

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
Université A. MIRA – Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Sciences Alimentaires  
Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme  
**MASTER**  
*Thème*

*Effet de la friture sur l'huile de table*

Présenté par:

**SAIDI Amel**

**TATAR Narimene**

Soutenu le: **19 septembre 2020**

Devant le jury composé de :

Mme. GUEMGHAR. H.

Mme. AIDLI .A

Mme. BERKATI. S.

Présidente

Promotrice

Examinatrice

**Année universitaire : 2019 / 2020**

# Remerciements

Nous remercions le bon Dieu, le seul Miséricordieux, qui nous a pleinement accordé de l'énergie, de la santé et surtout de la volonté et du courage pour pouvoir terminer ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements vont à Mme Aidli pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa gentillesse et sa spontanéité avec lesquelles elle a voulu diriger ce travail. Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous sa direction et trouvé auprès d'elle le conseil et le guide. Elle nous a reçus en toutes circonstances avec sympathie, sourire et bienveillance.

On tient à exprimer nos profonds respects au présidente du jury Mme GUEMGHAR d'avoir accepté de juger notre travail.

Notre sincère gratitude à Mme BERKATI pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

# Dédicaces

*A ma très chère mère*

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne pourrai jamais te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différentes obstacles.

*A mon très cher père*

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.  
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A mes très chers frères Louanes, Mohand ou Abd Allah et Saadi et mes belles sœurs Fairouz et Toues,  
Qui ont été toujours présents pour me soutenir et m'encourager.*

*A ma chère binôme Narimene,*

*Pour sa patience*

*A mes chères amies Katia et Nadine*

*Amel*

# Dédicace

*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère,*

*A mon cher père,*

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs*

*A mon frère AMINE*

*A ma chère sœur NESRINE*

*Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études*

*A mon cher mari Hakim*

*Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles et qui je souhaite une bonne santé*

*A mes beaux parents*

*Merci pour leurs soutiens et leurs patiences infinies*

*A mon cher binôme Amel*

*Pour son entente et sa sympathie*

*Narimene*

## Liste des figures

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
01	Formule générale d'un triglycéride	04
02	Structure chimique des phospholipides	06
03	Productions mondiales des principales huiles végétales par rapport à la production globale 2011/2012	11
04	Différentes huiles commercialisées en Algérie	11
05	Plante de soja	13
06	Graine de soja	13
07	Différentes réactions de dégradation des huiles végétales	23
08	Schéma générale des réactions d'auto-oxydation des AGI	24
09	Réaction d'isomérisation	25
10	Hydrolyse des triglycérides	26
11	Formation de polymère acyclique à partir d'acide oléique lors de la friture	27

## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>page</b>
I	Teneur en acides gras saturés de quelques huiles végétales	05
II	Teneurs en vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol) de quelques huiles végétales	06
III	Teneurs en phytostérols de quelques huiles végétales	07
IV	Principales constantes physiques et chimiques de l'huile de soja	14
V	Composition de l'huile de soja en acide gras	15
VI	Composition de l'insaponifiable de l'huile de soja	15
VII	Composition de l'huile de soja brute et raffinée	19
VIII	Principaux produits de dégradation des huiles de friture et leurs effets physiopathologiques	31
IX	Antioxydants naturels et principales sources alimentaires	33

---

# Sommaire

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Introduction.....1

### Chapitre I: Généralités sur les huiles végétales

1. Définition.....	3
2. Composition des huiles végétales.....	4
2.1. Triglycérides.....	4
2.2. Composition en acides gras.....	4
2.3. Composés mineurs.....	6
2.3.1. Phospholipides ou phosphatide.....	6
2.3.2. Tocophérols.....	6
2.3.3. Stérols.....	7
2.3.4. Cires.....	7
2.3.5. Composées phénoliques.....	7
2.3.6. Caroténoïdes.....	8
2.3.7. Chlorophylles.....	8
3. Propriétés physico-chimiques des huiles.....	8
3.1. Propriétés physiques.....	8
3.1.1. Etat naturel et aspect.....	8
3.1.2. Densité.....	8
3.1.3. Viscosité.....	8
3.1.4. Solubilité.....	8
3.1.5. Point de fusion.....	9
3.2. Propriétés chimiques.....	9
3.2.1. Indice d'acide.....	9
3.2.2. Indice de saponification.....	9
3.2.3. Indice d'iode.....	9
3.2.4. Indice de peroxyde.....	10
4. Rôles biologiques et nutritionnels des lipides.....	10
4.1. Source d'énergie.....	10
4.2. Source d'acides gras essentiels et de vitamines liposolubles.....	10
4.3. Rôle structural.....	10

5. Différentes utilisations des huiles végétales.....	10
6. Production et consommation des huiles végétales.....	11
6.1 Mondiale.....	11
6.2. Nationale.....	12
7. Huiles végétales commercialisées en Algérie.....	12
8. Huile de soja.....	13
8.1. Origine.....	13
8.1.1.Plante de soja.....	13
8.2.2.Graine de soja.....	13
8.2. Définition .....	14
8.3. Valeur nutritionnelle.....	14
8.4. Propriétés physicochimiques.....	14
8.5. Composition de l'huile de soja.....	14
8.6. Raffinage des huiles végétales.....	16
8.6.1.Raffinage chimique.....	16
8.6.1.1 Démucilagination ou dégommeage.....	16
8.6.1.2. Neutralisation.....	16
8.6.1.3. Lavage.....	17
8.6.1.4. Séchage.....	17
8.6.1.5. Décoloration.....	17
8.6.1.6. Désodorisation.....	18
8.6.1.7 Conditionnement et emballage.....	18
8.6.2. Raffinage enzymatique.....	18
8.6.2.1. Dégommeage enzymatique.....	18
8.7. Effets du raffinage sur les huiles.....	19
8.8.Composition de l'huile brute et l'huile raffinée de soja.....	19

## **Chapitre II : Friture et altération des huiles**

1. Friture.....	20
1.1. Définition.....	20
1.2. Types de friture.....	20
1.2.1. Friture plate.....	20
1.2.2. Friture profonde.....	21
1.3. Procédé de friture .....	21
1.3.1. Traitements pré friture.....	21
1.3.2. Traitement post-friture.....	21
2. Altération des huiles végétales.....	22
2.1. Réactions d'altérations des huiles.....	22
2.1.1. L'oxydation.....	23
2.1.2. Isomérisation .....	25
2.1.3. Hydrolyse.....	26

## Sommaire

---

2.1.4. Polymérisation.....	26
3. Produits de dégradation des huiles de fritures.....	27
3.1. Composés volatils.....	27
3.2. Composés non volatils.....	28
3.2.1. Composés polaires.....	28
3.2.2. Composés non polaires.....	28
4. Effets physiopathologique des produits de dégradation des huiles de friture.....	29
4.1. Effets sur la croissance corporelle.....	29
4.2. Effets sur les maladies cardiovasculaires.....	30
4.3. Effets sur le foie et les reins.....	30
4.4. Effets sur la mortalité.....	30
5. Antioxydants.....	32
5.1. Définition.....	32
5.2. Classes d'antioxydants.....	32
5.2.1. Antioxydants primaires.....	32
5.2.2. Antioxydants secondaires.....	32
5.2.3. Antioxydants synthétiques.....	32
5.2.4. Antioxydants naturels.....	33
5.3. Composés phénoliques.....	34
5.3.1. Classification des composés phénoliques.....	34
5.3.1.1. Acides phénoliques.....	34
5.3.1.2. Flavonoïdes.....	34
5.3.1.3. Tannins.....	35
<b>Conclusion.....</b>	<b>37</b>

### Références bibliographiques

### Résumé

# Introduction

Les huiles et les corps gras sont utilisés par l'homme depuis l'antiquité. Les technologies dans ce domaine n'ont pratiquement pas changé depuis des siècles. En effet, l'histoire des corps gras ne peut pas se dissocier de l'histoire des sciences et notamment de celle de la chimie (**Kartika, 2005**).

Les huiles et les graisses ont toujours constitué une part importante de l'alimentation humaine (**Prior, 2003**). Ces huiles, sont malheureusement instables et sujettes à une oxydation rapide durant le stockage ou lors des préparations culinaires, ce qui modifie leur caractéristiques organoleptiques et physicochimiques, et qui affectent ainsi leur durée de conservation (**Lee *et al.*, 2009**). Parmi ces huiles, figure l'huile de soja qui est sensible à l'oxydation vu sa composition majoritaire en acide gras polyinsaturés (**Cahuzac, 2010**).

L'huile, cet élément essentiel à la nutrition, peut être de nature végétale sous forme de corps gras extrait de graines oléagineuses et de fruits ; elle est utilisée principalement comme huiles de tables. A l'état naturel, elle est accompagnée de matières indésirables (phospholipides, acides gras libres et pigments colorés...) dont l'élimination par le traitement de raffinage est indispensable pour obtenir un produit fini de qualité. (**Cuvillier et Maillard, 2002**).

En techniques culinaires, comme dans l'industrie agro-alimentaire, on utilise différents types de corps gras (fluides et solides) dans différentes préparations d'aliments. Parmi ces dernières, les fritures. En effet, selon **Warner (2003)**, la friture est une technique de préparation des aliments rapide et populaire. Cependant, l'utilisation des huiles de fritures à plusieurs reprises produit des composants indésirables qui provoquent des risques pour la santé. Ces composants sont dus à une série de réactions complexes aboutissant à l'oxydation, l'hydrolyse et la polymérisation de l'huile.

Les composés phénoliques sont largement utilisés en agroalimentaire, car ils préviennent le développement de rancidité aux conséquences technologiques très néfastes durant le stockage et la cuisson (**Gharby *et al.*, 2014**). Ces puissants antioxydants sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés

en réponse à des agressions extérieures (pollutions diverses, infections, etc.) (**Rice-Evans *et al.*, 1996**).

Le présent travail porte sur l'étude des altérations des huiles de friture dont lequel nous avons consacré quatre chapitres, le premier aborde des généralités sur les huiles végétales, le second chapitre traite sur l'huile de soja, le troisième chapitre sur la friture et altération des huiles et le dernier chapitre abord les antioxydants.

## Chapitre I : Généralités sur les huiles végétales

Les huiles végétales représentent un ensemble très variés de corps gras d'origine, de composition, de qualité et de goûts différents. Celles-ci sont présentées selon leurs caractéristiques physico-chimiques, leur mode de fabrication, leur compositions en acide gras, en vitamines, en composés mineurs, leur intérêt nutritionnel et leur usages. Toutes ont un intérêt différent (**Lecerf, 2011**).

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel dans notre alimentation. Elles assurent tout d'abord une fonction nutritionnelle : elles contribuent à l'apport d'énergie et d'acides gras indispensables, en particulier l'acide linoléique et l'acide  $\alpha$ -linoléique. Elles contribuent à la qualité organoleptique des produits, leur apportant une texture onctueuse, crémeuse, fondante, un aspect brillant et une saveur spécifique. En fin, elles assurent des fonctions technologiques, en particulier comme moyens de transfert de chaleur en cuisson (exemple des huiles de friture), agents d'enrobage aspect organoleptique : couleur, brillance, croustillance et de démoulage : appliqué sur les surfaces des moules pour faciliter la séparation ou comme supports d'arômes utilisé pour diluer les huiles essentielles concentrées afin que celle-ci puissent être appliqués sans danger sur la peau et de colorants lipophiles (**Cuvelier et Maillard, 2002**).

Nous les consommons directement sous forme d'huile raffinée ou vierge, ou bien indirectement via de nombreux produits de l'industrie agroalimentaire. Le consommateur que nous sommes se montre de plus en plus exigeant en termes de qualité : la sécurité alimentaire et les aspects nutritionnels sont au centre des préoccupations sociétales actuelles (**Pagès, 2008**)

### 1. Définitions

Selon **Codex Alimentarius (1999)**, les huiles végétales sont définies comme suit :

- **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.

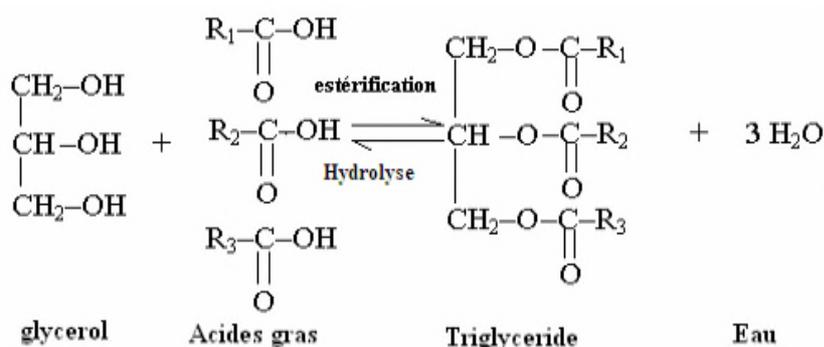
- **Huiles vierges** : sont obtenues, sans modification de la nature de l'huile, exclusivement au moyen de procédés mécaniques, par exemple expulsion ou pression, et d'un traitement thermique. Elles peuvent avoir été purifiées uniquement par lavage à l'eau, décantation, filtrage ou centrifugation.
- **Huiles pressées à froid** : sont obtenues, sans modification de l'huile, exclusivement par des procédés mécaniques, sans utilisation de procédés thermiques. Elles peuvent avoir été purifiées uniquement par lavage à l'eau, décantation, filtrage ou centrifugation.

## 2. Composition des huiles végétales

Les huiles sont principalement composées de triglycérides (90 à 99 %) eux-mêmes essentiellement constitués d'acides gras (90 à 95 %) et de glycérol (3 à 5 %) et de constituants mineurs naturels (1 à 5 %) regroupant des composés de structure variées tels que les stérols, tocophérols, caroténoïdes (Karleskind, 1992).

### 2.1. Triglycérides

Les triglycérides sont les constituants majeurs des corps gras. Les di et mono glycérides ne sont présents qu'à moins de 2% du total lipidique, se sont des esters d'acides gras et du glycérol (Guy *et al.*, 2008). La figure 1 représente la réaction d'estérification pour montrer la structure chimique des triglycérides.



**Figure 1** : Formule générale d'un triglycéride (Gornay,2006).

### 2.2.Acides gras

Les acidesgras des huiles et des graisses sont peu abondant à l'état libres, ils rentrent dans la composition des triglycérides et se différencient dans la longueur de la chaîne carbonique, le degré

de saturation, la position des doubles liaisons et la géométrie de chaque double liaison (forme Cis ou Trans) (Alais et Linden, 1997).

Les acides gras sont classés en trois groupes selon leur degré de saturation :

- **Acides gras saturés (AGS)** : c'est des chaînes hydrocarbonées sans insaturations, avec principalement des longueurs de chaîne comprises entre 16 (acide palmitique) et 18 atomes de carbone (acide stéarique) ;
- **Acides gras monoinsaturés (AGMI)** : chaînes hydrocarbonées comportant une double liaison, dont le principal représentant est l'acide oléique (C18 : 1, n-9 ou  $\omega$ 9) ;
- **Acides gras polyinsaturés (AGPI)** : chaînes hydrocarbonées comportant plusieurs doubles liaisons, dont les deux principaux sont les acides linoléique (C18 : 2 n-6 ou  $\omega$ 6) et  $\alpha$ -linoléique (C18 : 3 n3 ou  $\omega$ 3), acides gras essentiels et indispensables. (Karleskind, 1992).

La composition en acides gras de quelques huiles végétales est représentée dans le Tableau I.

**Tableau I** : Teneur en acides gras de quelques huiles végétales (Karleskind, 1992).

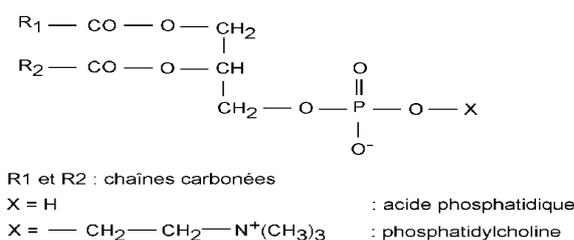
Huiles (10g)	AGS (g)	AGMI (g)	AGPI $\omega$ 6 (g)	AGPI $\omega$ 3 (g)
Arachide	2	6	2.5	NS
Noisette	0.8	8	1	NS
Tournesol oléique	0.8	8.2	1	NS
Olive	1.5	7.7	0.7	0.1
Colza	0.8	6	2	1
Soja	1.5	2.5	5.3	0.7
Noix	1	2	6	1.3
Germe de maïs	1.5	3	5.9	0.1
Tournesol	1	$\omega$ 2.3	6.5	NS
Pépins de raisin	1	1.7	7.3	NS
Palme	5	4	1	NS

NS : non significatif

## 2.3. Composés mineurs

### 2.3.1. Phospholipides ou phosphatides

Les phospholipides possèdent des structures chimiques uniques contenant des groupes lipophiles et hydrophiles. Ce sont des di-esters estérifiés par : la choline (phosphatidylcholine), l'éthanolamine (phosphatidyléthanolamine), l'inositol (phosphatidylinositol) ou la serine (phosphatidylsérine (**Chenet *al.*, 2011**)). La structure générale d'un phospholipide est représentée dans la figure 2.



**Figure 2:** structure chimique des phospholipides(**Anonyme 1, 2019**).

### 2.3.2. Tocophérols

Les tocophérols sont au nombre de quatre isomères ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) et sont plus abondants dans les huiles végétales brutes, une partie disparaît au cours du raffinage surtout lors de la désodorisation. Les tocophérols jouent le rôle naturel d'un antioxydant ce qui explique la résistance des huiles au phénomène de rancissement (**Helme, 1984 ; Petre *et al.*, 2002**). Dans le tableau II sont illustrées les teneurs en  $\alpha$ -tocophérol de quelques huiles végétales.

**Tableau II :** Teneurs en  $\alpha$ -tocophérol de quelques huiles végétales(**Karleskind, 1992**).

Huiles	$\alpha$ -tocophérol mg /100 g d'huile
Olive, noix	5-10
Palme, pépin de raisin	10-30
Soja, germe de maïs	10-40
Arachide	5-30
Colza	20-40
Noisette	30-55
Tournesol	45-110
Germe de blé	135-225

### 2.3.3. Stérols

Les stérols sont des molécules complexes comportant une fonction alcool. Ils se trouvent à l'état libre ou estérifié et représentent environ 30 à 60% de l'insaponifiable. Les lipides végétaux sont en général constitués de 2 à 5 stérols majoritaires et de nombreux stérols minoritaires. Les stérols les plus abondants du règne végétal sont les sitostérols suivis du campestérol et du stigmastérol (**Poisson et Narce, 2003 ; Dilmi-Bouras, 2004**). Le tableau III, suivant, représente les teneurs en phytostérols de quelques huiles végétales.

**Tableau III:** Teneurs en phytostérols de quelques huiles végétales (**Karleskind, 1992**).

Huiles	phytostérols(mg/100g d'huile)
Arachide	190-330
Colza	500-900
Noisette	80-200
Noix	170-250
Olive	80-200
Palme	40-90
Pépin de raisin	250-400
Soja	250-400
Tournesol	325-500
Germe de blé	500-900
Germe de maïs	850-2550

### 2.3.4. Cires

Les cires sont des esters d'acides gras et de mono alcool aliphatique chez les végétaux. Elles contribuent à la formation des pellicules protectrices des graines et des fruits (**Poisson et Narce, 2003**).

### 2.3.5. Composées phénoliques

Ces constituants, encore appelés « biophénols », sont des substances naturelles aux importantes propriétés antioxydantes, présentes dans les huiles telle que l'huile d'olive (**Karleskind, 1992**).

### 2.3.6. Caroténoïdes

Ce sont des hydrocarbures fortement insaturés, de couleur jaune à orange. Ils comprennent les carotènes et les xanthophylles. Les principaux carotènes rencontrés dans les huiles végétales sont les  $\beta$  carotènes qui se dégradent facilement en présence de la lumière et de la température élevée (**Ben Tekaya et Hassouna, 2007**).

### 2.3.7. Chlorophylles

Ce sont les pigments verts des végétaux, elles jouent un rôle fondamental dans la photosynthèse (**Lambert, 2005**).

## 3. Propriétés physico-chimiques des huiles

### 3.1. propriétés physiques

#### 3.1.1. Etat naturel

Les corps gras sont solides (cas des graisses) ou liquides (cas des huiles) suivant leurs compositions chimiques, ils sont d'autant plus solides qu'ils sont plus saturés (**Denise, 1992**).

#### 3.1.2. Densité

C'est la masse de l'unité de volume exprimée en gramme par  $\text{cm}^3$  à la température donnée. La densité des huiles végétales varie de 0,915 à 0,964 (**Ericksson et Wiedermann, 1989**).

#### 3.1.3. Viscosité

La viscosité est un paramètre important de la qualité de la plupart des produits. C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un corps à s'opposer au cisaillement (**Gorlier et Germain, 1998**).

Les huiles saturées sont plus visqueuses que les huiles insaturées, car la viscosité diminue légèrement lorsque le degré d'insaturation s'accroît (**Alton, 1947**).

#### 3.1.4. Solubilité

Les acides gras à courtes chaînes sont solubles dans l'eau ils deviennent insolubles avec l'augmentation du nombre de carbones dans la chaîne et ils deviennent solubles dans les

solvants organiques (cétone, aldéhyde, benzène, chloroforme) et donc les lipides. Ils dépendent de la longueur de la chaîne carbonée et de nombre d'insaturations. (Louisot P, 1980).

### 3.1.5. Point de fusion

C'est le point de fondation qui permet d'apprécier le degré de pureté des corps gras, les huiles à l'état naturel ne présentent jamais un point de fusion mais une zone de fusion. On distingue à température ambiante :

- **Les huiles fluides** : Cette caractéristique témoigne d'un nombre total de doubles liaisons important et donc d'une teneur élevée en acides gras insaturés ;
- **Les huiles solides ou graisses concrètes** : la solidité est due à leur richesse en acides gras saturés (Lecerf, 2011).

## 3.2. Propriétés chimiques

### 3.2.1. Indice d'acide

C'est le nombre de milligramme de potasse nécessaire pour neutraliser l'acidité d'un gramme de corps gras (François, 1974).

Selon **ISO 660**, L'indice d'acide quand il est déterminé sur un acide gras pur, il permet de connaître sa masse molaire.

### 3.2.2. Indice de saponification

C'est le nombre de mg de potasse caustique (KOH) nécessaires pour transformer en savon les acides gras libres ou combinés, d'un gramme de corps gras (François, 1974).

### 3.2.3. Indice d'iode

C'est le nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras, c'est une addition pure et simple d'iode sur les doubles liaisons, et qui caractérise l'insaturation des corps gras (François, 1974).

L'intérêt de la mesure de l'indice d'iode permet de déterminer le degré d'insaturation d'un corps gras. (Anonyme, 2020).

### 3.2.4. Indice de peroxyde

C'est le nombre de milliéquivalents grammes d'oxygène actif par kilogramme de corps gras (meq.g. d'O<sub>2</sub>/kg de corps gras) (**François, 1974**).

Cet indice permet d'évaluer le degré d'oxydation des acides gras insaturés de la matière grasse (rancissement), pour des huiles ou graisses alimentaires, ou à usage cosmétiques (ex : beurre de karité, huile d'argane) (**Rahmanim M, 2005**).

## 4. Rôles biologiques et nutritionnels des lipides

### 4.1. Source d'énergie

Un gramme de lipides apporte 9 kCal. Ce rôle énergétique est principalement assuré par les AGS, voire les AGMI, grâce à leur potentiel d'oxydation biologique ( $\beta$ -oxydation) qui génère de l'ATP (**Vignerone *et al.*, 2006**).

### 4.2. Source d'acides gras essentiels et de vitamines liposolubles

Les huiles végétales représentent une source intéressante d'acides linoléique (C18 : 2 n-6) et alpha-linoléiques (C18 : 3 n-3), considérés comme AGPI essentiels et indispensables dans l'alimentation, puisque ce sont les deux précurseurs respectifs d'acides gras oméga 6 et oméga 3, tels que l'acide arachidonique (C20 : 4 n-6), l'acide eicosapentaénoïque (C20 : 5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (C22 : 6 n-3), aux fonctions essentielles à la vie (agrégation plaquettaire, inflammation, immunité, etc.), de plus l'organisme humain ne peut pas les synthétiser. Les huiles végétales sont également la source principale de vitamine E (**Vignerone *et al.*, 2006**).

### 4.3. Rôle structural

Les acides gras, sous la forme de phospholipides, constituent l'ossature des membranes cellulaires. Les AGPI apportés par les huiles végétales et leurs dérivés métaboliques contribuent à la part importante du contenu membranaire en AGPI dont les principaux sont les acides C18 : 2 n-6, C20 : 4 n-6 et C22 : 6 n-3 (**Vignerone *et al.*, 2006**).

## 5. Différentes utilisations des huiles végétales

Les huiles végétales peuvent avoir de multiples usages : alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques et énergétique (**Blin et Girard, 2011**).

## ❖ Exemples

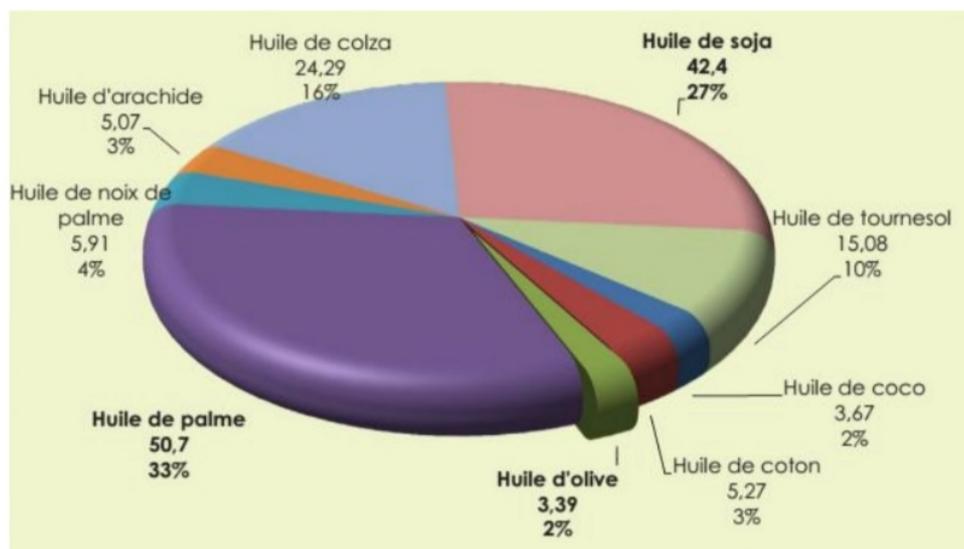
- Alimentation (friture et assaisonnement) ;
- Cosmétique (savon et détergent) ;
- Pharmaceutique (produit de beauté et de crème) ;
- Energétique (production d'électricité et biocarburant).

## 6. Production et consommation des huiles végétales

### 6.1.A l'échelle mondiale

La production mondiale d'huiles végétales a été de 156,3 millions de tonnes en 2012 avec une croissance de 30 % en 2020. Cette croissance proviendra des pays asiatique (en l'occurrence Malaisie, Indonésie et la Chine), l'Argentine, l'Union européenne, le Brésil, le Canada, la Fédération de Russie et l'Ukraine.

L'huiles de palme arrive en tête de la production mondiale globale (33%) devant l'huile de soja, decolza et de tournesol qui viennent avec des pourcentages voisin de la moitié des deux premières citées (figure .3).



**Figure 3:** Productions mondiales des principales huiles végétales par rapport à la production globale 2011/2012, (Anonyme 2, 2013).

Par contre la consommation totale d'huiles végétales est d'environ 140 millions de tonnes dont 113 millions pour l'alimentation humaine (81%) et Environ 15 % utilisée pour le biodiesel (Anonyme 2, 2013).

## 6.2. Al'échelle nationale

En Algérie, la facture d'importation des huiles végétales (huiles de soja brute, de tournesol, ...) a augmenté à 579,4 millions de dollars en 2016 contre 521 millions de dollars en 2015.

Quant aux quantités importées, elles ont aussi augmenté en s'établissant à 761.528 tonnes (t) contre 688.540 t, précise le centre national de l'information et des statistiques des douanes. Ainsi, la facture a grimpé de 11.22% tandis que les quantités importées ont augmenté de 10.6% (Anonyme 3, 2016).

## 7. Huiles végétales commercialisées en Algérie

Il existe sur le marché Algérien différentes marques d'huiles végétales alimentaires, qu'elles soient pures (huile de soja et de tournesol) ou mélangées, celles-ci sont utilisées pour l'assaisonnement, la cuisson ou la friture. La figure ci-dessous représente les différentes huiles commercialisées en Algérie.



**Figure4** : Différentes huiles commercialisées en Algérie (Anonyme 4, 2019)

## 8. Huile de soja

### 8.1. Origine

#### 8.1.1. La plante

Le soja, *Glycine max* (L.)Merr,est une plante de la famille des légumineuses, sous-famille des Papilionoideae, tribu des Phaseoleae (dont l'image est représentée dans la figure 5). Le soja est originaire de chine et son utilisation par l'homme remonte probablement aux alentours du XV<sup>e</sup> siècle avant J.-C.Ce n'est cependant qu'au cours du dernier siècle que le soja s'est développé comme culture, au plan mondial, avec l'utilisation de cette graine en trituration industrielle aux USA d'abord, puis en Europe et en Amérique du Sud(**Pouzet, 1992**).



**Figure 5 : la plante de soja (Anonyme 1, 2019).**

#### 8.1.2. La graine

A l'issue de la floraison et de la nouaison, se développe une gousse contenant, selon les cas, entre 1 et 4 graines.Comme chez les autres légumineuses, la graine se compose essentiellement d'une enveloppe lisse (la coque) et d'un embryon. Sa taille varie généralement entre 5 et 10 mm de diamètre et son poids (selon les variétés) oscille entre 50 et 400 mg. La forme de la graine varie selon les cultivars (**Pouzet, 1992**).Dans la figure 6 est représentée une image des graines de soja.



**Figure 6: Graine de soja (Anonyme 1, 2019).**

## 8.2. Définition

L'huile de soja, est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée d'haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel  $\alpha$ -linoléique. Elle est recommandée pour les assaisonnements (Platon, 1988).

## 8.3. Valeur nutritionnelle de l'huile de soja

L'huile de soja est une huile 100 % végétale, riche en acides gras essentiels et pauvre en cholestérol. C'est une bonne source de vitamines, elle est naturellement protégée de l'oxydation par la vitamine E qu'elle contient (Poisson et Nacre, 2003).

## 8.4. Propriétés physicochimiques de l'huile de soja

Les principales constantes physiques et chimiques de l'huile de soja sont représentées dans le tableau IV, suivant :

**Tableau IV:** Principales constantes physiques et chimiques de l'huile de soja (Debruyne, 2001).

<b>Densité à 20°C</b>	0,921-0,924
<b>Viscosité à 20°C</b>	53-58
<b>Indice de réfraction à 20°C</b>	1,473-1,477
<b>Indice d'iode</b>	125-128
<b>Indice de saponification (mg de KOH/g de corps gras)</b>	188-195

## 8.5. Composition de l'huile de soja

L'huile de soja est une huile très digeste de grande qualité qui possède les vitamines A, E, K et les phytostérols (Labat, 2013). Elle est pauvre en acides gras mono-insaturés et saturés, elle fait partie des huiles les plus riches en acides gras polyinsaturés totalisant 54 à 72% des lipides totaux (Lecerf, 2011). Parmi ces acides gras polyinsaturés, l'acide linoléique (oméga 6) et alpha-linolénique (oméga 3) qui font partie des principaux acides gras essentiels pour l'organisme (Ward et Singh, 2005). La composition moyenne de l'huile de soja en acides gras est illustrée dans le Tableau V.

**Tableau V** :Composition de l'huile de soja en acide gras(Pouzet,1992).

Nature	symboles	Acides gras totaux %
Acide myristique	C14 :0	< 0.2
Acide palmitique	C16 :0	8-13
Acide palmitoléique	C16 :1	<0.2
Acide margarique	C17 :0	-
Acide stéarique	C18 :0	2-5
Acide oléique	C18 :1	17-26
Acide linoléique	C18 :2	50-62
Acide $\alpha$ -linoléique	C18 :3	4-10
Acide arachidique	C20 :0	<0.2
Acide gadoléique	C20 :1	<0.4
Acide béhénique	C22 :0	<0.5

Dans le tableau VI est représentées la composition moyenne de l'insaponifiable de l'huile de soja.

**Tableau VI** : Composition de l'insaponifiable de l'huile de soja (Pouzet,1992).

Insaponifiable : 0.5-1.6%		
Stérol(en mg/100 g)	250-418	Tocophérols(en mg/100g)80-167
Composition des stérols : (en % des stérols totaux)		Composition des tocophérols : (en % des tocophérols totaux)
Cholestérol	< 1	Alpha tocophérol5-10
Brassicastérol	-	Beta tocophérol 2-3
Campestérol	19-23	Gamma tocophérol 44-6
Stigmastérol	17-19	Delta tocophérol30-43
B Sitostérol	47-59	Tocotriénols -
$\Delta 5$ Avenastérol	2-4	
$\Delta 7$ stigmastérol	1-3	
$\Delta 7$ Avenastérol	1-2	
Ergostérol<3		Alccols triterpéniques (en mg/100 g)

## 8.6. Raffinage des huiles végétales

Le raffinage consiste à faire subir à l'huile un certain nombre de traitements pour le transformer en un produit commercial, tant par son aspect que par ces qualités organoleptiques (Denise, 1992).

L'objectif principal du raffinage d'une huile est de réduire son contenu en éléments mineurs non triglycéridiques (phospholipides, métaux, acides gras libres, savons, pigment et produit d'oxydation...) qui ont un effet néfaste sur sa qualité en terme de stabilité oxydative. Il convient par ailleurs, de ne pas endommager la fraction triglycéridique et de conserver un maximum de constituants reconnus comme bénéfiques (tocophérols, stérols etc.). Le processus de raffinage comprend une série d'étapes distinctes qui peuvent s'opérer de trois manières : chimique, physique et enzymatique (Bauer *et al.*, 2010).

### 8.6.1. Raffinage chimique :

#### 8.6.1.1. Démucilagination ou dégomme

Le principe utilisé consiste à éliminer une faible quantité de produits dont l'ensemble est désigné sous le nom « mucilage » et comprend surtout des phospholipides (phosphatides).

L'huile brute est portée à une température de 80°C avec de l'eau (2 à 3%) additionnée de l'acide phosphorique (0,1 à 0,3%). Les deux phases, ainsi obtenues, sont séparées par centrifugation (François, 1974).

En général, toutes les huiles contiennent à la fois des phosphatides hydratables et non hydratables, la proportion de ces derniers est plus élevée dans le cas du soja (5 à 10%), il est préférable de procéder à une première démucilagination pour récupérer la lécithine qui constitue un sous-produit (François, 1974).

#### 8.6.1.2. Neutralisation

L'huile est portée à 80-90°C puis agitée avec de la soude (NaOH). Les acides gras libres responsables de l'acidité et de l'oxydation de l'huile, passent dans la phase aqueuse sous forme de savons et sont éliminés lors de la centrifugation qui suit. D'autres impuretés (phospholipides résiduels et une partie des pigments) sont enlevées également avec la partie aqueuse alcaline. La réaction de neutralisation est représentée dans la réaction suivante :



Transformation des acides gras libres en savon

La solution de la soude est ajoutée avec précaution pour ne pas exercer la saponification des triglycérides (saponification parasite) (**François, 1974**).

L'huile est ensuite lavée à l'eau pour éliminer les résidus d'alcali et de savon, puis séchée sous vide (**Henri et Jean-Claude, 1979**).

### 8.6.1.3. Lavage



Cette opération permet d'éliminer les savons résiduels et la soude en excès présents dans l'huile ainsi que les traces de métaux et des phospholipides. Le lavage est plus efficace lorsqu'il est effectué en deux stades, il est préférable d'utiliser de l'eau décalcifiée et la plus chaude possible à 90°C pour éviter l'encrassement des bols par dépôt de savon et phosphate de calcium (**Denise, 1992**).

### 8.6.1.4. Séchage

L'humidité présente dans l'huile lavée est éliminée avant l'opération de décoloration car elle peut provoquer le colmatage rapide des filtres. L'huile neutralisée sortant du lavage à une température de 90°C est séchée sous vide par pulvérisation dans une tour verticale (**Denise, 1992**).

### 8.6.1.5. Décoloration

Les huiles démuçilaginées et neutralisées présentent une teinte plus ou moins foncée due à la présence des pigments colorés, cette teinte peut être accentuée au cours du stockage ultérieur (**François, 1974**).

La décoloration vise à éliminer ces pigments que la neutralisation n'a que très partiellement détruit, elle fait intervenir un phénomène physique d'adsorption sur la terre décolorante ou sur le charbon actif (**Helme, 1984**). La terre est additionnée à l'huile, le mélange est chauffé à 90°C sous pression réduite après contact de quelques minutes, le mélange est séparé par filtration (**Adrian et Potus, 1998**).

#### **8.6.1.6. Désodorisation**

La désodorisation est la dernière étape du raffinage elle a pour but d'éliminer les substances sapides et odorantes par distillation, elle consiste à envoyer un courant de vapeur sec au travers de l'huile portée à environ 200°C et maintenue sous vide afin que les produits volatils, comme les aldéhydes et les cétones, responsables du goût et d'odeurs désagréables de l'huile soient entraînés par la vapeur, après désodorisation l'huile doit être refroidie. A la fin de cette opération, on ajoute un anti-oxydant tel que l'acide citrique qui a le rôle de complexant des traces de métaux (**Henri et Jean-Claude, 1977**).

#### **8.6.1.7. Conditionnement et emballage**

C'est la mise sous emballage des huiles pour assurer leur conservation et leur transfert depuis l'usine de fabrication jusqu'aux consommateurs (**Linden et Lorient, 1994**).

L'huile conservée dans des récipients en plastique ou en verre perd sa qualité organoleptique durant la période de stockage, alors que celle stockée dans des bouteilles en zinc ou en fer blanc (inox) qui présente une bonne résistance mécanique est mieux protégée contre l'oxydation (**Mendez et al., 2007**).

### **8.6.2. Raffinage enzymatique**

C'est une méthode qui utilise des enzymes pour transformer les phospholipides non hydratés et hydratés en lyso-phospholipides pouvant être éliminés par centrifugation (**Yang, 2006**).

#### **8.6.2.1. Dégommage enzymatique**

Le processus de dégomme enzymatique peut être divisé en quatre étapes différentes :

- Ajustement des conditions optimales pour la réaction enzymatique à savoir un  $pH_{optimum}$  avec une solution tampon de citrate / soude. (pH entre 4.5 et 5.5) et la température qui doit être comprise entre 45° et 55°C ;
- L'ajoute de l'enzyme ;
- La réaction enzymatique pendant 4 à 6 heures ;
- La séparation des lyso-phosphatides de l'huile à environ 70°C.

Le dégomme enzymatique est suivi des étapes de décoloration et désodorisation précédemment décrites (Yang, 2006).

### 8.7. Effets du raffinage sur les huiles

- Le raffinage permet d'éliminer les constituants gênants et les impuretés et conduit aux huiles commerciales ayant de bonnes qualités organoleptiques (Denise, 1982).
- Destruction partielle de l' $\alpha$ -tocophérol au cours du raffinage surtout à la désodorisation (Helme, 1984).
- Une perte de l'huile par entraînement dans les pâtes de neutralisation, dans les eaux de lavage et dans les terres décolorantes (François, 1974).
- Saturation d'une partie des acides gras insaturés, qui deviennent inactifs sur le plan biologique (Poisson et Nacre, 2003).
- Inversion de configuration spatiale de la molécule autour de double liaison (forme cis et trans), la majorité des acides gras insaturés naturels sont de configuration « Cis », les études épidémiologiques font suspecter les graisses « trans » de favoriser certains cancers (Poisson et Nacre, 2003).

### 8.8. Composition de l'huile brute et l'huile raffinée de soja

La composition de l'huile de soja (brute et raffinée) est donnée par le tableau VII.

**Tableau VII** : composition de l'huile de soja brute et raffinée (François, 1974).

Etat de l'huile Composition	Huile brute	Huile raffinée
Triglycérides (%)	95-97	99
Phospholipides (%)	1.5-2.5	Néant
Insaponifiable (%)	1.6	0.3
• Stérols	0.33	0.13
• Tocophérols	0.15-0.7	0.11-0.18
Hydrocarbures (%)	0.014	0.1-0.3
• Squalène		
Acides gras libres	0.03-0.05	0.02-0.06
Traces métallique (ppm)	1-3	0.1-0.3
• Fer	0.03-0.05	0.02-0.06
• Cuivre		



---

## Chapitre II : Friture et altération des huiles

### 1. Friture

#### 1.1. Définition

La friture est un mode de cuisson dont l'huile est utilisée comme vecteur de chaleur pour cuire l'aliment. La cuisson des aliments intervient au point d'ébullition de l'eau contenu dans l'aliment (100 C°), qui est plus basse que celle de l'huile, cette eau va ensuite s'échapper sous forme de vapeur. Certains aliments se prêtent bien à la friture profonde avec changement d'aspect (doré, croustillance, nouvelles saveurs). Ces changements résultent de la réaction de l'huile chauffée et la surface des aliments, La friture permet la déshydratation et la cuisson des aliments riches en eau (fruits, légumes, viandes et poisson, racine et tubercules) (Gonde et Morin, 2012).

#### 1.2. Types de friture

##### 1.2.1. Friture plate

La friture se fait dans un petit volume du corps gras dont une grande surface est en contact avec l'air ce qui favorise l'oxydation thermique de l'huile. Pour éviter la formation des composés toxiques tels les oxystérols et la destruction de la vitamine A, il est conseillé d'utiliser l'huile une seule fois pour éviter la formation de composés indésirables. Les chercheurs ont montré que les températures atteintes doivent être inférieures à 180°C au cours des fritures plates (Graille *et al.*, 2003).

##### 1.2.2. Friture profonde

La friture profonde en bain correspond à des conditions plus drastiques (175 à 200°C) et des temps d'application plus longs qui favorisent les réactions purement thermiques, la quantité d'huile étant importante par rapport à l'aliment. L'huile de friture est partiellement ingérée avec une absorption d'environ 4 à 10 % dans le cas des frites de pommes de terre et 30 à 40 % dans le cas des chips, et le bain de friture est généralement utilisé totalement ou partiellement pour plusieurs cycles de cuisson (Barrera-Arellano, 2002).

### 1.3. Procédé de friture

#### 1.3.1. Traitements pré friture

Lors de pré cuisson d'un aliment, la déshydratation de sa surface augmente sa porosité et donc sa capacité à absorber l'huile. Pour un même format de découpe, une pomme de terre crue absorbera moins d'huile qu'une pomme de terre précuite, peu importe le mode de cuisson ou de blanchiment (à l'eau ou à l'huile) qui sera choisi.

De plus, les pommes de terre ayant subi une double cuisson à l'huile (pré friture suivie la friture finale) auront une teneur en gras davantage élevée **Ziaifar et Aman Mohammad, 2008**).

#### 1.3.2. Au cours de la friture

##### ❖ Température de friture

Pour assurer un bon transfert de chaleur, un brunissement rapide et un temps d'opération plus court, les températures de cuisson recommandées se situent entre 155 °C et 180 °C (311 °F et 356 °F). À ces niveaux, la température de friture n'influence pas l'absorption d'huile.

Des températures supérieures à 200 °C (400 °F) doivent être évitées afin de réduire la dégradation de l'huile et la formation d'acrylamide. Et des températures trop basses (moins de 140 °C) augmenteront la durée de la friture et, conséquemment, l'absorption d'huile par lapomme de terre **(Ziaifar et Aman Mohammad, 2008 ; Delagoutte et Christian, 2007)**.

##### ❖ Rapport frite/huile

Le rapport de poids frite/huile doit être maintenu inférieur à 1 pour 6. Ce rapport permet de maintenir la température de l'huile aux niveaux recommandés lors de l'immersion des pommes de terre **(Ziaifar et Aman Mohammad, 2008)**.

#### 1.3.3. Traitement post-friture

L'égouttage rapide et mécanique (par secousses) des aliments à leur sortie du bain de friture éliminant une bonne partie de l'huile contenue à leur surface et influence leur teneur finale en gras. De fait, cette action réduit la quantité d'huile qui pourrait être absorbée au cours du refroidissement des aliments frits **(Ziaifar et Aman Mohammad, 2008)**.

## 2. Altération des huiles végétales

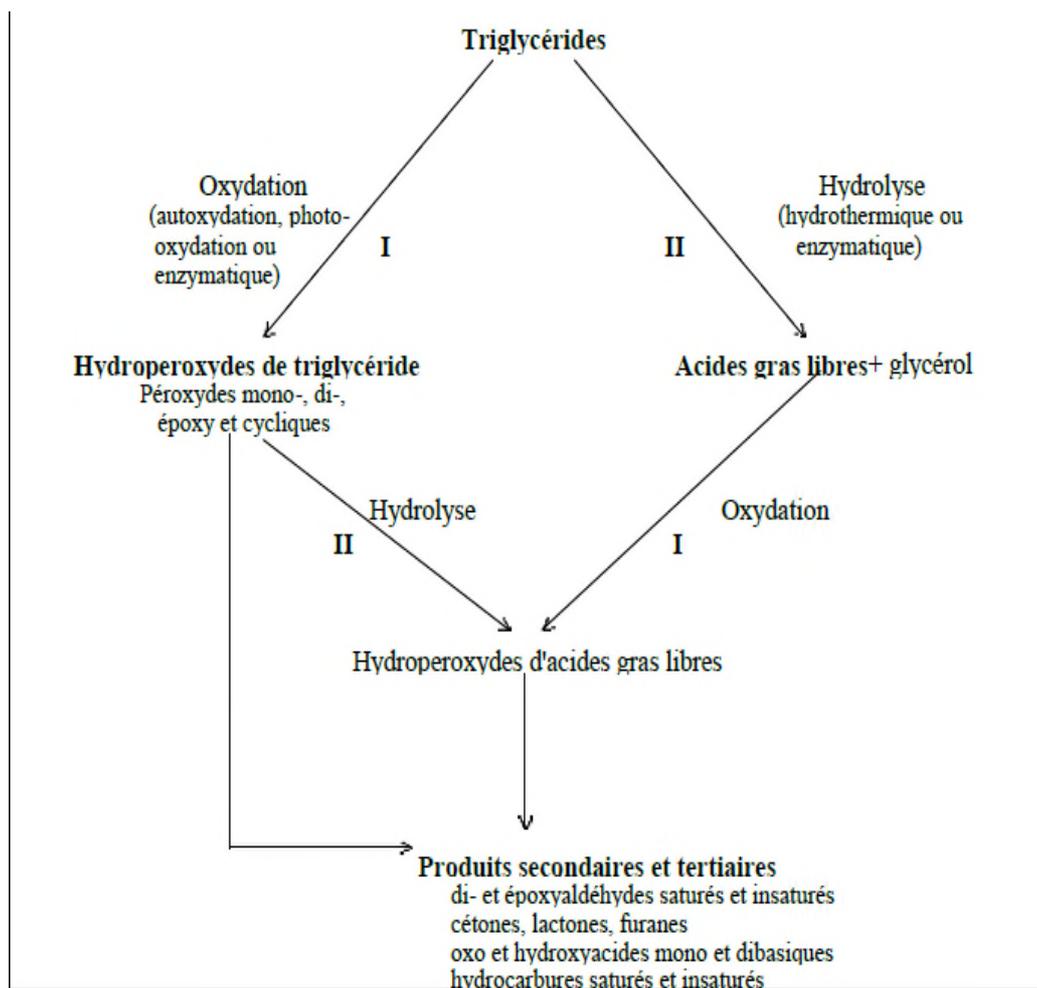
En présence d'eau, d'oxygène et des températures élevés (160- 180°C), l'huile subit un grand nombre de réactions chimiques complexes (**Vitrac *et al.*, 2003**).

L'utilisation des corps gras comme fluide dit « caloporteur » pour frire, cuire ou rôtir des aliments s'accompagne de réactions dites « thermo-oxydatives » qui vont conduire à la formation de produits d'altération modifiant ainsi les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles du corps gras. En effet, le corps gras est porté à plus de 150°C et est simultanément en contact avec l'air, l'aliment et l'eau, autant de « réactifs » biochimiques qui vont agir sur les acides gras constitutifs par oxydation, hydrolyse, polymérisation, isomérisation et généralement par un couplage de toutes ses réactions chimiques (**Dobarganes, 1998**).

Le niveau de dégradation de l'huile va dépendre de nombreux paramètres : température, durée de chauffage, mode de chauffage, nombre de cycles d'utilisation, composition de l'huile, volume d'huile, nature des matériaux, texture et teneur en eau des aliments frits, filtration du bain et addition de systèmes antioxydants ou anti-mousse (**Barrera-Arellano, 2002**)

### 2.1. Réactions d'altérations des huiles

Les principales réactions susceptibles d'affecter les corps gras lors de leur production ou de leur utilisation qui sont indiqués dans la figure 7



**Figure 7:** Différentes réactions de dégradation des huiles végétales (Belitzet *al.*, 2004).

### 2.1.1. L'oxydation

La principale cause d'altération des huiles est le phénomène d'oxydation qui réduit non seulement la durée de conservation et la valeur nutritive des huiles, mais elle est aussi à l'origine de la production de certains composés toxiques. C'est une réaction qui a lieu quand un corps gras non saturé entre en contact avec l'oxygène aboutissant à leur rancissement oxydatif. Les oxydations sont subdivisées en auto-oxydation, photo-oxydation et oxydation enzymatique (Guillén *et al.*, 2006 ; Rahmani, 2007).

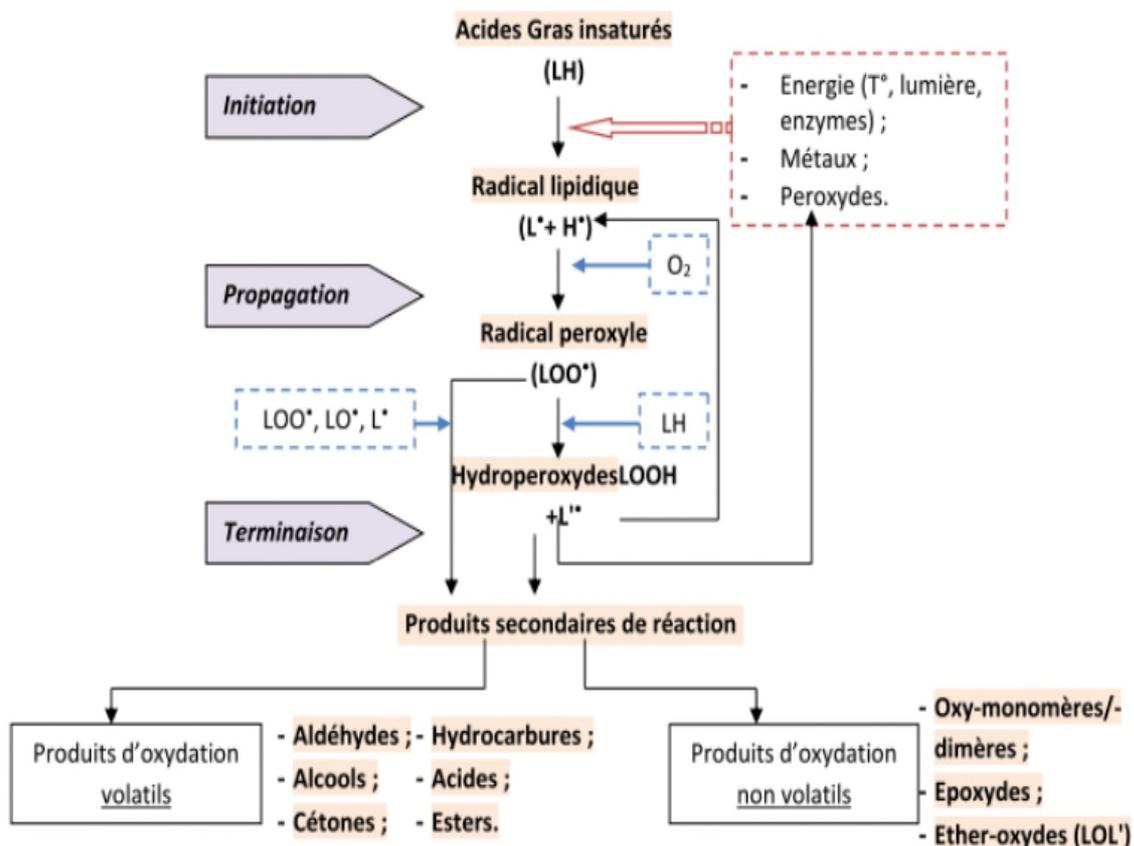
#### a) Auto-oxydation

L'auto-oxydation est une réaction directe de l'oxygène moléculaire avec des composés organiques. Dans le cas des acides gras insaturés, l'oxygène se fixe sur les doubles liaisons

pour donner des hydroperoxydes. (Judde, 2004 ; Lechat *et al.*, 2005 ; Cillard et Cillard, 2006).

Selon Afaf et Applqvist (1996) et Dobarguanes (1998), Cette réaction se déroule en 3 étapes (figure 8) : initiation, propagation et terminaison.

- **Réactions d'initiation** : elles conduisent à la formation de radicaux libres ou de peroxydes lipidiques. Elles ont une énergie d'activation élevée. Elles sont favorisées par les températures élevées, la lumière et certains métaux.
- **Réactions de propagation** : elles constituent l'étape d'oxydation des lipides insaturés par l'oxygène gazeux. L'énergie d'activation est très faible.
- **Réactions d'arrêt** : les radicaux libres s'associent pour donner des composés non radicalaires divers.



**Figure 8:** Schéma générale des réactions d'auto-oxydation des AGI (Eymard, 2003).

**b) photo-oxydation**

La photo-oxydation est une voie importante de production d'hydroperoxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photosensibilisateurs (pigments de type chlorophylle, certains colorants et certaines vitamines). Les photosensibilisateurs absorbent l'énergie lumineuse et passe à l'état triplet excité (Hultin, 1994 ; Frankel, 1998).

**c) Oxydation enzymatique**

L'oxydation enzymatique est une réaction radicalaire qui se déroule de façons similaire à l'auto-oxydation. Les deux enzymes principales impliquées sont les lipoxygénases et les cyclooxygénases (Cheftel, 1977 ; Tremmoliers *et al.*, 1984).

Les lipoxygénases se rencontrent dans les tissus végétaux (principalement dans les légumineuses et dans la pomme de terre). Ces enzymes catalysent exclusivement l'oxydation des acides gras. Généralement ces enzymes n'affectent que les huiles brutes car elles sont détruites au cours du raffinage (Hultin, 1994).

**2.1.2. Isomérisation**

Il s'agit d'un changement de configuration tout en gardant la même composition chimique de l'acide gras, en particulier. Ces réactions aboutissent à la formation d'isomères de position par migration de doubles liaisons, et/ou à des acides gras trans, tel que c'est illustré dans la figure 9. L'isomérisation géométrique, qui n'est pas un phénomène négligeable lors des fritures, peut se produire surtout avec l'acide linoléique et l'acide linolénique des huiles (Bretillon *et al.*, 1999).



**Figure 9** : la réaction d'isomérisation (Anonyme, 2019)

### 2.1.3. Hydrolyse

L'effet hydrolytique de la vapeur d'eau qui se dégage inévitablement du bain de friture lorsque l'on cuit des aliments, est responsable de la formation d'acides gras libres et de mono et diglycérides (François, 1974), tel que représenté dans la figure 10. Cette vapeur d'eau réalise lors de son dégagement un entrainement des produits les plus volatils (Perrin, 1992).

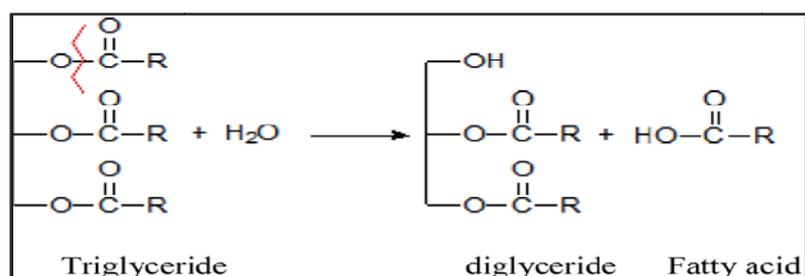
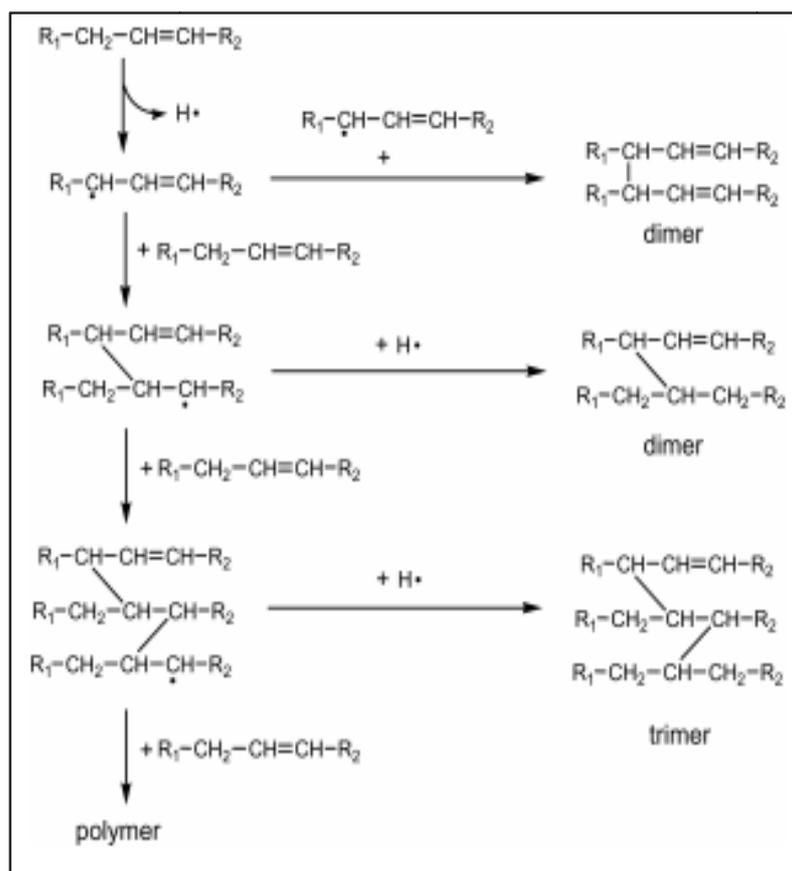


Figure 10: L'hydrolyse des triglycérides (Nayak *et al.*, 2016).

Ce phénomène est pratiquement marqué dans les bains de précuissons des frites de pommes de terre où l'apport d'eau est important, ce qui conduit à une dégradation des propriétés de l'huile avec l'apparition de mousses et l'émission de fumées. Les produits frits ont alors tendance à brunir rapidement à la périphérie avant que le centre du produit ne soit cuit, ils ressortent aussi plus gras du bain de friture (Conte et Stauffer, 1996).

### 2.1.4. Polymérisation

Les réactions de polymérisation des acides gras insaturés et de leurs glycérides ne se produisent que sous l'effet de températures élevées. Ces réactions produisent des réarrangements inter et intra moléculaire (figure 11) qui sensibilisent l'huile de friture à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de la viscosité apparente des huiles, des composés semblables à des résines peuvent alors mousser à la surface du bain et sur les parois (Vitrac *et al.*, 2003).



**Figure 11:** Formation de polymère acyclique à partir d'acide oléique lors de la friture (Choe et Min, 2007).

En effet lors de la friture des aliments, les acides gras présents dans l'huile subissent une dégradation sous l'effet de la chaleur plus importante et mènera à la formation de produits nocifs pour la santé tels que les radicaux libres et les aldéhydes (Gornay, 2006). Toutefois, il faut signaler que les huiles végétales contiennent naturellement des antioxydants qui protègent les huiles de ces altérations. Parmi ces antioxydants, les tocophérols qui ont un pouvoir antioxydant grâce à leur capacité d'inhiber les peroxydations lipidiques (Gornay, 2006).

### 3. Produits de dégradation des huiles de fritures

#### 3.1. Composés volatils

La quasi totalité des composés volatils sont issus de l'oxydation des acides linoléique et linoléique, la majeure partie de ces composés est constituée d'aldéhydes, mais d'autres familles chimiques peuvent exister : alcanes, alcools, cétones et alkyl-furannes.

La proportion et la nature des composés volatils générés dans chaque processus d'oxydation des acides gras dépendent de la composition des huiles et des conditions d'oxydation (**Villiere et Genot, 2006**).

### 3.2. Composés non volatils

Ce sont des composés qui restaient, dans les bains, peuvent être absorbé sur les aliments et donc être consommés (**Grandgirard, 1992**).

#### 3.2.1. Composés polaires

Selon **Farhooshetal. (2010)**, la teneur des huiles de fritures en composés polaires est inférieure à 25%. On trouve les acides gras libres, mono et di glycérides, acides oxydés, triglycérides oxydés, di et polymères d'acides oxydés, di et polymères et triglycérides oxydés.

#### 3.2.2. Composés non polaires

Ce sont des composés qui se forment dans le bain d'huile par hydrolyse et cyclisation sous l'effet de la température élevée. Parmi ces composés : les dimères et polymères d'acide gras, les monomères et dimères cyclique et les acides gras *trans* (**Lecerf, 2008**).

##### a) Monomères cycliques

Ils sont formés par cyclisation d'une molécule d'acide gras comportant au moins deux doubles liaisons conjuguées. Des quantités non négligeable de monomères cycliques se forment à des températures très élevées (220°-240°C) dans les huiles contenant l'acide  $\alpha$ -linoléique comme l'huile de soja. Les monomères cycliques d'acides gras sont considérés comme les composés les plus toxiques formés pendant les fritures profondes parce qu'ils sont aisément absorbé par la muqueuse intestinale (**Gray, 1992 ; Romero et al., 2006**).

Les monomères cycliques ne sont présents qu'en très faible quantités dans les corps gras (de 0.1 à 0.5 % des acides gras d'huiles de friture). Cependant, ils sont classés parmi les composés les plus nocifs contenus dans les corps gras chauffés. Des études ont montré que les monomères cycliques formés à partir de l'acide linoléique sont beaucoup plus toxiques que ceux formés à partir de l'acide linoléique (**Combe et Grandgirard, 1992**).

**b) Dimères cycliques**

Ils résultent de la condensation de deux molécules d'acides gras polyéniques dont l'une des chaînes est conjugué (**Perrin, 1992 ; Warner, 2002**).

**c) Acides cycliques**

Ils se forment par cyclisation d'une molécule d'acide gras et comprennent plus d'une double liaison conjuguée. Ces composés proviennent aussi de l'acide linoléique mais uniquement à des températures très élevées (> à 200°C) (**Grandginard et Julliard, 1983**).

**d) Polymères thermiques**

Ils se forment par pontage carbone-carbone ou par liaison éther entre deux acides gras appartenant ou non à des triglycérides différents. Ce sont essentiellement des dimères, mais aussi des trimères, ou des polymères supérieurs (**Dobarganes,1998**).

Le fait que les polymères soient très peu absorbés au niveau intestinal, a conduit à penser que leurs effets physiologiques étaient négligeables, en dehors d'un effet possible sur le transit intestinal (**Combe et Grandginard, 1992**).

## **4. Effets physiopathologique des produits de dégradation des huiles de friture**

### **4.1. Effets sur la croissance corporelle**

Les résultats de l'alimentation animale à long terme par des huiles et graisses de friture montrent des effets clairement apparents dans le retardement de croissance et la diminution du poids des animaux (**Clark et Serbia, 1991**).

Une étude menée par **Mansouri et Ourahmoune(2000)**, sur 3 lots de rats (A, B, C), dont des rats du lot A sont nourris avec de l'huile fraîche (considérée comme témoin), le B traité avec de l'huile oxydée, et le lot C avec de l'huile oxydée supplémentée en vitamine E, a montré que : avant le début de traitement et, durant les deux premières semaines, aucune différence significative, n'est signalée entre les trois lots. Cependant, au delà de la deuxième semaine, une différence apparente est observée. A la fin du traitement (6 semaines) ; les rats du lot A enregistrent le gain du poids le plus important, suivis de ceux du lot C avec un retard de croissance de 14.57% par rapport au lot A, alors que les rats du lot B enregistrent un retard de croissance de 23.04% par rapport au lot A.

Varela *et al.* (1995) ; Sanchez-Munizetal. (1998) et Hochagrafet *al.* (2000), ont observé les mêmes constatations et attribuent ce retard de croissance chez les rats nourris avec de l'huile thermo-oxydée, à plusieurs facteurs :

- ❖ La mauvaise odeur de l'huile oxydée (altérée) qui diminue la prise alimentaire ;
- ❖ Diminution de l'apport en AGE suite à leurs oxydation, ainsi que la diminution de leur absorption intestinale, or ces acides gras sont indispensables à la croissance ;
- ❖ Diminution de la disponibilité en acides aminées, suite à leur complexation avec les produits de l'oxydation.

#### 4.2. Effets sur les maladies cardiovasculaires

L'utilisation répétée des huiles de fritures peut augmenter la concentration des acides gras trans. Certaines études montrent qu'il existe une corrélation positive entre la consommation d'acide gras trans d'origine végétale et l'apparition des maladies cardiovasculaires (Saguy et Dana,2003).

#### 4.3. Effets sur le foie et les reins

Les composés polaires formés dans les huiles de friture dégradées, entraînent l'augmentation du volume du foie et des reins, ceci est due à l'implication de ces deux organes dans le mécanisme de détoxification (Marquez Ruiz *et al.*,1995 ; SaariCsally,1997).

En plus d'une hypertrophie du foie, la présence de cellules binucléés au niveau des foies de rats ayant consommé de l'huile oxydée, est également observée (Sunhez-Munizet *al.*,1998) .

Ces mêmes observations ont été constatées chez les rats du lot (B) et (C) alimentés respectivement avec l'huile oxydée et l'huile oxydée supplémentée de la vitamine E (Mansouri et Ourahmoune,2000).

#### 4.4. Effets sur la mortalité

Selon Combe et Grandginard(1992), la consommation des doses élevées de monomères cycliques peut conduire à la mortalité chez des rats.

Selon Causeret (1982), la mortalité est due à l'administration de la fraction de monomères cycliques, car elle est beaucoup plus toxique que la fraction polymères et c'est

surtout l'acide linoléique qui est incriminé dans la formation de ces composés.

Dans le tableau VIII, suivant sont résumés les principaux produits de dégradation des huiles de friture et leurs effets physiopathologiques après leur ingestion.

**Tableau VIII** : les principaux produits de dégradation des huiles de friture et leurs effets physiopathologiques (Boatella *et al.*, 2000).

Produits de dégradation	Concentration	Effets toxiques
Hydroperoxyde	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disfonctionnement enzymatique de la muqueuse intestinale.</li> <li>• Induction de la prolifération cellulaire du colon.</li> </ul>
Epoxydes, triglycérides et acides gras oxydés	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypertrophie hépatique.</li> <li>• Disfonctionnement des enzymes hépatiques.</li> </ul>
Les composés secondaires	Moyenne élevée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hépatotoxicité, mutagenocité.</li> </ul>
Monomères cycliques oxydés	Moyenne faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retardement de la croissance et mortalité</li> </ul>
Dimères et oligomères non oxydés	Moyenne élevés (à 200°C et faible teneur en O <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diarrhées.</li> </ul>
Dimères oxydés	Prédominant (T° élevée avec aération)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retardement de la croissance</li> </ul>
Oligomères oxydés	Prédominant (temps et avec aération)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retardement de la croissance</li> </ul>
Oxystérols variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• athérogénocité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cytotoxicité et mutagenocité</li> </ul>
Acides gras trans (AGT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moyenne faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risques de maladies cardiovasculaires</li> </ul>

## 5 .Antioxydants

### 5.1. Définition

Un antioxydant peut être défini comme une substance qui, présente à des faibles concentrations comparées à celles d'un substrat oxydable, retarde ou prévient significativement l'oxydation de ce substrat (**Halliwell, 1990**).

### 5.2. Classesd'antioxydants

Les antioxydants sont classés selon leur cible et mécanisme d'action ; Les antioxydants primaires et les antioxydants secondaires.

Selon leur origine : Les antioxydants naturels (synthétisés par l'organisme ou apporté par l'alimentation) ou synthétiques.

#### 5.2.1. Antioxydantsprimaires

Les antioxydants primaires (AH) agissent en principe avec les radicaux peroxydes ou alkoxydes stoppant ainsi la réaction de propagation de la peroxydation par moyen d'antioxydants dits sacrifiés (**Cillard et Cillard, 2006**) ou par des donneurs d'hydrogène (**Rolland,2004**).

#### 5.2.2. Antioxydantssecondaires

Les antioxydants secondaires (préventifs) sont aptes à stopper la genèse des radicaux libres en mettant en œuvre plusieurs mécanismes (**Rolland, 2004**).

- Chélation des métaux de transition;
- Désactivation des espèces oxygénées réactives;
- Séquestration d'oxygène (cas de l'acide ascorbique);
- Prémunition contre l'action des rayons ultraviolets (les caroténoïdes)(**Cillard et Cillard, 2006**).

#### 5.2.3. Antioxydantssynthétiques

Le butylhydroxytoluène ou BHT(E321), le butylhydroxyanisole ou BHA (E320) et des esters de l'acide gallique : gallate de propyle (310), gallate d'octyle (E311), et dodécyle (E312) sont des exemples d'antioxydants synthétiques(**Johnson et Gul, 1988**).

Le BHT (2,6-ditertiobutyl 4-méthyl phénol) est un solide blanc soluble dans les graisses et insoluble dans l'eau. C'est un antioxydant de rupture de chaîne très efficace et peu coûteux. Le BHA est un mélange de deux isomères de position, le 2-tertiobutyl 4-hydroxyanisole et le 3-tertiobutyl 4-hydroxyanisole dont l'efficacité est un peu inférieure à celle du BHT. L'association du BHT et du BHA serait synergique (**Helme et al., 1999**) longtemps suspectées d'effets toxiques, ces deux composés sont désormais réputés sans effet aux doses habituelles ingérées. La dose autorisée varie de 0,01 à 0,02% du poids de la matière grasse contenue dans l'aliment (**Cuvelier et Martel, 2002**).

#### 5.2.4. Antioxydants naturels

La quasi-totalité des huiles, des graisses et produits alimentaires contient un certain nombre d'antioxydants naturels. Les pigments caroténoïdes et les tocophérols sont présents dans toutes les huiles. D'autres antioxydants de nature phénolique sont présents uniquement dans une minorité d'huiles (**Schimidt et Pokorny, 2005**). Les différents Antioxydants naturels et principales sources alimentaires sont présentés dans le tableau IX.

**Tableau IX:** Antioxydants naturels et principales sources alimentaires (**visioli et Galli, 2001**).

Subclasses	Antioxydants	Sources alimentaires
<b>Antioxydants vitaminiques</b>	Tocophérols notamment ( $\alpha$ -et $\gamma$ -tocophérols) et tocotriénols ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ ). Caroténoïdes (précurseur la vitamine A), vitamine C.	Noix, germe de blé, huiles végétales (huile de tournesol), Les amandes, margarines, le beurre et les œufs. Fruits et légumes pigmentés : carottes, brocolis, betterave, tomates, poivron rouge, citrouille, pêche, abricot, épinards et Agrumes
<b>Antioxydants</b>	Les polyphénols : phénols simples, acides phénoliques, benzoquinones, flavonoïdes, hydrocinnamates.	Fruits et légumes, abondants dans les olives, raisins, l'huile d'olive, café, thé noir et le vin rouge.

### 5.3. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires retrouvés dans la plupart des espèces végétales. L'expression de composé phénolique est utilisée pour toute substance chimique qui renferme dans sa structure un noyau aromatique, portant un ou plusieurs groupements hydroxyles (**Bruneton, 2009**).

Ils jouent un rôle contre les microbes pathogènes et les prédateurs des plantes, mais leur intérêt essentiel est l'effet protecteur contre les maladies telles que les maladies cardiovasculaires et les cancers causés par les espèces réactives de l'oxygène et d'autres radicaux libres (**Morton, 2000**). La structure des composés phénoliques naturels est très variable comportant plus de 5000 structures phénoliques. Ils se trouvent sous forme de molécules simples (acides phénoliques), et d'autres plus hautement polymérisées (les tanins) (**Tsao et Yang, 2003**).

#### 5.3.1. Classification des composés phénoliques

La classification des composés phénoliques est très complexe. Les polyphénols peuvent être classés dans plusieurs groupes selon leur squelette structural, allant de simple phénol aux composés très polymérisés (**Bruneton, 2009**).

##### 5.3.1.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques ont une fonction acide (COOH) et plusieurs fonctions hydroxyle. Les dérivés de l'acide benzoïque sont très communs, aussi bien sous forme libre que combinée à l'état d'esters ou d'hétérosides. Acide benzoïque Acide gallique Acide vanillique (**Bruneton, 2009**).

##### 5.3.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 2000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes vasculaires. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange, et rouge de différents organes végétaux. Tous les flavonoïdes possèdent la même structure de base (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>), deux cycles aromatiques A et B), liés avec une unité de trois atomes de carbone qui peut ou non être une partie d'un troisième cycle C (**Daojin, Li et al., 2007**).

Ces composés existent sous forme libre dite aglycone ou sous forme d'hétérosides, c'est-à-dire liée à des oses et autres substances (**Sari-Manchado et Cheynier, 2006**). Les plus importantes sont comme suit :

- **Les Flavones** : Ce sont des composés phénoliques dont la structure contient un groupe carboxyle (**Arapitsas et al., 2008**).
  
- **Les anthocyanines** : Selon **Mazza et Miniati (1993)**, les anthocyanines (anthos : fleur ; kyanos : bleu).
  
- **Les Flavonols** : D'après **Kandaswami et Middleton (1996)**, ce sont les flavonoïdes les plus répandus dans le règne végétale. Ils diffèrent des flavones par l'existence d'un OH en position 3 (hydroxyl -3-flavones).
  
- **Les flavanols** : Selon **Manach et al. (2004)**, ils désignent des composés ayant une structure flavan-3-ol et possédant un radical OH sur leur noyau latéral.
  
- **Les flavanones** : Les flavanones dérivent par disparition de la double liaison de l'hétérocycle central des flavones. (**Rodríguez-Vaquero et al., 2007**).

### 5.3.1.3. Tannins

Les tanins sont très abondants dans la nature. Leur poids moléculaire varie entre 500 à 3000 KDa. Ils sont caractérisés par leur propriétés de donner des complexes insolubles avec les protéines, les ions métalliques et d'autres polymères tels que les polysaccharides (**Naczketal., 1994**). On distingue : les tanins hydrolysables et les tanins condensés.

□ **Tannins hydrolysables** : Ce sont des oligo ou polyester d'un sucre et d'un nombre variable d'acide phénol. Ils sont divisés en éllagitannins et gallotannins, Les gallotannins libèrent par hydrolyse acide, et hydrolyse basique à l'eau chaude ou par action enzymatique de l'acide gallique (**Bruneton, 2009**).

□ **Tannins condensés** : ils se diffèrent des tannins hydrolysables car ils ne possèdent pas de sucre dans leur molécule se trouvent sous forme de polymères (de flavanes). Les

polymères donnent une structure hérissée d'OH phénoliques capable de former des liaisons stables avec les protéines (**Sarni-Manchado et Cheynier, 2006**).

### Conclusion

Les huiles représentent, parmi les corps gras, une vaste famille d'aliments exclusivement lipidiques, certes très énergétiques (900 kcal/100 g), mais sources d'acides gras très variés. Il est important d'en connaître la composition pour en définir les usages et l'intérêt nutritionnel. Toutes ont une place dans une alimentation normale, il faut cependant les varier et les consommer avec modération, dans le cadre d'une alimentation diversifiée.

Parmi ces produits, l'huile de soja qui provient d'une huile brute et qui nécessite, pour obtenir une huile comestible, le passage obligatoire par le traitement de raffinage. Ce traitement doit garantir au consommateur un produit d'aspect engageant, neutre de goût, résistant à l'oxydation, adapté à l'emploi désiré et débarrassé de ses substances toxiques ou nocives. Il doit respecter au mieux un certain nombre de composés qu'il est souhaitable de conserver dans le produit final.

Lors du processus de friture, plusieurs dégradations se produisent au niveau des acides gras. La température employée, les aliments qui y sont frits et la présence d'oxygène dans l'huile sont les principaux facteurs qui induisent ces dégradations. Des acides gras libres, des mono et diglycérides, des polymères, des produits polaires, ainsi que des monomères cycliques d'acides gras peuvent ainsi être formés. Certains de ces produits étant néfastes pour la santé, il est donc important de comprendre la formation de ces produits.

Sous l'effet de l'eau contenue dans les aliments, de l'air et des aliments eux-mêmes, l'huile chaude subit des transformations chimiques conduisant à la formation de composés polaires, la diminution de certains composés d'intérêt nutritionnel, l'apparition de composés volatils responsables d'odeurs désagréables et l'apparition de composés non volatils qui s'avèrent toxiques à fortes doses.

### Références bibliographiques

#### B

- Bauer, w. J., Badoud, R., Loliger, J., and Etournaud, A. (2010).** "Sciences technologie desaliments," 1ed/Ed.
- Blitz H. D; Grouch; Schreiber P. (2004).** Food Chemistry. 3ème ed. Springer, Heidelberg-Germany. 1124 p.
- Barrera-Arellano D, Ruiz-Méndez V, Ruiz-Méndez G, Dobarganes C.** 2002. Loss of tocopherols and formation of degradation compounds at frying temperatures in oils differing in degree of unsaturation and natural antioxidant content. *J Sci Food Agric*; 82:1696-1702.
- Bretillon L., Sebedio J.L. et Chardigny J.M.** 1999.: Revue sur le devenir métabolique des Acides gras trans poly insaturés. *O.C.L* ;; Vol.6 : n°2 ; 180-194.
- BRUNETON J. (1999).** - Pharmacognosie - Phytochimie - Plantes médicinales - . *Editions TecDoc*. 860.
- BÄRTELS A. (1998).** - Guide des plantes du bassin méditerranéen - . *Editions Ulmer*. 352.
- Barrera-Arellano D, Ruiz-Méndez V, Ruiz-Méndez G, Dobarganes C.** 2002. Loss of And formation of degradation compounds at frying temperatures in oils differing in degree of unsaturation and natural antioxidant content. *J Sci Food Agric* ;82:1696-1702.
- Boatella B., Riera J. , Codony R., Rafecas M. et Guardiola F., 2000 :** Recycled cooking oils : Assessment of risks for public health. *Ed . : Head of STOA Team* ; 71.
- Bruneton J. (2009).** Autres stéroïdes, autres triterpènes. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Paris: Lavoisier. 950 p.

#### C

- Cillard J., Cillard P. 2006.** *Mécanismes de la peroxydation lipidique et des antiOxydations. Oleagineux, corps gras, lipides* 13 (1), 24-29.
- Cuvelier M-E et Martel P. 2002.** Additifs antioxygénés IN: Multon J-L. Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires de fabrication dans les industries agroalimentaires. 3<sup>ème</sup> édition. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 207-235.
- Cuvelier M.E., Maillard M.N., 2012.** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oilseeds Fats Crops and Lipids*, 19(2): 125-132.
- CODEX STAN 210-1999.** NORME POUR LES HUILES VÉGÉTALES PORTANT UN NOM SPÉCIFIQUE.

## Références bibliographiques

---

- Conte J.A. et Stauffer K.R.1996.**Free fatty acid removal from used frying fat. Campbell SoupCompany Camden, N.J.; US patent 5; 5600.
- CAZIN F. (1868).**Traité pratique et raisonné des plantes médicinales indigènes etacclimatées - *Editions de l'envol.* 497-501
- COURCHET L. (1897).** Traité de botanique : comprenant l'anatomie et la physiologievégétaleset les familles naturelles, à l'usage des candidats au certificat d'étudesphysiques, chimiques et naturelles des étudiants en médecine et en pharmacie - *.Editions Baillière..*1019-1023.
- Çam M., Hisil Y. etDurmaz G. (2009).** Classification ofeightpomegranatejuicesbased on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry*, 112: 721–726.
- Cheftel J.C. (1977).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Lavoisier, Ed. Tec Doc, p 304.
- Combe N.2006.**Les lipides alimentaire, les graisse : alliées ou ennemies de notre sante .journal depédiatrie de puériculture, 19 : 138-143.
- Clark W.L., Serbia G.W.1991.**Safety aspects of frying fats and oil. *Food technol ;*;Vol. 45 ; n° 2 ;84-9.

## D

- Denise J. (1982).** Manuel des corps gras, le raffinage des corps gras, édition des beffrois. Ed. Techniqueet documentation. Lavoisier. Paris, 2 795.
- Denise J.(1992).** Raffinage des corps gras Ed.: Tec. Et Doc.; Lavoisier; Paris; 2; 789-881.
- Dobagarne C., Marquez-Ruiz G., Velasco J., (2000).**Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science andTechnology*, 102: 521 – 528.
- Dobarganes C. 1998.**Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fatsandoils.OCL; 5:41-47.
- Dobarganes C. 1998.** Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. OCL; 5:41-46.
- DENISEJ. (1992).** « Raffinage des corps gras», In : manuel des corps gras Tome 2, ed.Tec.Doc.Paris, Lavoisier, pp 789-842.
- Denise J.(1992).**Raffinage des corps gras. Ed. Lavoisiner. Paris.

### *E*

**Ericksson, D. R., and Wiedermann, L. H. (1989).** Huile de soja, méthodes de traitement et Utilisations actuelles.

**Evreinoff V. A. 1957.** Contribution à l'étude du Grenadier.. In: Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée, vol. 4, n°3-4, Mars-avril. pp. 124-138;

**EYMARD S. (2003).** Mise en évidence et suivie de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (Trachurus). Choix des procédés. Thèse de doctorat spécialité biochimie. Ecole polytechnique de l'université de Nantes.

### *F*

**Fabre B. et Ermosilla V. 2008.** Utilisation d'un extrait de grenadier pour le maintien de la coloration capillaire. Fascicule de brevet européen. Bulletin 2008/01.

**Franconi, F., Coinu, R., Carta, S., Urgeghe, P. P., Ieri, F., Mulinacci, N., & Romani, A. 2006.** Antioxidant effect of two virgin olive oils depends on the concentration and composition of minor polar compounds. Journal of agricultural and food chemistry, 54(8), 3121-3125.

**Farhoosh R. and Tavassoli-Kafrani M.H. 2010.** Polar compounds distribution of sunflower oil as affected by unsaponifiable matters of Bene hull oil (BHO) and tertiarbutylhydroquinone (TBHQ) during deep-frying. Food chemistry, 122: 381-385.

**François R. (1974)** Les industries des corps gras, biochimie, extraction, raffinage, nuisances et réglementations. Ed.: Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 36-51.

**François R. (1974).** Les industries des corps gras, biochimie, extraction, raffinage, nuisances et réglementations. Ed.: Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 36-51.

### *G*

Groupe permanent d'étude des marchés des denrées alimentaires (GPEM/DA), Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, Spécification technique n° E4-05 du 31 mars 2005 relative aux huiles végétales alimentaires.

**Gonde P, Morin O. 2012.** Optimisation du choix de l'huile en friture industrielle : l'exemple Mc Caïn. OCL ; 19(2) : 96-100. doi : 10.1684/ocl.2012.0447.

**GRAILLE J., et al, (2003)** « Corps gras alimentaires : aspects chimiques, biologiques et nutritionnels » In : « Lipides et corps gras alimentaires », Editions : techniques et documentations

## Références bibliographiques

---

et la collection : sciences et techniques agroalimentaires, Lavoisier, pp : 1-37, ISBN : 2-7430-0594-7.

**Gournay. J ; (2006).** Transformation par voie thermique de triglycérides et d'acide gras. Application à la valorisation chimique des déchets lipidique. Thèse doctorat, institut National polytechnique, Nancy, 309p.

**GARNIER G ; BEZANGER-BEAUQUESNE L.(1961).** Ressource médicinales de la flore française - *Editions Vigot Frères.* Tome II. 838-842.

**Gil M. I., Toms-Barbern F. A., Hess-Pierce B., Holcroft D. M. et Kader A. A. (2000).** Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 4581-4589.

**Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Roudani, Z., Chafchaoui, I., Kartah, B., & Charrouf, Z.(2014).** Effet des Polyphénols extraits des margines sur la stabilité de l'huile de tournesol (Effect of polyphenol extracts from margins on the stability of sunflower oil). *J. Mater. Environ. Sci*, 5(2), 464-469.

**Grandgirard A. (1992).** Transformation des lipides au cours des traitements thermiques. Effets nutritionnels et toxicologiques. In : Aspects nutritionnels des constituants des aliments. Influence des technologies Lavoisier, Ed. Tec & Doc, pp 49-63.

**Gray J.I. and Monahan F .J.1992.** Measurement of lipide oxidation in meat and meat products. *Food Science and Technology*, 3 : 315-318.

## H

**Halliwell B. 1990.** How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research communication*, 9, 1-32.

**Helme J.P ,1984.** Soybean oil refining. Ed. ASA. USB. Paris 37.

<http://www.tela-Botanica.org/nn54104>

**Helme J.P.(1984).** Influence des techniques sur la qualité des produits alimentaires. In: industries des corps gras. Lavoisier, Ed. Tec & Doc, pp 33-125.

**Hochgraf E., Mokady S., et Cogan U.2000.** Dietary oxidized linoleic acid enhances liver cholesterol biosynthesis and secretion in rats. *J.Nutri.Biochem*; Vol.11 ; 76-180.

**Helme J.P. (1984).** Soybean oil refining. Ed. ASA. USB. Paris, 37.

**Henri.Ch et Ch. Jean-Claude. (1977).** Graisses et huiles. In : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Tome 2. 7<sup>ème</sup> édition. Ed. Lavoisier, Paris 79.

### I

**Iso 660 Septembre 2009**, Corps gras d'origine animale et végétale-Détermination de l'indice d'acide et de l'acidité.

### J

**J. Adrian, J. Potus. 1998.** Méthodes physicochimiques générales. In : Introduction a l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Paris

**JOURNAL D'ACRIC.1957.**TROPICALE ET DE BOTANIQUE APPLIQUÉE, T. IV, N° 3-4, MARS-AVRIL.

**Jahfar M., Vijayan K.K. et Azadi P.2003.** Studies on a polysaccharide from the fruit rind of *Punicagranatum*. Research Journal of Chemistry and Environment, 7: 43–50.

**Johson D., R, Gul C. 1988.**IN: Autoxidation and Antioxidants, John Wiley, New York, 433- 448.

### K

**KARLESKIND A. (1992).**<manuel des corps gras tome 2>, Editions Tec et Doc, Lavoisier : Paris, pp 1571-1578.

**Karleskind A.(1992).**Manuel des Corps Gras. Éditions Lavoisier, 1992, Tome 1, chap. 3.

**Karleskind, A., and gras, A. f. p. l. é. d. c. (1992).** "Manuel des corps gras: sous l'égide de l'Association Française pour l'Etude des Corps Gras," Technique et Documentation.Lavoisier.Kessous, C.

**Kartika, I. A. (2005).** Nouveau procédé de fractionnement des graines de tournesol: expression et extraction en extrudeur bi-vis, purification par ultrafiltration de l'huile de tournesol.

### L

**Lecerf JM. Les aliments. In: Schlienger JL, 2011.ed.**Nutrition clinique pratique. Issy-les-Moulineaux :Elsevier Masson:21-43.

**Luisot P., 1974 :** biochimie structurale : lipides.Ed. : Simpe ; Villenbranne, 80-100.

## Références bibliographiques

---

**Lansky E. et Newman R. (2007).** *Punicagranatum*(pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of Ethnopharmacology*.109: 177–206.

**Lecerf J. M.2008.** Quel est l'impact connu et possible des modes de cuisson sur la survenue des cancers?. Service de nutrition; Institut Pasture de lile.

**Lewis C., Walker J, Lancaster J. et Sutton K. 1997.** Determination of Anthocyanins, Flavonoids and Phenolic Acids in Coloured Potatoes. I : Cultivars of *Solanumtuberosum*L. *Journal of Science Food Agriculture*.77,45-57.

**LOUISOT P.(1980).** « Biochimie », Générale et médicale structurale, métaboliquesémiologique, « Vitamines et enzymes, lipides et dérivés isopréniques, protéines ». 2<sup>eme</sup> Ed:Simex, volume 2, pp : 259 - 290.

**Linden G.et Lorient D. (1994).**Biochimie agro-industrielle, valorisation alimentaire de la production agricole, 2<sup>ème</sup> édition, Technique et documentation. Lavoisier, paris, 297- 301

### M

**Mendez Ana Isabel et Falqué Elena.2007.** Effect of storage time and container type on the quality of extra virgin olive oil. *Food control* 18, 521- 529.

**Mansouri A. ET Ourahmoune F. (2000).** Effets de l'huile de tournesol thermo oxydée sur le foie et les lipids sériques chez le rat en croissance .Mémoire de fin de cycle d'ingénieur d'état en technologie alimentaire; INA (institut national agronomique El harrach).

**Marquez-Ruiz M., Tasioulamargari et Dobargane M.C.(1995).**Quantitation and distribution of altered fatty acids in fringfats.*J.A.O.C.S*; Vol.72; n°10

### O

**Okonogi S., Duangrat C., Anuchpreeda S., Tachakittirungrod S. et Chowwanapoonpohn S. 2007.** Comparison of antioxidant capacities and cytotoxicitiesofcertain fruit peels. *Food Chemistry*, 103: 839–846.

### P

**Psomiadou E, Tsimidou M. etBoskou D. 2000.**  $\alpha$ -tocopherol content of Greek virgin olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (5):1770-1775.

## Références bibliographiques

---

- Poisson F et Nacre L.(2003).**Corps gras alimentaires, aspects chimiques, biochimique et nutritionnels.inlipidesetcorps gras alimentaires. Ed.Tec et Doc,Lavoisiner
- Pouzet A.(1992).**Sources et monographies des principaux des corps gras. In Manuel des corpgras.Edition. Tec et Doc Lavoisiner. Paris, 131.
- Pouzet A. (1992).**Sources et monographies des principaux des corps gras. In Manuel des corpgras. Edition. Tec et Doc Lavoisiner. Paris, 133.
- Pouzet A. (1992).**Sources et monographies des principaux des corps gras. In Manuel des corp gras. Edition. Tec et Doc Lavoisiner. Paris, 136.
- PlatonJ.F.1988.**Raffinage de l'huile de soja, americanSoybean Association U.S.A.
- Pagès-Xatart-Parès X. 2008.**Technologie des corps gras (huiles et graisses végétales). Ed. Techniques de l'ingénieur, p 1-17.
- Peron I.(1992).** Evolution des corps gras au cours de leurs utilisations alimentaires In Manuel des corps gras. Ed. : Tec.Et Doc., lavoisier ; Paris ; 2 ; 2015-1032.
- Perrin J.L.( 1992).** Détermination de l'altération. In Manuel des corps gras. Ed. : Tec. Et Doc. ; Lavoisier ; Paris ; 2 ; 1198-1218.
- PLANCHON G ; COLLIN E. -** Traité pratique de la détermination des drogues simplesd'origine végétale - . *Librairie F. Savy.* 1875. Tome I 235-236 et 307-308.
- Phenol-Explpomegranatejuice**([http:// www. phenol-explorer. eu/ contents/total?food\\_id=192](http://www.phenol-explorer.eu/contents/total?food_id=192))
- Petre N.,AnthonyC.and Smith D. 2002.**Les phospholipids.In: Biochimie illustrée.Ed. Maloine .pp 309-311.
- Poisson F. et NacreL. (2003).**Corps gras alimentaires, aspects chimiques, biochimique et nutritionnels.In lipides et corps gras alimentaires. Ed.Tec et Doc,Lavoisiner.

## R

- ROZIER F.1787 -** Démonstrations élémentaires de botanique [à l'usage de l'Ecole royale vétérinaire de Lyon] - . *Chez Bruyset.*
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., &Paganga, G. (1996).**Structure-antioxydant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radical biology and medicine*, 20(7), 933-956.

## Références bibliographiques

---

**Romero A., bastida S. and Sánchez-muniz F.J. 2006.** Cyclic fatty acid monomer formation in domestic frying of frozen foods in sunflower oil and high oleic acid sunflower oil without oil replenishment. *Food and Chemical Toxicology*, 44: 1674-1681.

**Rodríguez Vaquero M.J., Alberto M.R. et Manca de Nadra M.C. 2007.** Antibacterial effect of phenolic compounds from different wines. *Food Control*, 18 (8): 93–101.

**Rahmani M. 2005.** Composition chimique de l'huile d'argane <<vièrge>>. *Cahiers Agricultures*, 14(5), 461-465.

### S

**Schmidt S. et Pokorny J. 2005.** Potential application of oilseeds as sources of antioxidants for food lipids- a review. *Food Science.*, 23:93-102.

**Seeram N. P., Zhang Y., Reed J. D., Krueger C. G. et Vaya J. (2006).** Pomegranate Phytochemicals. In : *Pomegranates Ancient Roots to Modern Medicine*.

**Seeram N. P., Risa Heber. N. S., D. 2006.** *Medicine CRC Press Taylor & Francis Group Medicinal and aromatic plants—industrial profiles*, 263p, ISBN : 0-8493-9812-6.

**Sunhez Muniz F.J., Enrique H., Fernando C. et Jusus M.V. (1998).** Prevention of dietary hypercholesterolemia in rats using sunflower oil fried sardines. effects on cholesterol and serum enzymes. *J. Agri. Food Chem.*; Vol, 40; 2228-2231.

**Saari Csallany A. 1997.** Lipid oxidation research analyzes degradation compounds in vegetable oils. *Food science and nutrition*.

**Saguy I.S. and Dana D. 2003.** Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Food Chemistry*, 50: 143-152.

### T

**Trémoliers, J., Serville, Y. et jacquot, R. (1984).** Corps gras .In: <<manuel d'alimentation humaine>>. 221p.

### V

**Vignerón PY, Caigniez J, Stoclin B, Bregnard JP. 2006.** L'huile de colza : une huile multi-usages en devenir. *OCL*. 13:363-7.

## Références bibliographiques

---

**VIERLING E.(2008).** « Aliments et boissons » 3ème édition : Biosciences et techniques, Paris, pp : 191-211.

**Vitrac O, Trystram G, Wack AL.(2003).** Procédé de friture et produits frits. In: J. Graille (Ed). Lipides et corps gras alimentaires. Paris: Tech et Doc, pp. 231-273

**Vitrac o, Trystram G etRaoult-wack A-W. (2003).** Procédé de friture et produit frits. In : Lipides et corps gras alimentaire. Ed. Tec ET docs: 231-267.

**VilliereA.andGenot C .2006.** Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsion. Oléagineuses des corps gras – lipides, 152-159.

**Vidal A., Fallarero A., Peña B. R., Medina M. E., Gra B., Rivera F., Gutierrez Y. etVuorela P. M.2003.** Studies on the toxicity of *Punicagranatum*L. (*Punicaceae*) whole fruit extracts. Journal of Ethnopharmacology 89: 295–30

**Varela L.S.,SanchezM.F.J.,et Cuesta C.** 1995.Deceased food efficiency ratio, growth retardation and changes in liver fatty acid composition in rat consuming thermally oxidized and polymerized sunflower oil used for frying.Fd.Chem.toxic;Vol.33,n°3;181-189.

**Visioli F. et Galli C. 1994.** Oleuropein protects low density lipoprotein from oxidation. *Life Sciences*, 55(24): 1965-1971.

### W

**Warner k. (2002).** Chemistry of frying oils. In food lipids, Chemistry Nutrition and Biotechnology, Marcel Dekker I.N.C, pp 223-236.

### Y

**Yang J. 2006.**Degumming of vegetable oil by a new Microbial lipase. Food technology.Biotechnologie, 98-109.

## ***Résumé***

Notre étude porte sur une synthèse bibliographique sur l'altération de l'huile de table par la chaleur dont l'objectif était d'évaluer l'impact de la friture sur la qualité nutritionnelle de l'huile.

Lors du processus de friture l'huile est soumise à des fortes températures provoquant plusieurs dégradations notamment sur les acides gras insaturés par un ensemble de réactions chimiques complexes telles que l'oxydation, isomérisation, hydrolyse et polymérisation. Toutes ces aboutissent à la formation de composés indésirables tel que les composés volatiles, les composés polaires et non polaires qui ont des effets physiopathologiques néfastes. La stabilité oxydative des huiles peut être améliorée par l'ajout des composés phénoliques caractérisés par des propriétés antioxydants actives réduisant ainsi le degré d'altération de ces huiles.

**Mots clés :** L'huile de table, acide gras, friture, oxydation, antioxydants.

## ***Abstract***

Our study relates to a literature review on the deterioration of table oil by heat, the objective which was to assess the impact of frying on the nutritional quality of the oil.

During the frying process, the oil is subjected to high temperatures causing several degradations, particularly on unsaturated fatty acids by a set of complex chemical reactions such as oxidation, isomerization, hydrolysis and polymerization. All of these result in the formation of unwanted compounds such as volatile compounds, polar and non-polar compounds which have harmful pathophysiological effects. The oxidative stability of oils can be improved by the addition of phenolic compounds characterized by active antioxidant properties thus reducing the degree of spoilage of these oils.

**Keywords:** Table oil, fatty acid, frying, oxidation, antioxidants.