

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou**

**Faculté des sciences biologiques et agronomiques**

**Département d'Agronomie**



**Mémoire de fin d'études**

**En vue d'obtention du diplôme de Master en sciences alimentaires**

**Option : Agroalimentaire et contrôle de qualité**

**Thème**

**Effet du mode de friture à la poêle sur les  
caractéristiques physico-chimiques de l'huile  
commercialisée « elio »**

**Encadré par :**

**Mr. SADOUDI R.**

**Réalisée par :**

**M<sup>elle</sup> AGGAR Chabha**

**Soutenue devant :**

**Président : Mr AMROUCHE T. Maitre de conférences A à l'UMMTO.**

**Examineur : Mr BENGANA M. Maitre de conférences B à l'UMMTO.**

**2018/2019**

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères et les plus profonds à :*

*Au bon DIEU tout puissant, de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté pour accomplir ce travail.*

*Mon promoteur monsieur SADOUDI.R, maître de conférences B à UMMTO d'avoir accepté de m'encadrer et pour tous les efforts qu'il a consenti tout au long de l'élaboration de ce modeste travail, ses encouragements, ses précieux conseils qui nous ont été d'une grande aide.*

*Mes remerciements s'adressent également au président du jury M<sup>r</sup> AMROUCHÉ.T, maître de conférences A à UMMTO qui m'a fait l'honneur de présider le jury. Et Mr BENGANNA M. maître de conférences à l'UMMTO B qui a accepté d'examiner mon travail.*

*Je tiens à remercier M<sup>r</sup> METNA enseignant au département agronomique à UMMTO, pour l'aide qui m'a apportée dans l'étude statistique.*

*Je remercie vivement, les responsables de laboratoire des analyses physico-chimique de département biologie et agronomie pour leurs aides et leur soutien, et le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à me tenir compagnie au cours de mon travail.*

*Enfin, je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Les deux personnes qui me sont les plus chers au monde mon père et ma mère aux qu'ils je dois le mérite d'être arrivée là, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et mon affection pour leurs soutiens et leurs sacrifices tout au long de ma vie et auxquels je ne rendrais jamais assez.*

*Mon frère et mes sœurs auxquels je souhaite la réussite dans leurs études.*

*Mes amis et tout ceux que me sont chers.*

*A votre bénédiction la plus sainte.*

*Je présente mon travail.*

*CHABHA*

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association française de normalisation.

**AG**: Acide gras.

**AGE** : Acide gras essentiel.

**AGI** : Acides gras insaturés.

**AGL** : Acide gras libre.

**AGMI** : Acide gras mono insaturé.

**AGPI** : Acide gras polyinsaturé.

**AGS** : Acides gras saturés.

**BHA** : Hydroxyanisole butylé .

**BHT** : Hydroxytoluène butylé.

**CG**: Corps gras.

**CPT** : Composés polaires totaux.

**F1** : la première friture.

**F3** : la troisième friture.

**F5** : la cinquième friture.

**F8** : la huitième friture.

**F10** : la dixième friture

**H0** : huile fraîche.

**Is** : indice de saponification.

**Ii** : indice d'iode.

**meq** : Milliéquivalent.

**MG** : Matière grasse.

**O** : Oxygène.

**PATO** : Produits d'altération thermo-oxydative.

**PET** : Polyéthylène téréphtalate.

**R°** : Radical libre d'acide gras.

**ROO°**: Radical peroxy.

**ROOH** : Hydroperoxyde.

**Sen** : Sensibilisateur.

**TAG** : Triacylgcérides.

**TBHQ** : Butylhydroquinone tertiaire.

**TG** : Triglycérides.

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>I</b>	composition en acide gras de l'huile de soja	<b>04</b>
<b>II</b>	principaux paramètres physico-chimiques de l'huile de soja	<b>05</b>
<b>III</b>	composition en acide gras de l'huile de tournesol	<b>06</b>
<b>IV</b>	composition triglycéridique de l'huile de tournesol	<b>07</b>
<b>V</b>	les caractéristiques de l'huile de tournesol	<b>07</b>
<b>VI</b>	les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie	<b>10</b>
<b>VII</b>	mécanisme d'oxydation des lipides	<b>13</b>
<b>VIII</b>	Méthodes d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles	<b>19</b>
<b>IX</b>	Produits de pommes de terre : valeurs moyennes de teneurs en matières grasses	<b>25</b>
<b>X</b>	Principales voies de formation d'espèces chimiques nouvelles	<b>29</b>
<b>XI</b>	Caractéristiques mentionnés sur l'étiquette de l'emballage	<b>31</b>
<b>XII</b>	Conditions expérimentales des essais de fritures	<b>33</b>
<b>XIII</b>	Rapport quantité de pomme de terre sur volume d'huile de bain	<b>33</b>
<b>XIV</b>	Aspect des bains de fritures et des frites au cours des fritures répétées	<b>41</b>
<b>XV</b>	Résultats de taux d'humidité (%)	<b>43</b>
<b>XVI</b>	Résultats de la mesure de la densité	<b>45</b>
<b>XVII</b>	Résultats de la mesure de la viscosité	<b>48</b>
<b>XVIII</b>	Formation de composés polaires au cours des fritures	<b>50</b>
<b>XIX</b>	Evolution de l'acidité des bains de fritures	<b>52</b>
<b>XX</b>	Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures	<b>54</b>
<b>XXI</b>	Evolution de l'indice d'iode au cours des fritures	<b>57</b>
<b>XXII</b>	Evolution de l'indice de saponification lors des fritures	<b>59</b>

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>1</b>	Représentation graphique de la composition en acides gras de quelques huiles végétales	<b>03</b>
<b>2</b>	Le soja <i>Glycine soja</i> ( <b>a</b> : Plante, <b>b</b> : Gousse verte, <b>c</b> : Graines)	<b>04</b>
<b>3</b>	Le tournesol <i>helianthus annuus</i> ( <b>a</b> : Plante, <b>b</b> : Graines)	<b>06</b>
<b>4</b>	Représentation graphique de la consommation mondiale d'huiles végétales	<b>09</b>
<b>5</b>	Schéma général de l'oxydation des lipides	<b>14</b>
<b>6</b>	Représentation schématique du mécanisme réactionnel de l'auto-oxydation des lipides	<b>16</b>
<b>7</b>	Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique	<b>17</b>
<b>8</b>	Réactions croisées intervenant dans l'huile lors de son utilisation en friture	<b>26</b>
<b>9</b>	Réactions d'altération des huiles dans un bain de friture sous l'effet de la chaleur	<b>28</b>
<b>10</b>	l'huile elio	<b>31</b>
<b>11</b>	la composition biochimique de la pomme de terre	<b>32</b>
<b>12</b>	Friteuse et les frites fraîches	<b>32</b>
<b>13</b>	Photos des échantillons prélevés	<b>34</b>
<b>14</b>	le friteste « testo 270 »	<b>37</b>
<b>15</b>	Evolution de la couleur des frites préparées	<b>41</b>
<b>16</b>	Evolution de l'humidité en fonction du nombre de friture	<b>44</b>
<b>17</b>	Evolution de la densité en fonction du nombre de fritures	<b>46</b>
<b>18</b>	Evolution de la viscosité en fonction du nombre de friture	<b>49</b>
<b>19</b>	Evolution des taux de composés polaires au cours des fritures	<b>51</b>
<b>20</b>	Evolution de l'acidité des huiles au cours des fritures répétées	<b>53</b>
<b>21</b>	Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures répétées	<b>55</b>
<b>22</b>	Diminution de l'indice d'iode en fonction du nombre de fritures	<b>58</b>
<b>23</b>	Evolution de l'indice de saponification en fonction des nombres de fritures	<b>60</b>

# Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

**Introduction générale**

## **Etude bibliographique**

### **Chapitre I : les huiles végétales**

I. Les huiles végétales .....	02
I.1. Généralités .....	02
I.2. Définition de l'huile végétale.....	02
I.3. Composition de l'huile végétale .....	02
I.4. Les différents types d'huiles .....	03
I.4.1. L'huile de soja .....	03
I.4.1.1. Définition .....	03
I.4.1.2. Origine .....	03
I.4.1.3. Composition .....	04
I.4.1.3.1. Acide gras .....	04
I.4.1.3.2. Insaponifiables .....	04
I.4.1.3.3. caractéristiques physicochimiques et propriétés .....	05
I.4.2. Huile de tournesol .....	05
I.4.2.1. Définition .....	05
I.4.2.2. Origine .....	06
I.4.2.3. Composition .....	06
I.4.2.3.1. Composition en acide gras et triglycérides .....	06
I.4.2.3.2. Composition en insaponifiables .....	07
I.4.2.3.3. Caractéristiques physicochimiques et propriétés .....	07

I.5. Production et consommation des huiles végétales .....	08
I.5.1. Marché mondiale des oléagineuses .....	08
I.5.1.1. Production .....	08
I.5.1.2. Consommation .....	08
I.5.2. Marché nationale des oléagineuses .....	09
I.5.3. Les différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition .....	10
<b>Chapitre II : Altération des corps gras</b>	
II. Altération des corps gras .....	11
II.1. Altération biologique .....	11
II.2. Altération chimique .....	11
II.2.1. Hydrolyse .....	11
II.2.2. Isomérisation .....	12
II.2.3. Polymérisation et cyclisation .....	12
II.3. Altération oxydative (rancissement).....	12
II.3.1. Facteurs favorisant l'oxydation .....	12
II.3.2. Mécanismes généraux de l'oxydation .....	13
II.3.2.1. L'auto-oxydation .....	14
II.3.2.1.1. Mécanisme réactionnel de l'oxydation .....	14
II.3.2.2. Photo-oxydation .....	16
II.3.3. Oxydation enzymatique .....	17
II.4. Thermo-oxydation .....	17
II.5. Principaux composés dérivés de l'oxydation des lipides .....	18
II.5.1. Produits primaires .....	18
II.5.2. Produits secondaires .....	18
II.6. Les indicateurs de l'état de l'oxydation .....	18
II.7. Impact de l'oxydation.....	20

## **Chapitre III : La friture**

III. La friture .....	21
III.1. Généralités .....	21
III.2. différents types de fritures .....	21
III.2.1. Friture plate .....	21
III.2.2. Friture profonde .....	21
III.2.3. Friture en restauration collective .....	22
III.2.4. Friture industrielles .....	22
III.3. Les points critiques des huiles de fritures .....	22
III.3.1. Types de l'huile .....	22
III.3.2. Vieillessement .....	23
III.3.3. Cuisson .....	23
III.3.3.1. Evaporation d'eau .....	23
III.3.3.2. Texteur .....	23
III.3.3.3. Température de friture .....	24
III.3.3.4. Rapport frite/ huile .....	24
III.3.3.5. Traitement post-friture ou refroidissement .....	24
III.4. Principaux corps gras de friture .....	24
III.5. La teneur en matière grasse .....	25
III.6. Les facteurs de dégradation de l'huile de friture .....	25
III.7. Réactions et produits de dégradation de l'huile durant de la friture .....	26
III.7.1. Réaction d'oxydation .....	26
III.7.2. Réaction de polymérisation .....	27
III.7.3. Réaction d'hydrolyse .....	27
III.8. Prévention de la dégradation de l'huile de la friture .....	29

## **Etude expérimentale**

### **I. Matériel et méthodes**

I.1. Objectif de l'étude .....	30
I.2. Conduite expérimentale .....	31
I.2.1. Choix de l'huile .....	31
I.2.2. Choix de l'aliment à frire .....	31
I.2.3. Procédure de friture .....	32
I.2.4. Echantillonnage .....	34
I.3. Analyse organoleptique .....	35
I.4. Analyses physicochimiques .....	35
I.4.1. Analyses physiques .....	35
I.4.1.1. Teneur en eau et matière volatils .....	35
I.4.1.2. La densité .....	35
I.4.1.3. La viscosité .....	36
I.4.1.4. Taux de composés polaires .....	36
I.4.2. Analyses chimiques .....	37
I.4.2.1. Indice d'acidité .....	37
I.4.2.2. Indice de peroxyde .....	38
I.4.2.3. Indice d'iode .....	39
I.4.2.4. Indice de saponification .....	40
I.5. Analyse statistique .....	40

### **II. Résultats et discussions**

II.1. Aspect des bains de fritures et des frites préparées .....	41
II.2. Analyses physicochimiques .....	43
II.2.1. Analyses physiques .....	43
II.2.1.1. Evolution de la teneur en eau et en matières volatils .....	43
II.2.1.2. Evolution de la densité .....	45

II.2.1.3. Evolution de la viscosité .....	48
II.2.1.4. Taux de composés polaires .....	50
II.2.2. Analyses chimiques .....	52
II.2.2.1. Evolution de l'indice d'acidité .....	52
II.2.2.2. Evolution de l'indice de peroxyde .....	54
II.2.2.3. Evolution de l'indice d'iode .....	57
II.2.2.4. Evolution de l'indice de saponification .....	59
<b>Conclusion .....</b>	<b>61</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## **Résumé**

## Introduction générale

---

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel dans notre alimentation (*CUVELIER et MAILLARD, 2012*). Elles sont des sources privilégiées de macronutriments essentiels, l'acide linoléique oméga 6 et l'acide  $\alpha$ -linoléique oméga 3 et de micronutriments (vitamine E, phytostérols) (*COMBE et ROSSIGNOL-CASTERA, 2010*).

Elles contribuent à la qualité organoleptique des produits, leur apportant une texture onctueuse, crémeuse, fondante, un aspect brillant et une saveur spécifique. Enfin, elles assurent des fonctions technologiques, en particulier comme moyens de transfert de chaleur en cuisson (les huiles de friture), agents d'enrobage et de démoulage ou comme supports d'arômes et de colorants lipophiles (*CUVELIER et MAILLARD, 2012*).

La friture est l'un des plus anciens procédés d'élaboration des aliments. Elle peut être réalisée à la poêle en présence de peu de matières grasses (friture plate) ou dans un grand volume d'huile ou de matière grasse (friture profonde). Aujourd'hui, le procédé de friture absorbe la majorité des huiles alimentaires produites dans le monde et des produits frits sont consommés sur tous les continents (*VITRAC et al., 2003*). Ces dernières décennies, l'évolution de nos modes de vie (éloignement du lieu de travail, restauration hors du foyer, alimentation déstructurée...) a contribué à la diversification des produits frits tant dans la restauration collective ou rapide que dans l'industrie agroalimentaire (*GORNAY, 2006*).

Mais l'utilisation répétée des huiles dans des fritures produit un ensemble complexe de réactions chimiques ; ces réactions ont des effets sur les caractéristiques fonctionnelles, nutritionnelles et organoleptiques de l'huile, et peuvent être à l'origine de plusieurs modifications non souhaitables de ses caractéristiques et aboutir à la formation de composés qui ont des effets nocifs sur la santé (*JUDDE, 2004*).

L'objectif de ce travail est multiple et porte principalement sur l'effet du mode de friture à la poêle sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile « elio » et ce pour mettre en évidence l'existant possible d'un risque particulier quelque soit à l'échelle ménagère ou bien dans la restauration rapide ; pouvant affecter la santé du consommateur.

A cet effet, dix essais de fritures ont été réalisés selon des conditions ménagères. L'altération des bains des huiles est suivie en déterminant quelques caractéristiques organoleptiques et paramètres physico-chimiques analysés à savoir : l'humidité, la densité, la viscosité, dosage des composés polaires totaux (CPT), l'acidité, l'indice de peroxyde, l'indice d'iode et l'indice de saponification.

## I. Les huiles végétales

### I.1. Généralités

Les huiles végétales et les graisses animales proviennent de l'agriculture et de l'élevage et ont servi d'aliments depuis les temps préhistoriques jusqu'aux temps modernes où elles sont devenues aussi une matière première industrielle ainsi qu'une source d'énergie (LERAY,2013).

Ces sources lipidiques se retrouvent sur toute la surface du globe, chacune s'inscrivant dans un cadre historique, géographique, culturel ou politico-économique. Alors que la production de certaines huiles provient de plantes oléagineuses spécialement cultivées dans ce but (palmiste, cocotier, colza), d'autres huiles ne sont le plus souvent que de produits dérivés de l'industrie textile (huile de coton) ou celle de l'alimentation animale (huile de soja) (LERAY,2013).

### I.2. Définition de l'huile végétale

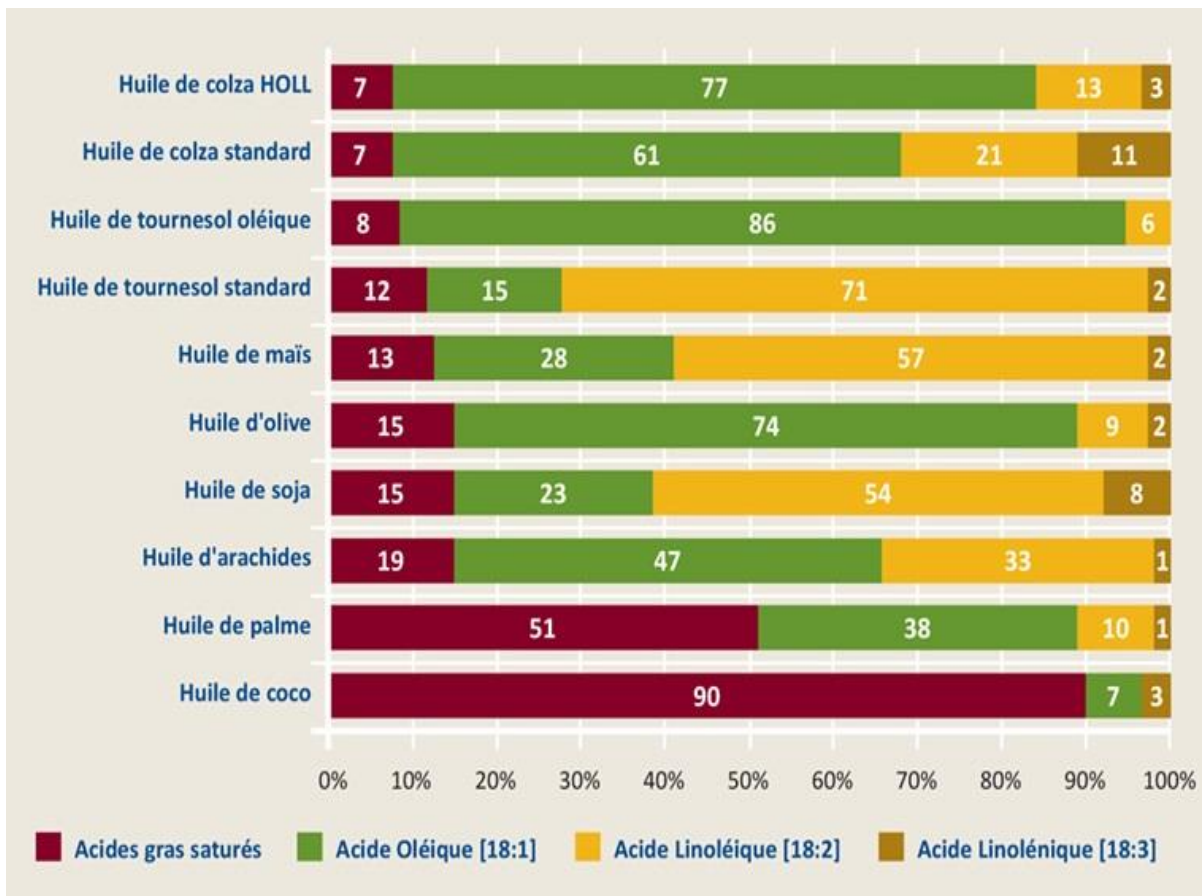
L'huile végétale est une matière grasse, onctueuse et épaisse, souvent liquide à température ambiante et qui est insoluble dans l'eau, les huiles se composent de lipides formées de triglycérides composés des molécules des acides gras estérifiées par le glycérol (une molécule d'alcool). Se sont des composants majeurs de l'énergie du corps humain, car les matières grasses fournissent des calories en grand nombre .les huiles les plus importantes de nos jours sont les huiles de soja, colza, olive (BOUTAYEB ,2013).

### I.3. Composition de l'huile végétale

Les huiles végétales sont principalement constituées de triglycérides (> 95 %), encore appelés triacylglycerols (TAG). Elles peuvent également contenir des vitamines liposolubles et, lorsqu'elles ne sont pas raffinées, des phytosterols, des pigments naturels et des phospholipides. Les acides gras (AG) constitutifs des TAG diffèrent entre eux par la longueur de la chaîne carbonée et le nombre de doubles liaisons entre 2 atomes de carbone, ces liaisons se trouvant naturellement sous la forme cis. On trouve ainsi des acides gras à chaînes courtes (AGCC : 4 à 6 atomes de C), moyennes (AGCM : 8 à 12 C), longues (AGCL : 14 à 18 C) et très longues (AGCTL : 20 C ou plus). Ils peuvent être saturés (AGS) c'est-à-dire sans aucune double liaison, mono-insaturés (AGMI) ou polyinsaturés (AGPI) selon le nombre de doubles

## Bibliographique

liaisons. Les huiles végétales se caractérisent par leur composition en ces différents acides gras (figure 1) (CUVELIR et MAILLARD, 2012).



**Figure 1.** Représentation graphique de la composition en acides gras de quelques huiles végétales (DUBOIS et al., 2008)

### I.4. Les différents types de l'huile

Parmi les différentes variétés des huiles existantes, on peut citer :

#### I.4.1. Huile de soja

##### I.5.1.1. Définition

L'huile de soja est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée d'haricot qui s'atténue peu à peu (COSSUT et al., 2002).

##### I.4.1.2. Origine

Elle est extraite des graines d'une légumineuse, le soja (*Glycine soja*) (figure 2), originaire de Chine et introduite d'abord en France en 1740. Le soja est considéré comme une des

## Bibliographique

plantes les plus anciennement cultivées. Les graines de soja contiennent entre 17 et 20% de l'huile (LERAY, 2013).



**a-Plante**



**b- gousse verte**



**c- graine**

**Figure 2.** Le soja *Glycine soja* (a : Plante, b : Gousse verte, c : Graines) (AMEUR, 2018)

### I.4.1.3. Composition

#### I.4.1.3.1. Acides gras

cette huile est très riche en acides gras insaturés, particulièrement en acide linoléique (L, 50-62%) et linoléique (Ln, 4-10%) et donc pauvre en acide gras saturés (tableau I). la présence de l'acide linoléique fait souvent classer l'huile dans le groupe des huiles siccatives (LERAY, 2013).

**Tableau I.** composition en acide gras de l'huile de soja (% en poids) (LERAY, 2013)

Acide gras	%en poids
16 :0	8-13
18 :0	2-5
18 :1 (n-9)	17-26
18 :2 (n-6)	50-62
18 :3 (n-3)	4-10
20 :0	<1
20 :1	<0,4
22 :0	<0.5

### I.4.1.3.2. Insaponifiables

La partie insaponifiable de l'huile de soja représente (1,6%) dans l'huile brute et de (0,6 à 0,7%) dans l'huile raffinée. Elle se compose essentiellement de stérols (250-418 mg/100g de corps gras) et de Tocophérols (80-167 mg/100g de corps gras) (POUZET, 1992).

Phosphatides Ils se présentent dans l'huile sous deux formes :

**Hydratables:** en particulier la phosphatidylcholine (30%) et la phosphatidyléthanolamine (30%).

**Non hydratables :** Des sels de calcium et de magnésium des acides phosphatidiques et des phosphatidylinositols (40%) (PLATON, 1988).

### I.4.1.3.3. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés

Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja sont présentées dans le *tableau II* :

**Tableau II.** Principaux paramètres physico-chimiques de l'huile de soja (POUZET, 1992)

Paramètres	Valeurs
Densité à 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.921-0.924
Viscosité à 20°C (C.po)	53-58
Indice de saponification (mg KOH/g)	188-195
Indice de réfraction (nm)	1.473-1.477
Indice d'iode (g d'iode /100g de CG)	125-128
Indice d'acidité (%)	0.3-1.8

L'huile de soja est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel alpha-linolénique. Elle est recommandée pour les assaisonnements.

Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales. En effet, les lécithines participent au transport des esters de cholestérol, des sels biliaires et des lipoprotéines.

Nous la recommandons aux personnes nerveuses et aux diabétiques. Sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer (COSSUT *et al.*, 2002).

## I.4.2. Huile de tournesol

### I.4.2.1. Définition

Cette huile, de première pression à froid, est de saveur douce, d'odeur légère et agréable ; sa couleur varie entre le jaune pâle et le jaune orangé. C'est une très bonne huile de table dont le goût discret ne nuit pas aux préparations subtiles (COSSUT *et al.*, 2002).

### I.4.2.2. Origine

Cette huile est extraite d'une *Compositatae*, *helianthus annus*, originaire d'Amérique centrale et du sud d'où elle a été ramenée en Europe au XVI<sup>e</sup> siècle (LERAY, 2013).



a- Plante

b- graine

**Figure 3.** Le tournesol *helianthus annus* (a : Plante, b: Graines). (AMEUR, 2018)

### I.4.2.3. Composition

#### I.4.2.3.1. Composition en acide gras et en triglycérides

Cette huile est caractérisée par une forte insaturation causée par une teneur élevée en acide linoléique (plus de 60%), tout en étant dépourvue d'acide linoléique (tableau III).

**Tableau III.** Composition en acide gras de l'huile de tournesol (LERAY, 2013)

Acide gras	% en poids
16 :0	5-7
16 :1 (n-7)	<0.5
18 :0	4-6
18 :1 (n-9)	15-25
18 :2 (n-6)	62-70
20 :0	<1
20 :1	<0.5

## Bibliographique

La composition triglycéridique obtenue au moyen de la HPLC est développée dans le tableau IV.

**Tableau IV.** Composition triglycéridique de l'huile de tournesol (*KARLESKIND, 1992*)

Nature	% de triglycéride
Tri linoléine	36.3
oléodilinoleine	29.1
palmitodilinoleine	11.3
palmitooleolinoleine	4
palmitodilioleine	0.5
stéarooléolinoleine	2.1

### I.4.2.3.2. Composition en insaponifiables

Les composés mineurs (insaponifiables) de l'huile de tournesol, ont des qualités particulières qui peuvent avoir un impact positif sur le plan nutritionnel.

On distingue :

- **Les tocophérols** : représentés essentiellement par l' $\alpha$ -tocophérols.
- **Les phytostérols** : représentés essentiellement par le  $\beta$ -sitostérols et par le stigmastérols et le compestérol.
- **Les hydrocarbures** : présents en très faible quantité dans les huiles de tournesol. Ces substances sont de nature très diverses : les cires, glucides, stérols et antioxydants.

### I.4.2.3.3. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés

Les caractéristiques de l'huile de tournesol sont présentées dans le tableau V.

**Tableau V.** Les caractéristiques de l'huile de tournesol (*KARLESKIND, 1992*)

Constantes	valeur
Densité à 20°C	0.920-0.925
Indice d'iode (g d'iode/100g de CG)	120-134
Indice de réfraction à T° de 20°C (nm)	1.474-1.476
Indice de saponification (mg KOH/g)	188-193
Viscosité (C.po)	51-57

## **I.5. Production et consommation des huiles végétales**

Le terme « oléagineux » désigne un ensemble de produits agricoles qui, une fois transformés ou triturés, donnent des huiles qui sont recherchées sur tous les marchés mondiaux. La demande de produits à base d'oléagineux se répartit entre la consommation humaine (principalement les huiles pour friture et assaisonnement) et l'alimentation animale (tourteaux) (*MATALLAH, 2006*).

### **I.5.1. Marché mondial des oléagineux**

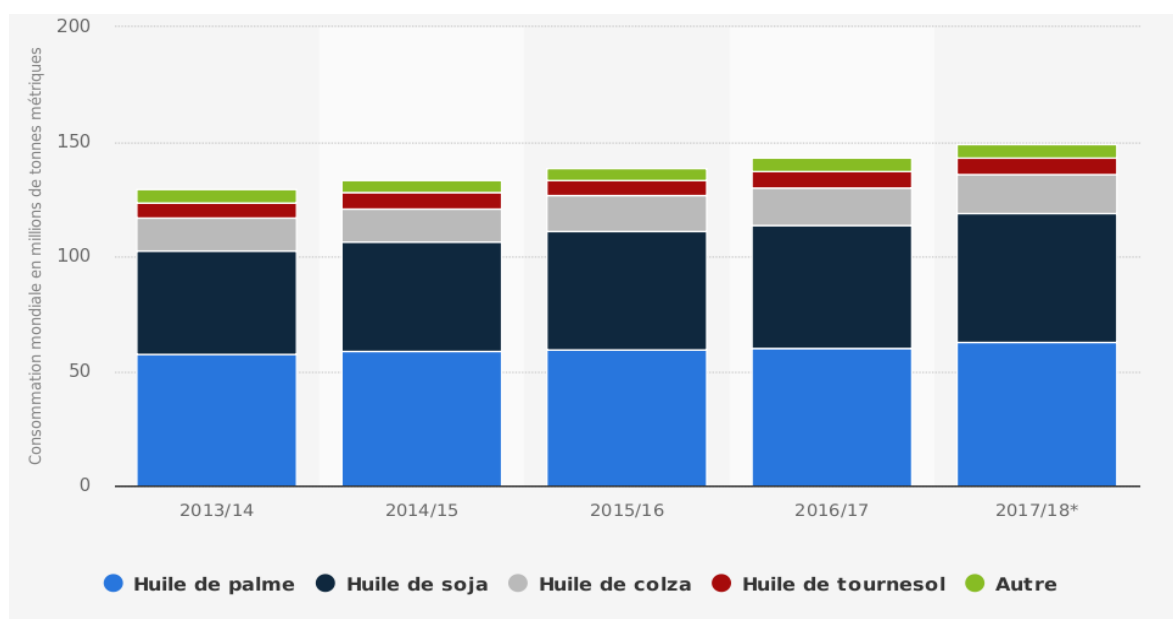
#### **I.5.1.1. Production**

Le marché mondial des oléagineux a connu un développement spectaculaire au cours des 30 dernières années aussi bien au niveau de la production des graines, des huiles et des tourteaux que des échanges mondiaux (*MATALLAH, 2006*). Selon la FAO, la production de soja a fait un bond en 2016, les États-Unis et le Brésil réalisant des récoltes record. Par ailleurs, la production mondiale totale d'autres produits oléagineux (colza, tournesol et arachide) a progressé, pour la première fois en trois ans.

L'accroissement de la production de tournesol, principalement dans la Fédération de Russie et en Ukraine, a contribué à compenser la baisse de la production de colza dans l'Union européenne. Cette évolution a un peu atténué la relative tension sur les marchés.

#### **I.5.1.2. Consommation**

La consommation mondiale d'huiles et de matières grasses est progressée en ces dernières années (*figure 4*). Le moteur principal de cette croissance continue d'être la hausse soutenue des revenus en Chine, en Inde et dans d'autres pays d'Asie et d'Amérique du sud. En raison du développement économique et technologique de ces pays émergents, la demande en huiles végétales pour l'alimentation va devenir très importante dans les années à venir. L'utilisation de ces ressources pour produire des bioénergies en grandes quantités irait alors en contradiction avec le développement durable en détournant ses huiles de leurs utilisations principales : l'alimentation. La concurrence avec le secteur alimentaire et la limite de la production impliquent le développement d'autres solutions (*GORNAY, 2006*).



**Figure 4.** Représentation graphique de la consommation mondiale d’huiles végétales de la période de 2013 au 2017 par type d’huile (en millions de tonnes métriques) (ANONYME, 2018)

### I.5.2. Marché national des oléagineux

La consommation d’huiles végétales en Algérie se situe au niveau du Maroc et en dessous de la Tunisie (17 kg). La culture de graines oléagineuses étant très limitée (moins de 20 000 ha, pour une production de 50 000 t en 2012, principalement de colza), 90% des besoins algériens en huiles alimentaires (hors huile d’olive) sont couverts par l’importation d’huiles brutes (essentiellement de soja) qui sont raffinées sur place. En conséquence, la production locale de tourteaux pour l’alimentation animale est très faible et entraîne également des importations massives. L’Ukraine est le premier fournisseur d’huiles végétales brutes de l’Algérie (25% en 2012), suivie de l’Allemagne (17%), du Brésil (17%) et de l’Espagne (14%) (BELAID, 2015).

L’industrie du raffinage et du conditionnement des huiles végétales est aujourd’hui largement privatisée. Elle comporte 5 opérateurs: CEVITAL, leader du marché avec 50%, suivi de AFIA (filiale du groupe saoudien SAVOLA, 20% de part de marché), LA BELLE (15%), PROLIPOS (groupe BARECHE, 6%) et SAFIA (BELAID, 2015).

## Bibliographique

---

### I.5.3. Les différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition

Il existe sur le marché Algérien différentes marques d'huiles végétales alimentaires, *tableau VI*, quelles soient pures (huile de soja et de tournesol) ou mélangées, celles-ci sont utilisées pour l'assaisonnement, la cuisson ou la friture : (DGCERF, 2012).

**Tableau VI.** La composition des huiles alimentaires fabriquées en Algérie

Marque	Nature de l'huile
ELIO	80% soja, 20% tournesol
FLEURIAL	100% tournesol
AFIA	95% soja, 5% maïs
HUILOR	100% tournesol
BONAL	100% soja
LYNOR	90% soja, 10% palme
SAFIA	100% soja
LABELLE	100% soja

## II .Altération des corps gras

Un corps gras naturel organique type huile végétale peut subir trois grands types d'altération : oxydation (l'oxygène de l'aire est dans ce cas le seul paramètre nécessaire et indispensable à l'initiation des réactions de dégradation), hydrolyse (chimique ou enzymatique qui conduit à la formation de glycérides partiels et d'acides gras libre) et altération thermique (chauffage pour des températures supérieures à 100 voire 150 °C, conduit à la formation de polymères, de composés cycliques ou isomérisés) (*JUDDE, 2004*).

### II.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 libres, de produits d'oxydation, d'aldéhydes et de cétones ; ce qui se traduit par modifications d'apparence, de texture, de saveur et aussi par l'apparition de produits toxiques. Le cas le plus généralement étudié est celui d'une altération par *aspergillus flavus*. (*FRANÇOIS, 1974*).

### II.2. Altération chimique

#### II.2.1. Hydrolyse

La décomposition des graisses en acide gras libres (diacylglycérol et monoacylglycérol) est favorisée par la présence d'eau, en particulier avec des températures élevées (*CODEX ALIMENTARIUS, 1993*).

- **Hydrolyse enzymatique** cette réaction se déroule seulement dans les huiles brutes ; au cours du stockage et du transport. Les enzymes responsables de cette hydrolyse sont les lipases (*TRIMOLIERE, 1980*).
- **Hydrolyse spontanée** elle a lieu au cours du stockage et du traitement thermique des huiles, 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 (*TRIMOLIERE, 1980*).

## II.2.2. Isomérisation

Lorsque le corps gras est soumis à des conditions extrêmes, en particulier des températures élevées (au dessus de 200°C). Les doubles liaisons des AGPI peuvent s'isomériser en formant le plus souvent des systèmes conjugués et les doubles liaisons qui ont migré prennent alors la configuration trans, thermodynamiquement plus stable que la forme cis initiale. De telles réactions sont très communes lors des étapes de désodorisation des huiles au cours du raffinage (*POKORNY, 2003*).

## II.2.3. Polymérisation et cyclisation

Toujours aux températures élevées, la perte de protons par les acides polyinsaturés conduit à des radicaux libres pouvant se dimériser. Des dimères ou même des oligomères peuvent apparaître à de plus faible température durant le processus d'oxydation. La polymérisation est rapide et peut commencer dès 160°C sous azote, lorsque les huiles sont sous forme de films fins. Ceci peut expliquer la formation d'un dépôt solide sur les parois des différents équipements de processing. La polymérisation est un critère pertinent pour suivre la détérioration des huiles de friture et peut être inhibée par des antioxydants notamment les tocophérols (*POKORNY, 2003*).

## II.3. Altération oxydative (rancissement)

L'oxydation des lipides est, en effet, l'une des causes principales de détérioration des aliments pendant leur stockage ou leur cuisson. Elle affecte des huiles et des graisses en l'état, les lipides constitutifs des aliments, altère les composants liposolubles tels que certaines vitamines et pigments. L'oxydation des lipides pose particulièrement problème dans des aliments ou les matières premières contenant des AGPI, dans les aliments soumis à des traitements thermiques (friture) (*ROMAN, 2012*).

### II.3.1. Facteurs favorisant l'oxydation

Le rancissement oxydatif est un phénomène purement chimique et spontané dès lors que des acides gras insaturés (comportant au moins une double liaison) sont en présence d'oxygène atmosphérique ; notons à ce stade que la lumière ou la température sont des facteurs accélérateurs mais ne sont pas des éléments nécessaires et suffisants pour déclencher des phénomènes d'oxydation. Ce phénomène chimique se caractérise également par son caractère évolutif (dû à la succession, dans le temps, de différentes réactions chimiques, conduisant à plusieurs familles de produits réactionnels intermédiaires et finaux), irréversible

## Bibliographique

---

et altératif (puisque l'attaque des acides gras par l'oxygène atmosphérique conduit à des dégradations organoleptiques et fonctionnelles, affectant directement la qualité marchande des corps gras et des produits finis) (JUDDE, 2004).

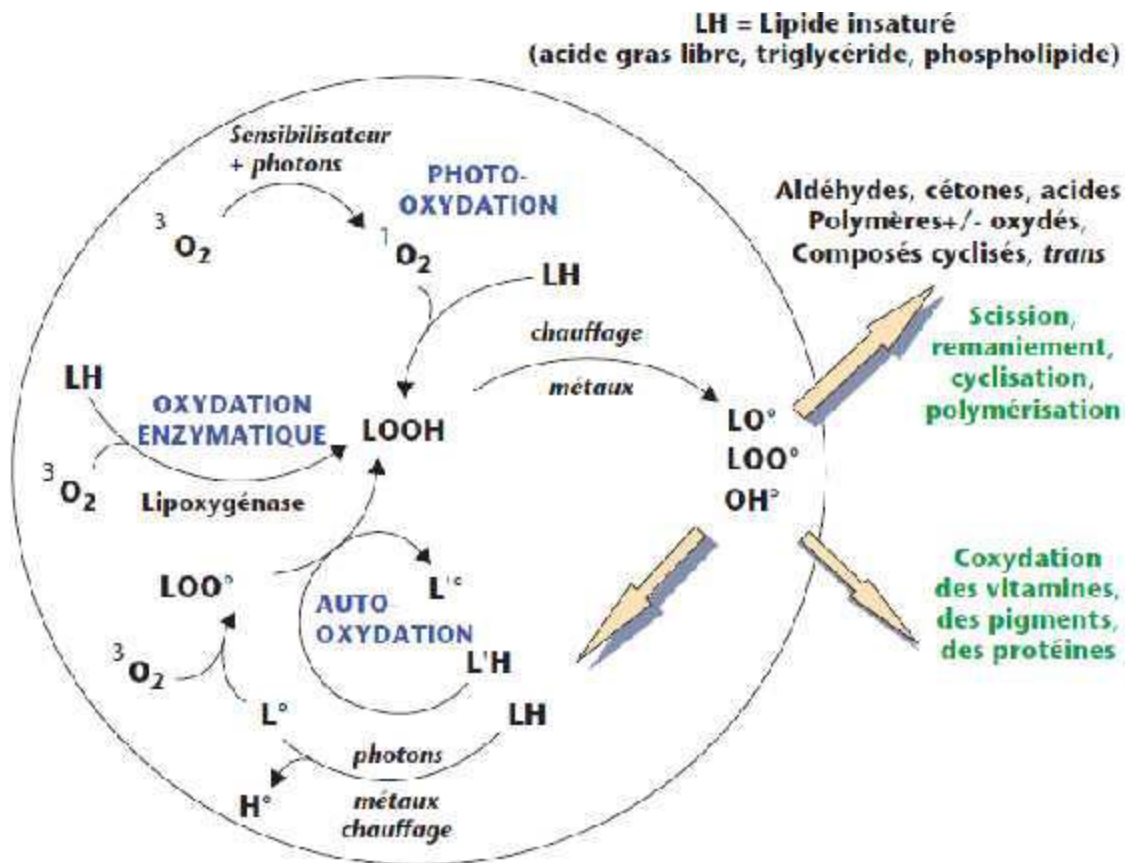
Les facteurs qui influencent l'oxydation des lipides sont nombreuses, il s'agit d'une part des facteurs intrinsèques tels que la composition en acide gras insaturés (concentration et nombre d'insaturations), l'activité de l'eau, la présence de pro-oxydants (ions métalliques, enzymes) ou d'antioxydants naturels (tocophérols, caroténoïdes) et d'autre part des facteurs environnementales dont les principaux sont la température, la lumière, la pression partielle en oxygène les conditions de stockage et de transformation (ROMAN, 2012).

### II.3.2. Mécanismes généraux de l'oxydation

L'oxydation des lipides peut s'effectuer suivant différents mécanismes (tableau VII). Cependant les compositions des produits de la réaction sont quasiment les mêmes et indépendantes du mécanisme (GRAILLE, 2003).

**Tableau VII.** Mécanisme d'oxydation des lipides (GRAILLE, 2003)

Type d'oxydation	Lipides oxydés	Catalyseur	Agent oxydant	Prévention
Auto-oxydation	Tous les lipides insaturés	Métaux lourds Radicaux libres	Oxygène triplet	Antioxydants
Oxydation enzymatique	Lipides polyinsaturés	Lipoxygénases	Oxygène triplet	Inactivation des enzymes
Oxydation due à l'oxygène singulet	Tous les lipides insaturés	Molécules photosensibles	Oxygène singulet	Piégeurs d'oxygène singulet



**Figure 5.** Schéma général de l'oxydation des lipides (BERST et CUVELIER, 1996)

### II.3.2.1. L'auto- oxydation

L'auto-oxydation est le chemin le plus important en ce qui concerne l'oxydation des lipides (GRAILLE, 2003). c'est une réaction auto-catalytique, il s'agit d'un enchaînement de réactions radicalaires se déroulant en trois étapes. Une première réaction produit un radical libre par élimination d'un hydrogène de l'acide gras (initiation).

Puis les réactions s'enchaînent pour produire plusieurs radicaux libres (propagation) qui se combinent pour former des composés non radicalaires (terminaison) (EMRAD, 2003).

#### II.3.2.1.1. Mécanisme réactionnel de l'oxydation des lipides

L'auto-oxydation réaction en chaîne de radicaux libres généralement schématisée en trois étapes (GRAILLE, 2003).

## 1- Initiation

La première de ces étapes est l'étape d'amorçage, ou initiation, au cours de laquelle il y a génération des premiers radicaux alkyle ( $R^\circ$ ) à partir des acides gras insaturés (RH).

Cette première étape est lente, peut être modulée par de nombreux facteurs, notamment la présence d'enzymes dans le cas de matériel biologique, mais aussi par les traitements subis, comme un chauffage ou une exposition à la lumière. Les métaux présents à l'état de traces dans les matières premières ou apportés par les procédés de transformation jouent un rôle catalytique majeur dans les conditions d'auto-oxydation, c'est-à-dire en l'absence d'enzyme et d'exposition à la lumière (VILLIERE et GENOT, 2006).



## 2-Propagation

La deuxième étape réactionnelle est l'étape de propagation, cette phase rapide (JUDDE, 2004), au cours de laquelle les radicaux alkyles précédemment formés réagissent avec l'oxygène moléculaire pour former des radicaux peroxyde ( $ROO^\circ$ ). Ces derniers réagissent à leur tour avec des acides gras et forment des hydro peroxydes (ROOH) et de nouveaux radicaux alkyles, engageant ainsi de nouveaux cycles réactionnels. Les hydro peroxydes, produits primaires de la réaction, sont des molécules instables. Ils se décomposent sous l'effet de la chaleur ou des métaux en donnant naissance à des produits secondaires. Parmi ces derniers, les composés volatils sont à l'origine de la modification de l'odeur des produits oxydés (VILLIERE & GENOT, 2006).



## 3-Terminaison

La troisième étape est la terminaison : les espèces radicalaires réagissent entre elles pour donner des espèces non radicalaires, mettant ainsi fin aux cycles réactionnels

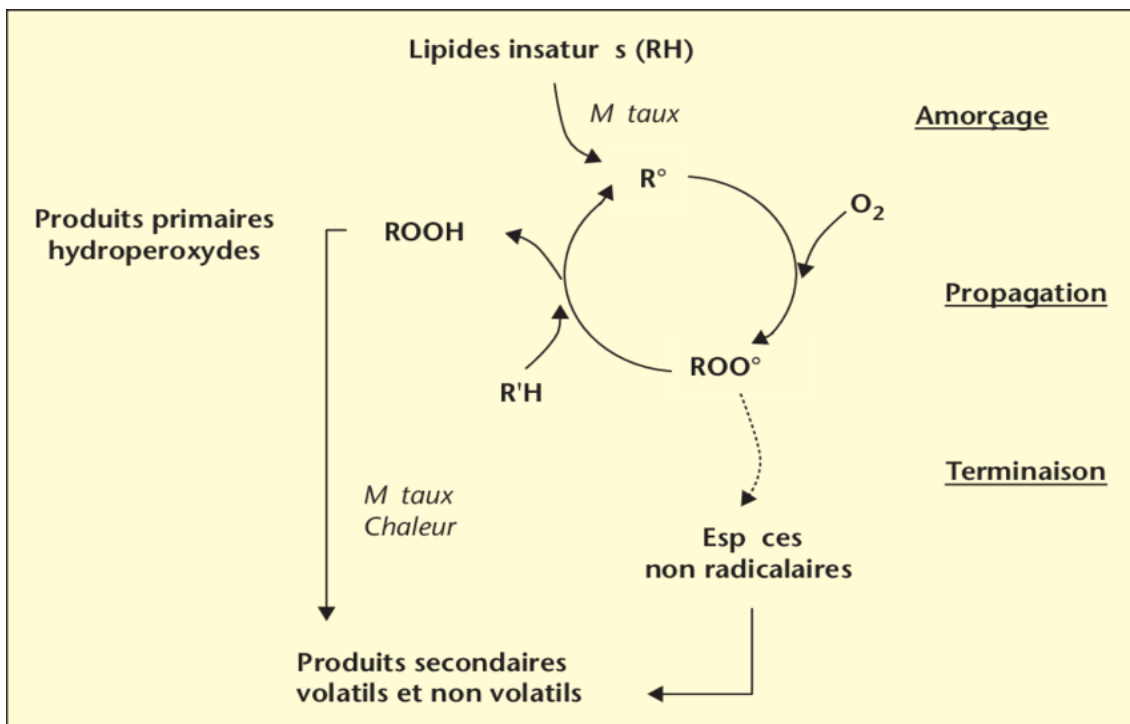


## Bibliographique

Les hydro peroxydes peuvent également se décomposer par scission homolytique de la liaison O-O pour former un radical alcoyl et un radical hydroxyle. Le radical alcoyl réagit avec d'autres substrats et propage la réaction en chaîne. Il peut également subir une scission carbone-carbone de part et d'autre du radical pour former un radical alkyl et un radical vinyle.

Le radical alkyl peut réagir avec un hydrogène, un radical hydroxyle ou une molécule d'oxygène générant ainsi des hydrocarbures, des alcools et d'autres hydro peroxydes.

Le radical vinyle peut réagir avec un radical hydroxyle, un radical hydrogène ou l'oxygène moléculaire pour générer des aldéhydes et des hydrocarbures (EMRAD, 2003).



**Figure 8.** Représentation schématique du mécanisme réactionnel de l'auto-oxydation des lipides (VILLIERE et GENOT, 2006)

### II.3.2.2. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie importante de production d'hydro peroxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photo-sensibilisateurs, tels que les hémoprotéines ou la riboflavine.

Les photo sensibilisateurs (Sens) absorbent l'énergie lumineuse et passent à l'état triplet excité ( $Sens^3$ ). Les photo- sensibilisatrices interviennent dans l'oxydation des lipides selon deux types de mécanismes.

## Bibliographique

Les photo- sensibilisateurs de type I, telle que la riboflavine, agissent comme les radicaux libres initiateurs. Dans leur état triplet, elles arrachent un atome d'hydrogène ou un électron aux molécules lipidiques pour former un radical capable de réagir avec l'oxygène (1).



Selon le second mécanisme, les molécules photosensibles de type II, telles que la chlorophylle et l'érythrosine, réagissent dans leur état excité ( $\text{Sens}^3$ ) avec l'oxygène triplet (2) auquel elles transfèrent leur énergie pour donner de l'oxygène singulet ( $^1\text{O}_2$ ).



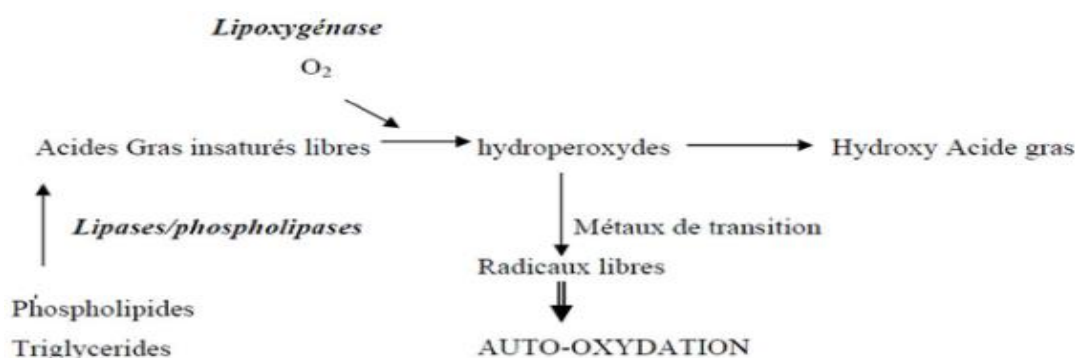
L'oxygène singulet ainsi formée est très électrophile et peut réagir directement sur un acide gras insaturé (RH) formant ainsi un hydro peroxyde ROOH (3).



Par la suite interviennent les réactions radicalaires en chaîne de l'auto oxydation. Les hydro peroxydes ainsi formés sont différents de ceux formés par auto oxydation (*CHIKHOUNE, 2007 ; EMRADE, 2003*).

### II.3.3. Oxydation enzymatique

Un autre mécanisme important d'oxydation est l'oxydation enzymatique. Elle est catalysée le plus souvent par les lipoxygénases qui sont présent à la fois dans les tissus animaux et végétaux (*GRAILLE, 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. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés. Son activité est donc souvent couplée avec celle des lipases et phospholipases (*figure VII*), (*CHIKHOUNE, 2007*).



**Figure 7.** Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique (*GERMAN et KINSELLA, 1985*)

## II.4. Thermo-oxydation

L'emploi des corps gras pour frire, cuire ou rôtir certains aliments s'accompagne inéluctablement d'attaques thermo-oxydatives. Ces réactions augmentent la teneur de l'huile chauffée en produits d'altération et modifient leurs caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles (*GUPTA, 2005*).

## II.5. Principaux composés dérivés de l'oxydation des lipides

Les dérivés de l'oxydation des lipides sont très variés : alcools, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques, esters, hydrocarbures, polymères ainsi que des dérivés hétérocycliques comme des lactones et des alkylfuranes (*JEANETET et al., 2008*).

### II.5.1. Produits primaires

Des radicaux libres sont formés au cours des phases d'initiation et de propagation de la réaction d'oxydation des lipides. Ces espèces très instables et très réactives sont des composés cytotoxiques susceptibles d'induire des altérations des molécules d'ADN et des protéines. Les diènes conjugués, se forment par réarrangement des doubles liaisons du radical lipoylé des acides gras polyinsaturés. Les hydroperoxydes sont des produits intermédiaires de l'oxydation des lipides sans odeur spécifique, ils se décomposent rapidement. Ce sont les précurseurs des composés volatils (*EMRAD, 2003*).

### II.5.2. Produits secondaires

La scission des produits primaires de l'oxydation conduit à la formation de composés secondaires souvent volatils. Ces composés sont responsables des odeurs caractéristiques des composés carbonylés et des alcools issus de la dégradation des AGPI probablement par voie enzymatique (*EMRAD, 2003*).

## II.6. Les indicateurs et la mesure de l'état d'oxydation (rancissement)

L'état d'oxydation dans lequel se trouve une huile peut être mesuré de diverses manières, selon que l'on dose l'apparition des produits primaires d'oxydation ou des produits secondaires, la consommation d'oxygène ou des acides gras insaturés, ou encore la Co-oxydation d'autres substrats, tels que des pigments ou des protéines. Le *tableau VII* présente les diverses méthodes et normes françaises ou internationales actuellement disponibles.

## Bibliographique

La diversité des techniques avec leurs limites, leurs sensibilités et leurs spécificités rend difficile la comparaison des résultats. L'analyse sensorielle reste bien sûr la méthode de choix puisqu'elle est la seule à rendre compte parfaitement de l'état d'acceptabilité mais elle reste lourde à mettre en œuvre (CUVELLER et MILLARD, 2012).

Chaque mesure apporte ainsi une information partielle sur un phénomène global, l'idéal étant d'évaluer l'état d'oxydation par plusieurs méthodes complémentaires, permettant de suivre en parallèle la formation des produits primaires et secondaires. Il faut également avoir conscience que l'oxydation est un phénomène évolutif et qu'une mesure seule à un temps donné, ne permet pas toujours de rendre compte de l'état réel d'oxydation, ni de savoir au quel stade d'avancement des réactions ont se situe. Il est donc intéressant d'établir les cinétiques d'évolution des marqueurs d'oxydation, ce qui permet de repérer le temps d'induction, c'est 'à dire le moment ou commence à apparaître le phénomène d'oxydation (CUVELLER et MILLARD, 2012).

**Tableau VII.** Méthodes d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles *CUVELLER et MILLARD, 2012*)

Marqueurs d'oxydation	Méthodes
Niveau d'insaturation	Indice d'iode (mesure colorimétrique)
Profil en acide gras	Dosage par chromatographie en phase gazeuse après méthanolyse des triglycérides
Teneur en acide gras libre	Indice d'acide par colorimétrie
Teneur en diène conjugués	Mesure par spectrophotométrie UV
Taux de peroxydes	Indice mesuré par odométrie
Présence d'aldéhydes	Indice de para-Anisidine par spectrophotométrie, Test TBA (acide 2-thiobarbiturique) par spectrophotométrie
Taux de polymères	Mesure directe par chromatographie liquide haute performance d'exclusion
Taux de composés polaires	Chromatographie liquide d'absorption et gravimétrie
Composés volatils	Mesure par chromatographie en phase gazeuse de l'espace gazeux
Rancidité	Analyse sensorielle avec juges experts

### II.7. Impact de l'oxydation

L'oxydation de la matière grasse induit à la dégradation de la qualité nutritionnelle et économique de produit dont elle contient car elle entraîne l'appariation de mauvais goût, odeurs et production des composées toxiques, selon *RAHMANI, (2007)* l'impact de l'oxydation des lipides est triple :

- **Impact nutritionnel et organoleptique** : dégradation des vitamines liposolubles et des acides gras essentiels ; développement de saveurs anormales, changement de couleur.
- **Impact sanitaire** : les composés secondaires d'oxydation montrent des effets cytotoxiques et mutagènes (cas du malondialdéhyde , par exemple, qui réagit avec l'ADN ) ou encore des effets cancérigènes, mutagènes et athérogènes ( cas des monomères cycliques et oxystérols).
- **Impact économique** : perte de la valeur marchande suite à l'oxydation qui déprécie la qualité du produit.

## III. La friture

### III.1. Généralités

La friture est l'une des préparations alimentaires les plus anciennes et les plus populaires des méthodes de préparation des aliments (*CHOE et MIN, 2007*).

Les aliments frits riche en matières grasses ont une saveur, une couleur et une texture croustillante désirables, ce qui les rend plus savoureux et très populaires auprès des consommateurs (*CHOE et MIN, 2007*).

La méthode de friture est le procédé dans lequel les aliments sont cuits par immersion dans de l'huile chaude à une température élevée de 150 à 190°C. L'objectif de la friture consiste à sceller la nourriture en l'immergeant dans l'huile chaude de sorte que toutes les saveurs et les jus soient conservés à l'intérieur (*GIMENO et al., 2008 ; CHOE et MIN, 2007*).

Cependant, l'utilisation répétée des huiles de friture, à des températures élevées en présence d'oxygène atmosphérique, reçoivent un maximum de l'abus oxydatif et thermique et produit des résultats indésirables qui affecte la qualité nutritionnelle des aliments, mais aussi être à l'origine de la formation de composées chimique ayant des effets néfastes sur la santé du consommateur (*TYAGI, 1996*).

### III.2. Différentes types de fritures

On distingue quatre types de friture :

#### III.2.1. Friture plate

La friture plate est réalisée à la poêle en présence de peu de matière grasse. Elle se caractérise par le fait que l'aliment est en contact direct avec le support de cuisson et la matière grasse n'est utilisée que une seule fois (*VITRAC et al., 2003*).

#### III.2.2. Friture profonde

La friture profonde peut être définie comme une cuisson par immersion dans une huile ou une matière grasse comestible à une température au-dessus du point d'ébullition de l'eau. C'est un procédé rapide de transfert simultanée de chaleur et de matières. Elle reste une opération complexe à cause des deux transferts de matière de direction opposée au sein du matériau : pour les produits à base d'amidon, de l'eau et quelques solutés s'échappent du

produit et l'huile entre dans l'aliment. Parfois, même de la matière grasse peut s'échapper du produit vers le bain d'huile (*COURTOIS et al., 2012*).

### III.2.3. Friture en restauration collective

La quantité d'huile placée dans la friteuse peut aller de quelques litres 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*).

### III.2.4. Fritures industrielles

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

Le chauffage de l'huile est souvent réalisé de manière indirecte, en utilisant des échangeurs de chaleur avec un fluide thermique. L'installation des filtres dans le système de circulation de l'huile permet l'élimination des débris (*KARLESKIND, 1992*).

## III.3. Les points critiques des huiles de friture

### III.3.1. Type de l'huile

Une huile de friture doit être le moins polyinsaturée possible afin de prolonger sa qualité. Les huiles obtenues à partir d'acides gras saturés sont les plus stables à la friture, donc ont une durée d'utilisation plus longue. Par contre, d'un point de vue nutritionnel, les effets de ces huiles sur la santé sont contestés. D'un autre côté, les huiles obtenues à partir d'acides gras polyinsaturés (considérées meilleures pour la santé) vont s'oxyder rapidement et devenir impropre à la consommation (*BOUCHON, 2009*).

La matière grasse choisie pour les fritures doit résister à de hautes températures de 160 à 180°C et doit être aussi stable à l'oxydation. Les matières grasses les plus stables sont celles qui sont pauvres en doubles liaisons et ne sont pas sujettes à des modifications quand elles entrent en contact avec l'oxygène, les huiles végétales polyinsaturées de la première pression à froid : tournesol, colza et lin offrent un apport thérapeutique important, mais elles ne supportent pas la cuisson, elles sont sensibles à l'oxydation (*Graille, 2003*).

## III.3.2. Vieillessement

Plusieurs facteurs influencent le vieillissement de l'huile, ce qui rend difficile de déterminer le moment précis pour changer l'huile. Une huile usée est d'apparence foncée, épaisse ou visqueuse, peut contenir des dépôts et peut avoir une saveur âcre (ROSSELL, 2001). L'eau relâchée par les aliments lors de la friture attaque l'huile et libère des composés polaires plus susceptibles à l'oxydation et à la détérioration thermique qui s'accumulent au fil du temps. Le mode d'utilisation affecte ainsi la qualité de l'huile. La température critique à ne jamais atteindre ou dépasser est de 200°C. Pour chaque 10°C supérieur à 200°C atteint, l'huile vieillira jusqu'à deux fois plus vite (DELAGOUTTE, 2007). Les variations de températures augmentent l'oxydation de l'huile. La fluidité de l'huile permet son écoulement et d'éviter son absorption. Plus l'huile vieillit, moins elle sera fluide et plus elle sera absorbée par les aliments car elle aura moins tendance à s'égoutter (BOUCHON, 2009, ZIAIFAR, 2008). Suite à des essais, une huile usée contenant moins de 25% de composés polaires n'avait aucune influence sur l'absorption d'huile des frites par rapport à une huile neuve. Selon la législation de différents pays, une huile contenant entre 24% et 30% de composés polaires est impropre à la consommation (DELAGOUTTE, 2007, ROSSELL., 2001). La filtration permet d'enlever les éléments carbonisés mais pas les composés polaires (d'où l'importante de changer l'huile régulièrement puisque la filtration seule n'est pas toujours suffisante).

## III.3.3. Cuisson

### III.3.3.1. Evaporation d'eau

La quantité d'huile absorbée augmente en fonction de la quantité d'humidité perdue au cours de friture, puisque l'huile va occuper en partie l'espace laissée par l'évaporation d'eau (BOUCHON, 2009; ROSSELL, 2001).

### III.3.3.2. Texture

La cuisson modifie la texture et la porosité de la pomme de terre. Pour un même format de coupe, une pomme de terre crue absorbera moins d'huile qu'une pomme de terre précuite, peu importe le mode de pré-cuisson ou de blanchiment (à l'eau ou à l'huile). Ceci peut être expliqué par la porosité de la pomme de terre où plus la pomme de terre est poreuse, plus elle absorbe de l'huile (ZIAIFAR, 2008).

### III.3.3.3. Température de friture

La température de friture dépend du type de produit, de sa taille et de sa composition. Des températures élevées d'huile (160-190°C) peuvent permettre le transfert rapide de la chaleur, un brunissement rapide et un temps de cuisson court. Pour cette raison, mettre une trop grande quantité de nourriture froide dans l'huile chaude est préjudiciable à la qualité des produits et à l'efficacité du procédé car cela entraîne une diminution spectaculaire de la température de l'huile et un temps de cuisson plus long (*COURTOIS et al., 2012*).

### III.3.3.4. Rapport frite /huile

Le ratio frite/huile doit être maintenu inférieur à un poids de frite pour six (1/6) poids d'huile. Ceci permet de maintenir la température de l'huile à des niveaux de friture (supérieur à 130°C) lors de l'immersion des aliments (*ROSSELL, 2001*).

### III.3.3.5. Traitement post-friture ou refroidissement

L'absorption de la majorité de l'huile se produit au moment du refroidissement (20 premières secondes) lorsque la température se situe encore au-dessus de la température d'ébullition de l'eau (*ZIAIFAR, 2008*). Il a été démontré que la plupart de l'huile absorbée se situe en surface. La quantité d'huile absorbée dépend en grande partie de la quantité d'eau enlevée ou de l'humidité perdue en cours de friture (*BOUCHON, 2009*). L'égouttage rapide et mécanique (secousses) de l'huile autour de l'aliment à la sortie du bain joue certainement un rôle important sur la teneur finale en gras puisqu'elle réduit la quantité d'huile qui pourrait être absorbée au cours du refroidissement (*BOUCHON, 2009; ZIAIFAR, 2008*).

## III.4. Principaux corps gras de friture

Les matières grasses utilisées pour la friture peuvent être des graisses et les huiles non hydrogénées ou hydrogénées. Les graisses de friture liquides sont fabriquées à partir de graisses raffinées, huiles blanchies et désodorisées comme l'oléine de palme, l'huile de maïs, l'huile de tournesol et l'huile de soja, huile de colza et huile de canola. Dans les pays méditerranéens, l'huile d'olive dans ses différentes variétés est également utilisée (*BOSKOU, 2010*).

Un apport élevé en acides gras saturés et en acides gras trans provenant des gras de friture est considéré sur le plan nutritionnel indésirable. Afin de réduire l'ingestion de ces AG, les produits de modification génétique comme l'huile de tournesol à haute teneur en acide oléique, le tournesol à faible teneur en acide linoléique, le canola modifié et le soja et

## Bibliographique

d'autres huiles ont été proposées comme de bonnes alternatives à l'huile partiellement hydrogénée (BOSKOU, 2010).

### III.5. La teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse est surtout liée au rapport surface/volume. On peut donc voir une influence de la coupe : plus les frites sont fines, plus elles contiendront de matière grasse ; ceci explique aussi pourquoi les chips affichent des teneurs plus élevées en matières grasses (tableau VIII). Comparées à des frites « maison », la teneur en matières grasses des produits surgelés est, en tendance, légèrement plus basse. Ceci est surtout dû au fait que la matière première est sélectionnée et que le processus de fabrication est très bien maîtrisé (GONDE et MORIN, 2012).

**Tableau IX.** Produits de pommes de terre : valeurs moyennes de teneurs en matières grasses (GONDE et MORIN, 2012)

Produit	Teneur en matières grasses après pré-cuisson	Teneur en matières grasses dans l'assiette
Frites classiques coupe 9 mm	5%	11%
Allumettes coupe 6 mm	6%	13%
Frites au four coupe 9 mm	6%	8%
Allumettes au four coupe 7 mm	7%	9%
Chips	-	25 – 35%

### III.6. Les facteurs de dégradation de l'huile de la friture

La plupart des huiles végétales contiennent, comme on a pu le voir précédemment, des concentrations importantes en acides gras mono insaturés et polyinsaturés et sont habituellement liquides à température ambiante.

Lorsque les huiles sont chauffées, celles-ci subissent des dégradations plus ou moins importantes (Figure 8). Les huiles riches en acides gras mono insaturés, comme l'huile d'olive et l'huile d'arachide, sont plus stables et peuvent être réutilisées plusieurs fois après avoir été chauffées, à l'inverse des huiles riches en acides gras polyinsaturés telles que l'huile de maïs et l'huile de soja. Pour les fritures, il est important de ne pas surchauffer l'huile (ne pas dépasser 180°C) et de la remplacer fréquemment (toutes les 10 utilisations environ) (GORNAY, 2006).

Sous l'effet de l'eau contenue dans les aliments, de l'air et des aliments eux mêmes, l'huile chaude subit des transformations chimiques conduisant à la formation de composés

## Bibliographique

polaires, la diminution de certains composés d'intérêt nutritionnel, l'apparition de composés volatils responsables d'odeurs désagréables et l'apparition de composés non volatils qui s'avèrent toxiques à fortes doses. Les huiles alimentaires usagées contiennent encore, malgré tout, une partie non dégradée importante (GORNAY, 2006).



**Figure 8.** Réactions croisées intervenant dans l'huile lors de son utilisation en friture

### III.7. Réaction et produits de dégradation de l'huile durant la friture

A des températures élevées (entre 160 °C et 180 °C), en présence d'eau et d'oxygène, les triglycérides subissent un grand nombre de réactions complexes qui peuvent être classées en trois grandes familles : oxydation, polymérisation et hydrolyse (VITRAC *et al.*, 2003).

#### III.7.1. Réactions d'oxydation

Au contact de l'oxygène de l'air, elles provoquent l'apparition d'arômes et de changements de couleur, souvent indésirables, dans les huiles de friture. Ces composés d'oxydation indésirables dérivent des hydro peroxydes composés primaires de l'oxydation. Les réactions en chaînes responsables de leur formation sont auto-catalysées, car initiées par l'apparition de composés radicalaires, issus eux-mêmes de l'oxydation des triglycérides du bain (VITRAC *et al.*, 2003).

### III.7.2. Réactions de polymérisation

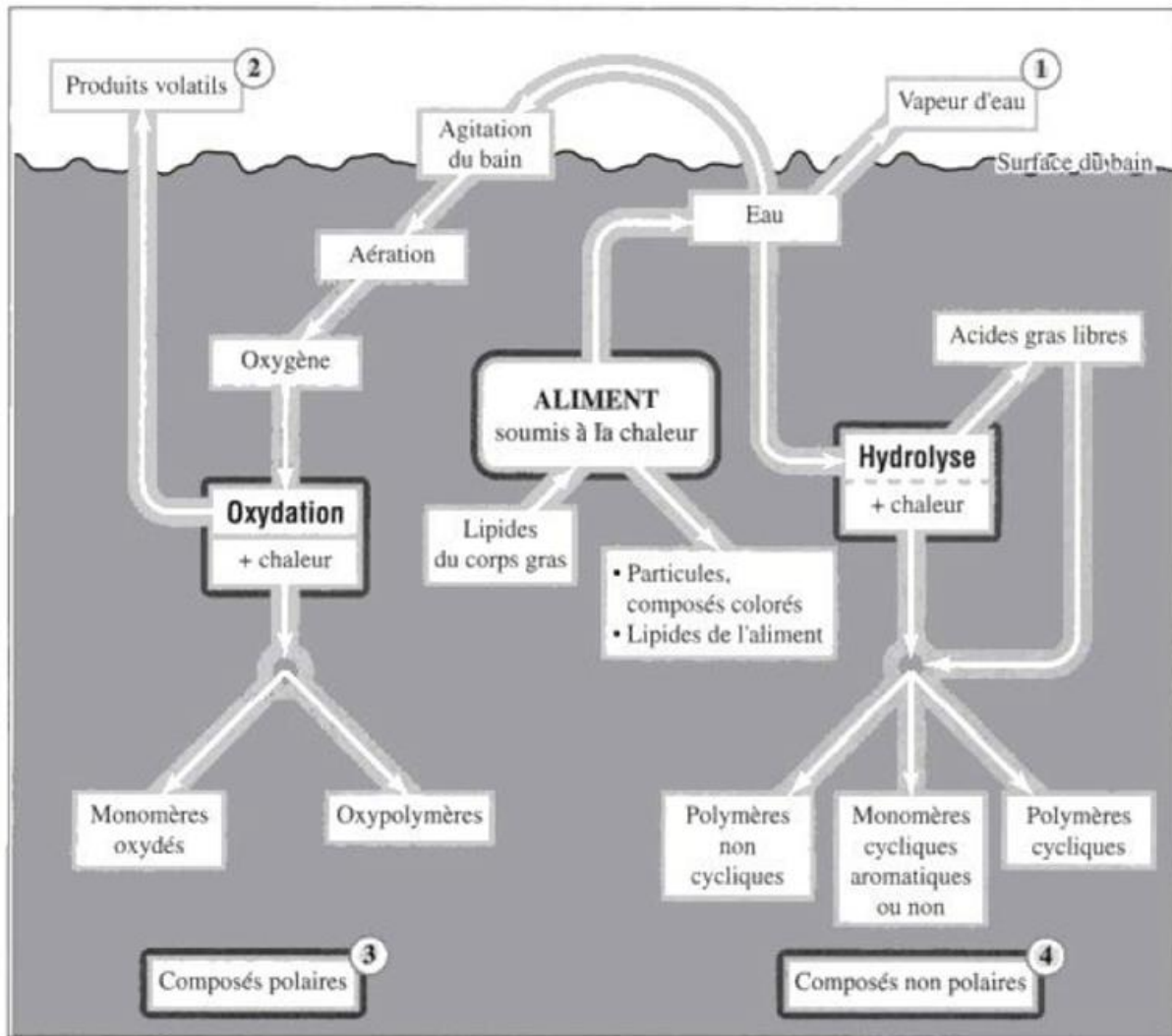
Elles sont responsables de réarrangements inter et intramoléculaires qui sensibilisent l'huile de friture à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de la viscosité apparente des huiles. Des composés semblables à des résines peuvent alors mousser à la surface du bain de friture et sur les parois (*VITRAC et al., 2003*).

### III.7.3. Réactions d'hydrolyse

Elles sont de loin les plus nombreuses dans les conditions normales de friture. Elles conduisent, au contact de la vapeur d'eau à la formation d'acides gras libres, de monoglycérides, de di glycérides, voire de glycérol. Ces composés sont alors très sensibles aux réactions précédemment citées (réactions d'oxydation et de polymérisation) et les produits qui en dérivent sont responsables des principaux défauts de goût ou d'odeur. (*DGCERF, 2012*).

Au fur et à mesure de leur dégradation, les corps gras du bain sont de plus en plus volatils et le bain d'huile commence à fumer. Le point de fumée est la température à partir de laquelle le bain « fume » régulièrement et signale une dégradation continue et importante des matières grasses du bain. Les CG usuels ont des points de fumée initialement compris entre 180 et 230 °C. La dégradation des corps gras conduit à un abaissement significatif du point de fumée (170 °C et en deçà), augmente la viscosité des huiles et accroît la teneur en tensioactifs responsables de la formation de mousse à la surface du bain et de l'abaissement de la tension superficielle entre les aliments essentiellement aqueux et les huiles (*GORNAY, 2006*).

*La figure 9* présente le schéma global des réactions d'altération des huiles dans un bain de friture sous l'effet de la chaleur.



**Figure 9.** Réactions d'altération des huiles dans un bain de friture sous l'effet de la chaleur (VIERLING, 2001)

Etant donné le nombre de facteurs importants jouant sur la transformation des huiles (nature de l'huile, procédé de friture, température du bain...), il est impossible de donner une analyse chimique précise d'une huile de friture usagée d'autant plus qu'à ce jour, toutes les espèces chimiques n'ont pas été entièrement identifiées. En effet, on estime à plus d'un millier environ le nombre d'espèces chimiques nouvelles formées dans les huiles de fritures usagées. Malgré tout, on peut recenser qualitativement la nature des espèces chimiques formées en fonction du type d'altération envisagé (Tableau IX) (GORNAY, 2006).

## Bibliographique

**Tableau X.** Principales voies de formation d'espèces chimiques nouvelles (*DOBARGANES, 1998*)

Altération	causes	Composés formés
thermique	Température	-Monomères cycliques. -Dimères et polymères.
oxydation	Air	-monomères oxydées, dimères et polymères -dimères et polymères non polaires. -composés volatils (hydrocarbures, cétones, alcools, acides, ect.).
hydrolyse	Humidité	-Acides gras libres, mono, di et glycérols.

### III.8. Prévention de la dégradation de l'huile de friture

L'une des méthodes qui peut être utilisée pour retarder ou inhiber l'oxydation des acides gras est l'utilisation d'antioxydants.

Les antioxydants primaires sont considérés comme des briseurs de chaîne ou des intercepteurs de radicaux libres et comprennent principalement des composés phénoliques. Les antioxydants primaires sont ceux qui sont le plus souvent retrouvés dans le domaine alimentaire. Bien souvent, il s'agit d'antioxydants synthétiques, tels que le BHT, BHA et TBHQ, ainsi que le gallate de propyle mais ils peuvent également être d'origine naturelle. C'est le cas par exemple pour le  $\alpha$ -tocophérol, l'acide ascorbique et les dérivés de l'acide cinnamique. Les antioxydants secondaires sont considérés comme des antioxydants préventifs pouvant agir en éliminant, ou du moins en diminuant la concentration d'oxygène présent dans l'huile (*PERREAULT, 2015*).

### I. Matériels et méthodes

#### I.1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre étude consiste à évaluer le degré de résistance de l'huile « elio » lors de son utilisation en friture à la poêle. Contrairement à la friture à l'aide de la friteuse électrique, ce mode de cuisson ne permet pas une stabilisation de la température de friture.

Toutefois, cette étude a été réalisée pour élargir nos connaissances sur les huiles de friture, dans le but de donner une image claire sur ce qui se passe réellement dans les cuisines de la restauration commerciale notamment celles des fast-foods du secteur agro-alimentaire.

Ce modeste travail a été effectué dans des conditions précises et d'une manière objective afin de contribuer, à travers certains éléments de réflexion scientifique, à la recherche appliquée dans le domaine de l'agro-alimentaire et de contrôle qualité liée à la réalité socio-économique.

Dans ce contexte, on est intéressés à l'évaluation de la stabilité d'une huile végétale raffinée, sous l'appellation « elio », à travers une caractérisation physico-chimique et la vérification de la qualité générale des huiles de bain de friture au-delà des dix fritures autorisées.

La particularité de cette huile est sa forte teneur en acides gras polyinsaturés : l'huile « elio » apporte, en plus de l'acide linoléique, une quantité notable d'acide  $\alpha$ -linoléique (C18 :3,  $\omega$ 3) ; cette huile est issue d'un couplage des huiles de soja et de tournesol.

En effet, le nombre de friture réalisés est de dix en continue sur le même bain de friture sans incorporation de l'huile fraîche, dans une friteuse normal sans couvercle et à température non contrôlable, avec un intervalle de temps de 04 minutes entre deux fritures.

Par conséquent, Les essais de fritures ont été préparé à la maison et les différents indices physico-chimiques ont été réalisés dans le laboratoire commun de la faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'Université de Mouloud Mammeri de TIZI - OUZOU.

### I.2. Conduite expérimentale

#### I.2.1. choix de l'huile

Au cours de ce travail, l'huile utilisée sous la marque « elio » produite par l'agro industrie du complexe « CEVITAL » de Bejaia, Algérie.

Notre choix a porté sur cette l'huile en raison de sa forte utilisation dans la préparation culinaire et sa disponibilité et de son coût raisonnable. Cette huile à été achetée dans un magasin; elle est produite à la raffinerie « CEVITAL » : elle est conditionnée dans un emballage en matière plastique (PET) de 5 litres ; elle est, ensuite, entreposée à l'abri de la lumière jusqu'à la réalisation des fritures.

Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage de cette marque d'huile sont intégrées dans *le tableau XI*.

**Tableau XI.** Caractéristiques mentionnés sur l'étiquette de l'emballage

ELIO	
Ingrédient	Soja + tournesol
Condition particulière de conservation et l'utilisation	-Ne pas chauffer l'huile au-delà de 180 °C -Placer la bouteille dans un endroit propre et tempéré, à l'abri de la lumière et source de chaleur



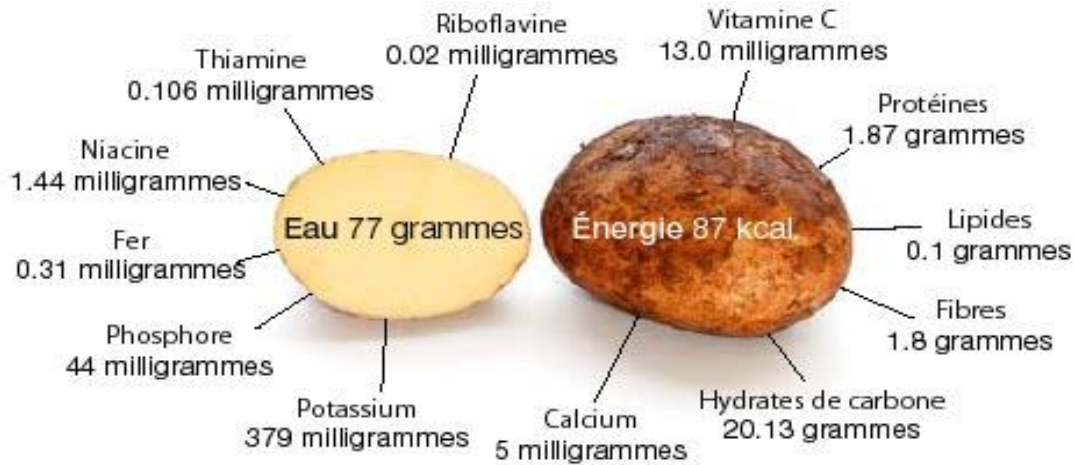
**Figure 10.** L'huile elio (photo originale)

#### I.2.2.Choix de l'aliment à frire

Les essais de friture ont été réalisés sur la pomme de terre pour les raisons suivantes :

- c'est un aliment de large utilisation en friture domestique et collective.
- facile à découper en différentes formes géométriques.
- de composition simple, riche en glucides et pauvre en lipides.

La composition biochimique de la pomme de terre est portée dans la figure 11.



**Figure 11.** La composition biochimique de la pomme de terre (FAO, 2008)

### I.2.3. Procédure de friture

Durant l'expérimentation, les tubercules de pomme de terre sont nettoyés, épluchés manuellement, lavés et découpés à l'aide d'une coupeuse ; les dimensions des frites sont uniformisées (7cm x 1 x 0.8cm), séchées avec du papier absorbant et pesées avant de les frire.

Cette opération est répétée tout au long des essais de friture. Le rapport quantité de pomme de terre / volume d'huile est de 300g/L.

La friteuse employée et les bâtonnets de pomme de terre préparés apparaissent dans la *figure 12*.



**Figure 12.** Friteuse et les frites fraîches (photo originale)

## Partie expérimentale

Ces fritures répétées sont réalisées en continue sans ajout d'huile fraîche au bain ; la quantité de frites introduite dans le bain est réduite graduellement le long des cycles de fritures pour maintenir constant le rapport poids de frites / volume d'huile de bain ( $1/10 \leq 1/6$ ) *tableau XIII.*

Les conditions expérimentales des fritures sont énumérées dans le *tableau XII*

**Tableau XII.** Conditions expérimentales des essais de fritures

<b>Friture en discontinue</b>	<b>Condition expérimentale</b>
Nombre de friture	10
température	Non contrôlée
Duré de cuisson	4 – 7 min
Temps entre deux fritures	4 min
Volume de l'huile initiale	3 L
Rapport de pomme de terre/ huile	300g/l
Forme des tranches de pomme de terre	bâtonnet
Volume d'huile prélevé	200ml
Nombre d'échantillon pris en considération	5

**Tableau XIII.** Rapport quantité de pomme de terre sur volume d'huile de bain.

<b>Nombre de fritures</b>	<b>Volume de l'huile en ml</b>	<b>Quantité de pomme de terre en g dans chaque bain</b>
1	3000	300
2	2800	280
3	2600	260
4	2400	240
5	2200	220
6	2000	200
7	1800	180
8	1600	160
9	1400	140
10	1200	120

### I.2.4. Echantillonnage

Afin de mesurer le degré d'altération de l'huile étudiée. Après chaque cycle de friture, un volume d'huile (200 ml) est prélevé après homogénéisations de bain de friture. Puis l'huile est transvasée dans un bocal en verre transparent, bien fermé recouvert d'un papier aluminium à l'abri de la lumière et de l'air, refroidie à température ambiante. Ensuite, entreposée au réfrigérateur 4°C. Les échantillons prélevés apparaissent dans *la figure 13*.

Les échantillons sont ensuite analysés dans les mêmes conditions durant toute l'expérimentation.



**Figure 13.** Photos des échantillons prélevés (photo originale)

### I.3. Analyse organoleptique

Dans le but d'identifier les propriétés organoleptiques des huiles de fritures, une analyse sensorielle a été réalisée pour déterminer la dégradation de la qualité de l'huile pendant les 10 fritures réalisées.

### I.4. Analyses physico-chimiques

Pour suivre l'évolution de l'altération des huiles au cours de leur utilisation en friture, des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur ces huiles à l'état frais et sur les huiles des bains de fritures.

#### I.4.1. Analyse physique

##### I.4.1.1. Teneur en eau et matières volatils (humidité) (AFNOR NFT606-201, 1984).

La teneur en eau et en matière volatiles d'un CG est définie comme étant la perte de masse subit par ce produit après son chauffage à  $103\pm 2^\circ\text{C}$  pendant un temps suffisamment court pour éviter l'oxydation, mais suffisamment long pour permettre l'élimination totale de l'eau.

- **Principe**

Le principe consiste à chauffer une prise d'essai à  $103\pm 2^\circ\text{C}$  dans une étuve pendant 1 heure de temps.

La teneur en eau est exprimée en pourcentage en masse par la formule suivante :

$$H\% = ((m1 - m2)/(m1 - m0)) \times 100$$

Soit

**m0** : la masse en gramme de bécher

**m1** : la masse en gramme de la prise d'essai et la masse de bécher avant chauffage

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

##### I.4.1.2. La densité

La densité relative à  $20^\circ\text{C}$  ( $D_{20}$ ) d'une huile ou d'une graisse est le quotient de la masse dans l'atmosphère d'un certain volume de cette l'huile ou de graisse à une température de  $20^\circ\text{C}$  par la masse de même volume d'eau distillée à  $20^\circ\text{C}$ .

- **Principe**

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

La densité est exprimée par la relation suivante:

$$D = \frac{m1 - m}{m0 - m}$$

Soit :

**m** : poids de l'éprouvette vide

**m1** : poids de l'éprouvette plein de l'huile

**m0** : poids de l'éprouvette plein d'eau

### I.4.1.3. La viscosité (ISO 9000)

La viscosité est définie comme étant le coefficient de frottement intramoléculaire. C'est la mesure du temps que nécessite une balle en métal pour s'écouler dans un capillaire d'un viscosimètre rempli d'huile.

La viscosité est exprimée par la formule suivante :

$$\mu(c.p0) = k(pf - p)t$$

Soit :

**μ** : La viscosité en Centipoise

**pf** : La densité de la balle de métal qui est égale à 8,02 g/ml

**p** : Densité de l'huile

**t** : Le temps de descente en minute

**k** : Constante du viscosimètre qui est égale à 35

### I.4.1.4. Taux de composés polaires

Le pourcentage de CPT est défini comme étant le pourcentage en poids de composés d'altération néoformés au cours du chauffage des huiles de friture, et sont représentés principalement par les monomères de triacylglycérols oxydés et des polymères de triacylglycérols. Ces produits, souvent toxiques, affectent l'état nutritionnel du consommateur (GUILLEN ET URIARTE, 2011).

- **Principe**

Le dosage du taux de TPC s'effectue par une lecture directe du pourcentage qui s'affiche sur l'écran de l'instrument « **testo 270** »). Cette mesure est basée sur la détermination de la constante diélectrique d'une huile préalablement chauffée, et qui est transformée en pourcentage (poids / poids) de composés polaires (*GUILLEN ET URIARTE, 2011*).



**Figure 14.** Le friteste « testo 270 » (photo originale)

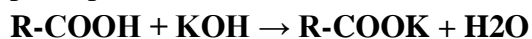
### I.4.2. Analyses chimiques

#### I.4.2.1. Indice d'acidité (*NF T60-204, 1988*).

L'acidité est l'expression conventionnelle en pourcentage d'acides gras libres selon la nature du CG. 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**

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



L'indice d'acidité est donné par la formule suivante :

$$A\% = \frac{V * N * M}{10 * m}$$

Soit :

**A** : acidité exprimée en pourcentage

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

**N** : normalité de la solution de KOH qui égale à 0.1 N

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

**M** : masse molaire de l'acide oléique (282.5g/mol)

**I.4.2.2. Indice de peroxyde (AFNOR NF T60-220, 1988).**

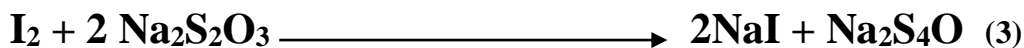
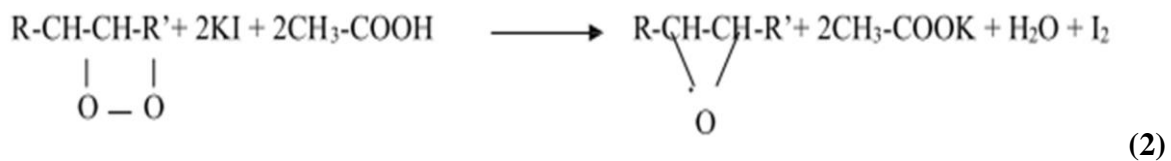
C'est le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif de peroxyde contenu dans un kilogramme de CG et oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode. Il est exprimé en meq d'O<sub>2</sub>/kg d'huile.

Il donne une évaluation sur la quantité de peroxydes présents dans un corps gras. Il s'agit d'un traitement d'une prise d'essai en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium ; l'iode libéré est titré par une solution de thiosulfate de sodium (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) à 0.01 N en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré selon la réaction 3.

La réaction de formation de peroxyde est :



La réaction d'iodure de potassium au milieu acide se présente comme suit :



L'indice de peroxyde est donné par la formule suivante :

$$Ip \left( meq \frac{O_2}{kg} \right) = \frac{(V - V_0)}{p} * 10^3$$

Soit :

**Ip** : indice de peroxyde en milliéquivalent d'oxygène actif /Kg d'huile

**V**: volume de la solution Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub> utilisée pour le titrage en ml

**V0**: volume de la solution Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>3</sub> utilisée pour l'essai à blanc en ml

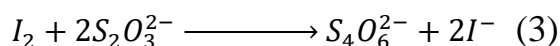
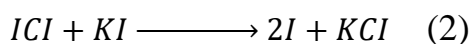
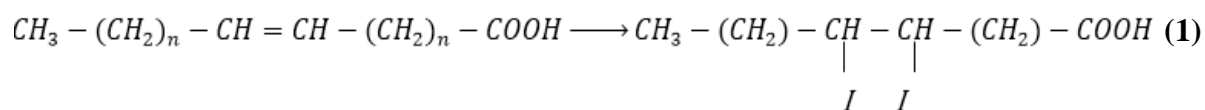
**N**: normalité de la solution de thiosulfate de sodium (0,01N)

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

### **I.3.2.3. Indice d'iode**

L'indice d'iode ( $I_i$ ) est la quantité d'iode en gramme fixée par 100g de corps gras. Le principe de cette méthode consiste d'ajouter à une prise d'essai une solution de mono chlorure d'iode dans un mélange d'acide acétique et de tétrachlorure de carbone. Après un temps de réaction donné (30mn), on détermine l'excès d'halogène par addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau distillée, puis par titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium.

Les réactions qui se passent sont les suivantes :



L'indice d'iode est exprimé par cette formule :

$$I_i(gI_2/g) = \frac{N * (V_0 - V) * 12.69}{P}$$

Soit :

**I<sub>i</sub>**: indice d'iode

**V<sub>0</sub>**: volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml

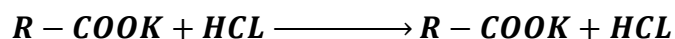
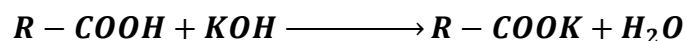
**V**: volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml

**N**: normalité de thiosulfate de sodium

**12,69**: masse d'iode correspondant à 1ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras

### **1.4.2.4. Indice de saponification**

C'est la quantité en mg de KOH nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras. La prise d'essai est soumise à une ébullition pendant 1 heure sous réfrigération à reflux avec une solution de KOH alcoolique puis titrée par l'acide chlorhydrique (HCL) à 0.5N en présence d'un indicateur coloré la phénophtaléine.



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

$$I_s(\text{mgKOH/g d'huile}) = \frac{56.1 * T * (V_0 - V)}{M}$$

Soit :

**56,1:** Masse molaire exprimée en g/mole de KOH

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

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

**T:** normalité exacte de la solution d'HCL utilisée = 0,5 N

**M:** masse de la prise d'essai (g)

### I.5. Analyse statistique

Le traitement statistique des résultats obtenus des analyses physico-chimique (viscosité, indice de peroxyde, acidité, indice d'iode et indice de saponification est réalisé grâce au logiciel **STATBOX**. Il consiste en une analyse de la variance d'un seul facteur étudié (le nombre de fritures).

## II. Résultats et discussion

### II.1. Aspect des bains de fritures et des frites préparées

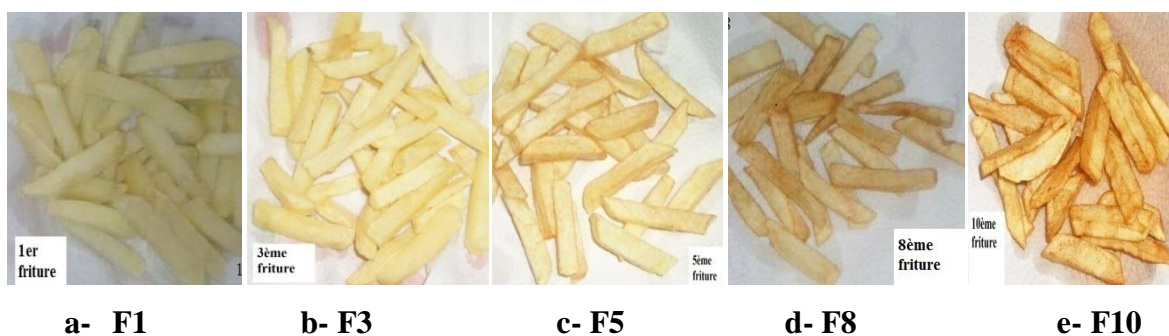
Pour évaluer le degré d'altération de l'huile des bains de fritures, l'aspect organoleptique est le premier critère étudié. Les perceptions notées sont mentionnées dans le *tableau XIV*.

Selon *GRANDGIRARD (1992)*, l'altération des huiles au cours des fritures répétées se manifeste par la détérioration de leur qualité organoleptique, telles que la couleur, l'odeur, la mousse, etc.

**Tableau XIV** . Aspect des bains de fritures et des frites au cours des fritures répétées

Observation Nombre de Fritures	Couleur de bain	Couleur de la frite	L'odeur	Fumée	Mousse
1	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
2	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
3	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
4	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
5	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
6	Claire	Dorée	Caractéristique	-	-
7	Claire	Dorée +	Caractéristique	-	-
8	Claire	Dorée ++	Caractéristique	-	-
9	Légèrement brun	Dorée +++	Caractéristique	-	-
10	Légèrement brun	Dorée ++++	Caractéristique	-	-

Absence (-) Présence (+) Intense (+++)



**Figure 15.** Evolution de la couleur des frites préparées (photos originales)

Les résultats portés dans le *tableau XIV* montrent que la couleur du bain de friture devient légèrement brune à partir de la 9<sup>ème</sup> friture. Cependant, durant tout le processus de friture, aucune altération de l'odeur n'est perçue et que le dégagement de la fumée n'est pas remarquée.

Selon *JUDDE (2004)*, les composés volatils, tels que les cétones et les aldéhydes sont responsables des saveurs de rance des huiles de fritures ; ces composés sont caractérisés par un seuil de détection très faible. Par ailleurs, *FREDOT (2005)* affirme que le point de fumée des huiles diminue selon leurs niveaux d'altération. Ainsi, la qualité organoleptique du produit frit diminue ; elle se traduit par le changement de la couleur des frites au fur et à mesure que le processus de friture avance.

Les résultats obtenus montrent que la couleur des frites commence à prendre la teinte brune à la 7<sup>ème</sup> friture, comparativement aux résultats obtenus par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ayant travaillé sur la même marque d'huile « elio » où la couleur brune est apparue tard, à la 15<sup>ème</sup> friture. De même pour *BOUAOUD et DAHMOUN(2015)* qui ont noté l'apparition de la couleur brune à la 10<sup>ème</sup> friture. Ces auteurs ont travaillé dans des conditions différentes des nôtres, les premiers ont utilisé une friteuse électrique avec couvercle, une température stable, maintenue à 180°C, les deuxièmes auteurs ont travaillé dans les mêmes conditions de laboratoire, mais les fritures ont été menées dans une friteuse sans couvercle.

Dans notre cas, les fritures ont été réalisées à l'échelle ménagère, à l'aide d'une friteuse normale sans couvercle (la poêle) et à température non contrôlée. Une couleur dorée prononcée des frites indique un stade avancé du brunissement non enzymatique ; c'est le résultat de la réaction de *Maillard* se déroulant entre les glucides et les acides aminés de la pomme de terre introduite dans les bains de fritures (*JUDDE, 2004*).

On remarque dans notre étude, l'absence de formation de mousse persistante pour les dix cycles de friture. Selon *GERTZ (2008)*, l'apparition d'une mousse constitue un signe d'altération avancée d'une huile. Une utilisation prolongée du bain de friture accentue le phénomène d'altération de l'huile en donnant naissance à des composés capable de stabiliser les bulles de vapeur émises par les aliments émergés dans le bain. Les bulles s'accumulent en couches successives et enveloppent les aliments d'une couche isolante entravant le déroulement normal des cycles de la friture. Notons que dans tous les mémoires soutenus au département de technologie alimentaire, aucune formation de mousse persistante n'a été signalée.

### I.2. Analyses physico-chimiques

#### II.2.1. Analyses physiques

##### II.2.1.1. Evolution de la teneur en eau et en matières volatiles

D'après les normes fixées par le *CODEX ALIMENTARIUS (1992)*, les huiles raffinées fraîches ne doivent pas contenir d'eau, même sous forme de traces. Lors du traitement technologique, notamment à l'étape de désodorisation, l'humidité contenue dans l'huile brute est éliminée.

Les résultats des teneurs en eau de l'huile « elio » à l'état frais ainsi que les huiles de bains de friture sont rassemblés dans le *tableau XV*.

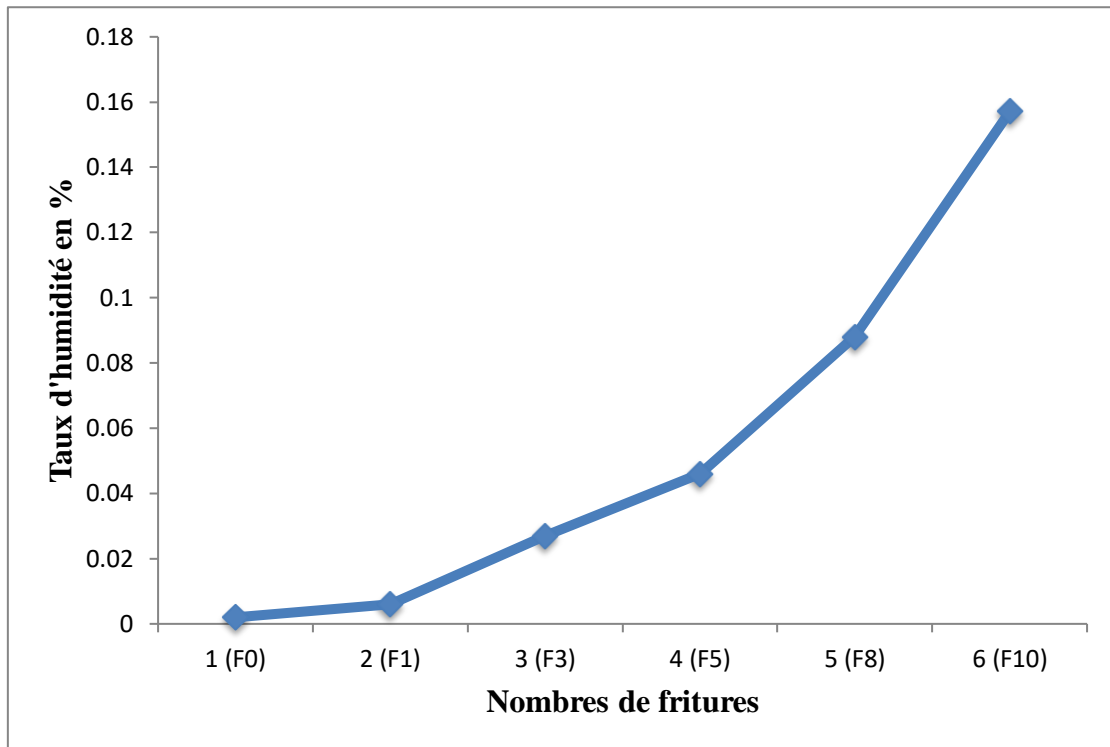
**Tableau XV.** Résultats de taux d'humidité (%)

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
Moyenne	0.002 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.027 ± 0.003	0.046 ± 0.002	0.088 ± 0.004	0.157 ± 0.003

L'huile raffinée fraîche utilisée dans notre étude expérimentale est caractérisée par une humidité de 0.002% ; cette valeur est identique à celle enregistrée par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* sur la même marque de l'huile « elio » ; la présence de l'eau même à l'état de trace pourrait être liée au mode de traitement thermique appliqué lors de la désodorisation industrielle.

Nos résultats corroborent avec ceux obtenus par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* qui ont noté aussi une augmentation de l'humidité de l'huile des bains de friture par apport à l'huile fraîche, mais cette augmentation est différente de celle obtenue dans notre étude. Ces auteurs ont enregistré une valeur de 0.036 pour l'huile fraîche contre une valeur de 0.002 pour la notre, 0.099 lors de la 10<sup>ème</sup> friture, contre une valeur de 0.157 enregistrée dans notre étude, avec un pourcentage d'augmentation de 7.75%. Cette différence pourrait être due au temps de refroidissement prolongé qui aurait favorisé l'humidification des bains, le mode de cuisson ou à la teneur différente en eau de la pomme de terre utilisée dans ces études.

Le traitement thermique appliqué à notre huile lors de la préparation des frites, a induit une augmentation continue de l'humidité des huiles des bains de fritures. La *figure 16* montre que cette humidification augmente au fur et à mesure que le nombre de friture augmente.



**Figure 16 :** Evolution de l'humidité en fonction du nombre de fritures.

L'humidification de l'huile des bains de fritures analysées pourrait être due à la formation d'eau et les matières volatiles au cours des réactions thermo-oxydatives se produisant lors du processus de friture mené à une température élevée. En effet, l'eau et le  $\text{CO}_2$  constituent les produits terminaux de la décomposition des hydroperoxydes. Par ailleurs, l'eau contenue dans les bâtonnets de frites fraîches pourrait contribuer à l'augmentation de l'humidité de l'huile de bain.

L'analyse de la variance (*Annexe 8*) pour la variable humidité donne une probabilité égale à 0 donc on a des différences très hautement significatives entre les niveaux de facteur.

Le test de NEWMAN-KEULS (*Annexe 9*), révèle 5 groupes homogènes (A, B, C, D, et E), chaque groupe représente un niveau de facteur, donc ces différences qui sont très hautement significatives existent entre chaque niveau de facteur.

### II.2.1.2. Evolution de la densité

Selon *KARLESKIND (1992)*, la densité d'une huile renseigne sur le groupe systématique auquel elle appartient. La densité d'une huile est influencée par sa composition intrinsèque, la longueur de la chaîne hydrocarbonée ainsi que l'insaturation de ses AG constitutifs.

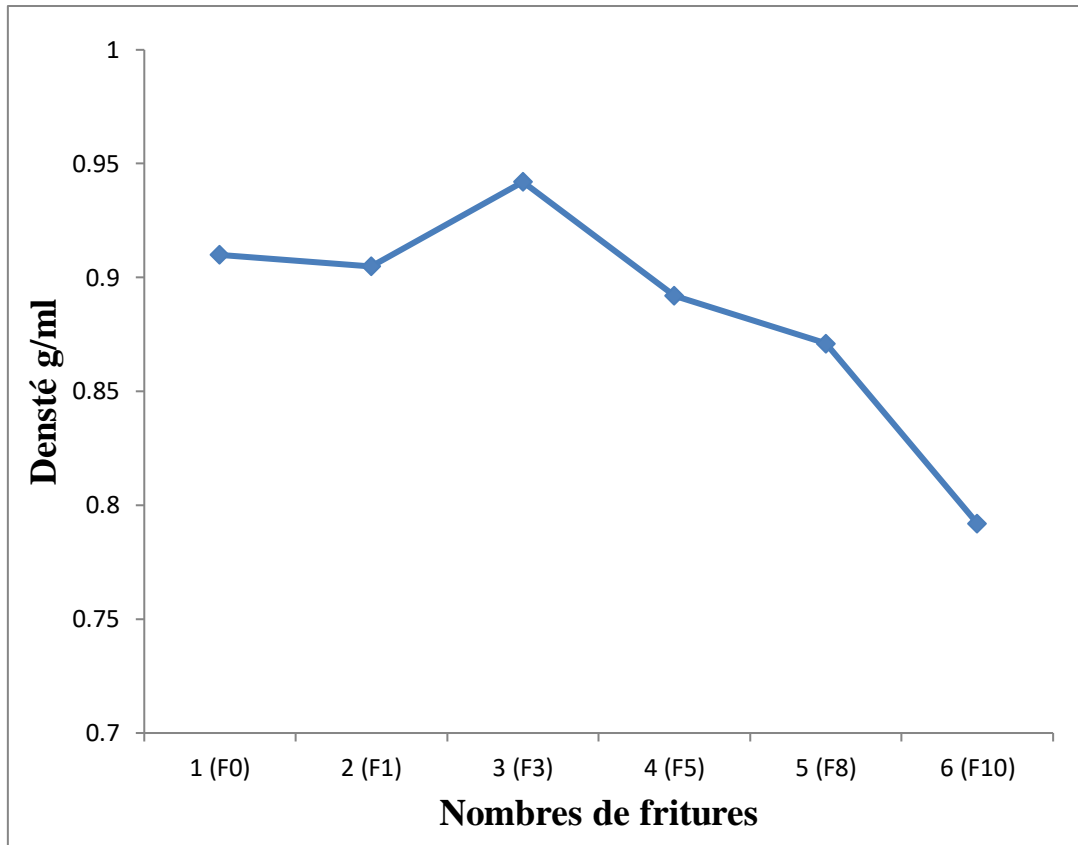
La densité de l'huile est fonction non seulement de l'insaturation, mais aussi de son état d'oxydation ou de polymérisation. Elle dépend de sa température et sa composition chimique. La densité des AG et des glycérides diminue au fur et à mesure que leur poids moléculaire diminue et que le degré d'insaturation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

Les résultats de mesure de la densité de l'huile fraîche et ainsi que les bains de fritures sont apportées dans *le tableau XVI*

**Tableau XVI .** Résultats de la mesure de la densité

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
Moyenne	0.910	0.905	0.942	0.892	0.871	0.792
	±	±	±	±	±	±
	0.005	0.012	0.002	0.01	0.022	0.003

Selon le *Codex alimentarius (1999)*, la densité des huiles raffinées se situe entre 0.909 et 0.916. La densité de l'huile « elio » qu'on a utilisé pour la réalisation des essais de friture à l'état frais est conforme à la norme (0.910). La *figure17* illustre l'évolution de la densité en fonction du nombre de fritures.



**Figure 17.** Evolution de la densité en fonction du nombre de fritures

D'après la *figure17*, on constate d'abord une augmentation de la densité de l'huile durant le 3<sup>ème</sup> bain de friture par rapport à la valeur affichée par l'huile à l'état frais. Cette augmentation peut être due à la formation des produits de haut poids moléculaire au début de chauffage de l'huile, ce qui s'explique selon *DOBARGANES et MARQUEZ-RUIZ (1996)* ; *KALOGIANNI et al. (2009)* que lors de la friture et du chauffage, des produits de poids moléculaire plus élevé que les triglycérides constitutifs de l'huile à l'état frais sont générés ; ceux-ci proviennent des réactions de polymérisation et d'oxydation catalysées par la température.

Après, on constate une diminution de la densité de l'huile durant tous les bains de friture qui se suivent par rapport à la valeur affichée par l'huile à l'état frais. Cette diminution peut être due à l'accumulation des produits de faibles poids moléculaire au cours de chauffage continu de l'huile.

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.

## Partie expérimentale

---

La cinétique de la densité obtenue dans notre cas (où le mode de cuisson est différent ; friture à la poêle, chauffage continu et la température non contrôlée), est différente de celle obtenue lors des fritures avec friteuse électrique à température fixe. Dans notre cas, on a observé une cinétique en deux phases : une phase où la densité augmente et une deuxième phase où la densité diminue, tandis que, pour la même marque d'huile, *BOUHAOUD et DAHMOUN (2015)* ont enregistré une augmentation continue de la densité au cours des fritures.

L'analyse de la variance (*Annexe 10*) pour la variable densité nous donne une probabilité = 0, donc on a des différences très hautement significatives entre les niveaux de facteur. Cela veut dire que le facteur nombre de friture influe sur la densité de l'huile.

Le test de NEWMAN-KEULS(*Annexe 11*), montre 4 groupes homogènes ; le groupe A qui est constitué du troisième bain de friture, le groupe B qui est constitué des bains de fritures F0,F1 et F5, le troisième groupe C qui est constitué du huitième bain de friture et le quatrième groupe D qui constitue de dixième bain de friture, cela signifie que les différences n'existent pas entre tous les niveaux de facteur, mais uniquement entre les 4 groupes homogènes.

### II.2.1.3. Evolution de la viscosité

La viscosité d'une huile est sa résistance à l'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 examinée (*PERRIN, 1992*).

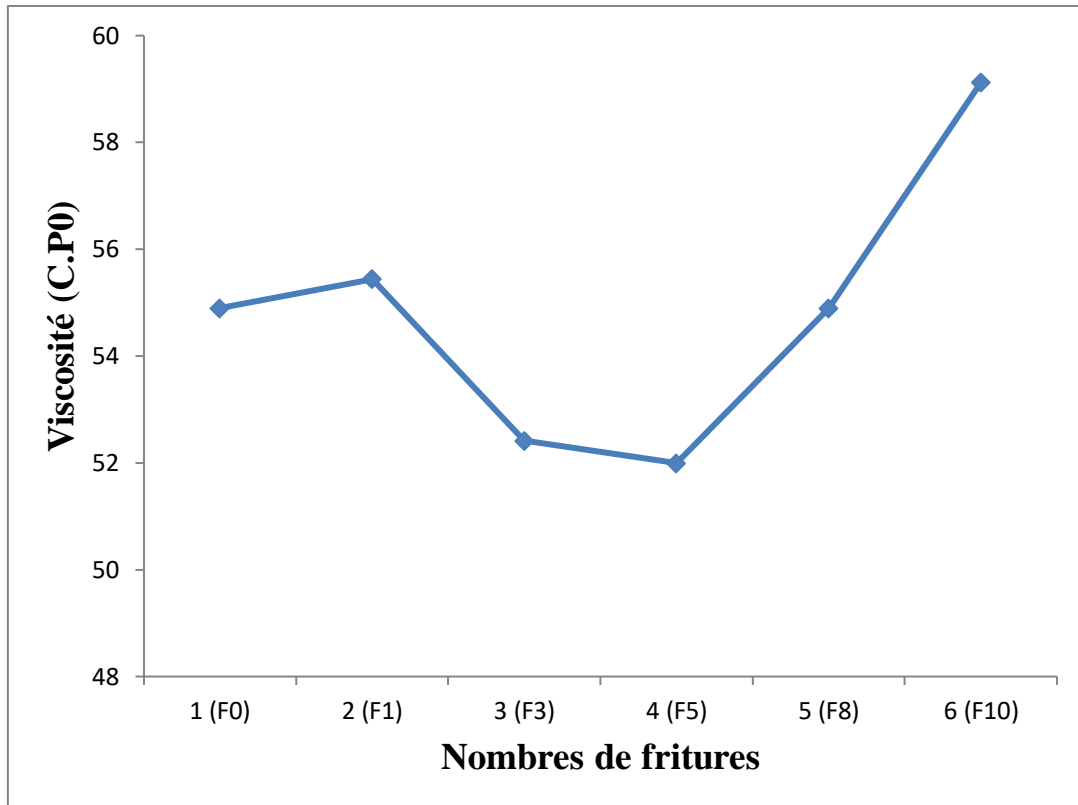
Selon *GRAILLE (2003)*, l'accroissement de la viscosité de l'huile au cours des fritures répétées serait dû à la formation des composés secondaires non volatils de haut poids moléculaire (polymères). Cette augmentation confère à l'huile une consistance sirupeuse, ce qui engendre un taux de cisaillement élevé (*KALOGIANNI et al., 2011*).

Le tableau XVII porte les résultats de la mesure de la viscosité de l'huile friche et des bains de fritures.

**Tableau XVII** : résultats de la mesure de la viscosité.

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
	54.897	55.443	52.413	51.997	54.893	59.123
Moyenne	± 0.896	± 1.811	± 1.293	± 0.716	± 0.658	± 0.897

La viscosité de l'huile fraîche utilisée dans notre étude est identique à celle trouvée par *GUATTAR et HAMMOUNI (2015)*, qui sont travaillé sur la même marque de l'huile « elio »; les valeurs trouvées sont respectivement de 54.89 C.po et de 54.65 C.po. La viscosité des huiles a tendance à augmenter durant la friture. L'évolution de la viscosité en fonction du nombre de fritures est présentée dans la *figure 18*.



**Figure 18.** Evolution de la viscosité en fonction du nombre de friture

Les résultats illustrés dans *la figure18*, montrent que la viscosité de l'huile diminue dans les fritures 3 et 5, puis augmente durant les autres fritures contrairement à ce qu'ont trouvé *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* ; ceux-ci ont remarqué une augmentation continue durant tout le processus de friture ; cette augmentation peut s'expliquer par la formation des polymères de haut poids moléculaire.

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 en oxygène est limité uniquement par la vapeur qui provient de l'aliment (*GERTZ et KOCHAAR, 2001*).

Mais dans notre cas la polymérisation oxydative peut être considérable du moment que les fritures ont été réalisées sans la fermeture du couvercle de la friteuse, ce qui laisse l'huile en contact avec l'oxygène de l'air.

L'analyse de la variance (*Annexe 12*) pour la variable viscosité nous donne une probabilité de 0,00009 inférieure à 0.001 ( $P\text{-value} = 0 < 0.001$ ), cela signifie qu'on a des

différences très hautement significatives entre les niveaux de facteur. Le facteur nombre de friture influe sur la viscosité de l'huile.

Le test de NEWMAN-KEULS (*Annexe 13*), montre 4 groupes homogènes ; le groupe A qui est constitué du dixième bain de friture, le groupe B qui est constitué des bains de fritures F0, F1 et F8, le troisième groupe C qui est constitué du F3, cela signifie que les différences n'existent pas entre tous les niveaux de facteur, mais uniquement entre les 4 groupes homogènes.

### II.2.1.4. Le taux de composés polaires

Ils sont représentés principalement par les monomères de triacylglycérols oxydés et des polymères de triacylglycérols. Ces produits, souvent toxiques, affectent l'état nutritionnel du consommateur (*GUILLÈNE 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 (*JUÁREZ, 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.

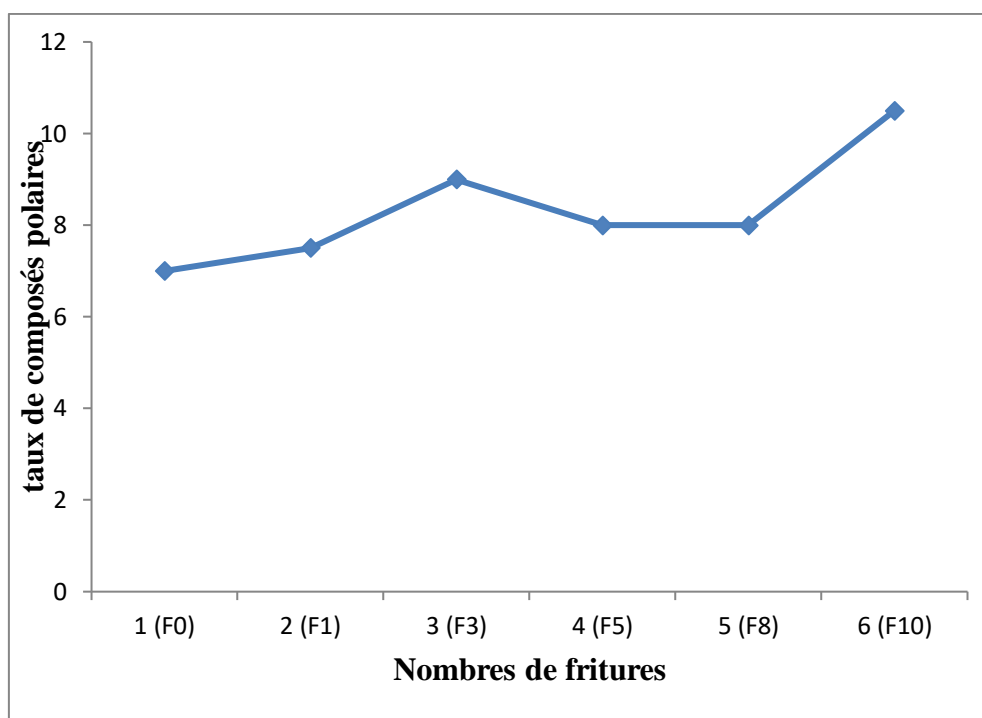
Selon *FARHOOSH et TAVASSOLI-KAFRANI (2010)*, les différents degrés d'altération des bains de friture sont dus à des teneurs différentes de composés néoformés au cours des réactions de thermo-oxydation, polymérisation et hydrolyse.

D'après *GUILLÈNE et URIARTE (2011)*, les huiles de friture sont considérées comme dangereuses une fois que le pourcentage de composés polaires atteint 25% en poids. Pour certaines réglementations européennes, une huile de friture dépassant 25% de CPT doit être renouvelée. Les valeurs des taux de composés polaires obtenus dans notre étude sont intégrées dans le *tableau XVIII*.

**Tableau XVIII.** Formation de composés polaires au cours des fritures

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
CPT	7	7.5	9	8	8	10.5

La *figure 19* représente l'évolution des taux de composés polaires au cours des fritures.



**Figure 19.** Évolution des taux de composés polaires au cours des fritures

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les CPT varient en fonction du nombre de friture, on remarque une augmentation continue ; la valeur passent de 7% pour l'huile fraîche jusqu'à la valeur de 10,5% à la 10<sup>ème</sup> friture. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme moins de 25%.

### II.2.2. Analyses chimiques

#### II.2.2.1. Evolution de l'acidité

L'acidité renseigne sur le taux d'AGL s'accumulant dans l'huile; elle permet d'estimer le degré d'altération hydrolytique favorisée par la présence d'eau. Une valeur élevée de ce critère est préjudiciable aux huiles comestibles (*KPOVIESSI et al., 2004*). Dans le processus d'hydrolyse, la molécule de TAG réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un di-acylglycérol (*GUPTA, 2005*).

Il s'agit de mesurer la quantité d'AGL dans une MG alimentaire. Elle est souvent exprimée en quantité d'acide oléique. Elle renseigne principalement sur l'altération des TAG suite à une hydrolyse chimique ou enzymatique dans les conditions propices (*ADRIAN et al., 1998*).

Les AGL sont formés pendant l'oxydation et l'hydrolyse suite à la scission de la molécule de TAG (*PERKINS, 1996*). Elle est due à la grande quantité d'eau libérée par l'aliment frit (pomme de terre) mais également consécutive aux hautes températures appliquées (180 – 220°C) (*WASSEF et NAWAR, 1996*).

Les résultats d'acidité de l'huile fraîche utilisée dans notre étude et celles des bains de fritures sont intégrés dans le *tableau XIV*.

**Tableau XIV** .Evolution de l'acidité des bains de fritures

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
Moyenne	0.141 ± 0.04	0.198 ± 0.04	0.226 ± 0.08	0.254 ± 0.04	0.311 ± 0.04	0.339 ± 0

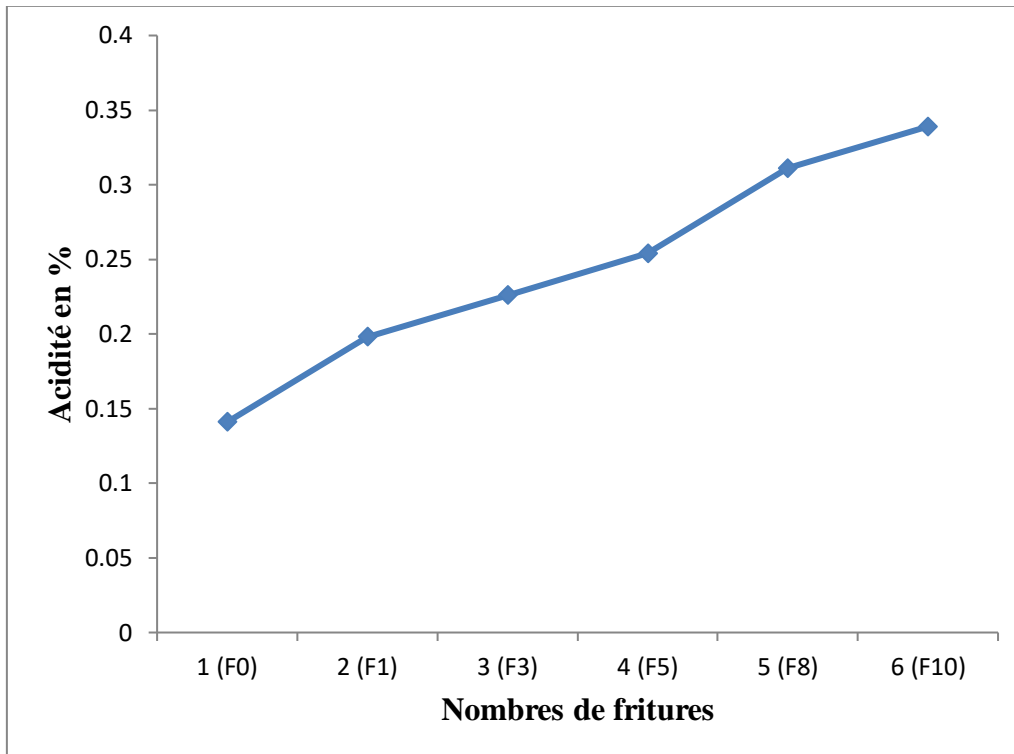
L'acidité de l'huiles fraîche utilisée dans la friture est de 0.141% ; cette valeur est en concordance avec la norme (NA 1169 – 1990) requise (max 0,20%) ; ceci dénote une maîtrise du raffinage dans les usines où cette huile est élaborée, exactement l'étape de neutralisation (*DENISE, 1992*). En somme, l'acidité initiale de l'huile utilisée est appréciable.

La valeur de l'huile fraîche analysée dans notre étude est proche de celle trouvée par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ainsi que *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* qui ont noté des valeurs de 0.165% et 0.151% respectivement sur la même marque d'huile. Cependant, la valeur enregistrée pour la 10<sup>ème</sup> friture est supérieure à celle trouvée par *GUETTAR et*

## Partie expérimentale

*HAMOUNI (2015)*, mais inférieure à celle notée par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* ; les valeurs sont respectivement 0.339% ; 0.226% et 0.620%.

La figure 20 montre une augmentation continue de l'acidité à mesure que le processus de friture avance.



**Figure 20.** Evolution de l'acidité des huiles au cours des fritures répétées

L'acidité augmente au fur et à mesure que les fritures avancent, soit un pourcentage d'augmentation de 140%. Des études antérieures sur les huiles de friture ont prouvé que le taux d'AGL augmente pendant la friture (*KALAPATHY et PROCTOR, 2000*).

L'augmentation de l'acidité des huiles de bains de friture observée dans notre étude peut être expliquée par le déroulement du processus hydrolytique durant les essais de fritures respectives ; elle est due à la libération continue d'AGL (température élevée et eau contenue dans les tranches de pomme de terre fraîches) (*BOUREGHD et al., 2013*).

Cette élévation pourrait, également, être due aux conditions expérimentales : le temps séparant la prise d'échantillons, le temps d'une friture qui est différent d'une friture à une autre (annexe 20) et enfin le moment où l'analyse de ce paramètre est effectuée (une semaine après la friture au réfrigérateur et à l'abri de la lumière). Ces conditions pourraient contribuer à

## Partie expérimentale

l'accumulation des acides gras libres dans les bains de fritures, comme ont été rapportées par *GRANDGIRARD(1992)* ; *VITRAC et al.(2003)*.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à un facteur : le nombre de fritures (*Annexe 14*). Il ressort de ce traitement que le facteur a un effet hautement significatif ( $p=0,03845$ ) sur l'indice d'acidité.

Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% (*Annexe 15*) regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 3 groupes homogènes (A ; AB et B). Le nombre de fritures agit d'une façon hautement significative sur l'acidité.

### II.2.2.2. Evolution de l'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'Ip ; une valeur élevée de cet indice signifie que le CG est rance (*FRÉNOT et VIERLING, 2001*). Selon *ABDULKARIM et al. (2007)*, les peroxydes sont incolores, sans goût particulier ni odeur ; ce sont les produits primaires d'oxydation, ils se forment dans une huile lors des fritures.

Les AGL ont tendance à s'oxyder beaucoup plus rapidement surtout lorsqu'ils sont insaturés. C'est pourquoi, l'acidification est souvent accompagnée de l'oxydation. Par conséquent, la majorité des AG libérés par hydrolyse est oxydée partiellement au cours de la friture en peroxydes, produits primaires d'oxydation chimiquement instables visant à stabiliser leur énergie par l'arrachement d'un proton d'une molécule d'AG (*BONNEFIS, 2005*). Les valeurs de l'indice de peroxyde obtenues dans notre étude sont portées dans le *tableau XX*.

**Tableau XX** . Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures.

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
Moyenne	1.5	4.5	7	13.5	10.25	8.75
	±	±	±	±	±	±
	0.354	0.354	0.354	0.354	2.828	1.414

D'après les résultats obtenus, on remarque que la valeur de l'indice de peroxyde pour l'huile fraîche est conforme à la norme *ISO 3960*, soit une valeur maximale de 10meq d'O<sub>2</sub> / kg d'huile. La valeur obtenue est 1.5meq d'O<sub>2</sub>/ kg d'huile ; elle est nettement inférieure à celle obtenue par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* (soit 7.33meq d'O<sub>2</sub>/kg), d'huile ayant travaillé sur la même marque d'huile. Les conditions de récolte, de raffinage et de stockage,

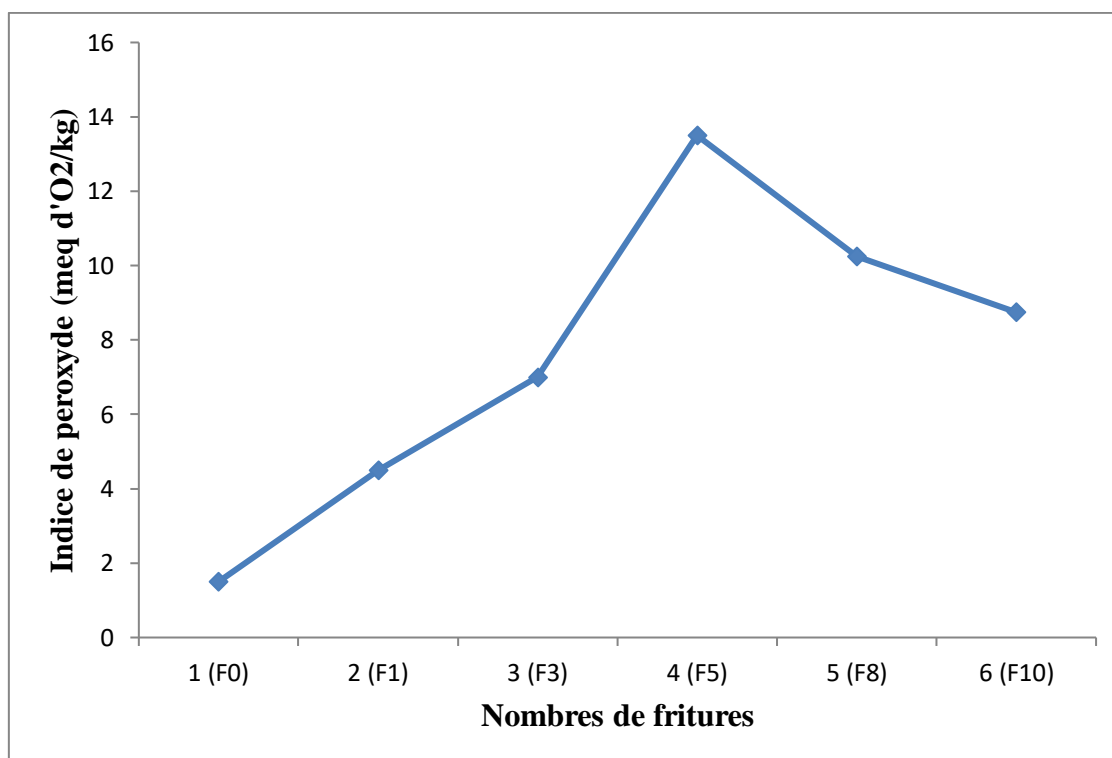
## Partie expérimentale

etc. peuvent être à l'origine de la formation des peroxydes dans les l'huiles fraîches avant les fritures.

L'indice de peroxyde augmente au cours des fritures de 1.5meq d'O<sub>2</sub>/Kg pour l'huile fraîche et atteint une valeur maximale à la cinquième friture, soit 13.5meq d'O<sub>2</sub>/ Kg, l'augmentation serait due, selon *JUDDE (2004)*, à l'apparition des produits primaires d'oxydation (le radical *peroxyROO°*) à partir des radicaux libres instables (R°) des AGI. Puis on note une diminution plus au moins accélérée de cet indice jusqu'à 8.75meq d'O<sub>2</sub>/ Kg pour la dixième friture. Ceci se traduit par la transformation des hydro-peroxydes en oxyacides puis en divers composés secondaires d'oxydation.

Selon *GERTZ (2008)*, l'indice de peroxyde augmente au cours des fritures répétées par la formation des produits primaires d'oxydation ; cet indice peut diminuer suite à la décomposition des hydroperoxydes pour former les produits secondaires d'oxydation.

La *figure 21* illustre l'évolution de l'indice de peroxyde en fonction du nombre de fritures.



**Figure 21.** Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures répétées

La cinétique de l'indice de peroxyde observée dans notre étude est différente de celle obtenue par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)*. Dans notre cas, on observe deux phases : une phase où l'indice de peroxyde augmente et une deuxième phase où cet indice diminue. Tandis que dans l'autre cas, l'indice de peroxyde augmente continuellement jusqu'à la dernière friture. De plus l'intensité de la peroxydation est plus forte que lorsque la friture a été menée dans la friteuse éclectique que dans la friteuse normale. Où ils ont enregistré une valeur de 32.5meq d'O<sub>2</sub>/ kg de l'huile à la dixième friture contre une valeur de 8.75meq d'O<sub>2</sub> de l'huile pour notre cas.

Selon la *figure 21*, l'allure de la variation de l'indice de peroxyde peut être subdivisée en deux étapes séquentielles :

### ➤ La première étape

Dans un premier temps, l'indice de peroxyde augmente progressivement avec l'avancée du cycle de friture. Cette augmentation serait due, selon *JUDDE (2004)* à l'apparition de composés peroxydés (peroxydes ROO°) à partir des radicaux libres instables (R°) des AGI. De plus, la formation de ces peroxydes pourrait être influencée par : la présence de l'oxygène de l'air (O<sub>2</sub>), l'action de la chaleur (effet combiné de la température et du temps de chauffage) et la destruction de tocophérols, présents dans l'huile, qui jouent un rôle d'antioxydant (*O'BRIEN, 2009*).

### ➤ La deuxième étape

Au cours des fritures, les réactions d'oxydation vont s'accroître donnant naissance à des produits secondaires d'oxydation, tels que les aldéhydes et les cétones responsables du goût de rance (*VITRAC et al., 2003*) ; la formation de ces composés s'est traduit dans nos résultats par une diminution de l'I<sub>p</sub>.

Au cours de cette étape, on note une diminution nette de l'indice de peroxyde. Ceci s'explique par la transformation des hydroperoxydes en oxyacides puis en divers composés secondaires d'oxydation et ce par deux voies principales : la première voie est dite de « scission » ; elle conduit par coupure de liaison à la libération des composés volatils, tels que les aldéhydes et cétones, qui sont les plus répandus. La deuxième est dite de « remaniement » ; elle conduit, à travers les différents types de pontage intra ou inter AG, à la formation d'AG oxydés (cétones insaturés, dicétones et d'hydroxyacides) et de polymères oxydés (*JUDDE, 2004*).

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à un facteur : le nombre de fritures (*Annexe 16*). Il ressort de ce traitement que le facteur « nombre de fritures » a un effet très hautement significatif ( $p=0,00151$ ) sur l'indice de peroxyde. Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% (*Annexe 17*) regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 6 groupes homogènes (*A, B, BC, C, CD et D*). Le nombre de fritures agit d'une façon très hautement significative sur l'indice de peroxyde.

### II.2.2.3. Evolution de l'indice d'iode

L'indice d'iode « Ii » indique le nombre de doubles liaisons ou le degré d'insaturation globale des lipides. Cet indice renseigne sur le degré d'oxydation des huiles et donc sur leur stabilité oxydative (*VINAIXA et al., 2005*). Selon *KPOVIESSI et al., (2004)*, les valeurs élevées de l'indice d'iode indiquent que ces huiles sont riches en AGI.

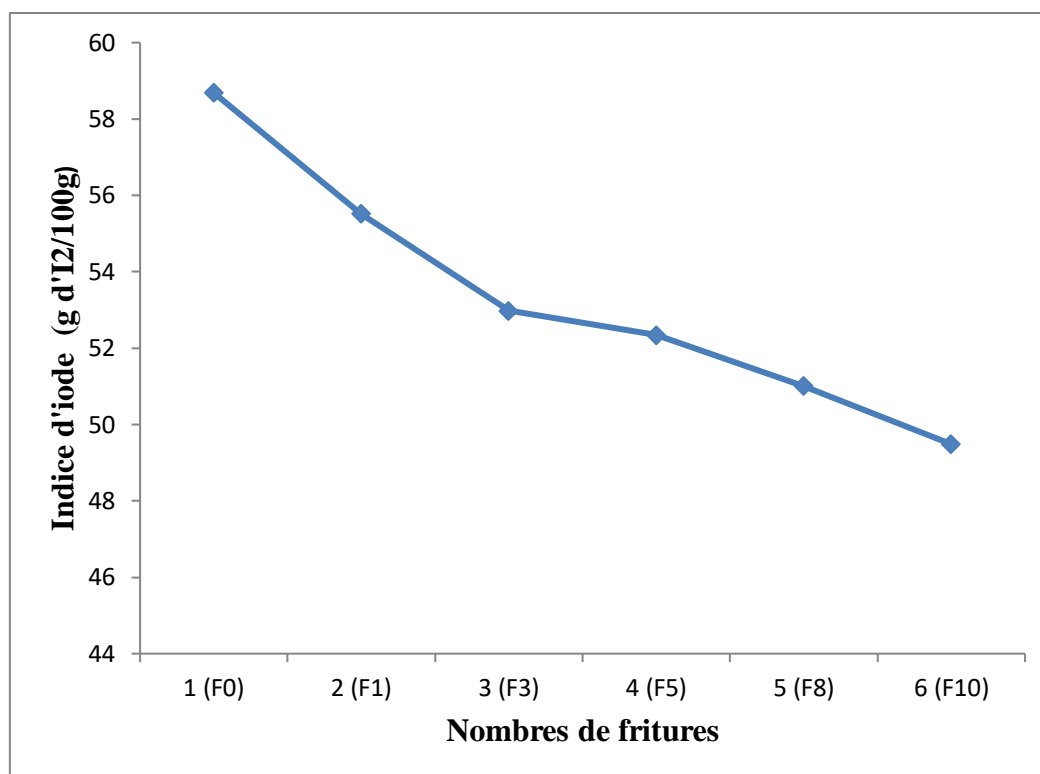
Les valeurs de l'indice d'iode obtenues dans notre étude sont intégrées dans le *tableau XXI*.

**Tableau XXI.** Evolution de l'indice d'iode au cours des fritures

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
Moyenne	58.685 ± 2.242	55.515 ± 2.242	52.975 ± 7.63	52.34 ± 4.936	51.005 ± 9.327	49.485 ± 6.286

Les résultats obtenus montrent que la valeur de l'indice d'iode pour l'huile fraîche est inférieure à la norme du CODEX ALIMENTARIUS (1999) qui exige une valeur comprise entre 124 à 139 g I<sub>2</sub>/100g d'huile. Cette valeur qui est égale à 58.68 g I<sub>2</sub>/100g d'huile est inférieure à celle obtenu par *TRACHE et KCILI (2014)*, qui ont obtenu une valeur de 125.14g I<sub>2</sub>/100g de la même marque d'huile. Toutefois, elle est inférieure à celle obtenue par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)*, qui ont obtenu une valeur de 122.03 g I<sub>2</sub>/100g d'huile « élio ».

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par *GERTZ(2008)*; *SANCHEZ-GIMENO et al.(2008)*, qui ont montré que l'indice d'iode diminue au fur et à mesure que le nombre de fritures augmente ; cette chute est due à la formation des produits d'oxydation lipidiques. Par ailleurs, la diminution de degré d'insaturation des huiles utilisées est principalement due à la polymérisation thermique des chaînes grasses insaturées (*GRANDGIRARD et JULLIARD, 1987*).



**Figure 22.** Diminution de l'indice d'iode en fonction du nombre de fritures

D'après la *figure 22*, on remarque la diminution de cet indice avec un pourcentage de 15.67% au cours de déroulement de cycle de fritures réalisées, il passe de « 58.68g I<sub>2</sub>/ 100g huile » à l'état frais jusqu'à « 49.48g I<sub>2</sub> / 100g huile » à la 10<sup>ème</sup> friture.

Nous résultats sont très inférieurs à ceux obtenus par *KACILI et TRACHE (2014)*, *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* ainsi que *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* qui ont travaillé sur la même marque de l'huile « élio » ils ont trouve ces valeurs 125.14 ; 122.03 ; 205.36 pour l'huile fraiche et 119.38 ; 112.97 ; 177.97 pour la dixième friture respectivement contre 58.68 g d'I<sub>2</sub> / g H pour H0 et 49.48 g I<sub>2</sub> / g H pour F10, les différences entre ces valeurs peuvent être due a la méthode d'analyse et les réactifs utilisés.

Selon *GERTEZ (2008)*, l'abaissement de cet indice est le reflet d'une diminution sensible de l'insaturation globale de l'huile dégradée. Cette destruction résulterait de l'action combinée de la chaleur (favorisant les réactions de polymérisation) et de l'oxygène (favorisant les réactions d'oxydation) sur les doubles liaisons des AGI de l'huile fraîche. Plus une huile est insaturée, plus la perte en AGE est importante et par conséquence une diminution du nombre de doubles liaisons des chaînes hydrocarbonées.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance (*Annexe 18*) à un seul facteur, nombre de friture ; ce traitement statistique n'a pas montré d'effet significatif ( $P=0,70524$ ), comparativement aux résultats statistiques obtenus par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)*, utilisant même facteur a montré que le nombre de friture agit d'une façon significative ( $p=0$ ) sur l'indice d'iode de l'huile de table utilisée dans leur étude, cette différence pourrait être dû aux grandes différences de nos écarts résiduelles durant notre expérimentation.

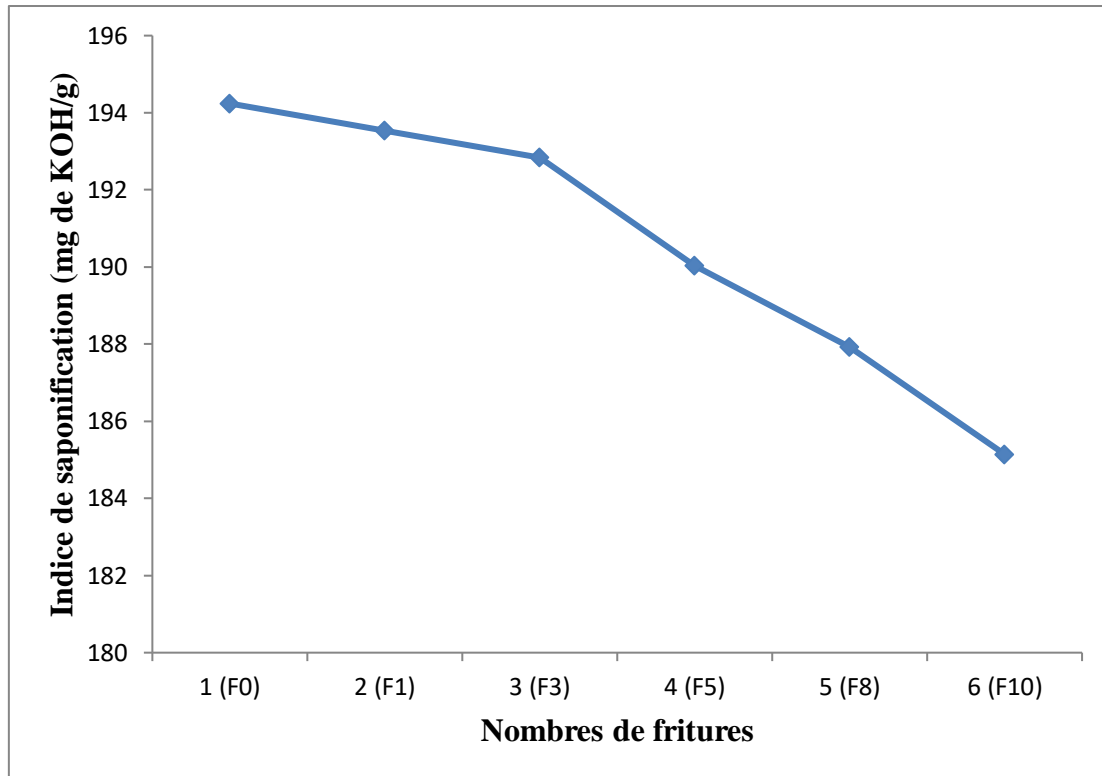
### II.2.2.4. Evolution de l'indice de saponification

L'indice de saponification est par définition la quantité en milligramme de potasse nécessaire pour saponifier un gramme de CG. Pour un poids donné de TAG, la quantité de potasse nécessaire à la saponification augmente avec la diminution de la longueur des chaînes d'AG. L'indice de saponification renseigne sur la longueur moyenne des chaînes d'acides gras constitutifs du CG (*MORDRET, 1992*). Les résultats obtenus dans notre étude sont groupés dans le *tableau XXIV*.

**Tableau XXII.** Evolution de l'indice de saponification lors des fritures

Huile	H0	F1	F3	F5	F8	F10
	194.24	193.54	192.84	190.035	187.93	185.145
Moyenne	$\pm$ 0.99	$\pm$ 1.98	$\pm$ 4.964	$\pm$ 2.977	$\pm$ 1.98	$\pm$ 2.015

D'après les résultats obtenus, la valeur de l'indice de saponification de l'huile fraîche est conforme à la norme fixé par le *CODEX ALIMENTARIUS (1999)*, soit une valeur comprise entre 189 – 195meq KOH / g d'huile. Cette valeur de 194.24meq KOH / g d'huile est supérieure de celle obtenue par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015) et TRACHE et KECILI (2014)*, pour l'huile « elio », soit une valeur de 192.60 meq KOH / g d'huile et 192.21 meq KOH/g de l'huile respectivement. *La figure 23* illustre l'évolution de l'indice de saponification en fonction du nombre de fritures.



**Figure 23.** Evolution de l'indice de saponification en fonction des nombres de fritures

La *figure 23* montre que l'indice de saponification diminue au fur et à mesure que le processus de friture avance ; la valeur de ce paramètre chute de 194.24meq KOH / g d'huile fraîche jusqu'à 185.14meq KOH / g d'huile à la dixième friture, et le pourcentage de diminution de l'Is est 4.68%. Selon *PERRIN (1992)*, cette diminution est due à la formation de polymères par le pontage intermoléculaire de TG oxydés.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)* et *KECILI et TRACHE (2014)*, qui ont également signalé une diminution de cet indice.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance (*Annexe 19*) à un seul facteur, nombre de friture ; ce traitement statistique n'a pas montré d'effet significatif ( $P=0,08858$ ), comparativement aux résultats statistiques obtenus par *BOUAOUD et DAHMOUN (2015)*, utilisant même facteur a montré que le nombre de friture agit d'une façon significative ( $p=0$ ) sur l'indice de saponification de l'huile de table utilisée dans leur étude, cette différence pourrait être dû aux grandes différences de nos écarts résiduelles durant notre expérimentation.

L'objectif de notre étude consiste à évaluer le degré de résistance de l'huile « elio » lors de son utilisation en friture à la poêle. Contrairement à la friture à l'aide de la friteuse électrique, ce mode de cuisson ne permet pas une stabilisation de la température de friture. Ainsi, les résultats obtenus dans notre étude sont comparés à ceux obtenus dans d'autres conditions de friture.

L'évolution de l'altération thermo-oxydative des différents bains de fritures est suivie par la mesure d'un certain nombre d'indices physiques, chimiques et certains tests organoleptiques.

Les tests organoleptiques montrent que la couleur des frites préparées commence à s'assombrir plus tôt, vers la 7<sup>ème</sup> friture. Ceci confirme l'état délétère de la température élevée de la friture que ce soit sur la couleur des bains de friture ou la couleur des frites. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, l'évolution de ce paramètre sensoriel ne suit pas l'évolution de certains indices chimique.

En effet, l'acidité des huiles de bains de friture augmente moins rapidement dans le cas de la friture à température non contrôlée. Les pourcentages d'augmentation sont respectivement de 140 et 275%. De même pour l'indice de peroxydes, les valeurs maximales enregistrées sont de 13.5meq d'O<sub>2</sub>/ kg de l'huile et 32.5meq d'O<sub>2</sub>/kg de l'huile.

Le meilleur critère physique retenu pour juger de la qualité des huiles de bains de fritures est le taux de composés polaires. Le taux de composés polaires enregistré à la 10<sup>ème</sup> friture n'est que de 10.5%; cette valeur est nettement inférieure au maximum toléré 25%. Cela explique la possibilité de réutiliser cette huile même après la 10<sup>ème</sup> friture.

En dépit du déroulement de ces réactions d'altération, la qualité des huiles de bains de friture n'est pas altérée pour autant, comparativement aux résultats des travaux de mémoires antérieurs réalisés au département de sciences alimentaires.

On préconise de compléter cette étude en utilisant d'autres analyses comme :

- La détermination de la teneur en  $\alpha$  tocophérol (vitamine E) à l'aide de l'HPLC.
- Mesurer la chute des AGPI à l'aide de la CPG.
- Détermination de la teneur en métaux lourds à l'aide de la spectrophotométrie de masse à absorption atomique.

### A

- **ABDULKARIM S.M., LONG K., O.M. LAI O., S.K.S. MUHAMMAD S.K.S., and GHAZALI H.M., (2007).** Frying quality and stability of high-oleic *Moringaoleifera* seed oil. *in comparison with other vegetable oils. Food Chemistry*, 105, pp 1382-1389.
- **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.
- **AFNOR-NFT60-21.**
- **AMEUR W. (2018).** Etude comparative de l'effet de la friture sur la qualité de trois huiles végétale. Mémoire de master, université d'A. Mira- Bejaïa, Algérie.

### B

- **BELAID Dj. (2015).** La production d'oléagineux en Algérie.
- **BERSET C. et CUVELIER ME. (1996).** Méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipides et de mesure du pouvoir antioxydant. *Sci. Aliments.* Vol. 16, p 219-245.
- **BONNEFIS C.S. (2005).** Effets biologiques des peroxydes et approche de la participation des aliments composés à leur apport chez le chien et le chat. Thèse de doctorat. Université Paul-Sabatier de Toulouse, France.
- **BOSKOU D. (2010).** Frying fats : Oxydation nutrient and non nutrient antioxydants biologically active compounds and high temperatures, pp 428-448.
- **BOUAOUD A. et DAHMOUN M. (2015).** Effet du mode de friture sans couvercle sur la stabilité de l'huile « élio », Mémoire ingénieur, Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.
- **BOUCHON P. (2009).** Understanding Oil Absorption during Deep - Fat Frying. *Advances in Food and Nutrition Research*, 37(5): pp 209-234.
- **BOUREGHDA A., BENAYACHE S., and BENAYACHE F. (2013).** Change of physic-chemical properties of some local oils. During frying. *Nat Sci ;* 11(11), pp 88-91.
- **BOUTAYEB A. (2013)** Etude bibliographique sur les huiles essentielles et végétales. Mémoire de master, Université Ibn Tofail. Algérie.

### C

- **CHIKHOUNE A. (2007).** Huiles essentielles de Thym et d'origan : Etude de la composition chimique et de l'activité antioxydante et antimicrobienne. Thèse de magister, Alger : Institut National Agronomique. Algérie.
- **CHO E et MIN D.B, (2007).** Chemistry of deep- eat frying oils. Vol 72. N.5, Journal of food science, pp : 77-86.
- **CODEX-ALIMENTARUS, (1992).** Normes codex pour les graisses et les huiles d'origine vegetales. In :*Graisses, Huiles et Produits dérivés* volume (8), FAO/OMS, Rome, pp : 9 – 71.
- **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, pp : 108-115.
- **CODEX ALIMENTARIUS, (1999).** Norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. CODEX STAN 210-1999.
- **COMBE N et ROSSIGNOL-CASTERA A, (2010).** Vegetable oils and frying. Cahier de nutrition et diététique, pp : 44-51.
- **COURTOIS F., MOHAMMAD ZIAIFAR A., TREZZANI I. et TRYSTRAM G. (2012).** Friture profonde : les interactions huile-produit. OCL 2012 ; 19(2), pp : 89-95. doi : 10.1684/ocl.2012.0444.
- **COSSUT J., DEFRENNE B., DESMEDT C., FERROUL S., GARNET S., HUMBERT S., ROELSTRAETE L., VANUXEEM M. et VIDAL D., (2002).** Les corps gras : Entre tradition et modernité. Projet réalisé dans le cadre de du DESS en QUALIMAPA. Université des sciences et technologie de Lille – Institut agroalimentaire de Lille.
- **CUVELIER M.E., MAILLARD M.N. (2012).** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oil seeds Fats Crops and Lipids*, 19(2), pp : 125-132.

### D

- **DELAGOUTTE C. (2007).** Huiles de friture et dangers, La Cuisine Collective, n 205.
- **DENISE J. (1992).** Raffinage des corps gras. In : *manuel des corps gras*. Tome III. Edition Tec & Doc. ISBN : 2-85206-662-9, pp : 789-881.
- **DGCERF. (2012).** Direction Générale du Contrôle Economique et de la Répression des fraudes. Guide de contrôle des huiles de friture.

## Références bibliographiques

---

- **DOBARGANES M. and MARQUEZ-RUIZ G. (1996).** Dimeric and higher oligomeric triglycerides. In : Perkins, E.G., Erickson, M.D. (Eds.), Deep frying. Chemistry, Nutrition and Practical Applications. AOCS Press, Illinois, pp : 89-111.
- **DOBARGANES C. (1998).** Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. OCL, Vol. 5, n°1, pp : 41-47.
- **Dubois V., Breton S., Linder M., 2008.** Proposition de classement des sources végétales d'acides gras en fonction de leur profil nutritionnel. Oléagineux Corps gras Lipides, 15, pp : 56-75.

### E

- **EL- SHAMI S. M; ZAKI SELEM I; EL- ANMAR I.M. et EL-MALLAH H. (1992).** Dielectric properties for monitoring the quality of heated oil. J.A.O.C.S.
- **EYMARD S. (2003).** Mise en évidence et suivie de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*) : choix des procédés. Thèse de doctorat, Ecole polytechnique de l'université de Nantes. France.

### F

- **FAO (2008).** L'année internationale de la pomme de terre. Pomme de terre, nutrition et diététique.
- **FARHOOSH R. et TAVASSOLI-KAFRANI M.H. (2010).** Polar compounds distribution of sunflower oil as affected by unsaponifiable matters of bene hull oil (BHO) and tertiary- butylhydroquinone (TBHQ) during deep-frying. Food Chemistry, vol.122, pp : 381-385.
- **FRANÇOIS R. (1974).** Les industries des corps gras : Biochimie extraction, raffinage, Nuisances et réglementation. Edition : Lavoisier, Paris ; ISBN : 2880200075.
- **FREDOT E. (2005).** Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- **FRENOT M. et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 2<sup>ème</sup> édition : Doin éditeur, pp : 79-94.

### J

- **JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., GERARD et BRULE G. (2008).** Sciences des aliments. Tec & Lavoisier, Paris.

## Références bibliographiques

---

- **JUAREZ M.D. (2011).** Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. *Food Control*, vol.22, pp : 1920-1927.
- **JUDDE A. (2004).** Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : Mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants, pour quelles applications. *OCL*, n° 6, vol.11, pp : 414 – 418.
- **JUÁREZ M.D. (2011).** Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. *Food Control*, vol 22, pp: 1920-1927.

### G

- **GERMAN J.B. and KINSELLA J.E., (1985).** Lipid oxidation in fish tissue, enzymatic initiation via lipoxygenase. *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol33, pp: 680-683.
- **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.
- **GERTZ C. (2008).** Optimum deep frying, from the food industries association of Austria. FIAA from June.
- **GRAILLE J. (2003).** Lipides et corps gras alimentaires. *Edition : Tec & Doc, Lavoisier*, Paris. pp : 1- 170.
- **GRANDGIRARD A. (1992).** Transformation des lipides au cours des traitements thermiques, effet nutritionnels et toxicologiques. *In : aspect nutritionnel des constituants des aliments influence des technologies*. Edition. Tec et Doc, Paris. pp : 49 – 63.
- **GRANDGIRARD A. et JULLIARD F. (1987).** Corps gras. *Rev. Fse*, (34). pp : 213 – 219.
- **GONDE P. et MORIN O. (2012).** Optimisation du choix de l'huile en friture industrielle : l'exemple Mc Cain. *OCL* ; 19(2) : 96-100.doi : 10.1684/ocl.2012.0447
- **GORNAY J. (2006).** Application à la valorisation chimique des déchets lipidiques. Thèse de doctorat, université de Lorraine. France.
- **GUILLÈNE M.D. and URIARTE P.S. (2012).** Simultaneous control of the evolution of the percentage in weight of polar compounds, iodine value, and acyl groups proportions and aldehydes concentrations. *Food Control*, vol.24, pp:50 – 56.

## Références bibliographiques

---

- **GUPTA M.K. (2005).** Frying oils. Bailey's industrial oil and fat products. 6<sup>ème</sup> édition. John Wiley & Sons, Inc. pp : 1 – 23.
- **GUETTAR T. et HAMOUNI Z. (2015).** Effet de l'augmentation du nombre de fritures sur la stabilité de l'huile « élio ». Mémoire ingénieur, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Algérie.

### K

- **KALAPATHY U. PROCTOR A. (2000).** A new method for free fatty acid reduction in frying oil using silicate films produced from rice hull ash, J Am oil Chem. Soc. (77), pp : 593-598.
- **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.
- **KARLESKIND A., (1992).** Principaux constituants chimiques des corps gras, propriétés chimiques des corps gras. In : Manuel des corps gras Tome 1. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 95 - 358.
- **KECILI A. et TRACHE A. (2014).** Etude comparative de la stabilité oxydative de cinq huiles de tables au cours des fritures répétées. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie.
- **KPOVIESSI D.S ; GEORGE C ; ACCROMBESSI ; KOCHOOH C ; MOHAMED M ; SOUMANAU. Et MOUDACHIROU M. (2004).** Propriétés physicochimiques et compositions de l'huile non conventionnelle de pourghère (jatropha-curca) de différentes régions du Benin, (7), pp : 1007 – 1012.

### L

- **LERAY C. (2013).** Les lipides nutrition et santé. Ed. Tec & Doc. Lavoisier. Paris.

### M

- **MATALLAH MED ASSAD ALLAH. (2006).** Marché mondial des oléagineux. Institut National d'agronomie (INA) Alger –magistère. Médecine/sciences. 20 : p458-463.
- **MORDRET F. (1992).** Analyse des corps gras. In : *Manuel des corps gras*. Edition : Tec & Et Doc, Lavoisier, Paris, pp : 1147 – 1182.

### O

- **O'BRIEN R.D. (2009).** Fat and oils: formulating and processing for applications. 3<sup>ème</sup> Edition. CRC Press, USA, pp : 43 – 47.

### P

- **PLATON JF. (1988).** Raffinage de l'huile de soja. American Soybean Association, pp 3-30.
- **POKORNY J. (2003).** problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides *in : lipides et corps gras alimentaires. Edition Tec et Doc Lavoisier.* pp : 53-74.
- **POUZET A. (1992).** Sources et monographies des principaux corps gras. *In Manuel des corps gras. Volume 1. Edition : Tec et Doc. Lavoisier.* pp: 131-136.
- **PERKINS E.G. (1996).** Nutrition and practical application. Edition: Deep frying chemistry, AOCS Press, Champaign, pp: 160 – 182.
- **PERRIN J.L. (1992).** Evolution des corps gras au cours de leur utilisation alimentaire. *In : Manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris* pp : 1015– 1031.
- **PERREAULT V. (2015).** Développement d'antis oxydants pour les huiles de friture et contribution à l'étude du mécanisme de formation des monomères cycliques à partir d'acide gras oméga-3. Thèse de doctorat université Laval. Canada.

### R

- **RAHMANI M. (2007).** Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II Département des sciences Alimentaires et Nutritionnelles : les techniques de laboratoire, 2, pp 18-20.
- **ROMAN O. (2013).** Mesure et prédiction de la réaction des lipides au cours du chauffage de l'huile végétale à haute température. Thèse de doctorat. Agro paris Tech. France.
- **ROSSELL J.B. (2011).** Frying, improving quality. Boca Raton, FL: CRC Press, p 369.
- **ROLLAND H. (2004).** Antioxydants naturels végétaux, OCL VOL. 11 N° 6.

### S

- **SANCHEZ-GIMINO A.C., NEGUERUELA A.I., BENITO M. and VECET R.O. (2008).** Some physical changes in Argon extra virgin olive oil during fraying process. *Food chemistry*, (110), pp : 654-658.

### T

- **TREMOLIERE J. (1980).** Manuel d'alimentation humaine. Tome 1 : les bases d'alimentation Ed : E.S.F. Paris. P 553.
- **TYAGI V. K. and VASISHTHA A. K. (1996).** Changes in the characteristics and composition of oils during deep –fat frying. *Journal of the American Oil Chemistes' Society* 73 (4) : 499-506.

### V

- **VIERLING E. (2001).** Aliments et boissons : Filières et production. 2ème édition : Doin Cedex. pp : 187-208.
- **VILLIERE A et GENOT C. (2006).** Approche physico-chimiques et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsion. *Ocl. Vol 13 N P* 152-159.
- **VINAIXA M. VERGARA A., DURAN C., LLOBET C., BADIA C., BREZMES J., VILANOVA X. et CORREIG X. (2005).** Fast detection of rancidity in potato crips using e-noses based on mass spectrometry or gas sensors. *Sensors and Actuators*, (106), pp 69-75.
- **VITRAC O., RAOULT –WACK A.L., et TRYSTRAM G., (2003).** procédé de friture et produites frits. *In : Lipides et corps gras alimentaires.* Edition : Tec &Doc, Lavoisier, Paris. pp ; 231-269.

### W

- **WASSEF W. et NAWAR N. (1996).** Lipids. *In: Food chemistry.* 3<sup>ème</sup> edition: Owen R. Fennema, pp: 225 – 304.
- **WOLFF J.P. (1968).** Dosage des produits d'oxydation. *In : Méthodes générales d'analyse.* Edition: Azoulay, Paris, pp : 259– 266.

### Z

- **ZIAIFAR A. M. (2008).** Oil absorption during deep fat frying: mechanisms and important factors, *Insdustrries des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Thèse doctorat.* (Agro Paris Tech). France.

## Références bibliographiques

---

### Références web biographies :

- ANONYME (2018). Les Huiles végétales, consommation mondiale.  
<https://fr.statista.com/statistiques/565109/huiles-vegetales-consommation-mondiale-par-type-d-huile/> le 21/04/2019.

## Modes opératoires

### ✓ Les indices physiques

#### Annexes 01 : Détermination de l'humidité (AFNOR NF T606-201 d'octobre 1984).

##### ❖ Matériel

- Balance analytique avec précision de 0,0001g.
- Béchers.
- Etuve isotherme réglée à  $103 \pm 2$  °C.
- Dessiccateur contenant un déshydratant (le gel de silice).

##### ❖ Mode opératoire

- Régler l'étuve à  $103 \pm 2$  °C ;
- Sécher un bécher en verre, le refroidir dans un dessiccateur puis le peser ;
- Peser 5g d'huile dans le bécher ;
- Placer le bécher contenant l'échantillon dans l'étuve pendant 1 heure ;
- Sortir le bécher, le refroidir dans le dessiccateur et peser une autre fois le bécher avec le résidu ;

#### Annexes 02 : Détermination de la densité

##### ❖ Matériel

- Balance de précision.
- Pipette graduée de 5 ml.
- Béchers 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 ;
- Mettre le bécher sur balance de précision et noter le poids de l'échantillon d'huile ;
- Prélever le même volume de l'eau distillée et le peser.
- La densité est le quotient de poids de l'huile et de poids de l'eau distillée.

#### Annexes 03 : Détermination de la viscosité

##### ❖ Matériel

- Viscosimètre à bille et Chronomètre

##### ❖ Mode opératoire

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

✓ **Les indices chimiques**

**Annexes 04 : Détermination de l'acidité**

❖ **Matériel**

- Erlenmeyers
- Burette
- Pipette graduée
- Balance analytique
- Agitateur magnétique

❖ **Réactifs**

- Ethanol à 96%
- Solution d'hydroxyde de potassium dans l'éthanol (0.1N)
- Phénolphtaléine : solution 10g/l dans l'éthanol à 96%

❖ **Mode opératoire**

- Dissoudre une prise d'essai (5g) dans 25 ml d'éthanol ;
- Ajouter quelques gouttes de la solution de phénolphtaléine ;
- Titrer en agitant avec la solution d'hydroxyde de potassium jusqu'à l'apparition de la couleur rose persistante pendant 10 secondes ;
- Déterminer le volume (V) de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée.

**Annexes 05 : Détermination de l'indice de peroxyde (AFNOR NF T60-220, 1988)**

❖ **Matériel**

- Erlenmeyers
- Pipette graduée
- Béchers
- Balance analytique
- Burette

❖ **Réactifs**

- Chloroforme.
- Acide acétique.
- Solution aqueuse d'iodure de potassium saturée.
- Thiosulfate de sodium 0.01 N.
- Empois d'amidon : solution aqueuse à 1% récemment préparée à partir d'amidon natif.

❖ **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) ;
- Boucher aussitôt l'erlenmeyer ;
- Agiter le mélange pendant 1mn, le laisser à l'abri de la lumière pendant 5mn ;
- 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 ;
- Effectuer de la même façon un essai à blanc.

**Annexes 06 : Détermination de l'indice d'iode (AFNOR NFT60-203)**

❖ **Matériel**

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

❖ **Réactifs**

- Thiosulfate de sodium (0.1 N)
- Empois d'amidon 1%
- Iode alcoolique (0.2N)
- Ethanol à 96%

❖ **Mode opératoire**

- Peser 0.2g de l'huile dans un erlenmeyer ;
- Ajouter à cette dernière 10ml d'éthanol ; puis 10ml d'iode alcoolique (0.2N) ; et 30ml d'eau distillée ;
- Agiter énergiquement pendant 5mn et placer l'erlenmeyer à l'abri de la lumière pendant 30 mn environ ;

- Titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à l'apparition de la coloration jaune ajouter à la solution 1ml de la solution d'amidon à 1% pour avoir une coloration bleu foncé ;
- Continuer à titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à la disparition de la couleur bleue ;
- Effectuer de la même façon un essai à blanc.

### **Annexes 07 : détermination de l'indice de saponification**

#### **❖ Matériel**

- Ballon
- Chauffe ballon sous réfrigérant à reflux
- Pipette
- Burette
- Balance analytique

#### **❖ Réactifs**

- Acide chlorhydrique en solution 0.5N.
- Potasse en solution 0.5N dans l'alcool à 95%
- Phénolphtaléine en solution à 1% dans l'alcool éthylique.

#### **❖ Mode opératoire**

- Peser 2g d'huile et les introduire dans un ballon à col rodé ;
- Ajouter 25ml de potasse alcoolique (KOH) à 0.5N ;
- Porter à ébullition sous réfrigérant à reflux (avec un régulateur d'ébullition), pendant une heure, 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 à blanc dans les mêmes conditions.

**Annexe 08 : Analyse de la variance de l'humidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,053	17	0,003				
VAR.FACTEUR 1	0,053	5	0,011	1643,726	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0	12	0			0,003	4,63%

**Annexe 09 : Test de NEWAN-KEULS au seuil de 5% de l'humidité**

**Facteur 1 : nombre de fritures**

F1	LIBELLES	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES				
6.0	F10	0,157	A				
5.0	F8	0,088		B			
4.0	F5	0,046			C		
3.0	F3	0,027				D	
2.0	F1	0,006					E
1.0	F0	0,002					E

**Annexe 10 : analyse de la variance de la densité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,041	17	0,002				
VAR.FACTEUR 1	0,039	5	0,008	62,074	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,002	12	0			0,011	1,27%

**Annexe 11 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% de la densité**

**Facteur 1 : nombre de fritures**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
3.0	F3	0,942	A				
1.0	F0	0,91		B			
2.0	F1	0,905		B			
4.0	F5	0,892		B			
5.0	F8	0,871			C		
6.0	F10	0,792				D	

**Annexe 12 : Analyse de la variance de la viscosité.**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	113,041	17	6,649				
VAR.FACTEUR 1	98,034	5	19,607	15,679	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	15,007	12	1,251			1,118	2,04%

**Annexe 13 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de la viscosité****Facteur 1 : nombre de fritures**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
6.0	F10	59,123	A		
2.0	F1	55,443		B	
1.0	F0	54,897		B	
5.0	F8	54,893		B	
3.0	F3	52,413			C
4.0	F5	51,997			C

**Annexe 14 : Analyse de la variance de l'acidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,066	11	0,006				
VAR.FACTEUR 1	0,053	5	0,011	5,003	0,03845		
VAR.RESIDUELLE 1	0,013	6	0,002			0,046	18,84%

**Annexe 15 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'acidité****Facteur 1 : nombre de fritures**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
6.0	F10	0,339	A	
5.0	F8	0,311	A	B
4.0	F5	0,254	A	B
3.0	F3	0,226	A	B
2.0	F1	0,198	A	B
1.0	F0	0,141		B

**Annexe 16 : Analyse de la variance de l'indice de peroxyde**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	191,167	11	17,379				
VAR.FACTEUR 1	180,667	5	36,133	20,648	0,00151		
VAR.RESIDUELLE 1	10,5	6	1,75			1,323	17,44%

**Annexe 17 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5 % d' IP****Facteur 1 : nombre de fritures**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0	F5	13,5	A			
5.0	F8	10,25		B		
6.0	F10	8,75		B		
3.0	F3	7		B	C	
2.0	F1	4,5			C	D
1.0	F0	1,5				D

**Annexe 18 : Analyse de la variance de l'indice d'iode**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	328,619	11	29,874				
VAR.FACTEUR 1	109,492	5	21,898	0,6	0,70524		
VAR.RESIDUELLE 1	219,127	6	36,521			6,043	11,33%

**Annexe 19 : Analyse de la variance de l'indice de saponification**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	174,609	11	15,874				
VAR.FACTEUR 1	128,226	5	25,645	3,317	0,08858		
VAR.RESIDUELLE 1	46,383	6	7,731			2,78	1,46%

**Annexe 20 : le temps de cuisson des pommes de terre**

Friture	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps	6 min	6 min	6 min	6 min	6 min	6 min	6 min	5 min	4 min	4 min

## Résumé

La consommation des aliments fris est de plus en plus importante dans notre pays. Les pommes de terre frites sont consommées par toutes les couches sociales de la population que ce soit au domicile familial ou à l'extérieur. Les huiles de graines oléagineuses raffinées sont utilisées dans leur préparation. Dans cette étude, la friture de la pomme de terre est menée à la poêle, en utilisant l'huile de marque « elio » composée de 80% de soja et 20% de tournesol.

En s'appuyant sur les résultats obtenus et en les comparant aux résultats antérieurs, il s'avère que la friture à la poêle n'altère pas rapidement l'huile. Ceci est confirmé par les analyses physico-chimiques où l'acidité et l'indice de peroxyde on a enregistré une augmentation moins, ainsi que le taux de composés polaires est de 10.5 %, il est nettement inférieure à la norme 25%.

**Mots clés :** Huiles végétales, friture à la poêle, altération.

---

## Summary

The consumption of fried food is becoming increasingly important in our country. French fries are consumed by all social strata of the population, both at home and abroad. Refined oilseed oils are used in their preparation. In this study, the frying of the potato is carried out in a pan, using the brand oil "elio" composed of 80% soya and 20% sunflower.

Based on the results obtained and comparing them with previous results, it appears that frying in a pan does not quickly alter the oil. This is confirmed by physico-chemical analyses where the acidity and peroxide value have increased less, as well as the rate of polar compounds is 10.5%, it is significantly lower than the 25% standard.

**Keywords:** Vegetable oils, pan-frying, alteration.