

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de A. MIRA de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département: Sciences Alimentaires

Polycopié de cours

Intitulé :

Production des Corps Gras

Destiné aux étudiants :
Master Sciences des Corps Gras

Rédigé par : Dr. AMESSIS-OUCHEMOUKH Nadia
Maître de Conférences A, Université A. Mira-Bejaia

2021/2022

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I : Composition et caractéristiques des matières premières oléagineuses | 4 |
| 1. Source des corps gras | 4 |
| 2. Fruits et grains oléagineux | 5 |
| 3. Principales plantes oléagineuses | 7 |
| 3.1. Le colza | 7 |
| 3.2. Le tournesol | 9 |
| 3.3. Le soja | 11 |
| 3.4. Le lin | 13 |
| 3.5. Les grains de sésames | 15 |
| 3.6. Les olives | 16 |
| 3.7. Palmier à huile | 17 |
| 3.8. L'arachide | 18 |
| 3.9. Le Cacaoyer | 19 |
| 3.10. Le ricin | 22 |
| 3.11. Le cotonnier | 24 |
| Chapitre II : Traitements des grains et fruits oléagineux | 27 |
| I. Conservation | 27 |
| 1. Types d'entreposage | 27 |
| 2. Bonnes pratiques d'entreposage | 29 |
| II. Opérations unitaires de trituration | 36 |
| 2.1. Nettoyage et séchage | 36 |
| 2.2. Décorticage et dépelliculage | 38 |
| 2.3. Préparation mécanique | 38 |
| 2.4. Préparation thermique | 40 |
| 2.5. Pressage mécanique | 42 |
| 2.6. Clarification de l'huile | 44 |
| 2.7. Méthodes d'extraction de l'huile | 47 |
| 2.7.1. Méthodes manuelles | 47 |
| 2.7.2. Les Ghanis | 49 |
| 2.7.3. Extraction par solvant | 49 |
| Chapitre III : Raffinage de l'huile | 53 |
| 1. Définition | 53 |
| 2. Raffinage chimique | 53 |
| 2.1. Démucilagination ou Dégommage | 53 |
| 2.2. Neutralisation | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. Décoloration | 56 |
| 2.4. Décirage des huiles végétales..... | 57 |
| 2.5. Désodorisation..... | 57 |
| 3. Raffinage physique..... | 58 |
| 3.1. Dégommage acide | 59 |
| 3.2. Superdégommage | 60 |
| 4. Quelques composés éliminés au cours du raffinage..... | 62 |
| 5. Conditionnement et stockage de l'huile..... | 64 |
| 6. Conservation et stockage..... | 65 |
| | |
| Chapitre IV : Types d'huiles et méthodes d'obtention..... | 66 |
| 1. Dénominations et qualificatifs réglementaires | 66 |
| 2. Les Principales huiles alimentaires | 67 |
| 3. Les Tourteaux..... | 71 |
| 4. Méthodes d'obtention des huiles..... | 72 |
| 4.1. Le colza | 72 |
| 4.4. Les fèves de cacao..... | 75 |
| | |
| Chapitre V : Traitements de modification et altération des huiles..... | 79 |
| I. Traitements de modification..... | 79 |
| 1. Définition | 79 |
| 2. Traitements de modification..... | 79 |
| 2.1. Hydrogénation..... | 79 |
| 2.2. Interestérisation ou transestérisation..... | 81 |
| 2.3. Fractionnement..... | 82 |
| | |
| II. Altération des huiles..... | 84 |
| 1. Les différents types d'altérations des huiles | 84 |
| 1.1. Altération biologique..... | 84 |
| 1.2. Altération chimique..... | 84 |
| 1.3. Altérations thermo-oxydatives | 90 |
| 2. Répercussion sur le plan nutritionnel et sanitaire des corps gras oxydés..... | 90 |
| 3. Mesures de prévention contre l'oxydation des corps gras | 91 |
| | |
| Travaux pratiques | 92 |
| | |
| Références bibliographiques | 99 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Photographie de la plante <i>Brassica napus</i> communément appelée le colza..... | 7 |
| Figure 2 : Les siliques (a) et graines (b) du colza | 8 |
| Figure 3 : La composition moyenne des graines de colza | 8 |
| Figure 4 : Photographie des fleurs et feuilles de tournesol | 9 |
| Figure 5 : Les graines de tournesol : (a) graines avec coques (b) graines décortiquées | 10 |
| Figure 6 : Composition moyenne de la graine de tournesol..... | 10 |
| Figure 7: Les gousses de soja vertes (a) et au stade de maturité (b) | 11 |
| Figure 8: Les graines de soja..... | 12 |
| Figure 9: La composition moyenne de la graine de soja..... | 12 |
| Figure 10 : Le lin cultivé (<i>Linum usitatissimum</i>) : (a) pieds de lin, (b) fruits de lin..... | 13 |
| Figure 11 : Les graines de lin | 14 |
| Figure 12: Composition des graines de lin..... | 14 |
| Figure 13 : Les grains de sésames..... | 15 |
| Figure 14 : Les drupes d'olives au stade de maturité..... | 16 |
| Figure 15 : Arbres et fruits du palmier à l'huile..... | 17 |
| Figure 16 : Les graines d'arachide | 19 |
| Figure 17 : Cabosse du cacaoyer..... | 20 |
| Figure 18 : Feuilles et fruit du ricin | 23 |
| Figure 19 : Les graines du ricin..... | 23 |
| Figure 20 : Le coton et graines de cotonnier..... | 25 |
| Figure 21: Photographie des silos verticaux métalliques utilisés pour le stockage des graines oléagineuses | 27 |
| Figure 22: Migration de l'humidité dans une cellule non ventilée en automne et en hiver | 30 |
| Figure 23: Unité de ventilation | 31 |
| Figure 24: Dispositif de dosage du CO ₂ permettant de détecter la détérioration des oléagineux | 33 |
| Figure 25: Dispositif de surveillance des températures à l'intérieur des cellules | 33 |
| Figure 26: Dispositif utilisé pour l'extraction des insectes et des acariens infestant les oléagineux | 34 |
| Figure 27: Piège en plastique utilisé pour la détection des insectes dans les denrées entreposées | 34 |

| | |
|--|----|
| Figure 28: A : Traitement du grain au moyen de comprimés de fumigant ; B : Traitement d'un entrepôt vide avec un insecticide de contact..... | 35 |
| Figure 29: Photographie d'un aspirateur de poussière..... | 36 |
| Figure 30: Photographies de : a : épierreur, b : Tamis vibrant de nettoyage c : Tambour cribleur de pré-nettoyage..... | 37 |
| Figure 31: Photographies de : a : sécheur à tambour rotatif, b : sécheur multi spray..... | 37 |
| Figure 32: Décorticage des graines de tournesol..... | 38 |
| Figure 33 : Broyeurs à cylindres cannelés..... | 39 |
| Figure 34 : Aplatisseurs à cylindres lisses pour obtenir des flocons..... | 39 |
| Figure 35 : Meule de moulin en pierre utilisé pour le broyage des olives..... | 40 |
| Figure 36 : Cuiseurs thermiques à vapeur, a et b : cuiseurs verticaux, c : cuiseurs horizontaux..... | 41 |
| Figure 37: Presse à vis à alimentation continue pour l'extraction d'huile d'oléagineux..... | 42 |
| Figure 38: Extraction de l'huile de palme par passage dans une presse à vis à alimentation continue (presse horizontale), à l'échelle pilote..... | 43 |
| Figure 39: Clarification de l'huile..... | 44 |
| Figure 40: Filtre à débatissage automatique Niagara..... | 45 |
| Figure 41 : Filtre à feuille utilisé lors de la clarification..... | 46 |
| Figure 42: Presses à plateaux..... | 46 |
| Figure 43: Presse à cadres..... | 46 |
| Figure 44: Photographie d'une presse hydraulique..... | 48 |
| Figure 45: Scourtin en fibre..... | 48 |
| Figure 46: Le Ghanis utilisé pour le broyage des graines fibreuses..... | 49 |
| Figure 47: Extraction au solvant et désolvantation-toastage..... | 50 |
| Figure 48: Procédés classiques d'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses..... | 51 |
| Figure 49: Les étapes du raffinage chimique des huiles végétales brutes..... | 58 |
| Figure 50: Les étapes du raffinage physique des huiles..... | 61 |
| Figure 51: Schéma du procédé de production d'huile et de tourteau de colza..... | 73 |

Listes tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I : Les plantes oléagineuses, matières grasses et leurs utilisations | 6 |
| Tableau II : Valeur énergétique et composition biochimique des grains de sésame..... | 15 |
| Tableau III : Valeur énergétique et composition biochimique des olives mûres | 16 |
| Tableau IV : Valeur énergétique et composition biochimique des fruits du palmier | 18 |
| Tableau V : Valeur énergétique et composition biochimique des graines d'arachides | 19 |
| Tableau VI : Composition du beurre de cacao | 21 |
| Tableau VII : Composition moyenne des graines de cacao | 22 |
| Tableau VIII : Ordre de grandeur des principaux composants de l'huile de ricin..... | 24 |
| Tableau IX : Les principaux composants de l'huile de coton | 26 |
| Tableau X : Teneur en eau (%) des graines de céréales, d'oléagineux ou de légumineuses à grain gourds ou humides | 32 |
| Tableau XI : Caractéristiques physiques de quelques huiles..... | 71 |
| Tableau XII : Utilisation de la poudre, pâte et beurre du cacao | 78 |

Introduction

Les lipides, ou graisses, comme les autres nutriments occupent une place très importante dans l'alimentation humaine. Ils sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme et fournissent une quantité d'énergie supérieure à celle apportée par les glucides. Les lipides sont des produits naturels largement répandus dans le règne animal et végétal. Ils regroupent les huiles et les graisses d'origine animale et végétale.

Une huile végétale est un corps gras extrait d'une plante oléagineuse, c'est-à-dire une plante dont les graines, noix ou fruits contiennent des lipides. Les corps gras sont appelés « Huile » lorsqu'ils sont liquides à la température ambiante et « Graisse », suivie de l'indication animale ou végétale selon l'origine de l'extraction, lorsqu'ils sont solides (concrets) à la température de 15 °C (cf. réglementation en vigueur). Cet état physique différent provient de leur composition en acides gras. Les huiles sont plus riches en acides gras insaturés que les graisses.

Les huiles végétales comestibles sont des denrées alimentaires qui se composent essentiellement de glycérides d'acides gras exclusivement d'origine végétale. Elles peuvent contenir en faible quantité d'autres lipides comme les phosphatides, des constituants insaponifiables et les acides gras libres naturellement présents dans la graisse ou l'huile.

Les lipides, utilisés comme corps gras alimentaires ou industriels, sont constitués d'un ensemble hétérogène de familles chimiques comportant des triglycérides (triacylglycérols), des diglycérides, des monoglycérides, des phospholipides, des acides gras libres, des stérols, des esters de stérols, des alcools, des pigments (caroténoïdes, chlorophylles), des tocophérols, des hydrocarbures...

Les lipides sont impliqués dans le transport de molécules organiques et dans plusieurs processus biologiques déterminants alors que certains constituent une source de composés essentiels, ne pouvant être synthétisés par le corps humain.

En effet la valeur nutritive d'une huile végétale, repose sur son apport en acides gras essentiels (indispensables) Oméga 3 et Oméga 6 ou et en vitamines.

Les huiles végétales renferment, en général, des quantités relativement importantes de composés indésirables tels que les acides gras libres, les pigments colorés, les produits secondaires d'oxydation,.. La forte dégradation de ces huiles est liée essentiellement aux conditions du stockage des graines et des fruits avant l'extraction et du grignon après l'extraction des huiles.

Ces conditions, associées à d'autres paramètres telles que la température et l'humidité ambiantes, favorisent l'hydrolyse des triacylglycérols de l'huile, la dégradation par oxydation des acides gras insaturés et des composés mineurs, particulièrement les antioxydants. Ces huiles doivent de ce fait subir un raffinage chimique ou physique pour leur donner la qualité correspondante aux usages alimentaire et industriel.

Plusieurs techniques de valorisation ont été proposées pour améliorer la qualité des huiles ne pouvant pas être utilisées à l'état brut. Le procédé de raffinage chimique est couramment utilisé dans le cas des huiles alimentaires. Il comporte plusieurs étapes, dont les plus importantes sont le dégommage, la neutralisation, le décirage, la décoloration et la désodorisation.

Les traitements thermiques en milieu acide ou basique et l'utilisation de l'eau pour le lavage pendant les premières étapes de ce procédé, sont à l'origine de nombreuses réactions secondaires faisant varier les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés organoleptiques des huiles raffinées.

Le raffinage chimique élimine les acides gras libres par une étape de neutralisation à la soude ; la distillation neutralisante élimine ces composés indésirables (désacidification) par distillation sous vide poussé avec injection de vapeur. À côté de ces principaux composés, chaque étape contribue à l'élimination d'autres substances indésirables, de contaminants potentiels et des coproduits de l'étape précédente.

Ce large tour d'horizon montre globalement que le procédé de raffinage (par voie chimique ou « physique ») est le plus souvent très efficace pour garantir la sécurité sanitaire des huiles et corps gras raffinés et leur conformité avec les exigences réglementaires.

Ce cours est consacré à l'étude des oléagineux et les processus d'obtention des huiles alimentaires en commençant par le traitement des matières premières oléagineuses jusqu'au produit fini, l'huile plate. Ainsi, il permettra d'acquérir les notions de base nécessaires à la compréhension de la méthodologie d'extraction des huiles végétales et de fournir les connaissances sur les corps gras nécessaires à une approche de développement de cette filière.

Chapitre I : Composition et caractéristiques des matières premières oléagineuses

1. Source des corps gras

Les corps gras sont un des constituants de notre ration alimentaire quotidienne. Ils sont différents selon leur origine, leur consistance, leur composition et leur rôle dans l'organisme.

Les corps gras peuvent avoir deux origines bien distinctes :

-**Une origine animale** : il s'agit du beurre, de la crème, du saindoux, de la graisse de bœuf ou d'oie...

-**Une origine végétale** : il s'agit des huiles et des margarines.

D'autre part, les corps gras peuvent se présenter sous deux formes : **huiles liquides et graisses solides**.

Les huiles sont des corps gras liquides à la température de 15°C, tandis que les graisses sont plus ou moins solides à cette température.

Les huiles et graisses alimentaires se divisent en :

-**Huiles végétales fluides** : huiles d'arachide, de colza, de germe de maïs, de tournesol, de soja, d'olive, de noix, de pépins de raisin...

-**Huiles végétales concrètes (ou graisses solides)** : coprah (provenant de la noix de coco), huiles de palme et de palmiste...

-Huiles et graisses animales :

- d'origine maritime : graisses et huiles de mammifères marins (baleine, cachalot) et de poissons (sardine, hareng...)
- d'origine terrestre : graisse de mouton, de bœuf, de cheval, de porc (saindoux), d'oie.

-Corps gras élaborés :

- le beurre d'origine animale
- les margarines d'origine végétale.

2. Fruits et grains oléagineux

Les oléagineux sont des plantes cultivées spécifiquement pour leurs graines ou leurs fruits riches en matières grasses, dont on extrait de l'huile à usage alimentaire, énergétique ou industriel. Les résidus de l'extraction constituent les tourteaux généralement recyclés dans l'alimentation animale.

On distingue :

les graines oléagineuses, issues de plantes cultivées spécifiquement pour la production d'huile : colza, tournesol, arachide, soja, sésame, noix, amande, ou pour leurs pépins et dont l'huile est un produit accessoire : cotonnier, lin; certaines graines peuvent être consommées sous forme de graines germées (tournesol, soja) ou en farine fraîchement moulues ajoutées dans diverses recettes (lin), ou simplement séchées (tournesol, courge), ou encore sous forme de tofu (soja);

les fruits oléagineux produits par des arbres : palmier à huile, olivier, cocotier (coprah), noyer, noisetier, amandier. Certains oléagineux, riches également en protéines, sont appelés « oléo-protéagineux ». Exemple : le soja.

Les oléagineux les plus consommables dans le monde sont : soja, palmier à huile, colza, tournesol, olive et noix de Coco. Les principaux pays producteurs des oléagineux dans le monde on commence par les premiers producteurs de l'huile de palme qui sont : la Malaisie et l'Indonésie ; le soja est produit par : les Etats-Unis, le Brésil et l'Argentine ; le colza est produit par : la Chine, l'Inde, l'Union Européen et le Canada ; Le tournesol : la Russie, l'Ukraine et l'Argentine.

Les graines et fruits oléagineux contiennent des lipides de réserve pour la germination, dans la graine ou dans le noyau du fruit, ou bien constitutifs de la chair du fruit. Ces lipides, constitués essentiellement par des triesters d'acides gras et de glycérol ou triglycérides sont susceptibles de se dégrader suivant deux phénomènes distincts qui sont l'hydrolyse et l'oxydation.

Dans le fruit humide et fermentescible, la matière grasse est mal protégée de ces phénomènes. Les opérations d'obtention d'huile se font nécessairement rapidement après la cueillette et dans un lieu peu éloigné : au moulin, dans le cas de l'olive ou à l'huilerie de palme située sur la plantation même.

Dans les graines oléagineuses par contre, l'huile est mieux protégée ; elle est stockée à l'intérieur des cellules aux parois rigides ; elle est en outre entourée d'une coque et son humidité est beaucoup plus faible (de l'ordre de 10 %) ; moyennant certaines précautions, le stockage de longue durée est possible (d'une campagne sur l'autre) et les traitements d'obtention peuvent se faire sur des sites industriels très éloignés du lieu de production.

Tableau I : Les plantes oléagineuses, matières grasses et leurs utilisations

| Plante | Famille | Organe | Matière grasse | Utilisation |
|-----------------|---------------|--------|--------------------|---|
| Arachide | Fabaceae | Graine | Huile d'arachide | Huile de table, margarine, savonnerie, tourteaux |
| Cacaoyer | Sterculiaceae | Graine | Beurre de cacao | Chocolat, pharmacie, cosmétiques |
| Cotonnier | Malvaceae | Graine | Huile de coton | Divers, tourteaux |
| Olivier | Oleaceae | Fruit | Huile d'olive | Huile de table, savonnerie |
| Ricin | Euphorbiaceae | Graine | Huile de ricin | Pharmacie, lubrifiant, huile siccativ, industrie chimique |
| Soja | Fabaceae | Graine | Huile de soja | Huile de table, parfumerie, savonnerie, tourteaux |
| Tournesol | Asteraceae | Graine | Huile de tournesol | Huile de table, huile siccativ, tourteaux |
| Palmier à huile | Arecaceae | Fruit | Huile de palme | Margarine, savonnerie, biocarburant, tourteaux |
| Lin | Linaceae | Graine | Huile de lin | Alimentation animale |

3. Principales plantes oléagineuses

3.1. Le colza

Le colza (*Brassica napus L.*) est une plante ramifiée à fleurs jaunes, appartenant à la famille des crucifères (*Cruciferae*). Il est le produit d'une hybridation naturelle entre le chou (*Brassica oleracea L.*) et la navette (*Brassica campestris L.*). Pour cette raison, il a été appelé *Koolzaad*, qui signifie « semence de choux ».

Parmi les 3000 variétés de colza existantes, deux sont majoritairement cultivées : celle dite d'hiver et celle de printemps. La première, particulièrement présente en Europe est cultivée pour la récolte de ses graines à partir desquelles est extraite une huile végétale d'usage alimentaire courant. La seconde, essentiellement retrouvée au Canada, est destinée à l'alimentation animale ou à la production d'engrais vert.



Figure 1 : Photographie de la plante *Brassica napus* communément appelée le colza.

Les fruits de colza appelés siliques, renferment des petites graines noires riches en acides gras insaturés (environ 40-45 %). Ces graines sont utilisées pour la production d'huile.

De par sa teneur en huile, le colza, avec le tournesol, représente l'une des trois principales sources d'huile végétale, destinée à l'alimentation humaine et à la production d'agro-carburants.



Figure 2 : Les siliques (a) et graines (b) du colza.

3.1.1. Composition moyenne de la graine de colza

La graine de colza ayant une composition variée, elle contient de la matière grasse, les protéines, eau, cellulose et les éléments minéraux.

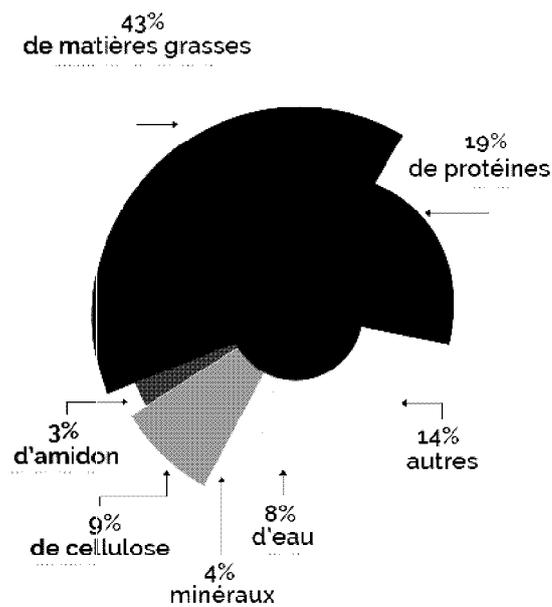


Figure 3 : La composition moyenne des graines de colza.

3.2. Le tournesol

Le tournesol (*Helianthus annuus*) est une grande plante annuelle, appartenant à la famille des Astéracées (Composées), dont les fleurs jaunes sont groupées en capitules de grandes dimensions. Le genre *Helianthus* comprend une cinquantaine d'espèces, toutes originaires d'Amérique du Nord, dont le topinambour (*Helianthus tuberosus* L.). C'est une grande plante, à tige très forte et peu ramifiée, pouvant atteindre jusqu'à 4 m de hauteur. Les feuilles simples, cordées (en forme de cœur), alternées, sauf à la base où elles sont parfois opposées, ont un pétiole plus ou moins long et sont rudes au toucher.



Figure 4 : Photographie des fleurs et feuilles de tournesol.

Les graines sont récoltées durant la période allant de septembre à novembre. Les graines de tournesol sont composées d'épaisses coques riches en fibres indigestibles. Cette caractéristique explique la plus faible teneur en énergie en comparaison des autres graines oléagineuses. La richesse en fibres de ces graines rend intéressante leur utilisation pour l'alimentation des truies, des lapins et de certains ruminants. Les graines de tournesol sont également beaucoup utilisées en oisellerie.



Figure 5 : Les graines de tournesol : (a) graines avec coques (b) graines décortiquées.

3.2.1. Composition moyenne de la graine de tournesol

Le tournesol est très cultivée pour ses graines riches en huile alimentaire de bonne qualité (environ 40 % de leur composition²). L'huile de tournesol est une précieuse graisse alimentaire au point de vue nourriture physiologique et elle contient une part de 50–70 % d'acide linoléique et une de 20–50 % d'acide oléique.

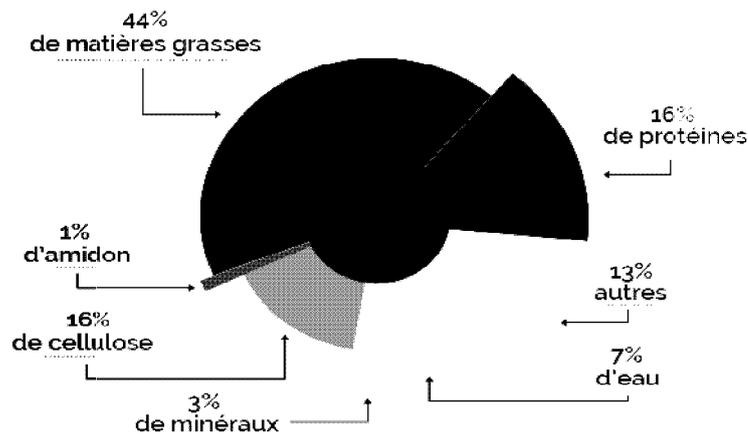


Figure 6 : Composition moyenne de la graine de tournesol.

3.3. Le soja

Le soja, nommé soya (*Glycine max* L.), est une espèce de plante annuelle de la famille des légumineuses (*Fabaceae*), originaire d'Asie orientale. Il existe de nombreuses variétés de soja, se différenciant notamment par le port, la couleur des graines, la période de floraison. Les fruits sont des gousses velues, contenant en général 2 à 4 graines, comestibles après trempage et cuisson. Il n'est pas considéré comme un légume sec, mais comme un oléagineux par l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La plante est entièrement (feuilles, tiges, gousses) revêtue de fins poils gris ou bruns. Les tiges dressées ont une longueur de 30 à 130 cm.



Figure 7 : Les gousses de soja vertes (a) et au stade de maturité (b).

Les fruits sont des gousses velues, longues de 3 à 8 cm, de forme droite ou arquée, et contiennent en général 2 à 4 graines (rarement plus). Les graines, de forme sphérique ou elliptique, ont un diamètre de 5 à 11 mm et sont comestibles. Leur couleur varie du jaune au noir en passant par le vert.

Il existe des centaines de variétés de soja dans le monde, mais seulement quelques dizaines sont cultivées dans un but commercial. Par trituration, les graines sont transformées en huile de soja et en farine pour l'alimentation humaine ou en tourteaux pour l'alimentation animale.



Figure 8: Les graines de soja.

Les graines de soja contiennent des quantités variables d'inhibiteurs de trypsine, un facteur antinutritionnel agissant négativement sur la digestion des protéines et la croissance des animaux. Pour cette raison, les graines de soja ne peuvent pas être utilisées en l'état pour l'alimentation. Elles nécessitent au minimum un traitement thermique capable d'inactiver ces facteurs pour l'alimentation des monogastriques (volailles, porcs, poissons) ou pour améliorer la digestibilité des protéines par les ruminants.

3.3.1. Composition moyenne de la graine de soja

Le soja représente plus de 50 % en masse de la production mondiale d'oléagineux. En tant qu'oléoprotéagineux, le soja constitue une matière première de choix pour une multitude d'industries utilisatrices de la graine entière de soja, de sa composante protéique ou de l'huile.

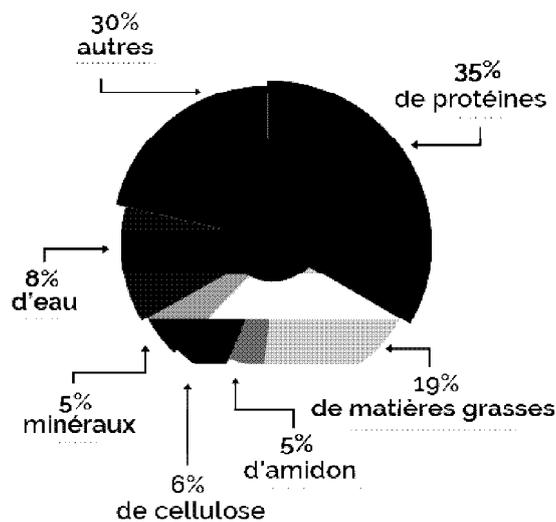


Figure 9 : La composition moyenne de la graine de soja.

3.4. Le lin

Le lin cultivé (*Linum usitatissimum*) est une espèce de plantes dicotylédones de la famille des *Linaceae*, originaire d'Eurasie. C'est une plante herbacée annuelle, largement cultivée pour ses fibres textiles et ses graines oléagineuses. *Linum usitatissimum* L. se présente généralement sous l'aspect d'une tige unique (ou légèrement ramifiée à la base) pouvant atteindre une hauteur voisine de 1 mètre pour un diamètre au collet de l'ordre de 2 mm. Sur cette tige se répartissent 80 à 100 feuilles simples, linéaires, lancéolées, sessiles, possédant trois nervures.

L'inflorescence en forme de cyme porte de nombreuses fleurs dont la couleur varie d'un bleu pur jusqu'à un blanc plus ou moins rosé, selon les variétés. Chaque fleur donne un fruit : une capsule, ovoïde, de 6-10 sur 5-10 mm, à cinq loges contenant chacune deux graines et séparées par une fausse cloison plus ou moins ciliée. Ces capsules présentent une légère pointe au sommet. À maturité, les capsules sont plus ou moins déhiscentes selon les variétés.



Figure 10: Le lin cultivé (*Linum usitatissimum*) : (a) pieds de lin, (b) fruits de lin.

Les graines sont lisses, plates, oblongues, petites et légères (entre 4 et 7 grammes les mille grains) et de couleur brune à maturité. Elles se terminent par un bec légèrement recourbé.



Figure 11: Les graines de lin.

3.4.1. Composition de la graine de lin

La graine de lin est riche en huile ; celle-ci représente 35 à 50 % de sa masse sèche. Les graines de lin sont caractérisées par leur richesse en omégas 3, en particulier en un acide gras essentiel appelé acide alpha-linolénique. L'incorporation de graines de lin dans les rations alimentaires des animaux a un effet positif sur les teneurs en omégas 3 des viandes et des œufs produits. Comme pour le soja, le lin nécessite toutefois un traitement thermique préalable à son utilisation en alimentation pour l'élimination de certains facteurs nocifs pour la santé des animaux.

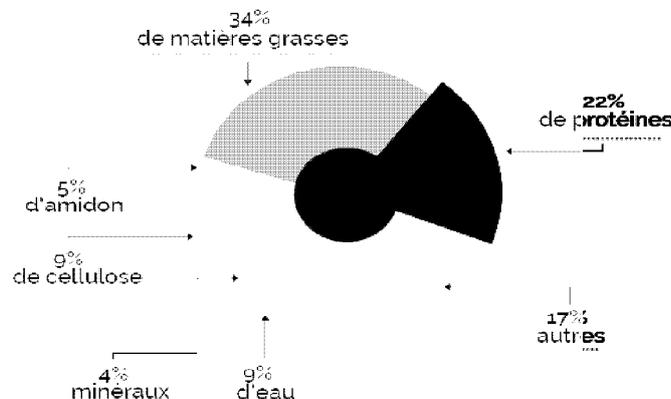


Figure 12 : Composition des graines de lin.

3.5. Les grains de sésames

Le sésame appartient à la famille des Pédaliacées (Pedaliaceae). Il est semé une fois par année, après la saison des pluies et il est mûr environ 90 jours après les semailles. Les graines sèches s'ouvrant d'elles-mêmes, et les semences se répandant alors sans contrôle sur le sol, on coupe les tiges juste au-dessus du sol, peu avant la maturité complète, et les met à sécher sur des supports dans les champs. La période de récolte va de septembre à mars.

Les grains de sésame sont utilisés pour des produits de boulangerie, tels que pains, pains spéciaux et petits pains. On fabrique l'huile de sésame en pressant les grains, et on l'utilise avant tout pour cuisiner.



Figure 13 : Les grains de sésames.

3.5.1. Composition moyenne des grains de sésame

Tableau II : Valeur énergétique et composition biochimique des grains de sésame.

| Pour une Valeurs nutritives par 100 g : | |
|---|---------------------------|
| Valeur énergétique | 2339 kJ soit 565 calories |
| Protéines | 17,7 g |
| Hydrates de carbone | 11,18 g |
| Fibres alimentaires | 11,18 g |
| Lipides | 50,40 g |
| Acides gras saturés | 6,7 g |
| Acides gras mono-insaturés | 19,08 g |
| Acides gras poly-insaturés | 33,3 g |
| Vitamines | E, B1, B2, B6, K |
| Minéraux | Ca, Cl, Na, P |
| Oligo-éléments | Mg |

3.6. Les olives

L'olivier (*Olea europaea* L.) est un arbre fruitier qui produit les olives, un fruit consommé sous diverses formes et dont on extrait une des principales huiles alimentaires, l'huile d'olive. C'est une variété domestiquée depuis plusieurs millénaires et est cultivée dans les régions de climat méditerranéen. Le fruit, l'olive est une drupe, dont la peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine), avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse renfermant un noyau ligneux. D'abord vert, il devient noir à maturité complète.



Figure 14 : Les drupes d'olives au stade de maturité.

3.6.1. Composition moyenne des olives mûres

Tableau III : Valeur énergétique et composition biochimique des olives mûres.

| Valeur nutritive et calorique des Olives mûres /100g | |
|--|--------------|
| Valeur énergétique | 155 Cal/100g |
| Eau | 75,8 |
| Protéines | 1,31 g |
| Hydrates de carbone | Traces |
| Lipides | 15,7 g |

3.7. Palmier à huile

L'huile de palme est une huile végétale extraite par pression à chaud de la pulpe des fruits du palmier à huile. Elle ne doit pas être confondue avec l'huile de palmiste, tirée du noyau des fruits de cette même plante. C'est l'huile végétale la plus consommée au monde (25 % de la consommation) et elle est utilisée pour la fabrication d'aliments transformés, en remplacement des graisses animales (saindoux, beurre...) et des huiles végétales hydrogénées (dite trans). Sa richesse en acides gras saturés la rend solide et malléable à température ambiante, son point de fusion se situe entre 35 °C et 42 °C. De ce fait, c'est une graisse végétale (comme le beurre de cacao) et non une huile.

L'huile de palme rouge (non raffinée ni traitée) est considérée comme l'aliment naturel le plus riche en β -carotène et c'est également la deuxième huile la plus riche en vitamine E (tocophérols). A l'échelle mondiale, l'huile de palme est principalement utilisée dans l'industrie alimentaire (80 %), dans l'oléochimie (savon, cosmétiques...).



Figure 15: Arbres et fruits du palmier à l'huile.

3.7.1. Composition moyenne des fruits du palmier à l'huile

Tableau IV : Valeur énergétique et composition biochimique des fruits du palmier.

| Pour une Valeurs nutritives par 100 g : | |
|---|--------------|
| Valeur énergétique | 884 calories |
| Protéines | g |
| Hydrates de carbone | 0 g |
| Fibres alimentaires | 0 g |
| Lipides | 100 g |
| Acides gras saturés | 49 g |
| Acides gras mono-insaturés | 37 g |
| Acides gras poly-insaturés | 9 g |
| Vitamines | Vitamine E |

3.8. L'arachide

L'arachide (*Arachis hypogaea*), également appelée cacahuète ou cacahouète qui signifie cacao de terre ou pois de terre est une plante de la famille des Fabacées (ou légumineuses) originaire du Mexique et cultivée dans les régions tropicales, sub-tropicales et tempérées pour ses graines oléagineuses. Le fruit (coque) est une gousse de 3 à 4 cm de long, contenant le plus souvent seulement deux graines, qui est réticulée extérieurement et étranglée entre les graines mais non cloisonnée. Les graines ovoïdes sont enveloppées dans un tégument sec rouge.

Les arachides sont utilisés en alimentation humaine, l'huile est utilisée comme huile de table ou comme matière première pour la fabrication de margarine. La farine d'arachide est utilisée comme aliment de complément en biscuiterie.

Le tourteau est utilisée pour alimentation animale. L'huile d'arachides de deuxième extraction est utilisée en industrie pour savonnerie et les coques sont utilisées comme combustible.



Figure 16: Les graines d'arachide.

3.8.1. Composition moyenne des graines d'arachide

Tableau V : Valeur énergétique et composition biochimique des graines d'arachides.

| Pour une Valeurs nutritives par 100 g : | |
|---|--|
| Valeur énergétique | 2583 kJ soit 617 calories |
| Protéines | 27,3 g |
| Hydrates de carbone | 8,6 g |
| Fibres alimentaires | 10,7 g |
| Lipides | 50,6 g |
| Acides gras saturés | 8,4 g |
| Acides gras mono-insaturés | 25,6 g |
| Acides gras poly-insaturés | 14,6 g |
| Vitamines | E, B1, B2, B6, acide folique, niacine, acide pantothénique |
| Minéraux | Ca, Cl, K, Mg, Na, P, S |
| Oligo-éléments | Mg : 160 g |

3.9. Le Cacaoyer

Le cacaoyer : Aussi appelé cacao ou cacaotier (*Theobroma cacao*) est un arbre qui mesure de 10 à 15 mètres de haut, à feuilles persistantes de la famille des Sterculiacées. Il produit des fèves (cabosses) comestibles à partir desquelles est fabriqué le cacao, le produit de base du chocolat. Les cabosses sont de grosses baies allongées pouvant peser jusqu'à 400 g pour 15 à 20 cm de long.

Elles contiennent de nombreuses graines (entre 25 et 75) regroupées en épis et appelées fèves de cacao riches en amidon, en matières grasses et en alcaloïdes. Chaque graine mûre est entourée d'une pulpe appelée « mucilage ».



Figure 17: Cabosse du cacaoyer.

Le beurre de cacao est une matière grasse végétale issue de la pression des fèves de cacao pour obtenir la poudre de cacao. Sa couleur va du jaune ivoire au brun. Il est utilisé dans la fabrication de nombreux produits para-pharmaceutiques ou cosmétiques, tels que les huiles solaires ou les baumes à lèvres. Il est conditionné sous forme de bloc ou en flocons. Il doit être conservé à l'abri de l'air et de la lumière.

3.9.1. Composition du beurre et graines de cacao

Les fèves de cacao se distinguent par leur composition chimique complexe. Ils comprennent: l'eau, la graisse, les protéines, les glucides, les alcaloïdes, des tanins, des colorants, des substances aromatiques, des acides organiques, des fibres, des vitamines, des substances minérales. Certains des fèves de cacao sont différentes dans la composition chimique et les propriétés, de sorte sont de valeur inégale pour la production de chocolat.

La partie la plus importante et précieuse des fèves de cacao est une matière grasse (beurre de cacao), dans lequel le contenu de base atteint 52-56 % de cacao. Dans le germe 3-5 %. Le beurre de cacao est composé de 50 à 60 % d'acides gras saturés. Ce sont des acides qui sont présents dans les graisses animales, mais aussi végétales, comme l'huile de palme ou l'huile de coco... On trouve notamment l'acide stéarique, oléique, palmitique, ou encore linoléique dans sa composition.

Les propriétés du beurre de cacao a un certain nombre de caractéristiques, parmi lesquels on notera:

- à la température ambiante l'huile est dur et cassant. Comme une partie du chocolat 1 / 3 du beurre de cacao, celui-ci donne au chocolat une consistance dure et cassante;
 - point de fusion initial de beurre de cacao 31-34 ° C, à savoir, au-dessous de la température du corps humain. Par conséquent, il se fond facilement dans la bouche, ne laissant pas de matière grasse salivarienne de fusion élevée de caractéristique;
 - Le beurre de cacao peut être conservé longtemps sans aucun signe de rancissement. La partie huile et non grasse des fèves de cacao contient des substances antioxydantes qui retardent l'oxydation;
- lorsqu'il est correctement refroidi en dessous de la température de solidification (23-28 ° C) le beurre de cacao cristallise, se transforme en un état solide, tout en réduisant le volume.

Tableau VI : Composition du beurre de cacao

| | Pourcentage |
|--|--------------------|
| acide stéarique | 34 % |
| acide oléique | 34 % |
| acide palmitique | 26 % |
| acide linoléique | 2 % |
| Autres acides gras saturés | 4 % |
| Pourcentage total en graisses saturées | 57-64 % |

Tableau VII : Composition moyenne des graines de cacao

| Composition moyenne des graines de cacao | |
|--|------------|
| Eau | 2 % |
| Matières grasses | 50 - 57 % |
| Matières protéiques | 12-14 % |
| Matières glucidiques | 9,5 - 13 % |
| Matières pectiques | 3 - 3,5 % |
| Cendres | 2,5 - 3 % |
| Pentosanes | 1,5 % |
| Alcaloïdes | 2 - 4 % |
| Polyhydroxyphénols | 4 - 4,5 % |
| Acides organiques | 1,5 % |

3.10. Le ricin

Le ricin est une plante arbustive à tige ronde dressée et rameuse. Il est doté de grandes feuilles palmatilobées avec 5 à 12 lobes profonds, dentés, lancéolés. Les fleurs femelles sont à 5 sépales et à ovaire à 3 longs styles rouges, situées au-dessus des fleurs mâles. Le fruit du ricin est une capsule à 3 coques hérissées, chacune contenant une graine ovale, marbrée, à caroncule saillante et albumen riche en huile.



Figure 18 : Feuilles et fruit du ricin.

3.10.1. Composition des graines :

Les graines de ricin contiennent de petites quantités d'eau, minéraux et glycosides mais une grande quantité de lipides, protéines, stérols, vitamines et enzymes tels que la riboflavine, l'acide nicotinique, la lipase, la glutamine, la norleucine et l'acide urique.

Dans les graines, on trouve également la ricine, toxalbumine toxique comparable à la strychnine, et la ricinine, un alcaloïde contenu dans les graines.



Figure 19: Les graines du ricin.

3.10.2. Composition de l'huile de ricin

L'huile de ricin est une huile végétale obtenue à partir des graines de ricin. Elle est incolore à jaune très clair. Les triglycérides représentent environ 90 % de ses acides gras et la ricinoléine est le triglycéride majeur de cette huile.

Tableau VIII: Ordre de grandeur des principaux composants de l'huile de ricin.

| Les principaux composants de l'huile de ricin | |
|---|-------------|
| Acide palmitique | 0,7 - 1,3 g |
| Acidestéarique | 0,9 - 1,2 g |
| Acide oléique | 2,8 - 5,5 g |
| Acide ricinoléique | 84,2 - 94 g |
| Acide linoléique | 4,2 - 7,3 g |
| Acide alpha-linoléique | 0,2 - 0,5 g |

L'huile est présente en faible quantité, comme excipient dans de nombreuses spécialités pharmaceutiques et en cosmétique, elle est utilisée pour lisser et protéger les cheveux, renforcer et allonger les cils et sourcils, ainsi que les ongles. L'huile de ricin figure comme additif alimentaire dans le (E1503) ; elle sert aussi à la préparation d'un émulsifiant, l'E476 utilisé notamment dans l'industrie du chocolat. Les protéines du tourteau résiduel (après extraction de l'huile) sont un aliment du bétail mais il faut d'abord détruire la toxalbumine (ricine).

3.11. Le cotonnier

Le coton dont le nom vient de l'arabe *qutuun* est une fibre végétale qui entoure les graines des cotonniers (*Gossypium* sp.), un arbuste de la famille des Malvacées qui pousse dans les régions tropicales et subtropicales arides. L'huile de coton est une huile végétale, extraite des graines des capsules de coton.

Elle est utilisée comme huile alimentaire, notamment en Afrique et en Asie centrale, mais aussi dans de nombreux domaines non alimentaires comme les produits de beauté ou l'apprêt des cuirs.



Figure 20 : Le coton et graines de cotonnier.

3.11.1. Composition de l'huile de coton

Avec 900 kcal pour 100 g, il s'agit d'un aliment extrêmement calorique, qui constitue une source de lipides. Il fait partie des aliments les plus riches en lipides, en calories, en acide linoléique, en vitamine E, en acides gras poly-insaturés, en acide palmitique, en acides gras saturés, et en acide arachidonique.

Tableau IX : Les principaux composants de l'huile de coton.

| Les principaux composants de l'huile de coton, valeur nutritionnelle/100g | |
|--|-----------------------|
| Valeur énergétique | 900 kcal soit 3768 kj |
| Acides gras saturés | 25,9 g |
| Cholestérol | 0 mg |
| Acides gras mono-insaturés | 17,8 g |
| Oméga 9 - acide oléique (18:1) | 17 g |
| Acides gras poly-insaturés | 51,9 g |
| Oméga 6 - acide linoléique (18:2) | 51,5 g |
| Oméga 6 - acide arachidonique (20:4) | 0,1 g |
| Oméga 3 - ALA : acide alpha-linolénique (18:3) | 0,2 g |
| Vitamine E - tocophérols, tocotriénols | 35,3 mg |
| Vitamine K | 24,7 µg |
| VitamineK1-phyloquinone, phytoménadione | 24,7 µg |

Chapitre II : Traitements des grains et fruits oléagineux

I. Conservation

Les matières premières utilisées dans les usines de trituration sont livrées sur site par trains, camions (dans des fosses de réception) ou bateaux (à l'aide de portiques de déchargement avec transport pneumatique ou de grue et bandes/convoyeurs) dans les gares de déchargement. Ces graines sont stockées dans des silos verticaux métalliques ou béton, ou en silos plats.



Figure 21: Photographie des silos verticaux métalliques utilisés pour le stockage des graines oléagineuses.

1. Types d'entreposage

Pour prévenir les infestations et protéger la qualité des récoltes durant l'entreposage prolongé, il est essentiel que :

les cellules soient bien construites et à l'épreuve des intempéries. Les cellules installées sur un terrain surélevé bien drainé protègent efficacement les récoltes contre les fortes pluies et les crues printanières.

Il faut ériger les cellules en acier sur une dalle de béton armé afin d'empêcher la formation de fissures et le transfert de l'humidité au travers du plancher.

Les fissures du plancher et les joints entre la dalle et la paroi de la cellule doivent être étanchéifiés à l'aide d'un calfeutrant.

La dalle de béton doit être légèrement convexe pour permettre l'écoulement de l'eau.

Il faut éviter de remplir la cellule au-delà de la virole supérieure et laisser amplement d'espace au-dessus de la surface du grain pour permettre l'inspection et le prélèvement d'échantillons.

Il convient d'installer un système de ventilation afin de refroidir la récolte et d'empêcher la migration de l'humidité.

Il faut également conférer au sol sous le grain une forme conique afin de favoriser l'évacuation de l'eau de pluie et de fonte.

Les abords de la cellule doivent être désherbés ou déchaumés, de manière à ce qu'ils ne servent pas d'abri aux souris.

Il faut donner à l'amas de grains une forme conique la plus prononcée possible afin de favoriser l'évacuation de l'eau de pluie et de fonte et d'éviter la présence d'un vide entre le bord supérieur de la cellule et la surface de la récolte.

Il faut éviter de marcher sur les grains, car l'eau pourrait s'accumuler dans les dépressions laissées par les empreintes de pas.

Si la récolte façonnée en cône est recouverte d'une pellicule de plastique, il faut assujettir cette dernière à l'aide de tulle pour filet de pêche ou de plusieurs vieux pneus afin de l'empêcher de battre au vent et de se déchirer.

2. Bonnes pratiques d'entreposage

À la récolte, les graines oléagineuses ne se présentent pas toujours dans des conditions favorables à une bonne conservation. Les graines sont en effet l'objet de plusieurs causes d'altération :

- action des microorganismes, en présence d'humidité (moisissures, levures, bactéries) ;
- action des enzymes (lipases hydrolysantes, lipoxydase...) ;
- action de l'air ;
- interaction de certains constituants (interactions entre sucres et acides aminés, formation de complexe lipo-protéiques...).

La protection des oléagineux entreposés contre les détériorations fait partie intégrante de leur production. Laissées sans protection, ces récoltes risquent d'être déclassées. Comme le poids et la qualité des grains échauffés ou infestés par les insectes et les acariens diminuent rapidement, l'agriculteur doit se montrer vigilant s'il ne veut pas voir son revenu amputé de plusieurs milliers de dollars.

L'entreposage des oléagineux à l'état frais et sec dans des cellules propres, non infestées, étanches et bien ventilées prévient ces pertes, maintient la qualité du grain et en facilite la commercialisation.

Voici quelques conseils et bonnes pratiques d'entreposage :

- Préparer la cellule avant d'entreposer la nouvelle récolte en balayant le sol et les murs à l'aide d'un balai ou d'un aspirateur, en brûlant ou en enfouissant les balayures chargées de grains gâtés ou infestés, en obturant les fissures afin d'empêcher la neige, la pluie ou les insectes volants de pénétrer dans la cellule.
- Prévenir les pertes causées par les insectes, les acariens et les moisissures en entreposant correctement les oléagineux.

- Installer un système de ventilation afin de refroidir le grain et de réduire la migration de l'humidité.
- Assécher les grains échauffés ou moisiss. Si les grains échauffés ne peuvent être asséchés immédiatement, il est possible de ralentir leur détérioration en les ventilant pour les refroidir ou en les déplaçant et en les mélangeant avec des grains plus frais.
- Prévenir ou réprimer les infestations d'insectes en ventilant les grains pour les refroidir ou en les mélangeant avec des grains plus froids

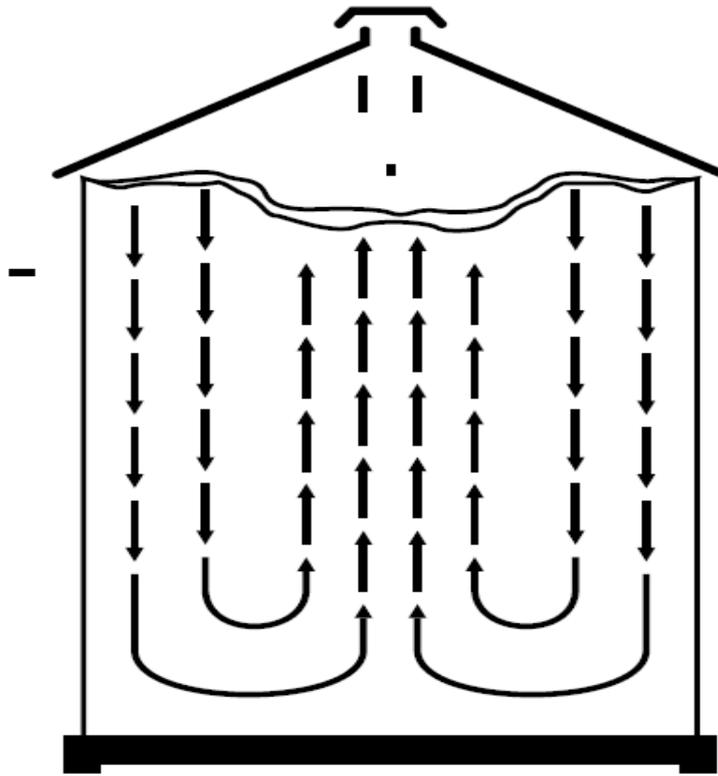


Figure 22: Migration de l'humidité dans une cellule non ventilée en automne et en hiver.



Figure 23: Unité de ventilation.

- Assécher les grains gourds ou humides peu après la récolte, ces derniers étant plus susceptibles de moisir ou d’être infestés par les insectes que les grains secs, puis les refroidir.
- Les graines oléagineuses sont réceptionnées et conservées dans les mêmes installations que les céréales. Il est recommandé de stabiliser les oléagineux aux niveaux d’humidité suivants : colza : 8 à 9 %, tournesol 7 à 8 %, soja 12 à 13 %.

Tableau X: Teneur en eau (%) des graines de céréales, d'oléagineux ou de légumineuses à grain gourds ou humides.

| Produit | Teneur en eau (poids humide) | |
|---------------|---------------------------------|------------|
| | Gourd (%) | Humide (%) |
| Blé | 14,6-17,0 | >17,0 |
| Blé dur ambré | 14,6-17,0 | >17,0 |
| Sarrasin | 16,1-18,0 | >18,0 |
| Avoine | 13,6-17,0 | >17,0 |
| Orge | 14,9-17,0 | >17,0 |
| Graine de lin | 10,1-13,5 | >13,5 |
| Canola | 10,1-12,5 | >12,5 |
| Moutarde | 9,6-12,5 | >12,5 |
| Seigle | 14,1-17,0 | >17,0 |
| Pois | 16,1-18,0 | >18,0 |
| Maïs | 15,6-17,5 | 17,6-21,0 |
| Soja | 14,1-16,0 | 16,1-18,0 |
| Tournesol | 9,6-13,5 | 13,6-17,0 |

- Inspecter les récoltes entreposées toutes les 2 semaines afin d'y déceler les signes éventuels d'un échauffement ou d'une infestation, vérifier la température ou la concentration de dioxyde de carbone et surveiller l'activité des insectes en installant des pièges ou des sondes ou en examinant des échantillons de grain tamisé.

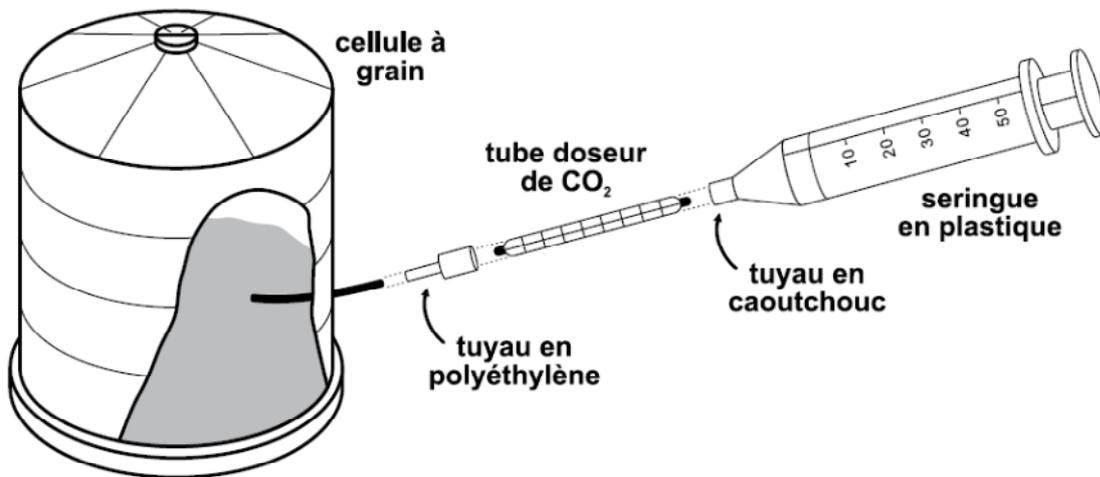


Figure 24: Dispositif de dosage du CO₂ permettant de détecter la détérioration des oléagineux.

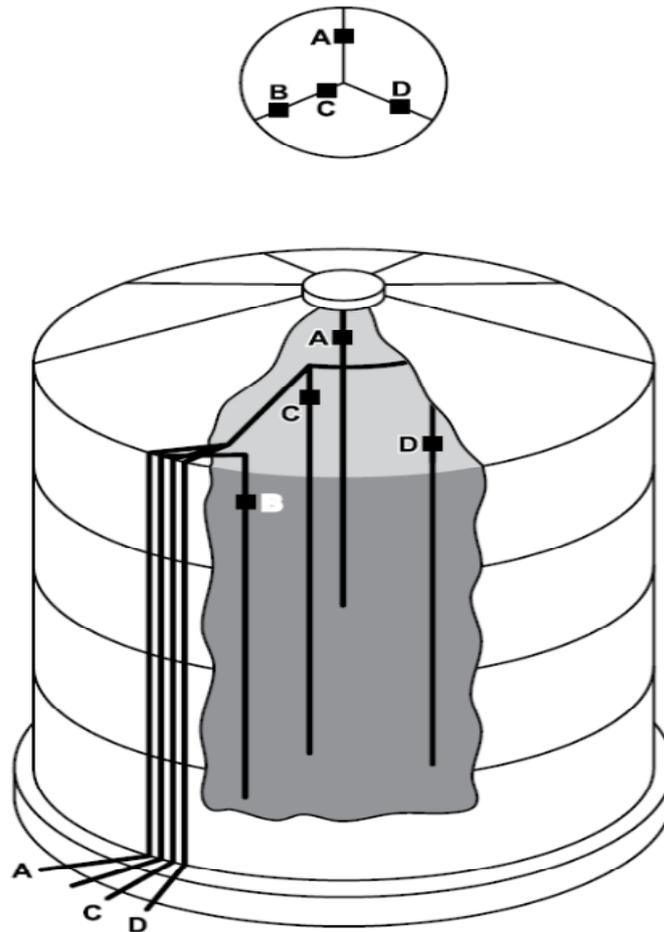


Figure 25: Dispositif de surveillance des températures à l'intérieur des cellules constitué de quatre câbles capteurs (A à D) suspendus à partir du toit. Les câbles A, B et D sont situés à mi-chemin entre la paroi et le centre de la cellule, tandis que le câble C est suspendu près du centre.

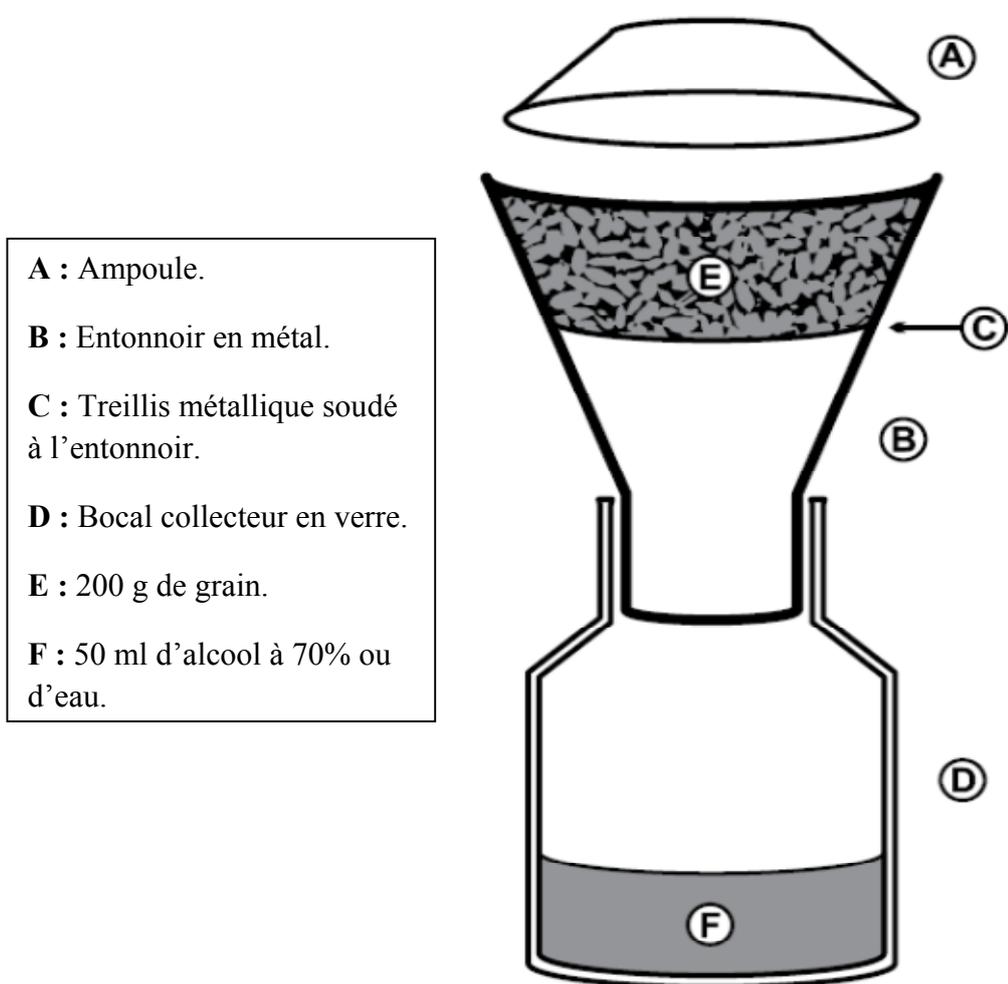


Figure 26: Dispositif utilisé pour l'extraction des insectes et des acariens infestant les oléagineux.

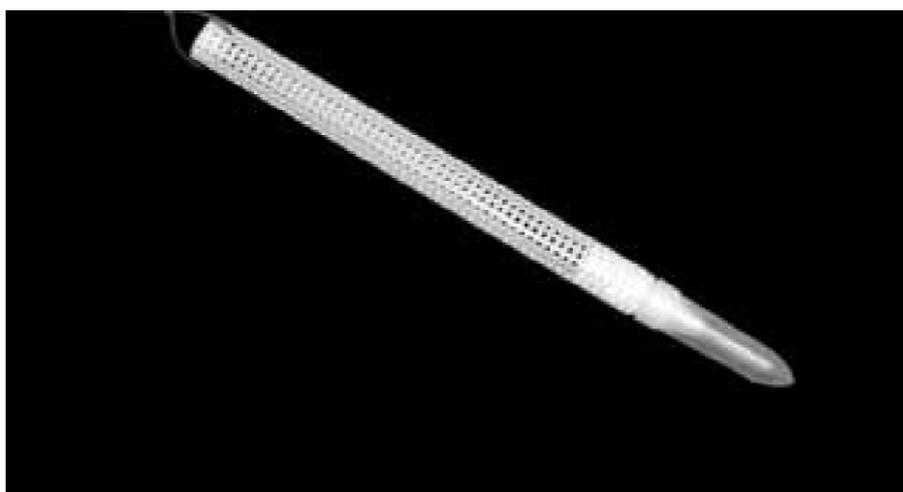


Figure 27: Piège en plastique utilisé pour la détection des insectes dans les denrées entreposées.

- Vérifier l'espace vide dans les entrepôts entre janvier et mars et éliminer la neige qui pourrait s'y être accumulée avant qu'elle fonde.
- Pulvériser un insecticide de contact recommandé sur le sol et les murs.
- Durant les applications d'insecticides, observer les mesures de sécurité. Seules les personnes détenant un permis approprié devraient être autorisées à appliquer des fumigants.
- L'opérateur doit porter un masque à gaz recouvrant entièrement le visage, des gants de caoutchouc, une combinaison appropriée et un casque dur.



Figure 28: A : Traitement du grain au moyen de comprimés de fumigant ; B : Traitement d'un entrepôt vide avec un insecticide de contact.

II. Opérations unitaires de trituration

Les opérations de trituration proprement dites comportent d'éventuelles opérations de décorticage ou dépelliculage, des opérations de préparation mécanique et thermique de la graine oléagineuse suivies des opérations de pression et/ou d'extraction par solvant.

1. Nettoyage et séchage

Les opérations essentielles de nettoyage et séchage sont le plus souvent réalisées dès la récolte par les opérateurs industriels stockeurs et beaucoup plus rarement sur les sites de production d'huile, car ces traitements doivent se faire assez rapidement après la récolte pour permettre un stockage de la graine oléagineuse dans de bonnes conditions et d'augmenter leur durée du stockage.

Le nettoyage permet d'éliminer les impuretés contenues dans la graine (poussières, coques vides), et peut se faire avec plusieurs équipements : tambours cribleurs de pré-nettoyage, déferailleur, épierreur, tamis vibrant de nettoyage, aspirateur de poussières, etc.

Le séchage est réalisé dans des sècheurs conventionnels à air chaud qui ne sont pas spécifiques à l'huilerie .

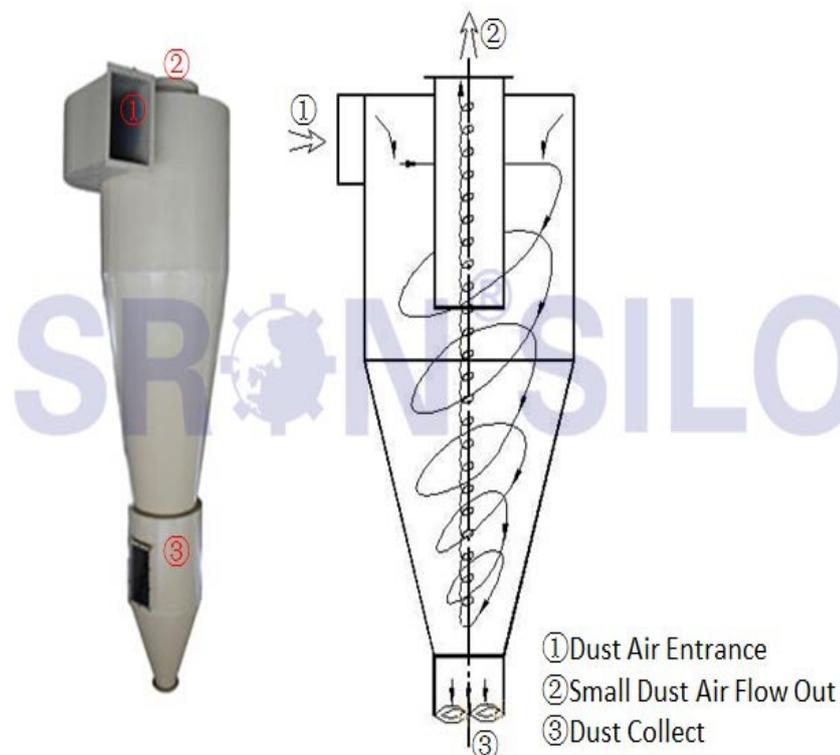


Figure 29: Photographie d'un aspirateur de poussière.



Figure 30: Photographies de : a : épierreur, b : Tamis vibrant de nettoyage c : Tambour cribleur de pré-nettoyage.

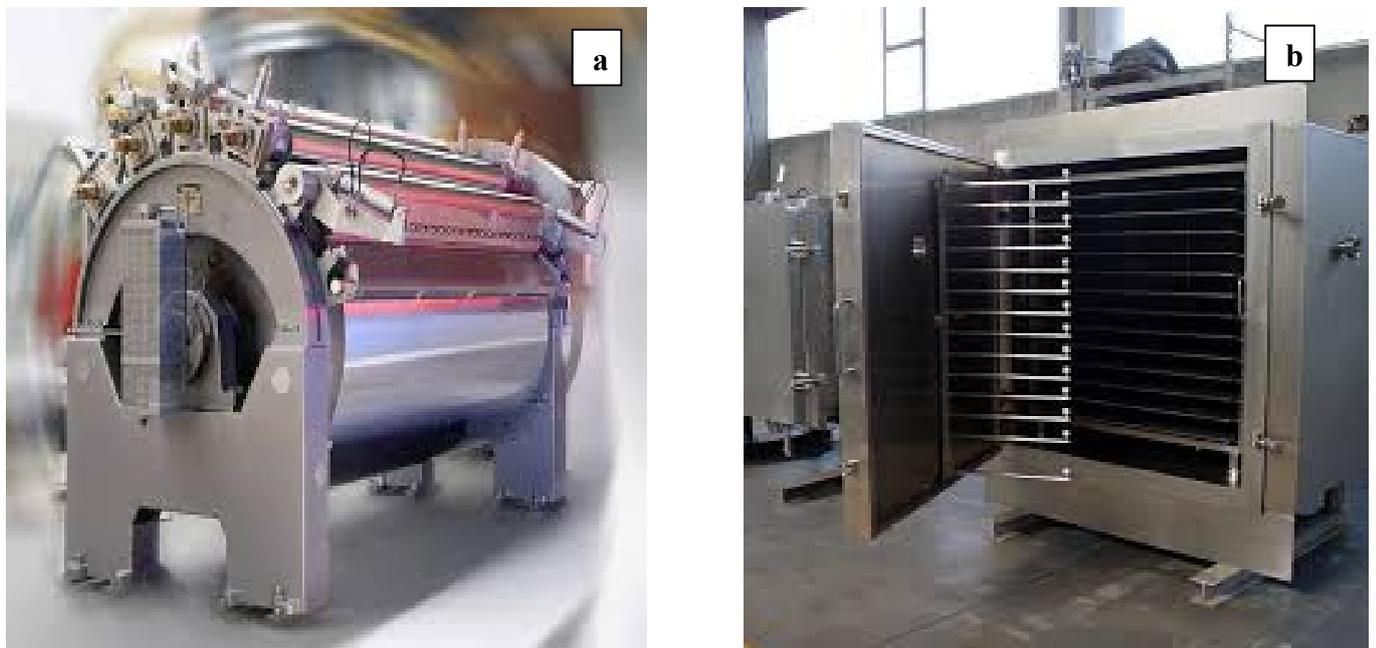


Figure 31: Photographies de : a : sécheur à tambour rotatif, b : sécheur multi spray.

2. Décortiquage et dépelliculage

Le terme « décortiquage » est utilisé notamment pour le tournesol et le soja, et celui de « dépelliculage » pour le colza. Les systèmes utilisés ont pour action de briser la coque entourant la graine pour permettre sa séparation de l'amande. La noix de coco est décortiquée puis coupée à la main par des opérateurs qualifiés. L'intérêt de ces opérations est d'éliminer les matières de faible valeur nutritionnelle pour l'alimentation animale et de faciliter éventuellement les traitements d'extraction.



Figure 32: Décortiquage des graines de tournesol.

3. Préparation mécanique

La préparation mécanique comporte les opérations de broyage et/ou d'aplatissage (laminage) qui se font sur des broyeurs à cylindres cannelés et d'aplatisseurs à cylindres lisses qui forment des flocons présentant une surface relative aussi importante que possible à la pression. Exemple : la graine de colza est directement aplatie (cylindres lisses quasiment en contact) à cause de sa petite taille et le tournesol et le soja sont broyés sur des cylindres cannelés avant aplatissage ; il est ainsi possible d'obtenir des flocons ou *flakes*.

Cette étape de préparation a pour but de réduire la dimension des graines afin de faciliter le travail des presses ou l'action du solvant d'extraction et donc d'améliorer les rendements en huile.

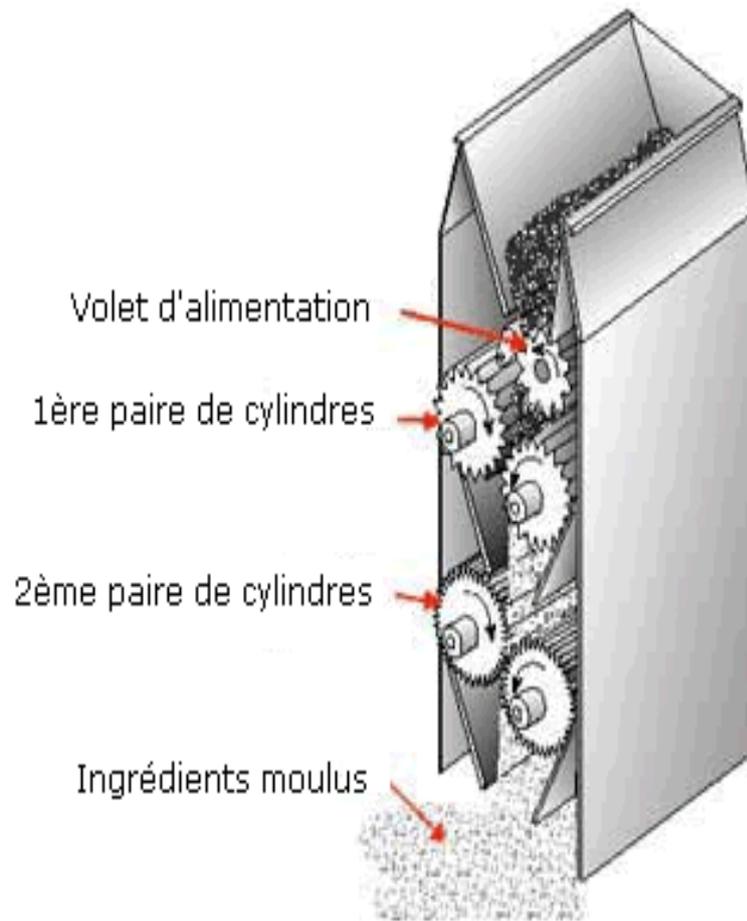


Figure 33 : Broyeurs à cylindres cannelés.



Figure 34 : Aplatisseurs à cylindres lisses pour obtenir des flocons.



Figure 35 : Meule de moulin en pierre utilisé pour le broyage des olives.

4. Préparation thermique

Le conditionnement thermique fait généralement suite à la préparation mécanique. Les flocons sont introduits dans un cuiseur vertical ou horizontal pour y subir une cuisson à la vapeur (indirecte ou directe si nécessaire) dans des conditions variables suivant la nature et l'humidité de la graine. Exemple : la cuisson de flocons de colza se fait, vers 90 à 100 °C pendant 40 mn environ, sans ajout d'eau. Il existe 3 types de cuiseurs : vis chauffantes, chauffeoirs verticaux à plusieurs étages ou cuiseurs horizontaux.

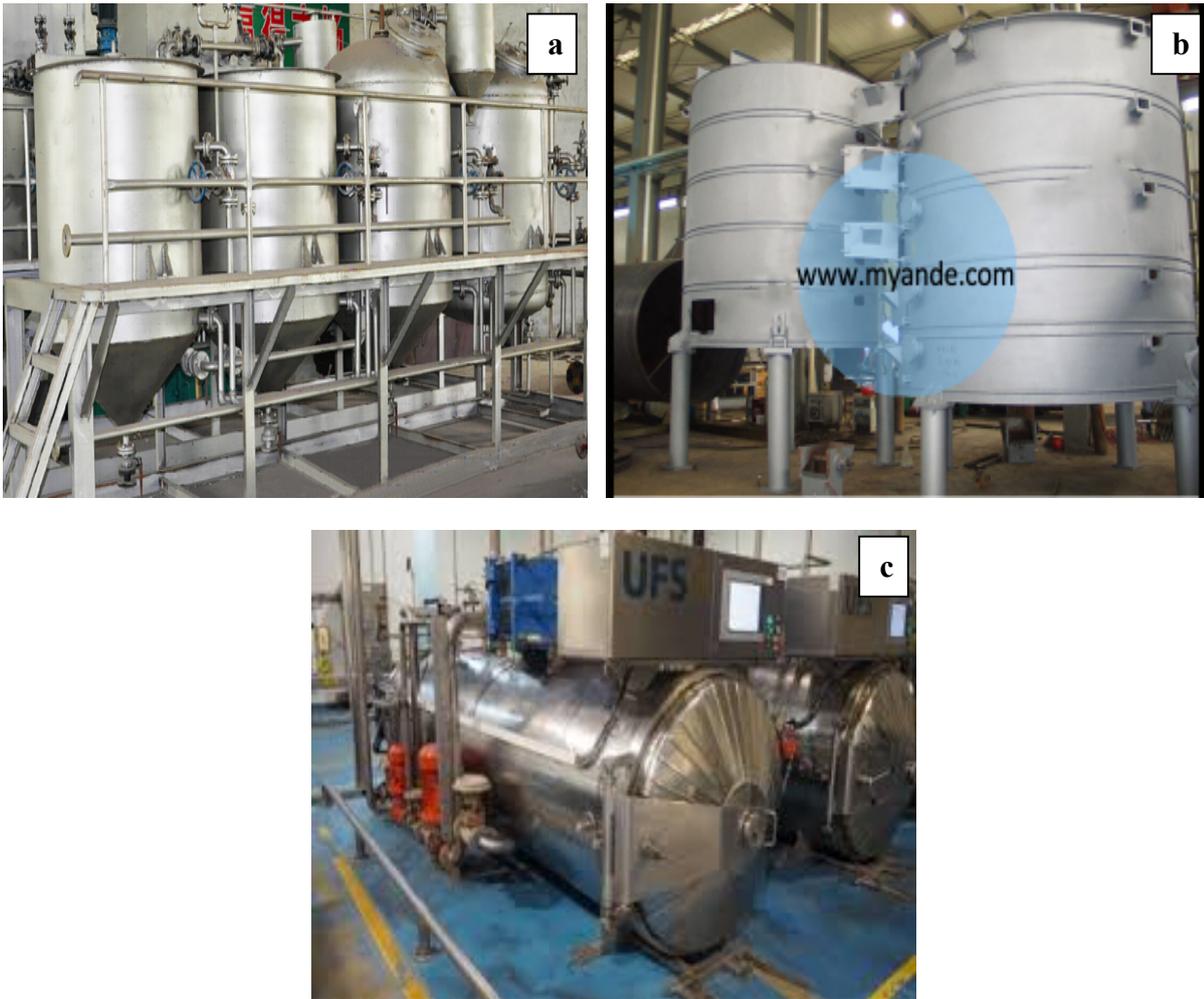


Figure 36 : Cuiseurs thermiques à vapeur, a et b : cuiseurs verticaux, c : cuiseurs horizontaux.

La cuisson thermique des graines oléagineuses permet :

- d'améliorer la pressabilité du flocon ;
- de coaguler les protéines des parois cellulaires pour les rendre perméables à l'huile ;
- la coalescence des petites vésicules d'huile en larges gouttes détruisant l'émulsion protéines-lipides ;
- la stérilisation (de salmonelles éventuellement présentes par exemple) ;
- la désactivation des enzymes thermosensibles (myrosinase du colza par exemple) ;
- la destruction de substances toxiques.

5. Pressage mécanique

Les graines préparées (flocons cuits) sont dégraissées par passage dans une presse à vis à alimentation continue (presse horizontale). L'huile brute, chassée entre les barreaux de la cage de presse, contient une certaine quantité de petites particules solides appelées « pieds de presse » provenant du laminage entre les barreaux du produit pressé, dont elle sera débarrassée par tamisage et filtration ou, technique alternative, par centrifugation sur superdécanteur ou clarificateur (elle peut être en outre séchée sous vide à l'issue de ces dernières opérations). A la sortie de la presse, au niveau du cône, se forment les écailles de presse (appelés aussi « tourteaux gras »).

L'équipement des presses est fonction de la graine traitée (texture et richesse en huile). Les écailles de presse issues de graines oléagineuses riches en huile (tournesol ou colza) titrent de 16 à 24% de matière grasse suivant les situations. Dans certains cas, les écailles sont pelletisées avant extraction. Les pépins de raisin et le soja ne passent pas en pression mécanique, car leur pourcentage en huile est faible (moins de 20 %).



Figure 37: Presse à vis à alimentation continue pour l'extraction d'huile d'oléagineux.



Figure 38: Extraction de l'huile de palme par passage dans une presse à vis à alimentation continue (presse horizontale), à l'échelle pilote.

5.1. Paramètres influençant le rendement d'extraction par presse

a/ L'effeuillage : qui est une opération nécessaire pour éviter une coloration trop verdâtre de l'huile, se traduisant par un excès d'amertume et par moindre aptitude à la conservation d'huile. A défaut de disposer d'un système mécanique, cette opération peut être effectuée manuellement.

b/ Le lavage : opération fondamentale qui doit être généralisée à toutes les unités à presse pour éviter les problèmes suivants :

- ✓ une interférence des terres avec la couleur et les autres propriétés organoleptiques (odeur, goût) de l'huile ;
- ✓ une baisse du rendement d'extraction, sachant que les terres accompagnant quelques oléagineux absorbent près de 20% de leur poids en huile ;
- ✓ une conservation réduite de l'huile étant donné que certaines traces métalliques dans les terres sont des catalyseurs de l'oxydation de l'huile ;
- ✓ une augmentation de la proportion des (fonds) de pile qui entravent une bonne séparation des phases liquides.

Le système de presses doit comprendre une laveuse effeuilleuse, un ou plusieurs broyeurs à meules, des super presses équipées de chariots à aiguille centrale, des bassins de décantation et éventuellement pour l'élimination des impuretés. Un avantage de ce système est la production d'une huile pressée à froid et de bonne qualité lorsque les bonnes pratiques d'extraction d'huile et d'hygiène sont respectées.

6. Clarification de l'huile

En sortie de presse, l'huile contient une faible quantité de particules solides appelées pieds de presse ou les ressuages. Ces particules, riches en lipases hydrolysantes doivent être éliminées efficacement pour une bonne conservation de l'huile. La clarification comporte généralement deux étapes : passage de l'huile sur tamis statique ou vibrant, suivi d'une filtration soit sur de traditionnels filtres presses avec cadres et plateaux, soit sur filtre fermé à toile métallique avec programmation et débatissage automatique. L'emploi de décanteur centrifuge horizontal au lieu de filtres est également possible.

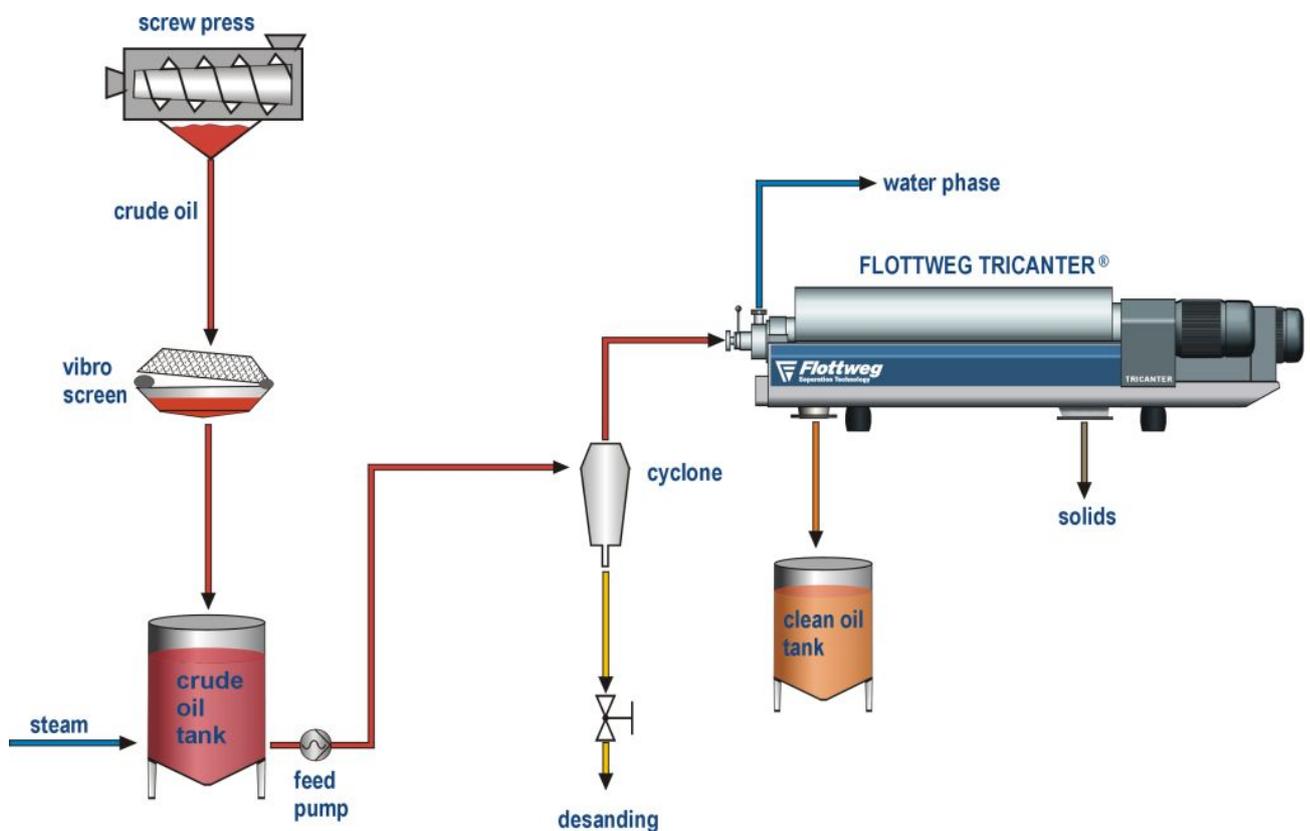


Figure 39: Clarification de l'huile.

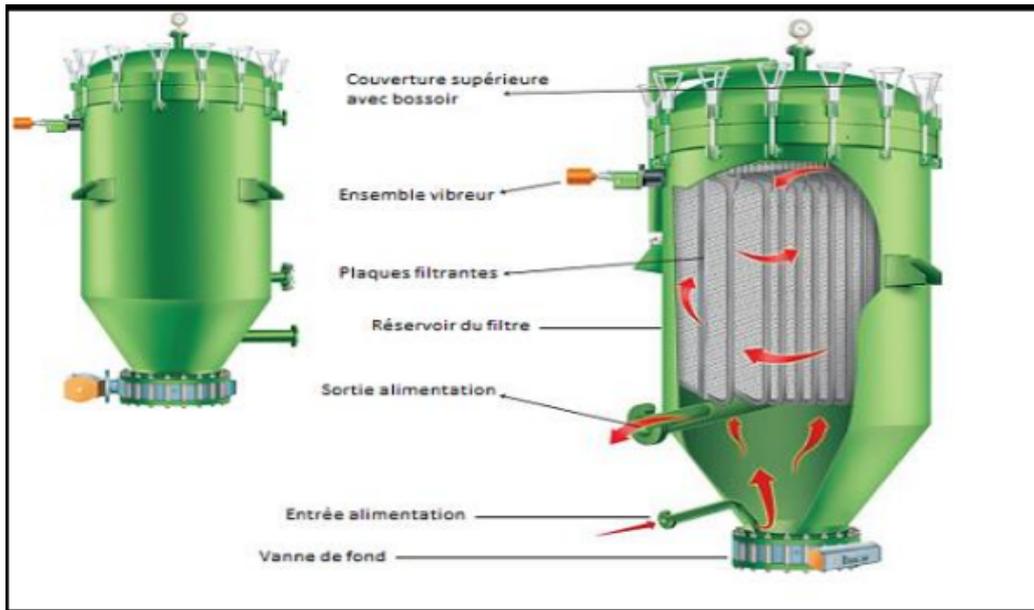


Figure 40: Filtre à débatissage automatique Niagara.

Les ressuages sont recueillis sur un tamis que l'on racle continuellement, et les ressuages sont ajoutés au tourteau puis à nouveau traités à l'extraction. L'huile est conservée dans une cuve avant d'être filtrée sous pression à l'aide de filtres en toile spéciale.

Ces matières sont enlevées grâce à la clarification, soit en laissant l'huile reposer pendant quelques jours pour pouvoir ensuite séparer la couche supérieure, soit en utilisant un clarificateur. Cela se compose d'une cuve remplie d'huile, placée au-dessus d'un feu.

L'huile est portée à ébullition pour faire évaporer l'eau et détruire les enzymes naturelles et les bactéries contaminantes. L'huile est laissée au repos et les contaminants sont évacués. L'huile est filtrée à travers une toile, puis brièvement portée à une température de 100 °C afin d'éliminer toute trace restante d'humidité.



Figure 41 : Filtre à feuille utilisé lors de la clarification.

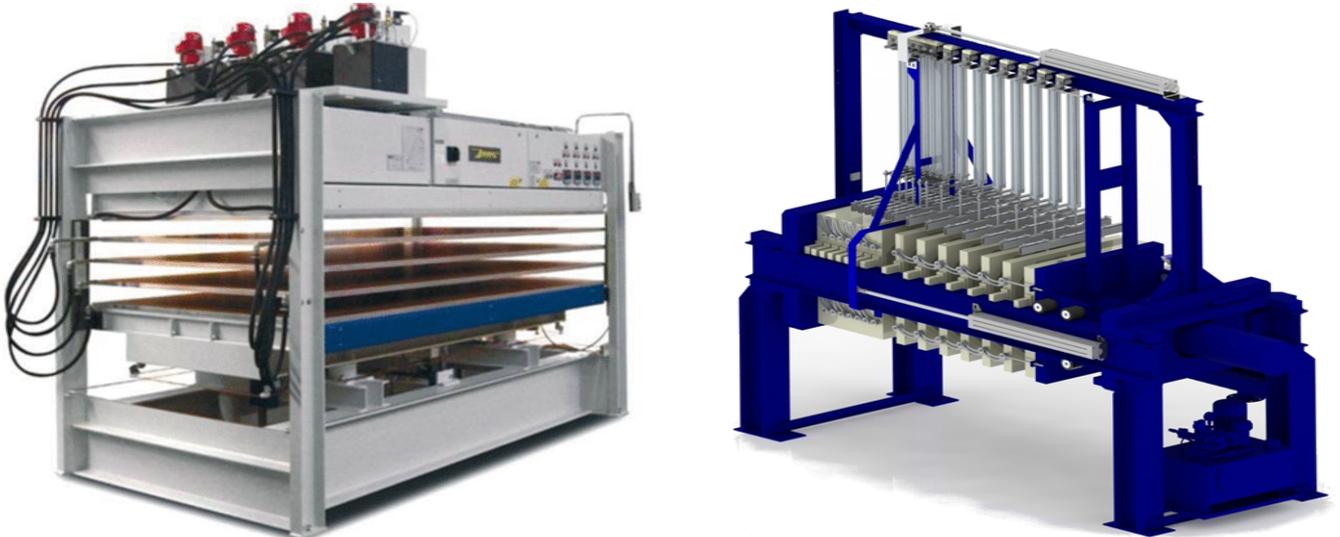


Figure 42: Presses à plateaux.

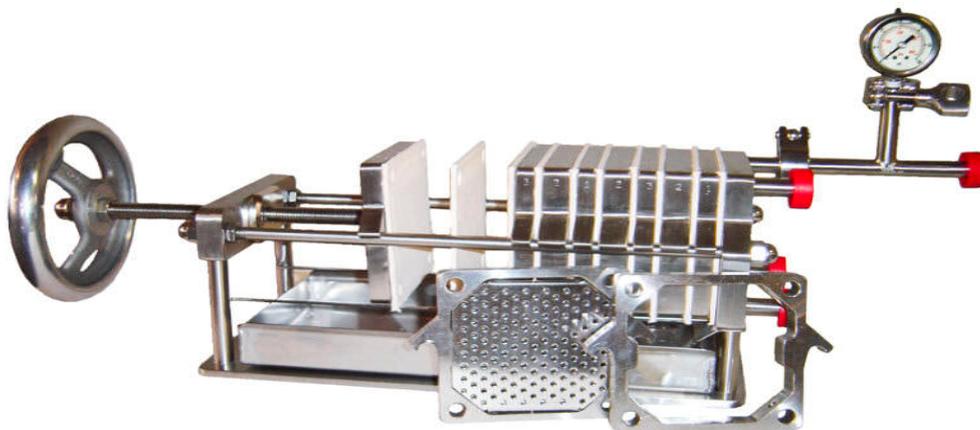


Figure 43: Presse à cadres.

7. Méthodes d'extraction de l'huile

Les méthodes d'extraction comprennent :

- Presses manuelles
- Ghanis
- Extraction par solvants
-

7.1. Méthodes manuelles

L'huile peut être extraite par pression des graines et des fruits tendres, comme les arachides et les noix de karité.

Les pulpes ou les poudres sont disposées dans une presse manuelle ou hydraulique permettant d'extraire une émulsion huile-eau.

Les presses sont de conceptions variées, mais sont toutes élaborées sur la base de la presse à pont. Quel que soit le type de presse, un lot de matières premières est disposé dans la “ cage ” en métal résistante et perforée, et est pressé par le mouvement d'un piston. La quantité de matière disposée dans la cage varie entre 5-30 kg avec une moyenne de 20 kg. Des plateaux peuvent être utilisés dans des cages plus grandes, pour fournir une pression constante à travers le volume des matières, et pour accélérer le processus d'extraction de l'huile. Il faut augmenter progressivement la pression pour laisser le temps à l'huile de s'extraire.

Les systèmes à vis sont plus fiables que les systèmes hydrauliques, mais ils sont plus lents et fournissent moins de pression.



Figure 44: Photographie d'une presse hydraulique.



Figure 45: Scourtin en fibre.

7.2. Les Ghanis

Les graines qui sont dures et fibreuses comme le coprah et de graines de tournesol, peuvent être traitées avec les Ghanis (Figure 46). Ce dernier se compose d'un grand mortier et un pilon, le mortier étant fixé au sol et le pilon est actionné dans le mortier grâce à un animal de trait attelé (âne ou mulet) ou (plus communément) par un moteur. Les oléagineux sont disposés dans le mortier et le pilon broie les matières pour en extraire l'huile. L'huile s'écoule au travers d'un petit trou au fond du mortier et le tourteau est enlevé à la main. Cette méthode est lente et nécessite deux animaux, l'un en remplacement de l'autre à cause de la fatigue, après environ 3-4 heures de travail.

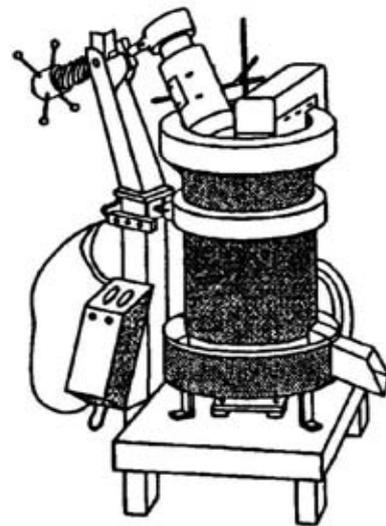
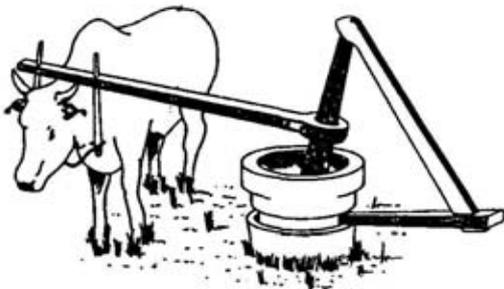


Figure 46: Le Ghanis utilisé pour le broyage des graines fibreuses.

7.3. Extraction par solvant

En sortie de pression, les écailles de presse sont acheminées vers l'atelier d'extraction, où l'hexane est utilisé comme solvant d'extraction.

Les opérations unitaires d'extraction en phase solvant se déroulent en trois étapes spécifiques:

- extraction physique de l'huile contenue dans les écailles de presse ou la graine préparée, dans un extracteur, par un solvant d'extraction (l'hexane);
- désolvantation et toastage du tourteau par évaporation du solvant, opérations souvent combinées à celles de séchage et refroidissement du tourteau avant stockage ;
- distillation du miscella d'huile et de solvant par évaporation pour obtenir l'huile d'extraction et permettre le recyclage du solvant par condensation des vapeurs.

L'extraction de l'huile des écailles de presse est effectuée à l'aide d'un extracteur continu à percolation (à paniers, à bande perforée, à chaîne, ou à filtres sous vide).

Le miscella d'huile et d'hexane obtenu est distillé et l'hexane, après condensation, est recyclé dans le process. L'huile brute d'extraction, après distillation, est stockée, le plus souvent en mélange avec l'huile brute de pression, dans des réservoirs aériens, avant un éventuel raffinage (sur le site de trituration ou sur un autre site). Le stockage des huiles brutes (avant raffinage) peut conduire à la sédimentation de particules solides présentes dans l'huile, appelées fonds de bac

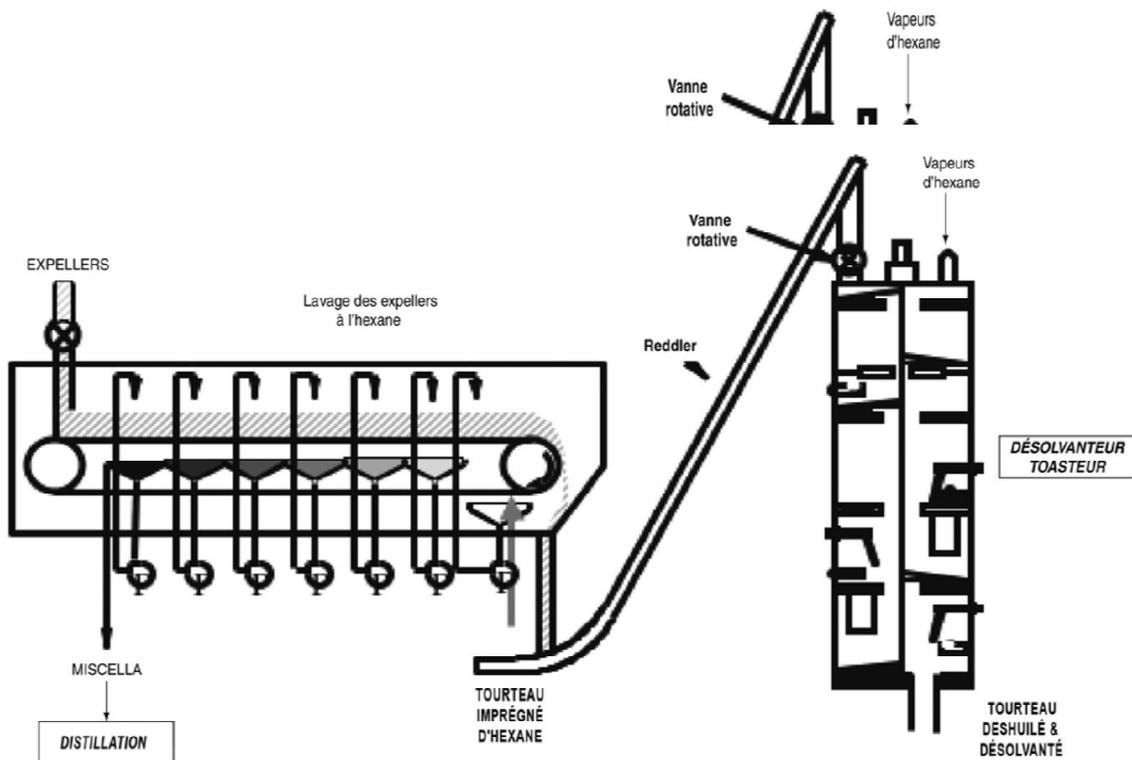


Figure 47: Extraction au solvant et désolvantation-toastage.

En ce qui concerne le tourteau sortant de l'extracteur, il contient environ 30 % d'hexane (en poids) qu'il convient de récupérer. Il est, pour se faire, acheminé dans un désolvantiseur-toasteur (DT), tour verticale constituée d'un empilage de plateaux chauffants. Sur les premiers plateaux s'opère le plus gros de la distillation de l'hexane ; de la vapeur directe est injectée au niveau des plateaux intermédiaires afin de parfaire l'élimination du solvant ; enfin, les plateaux inférieurs assurent le séchage et le refroidissement du tourteau déshuilé.

Lors de l'extraction, l'hexane est récupéré et recyclé, mais les procédés utilisés ne permettent pas de récupérer la totalité de l'hexane utilisé. Les pertes sont de l'ordre de 1 kg par tonne de graines traitées. En sortie de l'installation de désolvantation, le tourteau (ou farine) titre de 0,8 à 2 % environ de matière grasse, suivant les performances de l'installation ; ces farines peuvent être pelletisées (à l'aide d'une « presse à granuler ») afin d'augmenter la densité du produit, de minimiser les problèmes de poussières et d'assurer un calibrage physique régulier du produit.

Après stockage dans des silos du type de ceux utilisés pour le stockage des graines, les tourteaux sont expédiés par trains, camions ou bateaux depuis des gares de chargement, le plus souvent à l'aide de boisseaux.

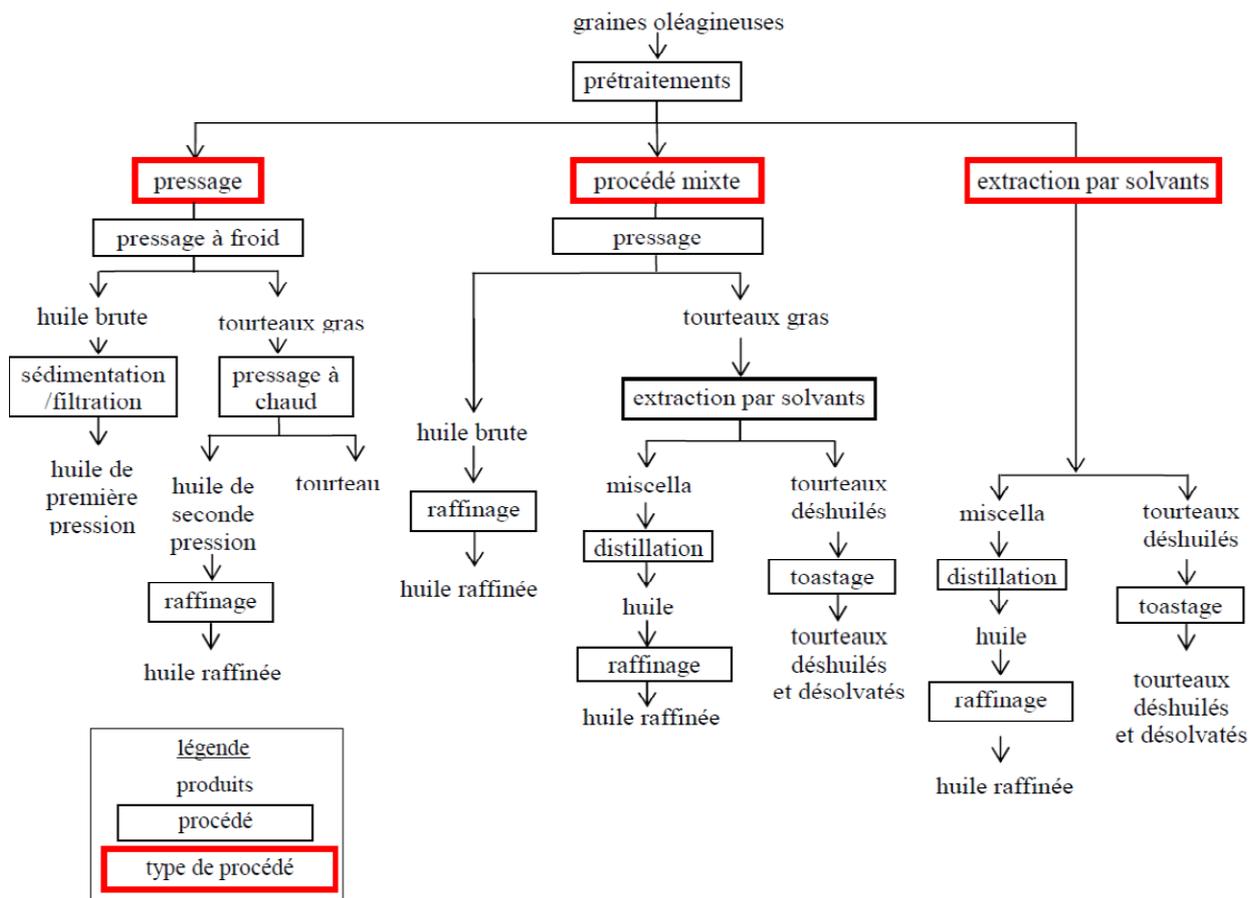


Figure 48: Procédés classiques d'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses (Gros, 2005).

7.3.1. Propriétés du solvant d'extraction idéal

Selon Despau (1978), les principales propriétés souhaitées pour le solvant utilisé en huilerie, afin d'obtenir une bonne qualité d'huile extraite aux moindres coûts d'exploitation sont :

- ✓ Un point d'ébullition bas, mais suffisamment élevé avec un intervalle de distillation étroit, afin de faciliter l'élimination du solvant dans l'huile et les tourteaux.
- ✓ Un point de fusion au dessous de 0°C pour éviter les cristallisations dangereuses.
- ✓ Une faible viscosité, pour faciliter les transferts.
- ✓ La non-miscibilité et la non solubilité à l'eau, bien qu'il existe des procédés de récupération, dont il faudra tenir compte, du point de vue économique.
- ✓ Des propriétés calorifiques (chaleur spécifique et chaleur de vaporisation faible) permettant d'effectuer une récupération aisée et économique.
- ✓ Etre conforme aux normes de sécurité et de salubrité et donc dans le cadre des recherches actuelles, être si possible, inflammable, non explosif, peu toxique.
- ✓ Un pouvoir solvant suffisant, mais également une bonne sélectivité pour éviter l'extraction de produits qu'il faudrait ensuite éliminer au raffinage.
- ✓ Conserver à l'huile et aux tourteaux leurs qualités d'origine c'est-à-dire ne pas favoriser l'introduction de produits toxiques et ne pas modifier la saveur d'origine (qualité organoleptique).
- ✓ Avoir un bon pouvoir mouillant (faible tension superficielle).

En égard aux grands nombres de conditions à satisfaire, il paraît qu'un solvant réunissant simultanément toutes ces qualités n'existe pas.

Chapitre III : Raffinage de l'huile

1. Définition

Le raffinage est l'ensemble des opérations qui servent à transformer l'huile brute en un produit comestible en éliminant les impuretés qui le rendent impropres à la consommation en l'état.

Selon le décret n° 73.139 sur les graisses et huiles comestibles, « le raffinage a pour but de maintenir ou d'améliorer les caractères organoleptiques et la stabilité des corps gras alimentaires ». Ce traitement comprend une série d'opérations ayant pour but d'éliminer les composés mineurs indésirables responsables des goûts et des odeurs spécifiques des huiles brutes et de leur mauvaise conservation.

Le raffinage des corps gras bruts doit garantir aux consommateurs un produit d'aspect engageant avec un goût neutre, résistant à l'oxydation, adapté à l'emploi désiré et débarrassé de ses substances toxiques ou nocives ; et le produit final doit être stable et ne former ni trouble ni dépôt au cours de la conservation.

Pour qu'une huile soit saine, loyale et marchande, elle doit subir les opérations du raffinage. Il existe 2 grands types de raffinage :

- le raffinage chimique ;
- le raffinage physique.

2. Raffinage chimique

Les opérations du raffinage des huiles et des graisses sont les suivantes :

2.1. Démucilagination ou Dégommage

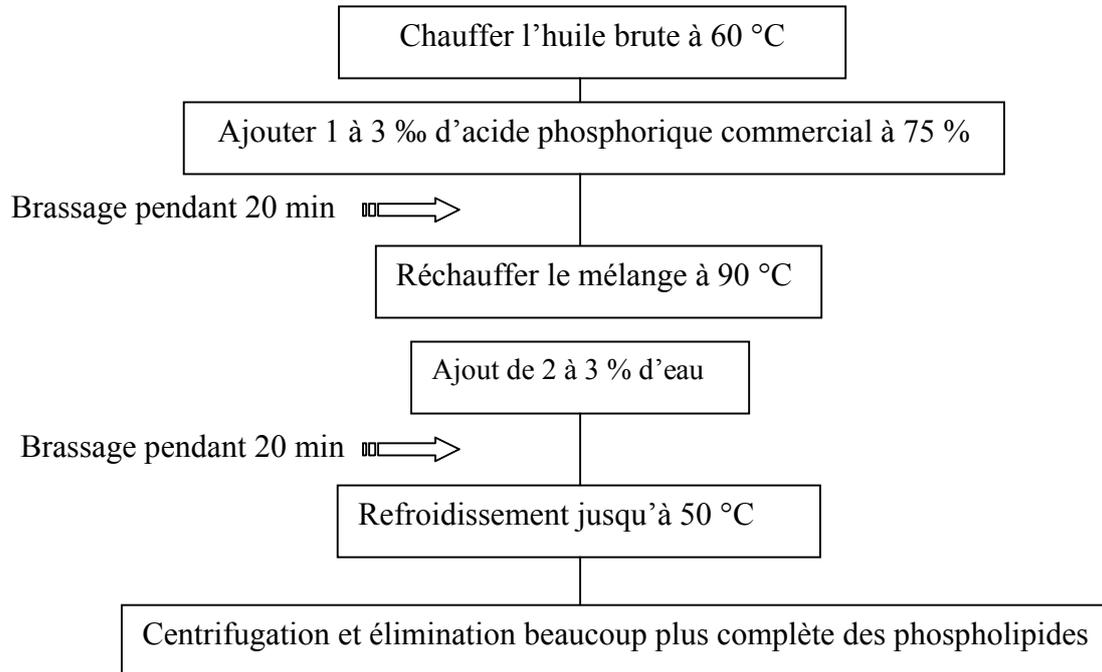
La démucilagination consiste à éliminer de l'huile brute les composés susceptibles de devenir insolubles par hydratation (phospholipides qui troublent l'huile et induisent des colorations lors de son chauffage, lipoprotéines, etc) ou d'être éliminés avec la phase aqueuse (hydrates de carbone) pour éviter des dépôts ultérieurs dans les bouteilles et la formation de mousse à la friture.

Il est important de signaler que les huiles raffinées, mal débarrassées de leurs phospholipides peuvent s'acidifier, s'oxyder et développer plus rapidement un goût désagréable. De point de vu technique, l'élimination incomplète de ces composés peut conduire à des difficultés dans les étapes ultérieures du raffinage tels que la désactivation des terres décolorantes, le colmatage au niveau des filtres et l'inhibition de la désodorisation.

La démucilagination est effectuée par lavage de l'huile avec de l'eau légèrement acidulée ou additionnée de phosphate. Le dégomme s'effectue en continu. L'huile brute est chauffée à 80°C dans un échangeur à plaques. Elle reçoit un appoint de 2 à 3 % d'eau avant de passer dans un mélangeur rapide puis dans un contracteur dans lequel le mélange huile-eau est brassé pendant une demi-heure avant centrifugation. Cette technique est employée en particulier pour l'huile de soja.

Les gommages sont récupérées par centrifugation et peuvent ainsi être valorisées après séchage ; on obtient ainsi la « lécithine » brute. Pour des huiles brutes moins riches en phospholipides (colza, tournesol), la centrifugation n'est pas nécessaire ; on parle dans ce cas d'une étape de conditionnement des mucilages qui se fait généralement par chauffage de l'huile à 60-80 °C, addition de 0,1 à 0,3 % d'acide phosphorique à 75 %, passage dans un mélangeur rapide puis dans un contacteur lent ; le mélange est ensuite envoyé à l'étape de neutralisation. L'acide phosphorique est de loin l'acide le plus employé industriellement à cette étape.

Lavage de l'huile avec de l'eau additionnée de phosphate : la technique la plus couramment utilisée consiste à :



2.2. Neutralisation

La neutralisation consiste à éliminer les acides gras libres de l'huile démulcinée. Les techniques de neutralisation des huiles végétales les plus utilisées sont :

- ✓ La neutralisation chimique ou alcaline (par la soude ou par la chaux).
- ✓ La neutralisation physique (par distillation).

La neutralisation à la soude est la méthode la plus répandue à l'échelle industrielle. Elle élimine les acides gras libres sous forme de savons appelés « pâtes de neutralisation » ou « Soapstocks ». Les pâtes contiennent également les mucilages, diverses impuretés et de l'huile neutre entraînée sous forme d'émulsion (pertes du raffinage). La réaction de neutralisation est de la forme:



L'huile démulcinée est neutralisée par introduction sous pression de la soude dont la quantité et la concentration dépendent de l'acidité de l'huile. Les savons formés sont séparés de l'huile par centrifugation puis sont envoyés dans un bac de récupération et de là vers l'atelier de scission des pâtes. Les pâtes de neutralisation peuvent être réintroduites dans les tourteaux. Cependant, elles sont généralement décomposées à l'aide d'acide chaud lors d'une opération dite de « cassage des pâtes ». Il s'agit d'une réaction consommatrice d'énergie, délicate à mener, et générant des vapeurs sulfuriques.

Ce traitement produit des acides gras bruts et des « huiles acides ». Ces dernières sont valorisables en alimentation animale. Les pâtes peuvent également être expédiées sans traitement préalable pour être valorisées dans des entreprises extérieures.

L'huile neutralisée est ensuite lavée à l'eau à plusieurs reprises en vue d'éliminer toutes traces de savons. Ces lavages sont suivis d'une déshydratation. L'huile lavée est pulvérisée dans un bac de stockage appelé sécheur relié à un système de vide pour aspirer les vapeurs d'eau. Le procédé génère des pâtes de neutralisation et des eaux de lavage qui doivent être prétraitées avant rejet.

2.3. Décoloration

La décoloration succède à l'étape de neutralisation au cours du raffinage. C'est une opération qui vise à éliminer les pigments colorés (β -carotène, chlorophylles, caroténoïdes, etc.) que la neutralisation n'a que partiellement détruits. Cette opération permet en outre, d'éliminer les savons résiduels, les traces de mucilage, les métaux lourds et les peroxydes.

Elle fait intervenir un phénomène physique: l'adsorption sur des terres décolorantes, du charbon actif, des silices spéciales ou des combinaisons de ces substances. La quantité de terre décolorante utilisée à l'échelle industrielle dépend de la nature de l'huile à traiter. Ces quantités varient de 0,2 à 0,9 % pour les huiles d'arachide, de tournesol, de maïs, de soja, de colza et de coton. Pour l'huile de palme et l'huile grignon d'olive (contenant plus que 20 ppm de chlorophylles), la quantité de terre activée peut aller jusqu'à 2 %.

Une fois décolorée, l'huile est séparée de la terre à l'aide de filtres hermétiques à toiles métalliques en acier inoxydable. La saturation de ces derniers conduit à l'obtention d'un gâteau de décoloration. Ce dernier n'est pas incorporé aux tourteaux pour être valorisé en alimentation animale. Il est majoritairement composté ou méthanisé.

2.4. Décirage des huiles végétales

Les huiles de tournesol, de maïs, de pépins de raisin, de coton, de grignon d'olive, etc. contiennent des cires qui deviennent insolubles à température ordinaire. Les cires sont des esters d'alcools gras et d'acides gras à longue chaîne qui cristallisent à température ambiante. Les cristaux formés provoquent un trouble puis un dépôt qui nuisent à la présentation commerciale du produit. L'huile subit un refroidissement qui provoque la cristallisation des composés à haut poids de fusion (cire 70°C) et une séparation qui permet d'éliminer les cristaux formés.

A l'origine, on se contentait d'un traitement naturel qui consistait à laisser décanter les cristaux de cires lors du stockage hivernal de l'huile de tournesol, c'est de là que vient le terme « wintérisation ». Cette étape est aussi réalisée sur l'huile de palme, pour séparer l'huile en deux produits distincts : une matière solide grasse (stéarine) et une huile liquide (oléine).

2.5. Désodorisation

La désodorisation est pratiquée pour assurer l'élimination de toutes les substances de goût ou d'odeur désagréable (acides à chaînes courtes, aldéhydes, cétones, alcool, etc.) ainsi que les résidus de pesticides et de mycotoxines éventuellement présents. Ces substances étant volatiles, il suffit pour les éliminer de chauffer l'huile sous très grand vide à 180 à 220°C.

Le haut vide permet d'éviter tout risque d'oxydation ou de polymérisation. L'huile une fois désodorisée est refroidie toujours sous vide avant d'être filtrée puis conditionnée sous azote afin de la protéger contre l'oxydation. On obtient ainsi une huile plate. Certains raffineurs ajoutent à l'huile, dans le désodorisateur ou à sa sortie, une petite quantité d'acide citrique indiqué pour améliorer sa conservabilité.

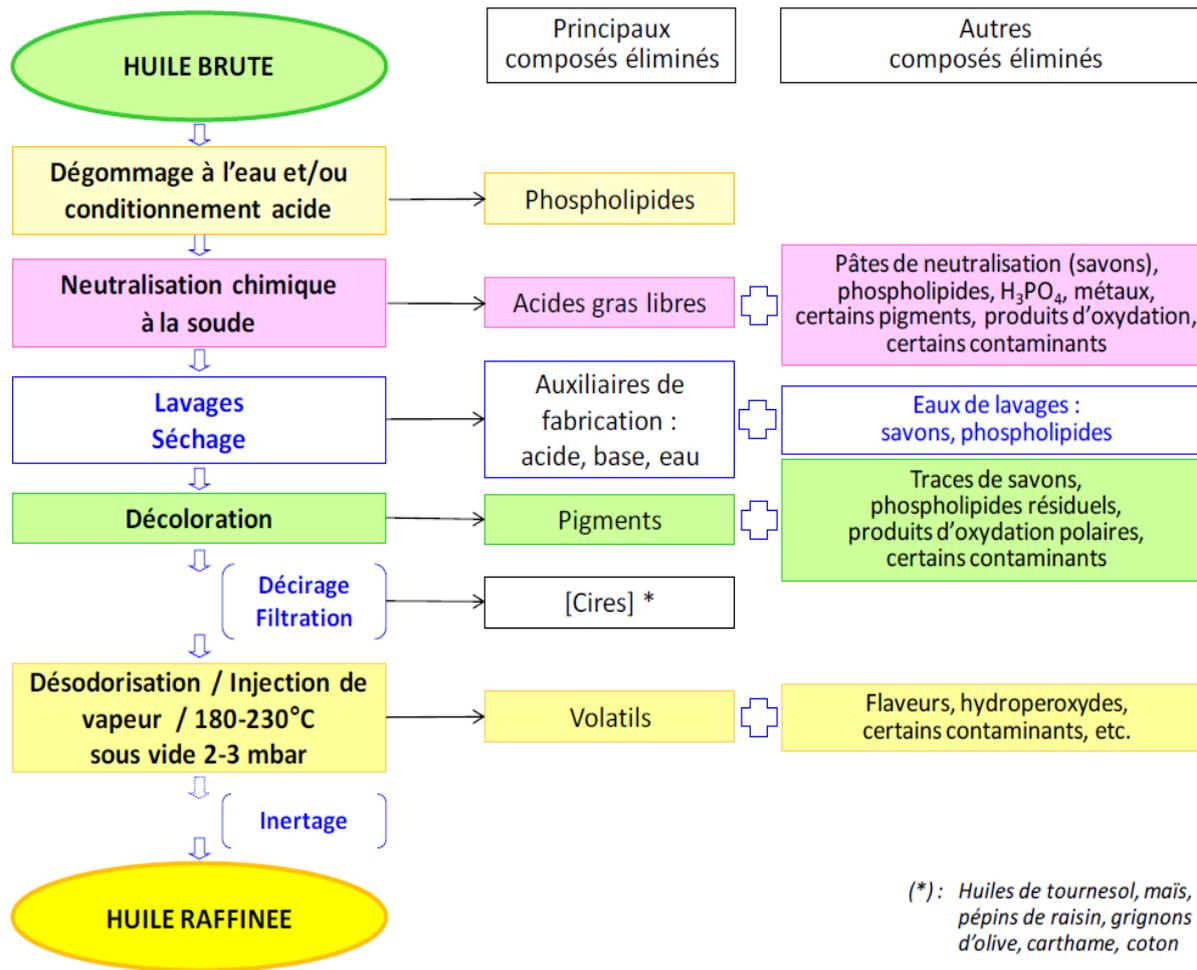


Figure 49: Les étapes du raffinage chimique des huiles végétales brutes.

3. Raffinage physique

Le raffinage physique consiste à traiter l'huile par un entrainement à la vapeur, sous vide poussé, à une température supérieure à 235 °C, d'où les noms de distillation neutralisante ou de raffinage à la vapeur. Ce procédé ne comporte pas l'étape de neutralisation chimique à la soude, donc il ne génère pas de pâtes de neutralisation. Les acides gras libres sont éliminés lors de la désacidification par distillation, les phospholipides et les autres impuretés doivent être éliminés préalablement par pré-traitement.

Le désodorisateur utilisé doit comporter :

- Un système de chauffage permettant de maintenir l'huile à une température supérieure à 240 °C.
- Un système d'injection permettant d'insuffler un volume suffisant de vapeur pour permettre l'entraînement complet des acides gras libres.
- Des cheminés d'évacuation renforcées pour que l'entraînement gazeux ne soit pas gêné.
- Un système de vide renforcé pour permettre l'aspiration des gaz (vapeur + distillation) et pour réduire les poids de vapeur d'eau à insuffler.
- Des déflecteurs spécialement adaptés pour piéger les gouttelettes d'huile entraînées par le courant de gaz.
- Des laveurs de gaz adaptés à la quantité de distillat à condenser.

La qualité de l'huile raffinée par distillation dépend essentiellement de l'efficacité du prétraitement. Pour que l'huile désodorisée ait une qualité acceptable, il est absolument indispensable qu'à l'entrée de l'appareil, l'huile ait une teneur en phosphore inférieure à 3 ppm et soit débarrassée de ces traces métalliques (fer < 0,1 ppm et cuivre < 0,01 ppm).

Ces conditions sont délicates à réaliser, c'est pourquoi le raffinage physique fut réservé aux huiles saturées pauvres en phospholipides (palme, palmiste, coprah, olive) et aux corps gras animaux. Les huiles polyinsaturées, sensibles à l'oxydation, ne peuvent par être raffinées de la sorte, sans risque de formation de réactions parasites du type polymérisation ou isomérisation.

3.1. Dégommage acide

De l'eau et de l'acide (phosphorique ou citrique) sont ajoutés à l'huile préalablement chauffée vers 80-90 °C. Le mélange est ensuite « mûri » pendant 20 à 30 minutes.

Pendant ce temps les phospholipides hydratés vont flocculer grâce à l'eau introduite et les phospholipides non hydratés vont former un complexe avec l'acide citrique, ce qui va les rendre hydratés et permettre ainsi leur floculation.

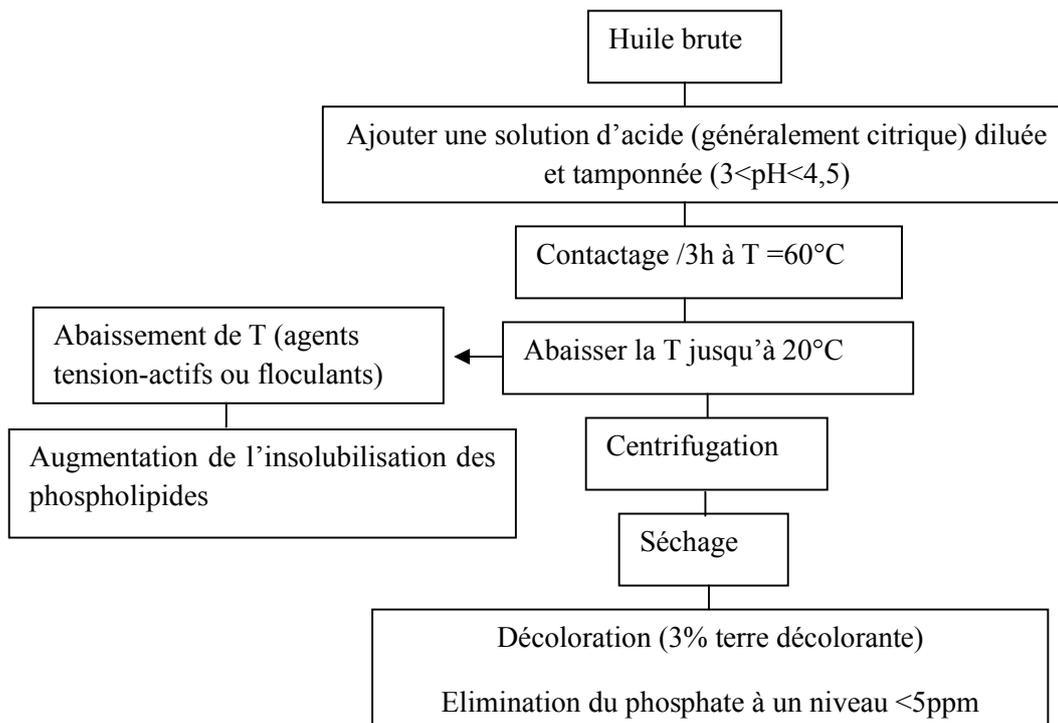
Les floculats ainsi formés sont éliminés par centrifugation. Cette première étape permet l'élimination d'environ 80 % des phospholipides.

3.2. Superdégommage

L'étape de dégommage acide est suivie éventuellement d'une étape dite de « super-dégommage » ou unidégommage pour parfaire l'élimination des phospholipides. Le superdégommage peut être réalisé soit par voie humide soit par voie sèche.

3.2.1. Voie humide

Le super-dégommage par voie humide est effectué à l'aide d'une solution acide (généralement l'acide citrique) diluée et tamponnée de façon à ce que le pH soit compris entre 3 et 4,5. La température initiale est fixée à 60 °C, puis est abaissée jusqu'à 20 °C, ce qui augmente l'insolubilisation des phospholipides, également favorisée par la présence d'agents tensio-actifs ou de flocculants. Après centrifugation, l'huile est séchée puis décolorée.



3.2.2. Voie sèche

Pour les huiles pauvres en phospholipides (huiles concrètes et huiles d'olive), cette étape complémentaire n'est pas pratiquée ; le prétraitement consiste en un conditionnement à l'acide phosphorique concentré (75 %) ou dilué au tiers, suivi d'une addition d'eau qui fait précipiter les mucilages qui sont éliminés par centrifugation ou lors de la décoloration.

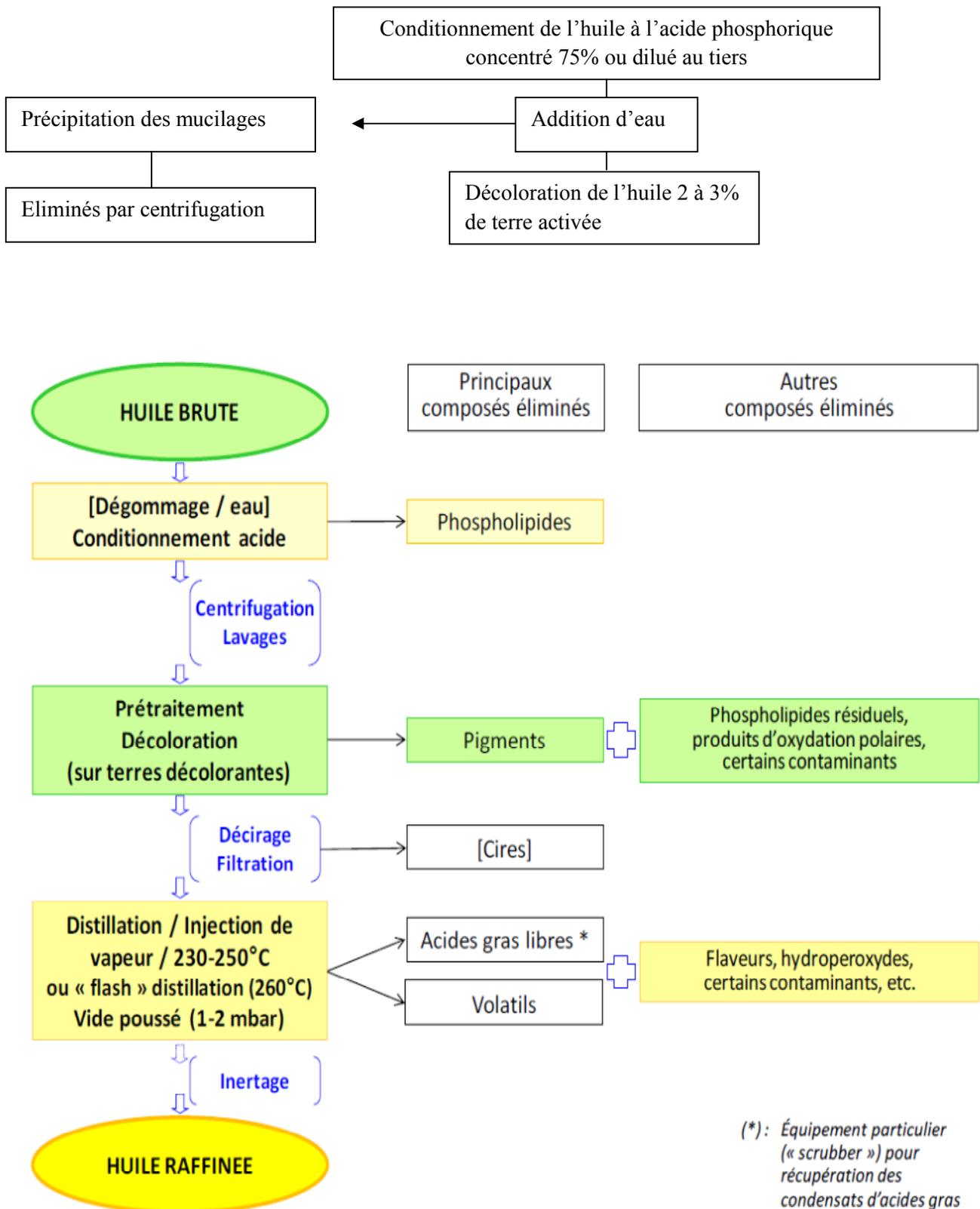


Figure 50: Les étapes du raffinage physique des huiles.

4. Quelques composés éliminés au cours du raffinage

De nombreux composés coexistent avec les corps gras naturels, vitamines, stérols, tocophérols. D'autres doivent, par contre, être éliminés parce qu'ils sont toxiques ou parce qu'ils nuisent à la présentation du produit, à ses qualités organoleptiques et à sa conservation.

4.1. Acides gras libres

Les acides gras libres sont naturellement présents dans la graine ou proviennent de réactions d'hydrolyse enzymatique qui se produisent dans les huiles brutes. Ils sont beaucoup plus sensibles à l'oxydation que les triglycérides. L'élimination des acides gras libres s'effectue soit par voie chimique (neutralisation à la soude) soit par voie physique (entraînement à la vapeur).

4.2. Eau

L'eau naturellement présente dans la graine, chargée d'impuretés solubles, il faut l'éliminer de l'huile brute aussi rapidement que possible par centrifugation puis séchage sous vide.

4.3. Glycérides partiels

Les glycérides partielles sont considérées comme des agents émulsifiants très gênants pouvant entraîner des pertes importantes lors des centrifugations. De plus, leur présence dans les huiles raffinées augmenterait la tendance à la formation de mousse au cours des fritures profondes.

4.4. Phospholipides

Les propriétés émulsifiantes et tensioactives des phospholipides gênent les opérations du raffinage si bien que leur élimination constitue le premier stade de tous les procédés.

4.5. Colorants

Les colorants d'origine oxydative sont responsables de la couleur brune de certaines huiles. Ils sont beaucoup plus gênants que la β carotène et la chlorophylle car ils ne sont que peu retenus par les produits adsorbants utilisés pour décolorer les huiles.

4.6. Sucres libres, glycolipides

Les sucres libres et les glycolipides proviennent des hydrates de carbone présents dans les graines au moment de la récolte. Certains de ces composés forment avec l'eau des mucilages.

4.7. Hydrocarbures, résines

Les huiles végétales contiennent des traces de paraffines, de squalène (hydrocarbure triterpénique dans certaines huiles), des traces d'hexane.

4.8. Stérols, tocophérols

Certains stérols peuvent permettre la détection d'adultérations (ex : brassicastérols caractéristique des huiles de colza, navette, moutarde). Ils sont entraînés à la vapeur lors de la désodorisation. Les tocophérols sont des protecteurs naturels des huiles brutes végétales. Une partie disparaît au cours du raffinage surtout lors de la désodorisation.

4.9. Cires

Les cires se trouvent naturellement dans certaines huiles. A une température de 40°C, les cires commencent à précipiter donnant au produit un aspect trouble et floconneux.

4.10. Composés métalliques et composés responsables de l'odeur et du goût

Les composés métalliques sont présents à l'état de trace et généralement liés à des composés organiques. Ex : fer, cuivre (puissants catalyseurs d'oxydation). Ils sont éliminés par raffinage classique à la soude. Les composés soufrés sont à l'origine du goût et de l'odeur caractéristiques des crucifères (colza). Ils sont éliminés par entraînement à la vapeur sous pression réduite.

4.11. Substances toxiques naturellement présentes dans les corps gras

Les composés les plus connus sont le gossypol, composé phénolique rouge brun présent dans l'huile de coton, et l'aflatoxine rencontrée surtout dans l'huile d'arachide. Ils sont éliminés par le raffinage à la soude caustique.

4.12. Substances d'origine externe

Les pesticides peuvent se retrouver à la surface des graines, ces composés liposolubles peuvent se retrouver dans les huiles végétales ou dans les tissus adipeux d'animaux nourris avec des substances végétales contaminées.

Ex :

Insecticides organophosphorés ----- éliminés par hydrolyse lors de la neutralisation.

Insecticides organochlorés ----- éliminés par désodorisation.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques, substances introduites dans la matière première par le moyen utilisé pour le séchage des graines ou des pulpes sur les lieux de récolte (huile de coprah). Ils sont éliminés par charbons actifs lors de la décoloration.

5. Conditionnement de l'huile

Le conditionnement est la mise sous emballage des huiles pour assurer leur conservation et leur transfert depuis l'usine de fabrication jusqu'aux consommateurs. Le conditionnement doit permettre une excellente conservation jusqu'au moment de l'emploi. De plus, il doit être d'une inertie totale vis -à-vis de l'aliment.

Pour garantir une conservation de plusieurs mois, les huiles doivent être stockées dans des contenants opaques, étanches à l'air et à l'humidité, dans un endroit frais. Les boîtes de conserve à double couche, les faïences vernissées, le verre et le plastique de qualité alimentaire sont tous des contenants adaptés, lorsqu'ils sont convenablement étanchéifiés.

Les emballages plastiques les plus employés sont :

- ✓ Le polyéthylène haute densité (PEHD)
- ✓ Le polyéthylène basse densité (PEBD)
- ✓ Le polyéthylène téréphtalate (PET)

Ces matières plastiques réunissent les qualités suivantes :

- ✓ Etanchéité et imperméabilité
- ✓ Bonne résistance mécanique
- ✓ Non toxicité
- ✓ Non miscibilité des constituants de ces matières avec le produit (corps gras) à

Conserver.

6.Conservation et stockage

Bien que certaines huiles se conservent le plus longtemps, en raison de leur faible acidité et de leur patrimoine antioxydant, cette conservation n'est pas infinie, du moins en ce qui concerne ses qualités organoleptiques.

Il convient, donc, de respecter les règles suivantes :

- ✓ La température de stockage doit être relativement basse. Il faudra, donc, utiliser des systèmes tendant à éviter les sources de chaleur, mais sans recourir aux systèmes de refroidissement. La température optimale se situe entre 15 et 25°C.
- ✓ L'absence de radiations, et en particulier de radiations ultraviolettes, qui sont à l'origine de la formation des radicaux qui déclenchent les réactions d'auto-oxydation.
- ✓ Le matériau des récipients doit être inattaquable ; à cet effet, les meilleurs matériaux sont l'acier inoxydable de qualité alimentaire et le fer iso vitrifié. Les revêtements en matières plastiques sur l'acier ou contenant du cuivre sont à déconseiller.

Le plus grand soin doit être aussi apporté lors de la suppression de toute trace résiduelle sur les contenants, ainsi que sur leur séchage complet avant de les remplir à nouveau, car toute humidité résiduelle, ou toute trace d'huile rance à l'intérieur du contenant abîmera très rapidement l'huile fraîche.

Chapitre IV : Types d'huiles et méthodes d'obtention

1. Dénominations et qualificatifs réglementaires

« **Huile vierge de...** » : dénomination réservée aux huiles alimentaires provenant exclusivement de la graine ou du fruit dont le nom figure sur la dénomination. Les huiles ainsi dénommées doivent avoir été obtenues uniquement par des procédés mécaniques, clarifiées seulement par des moyens physiques ou mécaniques et n'avoir subi aucun traitement chimique, ni aucune opération de raffinage.

« **Huile de...** » : toute huile, autre que l'huile d'olive, provenant d'une seule graine ou d'un seul fruit, qui en sus des opérations prévues pour les huiles vierges, a subi celles du raffinage. La présence d'une huile étrangère peut être tolérée jusqu'à 2% dans le produit fini, compte tenu de certains impératifs techniques.

« **Huile végétale** » : huile constituée par un mélange d'huiles végétales alimentaires. Parmi les huiles végétales on retrouve les deux mentions suivantes :

- « **Huile végétale pour friture et assaisonnement** » si la teneur en acide linoléique ne dépasse pas 2%.
- « **Huile végétale pour assaisonnement** » si la teneur en acide linoléique est supérieure à 2%.

« **Huiles d'olives vierges** » : huiles obtenues à partir du fruit de l'olivier, uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques, dans des conditions thermiques notamment, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile, et n'ayant subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration.

« **Huile d'olive vierge extra** » : huile d'olive vierge et dont la notation organoleptique est égale ou supérieure à 6,5, dont l'acidité libre est au maximum de 1%.

« **Huile d'olive vierge** » (l'expression « fine » pouvant être employée au stade de la production et du commerce de gros) : huile d'olive vierge et dont la notation organoleptique est égale ou supérieure à 5,5, dont l'acidité libre est au maximum de 2%.

« **Huile d'olive vierge lampante** » : huile d'olive vierge et dont la notation organoleptique est inférieure à 3,5, et/ou l'acidité libre est supérieure à 3,3% (ce type d'huile était utilisé autrefois comme combustible dans les lampes à huile, d'où ce nom).

« **Huile d'olive raffinée** » : huile d'olive obtenue par le raffinage d'huiles d'olive vierges, dont l'acidité libre ne peut être supérieure à 0,5.

« **Huile d'olive** » : huile constituée par un coupage d'huile d'olive raffinée et d'huiles d'olive vierges autres que lampantes, dont l'acidité libre ne peut être supérieure à 1,5.

2. Les Principales huiles alimentaires

Les huiles alimentaires sont extraites à partir des plantes oléagineuses. Ces dernières sont des plantes qui fournissent des huiles soit à partir de leurs graines, comme le colza, le soja, le noyau de palme ou le tournesol ; soit à partir de leurs fruits comme la palme et l'olive.

Il existe d'autres plantes qui fournissent aussi de l'huile, mais qui sont cultivées à moins grande échelle : c'est le cas des noix, des noisettes et des amandes. Certaines plantes oléagineuses ne servent pas à l'alimentation : c'est le cas du lin qui donne une huile industrielle, utilisée dans la fabrication des peintures. Après l'extraction de l'huile de la graine, il reste un résidu qui est très riche en protéines. Ce résidu s'appelle « tourteau » ; les tourteaux sont utilisés pour nourrir les bétails.

2.1. L'huile de palme

L'huile de palme, solide à température ambiante est obtenue à partir du fruit d'une espèce de palmier africain. De goût et parfum légers, elle convient bien pour tous les usages, de la friture à la préparation de vinaigrettes. Très populaire dans les cuisines asiatiques, cette huile possède 79 % de gras saturés.

2.2. L'huile de soja

Huile légère, jaunâtre et onctueuse extraite des gousses de soja. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée de haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel alpha-linolénique. Très utilisée en Amérique pour la fabrication de margarine et s'emploie surtout à froid, comme assaisonnement. Elle contient seulement 15% de gras saturés et contient des acides gras qui permettraient de contrôler le cholestérol sanguin.

Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales. En effet, les lécithines participent au transport des esters de cholestérol, des sels biliaires et des lipoprotéines. On la recommande aux personnes nerveuses et aux diabétiques. Sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer.

2.3. L'huile de colza

L'huile de Colza (appelée aussi Canola) possède la plus faible teneur en gras saturés (6%) et est constituée en majeure partie d'acide oléique (58% des acides gras). Elle contient en outre des quantités appréciables d'acides gras essentiels : 22% d'acide linoléique et 9% d'acide alpha-linolénique. Parmi toutes les huiles de grande consommation, l'huile de colza est la seule, avec l'huile de soja, à apporter de l'acide alpha-linolénique.

Elle aurait pour effet de diminuer le taux de cholestérol sanguin en plus d'avoir des effets bénéfiques sur le cerveau. Sans goût, elle convient aussi bien pour la cuisson, les vinaigrettes que pour les pâtisseries, mais dégage une odeur désagréable à haute chaleur.

2.4. L'huile de tournesol

Extraite des graines de tournesol, cette huile jaune pâle est de saveur douce, d'odeur légère et agréable. C'est une très bonne huile de table et convient aussi bien pour les sautés, la confection de vinaigrettes et la préparation de mayonnaises que pour les fritures douces. Souvent utilisée pour la confection de margarines, cette huile est fortement recommandée par les diététiciens en raison de la forte proportion d'acides gras essentiels qu'elle contient (ex : acide linoléique). De plus, son contenu élevé en gras poly insaturés et faible en gras saturés en fait un choix santé.

2.5. L'huile de sésame

Très populaire dans la cuisine orientale, cette huile extraite des grains de sésame se distingue par son goût riche et délicat de noisettes grillées. Elle est surtout utilisée pour les salades, les grillades et comme assaisonnement. L'huile de sésame est essentiellement composée de gras insaturés.

2.6. L'huile de coprah

Aussi appelée « huile de noix de coco », cette huile obtenue à partir de la chair de la noix de coco est solide à température ambiante. Très utilisée dans l'industrie alimentaire pour la confection de chocolat, de crèmes glacées et de margarines, et comme huile de cuisson, on la retrouve aussi dans l'industrie cosmétique où elle entre notamment dans la composition de savons. Son contenu en gras saturés est très élevé.

2.7. L'huile d'olive

L'huile d'olive est la matière grasse extraite des fruits de l'olivier lors de la trituration dans un moulin à huile. L'huile d'olive est uniquement utilisée à des fins de consommation alimentaire du fait même de sa définition : huile produite exclusivement à partir d'olives pour la consommation humaine. Elle revêt plusieurs caractéristiques la rendant très intéressante sur le plan nutritionnel :

- elle résiste très bien à la friture ;
- sa richesse en acide oléique lui confère un rôle dans la lutte contre les maladies cardiovasculaires. Comme le montre les études sur la diète méditerranéenne, elle a un effet hypocholestérolémiant ;
- elle gêne aussi l'agrégation plaquettaire au niveau des vaisseaux sanguins et réduit ainsi les risques de thrombose artérielle ;
- l'huile d'olive a aussi un effet bénéfique sur les fonctions digestives notamment en régulant le transit intestinal, et en favorisant la sécrétion de bile. De toutes les huiles, c'est la mieux absorbée par l'intestin.

2.8. L'huile de maïs

L'huile de maïs, de première pression à froid, est assez visqueuse, de couleur jaune clair à jaune brun, à saveur et odeur de grain (quand elle est fraîche). Elle est riche en acides gras poly-insaturés (famille des linoléiques) et peut servir à la friture comme à l'assaisonnement.

2.9. L'huile d'arachide

L'huile d'arachide de première pression à froid est de couleur variant du jaune au brun, sa saveur est particulière et à peine perceptible dans les espèces fines. Riche en acides gras mono-insaturés, elle peut être utilisée pour l'assaisonnement, la cuisson et les fritures. Elle résiste particulièrement bien aux hautes températures.

2.10. L'huile de pépins de raisin

L'huile de pépins de raisin est une huile fluide, de saveur douce, de couleur claire et inodore. Elle provient des régions viticoles du midi de la France et en Italie. Elle est riche en acide gras essentiel linoléique.

2.11. L'huile de noix

L'huile de noix est de couleur jaune clair à verdâtre, elle est surtout recherchée pour son goût exceptionnel. Elle contient les deux acides gras essentiels en grande quantité, ce qui est un atout rare. Sa richesse en acide alpha-linolénique en fait une huile qui rancit vite. Il vaut donc mieux l'acheter en petits conditionnements.

Tableau XI: Caractéristiques physiques de quelques huiles.

| | Point de fusion (°C) | Densité | Viscosité (cSt) |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------|
| Gasoil | -12 | 0,83 | 4,2 |
| Huile de Tournesol | -15 | 0.94 | 66 |
| Huile de Lin | -24 | 0.93 | 45-50 |
| Huile de Colza | < 2 | 0.91 | 98 |
| Huile de son de Riz | -5 à -10 | 0.91 | |
| Huile de Maïs | -18 à -10 | 0.90 | 65 - 72 |
| Huile d'Olive | 0 | 0.91 | 84 |
| Huile de Ricin | -10 | 0.96 | 625 - 1041 |
| Huile de Sésame | - 4 à - 16 | 0.91 | 72 |
| Huile de Pin | * | 0.94 | 19 |
| Huile de Soja | - 15 | 0.91 | 57-76 |
| Huile de Palmier | 37 à 40 | 0.92 | - |
| Huile d'Arachide | 2 à 13 | 0.94 | 84 |
| Huile de Palmiste | 26 à 28 | 0.92 | - |
| Huile de Coco | 21 à 25 | 0.92 | - |

3. Les Tourteaux

Les tourteaux sont les résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux. Ce sont les co-produits (sous-produits) de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication de l'huile. Les tourteaux sont utilisés en alimentation animale. Ils constituent la 2^{ème} classe d'aliments la plus importante après les céréales. En effet, ils représentent la principale source de protéines en alimentation animale.

4. Méthodes d'obtention des huiles

4.1. Le colza

4.1.1. Généralités

Le colza (*Brassica napus L.*) est une plante ramifiée à fleurs jaunes, appartenant à la famille des crucifères (*Cruciferae*). Il est le produit d'une hybridation naturelle entre le chou (*Brassica oleracea L.*) et la navette (*Brassica campastris L.*). Pour cette raison, il a été appelé *Koolzaad*, qui signifie « semence de choux ». Les fruits de colza appelés siliques, renferment des petites graines noires riches en acides gras insaturés (environ 40-45 %). Ces graines sont utilisées pour la production d'huile. De par sa teneur en huile, le colza, avec le tournesol, représente l'une des trois principales sources d'huile végétale, destinée à l'alimentation humaine et à la production d'agro-carburants. Le colza est aussi constitué de protéines (15-30 %) et de glucides (25-30 %), au même titre que le soja, le tournesol, le coton et l'arachide (Rodrigues *et al.*, 2011).

4.1.2. Procédé d'extraction d'huile à partir de la graine de colza

L'extraction de l'huile à partir des graines de colza se fait en trois étapes essentielles : la trituration, l'extraction et le raffinage (Figure 51). La graine déshuilée constitue le tourteau dont la richesse en protéines l'a destiné à l'alimentation animale.

La trituration permet la libération de l'huile renfermée dans les graines de colza. Cette opération donne, d'une part, le tourteau contenant encore 15 % d'huile et, d'autre part, une huile brute de pression destinée à être raffinée. Cette huile est d'abord extraite par un solvant apolaire (hexane) à une température légèrement inférieure à son point d'ébullition. Le mélange solvant-huile est soumis à évaporation, ce qui permet la concentration de l'huile et la récupération du solvant pour son recyclage. L'huile brute obtenue après pression et extraction est alors soumise au raffinage.

Ce traitement permet d'éliminer les nombreuses impuretés qui affectent les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de l'huile (Baudet et Evrard, 1998).

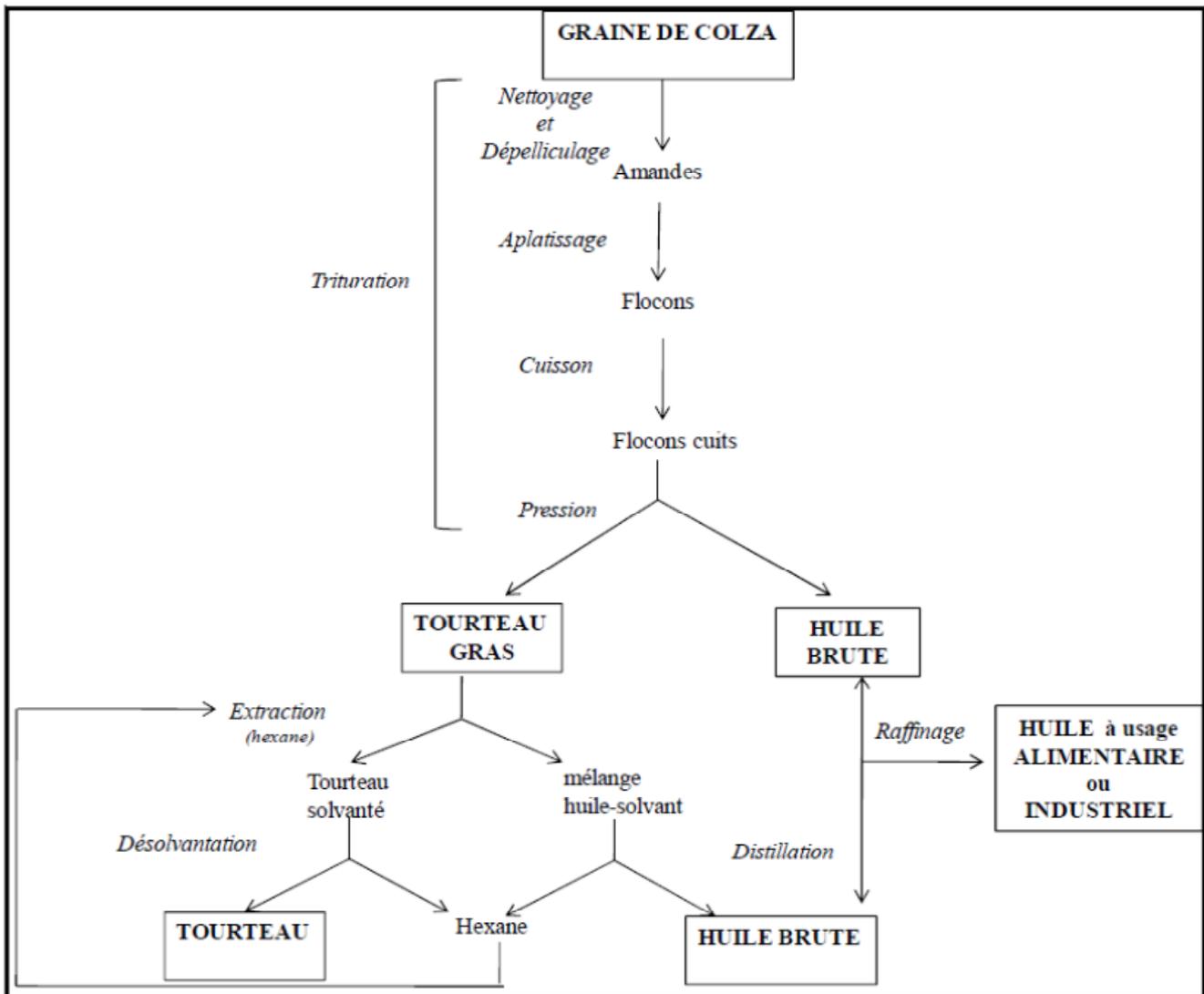


Figure 51: Schéma du procédé de production d'huile et de tourteau de colza.

L'industrie alimentaire est le principal débouché de l'huile de colza. C'est une des matières grasses, d'origine végétale, les plus consommées dans le monde, avec les huiles d'olive, de soja, de tournesol et de palme.

Elle a une forte valeur énergétique et apporte des éléments nutritifs indispensables non synthétisés par l'organisme humain. Elle est constituée, en majeure partie, d'acide oléique (58 % des acides gras) mais contient aussi des acides gras essentiels, notamment l'acide linoléique (22 %) et l'acide alpha-linolénique (9 %) ; ce dernier, appartenant à la famille des

ω -3, il est à la base des propriétés physiologiques de l'huile de colza, telles l'inhibition de l'agrégation plaquettaire, en diminuant le niveau de « coagulation » du sang, et l'action anti-cholestérolémiant grâce à la capacité d'abaisser le taux de cholestérol. L'huile de colza est aussi connue pour sa faible teneur en acides gras saturés (8 %), valeur la plus faible des huiles végétales. Toutefois, l'utilisation ménagère ne vient qu'en troisième position, après l'huile de tournesol et l'huile d'olive.

4.2. Le tourteau de colza : composition et utilisation

Après extraction de l'huile, la matière grasse résiduelle du tourteau se situe entre 2 et 6 % en fonction des méthodes d'extraction mises en œuvre (Mc Kevith, 2005). Le tourteau de colza est une matière végétale relativement riche en protéines (\approx 40, voire 45 % sur la base de la matière sèche) avec une composition en acides aminés comparable à celle d'autres céréales. En effet, les quantités d'acides aminés soufrés (méthionine et cystéine), de thréonine et de lysine sont comparables à celles du tourteau de soja.

Par ailleurs, le tourteau de colza est très riche en minéraux, ce qui permet de limiter les apports externes entrant dans toute ration alimentaire. Il est aussi composé par des fibres, sucres solubles et des petites molécules appelées composés anti-nutritionnels (glucosinolates, acide phythique et polyphénols). Ce produit est donc amplement valorisable dans le domaine de la nutrition animale et représente, ainsi, un réel intérêt économique pour l'industrie porcine et bovine.

Certains traitements technologiques améliorent la qualité nutritionnelle du tourteau, notamment le chauffage. Ce traitement permet la protection des protéines de la dégradation dans le rumen, ce qui rend le tourteau bien adapté à l'alimentation des ruminants.

Malgré les nombreuses propriétés nutritionnelles du tourteau de colza, les tourteaux de soja restent prédominants. Toutefois, la production communautaire européenne de ce dernier a diminué, passant de 78 % en 1981 à 46 % en 2007, au profit des tourteaux de colza (39 % en 2007 contre 14 % en 1981). Dans l'Union Européenne (25 nations) la consommation totale de tourteaux de colza est de l'ordre de 9 millions de tonnes, soit 12 % de l'ensemble des tourteaux utilisés (2007).

4.3. Les fèves de cacao

4.3.1. Préparation des fèves

- **La récolte :** La cueillette a lieu deux fois par an et à maturité, ce qui s'apprécie à la couleur de la cabosse (de vertes ou rouges, elles sont devenues jaunes ou oranges) et au son produit en la cognant avec le doigt.
- **L'ecabossage :** action de sortir les fèves, sans les endommager, par éclatement de la cabosse avec un gourdin ou une machette.
- **La fermentation :** permet de développer les précurseurs de couleurs et d'arômes, et de modifier le goût. L'opération a lieu directement sur les lieux de production ; en 3 à 7 jours, elle débarrasse les graines de la pulpe et provoque la mort du germe. La pulpe contenant du sucre fermenté sous l'action des levures qui se sont introduits lors de l'éclatement des cabosses. La température s'élève à 45/50°, un jus s'écoule avec une nette odeur d'alcool. L'ensemble est remué et aéré à plusieurs reprises afin d'assurer une fermentation aérobie.
- **Le séchage:** a pour but de réduire le taux d'humidité des graines de cacao, de permettre leur conservation et de développer la couleur brune. L'opération a lieu, le plus souvent, sur les claies au soleil, sur les lieux de production, avec un remuage périodique.
 - L'humidité des fèves va passer de 60 % à 8 %.
 - Les acides volatils dus à la fermentation sont éliminés.
 - Fin de l'oxydation, la graine prend sa couleur brune caractéristique et c'est, à ce stade, qu'elle prend le nom de fève de cacao. Les fèves sont bloquées dans leur évolution. Elles sont stockables et font, dès lors, l'objet d'opérations boursières.

4.3.2. Procédé de fabrication

4.3.2.1. La pâte de cacao (ou masse de cacao ou liqueur de cacao): produit obtenu par des procédés mécaniques à partir des fèves de cacao :

- Nettoyées, décortiquées, dégermées (cacao en grain)
- Torréfiées ou non
- Naturelles ou alcalinisées.

- **Nettoyage :** opération qui consiste à débarrasser les fèves d'impuretés dont le taux ne doit pas excéder 2% : sable, morceaux de cabosse, pierres, fèves accolées. Les nettoyeurs industriels opèrent par différence de densité.
- **Séchage :** un traitement infrarouge permet de décoller la coque et d'éliminer ensuite les coques et germes indésirables.
- **Concassage :** les fèves refroidies sont concassées en gros morceaux et séparées dans des tarares ; les fragments d'amande sont appelés « nibs » (terme anglais).
- **Torréfaction :** la durée et le degré de torréfaction dépendent de l'origine des fèves et du produit final désiré grâce à la chaleur (moyenne – haute).

-Moyenne - 115°C - 30 mn.

-Haute - 120°C - 40 mn.

- **But de cette opération :**
 - ✓ développement des arômes préformés à la fermentation ;
 - ✓ élimination des derniers acides volatils ;
 - ✓ abaissement de la teneur en eau (de 8 % à 2 %) ;
 - ✓ élimination des germes bactériens.
- **Broyage :** dans des moulins à cacao, à 90°C, pour l'obtention d'une pâte à consistance fluide (entre 20 et 30 microns) appelée pâte de cacao.

- **Alcalinisation** : modification l'acidité naturelle du cacao par des solutions alcalines (pH de 5,4 – 5,8 passant à 6,2, 6,8, 7,5 ou 8 maxi). La masse est moins amère, plus douce et de saveur plus longue. Ces additions sont réglementées (Directive européenne 1973).

4.3.2.2. Le beurre de cacao : S'obtient, exclusivement, par pression, à partir de la pâte de cacao. A la sortie des presses, le beurre est lavé, démulciné, centrifugé, désodorisé, neutralisé. C'est un corps gras stable car il contient un antioxydant naturel : le tocophérol. Si on laisse refroidir le beurre naturellement, il se forme un mélange de tous les cristaux d'aspect granuleux et mou.

4.3.2.3. La poudre de cacao: Après extraction du beurre de cacao, il reste dans la presse des galettes appelées « tourteaux ».

Tourteau gras : Si plus 20 % de beurre de cacao.

Tourteau dégraissé : Si moins 20 % de beurre de cacao
Après concassage et pulvérisation du tourteau, on obtient une poudre de cacao.

Poudre de cacao : 20 % de beurre de cacao.

Cacao maigre ou poudre de cacao fortement dégraissé : 20% de beurre de cacao.
Si le pH n'a pas été modifié (pH 5,3 – 5,8) la poudre est naturelle.
Si le pH est supérieur à 5,8 (max. 8) la poudre est alcalinisée.

DEUX OBJECTIFS : le goût et la couleur.

- **Le gout** : on recherche des poudres alcalinisées pour des préparations contenant du lait : lait chocolaté, crèmes desserts, mousses, préparations pour petits-déjeuners. La raison : le pH est proche du lait et la saveur est longue et moins amère qu'au naturel.
- On utilisera des poudres naturelles dans les fourrages en confiserie ou biscuiterie pour une recherche d'amertume et pour une bonne « attaque en bouche ».

- **La couleur :** Poudre naturelle : marron-orange foncé.

Poudre alcaline : marron – rouge foncé à très foncé.

4.3.3. Utilisation

Tableau XII : Utilisation de la poudre, pâte et beurre du cacao.

| PRODUITS | ACTIONS | APPLICATIONS |
|-----------------|---|--|
| Pâte de cacao | Elément principal du goût de chocolat, renforce, parfume les intérieurs et crèmes | Chocolats, mousses, ganaches, glaces |
| Beurre de cacao | Fluidification | Chocolats, utilisation au pistolet, durcisseur en confiserie, isolant... |
| Cacaos poudre | Bonne incorporation à froid. Bon développement des parfums en cuisson | Fourrages, pâtes à glacer, mousses, crèmes, biscuits, glaces, sorbets, enrobage confiserie, décors, truffes, chocolats chauds. |

Chapitre V : Traitements de modification et altération des huiles

I. Traitements de modification

1. Définition

Du fait de leur structure et de leur composition, les huiles et graisses présentent des caractéristiques de fusion spécifiques : elles peuvent être naturellement liquides à la température ambiante (telle que les huiles de tournesol, de colza ou de soja), semi-solides (huile de palme), ou totalement solides (huile de coprah).

Leur utilisation dans des produits alimentaires (margarines, pâtes à tartiner, plats cuisinés,...) peut nécessiter une « adaptation » de ces caractéristiques rhéologiques. Trois opérations, réglementairement autorisées en alimentaire, permettent à l'industriel de confectionner, par transformation, des matières grasses définies pouvant entrer dans la formulation de ces différents produits. Il s'agit de l'hydrogénation, du fractionnement et de l'interestérification. Ces traitements permettent d'apporter des propriétés spécifiques aux matières grasses et favorisent leur interchangeabilité dans les applications alimentaires et industrielles.

2. Traitements de modification

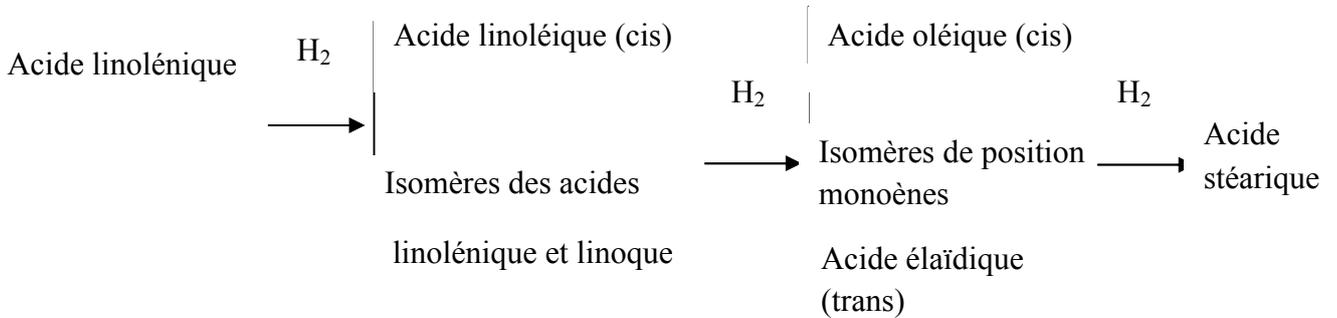
2.1. Hydrogénation

L'hydrogénation consiste à saturer au moyen d'hydrogène tout ou partie des doubles liaisons des acides gras non saturés. Outre des caractéristiques de fusion modifiées, le corps gras hydrogéné présente une meilleure résistance à l'oxydation.

2.1.1. Hydrogénation partielle ou sélective

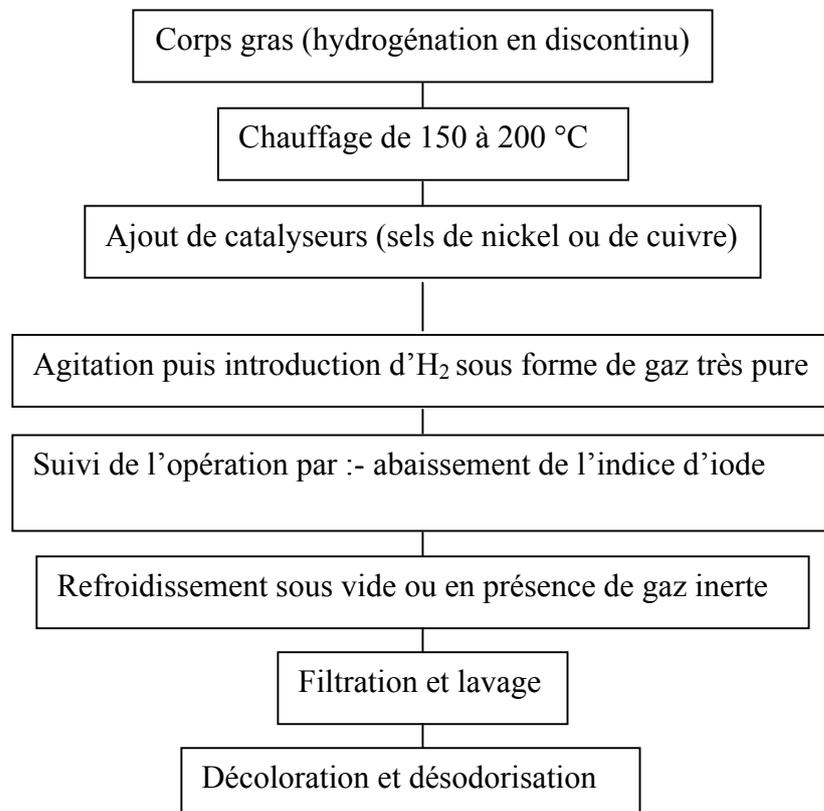
L'hydrogénation partielle ou sélective a pour but de saturer seulement une partie des doubles liaisons des acides gras polyinsaturés (ex : transformation de l'acide linoléique en acide linoléique). L'hydrogénation sélective vise essentiellement à réduire la teneur en acides polyinsaturés et donc à augmenter la stabilité de l'huile ou de la graisse. Elle s'applique aux huiles particulièrement sensibles à l'oxydation et à la chaleur et contenant, comme l'huile de colza et de soja, un pourcentage relativement élevé d'acide linoléique.

Ce traitement provoque une certaine isomérisation des acides gras insaturés et favorise de ce fait la formation d'isomères trans et d'isomères de position. La réaction ci-dessous illustre les étapes d'hydrogénation de l'acide linoléique.



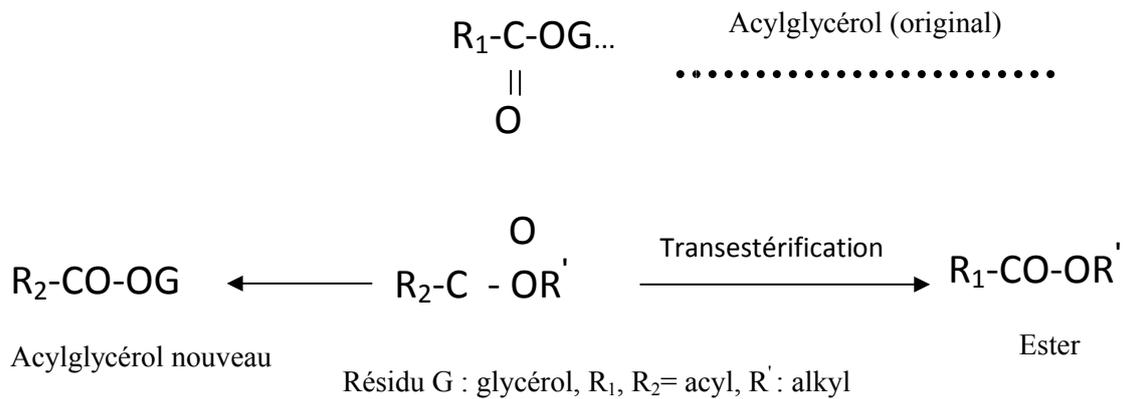
2.1.2. Hydrogénation non sélective

L'hydrogénation non sélective a pour but de saturer fortement et parfois même totalement les doubles liaisons des acides gras insaturés. L'intérêt de ce type de réaction est donc d'obtenir des bases concrètes pour corps gras alimentaires et la margarine. Exemples : huiles, coton, soja, colza, poisson, etc.



2.2. Interestérisation ou transestérisation

L'interestérisation ou transestérisation est une réaction qui vise à modifier la structure glycéridique des matières grasses par réarrangement moléculaire des acides gras sur le glycérol. Elle se traduit (sur le plan pratique) par des changements des propriétés physiques et rhéologiques favorisant une meilleure utilisation des matières grasses ainsi interestérisées.



La transestérisation est la réaction d'un acylglycérol avec un autre ester simple.

Ex : butyrate de méthyl réagissant avec les triacylglycérols de la matière grasse du lait.

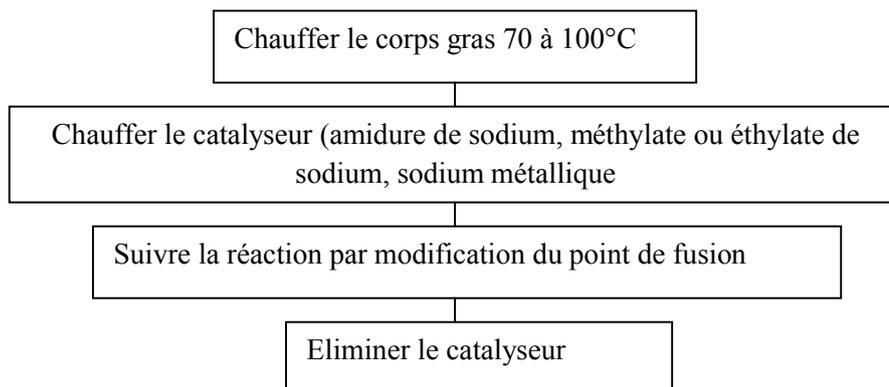
On distingue deux types d'interestérisation : interestérisation au hasard et interestérisation dirigée.

2.2.1. Interestérisation au hasard

Les acides gras dans les triacylglycérols sont réarrangés selon une loi statistique basée sur la concentration en acides gras du corps gras de départ. Il est possible de prévoir la composition en divers triacylglycérols du mélange final à l'équilibre.

2.2.2. Interestérisation dirigée

Dans cette technique, on s'arrange en jouant sur un facteur, la température de réaction, pour favoriser le changement d'état d'un triacylglycérol qui, passant de l'état liquide à l'état solide, change d'équilibre dans la phase liquide, ainsi, de proche en proche, on arrive à l'équilibre souhaité.



2.3. Fractionnement

Le fractionnement a pour but de réaliser une séparation entre les constituants des huiles et des graisses qui ont un point de fusion élevé (acylglycérol riches en acides gras saturés) et ceux qui ont un point de fusion faible. Cette opération permet donc :

- Soit d'obtenir de nouveaux produits (fraction liquide, fraction solide) possédant des propriétés technofonctionnelles différentes du produit d'origine.
- Soit d'éliminer des constituants à haut point de fusion qui, à l'état de trace ou de faibles pourcentages, peuvent altérer les propriétés organoleptiques.

Ex : le fractionnement de l'huile de tournesol permet l'élimination des cires à point de fusion très élevé, que les huiles naturelles contiennent et ainsi d'obtenir des huiles pouvant rester limpides à la température du réfrigérateur.

Le fractionnement peut être effectué par trois méthodes : méthode sèche, fractionnement en milieu solvant et fractionnement en phase aqueuse.

2.3.1. Méthode sèche

Le corps gras est fondu lentement, sans aucun adjuvant, au dessus de son point de fusion, puis refroidi très lentement jusqu'à ce qu'une fraction cristallise. Il suffit ensuite de séparer cette dernière par filtration ou centrifugation.

2.3.2. Fractionnement en milieu solvant

Le corps gras est dissous dans un solvant ou mélange de solvants (acétone, alcool, hexane) puis refroidi. A une température préalablement choisie, on observe la précipitation de la fraction concrète. Le solvant est éliminé des deux fractions (solide et liquide).

□ Avantages du procédé : Amélioration des rendements et obtention de fractions aux propriétés physiques souhaités.

2.3.3. Fractionnement en phase aqueuse

L'addition de tensio-actifs à l'eau permet de mouiller préférentiellement la fraction liquide d'un mélange de triglycérides.

□ Avantages : souplesse de la méthode, bons rendements, ininflammabilité de l'eau (par rapport au solvant).

Le fractionnement consiste en un refroidissement lent du corps gras fondu dans des conditions bien précises, puis en la séparation de la phase fluide et de la phase solide par centrifugation ou filtration.

II. Altération des huiles

1. Les différents types d'altérations des huiles

Le problème d'altération des huiles alimentaires constitue un problème majeur en industrie des corps gras. En effet, il est évident que l'oxydation des huiles conduit en général à des conséquences indésirables en portant préjudice aux qualités organoleptiques, nutritionnelles et dans des conditions extrêmes, des substances toxiques peuvent se former.

Ces altérations peuvent causer des pertes considérables tant sur le plan alimentaire que sur le plan économique. Ainsi les deux altérations pouvant se produire pendant le stockage d'une huile à savoir l'acidification et le rancissement par oxydation entraînent l'altération de la flaveur. On distingue généralement : les altérations biologiques, les altérations chimiques et les altérations thermooxydatives.

1.1. Altération biologique

Des micro-organismes sont généralement introduits par l'atmosphère ambiante, par l'appareillage de traitement non stérilisé, par les emballages, par le contact humain et par les insectes.

L'action de ces micro-organismes a pratiquement pour résultat la formation d'enzymes génératrices d'acides gras, de produits d'oxydation, d'aldéhydes et de cétones ; ce qui se traduit par des modifications d'apparence, de texture, de saveur et aussi par l'apparition de produits toxiques. Le cas le plus généralement étudié est celui d'une altération par *Aspergillus flavus*.

1.2. Altération chimique

Les facteurs d'altération chimique sont induits par deux phénomènes : phénomène d'acidification et phénomène d'oxydation.

1.2.1. Phénomène d'acidification (d'hydrolyse)

Les lipides sont susceptibles de s'hydrolyser en glycérols et en acides gras libres en présence de lipases (soit endogènes ou exogènes).

1.2.2.2. Oxydation chimique

L'oxydation chimique est une réaction qui se fait par un oxydant puissant tel que le permanganate de potassium (KMnO_4) (Cas des huiles végétales). Cette oxydation a lieu au cours du traitement et durant la conservation des huiles.

Il faut noter que les autres substances non saturées comme les vitamines A et E, les caroténoïdes, et certains hydrocarbures présentes dans les huiles peuvent subir des oxydations analogues dites secondaires.

1.2.3. Les facteurs favorisant l'oxydation

L'oxydation des lipides est une réaction lente, particulièrement à basse température. La phase d'initiation de l'oxydation des lipides peut être déclenchée par plusieurs facteurs tels que l'oxygène activé, les enzymes, la température, la lumière ou les traces de métaux.

- **L'influence de la composition des acides gras**

La composition des acides gras est très importante pour la stabilité à l'oxydation d'une huile. En effet plus la teneur en acides gras insaturés est élevée plus l'oxydation sera plus rapide.

- **L'influence de l'eau**

Les huiles végétales parfaitement anhydres sont plus stables vis-à-vis de l'oxydation que les huiles contenant des quantités mineures d'eau en solution. La vitesse de formation du peroxyde et la vitesse d'oxydation croient avec l'augmentation de la teneur en eau.

- **Influence de la concentration en oxygène et de la température**

Durant la réaction d'oxydation, une grande interaction existe entre la température et la concentration d'oxygène. Ainsi, il est assez difficile d'évaluer l'effet de ces facteurs individuellement. La solubilité de l'oxygène est très élevée à température ambiante ou à basse température.

- **Effet des métaux**

Les métaux de transition jouent un rôle important dans la génération des radicaux libres de l'oxygène, ils sont les premiers activateurs des molécules d'oxygène.

Les traces de métaux pro-oxydants (fer et cuivre sous forme libre) augmentent les cinétiques de formation des radicaux et de décomposition des hydroperoxydes pour des teneurs faibles.

- **Effet de la lumière**

La lumière (les ultraviolets) joue le rôle d'accélérateur des cinétiques des réactions d'oxydation, les mécanismes chimiques restent les mêmes. Elle intervient dans la photooxydation qui constitue une voie importante de production d'hydroperoxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photosensibilisateurs tels que les hémoprotéines ou la riboflavine.

- **Effet des enzymes**

La lipoxygénase ou linoléate oxygène oxydoréductase initialement isolée à partir du soja, puis de différentes légumineuses, est en fait présente chez de nombreuses plantes. En présence d'oxygène moléculaire, l'enzyme catalyse la formation d'hydroperoxydes selon un processus radicalaire ; les hydroperoxydes en position 13-(S) et 9-(R) sont les composés formés de façon majoritaire. Le rapport entre ces deux isomères dépend essentiellement de la spécificité de l'enzyme.

L'oxydation enzymatique se produit même à basse température. Durant le stockage à l'état congelé l'activité enzymatique est très faible. Cependant, une fois la décongélation amorcée et des températures de 0°C à 4°C atteintes, il semblerait que cette activité reprenne et s'accroisse.

- **Influence de PH**

Le pH influence le déroulement de l'oxydation par le biais de plusieurs mécanismes. Premièrement, pour les réactions d'oxydo-réduction faisant intervenir des protons (H^+) le potentiel redox décroît linéairement avec le pH. Un pH acide favorise donc la réaction d'oxydation, le pH intervient également dans la solubilité des composés impliqués dans l'initiation de la réaction. Le pH modifie aussi les interactions entre constituants du fait d'attractions et de répulsions électrostatiques liées à la charge des molécules.

1.2.4. Les différentes phases d'oxydation

L'oxydation concerne les matières grasses insaturées et comporte trois étapes qui sont l'initiation, la propagation et la terminaison. Au cours de l'initiation, il y a formation de radicaux libres puis de radicaux hydroperoxydes en position α d'une double liaison. La chaleur, la présence de traces de sels de métaux de transition et la lumière ultraviolette sont des agents d'initiation. Cette première étape, appelée également période d'induction, correspond à une période d'absorption lente de l'oxygène atmosphérique.

La deuxième étape est la propagation, au cours de laquelle on assiste à une formation plus accélérée d'hydroperoxydes, ce qui est traduit par une forte consommation d'oxygène.

La dernière étape consiste en la production d'espèces non radicalaires.

Le mécanisme réactionnel de l'oxydation des lipides comprend trois phases : l'initiation, la propagation et la terminaison.

a/ Initiation

En présence d'un initiateur (I), les lipides insaturés (RH) perdent un atome d'hydrogène pour former un radical libre centré sur le carbone (R°) (radical alkyle).



b/ Propagation

Le radical alkyle, très réactif, fixe une molécule d'oxygène, pour former un hydroperoxyde instable, centré sur l'oxygène (2). Celui-ci arrache à son tour un hydrogène labile d'un deuxième acide gras, formant un hydroperoxyde non radicalaire plus stable (3), mais générant une nouvelle espèce radicalaire sur le deuxième acide gras.



Comme le montre la réaction citée ci-dessus, la phase de propagation peut elle-même être décomposée en deux étapes séquentielles:

- **La première étape** correspond à l'apparition des peroxydes, composés primaires d'oxydation, à partir des radicaux libres instables : la quantité de peroxydes formés peut être évaluée analytiquement grâce à la détermination de l'indice de peroxyde.
- **La deuxième étape** se traduit par l'évolution des hydroperoxydes en composés secondaires d'oxydation, par deux voies principales :
 - **La scission** : conduisant par coupure à la libération de composés volatiles (chaines carbonées courtes et moyennes), notamment aldéhydiques, responsables des saveurs de rance, caractérisés par un seuil de détection très faible.
 - Le remaniement : conduisant suite à différents types de pontage intra- ou inter-acides gras ou suite à l'apparition de fonctions oxydées. à ce stade dit de rancissement, le goût rance est bien entendu perceptible.

c/ Terminaison

Pendant cette phase, les espèces radicalaires réagissent entre elles pour donner des espèces non radicalaires, mettant ainsi fin aux cycles réactionnels.



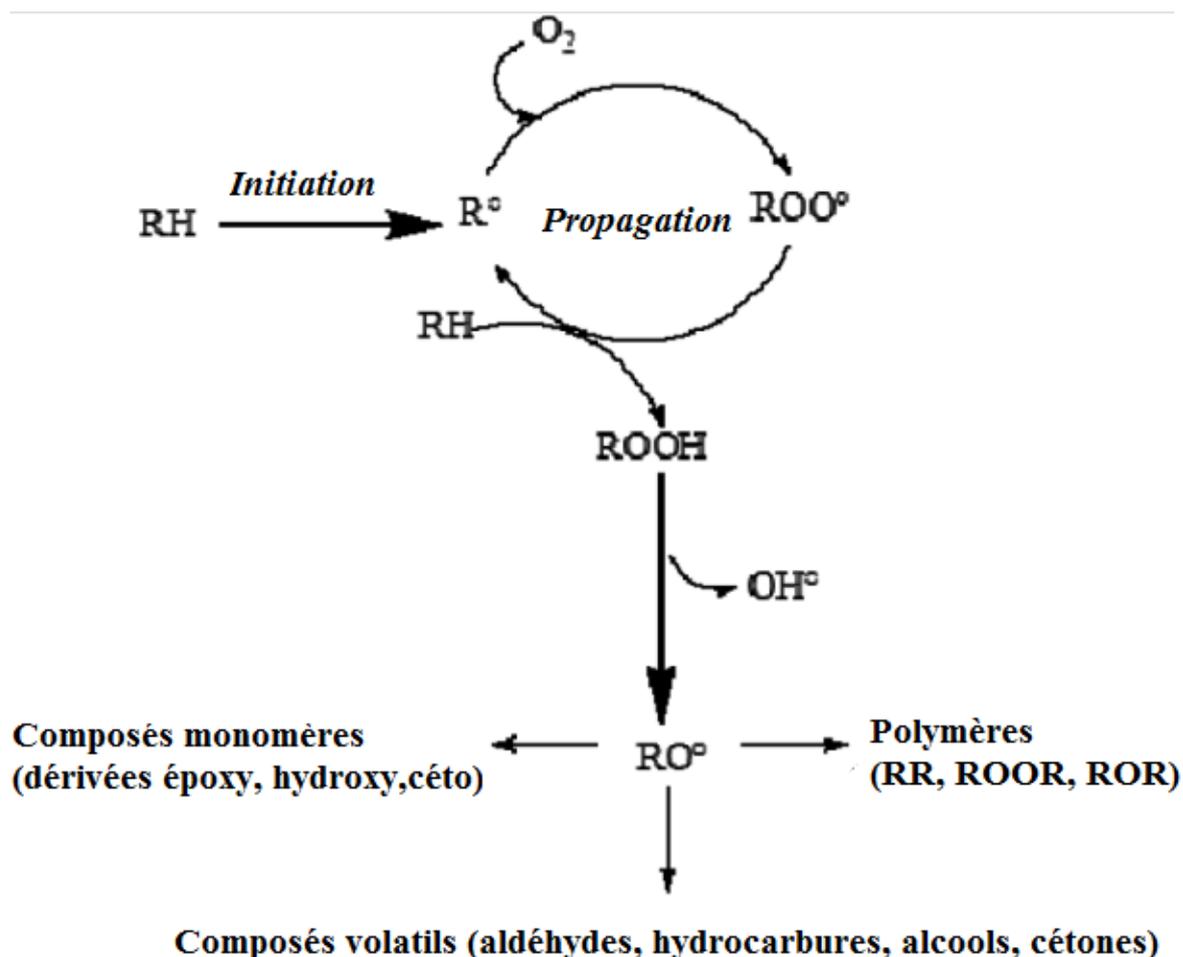


Figure 52: Schéma simplifié des stades primaires et secondaires de l'oxydation d'une matière grasse insaturée (RH).

1.3. Altérations thermo-oxydatives

Le chauffage des lipides à des températures supérieures à 100 voire 150 C°, conduit à la formation de polymères, de composés cycliques ou isomérisés.

2. Répercussion sur le plan nutritionnel et sanitaire des corps gras oxydés

- Perte de la valeur marchande : défaut de rance influe sur l'acceptabilité du produit par le consommateur.
- Perte de la valeur nutritive : perte d'activité vitaminique (A et E), acides gras polyinsaturés oxydés non bio disponibles.
- Modification de l'aspect du produit : couleur, texture, arôme.

3. Mesures de prévention contre l'oxydation des corps gras

Plusieurs facteurs vont intervenir pour favoriser ou au contraire freiner les tocophérols (vitamine E) et les polyphénols végétaux (flavonoïdes, acides phénoliques, diterpenoïdes).

Les antioxydants secondaires agissent par des mécanismes indirects tels que la chélation des ions métalliques ou la réduction d'oxygène. On les appelle aussi antioxydants préventifs car ils viennent compléter les moyens de prévention de l'oxydation, ou encore synergistes car ils sont souvent employés en combinaison avec les antiradicalaires dont ils renforcent l'action. Les agents chélateurs de métaux les plus couramment utilisés sont l'EDTA et l'acide citrique.

Certains polyphénols végétaux possèdent également cette capacité grâce à leurs groupements *ortho*-diphénoliques. C'est le cas par exemple de la quercétine, des catéchines et de l'acide carnosique. Parmi les réducteurs d'oxygène, citons principalement les acides ascorbique (vitamine C) et érythorbique. On peut également mentionner le β -carotène et le lycopène qui sont des désactivateurs de l'oxygène singulet, forme active de l'oxygène en photo-oxydation.

Travaux pratiques

Travaux pratiques**Module** : Production des corps gras**Niveau** : Master I Sciences des corps gras**Département** : Sciences Alimentaires**Année universitaire** : 2016/2017**TP1 : Détermination de quelques paramètres physicochimiques de l'huile végétale (l'huile de tournesol et l'huile de soja)****1. Détermination de l'humidité****Principe**

Le principe est de provoquer le départ d'eau par l'introduction d'une quantité connue d'huile dans une étuve maintenue à une température de $103 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 30 min.

Mode opératoire

Mettre 5 g d'huile dans le cristalliseur.

Laisser dans l'étuve à une température de $103 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 30 min.

Peser la prise d'essai une fois refroidie.

Expression des résultats

Le taux d'humidité est donné par la relation suivante :

$$H \% = [P_1 - (P_2 - P_0)] / P_E * 100$$

H %: Teneur en eau en pourcentage.

P₂ : Masse de la capsule en g contenant l'huile séchée.

P₁ : Masse de l'huile en g avant séchage.

P_E : Masse de la prise d'essai.

P₀ : Masse de la capsule vide en g.

2. Détermination de la densité**Mode opératoire**

Mettre environ 200 ml d'huile à analyser dans une éprouvette de 250 ml.

Tremper le densimètre avec un thermomètre dans l'éprouvette et attendre qu'il se stabilise.

Lire la densité directement sur le densimètre et la température sur le thermomètre.

Expression des résultats

$$D_T = D_{T'} + 0,00069 (T - T')$$

$D_{T'}$: Densité lue sur le densimètre à une température égale à 20°C.

D_T : Densité lue directement sur le densimètre à une température T.

T : Température lue sur le thermomètre.

T' : 20°C.

3. Détermination de l'acidité

C'est le pourcentage d'acides gras libres, exprimé conventionnellement selon la teneur du corps gras en acides gras libres.

Mode opératoire

Ajouter 35 ml d'éthanol à 5 g d'huile.

Ajouter quelques gouttes de phénolphthaléine.

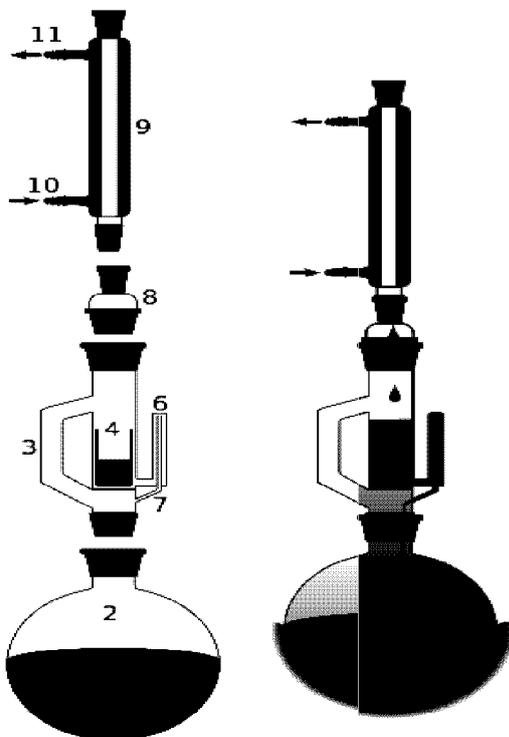
Chauffer le mélange.

Titrer avec NaOH à 0,1N jusqu'à apparition d'une couleur rose persistante au moins dix secondes.

Expression des résultats

L'acidité est donnée par la relation suivante :

$$A \% = (N.V. Eq) / 10. P$$

Travaux pratiques**Module :** Production des corps gras**Niveau :** Master I Sciences des corps gras**Département :** Sciences Alimentaires**TP 2 : Extraction d'huile à partir de quelques graines et fruits oléagineux****Extraction d'huile à partir du grignon et fruits d'olives****a) Principe de fonctionnement d'un soxhlet****Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet :**

- 1-Agitateur magnétique
- 2- Ballon à col rodé
- 3-Retour de distillation
- 4-Corps en verre
- 5-Filtre
- 6-Haut du siphon
- 7-Sortie du siphon
- 8-Adaptateur d'expansion
- 9-Condenseur
- 10-Entrée de l'eau de refroidissement
- 11-Sortie de l'eau de refroidissement

b) Mode opératoire

- Peser 20 g de fruits d'olive et broyer à l'aide d'un pilon et mortier (éliminer les graines).
- Peser 10 g d'échantillon (broyat de fruit d'olive, grignon d'olive, arachide, etc.).
- Remplir les cartouches à soxhlet avec les échantillons broyés (10 g) et couvrir avec du coton.
- Mettre les cartouches dans les coudes à soxhlet.
- Remplir les ballons avec 125 ml d'hexane.

- Régler la température à 70 °C et lancer l'extraction pendant 4h.
- Retirer les ballons et éliminer le solvant d'extraction avec un évaporateur rotatif.

- Compléter le séchage à l'étuve pour éliminer toutes traces de solvant puis peser les ballons.

c) Calcul du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction (R) est exprimé en % en masse du produit.

$$R = (M1/M0) * 100$$

R : Rendement en extraction exprimé en %.

M0 : Masse en g de la prise d'essai.

M1 : Masse en g de l'extrait après le séchage.

Travaux pratiques

Module : Production des corps gras

Niveau : Master I Sciences des corps gras

Département : Sciences Alimentaires

TP 3 : Valorisation du grignon d'olive

1. But du TP

Valorisation du grignon d'olive à travers l'extraction de la matière grasse résiduelle en utilisant la méthode d'extraction de Bligh et Dyer.

2. Matériel et réactifs utilisés

Matériels : Erlenmeyer, balance, éprouvette, béchers, boîte de pétri, entonnoirs, plaque chauffante + papier filtre,

Réactifs : Méthanol, Chloroforme.

3. Mode opératoire

- Dans un Erlenmeyer, peser 1 g du grignon d'olive.
- Ajouter 12 ml des réactifs méthanol/chloroforme (2:1) et mélanger bien le tout pendant 1min.
- Ajouter 4 ml du chloroforme et 4 ml d'eau.
- Filtrer sur un papier filtre.
- Eliminer la phase supérieure.
- Peser une boîte de pétri vide et verser la phase inférieure dans la boîte.
- Sécher sur une plaque chauffante jusqu'à évaporation complète du solvant.
- Peser la boîte après le séchage.

4. Calcul du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction (R) est exprimé en % en masse du produit.

$$R = (M1/M0) * 100$$

R : Rendement en extraction exprimé en %.

M0 : Masse en g de la prise d'essai.

M1 : Masse en g de l'extrait après le séchage.

Question : Calculez le rendement d'extraction d'huile à partir du grignon d'olive.

Références bibliographiques

Aberkane F. 1992. Contribution à l'étude biochimique et organoleptique des huiles d'olive vierges Algériennes. TH...ING, INA El-Harrach, Alger, p45.

Adrian J. et Jacquot R. 1968. Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés. Maison neuve et la rose, Paris, p 274.

Alais C, Linden G, 1997. Lipides, vitamines in Abrégé de biochimie alimentaire. Ed Masson, Paris : 70p, 112p.

Amamou (T.). 1999. Typologie et variabilité des huiles d'olive en fonction de l'origine des fruits. OCL, 6(1), p. 77-79.

Andreo A.I., Doval M.M., Romero A.M., Judis M.A., 2003. Influence of heating time and oxygen availability on lipid oxidation in meat emulsion. Journal of lipid technology. P.105-207-213.

Apfelbaum M, Forra C, Nillus P, 1999 . Aliments diététiques et technologies particulières, lipides d'assaisonnement in Diététique et nutrition. Ed Masson, Paris : 459p, 336p.

Beaufrand M , Debry G, 1979. Technologie industrielle de conservation des valeurs hygiéniques et nutritionnelle des aliments in Nutrition métabolique et diététique 2eme édition Flammarion : 319p.

Ben Aldjia M., Bichari S. 2005. Contribution à l'étude de quelques facteurs influençant l'extraction de l'huile d'argan (*Argania spinosa* : (L) skeels) par voie chimique et physiques. Th.ing, INA El-Harrach, Alger, p49.

Bockisch, M. 1993. Fats and oils Handbook. AOCS press. Illinois, États-Unis. 838 p.

Bourre J.M., Dumont O., Durand G. Effet-dose de l'acide oléique alimentaire. Cet acide est-il conditionnellement essentiel Oléagineux, Corps Gras, Lipides. 2000, Volume 7, Numéro 6, pp .524-30.

Brimberg U.I et Eildin K.A., 2003. On the kinetics of autoxidation of fats : influence of pro-oxidants, antioxidants and synergists. Journal of lipid technology. P.83- 91.

Britton G, Liaen-Jensen S, Pfander H. Carotenoids, isolation and analysis. Britton G Ed. 1995 ; vol 1A, Birkhäuser, Bâle, 27-69.

Causret J. Chauffage des corps gras et risque de toxicité. **Cah .Nut et Diet, 1982**, vol XVII, n° 1, pp. 19-33.

Chahdane F., Kartout A. 1998. Etude des caractéristiques physico-chimiques des deux types d'huile d'arachide, importée et locale. Th.ing, INA El-Harrach, Alger, 1998, p83.

Cheftel J.C et Cheftel H. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Technique et documentation Lavoisier, 4ème édition, 1984, Vol 1, p.381.

Cheftel J.C . Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Paris, 1980, Tome 1 et 2.

Chen L ., Hu J.Y., Wang S.Q.The role of antioxidants in photoprotection. J.Am .Acad.Dermatol ,2012 Vol. 67, No. 5, pp. 1013-1024.

Chouana T., Debbou A. Extraction et caractérisation biochimique de l'huile d'argan (*Arganai Spinosa*) .Th. ing,INA EL – Harrach , Alger ,p63.

Codex Alimentarius, FATS, Oils and related products, Vol 8, 1992.

Codex alimentarius. Monographies et spécifications corps gras alimentaires. FAO, Rome.

Cogny. A, Paul. J.L., Soni. T., Atger. V, Moatti. N.,1994. Vitamine E: métabolisme et rôle dans l'athérosclérose. Ann Biol Clin 52, 515-522.

Commission canadienne des grains. 2001. Guide officiel du classement des grains (édition de 2001). Commission canadienne des grains, Winnipeg (Man.). 451 pp.

Conseil Oléicole International. Norme commerciale applicable à l'huile d'olive et à l'huile de grignon d'olive, **1995**.

Cortesi, N., Rovellini, P. et Fedelli, E. In Encyclopédie Mondiale de l'Olivier, Plaza et Janes Editions, Espagne, 479 p. (1997).

Denise, J. Le Raffinage des Corps Gras, Ed. Des Beffrois, (1983).

Denise J., Raffinage des corps gras. Edition westhock, 1992.

Desagher, S. (1998).Métabolisme, édition : Ellipses, Marketing : 41p.

Despiau C. Les solvants d'extraction : Deux aspects technologiques et économiques. Incidences sur le choix du solvant. Revue française de corps gras, Paris, 1978, vol 25, n°1, pp. 7-9.

Dubois V., Breton S ., Linder M., Fanni J ., Parmentier M . Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. European Journal of Lipid Science and Technology , 2007, Volume 109 ,Issue 7, pp. 710 – 732.

Einerhand, C. SCOTT, H.G. KEIZER AND L. I. Mennen. Lipids in Health and Disease 2008, 7:10.

Evrard J. Les perspectives techniques d'évolution pour les tourteaux d'oléagineux que permet la Technologie Rev. Franc. Des corps gras, 1992, vol 29, No.10, pp.379- 383.

Eymard S., 2003. Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachuru*) : choix des procédés. Thèse doctoral, école polytechnique de l'université de Nantes, France. 217P.

Faur L. Influence des traitements de Raffinage et de transformation sur la qualité et la stabilité des corps gras. Rev. Fr. des corps gras, 1989, Vol. 36, N° 3, pp.155-170.

Favier .A , le stress oxydant : intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix de marqueurs, Ann. Biol. Clin. 1997, 55:9-16.

François, R: Les industries des corps gras : biochimie, extraction, raffinage, nuisance et réglementation. Paris, Lavoisier, 1974.P 36 – 53. ISBN :2.88020.007.5.

François. R , 1974. Généralités, huilerie in les industries des corps gras. Ed Tec & Doc, Lavoisier : pp: 32-192.

R. Francois, Les Industries des Corps Gras-Biochimie-Extraction-Raffinage-Nuisances-Réglementation, I. P. E., p. 132, éd- Lavoisier, Paris (1974).

Frankel, E. N. Lipid oxidation, Prog. Lipid Res., 19, 1-22, 1980.

Frankel E.N., 1998. Antioxidants in lipids and their impact on the food quality. 1996. Food chemistry 57. P.51-55.

Fullbrook P.D., The use of enzymes in the processing of oil seeds J.A.O.C.S.1983, Vol .60, N°2, Février, pp. 476-479.

Genot C., Meynier A., Riaublanc A., Chobert J.M., 2003. Protein alterations due to lipid oxidation in multiphase systems : lipid oxidation pathways.P.265- 292.

Giovaccino L. L'extraction de l'huile d'olive Rev. Olivae, 1991, Vol ;36,pp. 14- 40.

Gouveia (J.M.B.). Étude comparative entre les huiles d'olive des cvs Cobrançosa, Blanqueta, Azeiteira et Picual et celles de cv Galega Vulger, produites dans le Nord de l'Alentejo. Olivae, 66, p. 34-45 (1997).

Guillaumin R ; et Coll. Caractéristiques des huiles de soja et d'arachide chauffées. Rev. Fr des corps gras, N°10, 1977, pp. 467-477.

Karleskind, A. Manuel des Corps Gras, Tome II, Edition Lavoisier, p. 1174 (1996).

Joanny Menvielle-Bourg F. Plantes et vieillissement. Phytothérapie , 2005, Numéro 2, pp.57-71.

Judde .A , Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : Mécanismes , conséquences , moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications ? oclvol. 11 ,2004.

Judde A, Villeneuve P, et al. Antioxidant effect of soy lecithins on vegetable oil stability and their synergism with tocopherols. JAOCS, 2003 ; vol. 80, n° 11.

Karleskind A., 1992. Propriétés des corps gras : Manuel des corps gras, Lavoisier, Paris. ISBN 2-85206-662-9. P.12-131.

Karleskind A. Manuel des corps gras. Edition : Lavoisier Tec et Doc, Tome 1 et 2, Paris ,1992.

Lacoste., Dosages des métaux toxiques dans les corps gras. Rev. Fr des corps gras, 1993, n°1/2.

Linden G et Lorient D, 1994. Huiles et graisses végétales in biochimie agro industrielle. Ed Masson :95p.

McKenzie, B.A., Van Fossen, L., Stockdale, H.J. 1980. Managing dry grain in storage. Agric. Eng. Digest 20. 10 pp.

Morin O., Sources et Monographies des principaux Corps Gras. In: Manuel des Corps Gras, Vol.1. Ed by A. Kareskind. Lavoisier, Paris, 137-140, 1992.

Morise A., Hermier D., Combe N., Legrand P., Mourot J., Fenart E., Weill P. Effet de la dose d'acide alpha-linolénique alimentaire sur le métabolisme lipidique. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 2005 , Volume 12, Numéro 5, pp.400-6.

Naudet M, Soulier J et Farines M. 1992. Principaux constituants chimiques des corps gras. In : **manuel des corps gras**.1. 65-113. ed : techniques et documentation. Londres Paris New York. ISBN : 2-85206-662-9.

Nesetal, W. R. Multiple roles for plant sterols, In: *The Metabolism, structure and function of plant lipids*. Ed. Strumpf, P. K. Strumpe, B. J. Mud an W. R. nes. Plenum, New York, pp 3-9 (1987).

Nioi, C., 2013. Extraction et protéolyse de napines de tourteau de colza : influence de l'état structural de la protéine sur la cinétique de protéolyse, la composition et les fonctionnalités des hydrolysats. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.

Ollivier D. Compositions en acides gras et en triglycérides d'huiles d'olive vierges françaises (*Olea europaea*, subsp *europaea*). Application à la détermination de leurs origines variétales et géographiques, Thèse de doctorat, Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III (2006).

Ollivier D., Artaud, J.), Pinatel, C., Durbec J.P. et Guère M. Differentiation of french virgin olive oil RDOs by sensory characteristics, fatty acid and triacylglycerol compositions and chemometrics. *Food Chem.*, 97, p. 382-393 (2006).

Perrin, J. L. Les composés mineurs et les antioxygènes naturels de l'olive et de son huile, *Rev. Franc. Corps Gras*, 39, 25-32, **1992**.

Pre. J,1993: Radicaux libres et peroxydation lipidique. II Aspects physiopathologiques. *Sem. Hôp. Paris* 69, 29-39.

Rakow, G.I., 2004. Species Origin and Economic Importance of Brassica. *Biotechnology in Agriculture and Forestry* 3-12.

Répertoire général des aliments. Tome I : Table de composition des corps gras. Tec. Doc. Lavoisier INRA (1987).

Richardson, M. Koricka, Lipid Oxidation, Developments in Dairy Chemistry, 2, Lipids, PF Fox, Ed. Dublin: Applied Science Publishers, 241-363 (1983).

Ruggeri, S., Cappelloni, M., Gambelli, L., Nicoli, S., Carnovale, E. Chemical composition and nutritive value of nuts grown in Italy. Italian Journal of Food Science, 1998, Vol.10, Num.3, pp.243–252.

Sinha, R.N., Watters, F.L. 1985. Insectes nuisibles des minoteries, des silos-élévateurs, des usines à provendes et méthodes de désinfestation. Agric. Can. Publ. 1776. 290 pp.

Solinas M., 1992 Les principes d'extraction de l'huile d'olives. Rev. Olivae, N°42, pp : 31-35.

Soulier, J. M. Farines, Principaux constituants chimiques des corps gras. In: Manuel des Corps Gras, vol. 1, Edby A. Karleskind. Lavoisier, Paris, 65-114 (1992).

Tir R. Extraction et analyse de l'huile de graine de Sesame. Th. Mag, USTHB, Bab Ezzouar, Alger, 2005, p 122.

Tiritiaux a et gibbon veronique G. La désodorisation...à la carte. 1997, *O.C.L*, vo 4, n°1, Janvier/Février, pp.45-50.

Uciani (E.). Nouveau dictionnaire des huiles végétales. Tec. Doc. Lavoisier (1995).

Uzzan A, (1992b) « Fruits oléagineux et leurs huiles : olive et huile d'olive » in **Karleskind A.** manuel des corps gras. Tome 1. Ed : Technique et documentation. Lavoisier. Paris. P 787.

Vierling, (2003) Aliments et boisson. « Filière et produits ». Ed : Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. Bordeaux. P 271.

Weil, J-H., Bonnet, J., Boulenger, Y et al. Structure des lipides. In : biochimie générale. 9ème éd. Paris : Dunod, 2001. 267-274p. ISBN : 2-10-0055-739.

Wolff R .L., Deluc L.G. , Marpeau A. M.Conifer Seeds: Oil Content and Fatty Acid Composition. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1996, Volume 73, Number 6, pp. 765-771.

Wolff R.L., Marpeau A.M., Gunstone F.D., Bezard J., Farines M., Martin J-C., Dallongeville J.Particularités structurales et physiologiques d'huiles nouvelles, les huiles de graines de conifères.Oléagineux, Corps Gras, Lipides.1997, Volume 4, Numéro 1, pp.65-70.

Wolff (J.P.)-., Manuel d'analyse des corps gras.Paris,Azoulay,1968:517p.

Références électroniques

www.eet-alcotra.eu

www.iterg.com