

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université « Mouloud Mammeri » de TIZI-OUZOU**



**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences Agronomiques**  
**Mémoire de fin d'étude**  
*En vue de l'obtention du Diplôme de Master académique en Sciences alimentaires*  
*Spécialité: technologie agroalimentaire et contrôle de qualité*

*Thème*

**Evaluation de la qualité des huiles de bains de fritures  
des Fast-foods de la commune Draa Ben Khedda**

**Présenté par : BOUFATIS Chahrazad**

**Président: M<sup>r</sup>. BENGANA. M. Maitre de Conférences Classe B à l'UMMTO**

**Promoteur: M<sup>r</sup>. SADOUDI R. Maitre de Conférence Classe A à l'UMMTO**

**Examinatrice : Mme BENMALLEM, REMANE. Y Maitre Assistante Classe A.**

**2018-2019**

# *Remerciements*

*Je remercie le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné courage et volonté pour accomplir ce modeste travail.*

*Je remercie tout d'abord Mr SADOUJ Rabah d'avoir Accepté de m'encadrer, et pour ces orientations et ses conseils.*

*Je voudrais exprimer mes vives gratitudees et mes sincères remerciements à Mr BENGANA d'avoir accepté de présider*

*notre*

*jury, Mme REMANE d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Je remercie tous les membres du laboratoire d'analyse physico-chimique pour tout leur aides et leur consignes qui mon été très bénéfique.*

*Mes remerciements s'adressent aussi, pour toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à  
- Mes chers parents :*

*Mon très cher père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de  
longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à  
avancer dans La vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail  
porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le  
soutien permanent venu de toi.*

*Ma très chère et douce maman, qui a œuvré pour ma réussite,  
de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et  
ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence  
dans ma vie. Reçois à travers ce travail aussi modestes soit-il  
l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Puisse le bon dieu les protège et les gardes à moi. Toutes mes  
joies, mon amour et ma reconnaissance.*

*Mes deux frères YOUSVA et MOUHAMED AMINE a qui je  
souhaite que de bonheur, santé, et surtout la réussite dans toute  
leur vie.*

*A mon mari qui m'a toujours encouragé à fin d'accomplir ce  
travail, ainsi qu'a ma belle famille.*

*Et à toute ma grande famille et toutes mes amies chacun a son  
nom.*

*Chahrazad*

# Sommaire

**Remerciement**

**Dédicaces**

**Liste des abréviations**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Introduction général**

## **Chapitre 1 : généralités sur les corps gras**

1.1 Définition .....	3
1.2 Composition des corps gras .....	3
1.2.1 Constituants majeurs .....	3
1.2.1.1 Triglycérides.....	3
1.2.1.2 Les acides gras.....	4
1.2.2 Constituants mineurs .....	6
1.2.2.1. Propriétés physico-chimiques des corps gras .....	6
a) Propriétés physiques.....	6
b) Propriétés chimiques .....	6
1.3. Rôles biologiques et nutritionnels des lipides.....	7

## **Chapitre 2 : Généralités sur les huiles végétales**

2.1 Généralités .....	8
2.2 Définition .....	8
2.2.1 Définition de quelques huiles .....	8
2.3 Classification des huiles végétales .....	9
2.4 Composition des huiles végétales .....	10
2.5 Caractéristique des huiles végétales .....	10
2.6 Usage des huiles végétales .....	10
2.7 Obtention des huiles .....	11

## Sommaire

2.7.1 Extraction des huiles à partir des graines oléagineuses .....	11
2.7.2 Raffinage des huiles végétales brutes .....	11
2.7.2.1. Les étapes de raffinage .....	12
2.7.3 Effet du procédé du raffinage sur la qualité et la stabilité de l'huile .....	13

### **Chapitre 3 : Altération des huiles végétales**

3.1. Altération biologique .....	14
3.2. Altération chimique .....	14
3.2.1 Hydrolyse .....	14
3.2.1.1 L'hydrolyse enzymatique .....	15
3.2.1.2 L'hydrolyse spontanée .....	15
3.2.2 Isomérisation .....	15
3.2.3 Polymérisation et Cyclisation .....	15
3.2.4 Altération Oxydative .....	16
3.2.4.1 Facteurs favorisant l'oxydation .....	16
3.2.4.2 Mécanisme d'oxydation .....	17
3.2.4.2.1 Auto-oxydation .....	17
a) Initiation .....	17
b) la propagation .....	18
c) La terminaison .....	18
3.2.4.2.2 La photo oxydation .....	19
3.2.4.2.3 Oxydation enzymatique .....	20
3.3 Altération thermo-oxydative .....	20
3.3.1. Les différents produits de la thermo oxydation .....	20

### **Chapitre 4 : Les Antioxydants**

4.1. Définition .....	22
4.2 Mécanisme d'action .....	22
4.3 Classification des antioxydants .....	22
4.3.1. Antioxydants synthétiques .....	22

## Sommaire

4.3.2 Substances synergiques.....	23
4.3.3 Antioxydant d'origine végétale .....	23
4.3.3.1. Tocophérols (vitamine E) .....	23
4.3.3.2 les caroténoïdes .....	24
4.3.3.3 Les polyphénols .....	24
4.4 Utilisation des antioxydants .....	25
4.5 Propriétés des principaux antioxydants.....	26

### Chapitre 5 : La friture

4.1 Définition .....	27
4.2 Intérêts de friture .....	27
4.3 Types de fritures .....	27
4.3.1 La friture plate .....	27
4.3.2 La friture profonde .....	28
4.3.3 Friture en restauration collective.....	28
4.3.4 Friture industrielle .....	28
4.4 Procédé de la friture .....	28
4.5 Modification au cours de la friture .....	29
4.5.1 Modification au sein de l'aliment .....	29
4.5.2 Modification au sein de l'huile.....	29
4.6 Les différents produits .....	30
4.7 Facteurs influant le processus de friture .....	31
4.8. Aspect toxicologique des huiles chauffées .....	31
4.9. Conseils pratiques lors des fritures .....	32

### Etudes expérimentales

#### Chapitre 1 : Matériels et méthodes

1. Objectif de l'étude .....	33
2. Présentation de la région d'étude DBK .....	33
3. Prélèvement des échantillons d'huiles.....	34
4. Différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition. ....	34

# Sommaire

5. Analyses physico-chimiques .....	35
5.1. Analyses physiques .....	35
5.1.1. Taux de composés polaires .....	35
5.1.2. Densité.....	36
5.1.3. Teneur en eau et matière volatils .....	37
5.1.4. Viscosité .....	38
5.2. Analyses chimiques .....	39
5.2.1. Indice d'acidité .....	39
5.2.2. Indice de saponification .....	40
5.2.3. Indice de peroxyde.....	40
6. Analyse statistique .....	41

## **Chapitre 2 : Résultat et discussions :**

2.1. Evolution des indices physiques .....	43
2.1.1 Dosage du taux de composés polaires totaux (CPT) .....	43
2.1.2. L'humidité .....	48
2.1.3 La densité .....	49
2.1.4. La viscosité .....	51
2.2. Evolution des indices chimiques.....	54
2.2.1 Acidité .....	54
2.2.2. Indice de saponification .....	56
2.2.3. Indice de peroxyde .....	58
<b>Conclusion général .....</b>	<b>62</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## **Résumé**

## Liste des abréviations

**AAL** : Acide  $\alpha$ -Linoléique.

**AC** : Acide Caprique

**AG** : acides gras

**AGI** : acides gras insaturés

**AGL** : acide gras libre

**AGMI** : Acide Gras Mono-Insaturés

**AGPI** : Acides Gras Poly-Insaturés

**AGS** : Acides Gras Saturés

**AGT** : acide gras totaux

**AL** : Acide Linoléique

**ALR** : Acide Laurique

**AM** : Acide Myristique

**AS** : Acide Stéarique

**BHA** : butylhydroxyanisole

**BHT** : butylhydroxytoluence

**CG** : corps gras

**DAG** : diacylglycérol

**ENC** : espèces chimique nouvelle

**H<sup>°</sup>** : proton

**I.A** : indice d'acidité

**I.P** : indice de peroxyde

**I.S** : indice de saponification

**MAG** : monoacylglycérols

**MDA** : malonaldehyde

**Meq O<sub>2</sub>/ Kg** : milli équivalent d'oxygène active / Kg

**N** : normalité

**R<sup>°</sup>** : radical libre

**ROO<sup>°</sup>** : radical peroxyde

**ROOH** : hydroperoxyde

**T<sup>°</sup>** : température

**TCP** : taux de composés polaires

**TG** : triglycérides

**TGMOX** : monomères de triacylglycérol oxydés

**TGO**: triglycérides oxydés

**TPM**: total polar materials

## Liste des tableaux

N°	Titres	pages
1	Principaux acides gras	5
2	Classification des huiles selon leur teneur en acides gras majoritaires.	9
3	Caractéristiques physiques de quelques huiles végétales	10
4	les facteurs favorisant l'oxydation	16
5	principaux produits d'altération au cours d'un traitement thermique	21
6	quelques exemples d'utilisation réglementée des antioxydants de synthèse	23
7	Les propriétés des principaux antioxydants	26
8	type d'altération, agent causal et types de produits formés lors du chauffage des CG	30
9	Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie	35
10	Caractéristiques physico-chimiques d'une huile alimentaire	42
11	Limites inférieures et supérieures des CPT des huiles chauffées selon le guide d'emploi de l'appareil <i>Testo 270</i>	44
12	Resultat de TCP des huiles de bains de fritures prélevées	45
13	Resultat d'humidité des échantillons d'huiles des bains de friture	48
14	Variation des valeurs de la densité des échantillons d'huiles de bains de friture	50
15	résultats de la viscosité moyenne des bains de fritures prélevés	52
16	Valeurs moyennes de l'acidité des huiles de bains de friture	54
17	Résultats de l'indice de saponification des prélèvements des huiles de bains de friture	57
18	Valeurs moyennes de l'indice de peroxyde des huiles de bains de friture prélevé des fastfoods	59
19	Evolution des indices de peroxyde en fonction de la température de chauffage	61

## Liste des figures

N°	Titres	Pages
1	Représentation d'un triglycéride issu de la condensation entre trois acides gras C18 :1 et une molécule de glycérol.	4
2	Structure générale d'un acide gras	4
3	Représentations 3D de molécules de quelques acides gras	5
4	Schéma des réactions d'oxydation des lipides	17
5	Évolution schématique de l'auto-oxydation des acides gras insaturés au cours du temps	19
6	Deux exemples des structures des caroténoïdes	24
7	Structure du noyau phénol	25
8	carte géographique représentant la commune de Draa Ben Khedda	33
9	Différentes huiles commercialisées en Algérie	34
10	l'appareil « Testo 270 »	36
11	photo originale d'étuve	37
12	viscosimètre	38
13	valeur des CPT des huiles de bains de friture prélevée des fastfoods	46
14	Evaluation de l'humidité des huiles de bains prélevées des fastfoods	49
15	valeur de la densité des huiles de bains prélevées des fastfoods	51
16	Valeur moyenne de la viscosité des huiles de bains prélevées des fastfoods	53
17	valeurs moyennes de l'acidité des huiles de bains prélevées des fastfoods	55
18	Variations des valeurs de l'indice de saponification (mg/g) des huiles de bains de friture prélevée des fastfoods	58
19	valeur moyenne de l'indice de peroxyde des huiles de bains prélevées des fastfoods.	60

The background features three decorative blue circles of varying sizes, each composed of concentric circles in different shades of blue. These circles are arranged along a diagonal line that runs from the top-left towards the bottom-right. The largest circle is at the top-right, a medium-sized one is in the center, and a large one is at the bottom-right. The word "Introduction" is centered horizontally in a bold, dark blue serif font.

# Introduction

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

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel dans l'alimentation de l'Homme. Elles assurent tout d'abord une fonction nutritionnelle : elles contribuent à l'apport d'énergie, une source d'acides gras indispensables, en particulier l'acide linoléique, l'acide alpha-linolénique et d'autres constituants d'intérêt nutritionnel à l'instar des phytostérols ou composés phénoliques (cas de l'huile d'olive notamment). Elles contribuent à la qualité organoleptique des produits, leur apportant une texture onctueuse, crémeuse, fondante, un aspect brillant et une saveur spécifique. Elles assurent également des fonctions technologiques, en particulier comme moyens de transfert de chaleur en cuisson (exemple des huiles de friture), agents d'enrobage et de démoulage ou comme supports d'arômes et de colorants lipophiles (*CUVELIER et MAILLARD, 2002*).

La friture profonde est une pratique culinaire multimillénaire dont les traces d'utilisation ont été retrouvées chez un grand nombre de peuples : européens, égyptiens et chinois (*MORTON, 1998; GERTZ, 2000*). C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus simples pour l'élaboration des aliments (*ROSSEL, 2001*).

Autrefois, elle était strictement domestique, elle a été industrialisée au début du vingtième siècle (*GUPTA, 2004*). L'évolution du mode de vie de la population (éloignement du lieu de travail, restauration hors du foyer, alimentation déstructurée, etc.) a contribué à la diversification des produits frits qui sont des aliments incontournables de la restauration hors foyer et notamment de la restauration rapide dans le monde (*GRAILLE, 2003*).

L'opération de friture profonde consiste à immerger un produit riche en eau (pommes de terre, légumes, fruits, viandes, poissons et fromages) dans une huile alimentaire végétale ou animale portée à une température supérieure à la température d'ébullition de l'eau pure (*TOUFFET, 2018*).

Sous l'influence d'une élévation importante de la température, les corps gras se dégradent suivant des processus parfois mal connus qui aboutissent à la formation de composés d'oxydation, de polymérisation, d'isomérisation et d'hydrolyse toxiques pour l'organisme de l'Homme (*LE FLOCH et al, 1968*).

Depuis plusieurs années, de nombreux travaux ont été consacrés à l'étude des modifications chimiques des corps gras au cours du chauffage et à l'incidence de ces transformations sur, la valeur nutritionnelle des produits obtenus en relation avec la santé du consommateur (*GUILLAUMIN et al., 1977*).

L'inquiétude du consommateur est omniprésente, voire grandissante, ce qui a fait l'apparition de plusieurs stratégies pour vaincre la malnutrition, parmi lesquelles le contrôle de la qualité des aliments. Cette stratégie pourrait être, appliquée aux huiles alimentaires de friture.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude, des échantillons d'huiles de bains de friture ont été prélevés dans différents restaurants rapides (appelé Fastfood) dans la commune de Draa Ben Khedda dans la perspective d'évaluer leurs niveaux de qualité.

The background features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged in a vertical line, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the central text area.

# Chapitre 1

## Généralité sur les corps gras

## 1.1. Définition :

Les lipides (du grec *lipos*, graisse) correspondent à une matière grasse ou corps gras (CG). Les CG font partie d'un ensemble complexe de composés organiques, les lipides sont présents dans les tissus animaux (graisse de bœuf, beurre...etc.) et végétaux (margarine, huile). Ce sont des esters naturels, formés à partir d'acides gras et alcool ou d'amine. Ces biomolécules sont caractérisées par leurs insolubilités dans l'eau, solubilité dans les solvants organiques (éther, hexane, benzène, chloroforme) et le toucher onctueux (huileux) (WEIL, 2001).

L'état concret ou fluide des CG dépend directement de la composition en AG de ces produits. Il existe au moins 50% d'AGS dans les graisse alors que les huiles renferme plus de 80% d'AGI (SIRET, 2004).

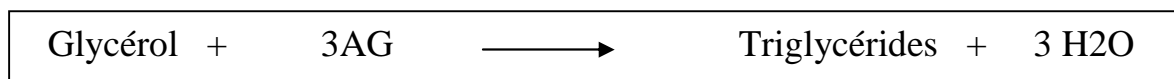
## 1.2. Composition des corps gras :

### 1.2.1. Constituants majeurs :

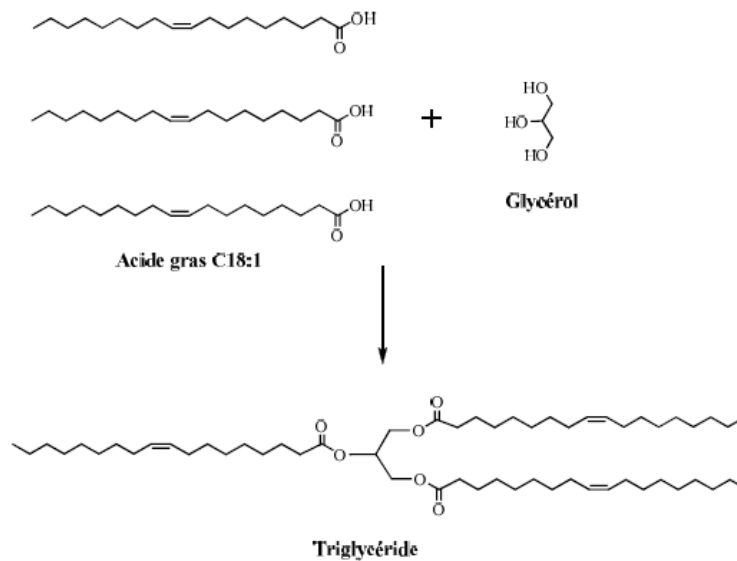
#### a) Triglycérides :

Ce sont les constituants les plus abondants des lipides, ils résultent de l'estérification des trois fonctions alcools du glycérol par trois acides gras. Si les trois molécules sont identiques, le triglycéride formé est homogène. Les triglycérides hétérogènes contiennent deux ou trois acides gras différents (GARRETTE, 2000).

Ils se forment selon cette réaction générale :



La figure (1) représente la structure d'un triglycéride et d'un glycérol

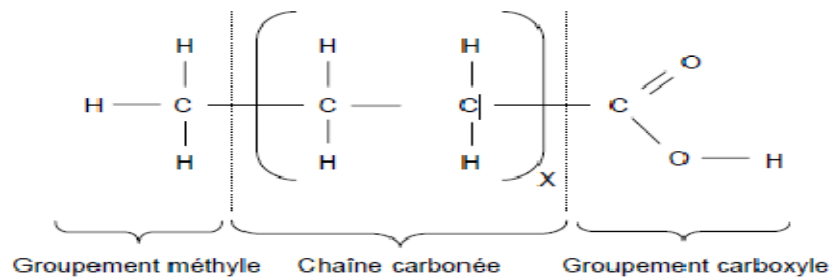


**FIGURE 1 :** Représentation d'un triglycéride issu de la condensation entre trois acides gras C18 :1 et une molécule de glycérol.

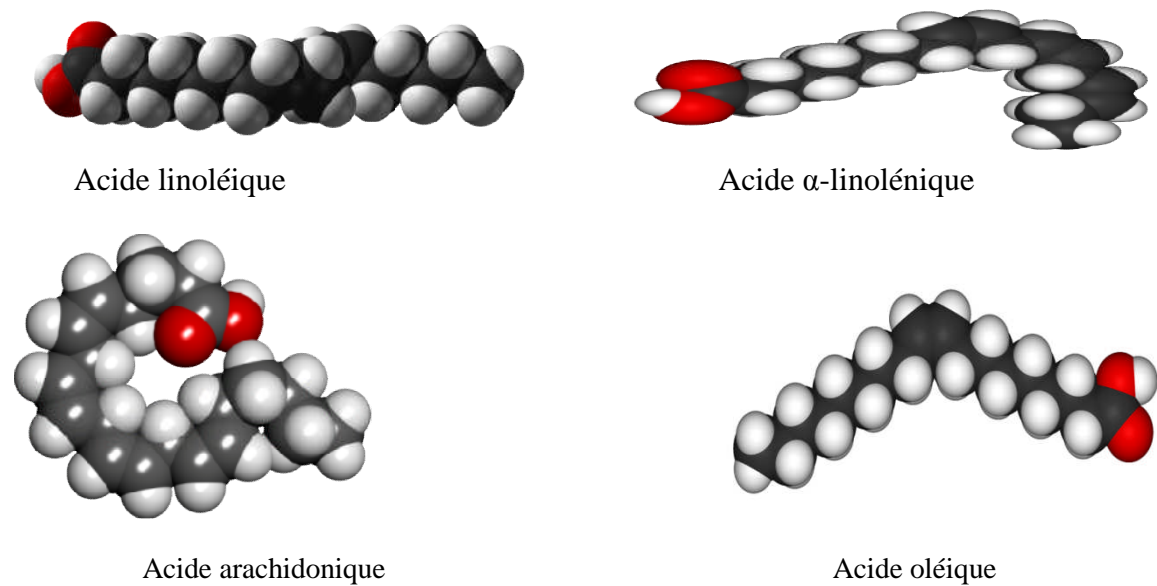
Selon la combinaison et l'assemblage des acides gras sur le glycérol, la glycéride aura une structure différentes et pourra être monoacide (monoacylglycérols MAG), diacide (diacylglycérol DAG) symétrique ou asymétrique. (BOUHADJRA, 2011).

### b) Les acides gras :

Les acides gras sont des acides carboxyliques à chaîne aliphatique hydrophobe. Ils sont peu abondants à l'état libre. Chez les animaux et les végétaux, les acides gras à chaîne longue et à nombre pair d'atomes de carbone sont le plus souvent à 16 et 18 atomes de carbone. Ils sont saturés ou non selon qu'ils contiennent ou non des doubles liaisons (GEORGE, 2006). (FIGURE 2 et 3)



**Figure (2) :** Structure générale d'un acide gras



**Figure (3) :** Représentations 3D de molécules de quelques acides gras

Les principaux acides gras sont illustrés dans le tableau suivant :

ACIDES GRAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE	FORMULE CHIMIQUE	SOURCE
<b>Saturés</b>			
Acide butyrique	4	$C_3H_7COOH$	Beurre
Acide caproïque	6	$C_5H_{11}COOH$	Beurre
Acide caprylique	8	$C_7H_{15}COOH$	Noix de coco
Acide caprique	10	$C_9H_{19}COOH$	Huile de palme
Acide laurique	12	$C_{11}H_{23}COOH$	Noix de coco
Acide myristique	14	$C_{13}H_{27}COOH$	Huile de muscade
Acide palmitique	16	$C_{15}H_{31}COOH$	Graisses
Acide stéarique	18	$C_{17}H_{35}COOH$	Graisses
Acide arachidique	20	$C_{19}H_{39}COOH$	Huile d'arachide
<b>Monoinsaturés</b>			
Acide palmitoléique	16	$C_{15}H_{29}COOH$	Beurre
Acide oléique	18	$C_{17}H_{33}COOH$	Huile d'olive
<b>Polyinsaturés</b>			
Acide linoléique	18	$C_{17}H_{31}COOH$	Huile de lin
Acide linoléique	18	$C_{17}H_{29}COOH$	Huile de lin
Acide arachidonique	20	$C_{19}H_{31}COOH$	Huile d'arachide

**Tableau (1) :** Principaux acides gras

### 1.2.2. Constituants mineurs.

Ils représentent 0,5 à 2 % de la masse d'huile. Ils renferment principalement des phospholipides, des stérols, des alcools gras et tri terpéniques, des tocophérols, des pigments et des hydrocarbures. Ces insaponifiables ou leurs constituants peuvent être responsables de la couleur, de l'odeur de l'huile, avoir une activité vitaminique ou intervenir dans la conservation des corps gras ; ils peuvent aussi être de précieux critères pour le contrôle de la pureté de l'huile. Ils trouvent des applications en cosmétique, en pharmacie et dans les industries alimentaires. (GORNAY, 2006)

#### 1.2.2.1. Propriété physico-chimique :

##### a) Propriété physique :

Le point de fusion est la température à laquelle un CG passe de l'état solide à l'état liquide (MASSON, 2002). Le point de fusion d'un AG dépend de la longueur de la chaîne carbonée, du nombre de doubles liaisons et de la configuration géométrique cis ou trans (GRAILLE, 2003).

Plus la chaîne carbonée est longue et saturée, plus la température de fusion est élevée. Le point de fusion diminue avec le degré d'insaturation. (MASSON, 2002).

Les huiles à l'état naturel ne présentent pas un point de fusion, mais une zone de fusion (LINDEN et LORIENT, 1994).

La solubilité des huiles et des graisses décroît avec le nombre d'atomes de carbone pour les glycérides saturés, et augmente avec le nombre de doubles liaisons dans le cas des glycérides insaturés (ROGER, 1974).

##### b) Propriété chimique :

Les propriétés chimiques des AG sont liées d'une part au groupement carboxyle et d'autre part à la chaîne carbonée. D'après (FRENOT et VIERLING, 2001), les acides gras ont deux ensembles de propriétés : celles de la fonction acide et celle de la double liaison. Le groupement -COOH permet la formation des sels et la fixation des AG pour former des esters.

Hydrogénation : C'est l'une des modifications principales effectuées sur les huiles. Au cours de cette opération, l'hydrogène s'additionne aux doubles liaisons des acides gras en présence de catalyseurs cela augmente le point de fusion convertissant une huile liquide en une graisse semi solide qui résiste à l'oxydation (PRIORE, 2003)

Trans-estérification : La trans-estérification ne modifie pas les acides gras, le changement de position des acides gras sur le glycérol peut modifier la digestibilité du triglycéride et par conséquent l'absorption de chacun des acides gras (*UCIANI et DEBAL, 1992*).

Saponification : Elle permet de transformer en savons solubles (sodique ou potassique) la totalité des acides gras présents dans une matière grasse (*ADRIAN et al. 1998*). Selon la réaction suivante :



### 1.3. Rôles biologiques et nutritionnels des lipides

Dans l'organisme, les lipides ont quatre fonctions principales :

- **Reserve d'énergie** : stockés sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux, les lipides constituent ainsi une réserve énergétique mobilisable (1g de lipides donne environ 9,3 Kcal par contre les hydrates de carbone (les sucres) fournissent 4Kcal).
- **Un rôle structural** : les acides gras servent à la synthèse d'autres lipides, notamment les phospholipides qui forment les membranes autour des cellules et des organelles. La composition en acides gras de ces phospholipides donne aux membranes des propriétés physiques particulières (élasticité, viscosité).
- **Un rôle de messager** : les acides gras sont les précurseurs de plusieurs messagers intra et extracellulaires. Par exemple, l'acide arachidonique est le précurseur des eïcosanoïdes, hormones intervenant dans l'inflammation et la coagulation sanguine
- **Un rôle de transport de vitamines** : les corps gras alimentaires véhiculent quatre vitamines liposolubles : A, D, E et K (*SEGHIER et BENAHMED, 2014*).

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged along a diagonal line that runs from the top-left towards the bottom-right. The largest circle is at the top, a smaller one is in the middle, and a large one is at the bottom right, partially cut off by the edge of the page. The background is white with thin blue lines extending from the top-left corner towards the circles.

# Chapitre 2

## Les huiles végétales

## 2.1 Généralités :

L'huile est utilisée depuis des siècles, bien que les premières matières grasses utilisées par l'homme proviennent de la graisse fondue des animaux. La première utilisation de l'huile n'avait pas de vocations alimentaires, il s'agissait bien souvent de combustible servant à l'éclairage. L'huile est une matière grasse, onctueuse et épaisse, souvent liquide à température ambiante.

Une huile végétale renferme en général plus de 99% de lipides, ni glucides, ni protéides et très peu ou pas de cholestérol. Quelques vitamines et antioxydants liposolubles complètent le pourcentage restant (1%). Elles sont indispensables pour les papilles mais également pour la santé car elles apportent les acides gras nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. De plus que leur goût et leur prix, les huiles végétales diffèrent par leur composition, d'où l'importance de bien choisir ses produits, surtout pour un usage quotidien (*DEBRUYNE, 2001*)

## 2.2 Définition :

L'huile est une matière grasse onctueuse, insoluble dans l'eau et généralement liquide à température ambiante (*LAMBERT, 2005*). Les huiles proviennent soit des fruits (olive et palme), soit des grains oléagineux (arachide, soja, tournesol, etc.) (*APFELBAUM et al., 2009*). Elle est formée essentiellement de TG, c'est-à-dire d'ester glycérol des AG (*KARLESKIND, 1992*). On les différencie généralement par leur point de fusion ; les huiles sont liquide à 15°C, tandis que les MG sont plus ou moins solides à cette température (*LECERF, 2011*).

### 2.2.1. Définition de quelques huiles

- 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 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 et centrifugation.
- Les huiles pressées à froid sont obtenues, sans modification de l'huile, exclusivement par des procédés mécaniques, par exemple expulsion ou pression,

sans utilisation de procédés thermiques. Selon le *Codex alimentarius (1993)* elles peuvent avoir été purifiées uniquement par lavage à l'eau, décantation, filtrage et centrifugation.

### 2.3 Classification des huiles végétales :

Des analyses ont été réalisées sur 80 huiles végétales et ont proposé une classification selon la teneur et la composition en acides gras en 3 grands groupes (tableau 2), chacun pouvant être sous-divisé selon la prédominance de tel ou tel acide gras: les huiles saturées, les huiles mono-insaturées et les huiles polyinsaturées (*SEVERAC, 2010*).

**Tableau (2) :** Classification des huiles selon leur teneur en acides gras majoritaires. AC : Acide Caprique ;ALR : Acide Laurique ; AM : Acide Myristique ; AS : Acide Stéarique ; AGS : Acides Gras Saturés ; AGMI :Acide Gras Mono-Insaturés ; AGPI : Acides Gras Poly-Insaturés ; AL : Acide Linoléique ; AAL : Acide  $\alpha$ -Linoléique.

Classes d'huiles	Sous-classes	Exemples	Total AGS (%)	Total AGMI (%)	Total AGPI (%)
Saturées	AC	Cuphea	91,6	0,0	8,2
	ALR + AM	Coco	92,6	6,1	1,9
		Palmiste	81,9	16,4	3,1
	AP	Palme	50,4	39,4	10,5
	AS	Beurre de Cacao	62,9	34,1	3,0
Beurre de karité		46,5	48,0	5,4	
Mono-insaturées	AGMI	Olive	15,3	73,8	10,0
		Noisette	7,8	83,1	9,0
		Avocat	16,4	67,8	15,2
		Abricot noyau	4,8	66,4	28,8
		Colza	8,0	62,4	31,5
		Moutardeblanche	3,4	68,5	21,4
	AGMI + AGS + AL	Arachide	18,3	49,6	30,8
		Son de riz	21,3	42,4	35,9
		Argan	17,8	35,9	35,8
Polyinsaturées	AL	Pépin de raisin	6,7	18,4	65,4
		Carthame	9,1	13,9	77,3
		Cassis	8,3	16,3	75,3
	AL + AGS	Coton	27,8	18,2	53,4
		Noix	14,8	0,4	84,0
		Lupin	26,4	17,4	55,8
	AL + AGMI	Tournesol	12,8	22,4	66,0
		Maïs	14,8	28,1	57,1
		Sésame	15,7	40,1	45,7
		Bourrache	16,6	26,1	60,9
		Soja	15,7	24,2	59,8
		Chanvre	10,1	12,1	79,1
	AAL + AGMI	Cameline	9,7	32,8	54,1
		Lin	10,0	18,5	71,8
	AAL + AL	Pourpier	21,7	11,8	66,5
Framboise		3,7	12,0	83,6	

## 2.4 Composition des huiles végétales :

Contrairement aux autres corps gras (beurre, margarine, crème fraîche, saindoux, suif, autres corps gras d'origine animale) qui contiennent une proportion variable d'eau, les huiles ne contiennent pas d'eau, mais près de 100 % de lipides (EVRARD *et al.*, 2007).

Les huiles végétales se définissent essentiellement par leur composition en acides gras. Aucune ne contient un seul type d'acides gras : il s'agit toujours d'une association complexe. Les huiles végétales n'ont cependant pas une composition fixe, car elles varient selon les arrivages, la génétique et la culture des plantes, les saisons... Parmi les plus courantes, se distinguent plusieurs huiles (Annexe 1,2).

## 2.5. Caractéristique des huiles végétales

L'huile est une matière grasse onctueuse, insoluble dans l'eau et soluble dans les solvants organiques (chloroforme, l'hexane,...), et généralement liquide à la température ambiante (Lambert, 2005). Certaines huiles exercent une fonction d'émulsifiant (phospholipides) (AE, 1999). Les principales caractéristiques de quelques huiles végétales sont présentées dans le tableau (3)

**Tableau (3) :** Caractéristiques physiques de quelques huiles végétales

Huile	Point de fusion (°C)	Densité	Viscosité
Huile de tournesol	-15	0,94	66
Huile de maïs	-18 à -10	0,90	65- 72
Huile de soja	- 15	0,91	57-76
Huile de colza	< 2	0,91	98

## 2.6 Usage des huiles végétales :

Les huiles ont des compositions et des propriétés différentes. Leurs intérêts et leurs usages sont donc complémentaires. LECERF (2011) a rapporté les caractéristiques des différentes catégories d'huiles végétales.

- **Les huiles riches en acides gras mono-insaturés** sont résistantes à la cuisson: olive, arachide en particulier. L'huile d'olive vierge, par la diversité et la complexité de ses arômes, et du fait de ses composés mineurs, a un intérêt particulier sur le plan nutritionnel. Les huiles vierges sont moins courantes. Leur trouble, leur goût fort et leur moindre stabilité sont souvent des obstacles pour les consommateurs.

- **Les huiles riches en acides gras polyinsaturés oméga 6**, de type huile de tournesol, ont un usage mixte, cuisson et assaisonnement ; ce sont souvent de bonnes sources de vitamine E. L'huile de germe de blé, particulièrement riche en vitamine E, et l'huile de maïs non raffinée, très riche en phytostérols, ont un intérêt spécifique sur le plan biologique.
- **Les huiles riches en acide alpha-linolénique**, Telles que colza, noix, soja germe de blé, lin, perilla, camelin..., permettent d'accroître la consommation de cet acide gras, dont les apports sont toujours déficitaires en France. L'huile de colza convient parfaitement à l'assaisonnement.
- **Les huiles riches en acides gras saturés** sont très stables au chauffage, sont peu ou pas oxydables : c'est le cas de l'huile de palme. Son point de fusion élevé et sa stabilité lui permettent des usages technologiques multiples.

## 2.7 Obtention des huiles végétales

Selon leur mode d'obtention, les huiles sont disponibles sous trois formes différentes : les huiles vierges répondent à des critères précis fixés par la réglementation: extraction par des procédés exclusivement mécaniques, sans solvant ; clarification par des moyens physiques (décantation et double filtration) ; aucun traitement de raffinage physique ou chimique. Les huiles brutes : le terme d'huile brute est utilisé pour toute huile obtenue en sortie d'extraction, quel que soit le mode d'obtention (mécanique ou avec solvant). Enfin, les huiles raffinées sont obtenues après un processus de raffinage.

### 2.7.1 Extraction des huiles à partir des graines oléagineuses

La production d'huiles brutes est réalisée par trituration incluant une étape de pressage mécanique des graines oléagineuses, éventuellement suivie par une extraction au solvant de l'huile résiduelle présente dans les tourteaux (*CONSTANTIN et al, 2010*).

### 2.7.2. Raffinage des huiles végétales brutes

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. En effet, les huiles contiennent de nombreux composés : certains sont très utiles (vitamines, insaponifiables tel que stérols, tocophérols,..), d'autres sont nuisibles à leur qualité (gommes (phospholipides), acides gras libres, pigments colorés, agents odorants,..).Le

raffinage consiste donc à éliminer au mieux ces composés afin d'obtenir une huile aux qualités organoleptiques et chimiques satisfaisantes.

### 2.7.2.1. Les étapes de raffinage

Les opérations essentielles du raffinage sont les suivantes:

- **La démucilagination** (ou dégomme) permet de débarrasser les huiles des gommes (phospholipides, protéines) après leur hydrolyse par un acide. Il est exclu de neutraliser en présence de ces composés car ils causent en présence d'eau des émulsions pouvant provoquer des colmatages au niveau des filtres des installations industrielles.
- **La neutralisation** ou la désacidification consiste à éliminer les acides gras libres de l'huile démucilaginée. 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). Outre l'élimination des acides gras libres, la neutralisation permet d'éliminer la totalité des phospholipides, les traces de métaux et les produits dégradés par oxydation (*WOLFF, 1968*).
- **La décoloration** succède à l'étape de neutralisation au cours du raffinage. C'est une opération qui vise à éliminer les pigments colorés que la neutralisation n'a que partiellement détruits. 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 filtration permet d'obtenir une huile limpide après élimination de la terre décolorante usée.
- **La filtration** permet d'obtenir une huile limpide après élimination de la terre décolorante usée.
- **La désodorisation** permet de débarrasser, l'huile des substances odorantes (essentiellement les composés soufrés, les aldéhydes, les cétones...) par distillation sous vide poussé à température élevée (220°C-240°C).

### 2.8 Effet du procédé du raffinage sur la qualité et la stabilité de l'huile

Les procédés industriels permettent d'extraire quasiment toute l'huile, mais les différences opérations d'extraction au solvant suivi du raffinage, altèrent la composition de l'huile en diminuant les composées bénéfiques, tel que les antioxydant, la vitamine E et en faisant apparaître des acides gras trans, très néfaste pour la santé (*GLADINE et al., 2010*). Ainsi, la qualité et la stabilité d'une huile dépend d'une part de ces caractéristiques chimiques telles que sa composition en acides gras et de sa teneur en antioxydants (tocophérol, flavonoïdes, .....). D'autre part, la stabilité de l'huile est influencée par les différents procédés d'extraction et de raffinage et les conditions de stockage en présence de lumière et d'oxygène (*DOBARGANTS et VELASCO, 2002 ; VERLEYEN, 2002*).

The page features a decorative graphic consisting of three overlapping blue circles of varying sizes, arranged in a vertical line. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the circles and the text. The circles are composed of concentric layers of different shades of blue, creating a 3D effect.

# Chapitre 3

## Altération des huiles végétales

Lorsqu'elles sont extraites de leur environnement protecteur naturel, toutes les huiles végétales subissent au cours de leur conservation ou de leur utilisation différentes altérations. Celles-ci se traduisent par une perte de valeur nutritionnelle et par la détérioration de leur qualité sensorielle, organoleptique et dans des conditions extrêmes, des substances toxiques peuvent se former. Ce qui constitue un problème majeur en industrie des corps gras.

### 3.1. 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.

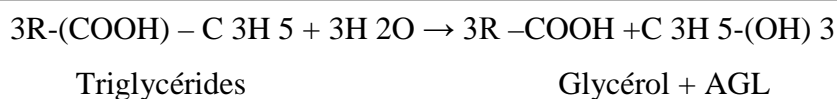
L'action de ces micro-organismes a pratiquement pour résultat la formation d'enzymes génératrices d'acides gras, de produit d'oxydation, d'aldéhyde et de cétone ; ce qui se traduit par des modifications d'apparence, de texture, de saveur et aussi par l'apparition de produits toxiques (FRANCOIS, 1974). Le cas le plus généralement étudié est celui d'une altération par *Aspergillus flavus*.

### 3.2. Altération chimique

#### 3.2.1 Hydrolyse

Les lipides en tant qu'ester d'AG et de glycérol peuvent être hydrolysés en AGL, diacylglycérol et monoacylglycérols par fixation d'une, deux, ou trois molécules d'eau (PRIOR, 2003).

La réaction globale d'hydrolyse des lipides est la suivante



Les esters (triglycérides) peuvent être hydrolysés en milieu basique, acide et même neutre. En milieu basique la réaction est totale, elle est appelée saponification, en milieu acide ou neutre la réaction est réversible. L'hydrolyse est la réaction inverse de l'estérification. L'insolubilité des glycérides dans l'eau et de l'eau dans les glycérides n'est pas un obstacle à leur hydrolyse (UCCINI et DEBAL, 1992).

On distingue :

### 3.2.1.1 L'hydrolyse enzymatique

Par les lipases, se produisant uniquement dans les huiles brutes. Les lipases n'agissent en général que dans un domaine restreint de température (20-50°C) et de pH (5,5-7,5). Alors que lors du raffinage, ces enzymes sont dénaturées (*UCCINI et DEBAL, 1992 ; ALLEN et HAMILTON, 1999*).

### 3.2.1.2 L'hydrolyse spontanée

Ce déroule lors du stockage et des traitements thermique des CG. (*PERRIN, 1992*). Elle est favorisée par la présence des acides gras libres et le taux d'humidité. Cette hydrolyse s'accompagne par une oxydation, car les acides gras libres s'oxydent 10 fois plus vite que les triglycérides (*TREMOLIERE, 1980*).

Durant la friture, l'eau portée par l'aliment frit se dégage sous forme de vapeur et peut provoquer une hydrolyse. Cette vapeur d'eau provoque lors de son dégagement un entrainement des produits les plus volatils. (*PERRIN, 1992 ; BHATTACHARYA et al., 2008*).

### 3.2.2 Isomérisation

Le chauffage isomérisé les formes cis en formes trans thermodynamiquement plus stables. A des températures élevées (au-dessus de 200°C), les doubles liaisons des AGPI sont susceptibles de subir des réactions d'isomérisation en formant le plus souvent des systèmes conjugués. Les doubles liaisons qui ont migrés prennent alors la configuration géométrique trans ; cette réaction intervient généralement au cour de la désodorisation des huiles végétales. (*POKORNY, 2003*)

### 3.2.3 Polymérisation et Cyclisation

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 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*)

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 des corps

cycliques ainsi d'autre produits nocifs pour la santé tels que les radicaux libres et les aldéhydes (GORNEY, 2006).

Dans les huiles de friture, deux types de polymères se forment :

- Polymères oxydatifs résultent de la combinaison des radicaux libres formés par l'auto-oxydation
- La température élevée peut décomposer l'huile ou les AG ; les composés qui en résultent peuvent réagir entre eux pour former de longues molécules appelées polymères thermique (GUPTA, 2005).

### 3.2.4 Altération Oxydative

Tous les corps gras subissent au cours de leur conservation ou leur utilisation des altérations oxydatives. Les principaux composés oxydables sont des AGI, à l'état libre ou estérifiés en triglycérides. Le phénomène d'oxydation des acides gras conduit à une dégradation organoleptique, avec apparition d'une saveur caractéristique « rance » qui modifie la qualité marchande du produit. (BOUHADJRA, 2011).

Au contact de l'oxygène, de l'air, le radical libre formé à partir des acides gras insaturés s'oxyde en radicaux peroxy puis en hydro-péroxyde. Ceci provoque l'apparition d'arôme et induit des changements de couleur indésirable dans les huiles de fritures et même dans les produits frits ; (GRAILLE, 2003).

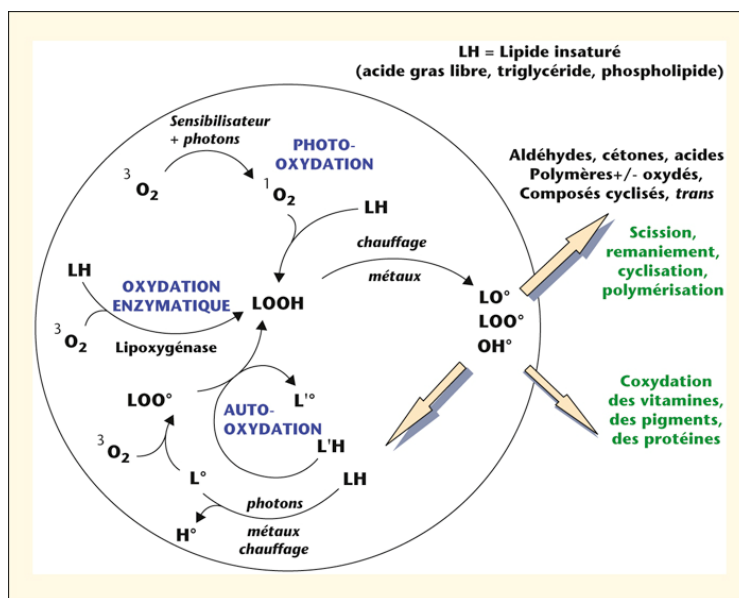
#### 3.2.4.1 Facteurs favorisant l'oxydation

**Tableau (4) :** les facteurs favorisant l'oxydation

Facteurs internes	Facteurs externes
• Nature de la matière grasse (acides gras libres)	• Oxygène
• Insaturation (nombre et position)	• Température
• Dispersion (augmentant la surface d'échange avec O <sub>2</sub> )	
• Activité de l'eau > 0.3 (favorisant l'oxydation enzymatique et l'activité des métaux)	• Lumière (radiation UV ou ionisation)
• Enzymes (lipases lipoxygénases)	
• Pigments (catalisant la photo-oxydation)	
• Métaux de transition (fer, cuivre)	

### 3.2.4.2 Mécanisme d'oxydation

Les principales réactions d'oxydation des lipides insaturés sont complexes mais bien connues (FRANKEL, 2007 ; JEANTET *et al.*, 2006). On peut les représenter schématiquement à la (figure ) qui suit :



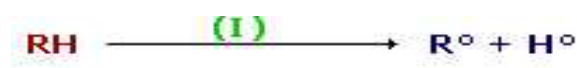
**Figure (4) :** Schéma des réactions d'oxydation des lipides (d'après *BERSET et CUVELIER, 1996*)

En fonction des agents initiateurs, on classe l'oxydation des lipides en trois types :

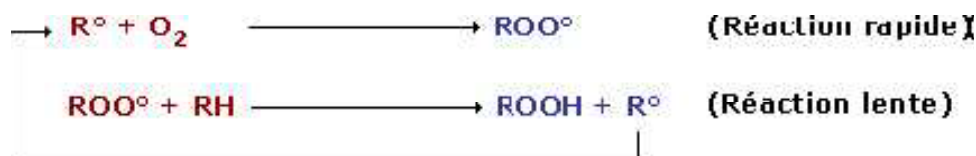
#### 3.2.4.2.1 Auto-oxydation

L'auto-oxydation des lipides est une réaction radicalaire en chaîne auto-catalytique. L'auto-oxydation semble donc être un mécanisme principal dans l'oxydation de lipide. Elle produit principalement les hydroperoxydes et les composés volatils, généralement par un processus triphasé (initiation, propagation, terminaison) (LAGUERRE, 2007).

- a) **Initiation :** En présence d'un initiateur (I), les lipides insaturés (RH) perdent un proton ( $H^\circ$ ) pour former un radical libre de lipide ( $R^\circ$ ) par rupture homolytique d'une liaison Carbone-Hydrogène. L'arrachement du proton est facilité tant par la chaleur (agitation moléculaire) que par les rayonnements ou les catalyseurs (métaux tels que Cu, Fe, Ni...).



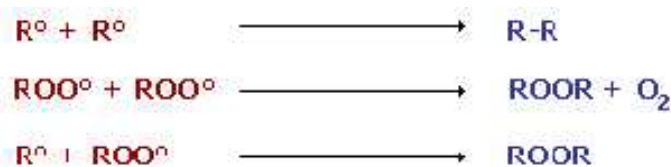
b) **la propagation** : La propagation est une réaction radicalaire en chaîne. Les  $R^\circ$  formés fixent l'oxygène moléculaire et forment des radicaux peroxyde ( $ROO^\circ$ ). Ces derniers peuvent réagir avec une nouvelle molécule d'AG pour former des hydroperoxydes ( $ROOH$ ) et autre  $R^\circ$  (JUDDE, 2004)



La phase de propagation peut elle-même être décomposée en deux étapes séquentielles :

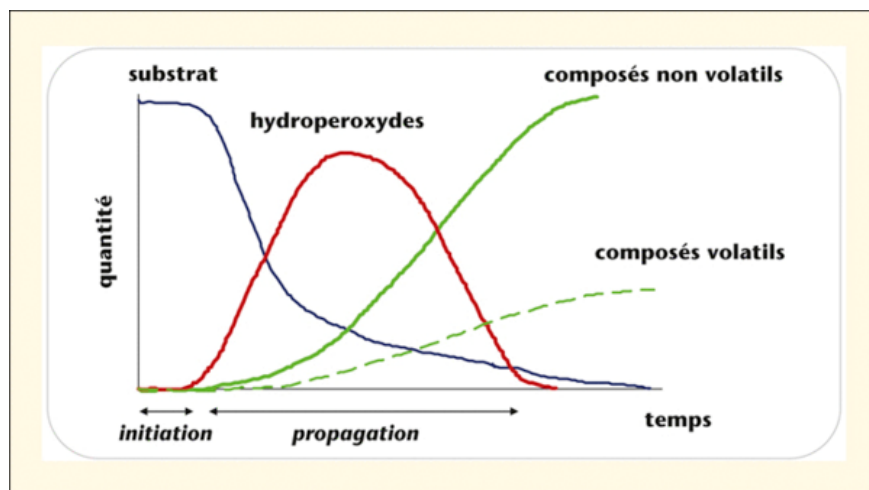
- 1- La première étape correspond à l'apparition des peroxydes, composé primaires d'oxydation, à partir des radicaux libres instables.
- 2- La deuxième étape se traduit par l'évolution des hydroperoxydes (produits primaires) catalysée par les ions de métaux lourds en produits secondaires d'oxydation (des aldéhydes, des cétones, des alcools, des acides carboxyliques etc.).

c) **La terminaison** : Lorsque la concentration en radicaux libres devient suffisamment importante, ces dernières peuvent se combiner pour terminer la réaction d'auto-oxydation. Les radicaux libres s'associent pour donner des composés non radicalaires très divers (JUDDE, 2004).



Dans les huiles chauffées à haute  $T^\circ$ , ces réactions interviennent rapidement car les hydroperoxydes se décomposent spontanément à partir de  $160^\circ\text{C}$  et augmente la concentration en radicaux libres (BRULE, 2006).

Les réactions d'auto-oxydation ainsi que la cinétique de la formation et de la décomposition des hydroperoxydes sont représenté par la figure (5) :



**Figure (5) :** Évolution schématique de l'auto-oxydation des acides gras insaturés au cours du temps (adapté de *LABUZA et DUGUAN, 1971*).

### 3.2.4.2.2 La photo oxydation

La photooxydation des huiles végétales est sensibilisée par les chlorophylles et leurs produits de dégradation, les phéophytines, qui induisent à la formation de l'oxygène singulet. Les phéophytines ont un effet photosensibilisateur plus important que celui des chlorophylles (*PSOMIADOU et TSIMIDOU, 2002*).

En présence d'un photo-sensibilisateur, l'énergie irradiante convertit l'oxygène normal à l'état triplet en oxygène à l'état singulet (*POKORNY, 2003*). Le mécanisme d'oxydation des lipides par l'oxygène singulet diffère significativement du principe radicalaire décrit. (*CROGUENNEC et SCHUCK, 2006*).

Comme l'énergie lumineuse est absorbée, le photo-sensibilisateur est transféré à l'état singulet excité. le photo-sensibilisateur peut être converti à un sensibilisateur d'état triplet excité via un mécanisme de croisement inter système (ISC). La voie de type (1) est caractérisée par le transfert d'un atome d'hydrogène ou le transfert d'électron entre un sensibilisateur triplet excité et un substrat, ce qui entraîne la production de radicaux libres ou de radicaux libres ions. Les sensibilisateurs de l'état triplet excité est une espèce réactive et peut subir une voie de réaction de type (2), comme le montre la figure (6). Dans la voie de type (2), le sensibilisateur triplet excité réagit avec l'oxygène triplet pour former l'oxygène singulet et le sensibilisateur singulet. (*KANAVOURAS et al, 2006*).

### 3.2.4.2.3 Oxydation enzymatique

Le phénomène d'oxydation des acides gras insaturés peut être d'origine enzymatique. Les enzymes principalement impliquées sont la lipoxygénase et la cyclooxygénase (*PEREIRA et al., 2003*).

La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique et aboutit à la formation d'hydroperoxydes.

La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique et aboutit à la formation d'hydroperoxydes. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés. Son activité est donc souvent couplée avec celle des lipases et phospholipases. La cyclooxygénase est une lipoxygénase qui incorpore deux molécules d'oxygène au niveau d'un acide gras pour former des hydroperoxydes spécifiques (*JOSEPHSON et LINDSAY, 1986*).

## 3.3 Altération thermo-oxydative

L'emploi des CG pour frire, cuire, ou roter certains aliments s'accompagne inéluctablement d'attaque thermo-oxydatives. Qu'elle provoque des altérations importantes de chaînes insaturées (*NAUDET, 1977*)

Selon les cycles de chauffage et de refroidissement auxquels sont soumis les corps gras au cours de leurs utilisations, il y a des diminutions de certains composés d'intérêt nutritionnel d'origines tels que les vitamines et les AGPI et l'apparition d'espèces chimique nouvelles composés volatils et des composés non volatils (*GRAND GIRARD, 1992*).

À T° élevée, lors de la friture plate ou profonde, les réactions d'oxydation s'accélèrent et donnent des réactions secondaires plus variées

### 3.3.1. Les différents produits de la thermo oxydation

Les différents produits d'altération au cours d'un traitement thermique d'un CG sont présentés dans le tableau (5) :

**Tableau (5) :** principaux produits d'altération au cours d'un traitement thermique (*DANA et SAGUY, 2003*)

Réaction		Description	Les produits formés
<b>Hydrolyse</b>		La réaction de désestérification mène au fendage des liaisons entre le glycérol et les AG	Diglycéride, Monoglycéride AGL glycérol
<b>oxydation</b>	Oxydation primaire	Affectation de la saveur, de gout, et de la couleur l'aliment et de l'huile	Formation des hydroperoxydes
	oxydation secondaire	Fusion des hydroperoxydes à T° élevée.	Formation des produits secondaires : alcool, carbonyle, et AGL etc. Formation des composés polaire et MDA
<b>Polymérisation thermique</b>		Polymérisation des produits secondaires d'oxydation	Formation de polymères, obscurcissement de la viscosité d'huile.

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged along a diagonal line that runs from the top-left towards the bottom-right. The largest circle is at the top, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom right, partially cut off by the edge of the page. The background is white with thin blue lines extending from the top-left corner towards the circles.

# Chapitre 4

## Les antioxydants

## 4.1. Définition

Un antioxydant est défini comme étant toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substances biologiques (*BOYD et al., 2003*), se sont des composés qui réagissent avec les radicaux libres et les rendent ainsi inoffensifs (*VANSANT, 2004*).

Les antioxydants sont aussi largement utilisés comme additifs dans les matières grasses et les huiles de l'industrie alimentaire, pour empêcher ou retarder l'altération des aliments. Le fait d'ajouter des ingrédients alimentaires contenant beaucoup d'antioxydants naturels peut améliorer à la fois la qualité et la valeur nutritionnelle des aliments. (*BOURAS et HOUCHI, 2003*).

## 4.2. Mécanisme d'action

Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène, ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras. Tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène singulet pour la transformer en chaleur. (*HELLAL, 2011*).

L'activité des antioxydants dépend des aliments dans lesquels ils sont ajoutés, de la concentration utilisée, de la quantité d'oxygène présent et de la présence de catalyseur d'oxydation (ions métallique), ainsi que de la présence de molécules synergique (*MECLEMENTS et DECKER, 2007*).

## 4.3 Classification des antioxydants

### 4.3.1. Antioxydants synthétiques

Dans l'industrie alimentaire, les antioxydants synthétiques, tel que le BHA, BHT etc. sont utilisés largement parce qu'ils sont efficaces, et moins chers que les antioxydants naturels (*LISU et al., 2003*). leur concentration d'utilisation est généralement 10 fois plus faible que celle des conservateurs et se situe entre 0,02 et 0,05 (*PERRIN, 1992*).

Le tableau (6) montre quelques limites d'utilisation des antioxydants de synthèse.

**Tableau (6):** Quelques exemples d'utilisation réglementée des antioxydants de synthèse (PERRIN, 1992)

Nature de l'aliment	Antioxydant	Concentration maximal (ppm)
Saindoux, graisse de bœuf, de volaille et de mouton, huiles de poisson	BHA	200
	BHT	100
Compléments alimentaires	BHA et BHT	400
Soupes et viandes déshydratées, lait en poudre.	BHT	200

#### 4.3.2 Substances synergiques

Ce sont des molécules qui améliorent l'action de certains antioxydants. Ce qui se traduit souvent par un accroissement de la période de protection, parmi eux se trouvent : Les acides lactique, tartrique et ortho phosphorique et leurs sels de sodium, potassium ou calcium. Leurs propriétés peuvent s'expliquer par un effet chélatant de métaux comme le fer ou le cuivre, dont on connaît bien l'effet pro-oxydant à faible dose. (BOUHADJRA, 2011).

#### 4.3.3 Antioxydant d'origine végétale

Les plantes constituent des sources très importantes d'antioxydants. Les antioxydants naturels dont l'efficacité est la plus reconnue aussi bien dans l'industrie agroalimentaire que pour la santé humaine sont : les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols (BOUHADJRA, 2011).

##### 4.3.3.1. Tocophérols (vitamine E)

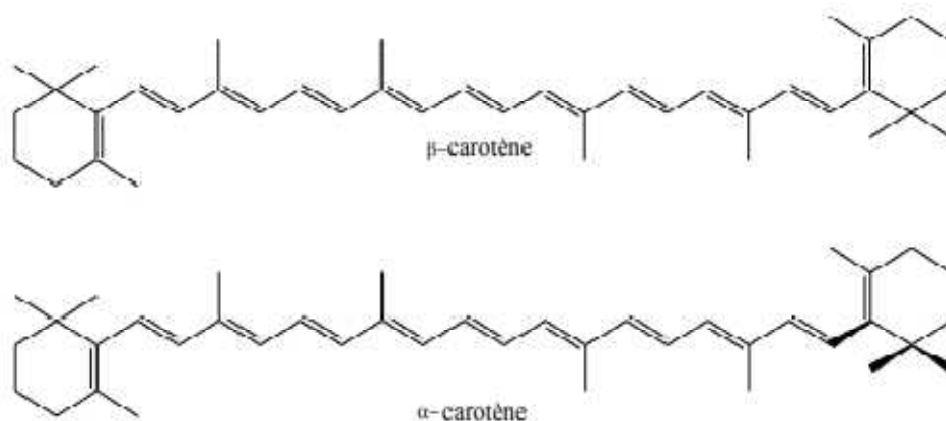
La vitamine E qui est une vitamine liposoluble de formule brute  $C_{29}H_{50}O_2$  et de masse molaire 430g. Elle est le terme générique utilisé pour désigner les différents tocophérols qui se distinguent entre eux par le nombre et la situation des groupements méthyles fixés sur le noyau aromatique. Leur Principales sources : les huiles végétales (tournesol, pépin de raisin, maïs, ...), les légumes et fruits frais (amande, noisette, fenouil, mure, avocat, épinard, ...), les aliments d'origine animale. (CHEKROUN, 2013)

### 4.3.3.2 les caroténoïdes

Sont des pigments fabriqués par les végétaux. Les plus importants sont le bêta carotène, l'alpha-carotène, la lutéine, la zéaxanthine et le lycopène. Ce sont eux qui donnent aux fruits et légumes des couleurs orange, rouge et jaune. Leur fonction essentielle est de protéger les plantes. La plupart des caroténoïdes ont une propriété antioxydante.

Comme ils le font pour les plantes, ils ont des effets bénéfiques sur notre santé. Ce sont d'excellents piègeurs d'espèces radicalaires particulièrement vis-à-vis de la lipoperoxydation des phospholipides membranaires grâce à leurs structures.

Les caroténoïdes sont des substances polyéniques caractérisées par un système de doubles liaisons conjuguées. Le nombre de doubles liaisons conjuguées varie de 7 à 15. (BOUBEKRI, 2014)



**Figure (6):** Deux exemples des structures des caroténoïdes. (BOUBEKRI, 2014)

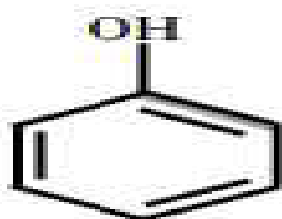
### 4.3.3.3 Les polyphénols

Les composés phénoliques ou les polyphénols sont des métabolites secondaires largement répandues dans le règne végétal étant trouvé dans tous les fruits et les légumes. Ces composés sont présents dans toutes les parties des plantes mais avec une répartition quantitative qui varient entre les différents tissus. Plus de 8000 structures ont été identifiées (WAKSMUNDZKA *et* MOSER, 2009) allant de simples molécules comme les acides phénoliques à des substances hautement polymérisées comme les tanins.

Ils sont synthétisés par l'ensemble des végétaux et ils participent aux réactions de défense face à différents stress biotiques (agents pathogènes, blessures, symbiose) ou abiotiques (lumière, rayonnements UV, faible température, carences). Les polyphénols contribuent à la

qualité organoleptique des aliments issus des végétaux (couleur, astringence, arôme, amertume). (GOMEZ-ALONSO *et al.*, 2000).

L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau phénolique à 6 carbones (Figure 7), auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester ou hétéroside. (BOUBEKRI, 2014)



**Figure (7):** Structure du noyau phénol.

#### 4.4 Utilisation des antioxydants

- Les antioxydants sont des composés puissants qui peuvent neutraliser les radicaux libres impliqués dans la dégradation cellulaire, et nous aident ainsi à garder une vie active et saine. Quelques antioxydants sont fabriqués par le corps humain, d'autres telles les vitamines et poly phénols, doivent être apportés par notre alimentation (LAMIGAN *et* YAMLIK, 2002).
- La plupart des études d'observation montrent un effet protecteur d'une alimentation riche en antioxydants sur le risque de maladies cardiovasculaires ou de cancers (LAMIGAN *et* YAMLIK, 2002).
- Une autre vertu des antioxydants concerne la peau. En réduisant les effets nocifs des radicaux libres, les antioxydants limitent le vieillissement cutané (LAMIGAN *et* YAMLIK, 2002).

### 4.5 Propriétés des principaux antioxydants

Tableau (7) : Les propriétés des principaux antioxydants (*MULTON, 2002*)

Nature	solubilité	Stabilité a la chaleur	Remarque
Tocophérols	Liposoluble	Stable	Présent naturellement dans les huiles végétales, vitamine E synergie avec la vitamine E.
Acide ascorbique	Hydrosoluble	Peu stable	
Palmitate d'ascorbyle	Peu liposoluble	Peu stable	
BHA	Très liposoluble	Très stable	Action de transfert, synergie avec BHT et gallate
BHT	Liposoluble	Stable	Synergie avec BHA formation de coloration jaune en présence de fer
Gallate	Moyennement liposoluble	Thermosensible	Formation de coloration bleue avec le fer n présence d'eau
TBHO	Très liposoluble	Très stable	Peu volatils, sensible au PH

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged in a vertical line, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the circles and the text.

# Chapitre 5

## La friture

La friture est une méthode de préparation des aliments très ancienne et très appréciée partout à travers le monde elle conduit à une évaporation de l'eau à la surface des aliments qui permet de déshydrater la surface et former une croûte (*BOUCHON, 2009*).

### 5.1 Définition

La friture est l'une des plus anciennes méthodes de cuisson des aliments. Elle était utilisée à l'Égypte 6ème siècle avant JC. Les romains l'employaient aussi et l'appelaient « bouillir à l'huile ». Ce procédé consiste à prolonger les aliments dans la matière grasse portée à des T° élevée. (*KALOGIANNI et al., 2010*). Elle peut être réalisée à la poêle en présence de peu de matière grasse (friture plate) ou dans un volume d'huile ou de matière grasse (friture profonde) portée à une T° généralement comprise entre 160°C et 200°C (*VITRAC et al., 2003*).

### 5.2 Intérêts de friture

La friture est principalement utilisée pour réaliser des transformations qui augmentent : la digestibilité des aliments en facilitant leur trituration et leur assimilation dans le tractus (coagulation des protéines et de l'amidon), la palatabilité des aliments par le développement de texture, couleurs et saveurs, la stabilisation des matières premières ou aliment par l'abaissement de la teneur en eau du matériau et l'inactivation des microorganismes (*GRAILLE, 2003*).

Suivant l'application envisagée, le procédé de la friture pourra être intégré dans : les opérations de cuisson (terme générique utilisé ici pour les opérations de transformations des aliments par la chaleur), les opérations de séchage non conventionnel et enfin dans les opérations de stabilisation des aliments (pasteurisation, déshydratation, formation), (*GRAILLE, 2003*).

### 5.3 Types de fritures

#### 5.3.1 La friture plate

La friture plate correspond à la cuisson d'un aliment avec un petit volume d'huile dans une grande surface, en présence d'air : l'oxydation thermique est maximale, mais l'huile n'est utilisée qu'une seule fois, exemple : la cuisson d'un steak (*FREDOT, 2005*).

Dans le cas de la friture plate, l'huile atteint une température intermédiaire entre celle du matériau et de la surface chauffante. Elle limite l'adhésion du matériau, augmente la surface de contact qui participe aux transports de la chaleur et sert de milieu d'extraction de la vapeur. (*GRAILLE, 2003*).

### 5.3.2 La friture profonde

Cette opération consiste à immerger totalement un aliment dans un grand volume d'huile par transfert de chaleur (*FREDOT, 2012*)

Elle consiste à faire cuire l'aliment dans un bain d'huile préalablement chauffé à des températures optimales comprise entre 160°C à 180°C pour bien cuire à cœur (*VITRAC et al., 2003*).

Selon (*VIERLING, 2008*) la friture profonde se différencie de la friture plate par :

- Un faible contact de l'huile avec l'air ;
- Un grand volume d'huile ;
- La réutilisation du bain pour des raisons économique.

### 5.3.3 Friture en restauration collective

La quantité d'huile placée dans la friteuse peut aller de quelque litre à une centaine de litres (friteuse en cuisine collective). Une particularité est que, bien souvent, ces huiles sont chauffées pendant plusieurs heures par jour, (*FREDOT, 2005*).

### 5.3.4 Friture industrielle

Compte tenu du fait que les repas sont de plus en plus pris hors foyer familiale, une part grandissante des produits alimentaires est cuite, frite ou précuite dans l'industrie. Les friteuses industrielles fonctionnent dans la plus part des cas en continu. Les quantités d'huiles mises en œuvre peuvent aller jusqu'à une dizaine de tonnes (*KARLESKINDE, 1992*)

## 4.4 Procédé de la friture

La friture consiste à tremper un aliment dans un bain d'huile chaude. La température idéale est d'environ 175-190°C. A cette T°, la surface de l'aliment est cuite presque instantanément ; il s'y forme une croûte empêchant l'huile du bain de pénétrer au cœur de l'aliment à frire. La vapeur qui « sorte » de l'aliment empêche l'absorption de l'huile, ce qui permet de préparer des aliments moins riches en lipides. Les extrêmes de température engendrent des anomalies ; ainsi, une température de friture trop basse favorise l'infiltration de l'huile à l'intérieur de l'aliment, tandis que les températures de friture trop élevées assèchent les aliments et oxyde l'huile. Il importe de signaler que l'absorption d'huile par l'aliment se déroule après son retrait de la friteuse (après cuisson), pendant son refroidissement notamment (*UFHEIL et ESHER, 1996*).

De plus, pendant la friture, l'huile est soumise à des transformations chimique et physique à haute T°. La friture combine déshydratation et cuisson, avec la gélatinisation de l'amidon, la dénaturation des protéines, l'aromatization et la coloration via les réactions de Maillard et l'entrée d'huile. Ces réactions sont fortement liées, mais une transformation peut être privilégiée en adaptant et optimisant les paramètres de ce procédé de cuisson (FAO, 2002).

## 4.5 Modification au cour de la friture

### 4.5.1 Modification au sein de l'aliment

Les réactions de thermodégradation des pigments et de vitamines, l'inactivation des micro-organismes et des enzymes sont fortement accélérées par des T° proche a la T° d'ébullition de l'eau et en milieu liquide saturant. (PINTHUS *et al.*, 1998)

Les changements de la couleur et le développement des arômes associés aux réactions de Maillard apparaitront donc préférentiellement à la surface des matériaux riches en sucres réducteurs immergés dans des bains d'huile très chauds ou après une déshydratation poussée. Ainsi, la gélatinisation de l'amidon apparaitra au cour de la friture en présence d'un excès d'eau et donc a des T° inférieur ou égales a 100°C (pression atmosphérique). L'amidon non gélatinisé, dit résistant, participe alors à la formation d'une croute rigide (PINTHUS *et al.*, 1998) , qui s'oppose au retrait des frites lors de la friture. (GONI *et al.*, 1997).

### 4.5.2 Modification au sein de l'huile

Au cour de friture, de composés nouveaux se forment, on en cite : des produits volatils (responsable de l'odeur particulière de la friture), composé polaire (ils représentent une fraction importante des PATO qui, en ex excès, peuvent être irritant pour la muqueuse digestive) et composés non polaires (ils apparaissent suite à des réactions d'hydrolyse et cyclisation du faite de l'élévation de T°) (FREDOT, 2005)

selon VIERLING (2003), plus de 500 produits apparaissent dans le bain de friture ; la plupart d'eux se trouvent à l'état de traces. On enregistre, également, une diminution des composés fragiles de l'huile ; en particulier :

\*Les acides gras essentiels ;

\*Les tocophérols est réduite à plus de 50% lors d'un chauffage à 177°C pendant 8h.

Le CG subit de nombreuses modifications au fur et à mesure de leur utilisation, telles que :

\*Des modifications organoleptiques : la couleur du bain devient brune et son acidité augmente

\*Des modifications physico-chimique : la densité, la viscosité et l'indice de réfraction. Le poids diminue et même le volume. (IGHIL et MANI, 2016)

#### 4.6 Les différents produits

Les produits formés lors du chauffage des CG et d'une façon générale au cours d'une opération de friture sont d'une grande diversité (plus de 400 espèces). On distingue ainsi des composés a courte chaine, tel que l'hexanal et propanal (responsable de mauvaise odeur).

Des AGL, AGT, glycéride partiels, monomère cyclique représentent les composés de haut poids moléculaire.

La teneur en produits d'altérations, qu'ils s'agissent des ENC (espèce chimique nouvelle) des glycérides polaires ou polymères, augmente avec la durée du chauffage et donc, avec le nombre de friture effectuées (PERRIN, 1992).

**Tableau(8) :** type d'altération, agent causal et types de produits formés lors du chauffage des CG (DOBARGANES, 1998).

Types d'altération	Agent causal	Composés résultants
Oxydative	Air (oxygène)	<u>Produit non volatils</u> Monomères oxydés Dimères et oligomères Polymères oxydés
		<u>Produits volatils</u> Hydrocarbure Cétones, aldéhydes, alcools, acides
Thermique	Température	Monomères cycliques Dimères apolaire et oligomères. Polymères Acide gras trans
Hydrolytique	Humidité	AGL, di et monoglycéride, glycérol

#### 4.7 Facteurs influant le processus de friture

Plusieurs facteurs influant le processus de friture et contribuent à l'optimisation des conditions de fritures pour chaque type d'altération ; parmi les principaux facteurs à considérer, on cite :

- Ceux dépendant du processus : comme la T° et le temps, la méthode de friture, à la poêle ou à la friteuse (continue ou discontinue) et le matériel du récipient.
- Ceux dépendant de l'huile de friture : composition en AG et les additifs y incorporés.
- Choix de l'huile de friture : la nature du CG qui est liée au degré d'insaturation de l'AG. Les huiles contenant plus de 2% d'acide linoléique ne peuvent être employées pour la friture, car cet AGPI de la série des omégas 3 s'oxyde facilement en donnant des produits suspects (irritant et cancérigène) (*ALAIS et LINDEN, 1997 ; VITRAC et al., 2003*)
- Le choix du type ou du mélange d'huile dépendra en outre de la perception et l'acceptabilité du produit frit par le consommateur (odeur, texture, sensation en bouche, arrière-gout, stabilité de l'huile) (*VITRAC et al., 2003*).
- ceux dépendant de l'aliment : humidité et composition en AG
- la durée et le rythme de chauffage : les temps de friture varient essentiellement avec la teneur initiale en eau de l'aliment et la T° du bain utilisé. (*ALLAIS et LINDIN, 1987 ; VITRAC et al., 2003*).
- Le rapport surface / volume de la friteuse : la masse d'huile consiste alors une réserve potentielle de chaleur qui pourra être utilisée pour la déshydratation et la cuisson rapide (*VITRAC et al., 2003*).
- La T° atteint: plus la T° de l'huile est élevée, plus les modifications chimiques sont importantes (*VITRAC et al, 2003*)

#### 4.8 Aspect toxicologique des huiles chauffées

Les AG modifiés sont nocifs sous forme de TG. Dès que des dimères et polymère se forment, l'action de la lipase pancréatique devient difficile, de sorte que ces molécules ne peuvent pas être absorbées. Les oxymonomères et les monomères cyclique sont hydrolysée et absorbé en partie ; ils sont métabolisés par l'organisme et partiellement éliminées par les urines. Il ne semble pas que les bains de fritures utilisés normalement soient à l'origine de réactions toxiques pour l'organisme (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

Les métaux, présent naturellement dans les corps gras mais éliminés en grande partie lors du raffinage, activent les oxydations, car ce sont des catalyseurs de la fixation d'oxygène.

Les glucides des aliments sont de bons capteurs de radicaux libres et ont l'effet inverse des métaux ; ils protègent les lipides contre l'oxydation (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

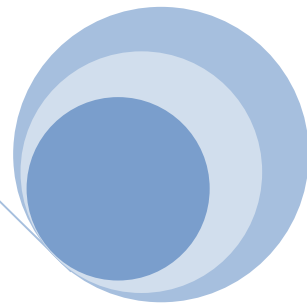
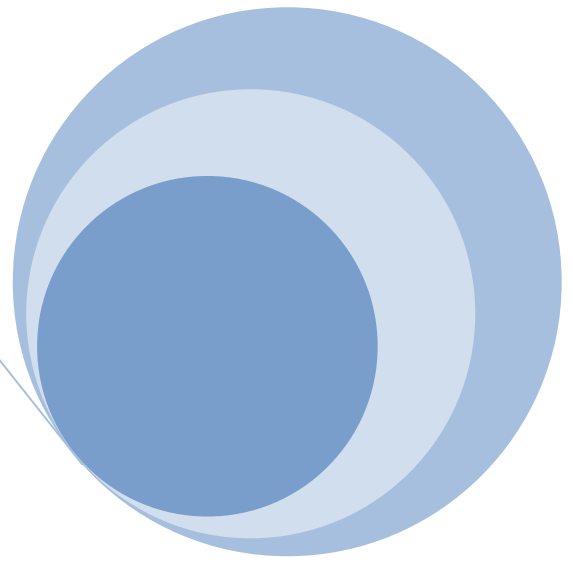
*GRANDGIRARARD (1992)*, a montré aussi, lors de l'administration d'huile de tournesol chauffé à des rats, une toxicité hépatique par la dégénération des lipides cellulaire, l'occlusion des veines et une nécrose tissulaire. Cette toxicité se traduit généralement par l'hypertrophie du foie.

Cependant, aucun effet carcinogène ou mutagène n'est induit par des CG chauffés dans des conditions de friture réelles. Seules, des conditions extrêmement sévères de chauffage (220-240°C) ont permis de mettre en évidence une faible activité mutagène (*LECERF, 2011*).

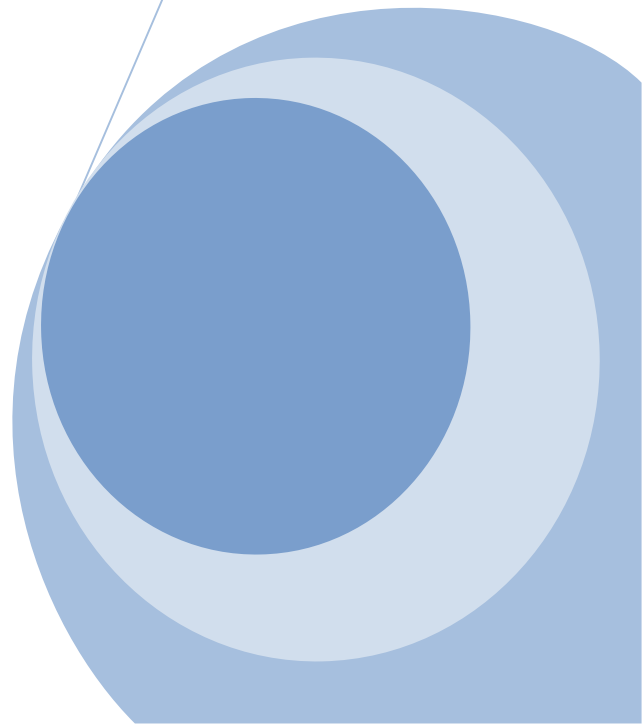
#### 4.9 Conseils pratiques lors des fritures

D'après *OLIVIER et MARTINEZ (2005)* :

- Le CG choisi doit être destiné à cet usage ;
- La friteuse doit être conforme aux normes de sécurité ;
- Le bain de friture doit être rempli de manière à respecter les proportions indiquées par le constructeur ;
- Prendre des précautions particulières liées aux type d'aliment, la T° ne doit pas dépasser 180°C ;
- Ne pas laisser l'huile plus de deux ou trois semaines dans la friteuse sans l'utiliser ;
- Nettoyer régulièrement la friteuse ;
- Filtrer le bain après chaque usage.



# **Partie expérimentale**



The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged along a diagonal line that runs from the top-left towards the bottom-right. The largest circle is at the top, a medium-sized one in the middle, and a large one at the bottom right corner. The background is white with thin blue lines extending from the top-left corner towards the circles.

# Chapitre 1

## Matériels et méthodes

## 1.1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette thématique consiste à évaluer la qualité des huiles de baines de fritures, des établissements de la restauration rapide « fastfood » de la commune Draa Ben Khedda, située à l'ouest de la wilaya de Tizi-Ouzou.

## 1.2. Présentation de la région d'étude DBK

Draâ Ben Khedda (Mirabeau durant la période coloniale française), est une commune algérienne de la wilaya de Tizi-Ouzou, en Kabylie, située à 11 km à l'ouest de Tizi-Ouzou d'une superficie de 33,41 km<sup>2</sup>. Elle est délimitée par la commune Sidi Namane au nord, Tizi Ouzou à l'est, Tirmatine au sud et Tadmaït à l'ouest.



**Figure (8) :** carte géographique représentant la commune de Draa Ben Khedda

### 1.3. Prélèvement des échantillons d'huiles de bains de friture

L'échantillonnage a été réalisé durant la période du 23/ 06/ 2019 au 30/ 06/ 2019. La zone de prélèvement sise à la commune de Draa Ben Khedda a été répartie en trois strates dans le but d'avoir des zones plus ou moins homogènes en termes de nombre de fastfoods afin de faciliter la sélection des établissements à étudier.

La totalité des fastfoods présents dans cette zone est de 19 ; le nombre de fastfoods choisis est de 9 ; ces derniers sont sélectionnés de façon aléatoire conformément aux recommandations en matière statistique.

Des échantillons d'huiles de bains de friture d'un volume de 200ml en été prélevés par moi-même après homogénéisation du bain de friture ; un échantillon est prélevé par fastfood. Ces huiles sont directement introduites dans des flacons en verre transparent, bien fermés et recouverts d'un papier aluminium afin d'éviter toute altération liée à la lumière et l'air ambiant. Ils sont, ensuite, entreposés et conservés au réfrigérateur, réglé à une température de +4°C afin de prévenir toute altération post-prélèvement et par conséquent fausser le jugement de la qualité de la friture dans chaque fastfood.

Ces échantillons ont été transportés au laboratoire où ils ont fait l'objet d'une série d'analyses physico-chimique permettant de juger leur qualité. Parmi les analyses physiques effectuées, on cite : la densité, la viscosité, le taux de composés polaires et la teneur en eau et en matière volatils. Pour les critères chimiques, on énumère ces différents indices : d'iode, d'acidité, de saponification et de peroxyde.

### 1.4. Différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition.

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 :



**Figure (9):** Différentes huiles commercialisées en Algérie (DGCERF ; 2012)

Selon le *DGCERF en 2012*, les compositions des différentes huiles alimentaires raffinées fabriquées en Algérie se présentent comme indiquées dans le *tableau (9)*.

**Tableau(9) :** Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie

marque	Nature d'huile
Huile élio	80% soja 20% tournesol
Huile Fleurial	100% tournesol
Huile afia	95% soja 5% maïs
Huile huilor	100% soja
Huile bonal	100% soja
Huile lynor	90% soja 10% palme
Huile safia	100% soja

## 1.5. Analyses physico-chimiques

### 1.5.1. Analyses physiques

#### 1.5.1.1. Taux de composés polaires

Le taux de composés polaires (TPC) est défini comme étant le pourcentage en poids de composés d'altération néoformés au cours du chauffage des huiles de friture (*GUILLEN et URIARTE, 2011*)

Dans notre étude, la mesure des composés polaires des huiles des bains de fritures a été réalisée à l'aide d'un appareil dénommé le « Testo 270 » (*figure 10*). Cet appareil permet une mesure précise des composés polaires présents dans l'huile ; la valeur donnée révèle une approche des polymères responsables de la dégradation des huiles de friture.

**Mode opératoire :** Annexe (01)



**Figure (10) :** l'appareil « Testo 270 »

Le fonctionnement de l'appareil se fait comme suit : après avoir chauffé les échantillons d'huiles à analyser à une température supérieure à 40°C, on plonge le capteur de l'appareil dans l'huile chaude de sorte de ne pas dépasser le trait indiqué sur cette dernière ; le pourcentage en TCP ainsi que la température de l'huile analysée s'affichent directement sur l'écran.

#### 1.5.1.2. Détermination de la densité à 20°C (AFNOR NF T606-21, 1984)

La densité relative d'une huile ou d'une graisse est le quotient de la masse dans l'atmosphère d'un certain volume de ce corps gras à une température de 20°C ( $D_{20}$ ) par la masse du même volume d'eau distillée.

##### Principe

La densité est déterminée en pesant dans une éprouvette de 5ml de même volume d'eau et d'huile prises à la même température.

**Mode opératoire :** annexe (02)

**Expression des résultats**

$$D = \frac{m_1 - m}{m_0 - m}$$

**Soit :**

**m** : poids de l'éprouvette vide,

**m1**: poids de l'éprouvette plein d'eau,

**m0**: poids de l'éprouvette pleine d'huile.

### 1.5.1.3. Teneur en eau et matières volatils (AFNOR NF T 606-201, 1984)

La teneur en eau et en matières volatils d'un CG est définie comme étant la perte de masse subie par ce produit après son chauffage à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant un temps.

#### Principe

Chauffage d'une prise d'essai d'huile à  $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à l'élimination complète de l'eau et des matières volatiles, et détermination de la perte en masse.



Figure (11) : photo originale d'étuve

**Mode opératoire :** annexe (03).

#### Expression des résultats

La teneur en eau est exprimée en pourcentage en masse égale à :

$$H\% = \frac{m1 - m2}{m1 - m0} \times 100$$

**Soit :**

**m0** : masse en gramme du bécher ;

**m1** : masse en gramme du bécher et de la prise d'essai ;

**m2** : masse en gramme du bécher et du résidu de la prise d'essai après chauffage.

#### 1.5.1.4. Viscosité

La viscosité est définie comme étant le coefficient de frottement intramoléculaire.

**Principe :**

C'est la mesure du temps que nécessite une balle en métal pour s'écouler dans un capillaire d'un viscosimètre rempli d'huile.



**Figure (12):** viscosimètre

**Mode opératoire :** annexe (04)

**Expression des résultats**

$$\mu(C. \rho_0) = K(\rho_f - \rho)t$$

**Soit :**

$\mu$  : La viscosité en centpoise ;

$\rho_f$  : La densité de la balle de métal qui est égale à 8,02 g/ml;

$\rho$  : La masse volumique de l'huile (g/ml) ;

$K$  : constante du viscosimètre qui est égale à 35 ;

$T$  : le temps de chute en minutes.

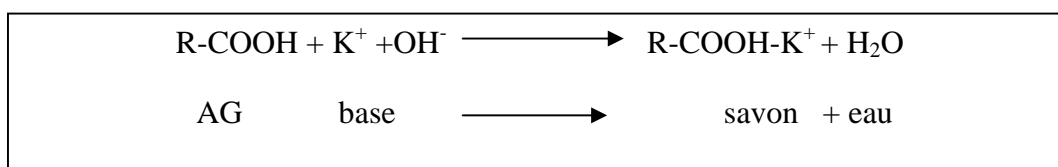
## 1.5.2. Analyses chimiques

### 1.5.2.1. Indice d'acidité (AFNOR – NF T60-204, 1988).

L'acidité est l'expression conventionnelle en pourcentage d'acides gras libres selon la nature du corps gras. Généralement, l'acidité est estimée selon le taux d'acide oléique pour l'ensemble des CG. La détermination de l'acidité a une grande importance dans la mesure où elle permet de mesurer le degré d'altération (hydrolyse des triglycérides) de la matière grasse.

**Principe :**

Il consiste à neutraliser les acides gras libres à l'aide d'une solution de KOH en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré, selon la réaction suivante :



**Mode opératoire :** annexe (05)

**Expression des résultats**

L'acidité est donnée par la formule suivante :

$$A(\%) = \frac{V \times N \times M}{10 \times m}$$

**Soit :**

$A$  : acidité exprimée en pourcentage ;

$V$  : volume en (ml) de la solution KOH utilisée pour le titrage ;

$N$  : normalité de la solution **KOH** qui égale à 0,1 N ;

**M** : masse molaire de l'acide oléique (282,5g/mol) ;

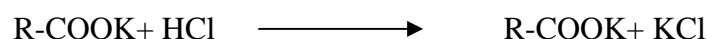
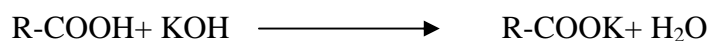
**m** : masse en (g) de la prise d'essai.

### 1.5.2.2. Indice de saponification

C'est la quantité d'hydroxyde de potassium (potasse caustique KOH) en mg nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras.

#### Principe

Il consiste à saponifier une prise d'essai par KOH alcoolique sous réfrigérant à reflux pendant une heure. Le titrage de l'excès de KOH par une solution de HCl à 0.5N en présence de phénolphtaléine.



**Mode opératoire** : annexe 06

#### Expression des résultats

$$I_s (\text{mg KOH/g}) = N \times Eq \times (V_0 - V_1) / p$$

**Soit:**

**I<sub>s</sub>**: indice de saponification exprimé en milligramme par gramme;

**V<sub>0</sub>**: volume de la solution d'HCl 0,5N utilisée pour l'essai à blanc (ml) ;

**V**: volume de la solution d'HCl 0,5N utilisée pour l'essai avec le corps gras (ml) ;

**P**: prise d'essai en gramme;

**N**: normalité d'HCL (0,5N);

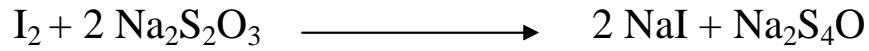
**Eq**: Equivalent gramme de KOH (56,1 g/mol).

### 1.5.2.3. Indice de peroxyde (AFNOR- NFT 60- 22)

L'indice de peroxyde est le nombre de milliéquivalents d'oxygène actifs par kilogramme de corps gras oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode.

**Principe:**

Cette méthode consiste à un traitement d'une quantité d'huile en solution dans l'acide acétique et le chloroforme, par une solution d'iodure de potassium (KI). Le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) à 0,01N en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré selon la réaction suivante:



**Mode opératoire :** annexe 07

**Expressions des résultats**

$$I_P (\text{meqO}_2 / \text{Kg}) = N (V_1 - V_0) \times 1000 / P$$

**Soit :**

$I_P$  : indice de peroxyde indiqué en milliéquivalent gramme par kilogramme ;

$V_0$  : volume de la solution thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en ml ;

$V_1$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé en ml ;

$N$  : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0,01N ;

$P$  : prise d'essai en gramme.

**2. Analyse statistique des résultats**

Les données expérimentales des bains de friture obtenue, sont statiquement testées par l'analyse de la variance (ANOVA), en utilisant le logiciel STATBOX version 6.0 à un seuil de signification de 0,05% afin de déterminer la présence de différence significative

L'intégration des résultats de nos analyses s'est fait selon les seuils de probabilité suivants:

- Probabilité  $> 0,05$   $\longrightarrow$  différence non significative (NS) ;
- $0,01 < \text{probabilité} \leq 0,05$   $\longrightarrow$  différence significative au seuil de 5% ;
- $0,001 < \text{Probabilité} < 0,01$   $\longrightarrow$  différence hautement significative au seuil de 1% ;
- Probabilité  $\leq 0,001$   $\longrightarrow$  différence très hautement significative au seuil de 1‰.

A decorative graphic on the right side of the page. It features three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. Two thin, light blue lines intersect at the top right and extend downwards, framing the circles. The largest circle is at the top right, a smaller one is in the middle, and another large one is at the bottom right, partially cut off by the edge of the page.

# Chapitre 2

## Résultats et discussions

L'objectif de cette étude est de déterminer le niveau d'altération des huiles de bain de friture lors de la préparation des frites (de pomme de terre) dans les fastfoods au chef-lieu de la commune de Draa Ben Khedda. Les échantillons d'huile de baigns de fritures prélevés 23 / 06 / 2019 au 30/ 06/ 2019; ils ont été soumis à des analyses physico-chimiques.

Il est important de signaler que la quasi-totalité des restaurants utilisent l'huile de marque « Elio » fabriquée par l'unité « Cévital » conservable pendant 24 mois ; le choix de cette huile est dicté par son prix relativement bas par rapport aux autres huiles raffinées commercialisées.

Les caractéristiques de cette huile portées sur l'étiquette de l'emballage sont les suivantes :

- 100% végétale (contient 80% soja et 20% tournesol) ;
- Température conseillée : max 180°C ;
- Conservation dans un endroit propre et tempéré ;
- Stockage à l'abri de la lumière et source de chaleur.

La particularité de cette huile est son rapport AGPI/ AGS élevé ; *Sadoudi et al, 2014* l'ont estimé à 5,15. Le tableau (10) intègre quelques caractéristiques physico-chimiques d'une huile alimentaire raffinée publiées dans le *Codex Alimentarius de 1983*.

**Tableau(10) :** Caractéristiques physico-chimiques d'une huile alimentaire (**Codex Alimentarius, 1993**).

Indices physicochimiques	Norme <i>Codex Alimentarius (1983)</i>
$d_{20}^{20}$	0.913 - 0.932
IA	2.2 – 7.26
IS	189 – 195.2
IP	5.2 – 7.0

## 2.1. Evolution des indices physiques

Les paramètres physiques les plus contrôlés pour mesurer la dégradation des huiles au cours de la friture sont : la densité, la viscosité, l'humidité, les composées polaires et les polymères des triglycérides. Ces deux derniers paramètres sont d'ailleurs réglementés en France (*décret 2008-184 du 26 février 2008*) avec des limites respectives de 25% et 14% (*ANONYME, 2012*).

### 2.1.1 Dosage du taux de composés polaires totaux (CPT)

La détermination des composées polaire totaux (CPT) dans l'huile de baign de friture fournit la mesure la plus fiable de l'ampleur de la dégradation oxydative (*ANDRALI et al., 2010*).

Ils sont représentés principalement par les monomères de triacylglycérol oxydés (TGMOX). Ces produits, souvent toxiques, affectent l'état nutritionnel du consommateur (*GUILLENE et URIARTE, 2011*).

La détérioration d'une huile de friture se traduit généralement par une augmentation de sa polarité ; la teneur en composés polaires est un indicateur de la qualité des huiles de friture (*JUAREZ, 2011*). Parmi les composés polaires, on peut distinguer deux groupes : les composés initialement présents dans la MG avant usage et les produits d'altération thermo-oxydative.

L'association Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) a rappelé dans un avis daté de juin 2005 qu'une teneur en composés polaires inférieure à 25% après chauffage est de nature à protéger la sécurité du consommateur et que le respect des bonnes pratiques d'utilisation des huiles en friture profonde est de nature à limiter l'apparition de composés chimiques indésirables. Le tableau(11) qui représente les limites inférieures et supérieures des CPT des huiles chauffées selon le guide d'emploi de l'appareil *Testo 270*.

**Tableau (11):** Limites inférieures et supérieures des CPT des huiles chauffées selon le guide d'emploi de l'appareil *Testo 270*

Couleur de l'alarme	Etat de l'huile	Valeur des TPM
Verte	Bonne qualité	Valeur TPM < limite inférieure à 20%
jaune	Limite d'utilisation d'huile	Valeur TPM entre les limites supérieures et inférieures.
rouge	Changement d'huile	Valeur TPM > limites supérieures à 25%.

Ainsi, le dosage de composés polaires est un indicateur de la qualité des huiles de bains de friture ; il donne des informations sur la teneur globale en composés néoformés ; ces derniers ont une polarité plus élevée que celle des triglycérides des huiles à l'état frais. La réglementation actuelle limite leur taux à 25% (ROMAN, 2013).

Le contenu en CPT a été suggéré comme un bon indicateur de la qualité d'huile de friture. Des coefficients de corrélation élevée ont été établis entre ce paramètre physique et d'autres critères, tels que : l'acidité, l'indice d'iode, l'indice de couleur, les AGS, AGMI et AGPI, ainsi que les acides gras *trans*, mono et polyinsaturés (BENHAMOU, 2017).

Lorsque les conditions de friture sont maîtrisées, les produits frits sont de bonne qualité gustative et les CPT ne se forment qu'en très petites quantités tolérées par l'organisme vivant de l'Homme (*consommateur*) (COMBE et ROSSIGNOL, 2010).

La dénomination CPT concerne tous les produits formés lors du chauffage d'un CG. D'un point de vue chimique, les CPT regroupent les AGL, les mono et di glycérides, les dimères et trimères de triglycérides (appelés polymère de triglycérides), ainsi que d'autres substances polaires oxydées, comme les AG oxydés, triglycéride oxydés, etc. (BENHAMOU, 2017).

Selon BENHAMOU, (2017), les fractions principales des CPT sont des TGO ; ces derniers sont les principaux produits de dégradation, suivis par les dimères et polymères de triglycérides ; ils suivent la même tendance que celle des TPC : quantité plus élevées en friture et faible dans l'huile fraîche.

C'est ainsi que le pourcentage de CPT est considéré comme étant un indicateur de la dégradation des triglycérides ; il est utilisé dans plusieurs pays pour évaluer et contrôler la qualité des huiles ; le maximum toléré est d'environ 25% (ANNONYME, 1995).

La limite de la valeur CPT en (%) en vigueur en Allemagne et la France est de 24%, tandis qu'en Espagne, Italie et la Turquie, cette limite est de 25%, la Chine, le Suisse et l'Autriche l'ont fixé 27%.

Plusieurs pays ont suggéré qu'une huile de bain de friture avec un teneur en CPT de 25-27% devrait être rejetée (MASSON *et al.*, 1999 ; FIRESTONE, 1993). La limite maximale tolérée est de 25%.

Les résultats des taux de composés polaires des huiles de baigns de friture prélevées dans les fastfoods (FF) de la ville de Draa Ben Khedda sont portés dans le tableau (12) :

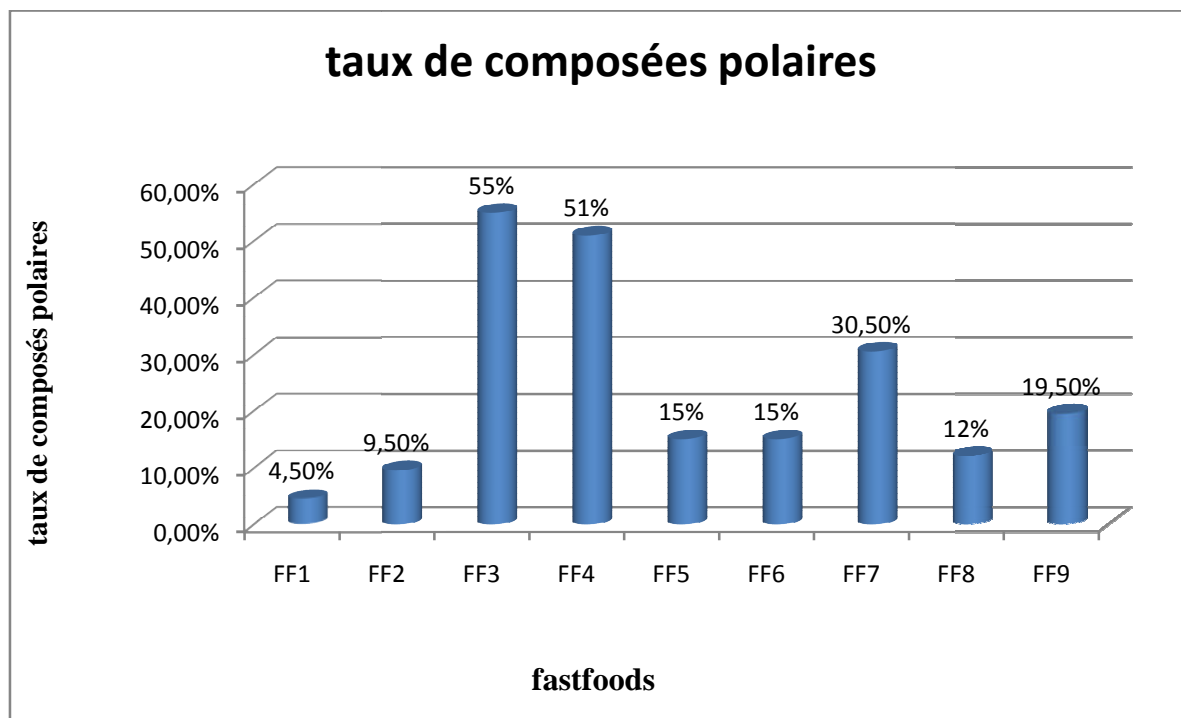
**Tableau (12):** Taux de TCP des huiles de baigns de fritures prélevées

Fastfoods	Taux de composés polaires (TPM)
FF1	4,50%
FF2	9,50%
FF3	<b>55%</b>
FF4	<b>51%</b>
FF5	15%
FF6	15%
FF7	30,50%
FF8	12%
FF9	19,50%

Dans notre étude, le CPT des échantillons sont déterminés à une température comprise entre 40-70°C. D'après les résultats portés dans ce tableau, on remarque que la majorité des huiles de baigns de fritures ont un taux de composés polaires inférieur à la limite maximale fixé par l'AFSSA en 2005, soit 66,66% des fastfoods, sauf les deux fastfoods FF3 et FF4 pour ont enregistrées des valeurs très importantes qui ont atteint respectivement 55% et 51%. Ces taux sont supérieurs à ceux enregistré par BOUHALOUFA *et* MOUDER (2018) dans les fastfoods de la ville touristique AZAZGA, ainsi qu'à ceux enregistré par BENHAMOU (2017) dans les fastfoods de la ville d'AZEFFOUNE.

Ainsi, 6 fastfoods des 9 répertoriés dans cette ville respectent les conditions de fritures et par conséquent offrent aux consommateurs des aliments frits sains. Mieux encore, 67% des fastfoods utilisent une huile de baigns de friture de bonne qualité, a un taux compris entre 4,5% à 19,5% (inférieur à 20%). Le fastfood codé FF7 utilise une huile de qualité intermédiaire, d'un taux de composés polaire de 30,50%. Pour les 2 fastfoods restants, leurs huiles

dépassent le seuil des 25% fixés ; des valeurs maximales de 51 à 55% ont été notées (*figure 13*). L'utilisation de ces huiles dans la préparation des frites est jugée dangereuse par *GUILLENE et URIARTE (2011)*.



**FIGURE (13)** : valeur des CPT (TPM) des huiles de bains de friture prélevée des fastfoods

Selon les résultats des travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, mais dans des conditions optimales de friture, les CPT augmente légèrement avec l'augmentation du nombre de friture. Cependant, ces composés néoformés s'accumulent rapidement dans des conditions sévères de friture régnant dans les fastfoods.

*IGHIL et MANI (2016)* ont remarqué une augmentation continue du taux de CPT, en passant de 6% à la 1<sup>ère</sup> friture jusqu'à la valeur de 10% à la 20<sup>ème</sup> friture. Cette augmentation est similaire à celle trouvée par *LOUNI (2016)* en utilisant l'huile de marque « élio » ; les valeurs augmentent de 8% à la 1<sup>ère</sup> friture jusqu'à 11% pour la 20<sup>ème</sup> friture.

Cependant, ces valeurs sont notamment inférieures à la norme (moins de 25%), ce qui permettrait d'utiliser cette huile dans d'autres cycles de friture ; les conditions expérimentales fixées, à savoir une température de 180°C, un temps de friture court (4min) et l'utilisation

d'une friteuse neuve pourraient expliquer la stabilité de l'huile durant les vingt fritures, alors que les recommandations portées sur l'emballage de cette huiles se limite uniquement à 10 fritures.

Une surutilisation de l'huile pendant la friture à une très haute température (supérieure à 180°C) induit la formation et l'accumulation de l'acroléine dans les frites préparées. Cette dernière est un aldéhyde ( $H_2C=CH-CHO$ ), extrêmement toxique par inhalation et ingestion. Ce composé se forme comme suit : la chaleur rompt les liaisons s'établissant entre les AG à longue chaînes et la molécule de glycérol ; cette dernière perd deux molécules d'eau, ce qui forme l'acroléine.

Lors de la friture, l'eau apportée par l'aliment peut provoquer une hydrolyse partielle de l'huile avec libération d'acides gras libres et de glycérides partiels, voire de glycérol pouvant en conditions très drastiques conduire à la formation et l'accumulation de l'acroléine. De plus, le dégagement de la vapeur d'eau entraîne des composés volatiles oxydés conférant l'odeur caractéristique de l'huile chauffée. Par ailleurs, le contact avec l'air entraîne la formation de composés oxydés, via des mécanismes radicalaires fortement catalysés par la chaleur.

Par ailleurs, les hydroperoxydes formés à partir les AGPI sont rapidement, soit scindés en molécules volatiles (aldéhyde, hydrocarbure), soit remaniés sous forme d'acides oxydés porteur d'une ou plusieurs fonctions hydroxyle (-OH), cétone (=O) ou époxyde (-O-). Sous l'effet de la chaleur, ces acides oxydés peuvent eux-mêmes, se dimériser, voire se polymériser pour conduire à des glycérides à la fois plus polaires et à plus haut poids moléculaire que les triglycérides natifs de l'huile.

En parallèle, les acides gras insaturés oxydés ou non, peuvent aussi se polymériser, plus rarement se couper ou se cycliser ; les doubles liaisons peuvent se déplacer ou se modifier pour former une autre catégorie de composés nouveaux, en l'occurrence les acides gras conjugués ou *trans* (COMBE *et al.*, 2010).

Durant le chauffage, les AGPI des CG, très sensible, se dénature en se transformant partiellement en substances indigestes et cancérigènes. En effet, lors de la cuisson à une T° trop élevée, il se produit un « thermo-craquage » dégradant ces huiles en composés toxiques, tels que l'acroléine et certains « goudrons », ce qui rend les aliments préparés indigestes et nocifs pour l'organisme (BENHAMOU, 2017).

L'analyse de la variance a deux facteurs (strate, fastfood) (Annexe 08), montre une probabilité supérieur à 0,05 ; p value = 0,94116 pour le facteur strate et une autre p value =

0,60056 pour le facteur fastfood ce qui signifie que les différences sont non significative. Ce qui peut être du aux grandes différences de nos écart résiduelle.

### 2.1.2. L'humidité :

Selon les normes fixées par le *Codex alimentarius* de 1999, les huiles raffinées fraîches ne doivent pas contenir de l'eau, même sous forme de trace. Lors du traitement technologique, notamment à l'étape de désodorisation, l'humidité contenue dans l'huile brute est éliminée.

Selon les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, l'huile affinée « Elio » à l'état frais à un taux d'humidité de 0,02%. Cette eau se forme essentiellement lors de l'étape de la désodorisation industrielle du processus de raffinage.

Les résultats enregistrés sur les échantillons d'huiles de bains de fritures prélevés des fastfoods sont nettement supérieurs à celui de l'huile « Elio » à l'état frais. (*Tableau 12*)

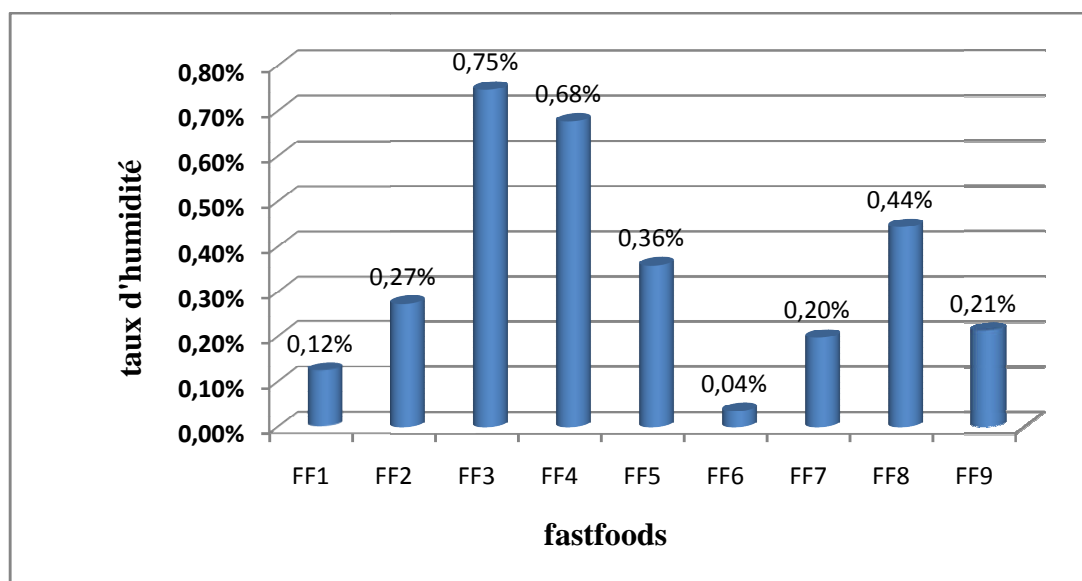
**Tableau (12):** Valeurs d'humidité des échantillons d'huiles des bains de friture

Fastfood	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
H (%)	0,124	0,272	0,746	0,676	0,358	0,036	0,198	0,442	0,212

D'après le tableau, on remarque une augmentation de l'humidité des échantillons d'huiles de bains de friture prélevés dans tous les fastfoods par rapport à l'humidité de l'huile à l'état frais. Ces résultats sont aussi supérieurs à ceux des échantillons prélevés dans la ville de Azazga ; *BOUHALOUFA et MOUDER (2018)* les a quantifié à une moyenne de 0,333%.

En comparant entre les différents fastfoods ; on remarque que les valeurs d'humidité obtenues sont totalement différentes. Un établissement sur 9 semble être tolérable ; elle est d'une qualité intermédiaire par rapport aux autres, sa valeur est de 0,036% dont la valeur initiale de cette huile à l'état frais (Elio) est de 0,02%. Le reste des fastfoods soit 8/9 note une haute humidification des huiles des bains, leurs valeurs sont comprises entre 0,124% pour le FF1 et 0,746% pour le FF3 (*figure 14* ).

La forte humidification des huiles de bains de friture de ces fastfoods indique un stade d'altération avancé de leurs qualités.



**Figure (14) :** Evaluation de l'humidité (%) des huiles de bains prélevées des fastfoods

*IGHIL et MANI (2016)* ont remarqué que l'humidité des huiles des bains de friture augmente au fur et mesure que le processus de fritures (nombre de fritures) avance. L'humidification de l'huile de bains de fritures analysées pourrait être due à la formation d'eau et des matières volatils au cours des réactions thermo-oxydatives se produisant lors du processus de friture mené à 180°C. En effet, l'eau et le CO<sub>2</sub> constituent les produits terminaux de la décomposition des hydroperoxydes.

Par ailleurs, l'eau contenue naturellement dans les bâtonnets de frites fraîches introduits dans la friteuse pourrait contribuer à l'augmentation de l'humidité de l'huile de bain (*IGHIL et MANI, 2016*).

L'analyse statistique réalisée pour la variable humidité donne une probabilité de 0,93587 pour le facteur strate, et 0,99 pour le facteur fastfood, ces deux valeur sont supérieur à 0,05 ; ce traitement statistique n'a pas montré d'effet significatif. Ce qui peut être du aux grandes différences de nos écart résiduelle.

### 2.1.3 La densité

La détermination de la densité d'une huile permet de connaître le degré de sa pureté. Ce critère physique est en fonction de la composition chimique de cette huile et de sa température. Elle est influencée par sa composition intrinsèque, la longueur de la chaîne hydrocarbonée ainsi que l'insaturation de ses AG constitutifs (*KARLESKIND, 1992*).

La densité est fonction non seulement de l'insaturation, mais aussi de son état d'oxydation ou de polymérisation. Elle dépend de sa température et de sa composition chimique. La densité des AG et des glycérides diminue au fur et à mesure que leur poids moléculaire diminue et le degré de l'insaturation augmente (WOLFF, 1968)

Selon le *Codex alimentarius* (1999), la densité des huiles raffinée se situe entre 0,909 et 0,916.

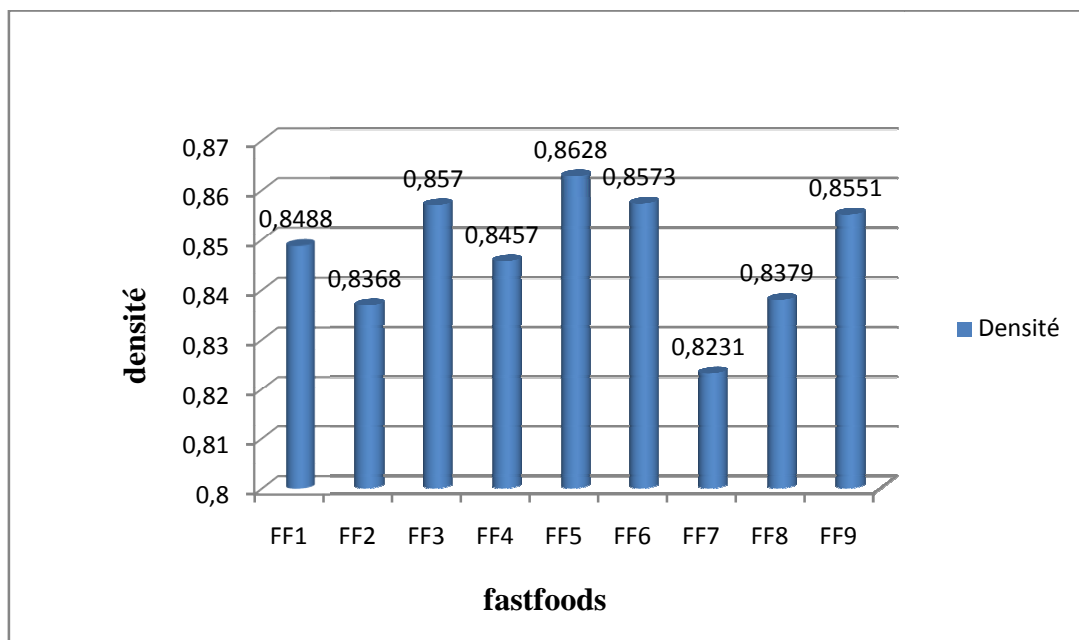
D'après BOUHADAD et IMRAHENE (2018), la densité de l'huile 100% soja dénommée « Labelle » à l'état frais est de 0,918. Selon IGHIL et MANI (2016), la densité de l'huile (95% soja et 5% maïs) dénommée « Afia » est de 0,864 cette valeur est inférieure à la norme du *Codex alimentarius* et à celle trouvée par DAHMOUN et BOUAOUD (2015); HAMOUCHE et SANAT (2015) ont trouvé des valeurs de 0,894 et 0,908 sur la même marque d'huile (élio). Ces valeurs sont inférieures à la norme établie dans le *Codex alimentarius*. Durant les essais de fritures, ces valeurs ont changé. Les résultats de la densité des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods de Draa Ben Khedda sont intégrés dans le tableau (14).

**Tableau (14):** Variation des valeurs de la densité des échantillons d'huiles de bains de friture

Fastfood	densité
FF1	0,8488± 0,006
FF2	0,8368± 0,011
FF3	0,8570± 7,071 <sup>e</sup>
FF4	0,8457± 0,007
FF5	0,8628± 0,016
FF6	0,8573± 0,019
FF7	0,8231± 0,005
FF8	0,8379± 0,008
FF9	0,8551± 0,028

Les densités des échantillons d'huiles de bain de friture collectés dans les différents fastfoods ont été déterminées à une température de 20°C. Il ressort clairement de ces résultats une diminution de la densité de ces huiles ; la valeur la plus faible est de 0,8231 enregistrée par le fastfood n°7. Cette valeur est inférieure à la norme fixée par le *Codex alimentarius* (1999). Contrairement aux résultats obtenus par BENHAMOU (2017) qui a enregistré une valeur minimale de 0,919 et 1,021 comme valeur maximal, ces échantillons ont été prélevés des fastfoods de la ville touristique AZEFOUNE. BOUHALOUFA et MOUDER (2018) ont marqué une valeur minimale de 0,983 dans des échantillons d'huiles de bains de fritures prélevés dans des fastfoods de la ville d'AZAZGA dont la valeur maximum atteint 1,009.

En comparant entre les différents fastfoods inspectés, les valeurs de la densité se rapprochent ; elles sont comprises entre 0,8231 pour le fastfood FF7 comme valeur minimale et 0,8628 pour le FF5 comme valeur maximale (*figure 15*).



**Figure (15):** valeur de la densité des huiles de bains prélevées des fastfoods

Selon *EL SHAMI et al. (1992)*, la diminution de la densité serait due à la formation d'AGL de faible poids moléculaire par hydrolyse suite à l'augmentation de la teneur en eau; elle serait également due à la formation des composés primaires d'oxydation aux chaînes plus au moins courtes

L'analyse de la variance (annexe 11) a deux facteurs (strate, fastfood) montre une probabilité supérieur a 0,05 ; ( $p$ -value= 0,17599) pour le facteur strate, et une autre de ( $p$ -value= 0,15212) pour le facteur fastfood, ce qui signifie une différence non significative.

#### 2.1.4. La viscosité

La viscosité d'une huile est sa résistance à son écoulement. La mesure de la viscosité pourrait être un bon test pour apprécier l'état d'altération des corps gras. Au cours des fritures, l'augmentation de la viscosité peut atteindre 20 à 70% de la valeur initiale selon le type d'huile utilisée (*PERRIN, 1992*).

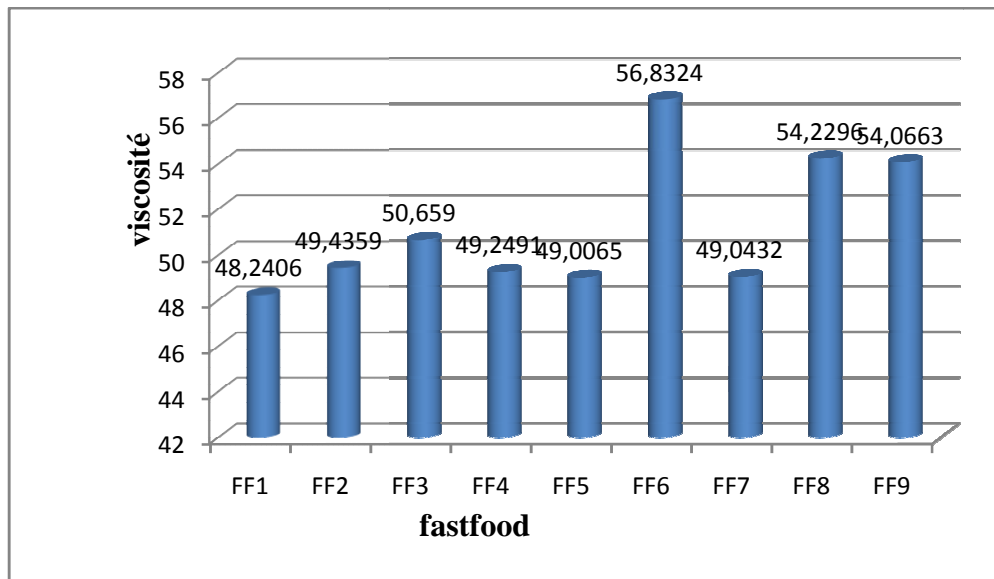
L'huile « Elio » a une viscosité moyenne de 36,14 C.Po ; cette valeur est la moyenne de toutes les moyennes obtenues et portées dans les mémoires soutenus dans notre département. Selon *BOUHALOUFA et MOUDER (2018)*, les valeurs de la viscosité des huiles de friture doivent être comprises entre 53 et 58 C.Po.

Dans notre étude, la viscosité des échantillons des huiles de bains de friture collectée dans les différents fastfoods ont été déterminées à une température de 20°C. Les résultats obtenus sont intégrés dans le *tableau (15)*.

**Tableau (15) :** résultats de la viscosité moyenne des bains de fritures prélevés.

Fastfood	viscosité
FF1	48,240± 1,840
FF2	49,435± 2,089
FF3	50,659± 3,307
FF4	49,249± 2,055
FF5	49,006± 1,606
FF6	56,832± 0,604
FF7	49,043± 6,089
FF8	54,229± 2,698
FF9	54,066± 2,517

Les valeurs de la viscosité des huiles des bains de friture prélevée des fastfoods sont comprises entre un minimum de 48,2406 C.Po pour le fastfood FF1 et un maximum de 56,8324 C.Po pour le FF6. Nos résultats sont inférieurs à ceux obtenus par *BOUHALOUFA et MOUDER(2018)* sur des échantillons prélevés dans quelle ville d'AZAZGA, mais supérieurs à la moyenne signalée dans d'autres études qui est de 36,14 C.Po pour l'huile à l'état frais.



**Figure (16):** Valeur moyenne de la viscosité (C.Po) des huiles de bains prélevées des fastfoods

En comparant nos résultats à ceux obtenus à des conditions idéales de fritures, menées dans notre département, les valeurs obtenues sont nettement supérieures à celles obtenues par *HAMOUCHE et SANAT (2015)* sur la même marque d'huile « Elio ». Ces derniers ont noté une valeur maximale de 43.748 C.Po à la 20<sup>ème</sup> friture.

Selon *OLLE (1998)*, l'accroissement de la viscosité de l'huile au cours des fritures répétées serait dû à la formation des composés secondaires non volatiles de haut poids moléculaire (les polymères) ; cette augmentation de la viscosité confère à l'huile une consistance sirupeuse.

L'augmentation de la viscosité de l'huile des bains de fritures est due à la formation des composés de haut poids moléculaire, appelée polymères ; ceux-ci se forment à partir des radicaux libres ou TAG. L'accumulation de ces produits polymérisés augmente la viscosité d'huile de friture. La viscosité d'une huile est relativement élevée, en raison de la diminution de l'angle de contact à cause de la formation de composés polaires et l'attraction entre les longues chaînes hydrocarbonées, donc la viscosité augmente avec la longueur des chaînes.

Dans le cas d'un chauffage électrique, la formation de ces polymères résulte de la polymérisation thermique, plutôt que la polymérisation oxydative puisque l'apport d'oxygène est limité uniquement par la vapeur qui provient de l'aliment (*GERTZ et KOCHAAR, 2001*).

L'analyse de la variance à deux facteurs (Strate, fastfood) (annexe 14) montre une probabilité de 0,10229 supérieur à 0,05 ce qui signifie que les différences sont non significative pour le

facteur strate. Et une probabilité de 0,00675 cette valeur et comprise entre 0,001 et 0,01 ce qui signifie une différence hautement significative au seuil de 1%. Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% fait apparaitre deux groupes homogènes (A et B) (annexe 15).

## 2.2. Evolution des indices chimiques

### 2.2.1 Acidité

L'acidité est un moyen de mesurer le degré d'altération hydrolytique d'une huile; elle permet de mettre en évidence une hydrolyse; néanmoins, cette hydrolyse ne prévoit pas le degré d'oxydation ou de polymérisation des AG. Elle renseigne juste sur le taux d'AGL présents dans une huile (KPOVISSI *et al.*, 2004).

Elle est souvent exprimée en quantité d'acide oléique. Elle renseigne principalement sur l'altération des TG suite à une hydrolyse chimique ou enzymatique dans les conditions propices (ADRIAN *et al.*, 1998).

Selon WASSEF et NAWAR (1996), l'hydrolyse est la majeure réaction produite durant les fritures profondes due à la grande quantité d'eau libérée par l'aliment frit (pomme de terre) mais également aux hautes températures appliquées (180°C).

L'huile « Elio » a l'état frais a une acidité de 0.15% ; cette valeur est en concordance avec la norme algérienne (NA 1169 – 1990) requise (max 0,20%) ; ceci dénote une maîtrise du raffinage dans l'unité où cette huile est élaborée.

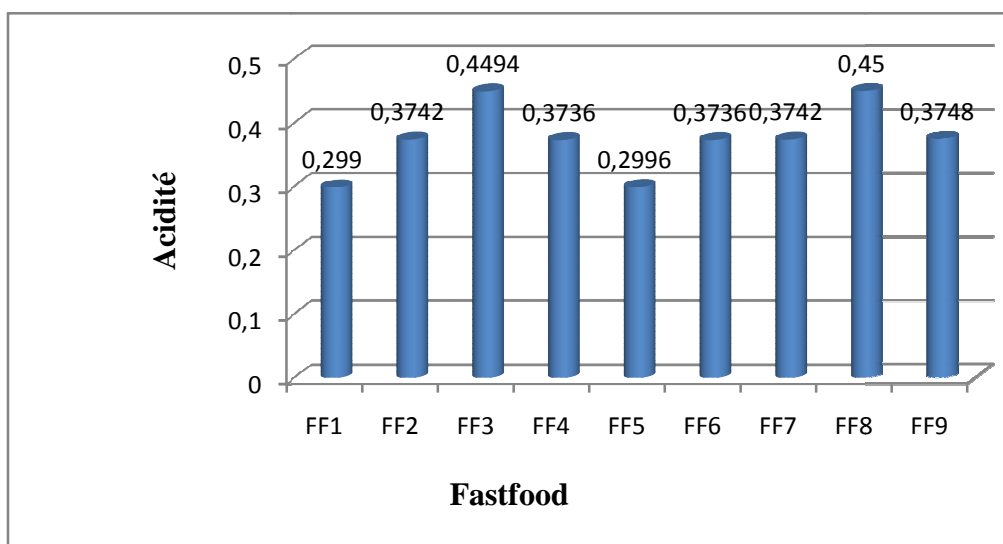
Les résultats du test de l'acidité appliqué à tous les échantillons d'huiles de bains de friture prélevés des différents fastfoods sont indiqués dans le *Tableau (16)*

**Tableau (16):** Valeurs moyennes de l'acidité des huiles de bains de friture

Fastfoods	Acidité (%)
FF1	0,299± 0,125
FF2	0,3742± 0,130
FF3	0,4494± 0,222
FF4	0,3736± 0,131
FF5	0,2996± 0,131
FF6	0,3736± 0,128
FF7	0,3742± 0,127
FF8	0,45± 0,005
FF9	0,3748±0,129

Selon les résultats portés dans ce tableau, on remarque de fortes valeurs de l'acidité des huiles des bains de fritures des fastfoods inspectés par rapport à la limite maximale tolérée par la norme algérienne (NA 1169 – 1990), mais inférieure à la norme fixée par le *Codex alimentarius* qui est de 0,6%.

Les valeurs de l'acidité les plus élevées sont enregistrées sur l'huile de bain de friture prélevée dans le fastfood FF8 qui est 0,45%. Cette valeur est nettement supérieure à celle obtenue par *BOUHALOUFA et MOUDER (2018)* sur les huiles prélevées dans les fastfoods à Azazga. L'acidité la plus basse, mais supérieure à la norme, est enregistrée dans le FF1, avec une valeur de 0,299% supérieure à celle de l'huile à l'état frais (*figure 17*).



**Figure (17) :** valeurs moyennes de l'acidité (%) des huiles de bains prélevées des fastfoods

Cependant, l'utilisation de cette huile dans des fritures menées dans des conditions optimales (au laboratoire) n'a pas entraîné une altération aussi élevée. En effet, durant les travaux antérieurs menés au département dans des conditions idéales de friture réalisée par *HAMOUCHE et SANAT (2015)*, les valeurs de l'acidité des huiles de la 10<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> n'étaient que de 0.225% et 0.300% respectivement. Les valeurs obtenues dans notre étude sont aussi supérieures à celles enregistrées par *BELAIDI et BERKANI (2015)* en préparant des

frites avec une huile 100% tournesol, dénommée « Fleurial » ; leurs valeurs n'étaient que de 0,103 % et 0,308 % à la 1<sup>ère</sup> et à la 20<sup>ème</sup> friture.

Les fritures menées au laboratoire se sont déroulées dans ces conditions jugées optimales : utilisation d'une friteuse électrique d'un faible volume, stabilisation de la température à 180°C, faible quantité de frites dans un grand volume d'huile, séchage des frites fraîche avant leur introduction dans la friteuse, ce qui réduit au maximum la durée de la cuisson.

L'augmentation de l'acidité de l'huile des bains de friture peut s'expliquer par le déroulement du processus hydrolytique durant les essais de friture ; elle est due à la libération continue d'AGL ; cette réaction est catalysée par la température élevée et l'eau contenue dans les frites fraîches (*BOURGHID et al., 2013*). En effet, des études antérieures sur les huiles de friture ont prouvé que le taux d'AGL augmente pendant la friture (*KALAPATHY et PROCTOR, 2000*).

L'acidification d'une huile est due à la scission des TG sous l'effet de l'eau apportée par l'aliment frit (pomme de terre fraîche), l'eau ainsi dégagée provoque les réactions d'hydrolyses qui augmente la teneur en AGL, diacylglycérol, monoacylglycérol et en glycérol (*GERTEZ et KOCHAAR, 2001*).

Selon *GUPTA (2005)*, dans le processus d'hydrolyse, la molécule de TG réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un diacylglycérol. De plus, d'après *WOLFF (1968)*, l'acidification des huiles est accrue en présence d'eau dans des conditions favorables, en particulier à chaud et sous pression (chauffage électrique).

D'après les résultats obtenus par *HIDEUR et CHIBANE (2015)* dans des conditions idéales de fritures (friture au laboratoire), l'acidité augmente au fur et à mesure que le nombre de friture augmente. Néanmoins, l'intensité de l'acidification diffère selon la T° de friture.

L'analyse de la variance (annexe 16) à deux facteurs (strate, fastfood) a révélé une différence non significative au seuil de 5%, (p-value= 0,73846) pour le facteur strate, et une autre (p-value= 0,74187) pour le facteur fastfood. Ce qui peut être du aux grandes différences de nos écart résiduelle.

### 2.2.2. Indice de saponification

L'indice de saponification est par définition la quantité en milligrammes de potasse nécessaire pour saponifier un gramme de CG (*ADRIAN et al., 1998*). Pour un poids donné de TAG, la quantité de potasse nécessaire à la saponification augmente avec la diminution de la longueur de chaîne d'AG.

La connaissance de l'indice de saponification d'un corps gras nous renseigne aussi sur la longueur de la chaîne carbonée des acides gras de cet aliment. Ainsi l'indice de saponification rend compte de la longueur moyenne de chaîne d'AG constitutifs du corps gras (*MORDET, 1992*). Autrement dit, cet indice renseigne sur la masse moléculaire moyenne des AG entrant dans la composition des huiles. Il est inversement proportionnel à la longueur des chaînes des AG estérifiant le glycérol (*ADRIAN et al., 1998*).

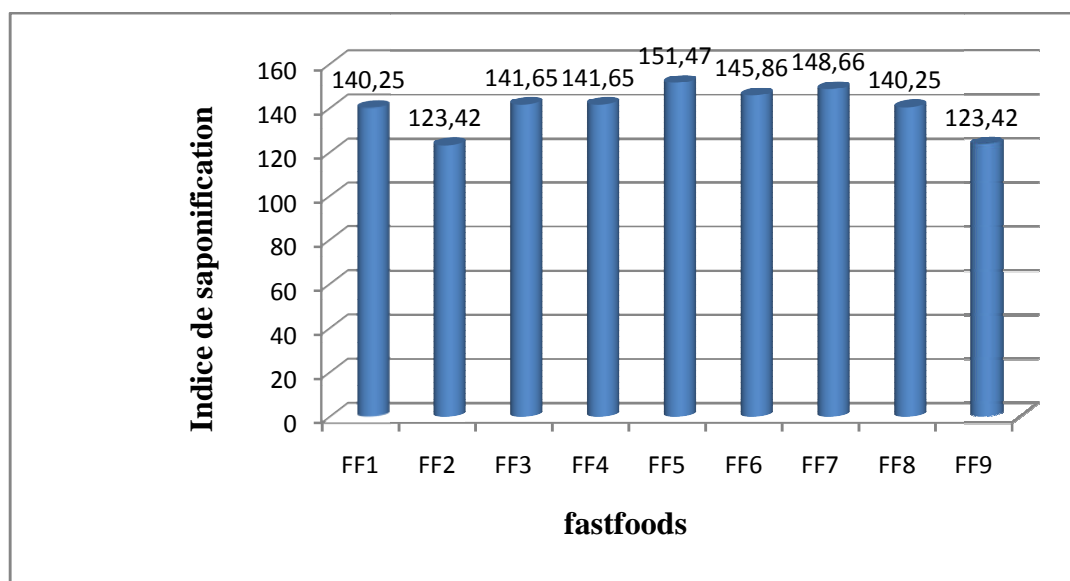
La norme établit dans le *Codex alimentarius* de 1999 pour les huiles végétales raffinées est comprise entre 188- 194mg de KOH / g d'huile. D'après les résultats obtenus par des études effectuées au sein de notre département, l'indice de saponification de l'huile « Elio » à l'état frais est de 192,583 mg de KOH/ g d'huile.

Les résultats obtenus sur les différents échantillons d'huile de bain de fritures collectés des fastfoods de la commune de Draa Ben Khedda sont intégrés dans le *tableau (17)*.

**Tableau (17) :** Résultats de l'indice de saponification des prélèvements des huiles de bains de friture

Fastfood	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
I <sub>s</sub> (mg/g)	140,25	123,42	141,65	141,65	151,47	145,86	148,66	140,25	123,42

Les résultats obtenus dans notre étude sont inférieurs à ceux trouvés par *BOUHALOUFA et MOUDER (2018)* sur les huiles de bains de friture des fastfoods de la ville de Azzazga ; la valeur la plus basse obtenue était de 180,666mg de KOH / g d'huile, contre une valeur minimale de 123,42 mg de KOH / g d'huile de bain prélevée dans les deux fastfoods FF2 et FF9 (*figure 18*). Ces valeurs confirment les niveaux d'altération avancés des huiles de bains de friture collectées durant notre expérimentation.



**Figure (18):** Variations des valeurs de l'indice de saponification (mg de KOH/ g d'huile) des huiles de bains de friture prélevée des fastfoods

*IGHIL et MANI (2016)*, ayant travaillé sur la marque « Elio », ont remarqué une diminution de cet indice durant des essais de friture menés au laboratoire dans des conditions optimales ; les valeurs ont chuté pour atteindre une valeur de 152,873 mg de KOH / g d'huile du dernier cycle de friture, contre une valeur de 192.134mg de KOH / g du 1<sup>er</sup> cycle de friture. *BAKA (2016)* a noté une valeur de cet indice inférieure à 150mg de KOH / g d'huile des marques « Elio » et « Fleurial ».

La diminution de la valeur de cet indice indique une scission des doubles liaisons des acides gras sous l'effet de la température de friture (180°C) et une formation de polymères par le pontage inter moléculaire des triglycérides oxydés (*PERRIN, 1992*).

L'analyse de la variance (annexe 10) à deux facteurs (strate, fastfood) montre une probabilité supérieure à 0,05 ; (p-value = 0,4835) pour facteur strate, et une autre (p-value= 0,67609) pour le facteur fastfood ce qui signifie des différences non significative. Ce qui peut être du aux grandes différences de nos écart résiduelle.

### 2.2.3. Indice de peroxyde

D'après *ROLLAND (2004)*, la mesure de l'oxydation d'un CG en temps réel se fait par la mesure de l'indice de peroxyde. Cet indice correspond au nombre de milliéquivalents

d'oxygène actif par kilogramme de lipide susceptible d'oxyder l'iodure de potassium avec libération d'iode.

Par ailleurs, selon *BONNEFIS, (2005)*, les peroxydes représente les premiers produits d'oxydation, sont des composés chimiquement instable ; ces groupes d'atome visent à stabiliser leur énergie par l'arrachement d'un proton d'une molécule d'AG. La majorité des AG libérés suite à l'hydrolyse des triglycérides sont oxydés partiellement au cours de la friture en peroxyde.

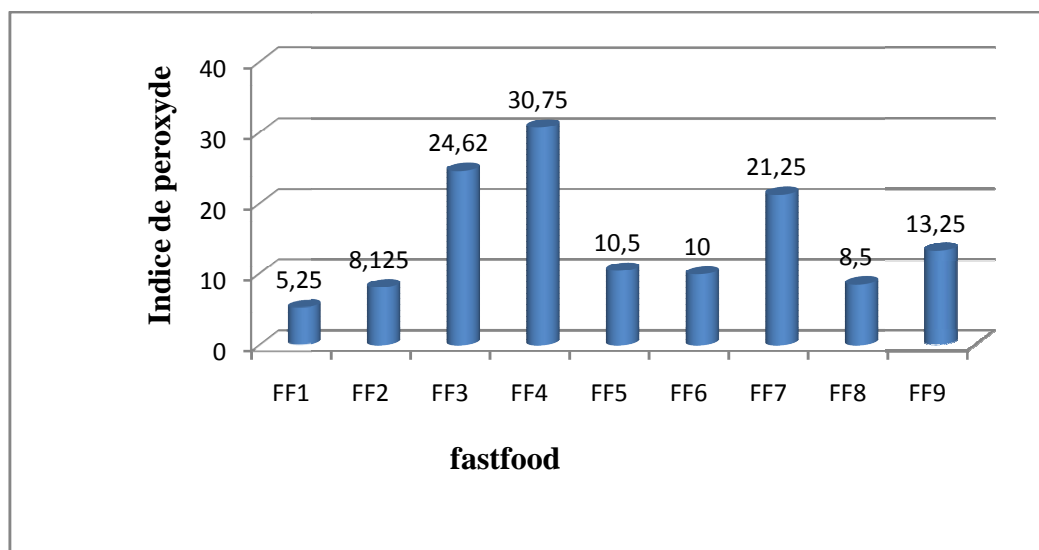
Selon la norme *ISO 3960*, l'indice de peroxyde ne doit pas dépasser le seuil maximum fixé à 10 méq d'O<sub>2</sub>/ Kg d'huile. L'huile « Elio » a un indice de peroxyde moyen de 3,66 méq d'O<sub>2</sub>/ Kg ; cette valeur est obtenue en utilisant les moyennes calculées et portées dans les mémoires soutenus dans notre département.

Les résultats de l'indice de peroxyde des huiles de bains de friture prélevés des fastfoods sont intégrés dans le *tableau(18)*.

**Tableau (18) :** Valeurs moyennes de l'indice de peroxyde des huiles de bains de friture prélevé des fastfoods.

Fastfoods	Indice de peroxyde
FF1	5,25± 1,414
FF2	8,125± 0,883
FF3	24,62± 1,237
FF4	30,75± 0,707
FF5	10,5± 1,060
FF6	10± 1,060
FF7	21,25± 1,414
FF8	8,5± 0,353
FF9	13,25± 0,707

Il ressort des résultats portés dans ce tableau, une conformité des valeurs de l'Ip dans les huiles des bains de friture des quatre fastfoods suivant : FF1, FF2, FF6, FF8, dont leurs valeurs sont respectivement 5.25, 8.125, 10.et 8.5 mEq.O<sub>2</sub>/Kg en les comparant à la norme *ISO 3960*, tandis que pour les autres fastfoods, on note des valeurs très élevées de cet indice ; une valeur maximale de **30,75** est enregistrée par le FF4 qui marque aussi une valeur de CPT élevé. Cette valeur est supérieure à celle obtenue par *BOUHALOUFA et MOUDER (2018)* sur les huiles des bains de fritures des fastfoods de la ville de Azazga ; la valeur maximale obtenue n'est que 22,38mEq./Kg.



**Figure (19) :** valeur moyenne de l'indice de peroxyde ( méq d'O<sub>2</sub>/ Kg d'huile ) des huiles de bains prélevées des fastfoods.

Au cours du chauffage des huiles, il y a une oxydation poussée de l'huile en contact avec l'air aussi qu'avec l'introduction de la pomme de terre. Cette oxydation a pour conséquence, la formation des peroxydes. Ceci justifie l'augmentation de l'indice de peroxyde des huiles des bains de friture. De plus, cette peroxydation détruit les acides gras de l'huile et conduit à l'obtention de composés très toxiques (*DEYMIE et al., 1981; LAMBONI et al., 2000*).

Selon *PERRIN (1992)*, la scission des radicaux alcoxyles conduit à la formation de nombreuses molécules volatiles, telles que les hydrocarbures les alcools, les acides carboxyliques, les cétones et les aldéhydes. Ils sont responsables de l'odeur particulière de la friture ; on énumère plus de 200 composés répertoriés.

Les mauvaises conditions de chauffage peuvent provoquer la polymérisation et la cyclisation soit par l'intervention de l'oxygène, soit par l'intermédiaire de la formation de peroxydes. Il faut donc tenir compte, non seulement de l'oxydation pendant le chauffage mais aussi de la teneur initiale en peroxyde de l'huile de friture (*CUSTOT, 1960*).

Selon *UZZAN et LOURY (1958)*, le chauffage et le refroidissement répétés alternativement favorisent l'altération des graisses, car les peroxydes se forment au cours du refroidissement pour disparaître en partie au chauffage. Cette pratique est souvent observée chez les ménagères.

L'analyse de la variance (annexe 12) à deux facteurs (strate, fastfood) montre une probabilité inférieure à 0,001, dont (p-value = 0,00019) pour le facteur strate et (p-value = 0). Ce qui signifie que ces facteurs influent d'une façon très hautement significative au seuil de 1 % sur l'indice de peroxyde. Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de signification de 5% a fait apparaître six groupes homogènes (A, B, C, D, E et F) (annexe 13)

Une étude menée par *M'BAYE (2012)* sur l'effet de la température sur les huiles alimentaires par le dosage des indices de peroxyde ; les résultats obtenus sont présentés dans le *tableau (19)*.

Huile Végétale	Ip (35°C)	Ip (45°C)	Ip (55°C)	Ip (75°C)	Ip (105°C)	Ip (125°C)	Ip (200°C)
Maroc	8,1	8,42	10	12,7	15,64	19,31	24,12
Indonésie	4,1	4,34	7,11	11,4	11,63	11,98	14,3
Hong Kong	7,12	9,11	12	13,2	13,32	13,43	15,8
Mauritanie	6,22	6,67	11,1	12,32	15,3	17	17,2

**Tableau (19) :** Evolution des indices de peroxyde en fonction de la température de chauffage (*M'BAYE et al., 2012*)

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged in a vertical line, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the central text and circles.

# **Conclusion générale**

L'objectif central de cette étude a été d'évaluer la qualité des huiles de bains de fritures des fastfoods de la ville de Draa Ben Khedda. A cet effet, quelques établissements ont été choisis aléatoirement ; des échantillons d'huiles de bains de fritures ont été prélevés afin de vérifier leurs conformités à travers des analyses physico-chimiques.

Le premier résultat de l'enquête menée auprès des restaurateurs est l'utilisation de l'huile de marque « elio » dans la préparation des aliments. Le choix de cette huile est lié à son prix abordable en comparaison aux autres huiles.

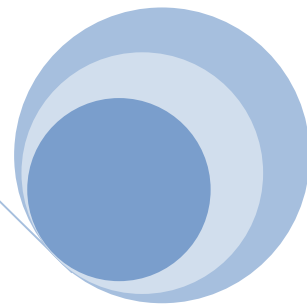
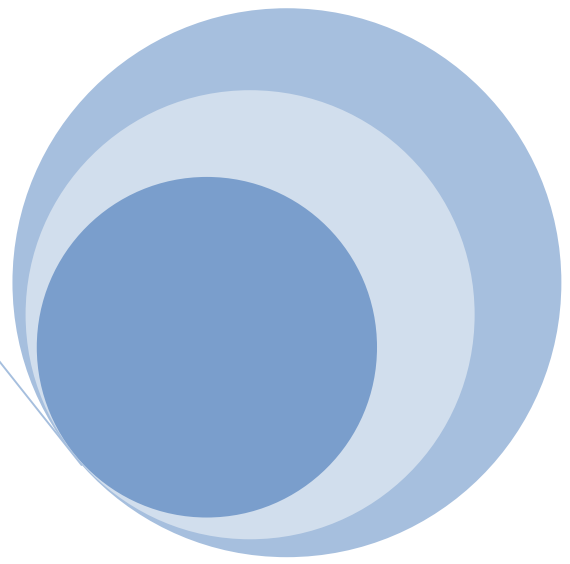
Il ressort de cette étude que 66,66% des huiles de bains de fritures récupérées ont un taux de composés polaires inférieur à la limite maximale (25%) fixée par l'AFSSA en 2005. La détermination du taux de CPT est considérée comme une méthode fiable pour juger la qualité de l'huile usagée.

D'autres critères ont, également, été analysés. Les valeurs de l'indice de peroxyde des huiles de bain de friture prélevé ont augmenté fortement en le comparant à la valeur de l'huile utilisée en friture « élio », notamment pour le fastfood n° 3 pour lequel le taux de CPT est de 55 tpm.

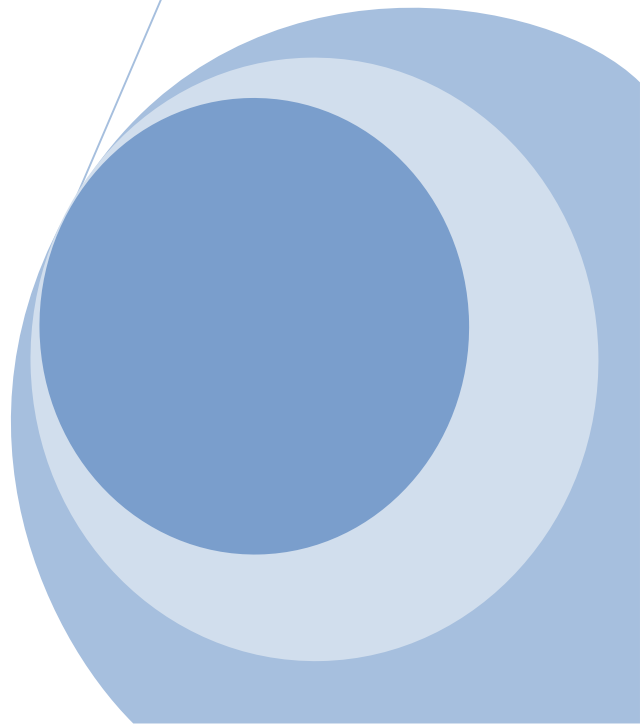
Pour les autres paramètres physico-chimiques, on a obtenu une diminution de l'indice de saponification qui exprime une polymérisation des lipides de ces huiles (formation de composés de haut poids moléculaire) et une augmentation marquée de l'acidité de ces bains de fritures.

Concernant l'état hygiénique général de ces établissements, on a constaté une certaine conformité avec toutefois quelques imperfections à corriger pour une meilleure maîtrise de ce procédé de cuisson et par conséquent une meilleure qualité des frites préparées.

En s'appuyant sur les constatations faites durant l'inspection de ces fastfood, il serait judicieux de sensibiliser et d'informer le personnel sur les risques liés à la consommation des aliments frits de mauvaise qualité.



# Références bibliographiques



**ADRIAN J., DAN VILLIER P. et POTUS J. (1998).** Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 47 –171.

**ADRIAN J., DAN VILLIER P. et POTUS J. (1998).** Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 47 –171.

**Adrian J., Potus J., Poifait A.** méthode physicochimiques générale. In : Introduction a **AE, (1999).** 22 Lipides : Pp 1-31.

**ALAIS C. LINDEN G. (1997).** Lipides, vitamines in Abrégé de biochimie alimentaire. Ed masson, Paris. pp : 70-112.

**Allen JC et Hamilton RJ.(1999).** Rancidity in foods. 3rd ed. Aspen publishers, Inc New and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102: 521 – 528

**APFELBAUM J ; ROMAIN M ; et DUBUS M ; (2009).** Diététique et nutrition. 7ème édition. Masson, Paris. pp : 321-334.

**Belitz H. D., Grosch W., Scheibel P., (2004).**Food Chemistry.3ème ed. Springer, Heidelberg Germany. 1124 p.

**BHATTACHARYA C.B. and KORECHUN D.(2008).** Stakeholder Marketing: Beyond the Four Ps and the Customer. *Journal of publics policy & Marketing*. 27 (1), p.113-116.

**BOUBEKRI CHRIFA ;** Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques.2014.

**BOUHADJRA K. (2011).** Etude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge, thèse pour l'obtention du diplôme de magister, université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

**BOURAS F. Z. et HOUCHI A. (2013).** Etudes de l'activité antioxydante de la plante *rumex vesicarius l.* mémoire master académique. Université KASDI MARBAH OUARGLA. Faculté des sciences et technologie et science de la matière.

**BRULE G., CROGUNENNEC T., JEANTET R., et SCHUCKP. (2006).** Science des aliments : Biochimie-Microbiologie-Procède-produits. Toml. Edition : Tech & Doc, Lavoisier, Paruis. pp : 95-120.

**Codex alimentarius, 1993.** Annexe V, avant-projet de norme pour les huiles végétales portant un nom scientifique. Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Actualité en chimie* n° 270: 108-115.

**CODEX STAN 210-1999.**

compositions de l'huile non conventionnelle de pourghère (*jatropha-curca*) de différentes

## Références bibliographiques

**CROGUENNEC T. SCHUCK P. (2006).** Oxydation des lipides. In : **JEANTET R. CROGUENNEC T. SCHUCK P. et BRULE G.** science des aliments : biochimie, microbiologie, procédés, produit) Vol 1. Edit Tech & Doc, Lavoisier, Paris.

**Cuvelier ME et Maillard MN. (2002).** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur

**DANA D. and SAGUY I. S. (2003).** Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Food chemistry, 50:143-152.

**DGCERF,** Guide de contrôle des huiles de friture.2012.

**Dobagarne C., Marquez-Ruiz G., Velasco J., (2000).**Interactions between fat

**Dobargane C., (1998).** Formation and analysis of high molecular- weight compounds in frying fats and oils. OCL, vol. 5, pp: 41-47.

**DOBARGANES C. and VELASCO J. (2002).** Oxidative stability of virgin olive oil. Eur. Lipid. SCI. Technol.y (104). PP: 104-661-676.

**EL SHAMI S.M., ZAKI SELEM I., EL ANWAR I.M.& EL MALLAH H. (1992).** Dielectricproperties for monitoring the quality of heatedoil. J.A.O.C.S.vol 69, N°9.

**Evrard J, Pages-Xatart-Pares X, Argenson C, Morin O (2007).** Procèdes d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. Cah Nutr Diet; 42 (Hors serie 1): 13-23.

**FAO:** the developing world's new burden: obesity.

Fennema. pp: 225 – 304.

**FRANCOIS R. (1974).** Les industries des corps gras : biochimie extraction, raffinage, nuisances et réglementation. Edition :Lavoisier, Paris ; ISBN : 2880200075.

**Frankel EN (2007).** Antioxydants in food and biology. Dundee : The Oily Press LTD,

**FREDOT E. (2005).** Connaissance des aliments: base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tech & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.

**FRENOT M. et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : diététique du sujet bien portant. 1ere édition : Doin, p.79-97.

**FRENOT M. et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 2<sup>ème</sup> édition : Doin éditeur. pp : 79-94.

**Garrette, G. (2000).** Les lipides, le métabolisme vue d'ensemble in Biochimie. Ed De boeck université : p241-607.

**George, H. (2006).** Les matériaux biologiques de base in Biochimie 4eme édition Dunod :

**GERTZ C. et KOCHAAR P. (2001).** A new method to determine oxidative stability

**GERTZ C., et KOCHAAR P., (2001).** A new method to determine oxidative stability of vegetable fat and oil at simulated frying temperature. ocl. vol 8. n°1, pp:82-91.

**GLANDINE C. EUNIER N.ADELIN B. LUCILE B. PAGES X. GAUD M.E FLOTER Z.MATIN A. ROSSIGNOLN. CANO J et CHARDIGNY M. (2010).** Preservation of micronutrients during rapeseed oil refining: A tool to optimize the health value of edible vegetable oils. Rationale and design of the optim oils randomized clinical trial. Contemporary Clinical Trials.

**Gomez-Alonso S., Fregapane G., Salvador M.D. & Gordon M.H. (2003).** Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 667-672.

**Gornay Julien (2006).** Transformation par voie thermique de triglycérides et d'acide gras. Application à la valorisation chimique des déchets lipidiques Institut national polytechnique de Lorraine. Département de chimie physique des réactions.

**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.

**GRAILLE J. (2003).** Lipides et corps gras alimentaire. Edition : Tec et Doc. Lavoisier. Paris.

**GRAILLE J. (2003).** Lipides et corps gras alimentaires. Ed. Tec & Doc (Collection sciences et Techniques agroalimentaires), 469p.

**Grandgirard. A ;(1992).** Transformation des lipides au cours des traitements thermiques effet nutritionnels et toxicologiques. In : Aspects nutritionnels des constituants des aliments influence des technologies. Ed. Tec et doc : 49-67.

gras". Paris. ISBN: 2-85206-662-9. p 327-329.

**GUETTAR T.et HAMOUNI Z. (2015).** effet de l'augmentation du nombre de friture sur la stabilité de l'huile « elio ». Mémoire d'ingénieur d'état. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie.

**Guillaumin R., Gente-jauniaux M., Barbati C.,( 1977).** Etude sur les huiles chauffées : préparation et caractéristiques chimiques des huiles d'arachides, palme, soja et tournesol chauffées à 220 °C. *Corps Gras*, 10(24): 477-481.

**GUILLEN M.D et URIARTE P.S. (2011).** A very simple, fast, and non-destructive approach to predict the time at which edible submitted to high temperature reach the established limits to safety. *Food chemistry*, vol. 127, pp: 802-806.

**GUILLEN. M.D. et URIARTE P.S, (2011).** A very simple, fast, and non-destructive approach to predict the time at which edible submitted to high temperature reach the established limits of safety. *Food chemistry*, vol. 127, pp:802-806.

**GUPTA M.K. (2005).** Frying oils. Bailey's industrial oil and fat products. 6ème édition.

## Références bibliographiques

**Gupta M.K.(2005)** . Frying oils. Bailey's industrial oil and fat product. 6ème édition .John Wiley & sons, Inc, p.1-23.

**Gupta, M.K.**, 2004. The Frying Industry, in: Gupta, M.K. (Ed.), Frying Technology and Practices. AOCS, Champaign, Illinois, USA.

**HELLAL Z. (2011)**. Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certains huiles essentielles extraites des Citrus. Application sur la sardine. Memoir de magister, UMMTO.

<http://webagris.inra.org.ma/doc/awamia/125-12603.pdf>

<http://www.azaquar.com/doc/raffinage-de-huile-brute>

[http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMee%252FCX-709-26%252FWorking%2Bdocuments%252Ffo26\\_15f.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMee%252FCX-709-26%252FWorking%2Bdocuments%252Ffo26_15f.pdf)

<http://www.fao.org/FOCUS/E/obesity/obes1.htm.2002>

<http://www.poly-prepas.com/images/files/chapitre%203%20les%20lipides.pdf>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Dra%C3%A2\\_Ben\\_Khedda#Localisation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dra%C3%A2_Ben_Khedda#Localisation)

[https://www.thomassci.com/Equipment/Viscometers/\\_/GILMONT-FALLING-BALL-VISCOMETERS](https://www.thomassci.com/Equipment/Viscometers/_/GILMONT-FALLING-BALL-VISCOMETERS)

**Jeanet R, Croguennec T, Schuck P, Brulé G (2006)**. *Science des aliments- Biochimie Microbiologie- Procédés-Produits. Vol.1 Stabilisation biologique et physico-chimique*. Ed. Tec & Doc. Paris : Lavoisier.

John Wiley& Sons, Inc. pp : 1 – 23.

**Josephson D.B. et Lindsay R.C., (1986)**. Enzymic Generation of Volatile Aroma Compounds from Fresh Fish. *Biogenesis of Aromas*, 30: 201-219.

**JUAREZ. M.D, (2011)**. Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional an unconventional methods. *Food Control*, vol.22, pp:1920-1927.

**JUDDE A. (2004)**. Prevention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique: mécanismes, consequence, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications , OCL VOL. 11N°6.

**KALOGIANNI E.P, KARASTOGIANNIDOU C. et KARAPANTSIOS T.D. (2011)**. Effect of presence and absence of potatoes under repeated frying conditions on the composition of palm oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 86 (6). pp: 561-571.

## Références bibliographiques

- KANAVOURAS A., HERNANDEZ- MUNOZ P. et COUTELIERIS FRANK A. (2006).** Packaging of olive oil :quality issues and shelf life predictions. *Food Reviews International*, 22(4), 381- 404.
- KARLESKIND A. (1992).** Principaux constituants chimiques des corps gras, propriété chimique des corps gras. In : Manuel des corps gras Tome 1. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 95-358.
- KPROVIESSI D.S., GEORGE C., ACCROMBESSI., KOCHOOH C., MOHAMED** l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Paris : Tec.Doc Lavoisier, 1998 :47-51.
- Labuza T, Dugan L (1971).** Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Critical Reviews in Food Technology* ; 2 : 355–405
- Laguerre M et al.,(2007).** Evaluation of the stability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges.*Progress in Lipid Research*,p244-282.
- LAMBERT(2005).** Les huiles vegetales :2000 plantes oléagineuses répertoriées. Institut français des huiles vegetales, p: 17.
- Lambert. (2005).** Les huiles v végétales : 2000 plantes oléagineuses répertoriée. IFHVP .ISBN 2-916150-01-3 Pp 1-3.
- Le Floch E., Acker P., Ramel P., Lanteaume M. T., Le Clerc A. M. (1968).** Les effets d'un chauffage de type culinaire sur les principaux corps gras alimentaires. Ses incidences physiologiques et nutritionnelles. *Ann.Nut. Alim.*, 22: 249-265.
- Lecerf JM (2011).** Les aliments. In: Schlienger JL, ed. Nutrition clinique pratique. Issy-les-Moulineaux :Elsevier Masson: 21-43.
- LECERF J-M. (2011).** Les huiles végétales particularités et utilités. *Médecine des maladies Métaboliques (5) 3*, pp : 257-262.
- Linder G., Lorient D (1994).** Huiles et graisses végétales. In: biochimie agroindustriels. Ed: Masson. Paris. Milan. Barcelone.:287-338.
- LISU W., JUI-HUNG Y., HSIAO-LING L., et WUL M.J. (2003 )** . Antioxydant affect of methanol extract from lotus plumule and blossom (nelumbonucifera Gertn). *Journal of food and Drug Analysis*. 11(1): 60-66.
- M., SOUMANAU et MOUDACHIROU M. (2004).** Propriétés physicochimiques et
- MASSON O. (2002).** Biochimie : les bases biochimiques de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris, p.81-83.
- MECLEMENTS D. J., DECKER E., DAMODARAN S., PARKIN K. et FENNEMA O. R. (2007).** Lipids. In *Fennema's Food Chemistry*, Fourth ed. ;Eds CRC Press : New York.

## Références bibliographiques

**MORDRET F. (1992).** Analyses des corps gras. In : manuel des corps gras. Ed. Tech & Doc, Lavoisier, Paris, pp : 1147-1182.

**Moya Moreno, M.C.M., Mendoza Olivares, D., Amézquita López, F.J., Peris Martínez, V., Bosch Reig, F., 1999.** Study of the formation of carbonyl compounds in edible oils and fats by <sup>1</sup>H-NMR and FTIR. *Journal of Molecular Structure* 482–483, 557-561.

**NAUDET M. (1977).** Principaux constituants chimiques des corps gras. In : manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 69-74.

**NJOUENKEU R. et NAGRASSOUM M. (2002).** Etude comparative de la valeur en friture de quelques huiles végétales . *Journal of food engineering*, (121), pp :211-125.

OCL VOL. 19 N8 2 mars-avril 2012.

of vegetable fat and oil at simulated frying temperature. OCL. Vol 8. N° 1, pp: 82-91.

**OLIVIER D. and MARTENIEZ V.M. (2005).** Conseils pratique pour les fritures, spécifique technique n°E4-05 relative aux l'huiles végétale. 21- 24.

**OLLE M. (1998).** Les huiles de fritures : état de situation et aspects réglementaire. OCL.

**Pereira E.D.J., Panek A.D., Eleutherio E.C.A., 2003.** Protection against oxidation during dehydration of yeast. *Cell Stress Chaperone*, 8: 120-124.

**PERRIN J.L. (1992).** Analyse des corps gras, détermination de l'altération. In : Manuel des corps gras. Tome 2. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 1198-1216.

**PERRIN J.L. (1992).** Analyse des corps gras. Détermination de l'altération. In : Manuel des corps gras. Tome 2. Edition : Tech & doc. Lavoisier. Paris. pp :1198-1216.

**POKORNY J. (2003).** Problèmes de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : *Lipides et Corps Gras Alimentaire*, Graille J. éd. Collection Science & Technique Agroalimentaire, Edition Tech & Doc. Paris. France. 470p.

**POKORNY J., (2003).** Probleme de stabilite des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : *GRAILLE J. lipide et corps gras alimentaire*. Edit Technique et documentation, Lavoisier, Paris.

**Prior, E (2003).** Usage des corps gras alimentaires. In : *Lipides et corps gras alimentaires*. Paris: Tec&Doc. Lavoisier, 171-172.

produit frits. In : *Lipides et corps gras alimentaire*. Ed. Tec ET docs: 231-267.

**PSOMIADOU E., TSIMIDOU M. (2002).** Stability of virgin olive oil. 2. Photo-oxidation studies. *J Agric Food Chem* 50:722–7.

régions du Benin, (7).pp : 1007 – 1012.

**ROGER F. (1974).** Les industries des corps gras biochimie, extraction, raffinage et réglementation, IPE. Paris.

## Références bibliographiques

**Rossell J.B., (2001).** *Frying, improving quality.* Boca Raton, Fl: *CRC Press*, p 369.

**SADOUDI R., AMMOUCHE A., et ALI AHMED D., (2014).** thermal oxydative alteration of sunflower oil. Edition: international journal of food and nutrition sciences vol. 1(1). pp: 02-07.

**Seghier Y. et Benahmed L., 2014.** Raffinage de l'huile de soja et élimination des acides gras libres au niveau de l'usine de Afia Master en génie des procédés, Ingénierie biomoléculaire, Département de chimie organique industrielle, Faculté de chimie, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, pp 37-40.

**SEVERAC E. (2010).** Valorisation enzymatique des huiles végétales, thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat université TOULOUS (INSA).

**SIRET C. (2004).** Les composants chimiques des produits alimentaires. Dans : *Techniques de l'ingénieur, traité de Génie des procédés.* F1 010,19p.

stockage. *Oléagineux Corps Gras Lip.* (19) 2, p 125-132.

**TREMOLIERE J. (1980).** Manuel d'alimentation humaine. Tome 1 : les bases d'alimentation Ed :E.S.F. Paris. P553.

**Uccini E et Debal A. (1992).** Propriétés chimiques des corps gras. In : "Manuel des corps

**Uciani, E et Debal, A.** Propriétés chimiques des corps gras. In: Manuel des corps gras. Tome

**UFHEI G et ESHER F,( 1996).** Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *Lebensmittel-Wissenschaftund Technologie* 1996; 29: 640-644.

**VIERLING E. (2003).** Aliments et boissons : filières et produits. 2<sup>ème</sup> édition :Doin, Cedex. pp : 187-208.

**VIERLING E.(2008).** Aliment et boisson : filière et produit. 2<sup>ème</sup> édition : Doin, Cedex. pp :187-208.

**Vitrac o, Trystram G et Raoult-wack A-W. (2003).** Procédé de friture et

Vol 5, pp : 55-57.

**WASSEF W. et NAWAR N. (1996).** Lipids. In: *Food chemistry.* 3<sup>ème</sup> édition: Owen R.

**WEIL J.H (2001).** *Biochimie général* 9<sup>ème</sup> édition. Masson, pp.274.

**Wolff,** Manuel d'analyse des corps gras. Ed. Azoulay, Paris 1968.

York, USA. P.1-26. ISBN : 0-8342-1287-0.

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at a point between the top and middle circles, forming a V-shape that points downwards. The word "Annexe" is centered on the page in a bold, dark blue serif font.

# **Annexe**

**Indice physique :**

**Annexe 01 : Dosage du taux de composés polaires totaux (CPT)**

❖ **Matériels :**

- Plaque chauffante
- Bain marie
- Testo 270

❖ **Mode opératoire :**

- Chauffer les échantillons d'huiles a une température comprise entre 40 et 210°C ;
- Allumer l'appareil, plonger le capteur de celui-ci dans l'huile chaude de telle façon que les trous de l'aération soient complètement couverts ;
- Tenir le testo 270 dans l'huile à un angle d'environ 45° afin que l'air puisse s'échapper ;
- La lecture de pourcentage en PCT est notée à la stabilisation de la température qui s'affiche en parallèle (environ 5min).

**Annexe 02 : Détermination de la densité à 20°C**

❖ **Matériels :**

- Balance analytique
- Pipette graduée de 5ml
- Becher de 25ml
- 

❖ **Mode opératoire :**

- Prélever à l'aide d'une pipette graduée 5ml d'huile ;
- Les verser dans un bécher de 25ml de poids connu (m) ;
- Mettre le bécher sur la balance de précision et noter le poids de l'échantillon d'huile (m0) ;
- Refaire la même expérience avec de l'eau distillée et noter le poids (m1) ;
- La densité est le quotient de poids de l'huile et le poids de l'eau distillée.

**Annexe 03 : Teneur en eau et matières volatils**

❖ **Matériels :**

- Balance analytique
- Bécher
- Etuve isotherme (103°C ± 2°C)
- Dessiccateur

### ❖ Mode opératoire :

- Régler l'étuve à  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ;
- Peser un bécher à vide après l'avoir lavé et séché ;
- Peser 5g d'huiles dans ce bécher ;
- Introduire le bécher contenant l'huile dans l'étuve pendant 1h ;
- Refroidir l'ensemble (bécher+ huile) dans un dessiccateur ;
- Peser l'ensemble (bécher+ huile).

### Annexe 04 : Viscosité

#### ❖ Matériels :

- Viscosimètre à bille ;
- Chronomètre

#### ❖ Mode opératoire :

- Remplir le viscosimètre à bille de l'huile a analysée ;
- Vérifier l'absence des bulles d'aire à l'intérieur de viscosimètre ;
- Chronométrer le temps nécessaire pour que la bille traverse les deux traits indiqués sur le viscosimètre.

### Indice chimique :

### Annexe 05 : Indice d'acidité

#### ❖ Matériels :

- Erlenmeyer
- Burette
- Pipette gradué
- Balance analytique
- Agitateur magnétique

#### ❖ Réactifs :

- Ethanol a 96%
  - Solution d'hydroxyde de potassium dans l'éthanol (0,1N)
  - Phénolphtaléine : solution à 1%
- **Mode opératoire :**
- Dissoudre une prise d'essai (1,25g) dans 12,5ml d'éthanol ;
  - Ajouter quelques gouttes de la solution de phénolphtaléine ;
  - Titrer en agitant avec la solution d'hydroxyde de potassium jusqu'à apparition d'une couleur rose persistant 10 secondes ;

- Déterminer le volume (V) de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée.

**Annexe 06 : indice de saponification :**

❖ **Matériels :**

- Ballons
- Chauffe ballon sous réfrigérant a reflux
- Pipette
- Burette
- Balance analytique

❖ **Réactifs :**

- Acide chlorhydrique en solution 0,5N.
- Potasse en solution 0,5N dans l'alcoolique éthylique à 95%.
- Phénolphtaléine en solution a 1% dans l'alcool éthylique.

❖ **Mode opératoire :**

- peser 2g d'huile et les introduire dans un ballon a col rodé ;
- ajouté 25ml de potasse alcoolique (KOH) à 0,5N ;
- porter à ébullition sous réfrigérant a reflux (avec u régulateur d'ébullition), pendant 1h, en agitant de temps en temps ;
- titrer l'excès d'alcalis de KOH avec l'acide chlorhydrique 0,5N en présence de phénolphtaléine jusqu'à la décoloration complète ;
- Faire un essai en blanc dans les mêmes conditions.

**Annexes 07 : Détermination de l'indice de peroxyde :**

❖ **Matériels :**

- Erlenmeyer
- Pipettes graduée
- Béchers
- Balance analytique
- Burette

❖ **Réactifs :**

- Chloroforme.
- Acide acétique.
- Thiosulfate de sodium 0,01N.
- Empois d'amidon : solution aqueuse a 1% récemment préparée à partir d'empois natif.
- Solution aqueuse d'iodure de potassium saturée

❖ **Mode opératoire :**

- Peser 2g de l'huile dans un erlenmeyer ;
- Ajouter 10ml de chloroforme, puis 15ml d'acide acétique ;
- Additionner 1ml d'iodure de potassium (KI) (solution aqueuse saturé préparer juste avant son emploi)
- Boucher aussitôt l'erlenmeyer ;
- Agiter le mélange pendant 1min, le laisser à l'abri de la lumière pendant 5min ;
- Ajouter 75ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon à 1%, la coloration bleu noirâtre apparait ;
- Titrer l'iode libéré jusqu'à la décoloration complète avec la solution de thiosulfate de sodium 0,01N en agitant vigoureusement en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré ;
- Effectue de la même façon un essai à blanc.

**Analyses statistique :****Annexe 08 : analyse de la variance de composé polaire**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2647,222	8	330,903				
VAR.FACTEUR 1	61,555	2	30,778	0,062	0,94116		
VAR.FACTEUR 2	585,722	2	292,861	0,586	0,60056		
VAR.RESIDUELLE 1	1999,945	4	499,986			22,36	94,93%

**Annexe 09 : analyse de la variance d l'humidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,469	8	0,059				
VAR.FACTEUR 1	0,015	2	0,008	0,067	0,93587		
VAR.FACTEUR 2	0,001	2	0,001	0,006	0,99		
VAR.RESIDUELLE 1	0,452	4	0,113			0,336	98,76%

**Annexe 10 : analyse de la variance de l'indice de saponification**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2403,508	8	300,439				
VAR.FACTEUR 1	638,617	2	319,308	0,881	0,4835		
VAR.FACTEUR 2	315,924	2	157,962	0,436	0,67609		
VAR.RESIDUELLE 1	1448,968	4	362,242			19,033	13,94%

**Annexe 11 : analyse de la variance de la densité :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,004	17	0				
VAR.FACTEUR 1	0,001	2	0	2,113	0,17599		
VAR.FACTEUR 2	0,001	2	0	2,328	0,15212		
VAR.INTER F1*2	0,001	4	0	1,063	0,42899		
VAR.RESIDUELLE 1	0,002	9	0			0,014	1,65%

**Annexe 12 : analyse de la variance de l'indice de peroxyde**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1233,319	17	72,548				
VAR.FACTEUR 1	59,694	2	29,847	27,729	0,00019		
VAR.FACTEUR 2	316,882	2	158,441	147,197	0		
VAR.INTER F1*2	847,056	4	211,764	196,736	0		
VAR.RESIDUELLE 1	9,688	9	1,076			1,037	7,06%

**Annexe 13 : test de NEWMAN- KEULS au seuil = 5% de l'indice peroxyde :**

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
2.0 1.0	st2 ff1	30,75	A					
1.0 3.0	st1 ff3	24,625		B				
3.0 1.0	st3 ff1	21,25			C			
3.0 3.0	st3 ff3	13,25				D		
2.0 2.0	st2 ff2	10,5					E	
2.0 3.0	st2 ff3	10					E	
3.0 2.0	st3 ff2	8,5					E	
1.0 2.0	st1 ff2	8,125					E	
1.0 1.0	st1 ff1	5,25						F

**Annexe 14 : analyse de la variance de la viscosité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	377,092	26	14,504				
VAR.FACTEUR 1	43,909	2	21,955	2,575	0,10229		
VAR.FACTEUR 2	114,131	2	57,065	6,694	0,00675		
VAR.INTER F1*2	65,61	4	16,402	1,924	0,14932		
VAR.RESIDUELLE 1	153,443	18	8,525			2,92	5,70%

**Annexe 15 : test de NEWMAN- KEULS au seuil = 5% de la viscosité**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	ff3	53,853	A	
2.0	ff2	50,891		B
1.0	ff1	48,844		B

**Annexe 16 : analyse de la variance de l'acidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,4	26	0,015				
VAR.FACTEUR 1	0,012	2	0,006	0,314	0,73846		
VAR.FACTEUR 2	0,011	2	0,006	0,309	0,74187		
VAR.INTER F1*2	0,045	4	0,011	0,608	0,66472		
VAR.RESIDUELLE 1	0,332	18	0,018			0,136	36,31%

**Préparation des réactifs :****1) Solution d'hydroxyde de potassium:**

0,5N : **2,8045g** de **KOH** dans **100ml** d'**ETHANOL**.

0,1N : **1,12g** de **KOH** dans **200ml** d'eau distillée ou l'éthanol.

**2) Solution de chlorhydrique a 0,5N (HCl 0,5N) :**

**4,180g** de **HCl** dans **100ml** d'**EAU Distillée**.

**3) Phénolphtaléine :**

**1%** : **1g** de poudre de **Phénolphtaléine** dans **100ml** d'**éthanol**

**2%** : **2g** de poudre de **Phénolphtaléine** dans **100ml** d'**éthanol**

## Résumé :

Le but de la présente étude est d'évaluer la qualité des huiles de bains de friture de neuf établissements de la restauration rapide (fastfood) du chef lieu de la commune de Draa Ben Khedda, afin de s'assurer de leur conformité.

A cet effet, des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur des échantillons d'huiles de bains de friture prélevés durant la période de 23/06/2019 à 30/06/2019. Un échantillonnage homogène a été réalisé après découpage de la zone de prélèvement en trois strates, afin de faciliter la sélection des fastfoods à étudier.

A la lumière des résultats obtenus, il s'avère que la majorité des fastfoods (67%) montre une conformité en ce qui concerne le taux de composés polaires. En effet, 6 fastfoods sur 9 ont enregistré des taux inférieurs à 25%.

**Mots clés :** fastfoods, Draâ ben khedda, huiles de bains de fritures, composés polaires.

## Summary :

Consumer anxiety is still present, if not growing, and trying to include a healthier diet in their lifestyle, which has resulted in several strategies to overcome malnutrition, including quality control of food. This strategy could be, applied to frying food oils.

To this end, physico-chemical analyses were carried out on samples of frying bath oils taken during the period from 23/06/2019 to 30/06/2019, The sampling area has been divided into three layers in order to have more or less homogeneous areas in terms of the number of fastfoods in order to facilitate the selection of establishments to be studied.

In the light of the results obtained, it appears that the majority of fastfoods (67%) show compliance with the content of polar compounds. Indeed, 6 out of 9 fastfoods recorded rates below 25%.

**Key words:** fastfoods, Draa ben khedda, frying bath oil, polar compounds.