effet sur la qualité de l'huile surtout à 40°C à cœur où le taux d'extraction a été optimisé. A cette température la qualité de l'huile n'est pas fortement altérée par le traitement thermique et les indicateurs de qualité mesurés restent en générale dans les limites prescrites. A ce niveau, le taux d'extraction est le paramètre devant guider le choix des conditions optimales de pressage. Au-delà, le taux d'extraction diminue avec la qualité physicochimique et organoleptique de l'huile.

Conclusion

Conclusion

Les graines de pistachier de l'Atlas renfermant **52,08% ± 0,07** d'huile, peuvent être considérées comme l'une des sources les plus prometteuses pour la diversification de la production d'huile végétale en Algérie. Afin d'optimiser le rendement en huile de ces graines, une presse hydraulique pouvant recevoir jusqu'à 2Kg d'échantillon à presser et permettant la maîtrise des variations de la température (25 à 60°C) et de la pression (20 à 120 bars) a été conçue au laboratoire.

Le pressage des graines entières, du pistachier de l'Atlas, donne un très faible rendement en huile, mêmes aux pressions élevées. Ainsi, le broyage des graines est nécessaire pour faciliter l'extraction de l'huile.

Des résultats intéressants ont été obtenus en ce qui concerne l'influence des paramètres opératoires de pressage. En effet, l'application d'une pression de 120 bars sur 600g de graines broyées, de teneur en eau optimale (**3,97% ± 0,23**) pendant 1h à 40°C à cœur permet d'optimiser le rendement d'huile à **44,17% ± 0,62** et de réduire la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux à sa valeur minimale (**2,81% ± 0,96**), améliorant ainsi l'efficacité de la presse à (**84,94% ± 0,05**). Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques ainsi que la composition en AG de l'huile ne paraissent pas être altérées par le traitement thermique au cours du pressage.

Il résulte de cette étude que l'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas peut se faire par une presse hydraulique en maîtrisant les paramètres opératoires de pressage et la teneur en eau des graines pour optimiser le rendement en huile.

L'huile des graines du pistachier de l'Atlas, extraite dans les conditions optimales de pressage, est de couleur jaune à odeur agréable. Elle est très riche en acide oléique, linoléique et palmitique, **50.61% ± 0.02**, **22.86% ± 0.06** et **22.05% ± 0.01** respectivement. Les acides gras insaturés se concentrent au niveau du noyau, ainsi, l'huile extraite de ce dernier renferme **55.80% ± 0.85** d'acide oléique et **27.15% ± 0.90** d'acide linoléique. L'huile du péricarpe, quant à elle, est plus riche en AG saturés (**28.63% ± 0.54** d'acide palmitique).

Ces résultats confirment la qualité nutritionnelle de l'huile des graines de *Pistacia atlantica* Desf., ce qui peut offrir des possibilités pour une exploitation rationnelle de cette huile oléo-linoléique par son utilisation pharmacologique et agroalimentaire.

Conclusion

Pour les prochains travaux de recherche, il serait intéressant d'orienter l'étude vers l'établissement d'un procédé d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par une presse continue à l'échelle pilote et la détermination des paramètres opératoires permettant d'optimiser le rendement en huile. Par ailleurs, l'étude détaillée de la composition en stérols, tocophérols, phénols et en phospholipides pourrait faire l'objet de plusieurs études pour mettre en évidence les vertus thérapeutiques et nutritionnelles de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas qui restent inconnus à nos jours.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abdelkrim H., 1985** : Les dayates du Sud de l'Atlas Saharien (Algérie). Colloque phytosociologique Vég. et géomorphologie, Bailleul. 361-371. In **Chaba B., Chraa O., Khichane M., 1991** : Germination, morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica Desf.*). Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides, Groupe d'Etude de l'Arbre-Paris, France, pp. 465-472.
2. **Abdelkrim H., 1989** : Un joyau floristique : L'Oeud Idikel, Oeud à *Pistacia atlantica* et *Myrtus Nivellei* dans le Hoggar. *Ann. Inst. Nat. Agron El Harrach*, vol. 13, n.1, pp 32-43.
3. **Adeeko K.A. et Ajibola O.O., 1990** : Processing factors affecting yield and quality of mechanically expressed groundnut oil. *J.Agric.Eng.Res.* 45, pp. 13-43. In **Yé S., Lebeau F., Wathelet J.P., Leemans V., Destain M.F., 2007** : Etude des paramètres opératoires de pressage mécanique des amandes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn C.F. (karité). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 11, n. 4, pp. 267-273.
4. **Afnor, 2000** : Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés.
Tome I : corps gras et produits dérivés. 643p.
Tome II : graines oléagineuses et tourteaux. 385p.
5. **Anonyme, 2007** : Dosage des composants des denrées et valeur énergétique. *Chimie des denrées alimentaires/ analyses, AE-30/03/2007*. pp : 01-13.
6. **Artur Y., Cals M.J., Clerc M., Covi G., Crastes de paulet A., Cruz-pastor M., Herbeth B., Laschi-Loquerie A., leclercq M., Maziere J.C., Mounie J., Nicolm., Troupel S., Vernet M.H., 1994** : Actualisation des données relatives aux tocophérols en biochimie clinique. *Ann. Biol. Clin. Paris*, **52**, 9-31.
7. **Atli H.S., Arpacis S. et Ayanoglu H., 2001** : Comparison of seeding characteristics of some *Pistacia* species . Option Méditerranéennes .vol . 56. XI^{ème} colloque du GREMPA sur le Pistachier et l'Amandier, pp. 215-218.
8. **Atta M. B., 2003**: Some characteristics of nigella (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. *Food Chemistry*, Vol. 83, n.1, pp. 63-68
9. **Barrero A.F., Herrador M.M., Arteaga J .F., Akssira M., Millouki F., Belgarrabbe A., Blazquez M.A., 2005** : Chemical composition of the essential oils of *Pistacia atlantica Desf.* *Journal of Essential Oil Research*, 17 (1), pp: 52-54.
10. **Belhadj S., 1999**: Pistacio Situation in Algeria FAO. CIHEAM. Nucis Newsletter, 8, pp: 29-30

11. **Belhadj S., 2001** : Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation. *Option méditerranéennes*. XI^{ème} colloque du GREMPA sur le pistachier et l'amandier, vol. 56, pp. 107-109.
12. **Benhammou N., Bekkara F.A., Panovska T.K., 2008**: Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extract. *African Journal of Pharmacology* 2 (2), pp, 22-28.
13. **Benhassaini H., Bendahmane M. et Benchalgo N., 2007**:The chemical composition of fruits of *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *Atlantica*. from Algeria. *Chemistry of Natural Compounds*, vol. 43, n.2, pp.103-105
14. **Benhassaini H., Mehdadi Z., Hamel L., Belkhdja M., 2007** : Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *atlantica* dans le Nord-Ouest Algérien. *Sécheresse*, 18(3), pp. 199-205.
15. **Blanc M., 1992**: Analyse des grains oléagineuses et des tourteaux in. In : **Karlskind A., 1992**. Manuel des Corps Gras. Vol. 2. *Lavoisier-Paris Tec et Doc*. pp. 1312-1341.
16. **Bonvehi J.S., Collf.V., Rius I.A., 2000**: Liquid chromato-graphic determination of tocopherols and tocotrienols in vegetable oils, formulated preparations, and biscuits. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.*, **83**, 627-634.
17. **Bouzenoune A., 1984** : Etude phytogéographique et phytosociologique des groupements végétaux du sud Oranais, wilaya de Saida. Thèse de doctorat troisième cycle en écologie végétal. Université d'Alger. In : **Benhassaini H., Mehdadi Z., Hamel L., Belkhdja M., 2007** : Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *atlantica* dans le Nord-Ouest Algérien. *Sécheresse*, 18(3), pp. 199-205.
18. **Brousse G., 1974** : Etude bibliographique sur la culture du pistachier. *Document polycopie INA*.
19. **Brousse J., 2005** : Larousse des Arbres : dictionnaire des arbres et des arbustes. *Ed. Larousse*, 576p.
20. **Chaba B., Chraa O., Khichane M., 1991** : Germination, morphogénèse racinaire et rythme de croissance du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). *Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides*, Groupe d'Etude de l'Arbre-Paris, France, pp. 465-472.

21. **Chazan J.B., 1992** : Propriétés pharmacologiques et diététiques des corps gras. Chapitre VII. In : **Karlskind A., 1992**. Manuel des Corps Gras. Vol. 1. *Lavoisier-Paris Tec et Doc*. pp. 655-679.
22. **Cheftel J.C. et Cheftel H., 1984** : Introduction à la chimie et à la biochimie des aliments ol.1 Paris (France) . *Lavoisier Tec et Doc*. pp : 374.
23. **Cheftel J.C., 1992** : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. *Ed. Lavoisier, Paris*, p. 800.
24. **Chief R., 1982** : Les plantes médicinales. *Ed. Solor*, 235p.
25. **Codex, 1989** : Normes codex pour les huiles d'olive vierges et raffinées et pour l'huile des grignons d'olive raffinée. Codex STAN 33-1981. In. **Tchiégang C., Dandjouma A.A.K., Kapseu C., Parmentier M., 2005** : Optimisation des l'extraction de l'huile par pressage des amandes de *Ricinodendron heudotii* Pierre ex Pax. *Journal of Food Engineering* . 68, pp. 79-87.
26. **Cuvelier C., Dotreppe O., Istasse L., 2003** : Chimie, sources alimentaires et dosage de la vitamine E. *Ann. Méd. Vét.*, **147**, pp. 315-324.
27. **Daneshrad A. et Aynehchi Y., 1980**: Chemical Studies of Oil from Pistacia Nuts Growing Wild in Iran. *J.A.O.C.S.*, vol. 57, n. 8, pp. 248-249.
28. **Dogan O., Baslar S., Aydin H., Mert H.H., 2003**: A study of the soil-plant interactions of *Pistacia lentiscus L.* distributed in the western Anatolian part of Turkey. *Acta. Bot. Croat.* 62 (2) , pp.73-88.
29. **Farhoosh R., Tavakoli J., Khodaparast M.H.H., 2008**: Chemical Composition and Oxidative Stability of Kernel Oils from Two Current Subspecies of *Pistacia atlantica* in Iran. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 85, n. 8, pp. 723-729.
30. **Ferradji A., Imerzouken M., Malek N., Boudour N., 2001** : Effet de quelques paramètres sur l'extraction d'huile des amandes de noyaux d'abricot par presse. *Annales de l'Institut National Agronomique*, vol. 22, pp. 49-59.
31. **Gausсен H., Leroy J.F. et Ozenda P., 1982** : Précis de botanique. 2- les végétaux supérieurs ed. Mason, 2^{ème} Edition, 579p.

32. **Gavrilovic M., Maginot M.J., Schwartz-Gavrilovic C., Wallach J., 1996** : Manipulation d'analyse biochimique. Ed. Doin-Paris, 453p.
33. **Ghalem B.R. et Benhassaini H., 2007** : Etude des phytostérols et des acides gras de *Pistacia atlantica*. *Afrique Sciences*, 3 (03), pp 405-412.
34. **Ghalem B.R. et Benali M., 2009**: Bactericidal Activity of *Pistacia atlantica* Desf. Mastic gum against certain pathogens. *African Journal of Plant Science*, 3 (1), pp: 13-15.
35. **Hammonds T.W., Harris R.V. et Head S.W., 1991**: The influence of moisture content on the extraction of oil from fresh, grated coconuts. *Trop. Soc.*, 31, pp. 73-81
36. **Hamzat K.O. et Clarke B. 1993**: Prediction of oil yield from groundnut using the concept of quasi-equilibrium oil yield. *J. Agric. Eng. Res.*55, pp.79-87. In **Yé S., Lebeau F., Wathelet J.P., Leemans V., Destain M.F., 2007** : Etude des paramètres opératoires de pressage mécanique des amandes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn C.F. (karité). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 11, n. 4, pp. 267-273.
37. **Hickos G.H., 1953**: Some Factors Affecting the Hydraulic Extraction of Cotton seed Oil. *J. Am. Chem. Soc.*, n. 11, pp. 481-486.
38. **Isobe S., Zuber F., Uemura K., Noguchi A., 1992**: A new twin-screw press design for oil extraction of dehulled sunflower seeds, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 69: 884-889.
39. **Jamieson G.S., 1932** : A.C.S. Monograph. New York: Chemical Catalog Co., 58,20,1932. In **Lanoisellé J.L. et Bouvier H.R., 1994** : Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
40. **Kadi-Bennane S., Ait-Said S., Smail-Sadoun N., 2005** : Étude adaptative de trois populations de *Pistacia atlantica* Desf. (Ain Oussera, Messaad, Taissa) par le biais du complexe stomatique. *Option méditerranéenne*. Série A. n.63, PP. 365-368.
41. **Karleskind A., 1992**: Analyse des corps gras : Détermination des caractéristiques physiques. Manuel des corps gras, Vol.2: *Lavoisier – paris, Tec et Doc*. pp: 1290 -1302.

- 42. Karleskind A., 1996:** Oils and fats manual Vol. 1, *Lavoisier TEC & DOC*, Paris. In **Kartika I.A., 2005 :** Nouveau procédé de fractionnement des grains de tournesol: expression et extraction en extracteur bi-vis. Purification par ultra filtration de l'huile de tournesol. Thèse de Doctorat. *Institut National, Polytechnique de Toulouse*. P. 333.
- 43. Kartika I.A., 2005 :** Nouveau procédé de fractionnement des grains de tournesol: expression et extraction en extracteur bi-vis. Purification par ultra filtration de l'huile de tournesol. Thèse de Doctorat. *Institut National, Polytechnique de Toulouse*, pp: 333.
- 44. Khan L.M., 1981:** Investigation of the effect of pre-pressing on the mechanical expression of oil from soybeans. M.S. Thesis, Department of Agricultural Engineering, University of Nebraska, Lincoln
- 45. Khan L.M. et Hanna M.A., 1984:** Expression of soybean oil. *Transaction of the ASAE*, pp. 190-194.
- 46. Koo E.C., 1942:** *Ind. Eng. Chem.* n.3, pp. 342-345. In **Lanoisellé J.L. et Bouvier H.R., 1994.** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 47. Kordali S., Cakir A., Zengin H., Duru M.E., 2003 :** Antifungal activities of leaves of three Pistacia Species grown in Turkey. *Fitoterapia*, 74, pp: 164-167.
- 48. Laisney J., 1984 :** L'huilerie moderne « Arts et techniques » : *Compagnie Française pour le Développement des Fibres Textiles (C.F.D.T.)*, p. 318.
- 49. Laisney J., 1992 :** Huiles des graines et de noyaux. In **Karleskind A.** Manuel des corps gras, chapitre IX : Obtention des corps gras. *Lavoisier*, Paris. Vol. 1, pp : 695-730.
- 50. Lanoisellé J.L., 1994 :** Contribution à l'étude du pressage hydraulique des graines oléoprotéagineuses : Mécanisme de pressage et modélisation, Thèse de doctorat, Université Paris XII Val-de-Marne. In **Kartika I.A., 2005 :** Nouveau procédé de fractionnement des grains de tournesol: expression et extraction en extracteur bi-vis. Purification par ultra filtration de l'huile de tournesol. Thèse de Doctorat. *Institut National, Polytechnique de Toulouse*, pp: 333.

- 51. Lanoisellé J.L., et Bouvier H.R., 1994 :** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 52. Lecerf J.M., 2007 :** Phytostérols et risques cardiovasculaires .*Nutrition Clinique et métabolisme* 21 pp. 17-27.
- 53. Lecoq R., 1965 :** Manuel d'analyse alimentaire et d'expertise usuelle. Tome II, ed. Doin-Paris.
- 54. Leger C.L., 2000.** La vitamine E : Etat actuel des connaissances, rôle dans la prévention cardiovasculaire, biodisponibilité. *OCL*, Vol. 7, n.3, pp. 258-265.
- 55. Lindsay D.G., Astleys B., 2002:** European research on the functional effects of dietary antioxydants: EUROFEDA. *Mol. Aspects Med.*, **23**, 1-38.
- 56. Ling W.H., Jones P.J.H., 1995:** Dietary phytostérols . A review of metabolism, benefits and side effects. *Life Sci.*, 57 pp.195-206.
- 57. Lutjohann D., Bjorkhem I., Beil U.F., Von Bergmann k., 1995.** Sterol absorption and sterol balance in phytosterolemia evaluated by deuterium-labeled sterols: effect of sitostanol treatment. *J.Lipid Res.*, 36, pp. 176-1773.
- 58. Moghadasian M.H., Frohlich J.J., 1999:** Effect of dietary phytosterols on cholesterol metabolism and atherosclerosis: clinical and experimental evidence. *Am. J. Med.*, 107, pp.588-594.
- 59. Monjauze A., 1967 :** Note sur la régénération du Bétoum par semis naturel dans la place d'essais de Kef lefaa. *Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afrique du Nord. Alger*, 58 (3-4), pp. 59-65.
- 60. Monjauze A., 1968 :** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica Desf.* en Algérie. *Bull. Soc. Hist. Nat. de l'Afrique du Nord*, 60, pp.5-131.
- 61. Monjauze A., 1980 :** Connaissance du Bétoum : *Pistacia atlantica Desf.* Biologie et forêt. *Revue Forestière Française*, 4, pp.357-363.
- 62. Monjauze A., 1982 :** Les pays des dayas et *Pistacia atlantica Desf.* dans le Sahara Algérien, *Revue Forestière Française*, (4), pp : 277-289.
- 63. 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, pp. 273-279.

- 64. Mrema G.C. et Nc Nulty P. B., 1986 :** Rapport interne. Department of Agricultural and Food Engineering, *National University of Ireland, Dublin, Ireland*. In **Lanoisellé J.L. et Bouvier H.R., 1994.** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 65. Nigon F., Lacrosnière C.S., Chauvois D., Neveu C., Chapman J. et Bruckert E., 2000 :** Les phytostérols : une nouvelle approche diététique de l'hypercholestérolémie. *Sang, Thrombose, Vaisseaux*, 12 (8), pp. 483-490.
- 66. Nissinen M.J., Gylling H., Miettinen T.A., 2006:** Effects of plant sterol ester supplied in a fat free milieu by pastilles on cholesterol metabolism in colectomized human subjects. *Nutri. Metab. Cardivasc. Dis*, 16: 426-439.
- 67. Ostlund R.E., Racette S.B., Stenson W.F., 2002:** Phytosterols that are naturally present in commercial corn oil significantly reduce cholesterol absorption in humans. *Ame. J. Clin. Nutri* 75 pp. 1000 -1004
- 68. Othmer D.F. et Agarwal J.C., 1987:** Analysis of oil extraction process in soybeans: A new continuous procedure. *Journal of American Oil Chemist's Society*, Vol.64, n.3, pp: 402 -406.
- 69. Ozeker E., Misirli A., et Isfendiyaroglu ., 2001 :** Description of fruit characteristics of some Pistacia Spp ; In Manisa-Yunt Mountain Area ; Preliminary Results, options méditerranéennes Vol.56, pp : 233-236
- 70. Parmentier M., Guillemin S., Barbar R., Linder M., Fanni J., 2004 :** De nouveaux procédés d'extraction des huiles pour des produits finis de haute qualité. *OCL*, vol. 11, n. 6, pp. 377-380.
- 71. Patterson A.B.W., 1989:** Handling and storage of seeds, oil, fats and meal. *Elsevier Applied Science, London*, pp. 83-85
- 72. Ryan D., Robards K., Lavee S., 1998 :** Evaluation de la qualité de l'huile d'olive. *Olivae*, 75, pp. 31-36.
- 73. Sahli F., 1997 :** Note sur deux espèces forestières sahariennes : Cyprès du Tassili et le pistachier des l'Atlas. Journées d'étude sur les zones arides et sahariennes, du 8 au 10 Avril, Wilaya de Ghardaïa. Publication de l'INRF, pp. 25-41.

- 74. Seigne A., 1985 :** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. In : Techniques Agricoles et Productions Méditerranéennes. G.P. Maisonneuve et Larose-Paris, pp. 137-141.
- 75. Singh M.S., Frasaie A., Stewart L.E., et Douglass L.W., 1984:** Transaction of the ASEA, pp. 1190-1194. In **Lanoisellé J.L. et Bouvier H.R., 1994 :** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 76. Singh, K.K., Wiesenborn, D.P., Tostenson, K., Kangas, N., 2002.** Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 79: 165-170.
- 77. Sivala K., Bhole N.G. et Mukherjee R.K., 1991:** Effect of moisture on Rice Bran Oil Expression. *J. Agric. Eng. Res.* 50, pp. 81-91.
- 78. Smail-Sadoun N., 2005 :** Type stomatique du genre pistacia : *Pistacia atlantica Desf. Ssp. Atlantica* et *Pistacia lentiscus L.* *Option méditerranéenne*, Série A. n.63, PP. 369-371
- 79. Smith R.L. et Kraybill H.R., 1933:** *Ind. Ing. Chem.* 25. Pp. 334-336. In **Lanoisellé J.L. et Bouvier H.R., 1994.** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 80. Somon E. 1987 :** Arbres, arbustes et arbrisseaux en Algérie. *Office des publications universitaires- Alger.* 143p.
- 81. Taylor R.B., 1937:** *Chem. Metall. Eng.*, n. 44, pp. 978-981. In **Lanoisellé J.L., Bouvier H.R., 1994.** Le pressage hydraulique des oléagineux : mise au point. *Revue française des corps gras*, vol. 41, n. 3/4, pp. 61-72.
- 82. Tchiégang C., Dandjouma A.A.K., Kapseu C., Parmentier M., 2005 :** Optimisation des l'extraction de l'huile par pressage des amandes de *Riciodendron heudelotii* Pierre ex Pax. *Journal of Food Engineering* . 68, pp. 79-87.
- 83. Ucciani E., 1995 :** Nouveau dictionnaire des huiles végétales : Composition en acides gras Ed Lavoisier Tec et Doc. 644p.
- 84. Ustun G., Kent I., Cekin N., Clivelekoglu H., 1990:** investigation of technological properties of *Nigella sativa L.* (black cumin) seed oil. *Journal of the American oil chemist's Society*, Vol.67, n.12, pp.958-960.

- 85. Vilkas M., 1994 :** Vitamines: mécanisme d'action chimique. Ed. HERMANN, éditeurs des séances et des arts. 167p.
- 86. Wiesenborn D., Doddapaneni R., Tostenson K., Kangas N., 2001:** Cooking indices to predict screw-press performance for crambe seed. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 78: 467-471.
- 87. Wolff J.P., 1968 :** Manuel d'analyse des corps gras. Ed. Azoulay-Paris.
- 88. Wolff J.P., 1992 :** Analyse et dosage des lipides. In. **Multon J.P.**, Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Vol. 4 : analyse des constituants alimentaires. pp. 157-199.
- 89. Yé S., Lebeau F., Wathelet J.P., Leemans V., Destain M.F., 2007 :** Etude des paramètres opératoires de pressage mécanique des amandes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn C.F. (karité). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 11, n. 4, pp. 267-273.
- 90. Yousfi M., Nedjemi B., Belal R., Benbertal D., Palla G., 2002.** Fatty Acids and Sterols of *Pistacia atlantica* Fruit Oil. *J.A.O.C.S.*, vol. 79, n. 10, pp. 1049-1050..
- 91. Yousfi M., Nedjemi B., Belal R., Benbertal D., 2003:** Étude des acides gras de l'huile de fruit du pistachier de l'Atlas algérien. *OCL*, vol. 10, n. 5-6, pp. 425-427.
- 92. Yousfi.M., Nadjemi B.,Belal R.,Bombarda I. et Gaydou E.M., 2005:** Triacylglycerol composition of oil from *Pistacia atantica* fruit growing in Algeria. *Journal of the American oil chemist's Society*, Vol.82, n.2, pp.39-96.
- 93. Zohary M., 1952:** A monographical study of the genus pistacia. *Palestine Journal Bot. J.*, Series 5, pp.187-228.

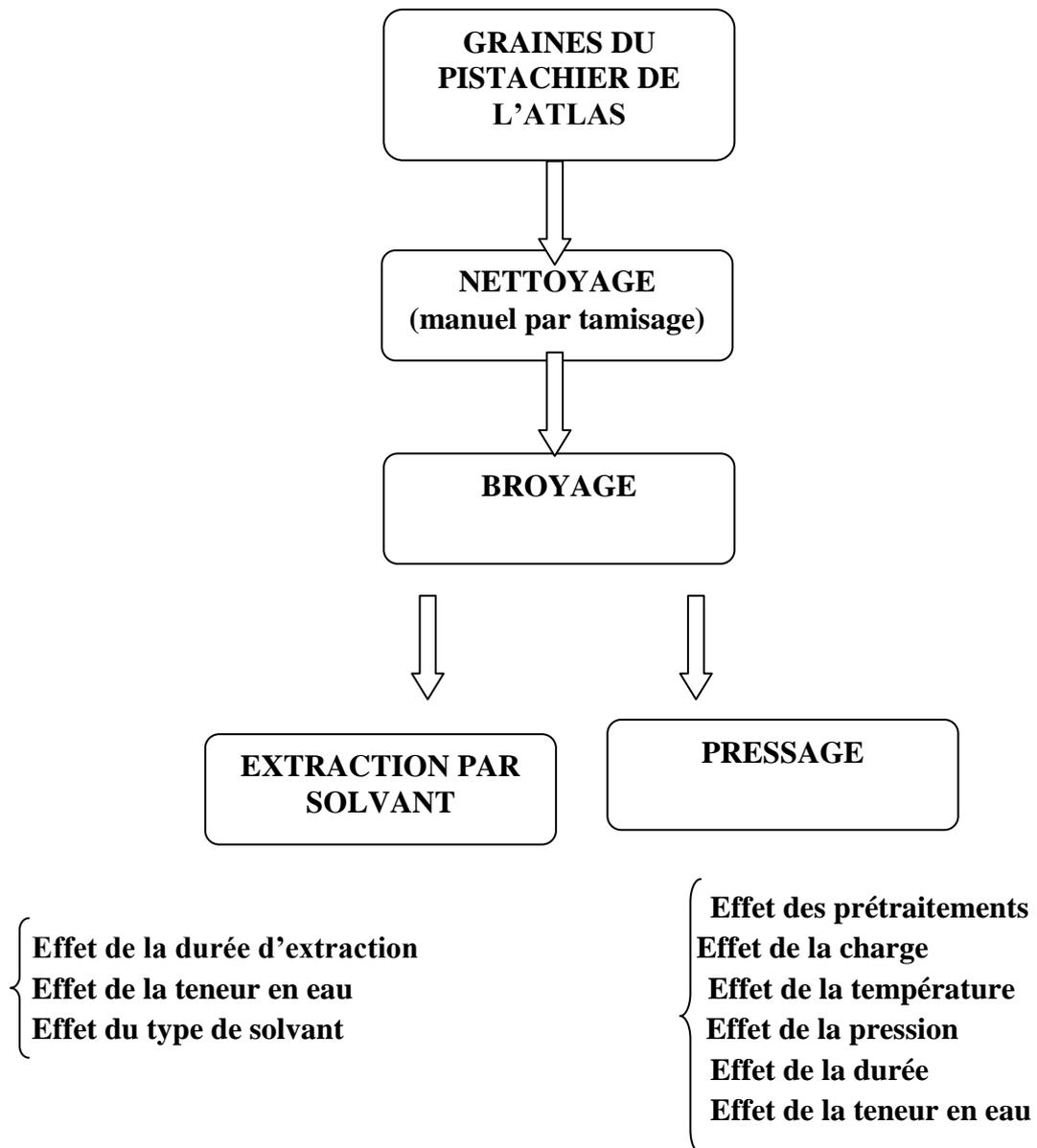
Annexes

Annexe 1 : Principaux résultats de l'étude de l'influence des conditions opératoires de pressage d'oléagineux par presse hydraulique.

Nature de la graine	Facteurs étudiés et domaine expérimental	Influence globale	Meilleures conditions	références
Coton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Epaisseur du gâteau (h) : 5 à 65 mm ▪ 13,8 Mpa, 60 min, 75-100°C 	Teneur résiduelle en huile ↓ → h ↓	Epaisseur du gâteau minimale	Hichox (1953)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tournesol entier ▪ Tournesol décortiqué ▪ Tournesol broyé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pression (P) : 14, 28, 42, 56, 70 Mpa ▪ Durée (t) : 4, 5, 05, 7, 8.5, 10 min. ▪ Température (T) : 20, 35, 50, 65, 80°C 	Teneur résiduelle en huile ↓ → P ↑, t ↑, T ↑	Teneur résiduelle en huile minimale (1%) → Tournesol entier à 6% de teneur en eau, 70 Mpa, 20°C, 7 min.	Singh <i>et al.</i> (1984)
Noix de cajou	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitesse de compression (v) : 2 à 0,1 mm/min ▪ Température (T) : 20 à 140°C 	Rendement en huile ↑ → T ↑, v ↓	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température maximale ▪ Vitesse minimale 	Mrema et NcNulty (1986)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tournesol ▪ Lin ▪ Ricin ▪ Colza 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pression (P) : 20, 30, 50, 75, 120, bars à 95°C ▪ Température (T) : 35, 55, 75, 95, 115°C à 75 bars ▪ 600 min, 1 mm/s, 200g 	Rendement en huile ↑ → P ↑ (colza, lin, ricin) → P ≤ 50 bars (tournesol) → T ↑ (lin, ricin)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tournesol: 50 bars, 35°C → Rendement maximum (80%) ▪ Colza : 120 bars, 35°C ▪ Lin et Ricin : 115°C, 120 bars 	Lanoiséllé (1994)
Colza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Humidité (H) : 3.58, 6.55, 9.62% ▪ Température (T) : 85, 95, 105 et 115°C ▪ 100 bars, 120 min, 1 mm/s, 200g 	Rendement en huile ↑ → T ↑, H ↓	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température maximale ▪ Humidité minimale 	Lanoiséllé (1994)
Jjoba	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pression (P) : 0 à 35.5 Mpa ▪ Température ambiante 	Rendement en huile ↑ → P ↑	Pression maximale	Abu-Arabi <i>et al.</i> (2000)

Source : (Kartika, 2005)

Annexe 2 : Récapitulatif du protocole d'optimisation du taux d'extraction des graines du pistachier de l'Atlas par presse et par solvant



Annexe 3 : Pressage hydraulique des graines du pistachier de l'Atlas



Annexe 4 : Températures ambiantes de laboratoire durant la période d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse.**A. Température du Mois de Mars 2008**

Mars 2008			
Date	Température °C		
	Min	Max	Moyenne
1	8,3	12,0	10,15
2	10,1	11,1	10,6
3	8,0	13,4	10,7
4	8,2	12,0	10,1
5	9,5	11,5	10,5
6	7,9	13,3	10,6
7	7,6	14,6	11,1
8	8,4	14,3	11,35
9	6,3	13,8	10,05
10	6,1	13,2	9,65
11	5,3	13,1	9,2
12	7,1	12,2	9,65
13	7,1	14,3	10,7
14	6,4	15,2	10,8
15	6,3	15,3	10,8
16	6,2	16,1	11,15
17	6,0	16,6	11,3
18	6,0	15,4	10,7
19	5,6	17,2	11,4
20	5,5	16,0	10,75
21	7,2	17,5	12,35
22	7,1	15,2	11,15
23	6,8	14,4	10,6
24	5,8	14,1	9,95
25	5,5	13,6	9,55
26	4,5	13,3	8,9
27	6,5	14,5	10,5
28	7,8	15,2	11,5
29	8,8	15,2	12
30	7,6	15,1	11,35
31	8,5	14,4	11,45
Moyenne	7,03	13,09	10,46

B. Températures du Mois d'Avril 2008

Avril 2008			
Date	Température °C		
	Min	Max	Moyenne
1	10,3	14,0	12,15
2	10,1	13,1	11,6
3	8,0	15,4	11,7
4	8,2	14,0	11,1
5	9,5	15,5	12,5
6	9,9	16,3	13,1
7	10,6	17,6	14,1
8	8,4	16,3	12,35
9	9,3	15,8	12,55
10	10,1	18,2	14,15
11	8,3	18,1	13,2
12	9,1	17,2	13,15
13	8,1	14,3	11,2
14	9,4	15,2	12,3
15	8,3	15,3	11,8
16	8,2	16,1	12,15
17	9,0	16,6	12,8
18	8,0	15,4	11,7
19	7,6	17,2	12,4
20	7,5	16,0	11,75
21	7,2	17,5	12,35
22	7,1	17,2	12,15
23	8,8	17,4	13,1
24	7,8	18,1	12,95
25	7,5	19,6	13,55
26	6,5	17,3	11,9
27	6,5	15,5	11
28	7,8	17,2	12,5
29	8,8	17,2	13
30	9,6	16,1	12,85
Moyenne	8,51	16,35	12,43

C. Températures du Mois de Mai 2008

Mai 2008			
Date	Température °C		
	Min	Max	Moyenne
1	12,3	18,0	15,15
2	10,1	19,1	14,6
3	11,0	18,4	14,7
4	10,2	18,0	14,1
5	9,5	19,5	14,5
6	10,9	17,3	14,1
7	11,6	19,6	15,6
8	12,4	20,3	16,35
9	11,3	20,8	16,05
10	12,1	19,2	15,65
11	10,3	18,1	14,2
12	11,1	21,2	16,15
13	11,1	21,3	16,2
14	10,4	20,2	15,3
15	11,3	20,3	15,8
16	12,2	19,1	15,65
17	11,0	18,6	14,8
18	9,0	20,4	14,7
19	10,6	21,2	15,9
20	8,5	20,0	14,25
21	9,2	19,5	14,35
22	10,1	18,2	14,15
23	11,8	18,4	15,1
24	8,8	19,1	13,95
25	8,5	21,6	15,05
26	9,5	22,3	15,9
27	10,5	23,5	17
28	11,8	22,2	17
29	11,8	21,2	16,5
30	11,6	19,1	15,35
31	10,5	19,4	14,95
Moyenne	10,67	20,84	15,25

Annexe 5 : Les résultats de l'analyse statistique concernant l'optimisation des paramètres influençant le taux d'extraction l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par solvant.

A. Effet de la durée de reflux dans le soxhlet.

Tableau 01: Effet de la durée de reflux dans le soxhlet sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Durée d'extraction (h)	2	4	6	8	10	12
Taux d'extraction(%) (g/100g MS)	32,33±0,22	42,24±0,11	52,08±0,07	52,46±0,14	52,63±0,26	52,54±0,02

Tests de Student				
Différences significatives marquées à p < 0,05				
	Moyenne	Ecart-Type	ddl	p
Taux d'extraction (%)	47,38	8,43	5	0,000011

ddl : degré de liberté ; p : probabilité ; probabilités significatives p < 0,05 ; Probabilité hautement significative p < 0,01 ;

B. Effet de la teneur en eau des graines

Tableau 02 : Effet de la teneur en eau des graines du pistachier de l'Atlas sur le taux d'extraction d'huile

Graines	Fraîches	Séchées à 40°C	Séchées à 70°C	Torréfiées
Humidité (%)	7,83 ± 0,03	3,97 ± 0,23	2,36 ± 0,04	2,7 ± 0,44
Taux d'extraction (%) (g/ 100g MS)	52,08± 0,07	52,32 ± 0,08	39 ± 0,11	42,12 ± 0,07

Tests de Student				
Différences significatives marquées à p < 0,05				
	Moyenne	Ecart-Type	ddl	p
Taux d'extraction (%)	46,38	6,84	3	0,000506

ddl : degré de liberté ; p : probabilité ; probabilités significatives p < 0,05 ; Probabilité hautement significative p < 0,01 ;

C. Effet de la nature du solvant

Tableau 03 : Effet de la nature du solvant sur le taux d'extraction de l'huile des graines du pistachier de l'Atlas

Solvants	Hexane	Ethanol	Méthanol	Chloroforme	Ether-Diéthylique	Acétone
Température d'ébullition (°C)	69	78	65	61	35	56
Taux d'extraction (g/100g MS)	52,08±0,07	46,46±0,23	46,39±0,23	49,75±0,19	49,44±0,36	37,77±0,25

Tests de Student				
Différences significatives marquées à p < 0,05				
	Moyenne	Ecart-Type	ddl	p
Taux d'extraction (%)	46,98	5,00	5	0,000004

ddl : degré de liberté ; p : probabilité ; probabilités significatives p < 0.05 ; Probabilité hautement significative p < 0,01 ;

Annexe 6 : Les résultats de l'analyse statistique concernant l'optimisation des paramètres influençant le taux d'extraction l'huile des graines du pistachier de l'Atlas par presse.

A. Effet des prétraitements de la graine

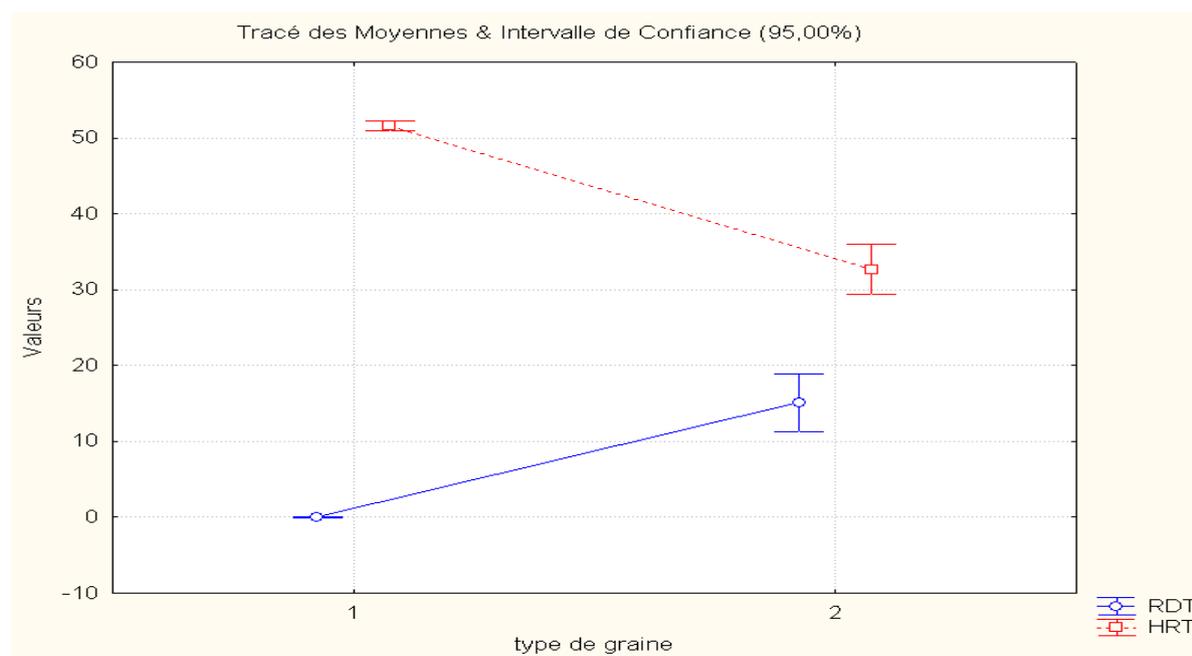
1. Effet du broyage

Tableau 01: Effet du broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle dans les tourteaux

Type de graines	Graines entières			Graines broyées		
Pression (Bars)	50	90	120	50	90	120
RDT (%MS)	0	0	0,15 ± 0,05	9,06 ± 0,86	17,83 ± 0,92	18,83 ± 0,75
HRT (%MS)	52,05± 0,23	52,05± 0,23	50,6 ± 0,84	38,4 ± 0,71	30,83 ± 0,86	29,02± 0,66

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	Effets significatifs marqués à p < 0,05		
	SCE	ddl	p
RDT (%)	1026,50	1	0,000000
HRT (%)	1603,49	1	0,000000

SCE : somme des carrés des écarts.



2. Effet du traitement thermique des graines

Tableau 02: Effet de la cuisson des graines avant leur broyage sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Type de graines	Graines fraîches	Graines torréfiées
RDT (%MS)	18,83 ± 0,75	19,11 ± 0,48
HRT (%MS)	29,02 ± 0,66	27,68 ± 0,75

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	Effets significatifs marqués à p < 0,05		
	SCE	ddl	p
RDT (%)	0,11	1	0,637527
HRT (%)	2,67	1	0,080697

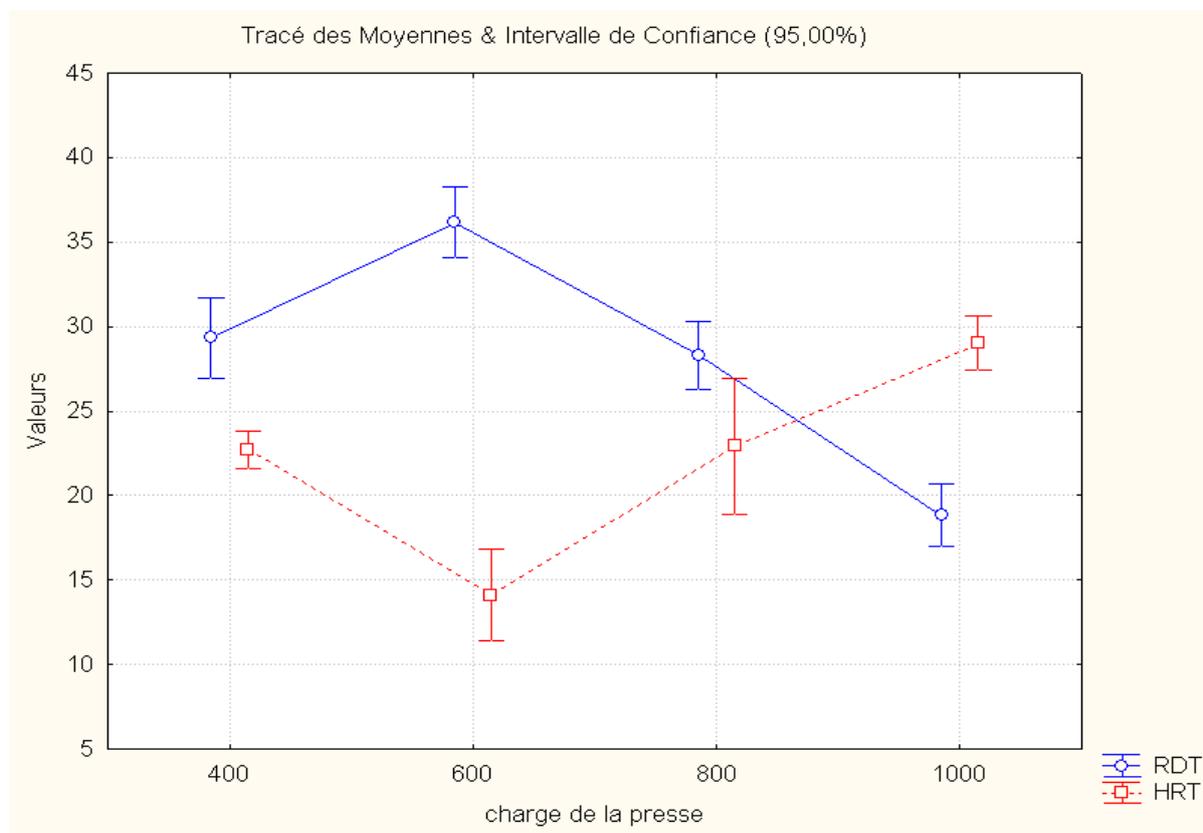
B. Effet des paramètres opératoires de pressage

1. Effet de la charge de la presse

Tableau 03: Effet de la charge de la presse sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Charge de la presse (g)	400	600	800	1000
RDT (%MS)	29,32 ± 0,95	36,17 ± 0,89	28,32 ± 0,81	18,83 ± 0,75
HRT (%MS)	22,71 ± 0,44	14,09 ± 1,09	22,92 ± 1,61	29,02 ± 0,54
Epaisseur (cm)	2,2 ± 0,1	3,2 ± 0,3	3,4 ± 0,1	4,4 ± 0,2

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	Effets significatifs marqués à p < 0,05		
	SCE	ddl	p
RDT (%)	457,23	3	0,000000
HRT (%)	338,88	3	0,000001

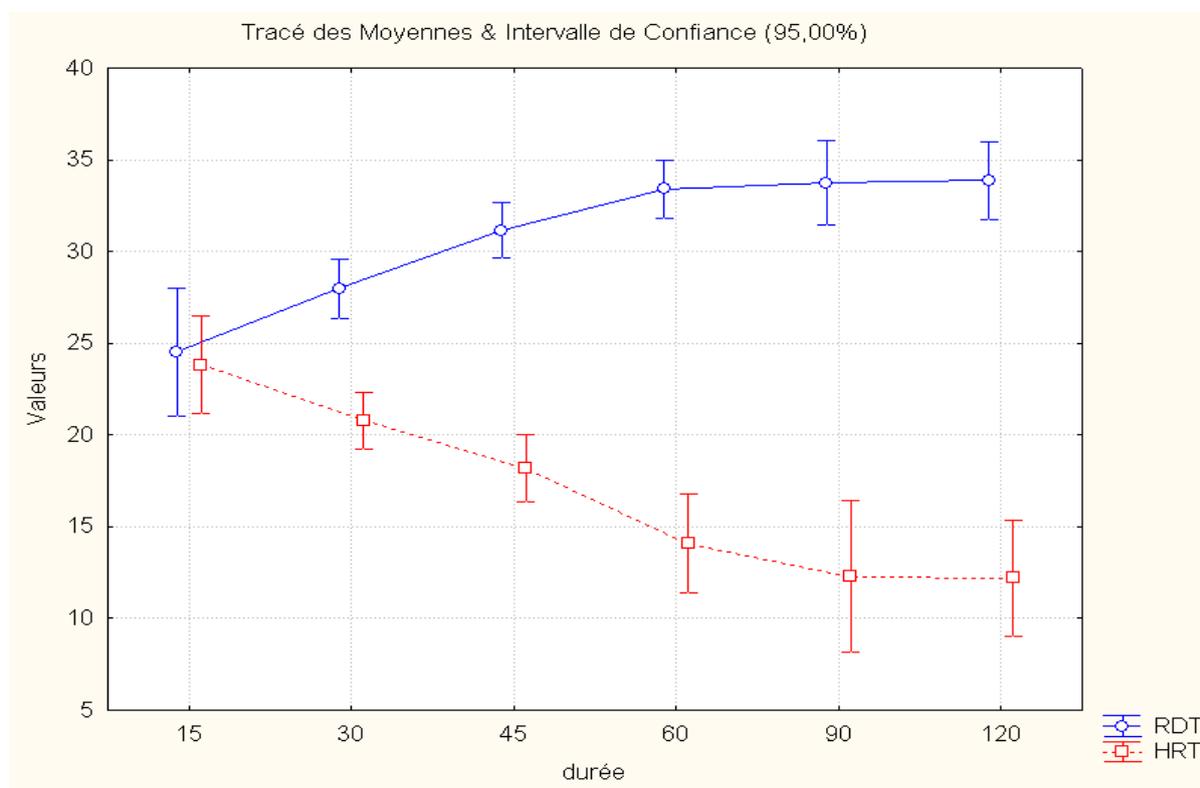


2. Effet de la durée d'application de la pression

Tableau 04 : Effet de la durée d'application de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Durée (min)	15	30	45	60	90	120
RDT (%MS)	24,52±1,42	27,97±0,66	31,15±0,6	33,4±0,64	33,74±0,93	33,86±0,86
HRT (%MS)	23,82±1,03	20,79±0,62	18,18±0,74	14,09±1,09	12,29±1,66	12,21±1,27

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	SCE	ddl	p
RDT (%)	217,06	5	0,000000
HRT (%)	346,30	5	0,000000

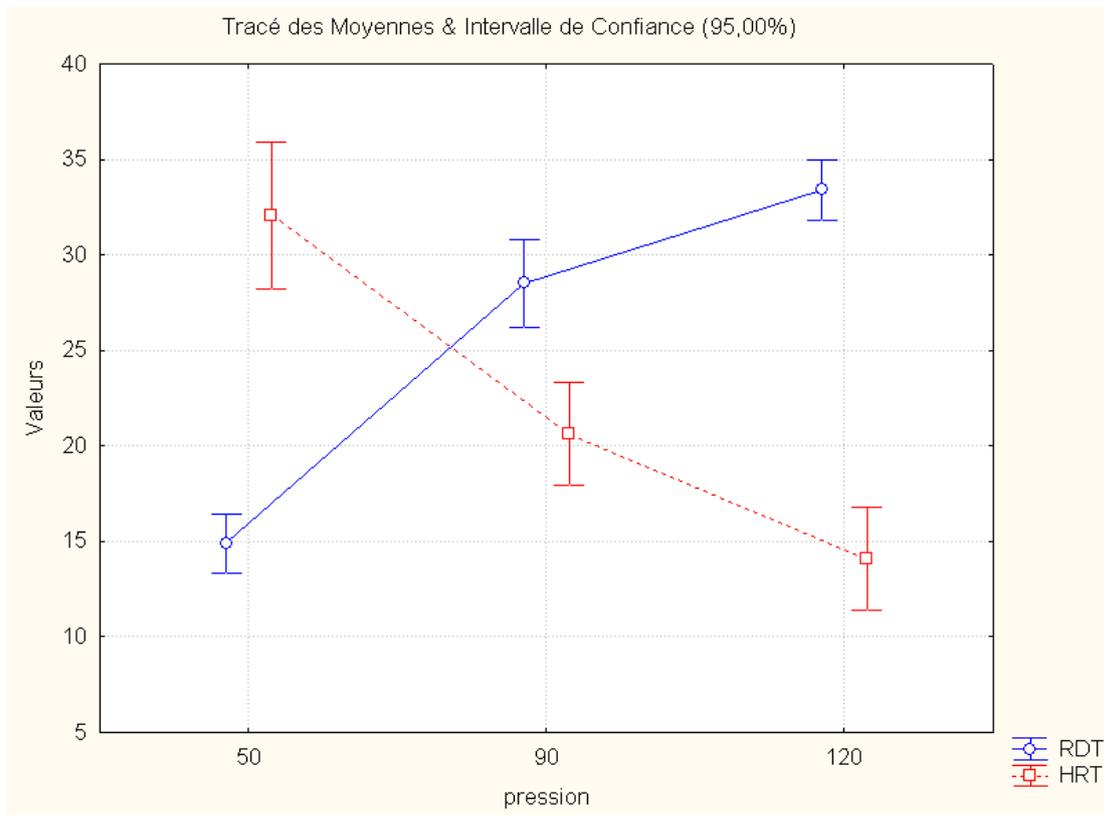


3. Effet de la pression

Tableau 05 : Effet de la pression sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Pression (Bars)	50	90	120
RDT (%MS)	14,89± 0,63	28,51± 0,93	33,4± 0,64
HRT (%MS)	32,09± 1,54	20,6± 1,09	14,09± 1,09
Efficacité de la presse(%)	28,63 ± 0,05	54,82 ± 0,11	64,23 ± 0,23

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	Moyenne	ddl	p
RDT (%)	25,60556	6	0,000000
HRT (%)	22,26444	6	0,000007



4. Effet de la température sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux à différentes pressions

Tableau 06 : Effet de la température sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux à différentes pressions

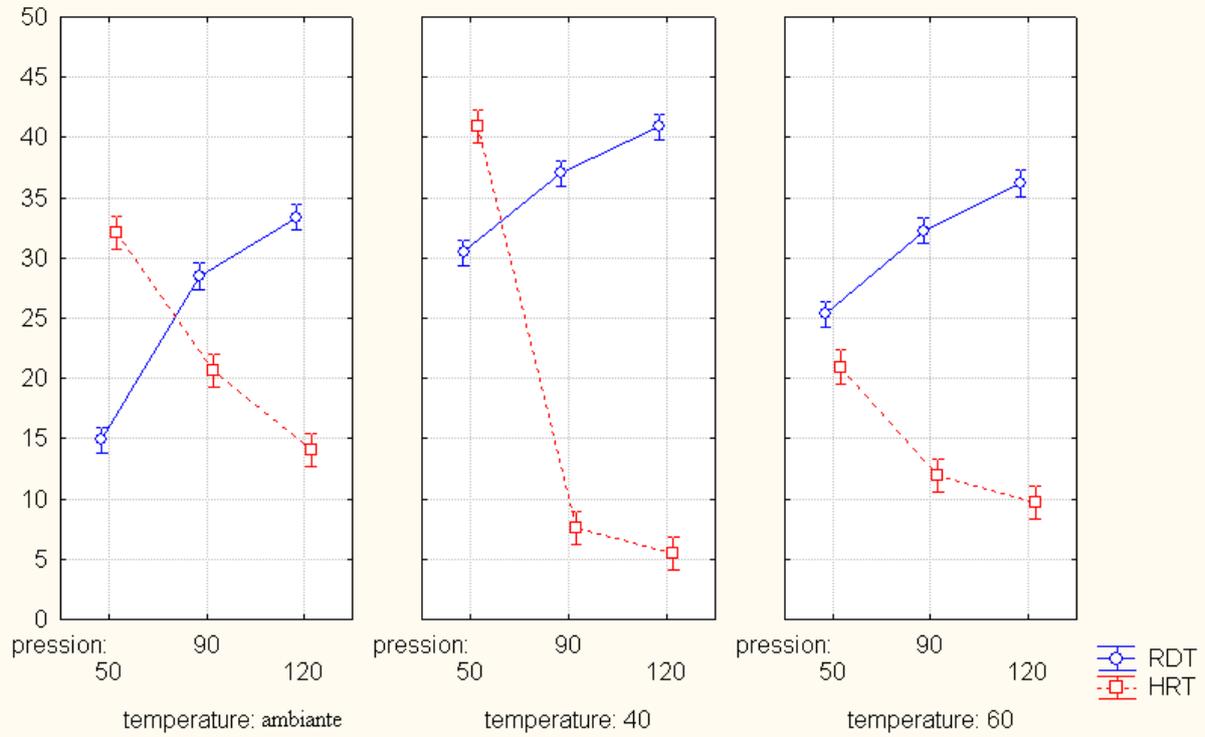
Pression (Bars)	50			90			120		
	ambiante	40	60	ambiante	40	60	ambiante	40	60
Température (°C)									
RDT (%MS)	14,89± 0,63	30,43± 0,91	25,32± 1,17	28,51± 0,93	37,02± 0,92	32,27± 0,89	33,4± 0,64	40,87± 0,56	36,19± 1,2
HRT (%MS)	32,09± 1,54	17,17± 0,83	20,97± 1,66	20,6± 1,09	7,6± 1,1	20,97± 1,09	14,09± 1,09	5,45± 0,53	9,75 1,09
Efficacité (%)	28,63 ± 0,05	54,82 ± 0,11	64,23 ± 0,23	58,51 ± 0,09	71,19 ± 0,18	62,05 ± 0,21	48,69 ± 0,13	78,59 ± 0,09	69,59 ± 0,1

ANOVA à deux facteurs (température et pression) :

Effet	Tests Multivariés de Significativité Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse				
	Test	Valeur	F	ddl	P
ord. Origine	Wilk	0,000473	17955,36	2	0,000000
Température	Wilk	0,002939	148,28	4	0,000000
Pression	Wilk	0,003163	142,65	4	0,000000
Température * pression	Wilk	0,006081	50,25	8	0,000000

pression*temperature; Moy. Moindres Carrés
Lambda de Wilk =,00608, F(8, 34)=50,250, p=,00000
Décomposition efficace de l'hypothèse

Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95

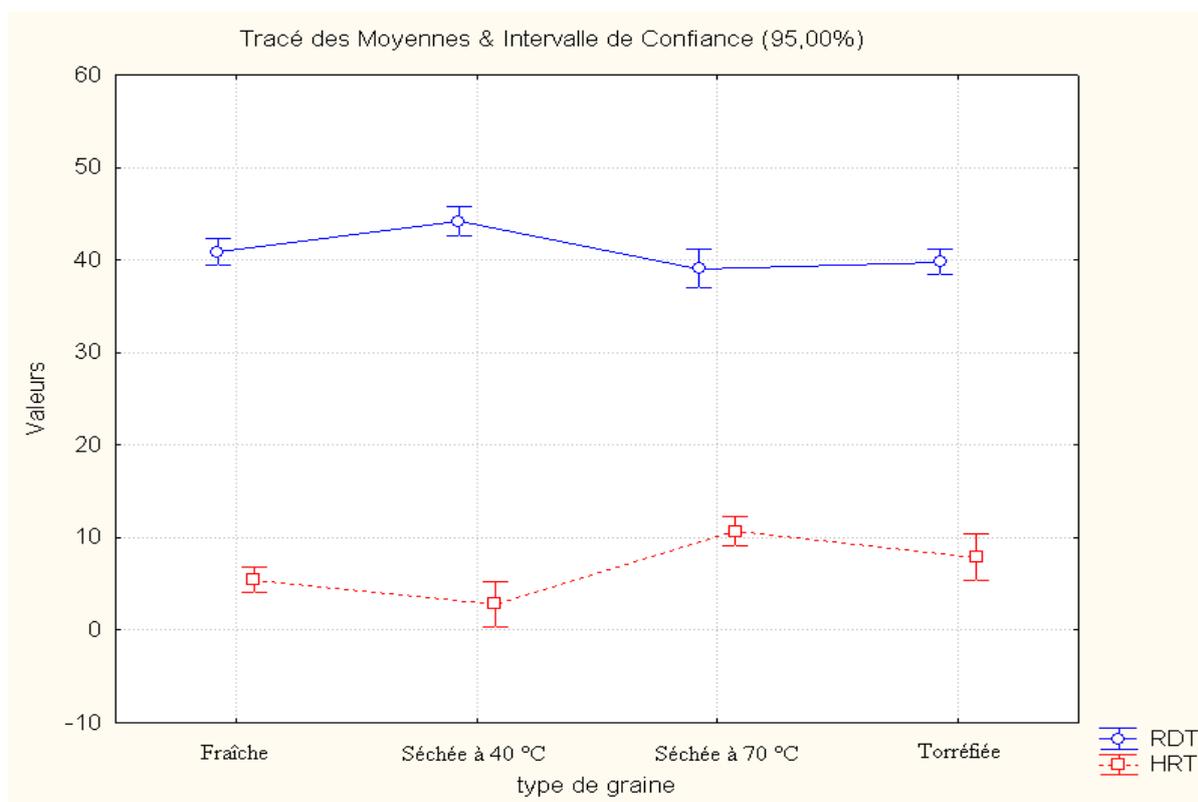


C. Effet de la teneur en eau des graines

Tableau 07 : Effet de la teneur en eau des graines sur le rendement en huile et sur la teneur en huile résiduelle des tourteaux

Type de graines	Graines fraîches	Graines séchées à 40°C	Graines torrifiées	Graines séchées à 70°C
Teneur en eau (%)	7,83 ± 0,03	3,97 ± 0,23	2,70 ± 0,44	2,36 ± 0,04
RDT (%MS)	40,88 ± 0,56	44,17 ± 0,62	39,77 ± 0,55	39,08 ± 0,84
HRT (%MS)	5,42 ± 0,54	2,81 ± 0,96	7,91 ± 0,99	10,70 ± 0,63

Variables	Analyse de la variance à un facteur		
	SCE	ddl	p
RDT (%)	45,8201	3	0,000055
HRT (%)	102,5707	3	0,000013



Résumé

RESUME :

L'optimisation du taux d'extraction de l'huile des graines de *Pistacia atlantica* Desf. par presse hydraulique est influencée par la charge de la presse, la durée de pressage, la pression, la température et la teneur en eau des graines. Le rendement en huile des graines entières est très faible, un broyage est donc nécessaire pour faciliter l'extraction et améliorer l'efficacité de pressage. Ainsi, le meilleur taux d'extraction d'huile (**44,17% ± 0,62**), correspondant à une teneur en huile résiduelle dans les tourteaux minimale, a été obtenu pour une charge de 600g de graines broyées, de teneur en eau optimale (**3,97% ± 0,23**), pressées pendant 1h à 120 bars et à 40°C à cœur.

Dans ces conditions, la qualité de l'huile n'est pas altérée par l'augmentation de la température de pressage. Ainsi, sa composition en AG reste toujours dominée par l'acide oléique (**50.61% ± 0.02**) suivi de l'acide linoléique (**22.86% ± 0.06**) et l'acide palmitique (**22.05% ± 0.01**), par ailleurs, ses caractéristiques physico-chimiques sont similaires à celles de l'huile extraite à froid.

Mots clés : *Pistacia atlantica* Desf., graines, huile, pressage hydraulique, taux d'extraction (rendement), optimisation, huile résiduelle dans les tourteaux, broyage, charge de la presse, durée de pressage, température, pression, teneur en eau des graines.

ABSTRACT:

Optimizing the rate of extraction of oil from the seeds of *Pistacia atlantica* Desf. by hydraulic press is influenced by the load of the press, the pressing time, pressure, temperature and moisture content of seeds. The oil yield of whole seeds is very low, grinding is necessary to facilitate the extraction and improve the efficiency of pressing. Thus, the higher rate of oil extraction (**44,17% ± 0,62**), corresponding to a residual oil content in cake minimum was obtained for a load of 600g of crushed seeds, containing (3.97% ± 0.23) of water, pressed for 1 hour at 120 bar and 40 ° C.

Under these conditions, the oil quality is not affected by increasing the pressing temperature. Thus, its FA composition is still dominated by oleic acid (50.61% ± 0.02) followed by linoleic acid (22.86 ± 0.06%) and palmitic acid (22.05% ± 0.01). Moreover, its physico-chemical characteristics are similar to those of the oil extracted at cold.

Keywords: *Pistacia atlantica* Desf., Seeds, oil, hydraulic pressing, extraction rate (yeild), optimization, residual oil in cakes, grinding, load of press, pressing time, temperature, water content of seeds.

ملخص :

تحسين معدل استخراج الزيت من البطوم عن طريق الضغط الهيدروليكي، يتأثر بحمولة المعصرة، بمدة الضغط وشدة، بدرجة الحرارة ونسبة الرطوبة في البذور. إن استخلاص الزيت من بذور البطوم كاملة يعطي مردود ضئيل، ومنه ضرورة طحنها لتسهيل عملية الاستخلاص وتحسين كفاءة الآلة. وبالتالي فإن رفع المردود إلى **44,17% ± 0,62** الموافق لحد أدنى من الزيت المتبقية يتم بعصر **600غ** من البذور المرحية ذات رطوبة تقدر ب**3,97% ± 0,23** مدة ساعة بشدة ضغط 120 بار ودرجة حرارة **40 °م**. في ظل هذه الظروف، نوعية الزيت لا تتأثر بارتفاع درجة الحرارة، حيث أن هذه الأخيرة تبقى غنية بالأحماض الدهنية خاصة حمض الأوليك (**50,61% ± 0,02**) حمض اللينوليك (**22,86% ± 0,06**) وحمض النخيل (**22,86% ± 0,01**) علاوة على ذلك، الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه الزيت تبقى مشابهة لتلك المستخلصة في درجة حرارة المخبر.

الكلمات المفتاح : بطوم، بذور، زيت، الضغط الهيدروليكي، نسبة الاستخلاص (المردود)، تحسين، الزيت المتبقية في الكعك، الطحن، حمولة المعصرة، مدة الضغط، درجة الحرارة، شدة الضغط، نسبة الماء في البذور.