

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU  
*Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques*



# Mémoire de fin de cycle



*Département des Sciences Agronomiques*  
*En vue de l'obtention du diplôme de master en science agronomique*  
*Option : Transformation et conservation de produit agricole*

## Thème

***EVALUATION DE L'ALTERATION DE L'HUILE  
AU COURS DE FRITURE DE POISSON DANS LES  
RESTAURANTS UNIVERSITAIRES HASNAOUA 2  
ET HASNAOUA 4***

*Proposé et dirigé par :*

***M<sup>r</sup> SADOUDI R.***

*Présenté par :*

***M<sup>elle</sup> CHEDIK KHELLOUDJA***

***M<sup>elle</sup> BESSIGHI DIHIA***

*Devant le jury :*

***Président : M<sup>r</sup> AMROUCHE T.***

***Examineurs : M<sup>r</sup> AMIR Y.***

***Année: 2016/2017***

# REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier le bon DIEU tout puissant, de nous avoir donné le courage, patience et volonté pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur SADOUDI R. Maître assistant chargé de cours au département Sciences Agronomiques à l'UMMTO, 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.*

*Nous tenons à remercier très sincèrement Mr AMROUCHE T. Maître de conférences à l'UMMTO pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de ce jury.*

*Nous remercions également Mr AMIR Maître de conférences à UMMTO Pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner notre travail.*

*Nous remercions également les responsables du laboratoire des analyses physico-chimiques de département Biologie et agronomie à l'UMMTO pour leurs aides, leur soutien et le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à nous tenons compagnie au cours de notre travail.*

*Nous remercierons aussi l'ensemble de la famille pour nous avoir toujours encouragés et nous avoir enseigné le gout de savoir et de l'ambition.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.*

# ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail :*

✿ *A mes chères parents que Dieu tout puissant les gardes et les procures santé, bonheur et longue vie ;*

✿ *A Mon cher Mari Mouhend*

✿ *A mon tres cher fils Adreyan*

✿ *A mes chers beaux parents*

✿ *Ma très chère sœur Rachida et sa petite famille ;*

✿ *Mes chers frères et leurs petites familles*

✿ *Mes chères sœurlette Fatiha et Rosa ;*

✿ *A ma binôme Khelloudja et à tout sa famille*

✿ *A toutes mes amis*

✿ *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail ;*

✿ *tous les enseignants qui m'ont encadré durant toute la période passée de mon cursus universitaire.*

***BESSIGHI Dihia***

# ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail :*

✿ *À ma chère mère que Dieu tout puissant te garde et te procure  
santé, bonheur et longue vie ;*

✿ *À mes très chères sœurs Malha, Rosa ;*

✿ *À mon cher frères Larbi ;*

✿ *À mes chers amis (es) ; Hassina, Yacina ;*

✿ *Ma binome Dihia et à toute sa famille ;*

✿ *À toute la promo Transformation et conservation 2016/20117 ;*

✿ *À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation  
de ce travail ;*

✿ *tous les enseignants qui m'ont encadré durant toute la période  
passée de mon cursus universitaire.*

***CHEDIK khelloudja***

## *Liste des abréviations*

**°C:** degré Celsius.

**AFNOR:** Association française de normalisation.

**AG :** Acide gras.

**AGE :** Acide gras essentiel.

**AGI :** Acide gras insaturé.

**AGL :** Acide gras libre.

**AGMI:** Acide gras mono insaturé.

**AGPI :** Acide gras polyinsaturé.

**AGS :** Acide gras saturé.

**AGT :** Acides gras totaux.

**CG :** Corps gras.

**ECN :** Espèce chimique nouvelle.

**I<sub>i</sub> :** Indice d'iode.

**I<sub>s</sub> :** Indice de saponification.

**M.C.V :** Maladies cardio-vasculaires.

**MG :** Matière grasse.

**R° :** Radical libre d'acide gras.

**ROO°:** Radical peroxy.

**ROOH:** Hydroperoxydes.

**TG :** Triglycérides.

### Liste des figures :

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : représentation schématique de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés.....                                                                     | 11 |
| <b>Figure 2</b> : Schéma générale des réactions d'auto-oxydation des AGI .....                                                                                              | 12 |
| <b>Figure 3</b> : Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique.....                                                                 | 13 |
| <b>Figure 4</b> : image de friteuses géantes utilisées au niveau des restaurants universitaires, en fonction plein de l'huile et avec de sardines en cours de fritures..... | 32 |
| <b>Figure 5</b> : Etuve utilisée au cours de l'analyse.....                                                                                                                 | 34 |
| <b>Figure 6</b> : Réfrigérant à reflux .....                                                                                                                                | 38 |
| <b>Figure 7</b> : comparaison entre le pourcentage de l'acidité de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4.....                               | 40 |
| <b>Figure 8</b> : comparaison entre l'indice d'iode de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4 .....                                          | 42 |
| <b>Figure 9</b> : comparaison entre l'indice d'iode de l'huile fraîche et l'huile frittée au cours de la friture de poisson dans H2 et H4 .....                             | 44 |
| <b>Figure10</b> : comparaison entre l'indice de saponification de l'huile fraîche et l'huile frittée au cours de la friture de poisson dans H2 et H4 .....                  | 46 |
| <b>Figure 11</b> : comparaison entre l'humidité de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4 .....                                              | 48 |
| <b>Figure 12</b> : comparaison entre la viscosité de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4 .....                                            | 50 |
| <b>Figure13</b> : comparaison entre les composés polaires totaux de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4 .....                             | 51 |

### Liste des tableaux :

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Spécifications de l'huile de soja dégommée brute.....                                                                             | 5  |
| <b>Tableau 2 :</b> Composition de l'huile de soja en acides gras .....                                                                               | 5  |
| <b>Tableau 3:</b> Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja selon le <i>Codex alimentarius</i> .....                               | 6  |
| <b>Tableau 4:</b> Composition en insaponifiables de l'huile de soja.....                                                                             | 6  |
| <b>Tableau 5:</b> Constituants mineurs de l'huile de soja.....                                                                                       | 7  |
| <b>Tableau 6:</b> Point de fumée de quelques huiles communes entièrement.....                                                                        | 8  |
| <b>Tableau 7:</b> Les températures critiques de quelques huiles alimentaires .....                                                                   | 21 |
| <b>Tableau 8:</b> Composition comparée de la chair de poisson et du muscle squelettique de mammifère.....                                            | 27 |
| <b>Tableau 9 :</b> Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage .....                                                             | 31 |
| <b>Tableau 10 :</b> conditions de fritures de sardines .....                                                                                         | 32 |
| <b>Tableau 11 :</b> conditions de fritures de sardines .....                                                                                         | 33 |
| <b>Tableau 12 :</b> valeurs moyennes de l'acidité de l'huile fraîche « LA BELLE » utilisé dans les 2 restaurants universitaires Hasnaoua 1 et 2..... | 39 |
| <b>Tableau 13:</b> valeurs moyennes des résultats obtenus pour l'indice d'iode dans les 2 restaurants universitaires H2 et H4 .....                  | 42 |
| <b>Tableau 14:</b> valeurs moyennes des résultats obtenus pour l'indice de peroxyde .....                                                            | 44 |
| <b>Tableau 15 :</b> valeurs moyennes des résultats obtenus pour l'indice de saponification .....                                                     | 46 |
| <b>Tableau 16 :</b> valeurs moyennes obtenus pour l'humidité pour les 2 restaurants H2 et H4 .....                                                   | 47 |
| <b>Tableau 17 :</b> valeurs de la viscosité moyennes de l'huile entre les 2 restaurants universitaires H2 et H4 .....                                | 49 |
| <b>Tableau 18 :</b> formation de composé polaires à H2 et H4 .....                                                                                   | 51 |

## Sommaire

|                    |   |
|--------------------|---|
| Introduction ..... | 1 |
|--------------------|---|

### Chapitre I : Les huiles végétales.

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| I. Les huiles.....                                                  | 3 |
| I.1 Définition.....                                                 | 3 |
| I.1.2 Les huiles alimentaires .....                                 | 3 |
| I.3 L'huile de soja .....                                           | 3 |
| I.3.1 Définition de l'huile de soja.....                            | 4 |
| I.3.2 Composition et altérations chimiques de l'huile de soja. .... | 4 |
| I.3.3 Propriétés de l'huile de soja .....                           | 5 |
| I.4 Insaponifiables.....                                            | 6 |
| I.5 Les constituants mineurs.....                                   | 7 |
| I.6 Altérations de l'huile de soja.....                             | 7 |
| A. Oxydation.....                                                   | 7 |
| B. La chaleur .....                                                 | 7 |
| I.7 Intérêt nutritionnel de l'huile de soja .....                   | 8 |

### Chapitre II : Altérations des huiles végétales.

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| II.1 Mécanismes de l'oxydation des huiles .....         | 10 |
| I.1.3 Auto-oxydation.....                               | 10 |
| II.1.2 Photo-oxydation .....                            | 12 |
| II.1.3 Oxydation enzymatique.....                       | 13 |
| II.1.4 Acidification.....                               | 14 |
| II.1.5 Isomérisation .....                              | 14 |
| II.1.6 Altérations biologiques .....                    | 14 |
| II.2 Facteurs influençant l'oxydation des lipides ..... | 14 |
| II.2.1 Teneur en oxygène .....                          | 14 |
| II.2.2 Température .....                                | 14 |
| II.2.3 Présence d'agents antioxydants.....              | 14 |
| II.2.4 Présence d'agents pro-oxydants .....             | 15 |
| II.2.5 Teneur en acides gras libres .....               | 15 |

### **Chapitre III : Les fritures.**

|          |                                                                                     |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1    | Définition de friture .....                                                         | 16 |
| III.2    | Procédé de friture.....                                                             | 16 |
| III.3    | Types de fritures.....                                                              | 17 |
| III.4    | Principes de base de la friture .....                                               | 18 |
| III.5    | Classification des huiles en fonction de leur utilisation .....                     | 18 |
| III.5.1  | Huiles pour assaisonnement.....                                                     | 18 |
| III.5.2. | Huiles pour friture et assaisonnement .....                                         | 18 |
| III.6.   | Facteurs influant le processus de friture .....                                     | 19 |
| III.7.   | Effets physiologiques des produits d'altération des huiles chauffées (friture)..... | 20 |
| III.7.1. | Effet sur la croissance corporelle .....                                            | 20 |
| III.7.2. | Effets sur les maladies cardiovasculaires (MCV) .....                               | 20 |
| III.7.3. | Effets sur le foie et les reins .....                                               | 20 |
| III.7.4. | Effets sur la mortalité.....                                                        | 20 |
| III.7.5. | Action sur la reproduction.....                                                     | 20 |
| III.7.6. | Températures de friture .....                                                       | 21 |
| III.8.   | Conseils pratiques lors des fritures .....                                          | 21 |
| III.9.   | Différents produits formés lors des fritures .....                                  | 22 |

### **Chapitre IV : Les poissons.**

|         |                                               |    |
|---------|-----------------------------------------------|----|
| IV.1    | Définition.....                               | 23 |
| IV.2    | Biochimie du muscle du poisson .....          | 23 |
| IV.2.1  | Composition du muscle.....                    | 23 |
| IV.3    | Composition de la chair .....                 | 24 |
| IV.3.1  | Principaux composés.....                      | 24 |
| IV.3.2. | Evolution post mortum du muscle .....         | 27 |
| IV.4.   | Généralités sur la sardine.....               | 27 |
| IV.4.1  | Définition : .....                            | 27 |
| IV.4.2. | Les différents composants de la sardine ..... | 28 |
| IV.5.   | Rôle nutritionnel de la sardine.....          | 28 |

## **Matériel et méthodes.**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Objectif de l'étude.....                                            | 30 |
| II. Matériels et méthodes .....                                        | 31 |
| 1. l'huile utilisé .....                                               | 31 |
| 2. L'aliment à frite .....                                             | 31 |
| 3. La préparation de poisson pour la friture.....                      | 32 |
| 4. Echantillonnage .....                                               | 33 |
| 5. Analyses physiques.....                                             | 33 |
| A. Humidité .....                                                      | 33 |
| B. Détermination de la densité .....                                   | 34 |
| C. Détermination de la viscosité.....                                  | 34 |
| 6. Analyses chimiques .....                                            | 35 |
| A. Acidité.....                                                        | 35 |
| B. Détermination de l'indice de peroxyde (AFNOR NF T60-220, 1988)..... | 36 |
| C. Indice d'iode .....                                                 | 37 |
| D. Indice de saponification .....                                      | 37 |

## **Résultats et discussion.**

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| III. Résultats et discussion .....         | 39 |
| 1. Analyses physico-chimiques.....         | 39 |
| 1.1 Analyse chimique.....                  | 39 |
| b. Evolution de l'indice d'iode.....       | 41 |
| c. l'indice de peroxyde .....              | 44 |
| d. L'indice de saponification.....         | 45 |
| 1.2 Paramètres physiques .....             | 47 |
| a. L'humidité.....                         | 47 |
| b. La viscosité.....                       | 49 |
| c. Les composés polaires totaux (CPT)..... | 50 |
| Conclusion.....                            | 52 |

# Introduction

## Introduction

Les huiles végétales jouent un rôle majeur dans notre alimentation ; elles sont consommées directement sous forme d'huile raffinée ou vierge ou indirectement via de nombreux produits de l'industrie agroalimentaire.

La friture est l'une des méthodes culinaires les plus anciennes qui existent. Des produits frits sont consommés dans les pays en voie de développement, dont l'Algérie, à cause de l'influence des média étrangers.

Le procédé de friture absorbe la majorité des huiles alimentaires produites dans le monde (*VARELA, 1998*). Les huiles végétales comestibles sont caractérisées par leur richesse en acides gras polyinsaturés. Ces derniers sont extrêmement sensibles aux températures élevées et à l'oxygène. Durant le processus de fritures, des réactions thermo-oxydatives se produisant induisant une altération de l'huile notamment durant la friture de poisson.

L'oxydation des lipides est une cause majeure de dégradation des huiles alimentaires lors de leur conditionnement, leur conservation et leur stockage. Elle affecte surtout les huiles ayant une forte teneur en acides gras polyinsaturés (*MARTIN, 2001*). Les huiles végétales riches en acides gras polyinsaturés de la série des omégas 3 et 6 ont, certes, des avantages nutritionnels. Mais, ces huiles peuvent s'avérer toxiques et compromettre la santé du consommateur lorsqu'elles subissent des réactions d'oxydation.

Les causes d'altération par oxydation peuvent être nombreuses et variables, La conséquence la plus perceptible de l'oxydation des lipides est l'apparition d'odeurs et de saveurs désagréables souvent qualifiées de rance. Ces odeurs qui conduisent souvent au rejet de l'aliment par le consommateur peuvent être perçues très précocement. Elles sont liées à la formation de composés volatils au seuil de détection olfactifs très bas (*PRIOR, 2003*).

L'étude de la valeur nutritionnelle et de la toxicité des huiles chauffées est un sujet qui préoccupe jusqu'à présent beaucoup de chercheurs. Les altérations subies par les huiles au cours de la friture se traduisent par une modification des caractéristiques organoleptiques et une diminution de la valeur nutritionnelle, mais ce qui accroît aussi les risques pour la santé surtout lors ce qu'il s'agit de la restauration collective.

L'objectif de cette étude consiste à l'évaluation de l'altération de l'huile au cours de fritures de poisson dans les restaurations universitaires Hasnaoua.

Durant l'échantillonnage, ces restaurants utilisaient l'huile de marque « La Belle ». Des échantillons d'huiles de bains de friture ont été prélevés à la fin du dernier cycle de friture, vers 12 heures. Les résultats d'analyse physico-chimique sont obtenus et sont analysés à l'aide du logiciel STAT BOX et sont comparés entre les deux restaurants.

# **Chapitre I**

## **Les huiles**

### **végétales**

## **I.1 Les huiles :**

### **I.1 Définition :**

Une huile est une substance organique insoluble dans l'eau ; elle est formée essentiellement de TG, c'est-à-dire d'ester glycérolique des AG (*KARLESKIND*, 1992)

On les différencie généralement par leur point de fusion ; les huiles sont liquides à 15°C, tandis que les MG sont plus ou moins solides à cette température (*LECERF*, 2011). Les huiles proviennent soit des fruits (olive et palme), soit des graines oléagineuses (arachide, soja, tournesol, etc.) (*APFELBAUM et al.*, 2009).

Les huiles peuvent être obtenus ; après lavage et broyage, par procédés mécanique (trituration) mettant en jeu de forte pression et éventuellement un chauffage ou par des procédés chimique (extraction à l'aide d'un solvant comme l'hexane). L'opération technologique dite « raffinage » permet d'éliminer les produits indésirables qui peuvent se trouver dans la matière, brute extraite (*MAZOYER*, 2002).

### **I.1.2 Les huiles alimentaires**

L'huile alimentaire est une matière grasse insoluble dans l'eau, soluble dans les solvants organiques tels que l'éther, le benzène...

Les huiles et les graisses alimentaires sont préparées à partir de graines ou de fruits oléagineux, germes ou pépins de production végétale. On différencie généralement les huiles des graisses par leur point de fusion. Les huiles sont des corps gras liquides à la température de 15°C alors que les graisses sont plus ou moins solides à cette température (*UZZAN*, 1984).

Dans la catégorie des huiles, nous trouvons principalement l'huile d'olive, de noix, d'arachide, de tournesol, de soja, de colza, des germes de blé, de maïs et des pépins de raisin. (*UZZAN A. 1992*) a subdivisé les huiles et les graisses alimentaires en plusieurs classes : huiles végétales fluides : huile d'arachide, de colza, de germes de maïs, de tournesol, de soja et d'olive. Les huiles végétales concrètes (graisses) : coprah (provenant de la noix de coco), huile de palme.

### **I.3 L'huile de soja :**

Le soja appartient à la famille des légumineuses, telle que le haricot, l'arachide. C'est une plante herbacée dont l'aspect rappelle celui des haricots nains qu'on trouve partout en Afrique Centrale. Il peut être cultivé dans toutes les régions chaudes et même dans les régions froides.

Du fait, ses exigences sont semblables à celles du maïs : il craint une chaleur excessive ainsi que le gel (en dessous de 0°), mais résiste au froid. Il existe une quarantaine d'espèces de soja, dispersées à travers le monde. Le fruit du soja est une gousse velue, longue d'environ 2 à 10cm et large de 2 à 4 cm. Chaque gousse contient en général trois graines, parfois plus.

Le nombre de gousses par pied de soja varie de quelques douzaines à plusieurs centaines selon les variétés et les conditions. Sa graine qui contient 18 à 22 % d'huile possède un élément toxique, la trypsine. Avant la consommation du soja sous n'importe quelle forme, aussi bien

Par l'homme que par les animaux (porcs, volailles), il est conseillé de détruire cet élément toxique par le chauffage.

### **I.3.1 Définition de l'huile de soja**

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

Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales, sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer (**Cossut et al., 2002**).

Le soja [*Glycine max* (L.) Merrill] appartient à la famille des Fabacées, sous-famille des Faboideae, tribu des Phaseoleae, sous tribu des Glycininae, genre *Glycine* (**RASOLOHERY, 2007**).

### **I.3.2 Composition et altérations chimiques de l'huile de soja.**

#### **A. Composition de l'huile de soja :**

La principale différence de l'huile de soja par rapport aux autres huiles végétales, se situe au niveau de la forme d'insaturation et de la présence d'acide linolénique (C18:3) en quantité appréciable. Cet AG étant très sensible à l'oxydation, il conviendrait d'éviter au maximum le contact de l'huile avec l'oxygène de l'air.

L'huile brute de soja est définie en termes d'humidité, impuretés, teneur en phosphatides, en acides gras libres et aussi en termes de couleur, caractéristiques d'oxydation et traces métalliques (Tableau 1) (**PLATON, 1988**).

**Tableau 1** : Spécifications de l'huile de soja dégommée brute (*Platon, 1988*).

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Humidité et impuretés volatiles      | 0,3 % maximum  |
| Acidegras libres                     | 0,75 % maximum |
| Phosphatides (exprimés en phosphore) | 0,02 % maximum |
| Matières insaponifiables             | 1,5 % maximum  |
| Point d'éclair                       | 12 1°C minimum |

### B. Composition en acides gras

La composition moyenne en acides gras de l'huile de soja est donnée dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Composition de l'huile de soja en acides gras (*Platon, 1988*).

| Type d'acide gras                     | Pourcentage |
|---------------------------------------|-------------|
| Acide palmitique (C16 :0)             | 11.5%       |
| Acide stéarique (C18 :0)              | 4.0%        |
| Acide Oléique (C18 :1,cis)            | 25.0%       |
| Acide linoléique (C18 : 2 ,cis :cis ) | 51.5%       |
| Acide linolénique (C18 :3)            | 7.5%        |
| Acide arachidique (C20 :0)            | 0.5%        |

La teneur en acides gras insaturés de l'huile de soja étant très élevée, les molécules de triglycérides contiennent au moins deux acides gras insaturés et les glycérides di et tri-saturés sont pratiquement absents ou en très faibles quantités (*Platon, 1988*).

#### I.3.3 Propriétés de l'huile de soja :

L'huile de soja est une huile riche en acides gras polyinsaturés. Elle contient aussi de la lécithine qui a une action hypocholestérolémiante. Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales, sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer (*COSSUT et al., 2002*). L'huile de soja supporte une chaleur jusqu'à 177 - 200°C.

## . Propriétés physicochimiques

L'huile de soja possède certaines propriétés physico-chimiques qui sont représentées dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja selon le *Codex alimentarius*, (1992).

| Caractéristique                                  | Normes             |
|--------------------------------------------------|--------------------|
| Densité relative (20°C /eau à 20°C).             | 0,919-0,925        |
| Indice de réfraction à 20°C.                     | 1,466- 1,470       |
| Indice d'iode (g d'iode/100g huile).             | 120- 143           |
| Indice de saponification (mg d'iode/100g huile). | 189- 195           |
| Insaponifiable.                                  | Au maximum 15 g/Kg |

### I.4 Insaponifiables

La teneur en insaponifiables de l'huile de soja est comprise entre 0,5 et 1,6 % ; le tableau 4, résume tous les constituants principaux d'insaponifiables.

**Tableau 4:** Composition en insaponifiables de l'huile de soja (KARLESKIND, 1992)

| Insaponifiable : 0,5-1,6 %                           |         |                                                                |        |
|------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------|--------|
| Stérols (en mg /100g)                                | 250-418 | Hydrocarbures (en mg /100g)                                    |        |
| Composition des stérols<br>(en % des stérols totaux) |         | Tocophérols (en mg / 100g)                                     | 80-167 |
| Cholestérol                                          | < 1     | Composition des tocophérols :<br>(en % des tocophérols totaux) |        |
| Brassicastérol -                                     |         | alpha tocophérol                                               | 5-10   |
| Campestérol                                          | 19-23   | beta tocophérol                                                | 2-3    |
| Stigmastérol                                         | 17-19   | gamma tocophérol                                               | 44-60  |
| β sitostérol                                         | 47-59   | delta tocophérol                                               | 30-43  |
| Δ5 Avenastérol                                       | 2-4     | tocotriénols                                                   | -      |
| Δ7 Stigmastérol                                      | 1-3     | Alcools triterpéniques<br>(en mg / 100 g)                      |        |
| Δ7 Avenastérol                                       | 1-2     |                                                                |        |
| Ergostérol                                           | < 3     |                                                                |        |

### I.4 Les constituants mineurs

Les constituants mineurs de l'huile de soja, dont certains doivent être obligatoirement éliminés durant le raffinage, sont regroupés dans le tableau 5.

**Tableau 5** : Constituants mineurs de l'huile de soja (*Platon, 1988 ; Rohani Binti, 2006*)

| Nature           | Composé                                                                                       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lipidique        | -Phosphatides hydratables et non hydratables -<br>Glycérides partiels<br>- Acides gras libres |
| Glucidique       | -Sucres libres et glycolipides                                                                |
| Ions métalliques | -fer(Fe), cuivre(Cu), Calcium, Magnésium                                                      |

### I.6 Altérations de l'huile de soja

L'huile de soja est affectée par deux types d'altération: oxydation et dénaturation thermique.

#### A. Oxydation

Les facteurs qui influencent l'oxydation sont:

- Catalyseurs de l'oxydation :
- Atmosphère, lumière, chaleur;
- Métaux (Fe, Cu);
- Pigments;
- Eau: La teneur en humidité des huiles brutes ne devrait pas dépasser 0,2 %;
- Enzymes (Lipases): Initialement présentes à la surface des graines, ces enzymes passent dans l'huile brute aux cours des opérations de pression et d'extraction (*Denise, 1992; Alais et Linden, 1997*).
- Degré d'insaturation: Plus la teneur en doubles liaisons est élevée, plus la vitesse de dégradation des acides gras est importante (*DILMI-BOURAS, 2004*).

#### B. La chaleur

La résistance des corps gras à la chaleur est variable: Il existe pour chacun d'eux une température critique (également appelée "point de fumée") à ne pas dépasser (Tableau 6), au delà de laquelle, les corps gras produisent des composés toxiques, irritants pour les muqueuses digestives et qui oxydent les caroténoïdes et les vitamines A et E (*COSSUT et al., 2002*).

**Tableau 6** : Point de fumée de quelques huiles communes entièrement raffinées (*Poisson et Nacre, 2003*).

| Huile          | Point de fumée °C |
|----------------|-------------------|
| Colza          | 317               |
| Arachide       | 315               |
| Grain de coton | 322               |
| Soja           | 317               |
| Tournesol      | 316               |
| Coprah         | 288               |
| Palme          | 314               |

Il résulte de l'oxydation:

- Des produits volatils : Aldéhydes, cétones, acides, hydrocarbures;
- Des composés polaires : Monomères oxydés et oxypolymères;
- Des composés non-polaires : Produits de l'hydrolyse (Polymères cycliques, polymères non cycliques, monomères cycliques (*Alais et Linden, 1997; Nicolay et Roulin, 2004*).

Ces produits ont des conséquences sur la qualité de l'huile:

- **Qualité nutritionnelle** : Pertes en acides gras libres et insaturés, mais également pertes en vitamines et en protéines ;
- **Qualité hygiénique** : Il y a formation de composés plus ou moins toxiques;
- **Qualité organoleptique** : Apparition de flaveurs rances dues aux acides et aux cétones, ainsi qu'aux aldéhydes (*COSSUT et al., 2002*).

### **I. Intérêt nutritionnel de l'huile de soja :**

Comme tous les huiles végétales, l'huile de soja est sans cholestérols, pauvre en graisses saturées et riche en AGI dont l'organisme a besoin. Elle est adoucissante, anti-eczémateuse et protège l'épiderme. Elle a un intérêt nutritif par rapport en vitamine F dite aussi « facteur F » qui est excellente pour la peau et ses irritations (*LABOURET, 2005*)

L'huile de soja offre une combinaison unique de deux AG, en l'occurrence les w 3 et w 6 qui ont un effet bénéfique sur la santé cardiovasculaire (*JOTTERAND et al., 2007*).

Les qualités nutritionnelles du soja et de ses dérivés restent très intéressantes, même pour une consommation occasionnelles de ces aliments, que l'on soit végétarien ou non, le soja devrait avoir sa place dans toute alimentation variées et équilibrée (*COLLOMB et MAYOR, 2007*).

# **Chapitre II**

## **Altérations des huiles végétales**

## I. Altérations des huiles végétales

### I.1 Mécanismes de l'oxydation des huiles

L'oxydation lipidique des aliments est un problème qui se pose de plus en plus en agroalimentaire. Elle tend notamment à réduire la durée de conservation du produit, affecte sa palatabilité, fonctionnalité et sa qualité nutritionnelle (*HIDALGO et al., 2006*).

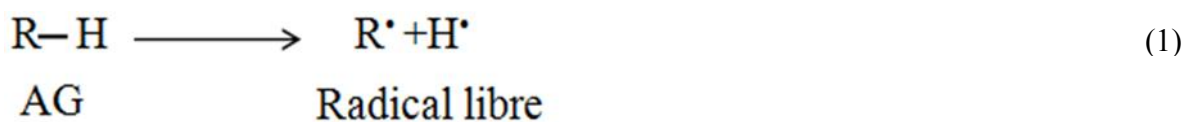
Elle a lieu sous l'action de l'oxygène qui est le principal facteur de détérioration des corps gras. Elle est accélérée par la chaleur et la lumière. L'oxydation atteint facilement les acides gras insaturés (*FREDOT, 2012*).

#### I.1.3 Auto-oxydation

Les acides gras insaturés réagissent avec l'oxygène pour former des hydro-péroxydes qui génèrent par dégradation de petites molécules : les hydrocarbures, aldéhydes et des cétones. L'auto-oxydation (Figure 6) est une réaction en chaîne de radicaux libres se déroulant en trois étapes (*GRAILLE, 2003*) :

##### a) Initiation

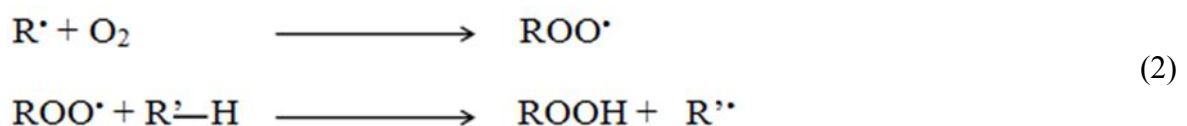
La réaction d'initiation conduit à la formation d'un radical libre par arrachement d'un atome d'hydrogène d'une chaîne d'acides gras insaturés selon la réaction :



La réaction d'initiation augmente avec l'insaturation des lipides, le chauffage, la lumière, des radiations ionisantes, la présence d'ions métalliques polyvalents et des lipoxygénases (*JEANTET et al., 2006*).

##### b) Propagation

La réaction d'un radical libre d'acide gras ainsi formé avec une molécule d'oxygène est très rapide lorsque la teneur en oxygène n'est pas limitante. La réaction conduit à la formation d'un radical peroxyde ( $\text{ROO}^\bullet$ ). Ce radical capte un autre atome d'hydrogène sur une autre molécule d'acide gras ( $\text{R}'-\text{H}$ ) pour stabiliser sa structure et former un hydroperoxyde ( $\text{ROOH}$ ) et un autre radical  $\text{R}'^\bullet$ .

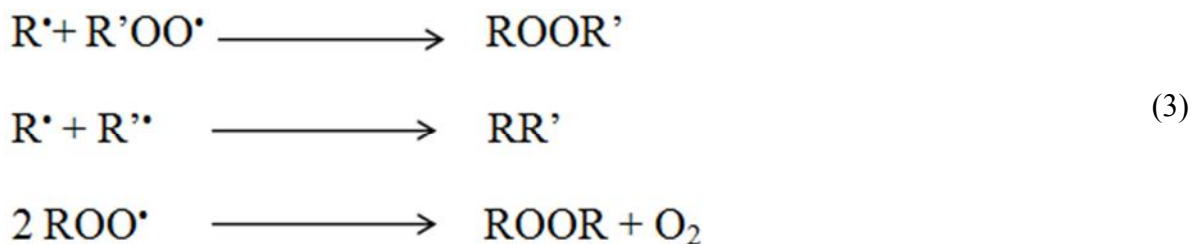


Le radical libre ( $R^{\bullet}$ ) formé peut continuer la réaction suivant le même principe (*JEANTET et al., 2006*).

La vitesse de la réaction de propagation est lente lorsque la vitesse d'initiation est basse et la concentration en lipides polyinsaturés est faible. La réaction en chaîne est inhibée en présence d'antioxydants et à haute température tels que les huiles en friture (*GRAILLE, 2003*).

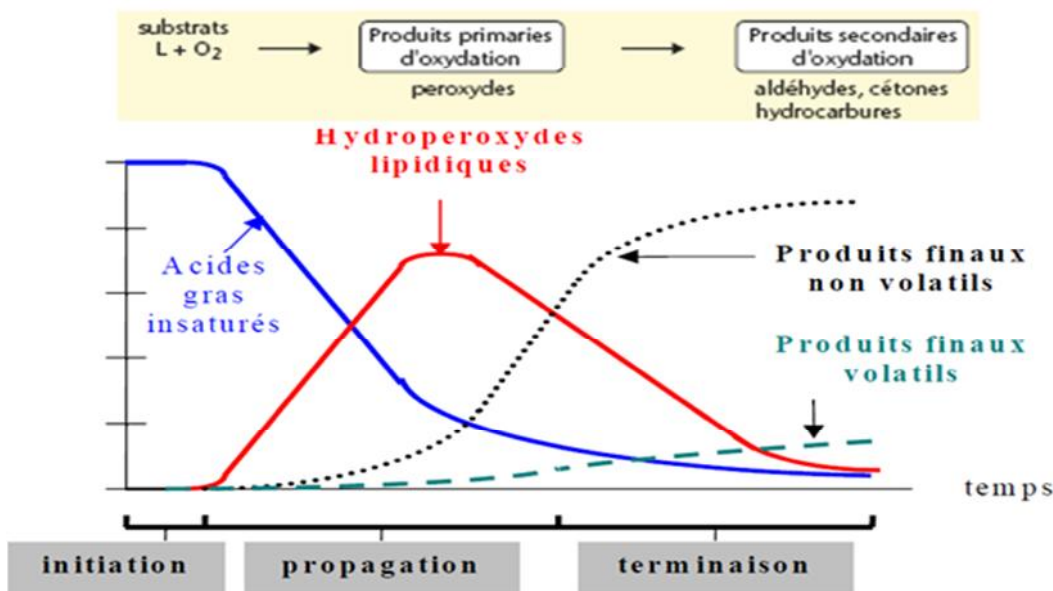
### c) Terminaison

La réaction en chaîne peut s'arrêter lorsque la concentration en radicaux libres devient importante, cette dernière correspond à l'interaction entre deux radicaux libres pour terminer la réaction d'auto-oxydation selon les réactions suivantes :

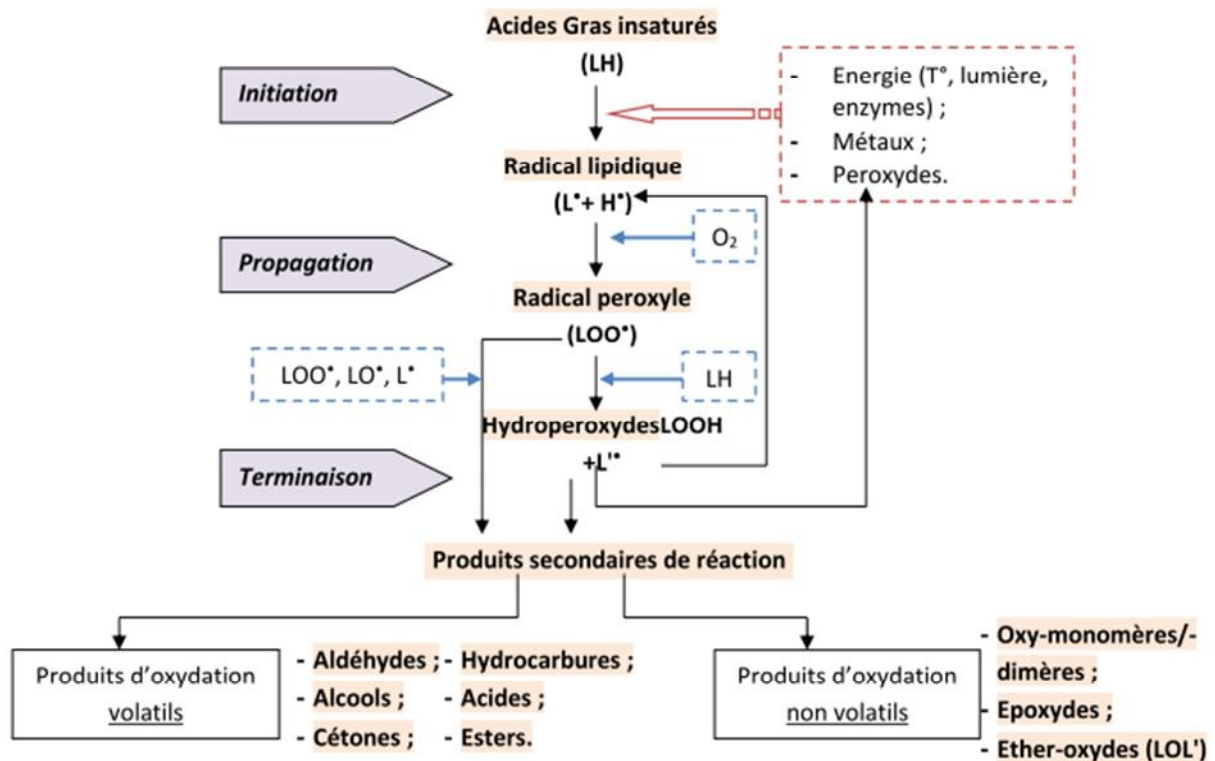


Les réactions de terminaison sont lentes lorsque la concentration en radicaux libres est basse au début de l'oxydation, mais elle devient très rapide à des concentrations élevées quand l'oxydation est avancée (*JEANTET et al., 2006*).

Les réactions d'auto-oxydation ainsi que la cinétique de la formation et de la décomposition des hydro-peroxydes sont représentés par la figure 1 et 2.



**Figure 1** : représentation schématique de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés (*EYMARD, 2003*).



**Figure 2 :** Schéma générale des réactions d'auto-oxydation des AGI (EYMARD, 2003).

### I.1.2 Photo-oxydation

La photo-oxydation des acides gras insaturés est basée sur le fait que l'oxygène peut se retrouver dans un état singulier par suite d'une photo-excitation. La photo-oxydation s'effectue suivant deux mécanismes : type I et type II.

**a) Type I :** l'énergie de la lumière (l'ultraviolet et le spectre visible) est absorbée par un photo-sensibilisateur, ce qui l'élève à l'état singulet (1) selon la réaction suivante :



Ensuite, un croisement inter-système forme l'état triplet (2) ;

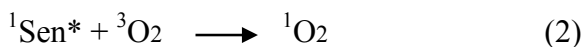
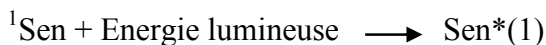


Le sensibilisateur excité réagit directement avec une autre molécule en capturant un atome d'hydrogène (3 et 4). Ce mécanisme donne des radicaux libres qui peuvent initier l'auto-oxydation (GRAILLE, 2003).



## b) Type II :

La photo-oxydation type II implique aussi des photo-sensibilisateurs, après avoir absorbé l'énergie de la lumière (1), ils transfèrent le photon du sensibilisateur excité à l'oxygène dans son état triplet et ce dernier passe à l'état singulet (2).

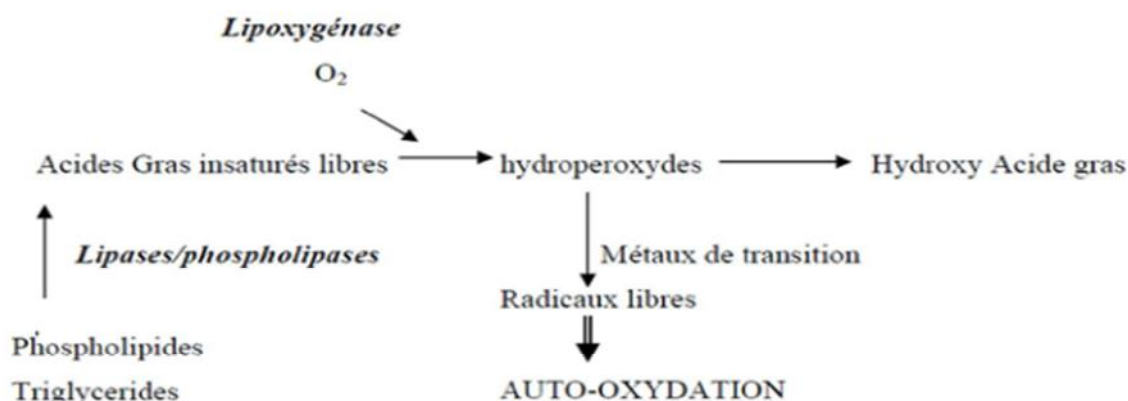


L'oxygène singulet ( ${}^1\text{O}_2$ ) réagit facilement avec les acides gras insaturés, mais suivant un mécanisme différent de l'auto-oxydation. L'addition d'oxygène à un acide gras insaturé mène directement aux hydroperoxydes (GRAILLE, 2003).

## II.1.3 Oxydation enzymatique

C'est une réaction radicalaire en chaîne qui se déroule de façon similaire à l'auto-oxydation. Elle est catalysée le plus souvent par les lipoxygénases (lipoxydases), qui sont très répandues dans les tissus animaux et végétaux. Ces enzymes exigent des acides gras libres comme substrat et actives même à des concentrations très basses d'humidité et à des températures basses.

Les lipoxygénases catalysent l'addition directe de l'oxygène (Figure 7), et les monohydroperoxy des produits se décomposent de la même manière que les produits de l'auto-oxydation ou la photo-oxydation (GRAILLE, 2003).



**Figure 3 :** Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique (GERMAN et KINSELLA, 1985).

#### **II.1.4 Acidification**

L'acidification correspond à la libération d'acides gras libres, diacylglycérols et monoacylglycérols à partir des acides gras contenus dans les corps gras suite à des réactions d'hydrolyse. Elle se produit dans les corps gras renfermant de l'eau, et se réalise sous l'action de micro-organismes lipolytiques. Les acides gras libres formés confèrent aux corps gras un goût et une odeur désagréables caractéristique de rance (*FREDOT, 2012*).

#### **II.1.5 Isomérisation**

A des températures élevées (au-dessus de 200°C), les doubles liaisons des acides gras sont susceptibles de subir des réactions d'isomérisation en formant le plus souvent des systèmes conjugués. Les doubles liaisons qui ont migré prennent la configuration géométrique *trans* plus stable que la forme *cis* initiale. Cette réaction intervient généralement au cours de la désodorisation des huiles végétales au cours du raffinage (*GRAILLE, 2003*).

#### **II.1.6 Altérations biologiques**

Les huiles végétales sont peu altérées par les micro-organismes ; elles subissent surtout des dommages physico-chimiques. Cependant, les germes lipolytiques peuvent parfois participer aux réactions d'hydrolyse et d'oxydation. Le contrôle microbiologique de ces produits est rarement appliqué (*GUIRAUD, 2003*).

### **II.2 Facteurs influençant l'oxydation des lipides**

#### **II.2.1 Teneur en oxygène**

La teneur en oxygène est le facteur prépondérant car la molécule initie les réactions (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

#### **II.2.2 Température**

Une élévation de la température favorise l'oxydation des lipides. Cette dernière est d'autant plus rapide que la température est importante : l'abstraction des hydrogènes allyliques et la décomposition des hydroperoxydes en produits secondaires sont favorisées. L'effet de la température sur l'oxydation des lipides est complexe et dépend toutefois de la concentration en oxygène dans le milieu (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

#### **II.2.3 Présence d'agents antioxydants**

Les aliments contiennent naturellement ou sous forme d'additif des molécules plus oxydables que les lipides : ce sont les tocophérols, l'acide ascorbique... Ces molécules

permettent de stopper la phase de propagation de l'auto-oxydation et augmentent les cinétiques de réaction de terminaison pour protéger les acides gras de l'oxydation (*GRAILLE, 2003*).

#### **II.2.4 Présence d'agents pro-oxydants**

La présence des métaux activateurs des oxydations tels que le fer, cuivre et manganèse, peut accélérer la décomposition des lipides (*GRAILLE, 2003*).

#### **II.2.5 Teneur en acides gras libres**

Du fait de leur dispersion, les acides gras libres sont plus sensibles à l'oxydation qui est accélérée par les lipases (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

# **Chapitre III**

## **Les fritures**

### **III. Les fritures**

#### **III.1 Définition de friture :**

Elle consiste à prolonger les aliments dans la matière grasse portée à des températures élevées. Le processus de friture est complexe et implique beaucoup de facteurs, dont certains dépendent du processus lui-même et d'autre de l'aliment et de type de graisse utilisée (*KAUFMANN et al., 2000 ; GERTZ et KOCHLOR, 2001 ; SAGUY et DANA, 2003*). Elle peut être réalisée à la poêle en présence de peu de matière grasse (friture plate) ou dans un volume d'huile ou de matière grasse (friture profonde) portée à une température généralement comprise entre 160°C et 200°C (*VITRAC et al., 2003*). En outre, une différence importante avec la friture plate réside dans le fait que l'huile est utilisée plusieurs fois (*LINDEN et LORIENT, 1994 ; VITRAC et al., 2003*).

#### **III.2 Procédé de friture**

Le procédé de friture absorbe la majorité des huiles alimentaires produites dans le monde, et des produits frits sont consommés sur tous les continents. 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.

La friture permet de déshydrater, cuire, texturer et formuler des aliments (imprégnation en matière grasse, perte de solutés propres, développement d'arômes). L'application la plus répandue de la friture à toutes les échelles de transformation (domestique, artisanale ou industrielle) est la déshydratation-cuisson des aliments riches en eau (fruits et légumes, viandes et poissons, racines et tubercules).

Cependant, l'utilisation des huiles de friture à plusieurs reprises et à de hautes températures peut produire des constituants qui compromettent non seulement la qualité nutritionnelle des aliments, mais peuvent aussi être à l'origine de la formation de composés chimiques ayant des effets néfastes sur la santé du consommateur.

### **III.3 Types de fritures**

#### ***A. Friture plate***

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

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

#### ***B. Friture profonde***

La friture par immersion profonde est réalisée par immersion forcée ou par flottaison du matériau dans un grand volume d'huile. La masse d'huile constitue alors une réserve potentielle de chaleur qui pourra être utilisée pour la déshydratation et la cuisson rapide de matériau (*GRAILLE J., 2003*).

Elle se différencie de la friture plate par un plus faible contact du CG avec l'air, un grand volume du CG et une réutilisation du bain d'huile pour plusieurs opérations de friture (*LINDEN et LORIENT, 1994*).

#### ***C. 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*).

#### ***D. Friture industrielle***

Compte tenu du fait que les repas sont de plus en plus pris hors du foyer familial, une part grandissante des produits alimentaires 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 (*KARLESKIND, 1992*).

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. Un système d'aspiration des émanations est installé de manière à ce que la vapeur produite pendant l'opération de friture forme une

couverture inerte au-dessus de la surface de l'huile et ne soit évacuée qu'aux extrémités de la friteuse. Il importe de souligner qu'une pomme de terre entre dans la friteuse avec une humidité à 85% et la qualité avec une humidité de 1 à 2% (*KARLESKIND, 1992*).

### **III.4 Principes de base de la friture**

La friture est principalement utilisée pour réaliser des transformations qui augmentent :

- La digestibilité des aliments en facilitant leur trituration et leur assimilation dans le tractus (coagulation des protéines et de l'amidon) ;
- La palatabilité des aliments par le développement de textures, couleurs et saveurs ;
- La stabilisation de matières premières ou aliments par l'abaissement de la teneur en eau du matériau et l'inactivation des micro-organismes.

Suivant l'application envisagée le procédé de la friture pourra être intégré :

- Dans les opérations de cuisson ;
- Dans les opérations de stabilisation des aliments (pasteurisation, déshydrations, formulation) ;
- Dans les opérations de séchage non conventionnel. (*GRAILLE, 2003*)

### **III.5 Classification des huiles en fonction de leur utilisation :**

Les huiles végétales sont classées en fonction de leur teneur en AGPI de la série oméga3, ce qui permet de distinguer les huiles utilisables en friture et/ou en assaisonnement (*VIRLING, 2003*).

#### **III.5.1 Huiles pour assaisonnement :**

Les huiles utilisées pour l'assaisonnement sont des huiles dont la teneur en acide  $\alpha$ -linolénique est supérieure à 2%. Exemple : huile de noix (5 à 13%), huile de colza (51-55%) et huiles de soja (5-10%).

#### **III.5.2. Huiles pour friture et assaisonnement :**

La teneur en Oméga3 d'une huile destinée, à la fois, à la friture et à l'assaisonnement ne doit pas dépasser 2% des AG totaux, car la chaleur provoque l'isomérisation de cet AGPI et produit de nombreux composés indésirables, voire toxiques (isomères trans, monomères cycliques, polymères et les produits oxydés (*ROBERFROID et al., 2008*)). Les huiles riches en

AGPI (principalement l'acide linoléique et  $\alpha$ -linolénique) sont, en effet, plus sensibles à l'oxydation et doivent être renouvelées le plus souvent (*APFELBAUM et al., 2009*).

### **III.6. Facteurs influant le processus de friture**

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

- Ceux dépendant du processus : comme la T° et le temps, la méthode de friture, à la poêle ou à la friteuse (continue ou discontinue) et le matériel du récipient.
- Ceux dépendant de l'huile de friture : on cite la composition en AG de l'huile et les additifs y incorporés
- Choix de l'huile de friture : la nature du CG qui est liée au degré d'instauration de l'AG. Les huiles contenant plus de 2% d'acide linolénique ne peuvent être employées pour la friture, car cet AGPI de la série des omégas 3 s'oxyde facilement en donnant des produits suspects (irritant et cancérigène) (*ALIAS et LINDIN, 1987 ; VITRAC et al., 2003*).
- Le choix du type ou du mélange d'huiles dépendra en outre de la perception et l'acceptabilité du produit frit par le consommateur (odeur, texture, sensation en bouche, arrière-goût, stabilité de l'huile lors du stockage avant utilisation ou de produit final) (*VITRAC et al., 2003*)
- Ceux dépendant de l'aliment : humidité et composition en gras
- La durée et le rythme de chauffage : les temps de friture varient essentiellement avec la teneur initiale en eau de l'aliment et la T° du bain utilisé. Ainsi, les tranches de pomme de terre, avec une teneur en eau de 80 à 85% sont frites à 180°C alors que les tranches de plantain ou de manioc, qui recèlent 60 à 65% d'eau, sont plongées dans un bain à 160°C (*ALIAS et LINDIN, 1987 ; VITRAC et al., VITRAC et al., 2003*)
- La présence de métaux catalyseurs de certaines réactions d'oxydation : les cations métalliques comme le fer ou le cuivre peuvent initier et accélérer les réactions d'oxydation (*GRANDGIRARD, 1992 ; VITRAC et al., VITRAC et al., 2003*).
- Le ratio surface / volume de la friteuse : la masse d'huile constitue alors une réserve potentielle de chaleur qui pourra être utilisée pour la déshydratation et la cuisson rapide (*ALIAS et LINDIN, 1987 ; VITRAC et al., VITRAC et al., 2003*)

- La T° atteinte : plus la T° de l'huile est élevée, plus les modifications chimiques sont importantes (*LINDIN et LORIENT, 1994 ; VITRAC et al., 2003*)

### **III.7. Effets physiologiques des produits d'altération des huiles chauffées (friture)**

#### **III.7.1. Effet sur la croissance corporelle**

L'ingestion à long terme d'huiles et de graisses de friture a induit des retards dans la croissance et une diminution de poids des animaux (*CLARK et SERBIA, 1991 ; MANSOURI et OURAHMOUNE, 2000*).

#### **III.7.2. Effets sur les maladies cardiovasculaires (MCV)**

Par ailleurs, il a été établi que les formes trans sont impliquées dans la survenue des maladies cardio-vasculaires (*LEDoux et al., 1999*). Les AGT consommés à des taux élevés sont associés à une carence en AGE ; ils peuvent être un facteur de risque dans le développement de MCV (*WILHET et al., 1993 ; ASHERIO et al., 1997*) ont rapporté l'existence d'une corrélation positive entre la consommation d'AGT d'origine végétale et l'apparition de MCV.

#### **III.7.3. Effets sur le foie et les reins**

Les composés polaires formés dans les huiles de friture dégradées, entraînent l'augmentation du volume du foie et des reins. Ceci est dû à l'implication de ces deux organes dans le mécanisme de détoxification (*SAARICSALLY, 1997*)

Les composés polaires ont également des effets sur d'autres paramètres biologiques, telle que la composition lipidique du plasma et du cœur ainsi qu'une diminution de tocophérol du plasma (*BOATELLA et al., 2003*).

#### **III.7.4. Effets sur la mortalité**

Selon *CAUSERET (1982)*, la mortalité des rats constatée est due à l'administration de la fraction de monomères cycliques. Celle-ci est beaucoup plus toxique que la fraction des polymères cycliques. Ces dernières sont formées à partir de l'acide  $\alpha$ -linolénique.

#### **III.7.5. Action sur la reproduction**

Les CG chauffés dans des conditions sévères entraînent un accroissement significatif de la mortalité néo et périnatal ainsi qu'un net ralentissement du développement pondéral des jeunes.

L'administration des CG chauffés détériore les performances de reproduction de la mère, et la nocivité pour la descendance s'exerce à la fois sur le fœtus et sur le jeune sous la mère. (CAUSERET, 1982).

### III.7.6. Températures de friture

La température ne doit pas dépasser 180° C. A 200°C, les corps gras se dégradent, apparition de fumées, transformations chimiques de leurs constituants. Evitez de chauffer le bain trop fortement et trop longtemps. Toutes les matières grasses s'enflammant spontanément à partir de 300-350°C,

La T° varie selon le volume et le type d'aliments :

\*150°/160 °C pour les légumes et poissons ;

\*160°/170 °C pour les poulets et beignets ;

\*170°/180 °C pour les frites ;

Il existe une T° critique pour chaque huile, appelée aussi point de fumage qu'il ne faut pas atteindre ou dépasser.

**Tableau 7 :** Les températures critiques de quelques huiles alimentaires.

| Huiles    | Températures critiques                                      |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
| Colza     | 204 (Raffinés), 117(demi-raffinés) et 107 (vierge)          |
| Tournesol | 232 (Raffinés et semi-raffinés), 107 (non raffinés)         |
| Soja      | 232 (Raffinés), 177 (semi- raffinés) et 160 (non raffinés ) |

Le thermomètre à cuisson permet de connaître la température à laquelle plonger les aliments, contrôler la chaleur pendant la friture, et éviter le point de fumée. C'est pourquoi il est préférable de cuire de petites portions d'aliments afin d'obtenir une cuisson bien dorée à l'extérieur et cuite à point à l'intérieur. La meilleure méthode pour réaliser ces résultats c'est d'utiliser la friteuse.

### III.8. Conseils pratiques lors des fritures

- Le CG doit être destiné à cet usage
- Sécher le plus possible les aliments pour limiter l'introduction d'eau dans le bain d'huile ;
- Eviter de faire frire différents types d'aliments en utilisant le même bain d'huile ;
- Prendre des précautions particulières liées au type d'aliments ;
- Filtrez le bain d'huile après chaque usage afin d'éliminer les débris qui risqueraient de carboniser lors de la friture suivante et contribueraient par conséquent à sa dégradation ;

- Ne jamais dépasser la T° de 180°C pour le bain de friture ;
- La friteuse doit être conforme aux normes de sécurité ;
- Le bain de friture doit être rempli de manière à respecter les proportions indiquées par le constructeur ;
- Nettoyer correctement la friteuse pour éliminer les éléments carbonisés ;
- Ne pas laisser l'huile plus de 2 ou 3 semaines dans la friteuse sans la réutiliser : la stocker de préférence dans un récipient fermé (bouteille en verre), dans un endroit frais à l'abri de la lumière et de l'air afin d'éviter toute oxydation ;
- Ne laissez jamais l'huile chauffer sans surveillance.

### **III.9. Différents produits formés lors des fritures**

Les produits formés lors du chauffage des CG et d'une façon générale au cours d'une opération de friture sont d'une grande diversité (plus de 400 espèces). On distingue ainsi des composés à courte chaîne, tels que l'hexanal et propanal (responsables des mauvaises odeurs). Des AGL, AGT, glycérides partiels, monomères cycliques représentent les composés de haut poids moléculaires.

La teneur en produits d'altération, qu'ils s'agissent des ECN (espèces chimiques nouvelles) des glycérides polaires ou polymères, augmente avec la durée du chauffage et donc, avec le nombre de friture effectuées (*PERRIN, 1992*).

# **Chapitre IV**

## **Les poissons**

## **IV. Généralités sur les poissons :**

### **IV.1 Définition :**

Les poissons sont des animaux vertébrés aquatiques à branchies, pourvus de nageoires et dont le corps est le plus souvent couvert d'écailles. On les trouve abondamment aussi bien dans les eaux douces que dans les mers. C'est un aliment périssable, mais d'excellente valeur nutritionnelle.

### **IV.2 Biochimie du muscle du poisson :**

#### **IV.2.1 Composition du muscle :**

Le muscle du poisson est un assemblage de tissu musculaire et de tissu conjonctif. Selon *LINDEN* et *LORIENT (1994)*, c'est la partie la plus intéressante du poisson en tant qu'aliment. La composition biochimique de la chair de poisson se rapproche de celle du muscle de viande des animaux terrestres, en particulier, en ce qui concerne les teneurs en protéines, en sucres et minéraux.

Il est cependant important de mentionner que ce rapprochement entre les protéines des animaux terrestres et aquatiques ne se vérifie qu'en terme de quantité. Les protéines du poisson se distinguent de celles des animaux terrestres par une plus forte teneur relative en protéines solubles. Selon *KAUSHIK (1997)*, la chair de poissons est nettement plus pauvre en protéines insolubles (3 à 10%) par rapport à la viande bovine (16 à 28%).

Par ailleurs, *TOLIARA (1997)* souligne que la chair du poisson possède une excellente valeur nutritionnelle ; elle est riche en protéines de haute valeur biologique à un taux relativement élevé (15 à 24%) ; en vitamines (A et D notamment), en oligo-éléments (iode notamment).

En revanche, les teneurs en lipides et en eau sont peu différentes. La teneur en matière grasse des poissons fluctue considérablement et permet de ce fait de les classer en deux catégories : les poissons dits "gras" et les poissons dits "maigres". Chez les poissons gras, la teneur de graisse fluctue considérablement d'une saison à l'autre, en fonction du cycle sexuel ; par exemple de 1 à 20% chez la sardine, mais se maintient à des valeurs moyennes pendant la meilleure saison de pêche du mois d'avril au mois de novembre. Chez les poissons maigres la teneur en lipides est inférieure à 5% (*CHEFTEL et CHEFTEL, 1977*).

De plus, les lipides du poisson se caractérisent par une forte proportion d'acides gras insaturés ; dans les huiles de poisson gras, ce taux peut atteindre 75% (*GRET, 1993*). D'après *JEANTET et al. (2007)*, cette richesse en acides gras polyinsaturés lui conférerait les

propriétés nutritionnelles particulières pour prévenir les maladies cardiovasculaires. Ces acides gras insaturés sont plus digestes et donc plus facilement assimilables. Le *tableau II* donne la composition détaillée du muscle du poisson.

### **IV.3 Composition de la chair**

#### **IV.3.1 Principaux composés**

La chair des poissons se différencie de celle des autres animaux par l'organisation structurale des muscles qui la constituent et par ses composants. La composition biochimique de la chair de poisson se rapproche de celle du muscle de viande des animaux terrestres, en particulier, en ce qui concerne les teneurs en protéines, en sucres et minéraux. Il est cependant important de mentionner que ce rapprochement entre les protéines des animaux terrestres et aquatiques n'est valable que quantitativement. Par ailleurs, la plupart des espèces de poissons partagent des caractéristiques communes : des protéines de haute valeur biologique dont la teneur est comparable à celle des autres produits carnés, une richesse exceptionnelle en acides gras longs polyinsaturés de la série n-3, des minéraux, des oligoéléments et des vitamines. De nombreux facteurs conditionnent la variabilité de la composition chimique de la sardine tels que : l'âge, le comportement migratoire, l'état de la mer (tempête/beau temps), les conditions d'alimentation, facteurs du milieu océanique, dont le plus important la température, qui commandent la distribution du plancton (*Furnestin, 2007*).

##### **a) Les lipides :**

Présents chez les espèces de poissons sont sous deux formes : lipides Structuraux (lipides polaires ou membranaires, phospholipides) et lipides de réserve (triglycérides, graisses de réserve). Les phospholipides sont des composants majeurs des membranes cellulaires, leur teneur et leur composition sont relativement constantes. Ces lipides représentent moins de 1% du poids du muscle (*AURSAND et al., 1994*), ils permettent de maintenir l'équilibre entre les échanges externes et internes de la cellule et d'assurer la fluidité membranaire même à basses températures; cela grâce à leur richesse (60%) en acides gras polyinsaturés à longues chaînes tels que l'acide eicosapentaénoïque (20:5 n-3) et l'acide docosahéxaénoïque (22:6 n-3) (*HENDERSON et TOCHER, 1987*). Les triglycérides sont des graisses de dépôt du tissu adipeux blanc utilisées pour l'entreposage d'énergie (*FAUCONNEAU et al., 1990*) ; ils sont caractérisés par une proportion élevée d'acides gras polyinsaturés de la série n-3.

(*GANDEMER et al.*, 1990) rapportent que la teneur de la chair de poisson en ces acides gras oscille entre 15 à 36%, chez la sardine elle est de 43% (*BNDARRA et al.*, 1997).

Chez le poisson, il existe plusieurs sites de dépôts lipidiques dont les principaux sont le foie, le muscle, le tissu adipeux périveriscéral et le tissu adipeux sous cutané (*FAUCONNEAU et al.*, 1990). La répartition entre les différents sites de dépôt varie selon les espèces, cette différence dans les sites de stockage et dans les teneurs en lipides représente un critère pratique de distinction des poissons. Ainsi, les poissons sont dit : "maigres" pour ceux qui réservent l'énergie dans leur foie ; "plats" à teneur en lipides intermédiaire pour ceux qui accumulent leurs graisses dans le foie mais aussi dans leurs muscles et d'autres tissus tels que le tissu adipeux périveriscéral et "gras" pour les poissons dont les lipides sont répartis dans leurs muscles.

Chez les poissons gras, la teneur de graisse fluctue considérablement d'une saison à l'autre, en fonction du cycle sexuel ; par exemple de 1 à 20% chez la sardine ; chez les poissons maigres la teneur en lipides est inférieure à 5% (*CHEFTEL et CHEFTEL*, 1984).

Selon *FURNESTIN* (2007), la teneur en graisse de la sardine augmente d'une façon continue à partir du mois d'Avril. Elle atteint son maximum en Automne, se maintient à un taux élevé jusqu'à Décembre-Janvier, puis diminue fortement à la fin de l'hiver, elle est extrêmement faible en Mars. A partir du mois d'Avril suivant un nouveau cycle d'engraissement commence.

#### **b) L'eau**

Peut constituer 66–79 % du poids total de la chair de la sardine (*Furnestin*, 2007). Cette teneur reste stationnaire et le gain du poids supplémentaire qu'elle réalise est surtout dû à l'accumulation de matières grasses dans les tissus et la cavité viscérale.

#### **c) Les protéines**

Les protéines du poisson se distinguent de celles des animaux terrestres par une forte teneur en protéines solubles. Comme le soulignent (*HAARD*, 1992) et (*KAUSHIL*, 1997), la chair des poissons est nettement plus pauvre en protéines insolubles (3 à 10%) par rapport à la viande bovine (16 à 28%) et plus riche en protéines myofibrillaires (70 à 90%). La teneur en collagène (protéine insoluble du tissu conjonctif) est en très faible quantité chez le poisson. Le taux d'hydroxyproline est en général plus bas chez les poissons que chez les mammifères, il a été observé une variation totale de 4,7 à 10% du collagène (*SATO et al.*, 1991). Cette composition particulière rend les protéines de la chair des poissons facilement digestibles. La

chair du poisson est, en outre, riche en protéines de haute valeur biologique à un taux relativement élevé (15 à 24%), ces dernières renferment tous les acides aminés essentiels (*TOLIARA*, 1997). Contrairement aux lipides, la teneur et la composition des protéines ne sont pas affectées d'une façon notable par l'âge des animaux et leur alimentation.

**d) La fraction en extraits azotés ou en ANP (Azote non protéique)**

En générale, les poissons constituent 9 à 18% de l'azote dans les téléostéens (*HUSS*, 1999). Les composants principaux de cette fraction sont : des bases volatiles telles que l'ammoniaque et l'oxyde de triméthylamine (OTMA), la Créatine, les acides aminés libres, les bases nucléotides et bases puriques.

La chair du poisson contient davantage d'acides aminés libres que les autres produits carnés ; contribuant, ainsi, dans la régulation de la pression osmotique.

**e) La teneur en carbohydrates**

Le muscle de poisson est très faible en carbohydrates, habituellement sont inférieures à 0,5% et elles se présentent sous forme de glycogène (*HUSS*, 1999).

**f) Les vitamines :**

La teneur en vitamines dans la chair des poissons est très variable selon l'espèce, la saison et l'habitat, mais, comme pour les lipides, le facteur majeur est l'apport alimentaire (*HUSS*, 1999). La chair du poisson est une bonne source de vitamines B et également, dans le cas des espèces grasses, de vitamines A et D (*LALL et PARAZO*, 1995).

**g) Eléments minéraux :**

Les poissons apportent aux consommateurs des quantités appréciables d'éléments minéraux tels que le Potassium, le Calcium et le Phosphore en particulier mais également de Fer, de Cuivre et de Sélénium. Les poissons d'eau de mer ont une forte teneur en Iode. Il faut noter que la teneur en Sodium dans la chair du poisson est relativement basse, ce qui le rend compatible avec un régime hyposodé.

**Tableau 8 :** Composition comparée de la chair de poisson et du muscle squelettique de mammifère (*STANSBY, 1962 ; LINDENetLORIENT, 1994*).

| Constituants       | Poisson (filet) |                   |         | Muscle squelettique de mammifère |
|--------------------|-----------------|-------------------|---------|----------------------------------|
|                    | Minimum         | Intervalle normal | Maximum |                                  |
| Protéines          | 6               | 1.6-21            | 28      | 15-23                            |
| Lipides            | 0.1             | 0.2-25            | 67      | 4-15                             |
| Hydrate de carbone |                 | < 0.5             |         | 0.5-1.0                          |
| Cendres            | 0.4             | 1.2-1.5           | 1.5     | 1.0-1.3                          |
| Eau                | 28              | 66-81             | 96      | 65-72                            |

### IV.3.2. Evolution post mortum du muscle :

Après la mort du poisson, l'installation de la rigidité cadavérique est rapide, elle intervient après 5 à 22 heures après la mort lors de l'entreposage immédiat à 0°C (*LINDEN et LORIENT, 1994*). La chute du pH reste modérée pendant l'apparition du *rigor mortis* (*CHEFTEL et CHEFTEL 1977*), ceci s'expliquerait par les résistances qu'opposerait le poisson au moment de la capture. Car les réserves en glycogène diminueraient de façon proportionnelle à la résistance qu'oppose le poisson à la capture (plus il est résistant plus élevée est la perte en glycogène).

Cet abaissement de pH est généralement de 7.0 à 6.5-6.0 dans le cas des poissons maigres et de 6.0 à 5.6 dans le muscle brun des poissons gras (*LINDEN et LORIENT, 1994*). A ces pH, le poisson n'est pas à l'abri de la prolifération microbienne et des activités enzymatiques (protéases, lipases). Pour cela, le poisson doit être immédiatement réfrigéré après sa mort et conservé.

## IV.4. Généralités sur la sardine :

### IV.4.1 Définition :

La sardine (*Sardina pilchardus*) est une espèce de poisson de la famille des Clupéidés, qui comprend également le hareng, l'alose, notamment. Les qualités gustative et nutritionnelle du petit hareng et la sardine sont très proches. La sardine est d'une longueur

variant de 15 à 20 cm, la sardine possède un corps fusiforme recouvert de fines écailles, de couleur gris-vert sur le dos et argentée au niveau du ventre terminé par une queue fourchue. Elle fut un des premiers poissons à être mis en conserve ; les principaux pays producteurs de sardines en conserve sont la France, le Portugal, l'Espagne et la Norvège.

#### **IV.4.1. Les différents composants de la sardine :**

Comme tous les poissons gras, la sardine présente une teneur élevée en acides gras polyinsaturés de la série oméga 3 qui lui confèrent des effets protecteurs sur la santé. De plus, ses lipides contiennent une part importante d'acides gras mono insaturés, également favorables au bon fonctionnement cardiovasculaire.

Par ailleurs, la sardine est une source de protéines de qualité ; elle apporte, aussi, d'importantes quantités de vitamines B12, B5 et B3 (ou PP), vitamines D et E, mais aussi du calcium, du sélénium et du phosphore.

Une ration alimentaire de 100 grammes de sardines couvre :

- Plus de 300% de l'apport nutritionnel conseillé par jour de vitamine B12 pour un adulte,
- Plus de la moitié de l'apport conseillé en vitamine B3,
- Près de 10% de l'apport recommandé en vitamine D.
- Plus de la moitié de l'apport quotidien recommandé pour un adulte en ces trois minéraux : sélénium, calcium et phosphore

#### **IV.5. Rôle nutritionnel de la sardine**

Le Programme National Nutrition Santé recommande de manger du poisson au moins deux fois par semaine. Une portion d'adulte correspond à environ 100 g. Les enfants peuvent consommer des portions allant de 10 à 70 g selon leur âge.

Le poisson représente une excellente source de protéines, il contient les neuf acides aminés essentiels nécessaires à notre organisme. Ces protéines jouent un rôle clé dans la formation des enzymes digestives, des hormones et des tissus, comme la peau et les os. Pendant la grossesse, les besoins en micronutriments de la femme augmentent. Grâce à leur richesse en protéines complètes, calcium, vitamine D, fer, et acides gras oméga-3, sardine contribue à une couverture optimale des besoins de la mère et de l'enfant.

En outre, la sardine contient de l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5, oméga 3) et de l'acide docosahexaénoïque (DHA, C22:6, oméga 3), deux acides gras dotés d'effets protecteurs sur le système cardiovasculaire ; les acides gras oméga 3 et la vitamine B12 réduisent le mauvais cholestérol et régulent les triglycérides. A cet effet, dans le cadre d'une alimentation variée et équilibrée, la consommation régulière de sardines réduirait le risque de mortalité par maladies cardiovasculaires; dans ce processus, le coenzyme Q10 contenu dans la chair de la sardine intervient grandement.

Ces acides gras oméga 3 seraient, aussi, dotés d'effets anti-inflammatoires, utiles dans le traitement de pathologies comme que l'asthme, l'arthrite rhumatoïde, le psoriasis<sup>2</sup> et les maladies inflammatoires de l'intestin. Le DHA participe au développement et au fonctionnement du cerveau, et à l'entretien des fonctions cognitives et de la vision

Enfin, la sardine présente une concentration élevée en sélénium, oligo-élément dont les propriétés anti-oxydantes ont largement été démontrées. Il contribuerait ainsi à prévenir le vieillissement prématuré des cellules causé par les radicaux libres.

La vitamine D, le phosphore, le calcium, le magnésium et la vitamine B12 apportés par la sardine contribuent à renforcer les os au même titre que le calcium. Le calcium et la vitamine B12 contribuent à atténuer l'ostéoporose. Le phosphore à l'instar des éléments cités précédemment, renforce aussi les os.

La consommation régulière de la sardine améliore la réponse immunitaire de l'organisme grâce aux acides aminés apportés. Les acides aminés essentiels assurent le bon fonctionnement de l'organisme et la synthèse des protéines, ce qui agit favorablement sur les cellules, les tissus, et les muscles conjonctifs, améliorant ainsi la distribution de l'oxygène dans l'organisme et par voie de conséquence son système immunitaire.

# **Matériel et méthodes**

### I. Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude consiste à évaluer l'altération des huiles de bain de friture au cours des fritures répétées. L'huile utilisée dans les restaurant universitaire H2 et H4 est commercialisée sous l'appellation « La Belle ». Cette huile raffinée est largement employée dans la cuisson et les fritures.

L'aliment employé dans la friture est le poisson. Cet aliment est de composition complexe, il est riche en protéine et lipide et de grande consommation et de large utilisation en friture. Les fritures sont réalisées dans chaque bain en continue sans intervalle de temps. Les fritures ont été menées sur deux bains de friture, sans incorporation d'huile fraîche, après avoir saonné et farinés les poissons.

Par conséquent, les différentes analyses physico-chimiques ont été réalisées dans les laboratoires de la faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'U.M.M.T.O.

## II. Matériels et méthodes :

### 1. L'huile utilisée :

L'huile « la belle » a été utilisée dans les restaurants universitaires H2 et H4. Cette huile est 100% soja et cela dépend de distributeur qui sont nombreux. Elle est commercialisée par l'unité « Cévital ».

Cette huile est utilisable en assaisonnement et en friture. Les caractéristiques portées sur l'étiquette de l'emballage de cette huile sont intégrées dans le *tableau*.

La particularité de cette huile, en plus de son prix élevé, est sa richesse exceptionnelle en lipide et en AG I, AGPI, AGMI ; cet AGPI contient deux doubles liaisons ; il appartient à la série des omégas 6 (C18 : 2,  $\omega$ 6). Cependant, cette huile est fortement carencée en AGPI de la série des omégas 3, tel que l'acide  $\alpha$ -linolénique ; cet AGPI contient trois insaturations (C18 :3,  $\omega$  3).

| Valeurs énergétique     | Valeur              |
|-------------------------|---------------------|
| Acide gras saturé       | 13%                 |
| Acide gras mon insaturé | 22%                 |
| Acide gras polyinsaturé | 65%                 |
| Vitamine E              | 13mg/100g (130%AIR) |
| Cholestérol             | Traces <42mg/100g   |

**Tableau 9 :** Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage.

### 2. L'aliment à frite :

L'aliment utilisé dans les restaurant universitaire H2 et H4 est le poisson C'est un aliment de large utilisation en friture domestique et collective ; il est de composition complexe, riche en glucides et pauvre en lipides. La composition biochimique de poisson est portée dans le tableau 10.

| Constituant        | Poisson ( filet ) |                 |         | Muscle de mammifère |
|--------------------|-------------------|-----------------|---------|---------------------|
|                    | minimum           | Interval normal | Maximum |                     |
| Protéine           | 6                 | 16-21           | 28      | 15-23               |
| Lipide             | 0.1               | 0.-25           | 67      | 4-15                |
| Hydrate de Carbone |                   | <0.5            |         | 0.5-1.0             |
| Cendres            | 0.4               | 1.2-1.5         | 1.5     | 1.0-1.3             |
| Eau                | 2.8               | 66-81           | 96      | 65-72               |

**Tableau 10 :** La composition biochimique de poisson

### 3. La préparation de poisson pour la friture

Dimanche, mardi et jeudi de chaque semaine sont les jours ou la sardine et le menu principal presque au niveau de tous les restaurants universitaires même au pôle de TAMDA. et selon la disponibilité une quantité de 140 à 200 kg de poisson issu de la région de DELLES sont fourni pour les réfectoires.

Ainsi le poisson est nettoyé, mariné avec du sel, épice et recouvert enfin avec de la farine. Pour faire cuire toute cette quantité de la sardine, des friteuses géantes (voir figure 4) sont utilisées avec un mode de chauffage électrique aux à gaz de marque FAGOR ; cette friteuse est de contenance de 20 à 25 litre avec une profondeur de 20 cm et 120 cm de longueur et 80 cm de largeur ; elle comporte un couvercle amovible. Les conditions fixées durant la cuisson sont portées dans tableau 11.



**Figure 4 :** image de friteuses géantes utilisées au niveau des restaurants universitaires, en fonction plein de l'huile et avec de sardines en cours de fritures.

|                                       |                                            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| Friture en continue                   | Sans ajout de l'huile fraîche dans le bain |
| Nombre de friteuses                   | 2                                          |
| Nombre de friture                     | 10 pour chaque friteuse                    |
| Température fixée au début            | 180°C                                      |
| Durée de friture                      | 4 minutes                                  |
| Temps entre deux fritures             | Temps de cuisson                           |
| Volume d'huile utilisé                | 10 à 15 L max /friteuse                    |
| Rapport sardine/ huile                | 7Kg/ 10L                                   |
| Volume d'huile prélevé pour l'analyse | 180 ml                                     |
| Nombre d'échantillons analysés        | 16 échantillons                            |
| Huile de friture de la journée        | Jeter dans les égouts                      |

**Tableau 11** : conditions de fritures de sardines.

#### 4. Echantillonnage

A la fin de friture, un volume de 180 ml l'huile et prélevé des bains après homogénéisation et refroidissement. L'huile prélevée est filtrée et mise aussitôt dans des flacons en verre, recouverts de papier aluminium et conservée dans un réfrigérateur pour être utilisée pour l'étude. Certaines de ces analyses n'ont pas été effectuées sur place vue d'absence du matériel et de quelques réactifs, ce qui nous a contraint à conserver les échantillons au réfrigérateur pendant des semaines

#### 5. Analyses physiques

##### A. Humidité

La teneur en eau et en matières volatiles d'une huile correspond à la perte de masse qu'elle subit par dessiccation à l'étuve dans des conditions déterminées.

##### Principe de la méthode :

Cette méthode consiste à provoquer l'évaporation de l'eau par l'introduction de la prise d'essai dans une étuve réglée à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant un temps suffisant pour permettre l'élimination de l'eau (NE, 1987)

##### Expression des résultats :

$$\text{H}\% = [(m_1 - m_2) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

**m<sub>0</sub>** : masse en gramme du bécher ;

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

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



**Figure 5 :** Etuve utilisée au cours de l'analyse.

### B. Détermination de la densité

La densité relative à 20°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 huile ou de graisse à une température T°C par la masse de même volume d'eau distillée à 20°C.

#### Principe de méthode :

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.

#### Expression des résultats :

$$D = \frac{m'' - m}{m' - m}$$

m : poids de l'éprouvette vide ;

m' : poids de l'éprouvette pleine d'eau ;

m'' : poids de l'éprouvette pleine de l'huile ;

### C. Détermination de la viscosité

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

**Principe de la méthode :**

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

**Expression des résultats :**

$$\mu (C.p)=K (p_f - p)$$

$\mu$  : la viscosité en Centpoise ;

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

$p$  : densité de l'huile (g/ml) ;

$t$  : le temps de descente en minute ;

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

## 6. Analyses chimiques

### A. Acidité (NF T60-204, 1988).

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

Le principe consiste à neutraliser les acides gras libres à l'aide d'une solution de KOH en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré.



**Expression des résultats :**

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

$$A(\%) = \frac{V \cdot N \cdot m}{10 \cdot M} \quad (2)$$

Soit :

**A** : acidité exprimée en pourcentage.

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

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

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

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

### B. Détermination de l'indice de peroxyde (AFNOR NF T60-220, 1988).

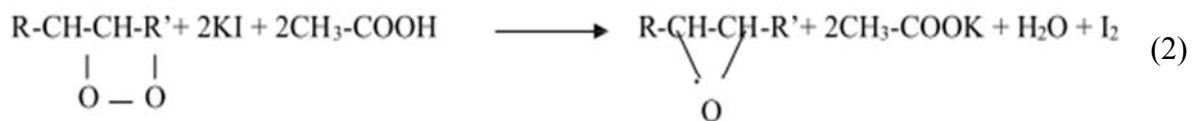
C'est le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif de peroxyde contenu dans un kilogramme de produit et oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode. Il est exprimé en meq d'O<sub>2</sub>/kg d'huile.

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.

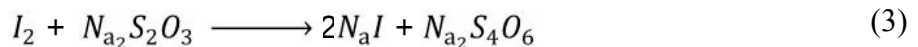
La réaction de formation de peroxyde est :



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



L'iode libéré est titré par le thiosulfate de sodium comme suit :



#### Expression des résultats :

L'indice de peroxyde est donné par la formule qui suit :

$$I_p(\text{meq d'O}_2/\text{Kg d'huile}) = \frac{(V-V_0) \cdot N}{m} \cdot 10^3 \quad (4)$$

Soit :

**I<sub>p</sub>**: 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.

**V<sub>0</sub>**: volume de la solution Na<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O utilisée pour l'essai à blanc en ml.

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

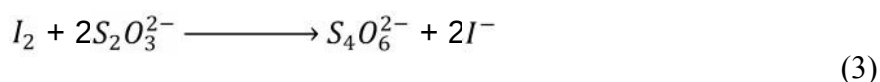
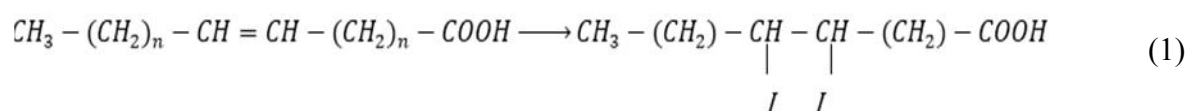
**m**: masse de la prise d'essai en (g).

### C. Indice d'iode (AFNOR – NFT60 – 203).

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 monochlorure 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:

$$I_i(g \text{ I}_2/g) = \frac{N \cdot (V_0 - V) \cdot 12.69}{P} \quad (4)$$

Soit :

**Ii:** 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 (0,01N)

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

### D. Indice de saponification (NEI.2-49-1985).

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) en présence d'un indicateur coloré la phénophtaléine (Annexe 4).



### Expression des résultats :

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

$$I_s(\text{mgKOH/g d'huile}) = \frac{56.1 \times N \times (V_0 - V)}{M} \quad (2)$$

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).



**Figure 6 :** Réfrigérant à reflux.

# **Résultats et discussion**

## I. Résultats et discussion

### 1. Analyses physico-chimiques

#### 1.1 Analyse chimique

##### *a. Acidité*

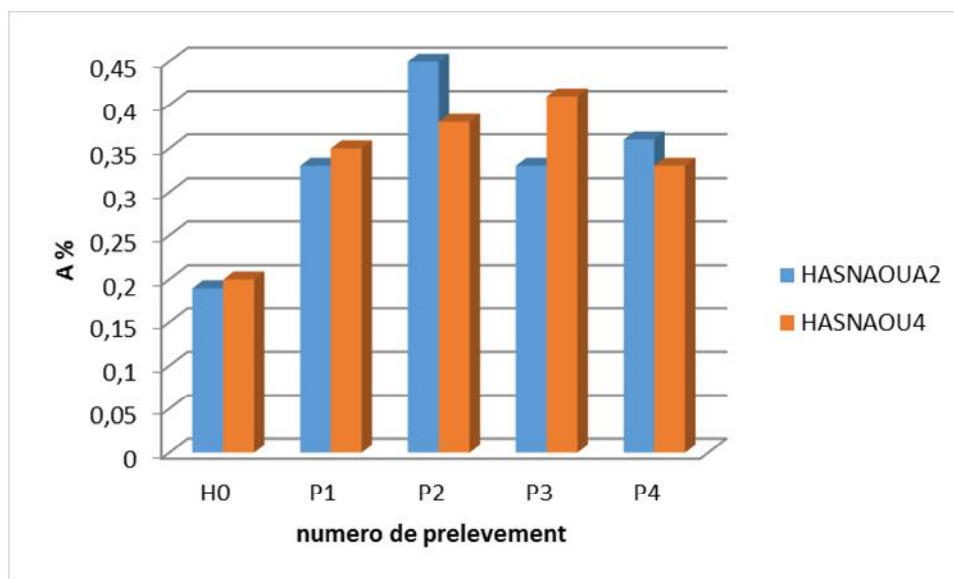
L'acidité renseigne sur le taux d'AGL s'accumulant dans l'huile ; elle permet de mesurer le degré d'altération hydrolytique favorisée par la présence d'eau. Une valeur élevée de ce critère est préjudiciable aux huiles comestibles (*KPOVIESSI et al., 2004*).

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*).

Dans le processus d'hydrolyse, la molécule de TG réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un diacylglycérol (*GUPTA, 2005*). Les AGL sont formés pendant l'oxydation et l'hydrolyse suite à la scission de la molécule de TAG (*PERKINIS, 1996*). Elle est due à la grande quantité d'eau libérée par l'aliment frit, mais également conséquence aux hautes températures appliquées (180-220°C) (*WASSEF et NAWAR, 1996*).

D'après les résultats obtenus et portés dans le tableau 12, l'acidité de l'huile fraîche utilisée pour les fritures « LABELLE » 100 % soja est conforme à la norme (NA 1169 – 1990) requise (max 0,20%).

Les valeurs obtenues sont de 0.19% à 0.20% ; ces valeurs sont supérieures à celle obtenue par son supérieure comparants aux résultats obtenue par des anciens étudiants Trache et Kecili sur leur travail effectué en 2014), qui ont trouvé une valeur de 0.054% pour l'huile « LABELLE » Cette différence pourrait être due aux conditions de stockage de ces huiles avant leur utilisation (la température de stockage dans les restaurants universitaire est très élevée). La qualité des huiles commercialisées dépend aussi d'autres facteurs : la qualité des graines, conditions de stockage et mode d'extraction.



**Figure 7** : comparaison entre le pourcentage de l'acidité de l'huile fraîche et l'huile frittée dans les deux restaurants H2 et H4

La figure révèle une augmentation de l'acidité dans les deux restaurants H2 et H4 par rapport à l'huile fraîche, mais l'acidité de H4 est plus élevée que celle de H2 pour les prélèvements P1, P3, Et elle est plus élevée à H2 pour les prélèvements P2, P4 cette différence est peut-être due aux conditions de friture (Température) et aux conditions de stockage de l'huile.

Cette augmentation est peut-être due à la forte teneur de poisson en acides gras polyinsaturés qui sont dégagés dans l'huile lors de la friture et augmente l'acidité de l'huile. L'eau ainsi dégagée provoque les réactions d'hydrolyses qui augmentent la teneur en AGL, diacylglycérol, monoacylglycérol et en glycérol (*GERTZ et KOCHAAR, 2001*).

La valeur moyenne de l'acidité des huiles de bains de friture de poisson dans les restaurants universitaires de Hasnaoua est nettement inférieure à celle des restaurants universitaires de la résidence universitaire de Tamda où l'huile de marque « Lynor » est utilisée dans la friture de poissons, étude réalisée par *AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)*. La moyenne de leur valeur trouvée est 0.58, 0.62, 0.56 respectivement Tamda 1.2.3 elles sont supérieures aux notre : 0.33, 0.45, 0.33, 0.36 pour H2 et 0.33, 0.45, 0.33, 0.36 pour H4

En s'appuyant sur les résultats de ce critère (acidité), il semble que l'huile « La Belle » est plus résistante que l'huile « Lynor ». Des études antérieures menées au laboratoire de notre faculté ont montré les degrés de sensibilité différents entre ces deux marques d'huiles lors de la friture de poisson.

L'analyse de la variance pour ce critère (acidité oléique) donne un  $p=0.6$ , cela signifie que le facteur restaurant n'as pas d'influence significative sur l'indice d'acidité.

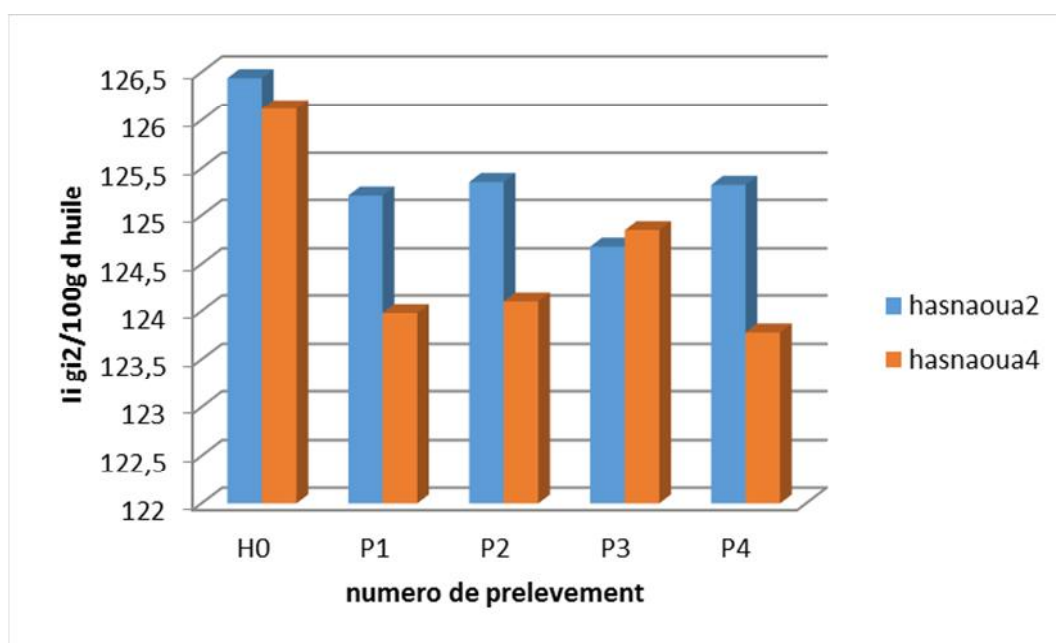
Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est répartie en 2 groupes homogènes (Annexe) et chaque groupe homogène représente un niveau de facteur cela signifie que les différences très hautement significatives n'existent pas entre tous les niveaux de facteurs mais uniquement entre ces 2 groupes homogènes. Le lot d'huile agit d'une façon très hautement significative ( $p=0$ ) sur l'indice d'acidité.

### b. 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, 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'*Ii* obtenues sont conforme à la norme nationale, comprise entre 120 et 143g  $I_2$ /100g d'huile ; elles se rapprochent des valeurs trouvées par TRACHE et KECILI (2014) qui ont travaillé sur la même marque d'huile « La BELLE »



**Figure 8:** comparaison entre l'indice d'iode de l'huile fraîche et l'huile fritee dans les deux restaurants H2 et H4

La figure révèle une diminution de l'indice d'iode dans les deux restaurants H2 et H4 par rapport à l'huile fraîche, mais l'indice d'iode de H4 est plus diminué que celle de H2 pour les prélèvements P1, P2, P4 Et il est plus diminué à H2 pour P3.

Cette diminution est due à la formation des produits d'oxydation lipidique. Cet indice diminue plus rapidement dans le cas de H4 ce qui témoigne une forte peroxydation de cette huile.

Les valeurs de cet indice sont nettement supérieures à ceux obtenus par *AIT AHMED* et *AIT DJEBARA (2017)* ayant analysé les huiles de bains de frites dans les restaurants universitaire de Tamda. Dans ces restaurants, c'est l'huile de marque « LYNOR »qui est utilisée dans la friture de poisson. Les valeurs enregistrées sont de 114.21, 113.99 et 112.94 g I2/100g d'huile.

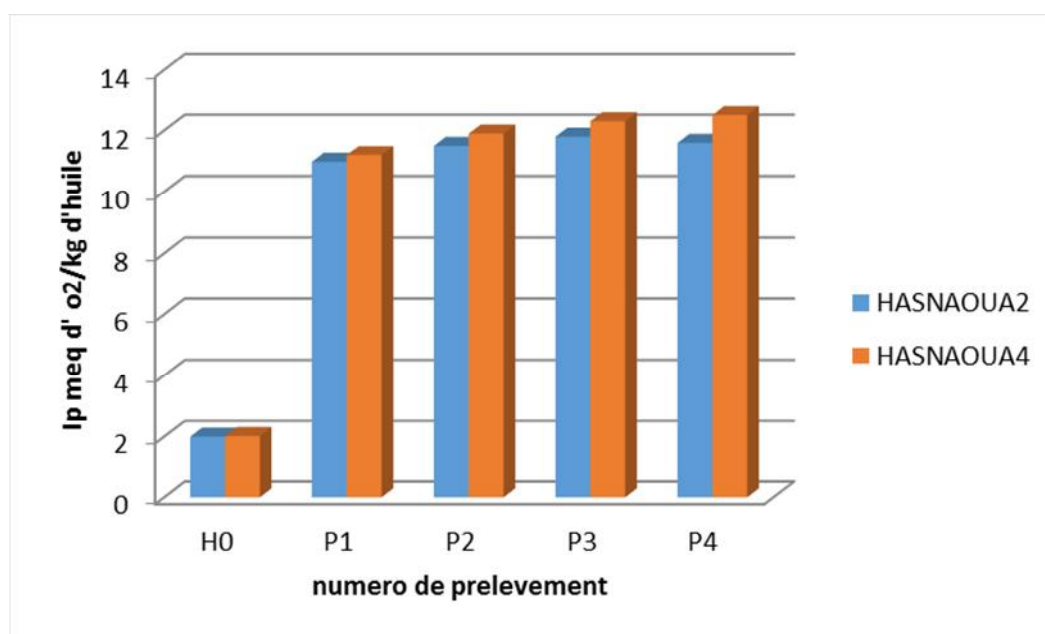
Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs, à savoir le lot d'huile et les restaurants.il ressort de ce traitement que le facteur restaurant a une influence très hautement significative ( $p= 0.0023$ ) sur l'indice d'iode.

. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est répartie en 2 groupes homogènes (A et B) (Annexe) et chaque groupe homogène représente un niveau de facteur cela signifie que les différences très hautement significatives n'existent pas entre tous les niveaux de facteurs mais uniquement entre ces 2 groupes homogènes. Le lot d'huile agit d'une façon tres hautement significative ( $p=0$ ) sur l'indice d'iode.

### c. L'indice de peroxyde

Selon *BONNEFIS*, (2005), les peroxydes, représentant les premiers produits d'oxydation ; ce sont des composés chimiquement instables ; ces groupes d'atomes visent à stabiliser leur énergie par l'arrachement d'un proton d'une molécule d'AG.

L'huile raffinée fraîche « LABELLE » utilisée dans notre étude expérimentale a un indice de peroxyde de : 2 (H2) et 2.02(H4) meq d'O<sub>2</sub>/kg d'huile. Cette valeur est conforme à la limite maximale fixée par ISO 3960 (IP=10 meq d'O<sub>2</sub>/Kg d'huile raffinée) et sont proches des valeurs obtenues par TRACHE et KECILI (1.97 meq d'O<sub>2</sub>/kg d'huile



**Figure 9** : comparaison entre l'indice d'iode de l'huile fraîche et l'huile frittée au cours de la friture de poisson dans H2 et H4

La figure 9 montre également une augmentation d'Ip dans les deux restaurants H2, H4. l'Ip de H4 est plus élevé que celui de H2 et ça pour tous les prélèvements.

*AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)* ayant analysé les huiles des baigns des fritures des restaurants de Tamda où c'est l'huile « lynor » qui est utilisée, ont enregistré des valeurs plus élevées que les nôtres ; ces valeurs se présentent comme suit : 6, 39.45, 38.5 et 40 meq d'O<sub>2</sub>/Kg d'huile des baigns prélevés.

Ainsi, en comparant tous ces résultats, on suggère que l'huile « LABELLE » est plus résistante que l'huile « lynor » lorsqu'elles sont utilisées en fritures. Dans notre étude, on a enregistré les valeurs les plus faibles, donc « notre » huile est moins peroxydée. Cela pourrait

être dû à la différence de la composition de ces deux huiles ainsi que le mode de raffinage utilisé dans les deux raffineries.

Selon *JUDDE (2004)*, un indice de peroxyde élevé indique une formation de peroxydes ( $\text{ROO}^\circ$ ) à partir des radicaux libres instables ( $\text{R}^\circ$ ) des AGI. Ces peroxydes sont incolores, sans goût particulier, ni odeur ; ce sont les produits primaires d'oxydation qui se forment dans l'huile lors des fritures (*ABDULKARIM et al., 2007*). *OBRIEN (2009)* indique que la formation des peroxydes à partir des AGI pourrait être influencée par plusieurs paramètres, entre autre l'oxygène de l'air, la chaleur et la quantité des tocophérols présents dans l'huile (antioxydants en général).

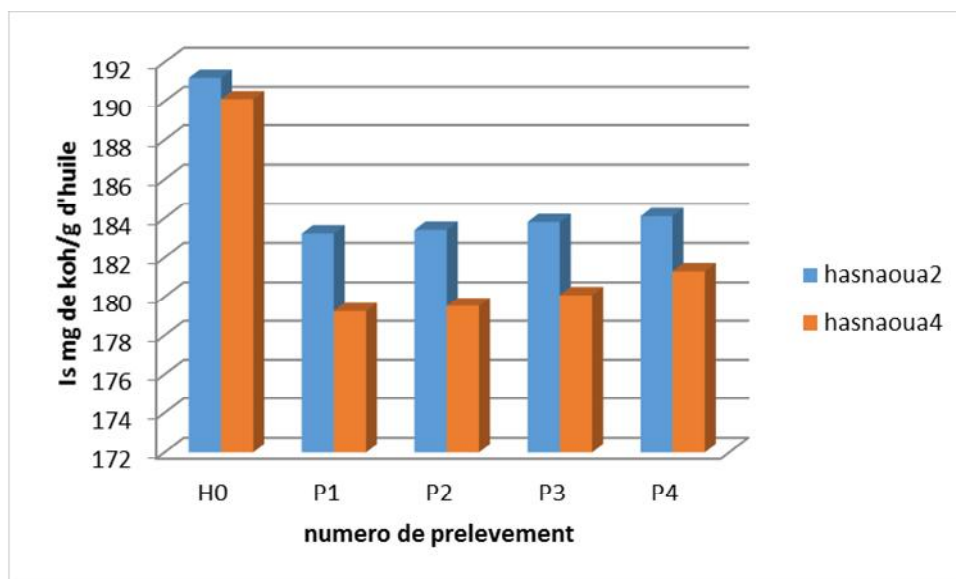
L'analyse de la variance pour indice de peroxyde (Annexe) nous donne une  $p=0.30$  cela signifie que le facteur restaurant n'as pas d'influence significative sur l'indice de peroxyde.

Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est répartie en 2 groupes homogènes (A et B), le facteur lot d'huile a une influence très hautement significative sur l'indice de peroxyde ( $p=0.00002$ ).

### **d. L'indice de saponification**

L'indice de saponification est par définition la quantité en milligrammes de potasse nécessaire pour saponifier un gramme de CG. Cet indice renseigne sur la masse moléculaire moyenne des AG entrant dans la composition des huiles. Il est inversement proportionnel à la longueur des chaînes des AG estérifiant le glycérol (*ADRIAN et al., 1998*).

Les valeurs de l'indice de saponification des huiles fraîches utilisées dans les restaurants universitaires H2 et H4 sont respectivement de 191.2 et 190.11mg de KOH/g. Ces valeurs sont conformes à la norme fixée par le *Codex alimentarius*, soit 188-194 mg de KOH/g d'huile ; elles sont aussi proches des valeurs trouvées par TRACHE et KECILI (2014) 191.06mg de KOH/g de la même marque d'huile.



**Figure10:** comparaison entre l'indice de saponification de l'huile fraîche et l'huile frittée au cours de la friture de poisson dans H2 et H4

La représentation graphique des résultats obtenus (figure ) montre une augmentation de cet indice dans les bains de friture des échantillons prélevés des deux mais le restaurant H2 a enregistré les valeurs maximales pendant tous les prélèvements .L'augmentation de cet indice s'explique par la rupture des chaines d'acides gras avec formation des hydro peroxydes sous l'effet de la chaleur ; ceci entraine la libération de substances volatiles au cours du chauffage et accentue l'acidité des huiles des bains de fritures (*NJOUENKEU et NAGRASSOUM, 2002*).

L'analyse de la variance pour l'Indice de saponification (Annexe) nous donne une ( $p=0.00001$ ) cela signifie que le facteur restaurant a une influence très hautement significatives sur l'indice de saponification.

Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est réparti en 2 groupes homogènes (A et B). Le facteur lot d'huile n'a pas une influence significative sur l'indice de saponification ( $p=0$ ).

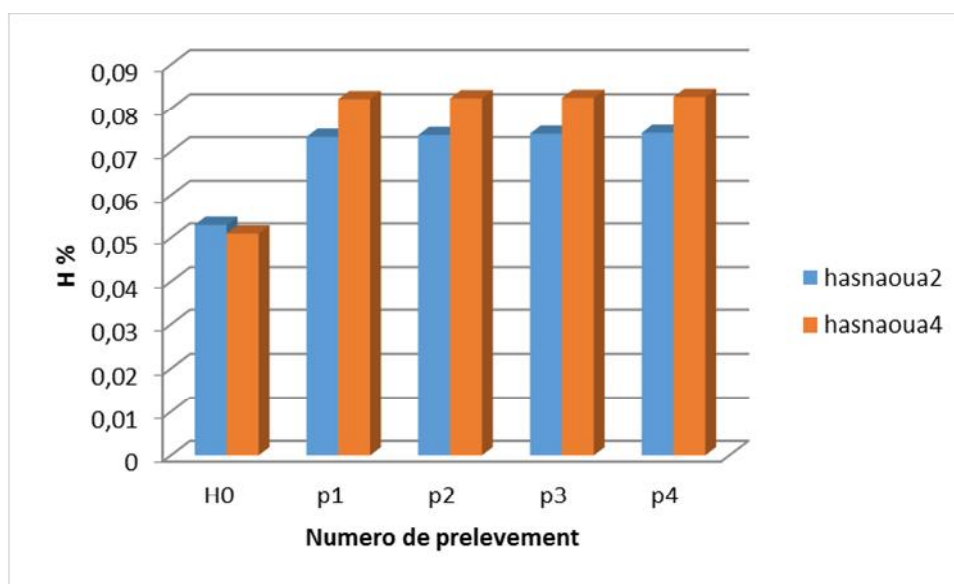
### 1.2 Paramètres physiques :

#### a. L'humidité

Selon les normes fixées par le *codex alimentarius (1992)*, les huiles raffinées fraîches ne doivent pas contenir de trace d'eau. Lors du traitement technologique, l'humidité contenue dans l'huile brute est éliminée.

L'huile raffinée fraîche « *Labelle* » utilisée dans notre étude expérimentale est caractérisée par une humidité de 0.053% pour H2 et 0.051% pour H4. 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.

Le traitement thermique appliqué à notre huile lors de la préparation de poisson dans les restaurants, a induit une augmentation de l'humidité des huiles des bains de fritures prélevées régulièrement ; la *figure* montre que cette humidification augmente.



**Figure 11:** comparaison entre l'humidité de l'huile fraîche et l'huile fritee dans les deux restaurants H2 et H4

La figure 11 montre une augmentation remarquable de l'humidité à H4 par rapport à celle de H2. L'humidification de l'huile des bains de fritures analysées pourrait être due à la formation d'eau et des matières volatiles au cours des réactions thermo-oxydatives se produisant lors du processus de friture.

En effet, l'eau et le  $\text{CO}_2$  constituent les produits terminaux de la décomposition des hydroperoxydes. L'assaisonnement de poisson (la farine et les épices) avant son introduction dans la friteuse pourrait jouer un rôle dans la diminution de l'humidité de l'huile de bain, et c'est peut-être ce dernier qui a fait cette différence entre les deux restaurants.

Nos résultats corroborent avec ceux obtenus par *AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)* sur l'huile « lynor » elles ont, aussi noté une augmentation de l'humidité des huiles de bains par rapport à l'huile témoin (huile fraîche) elles ont enregistré des valeurs supérieures aux notre : 0.19 ,0.21 ,0.18, 0.19 %.

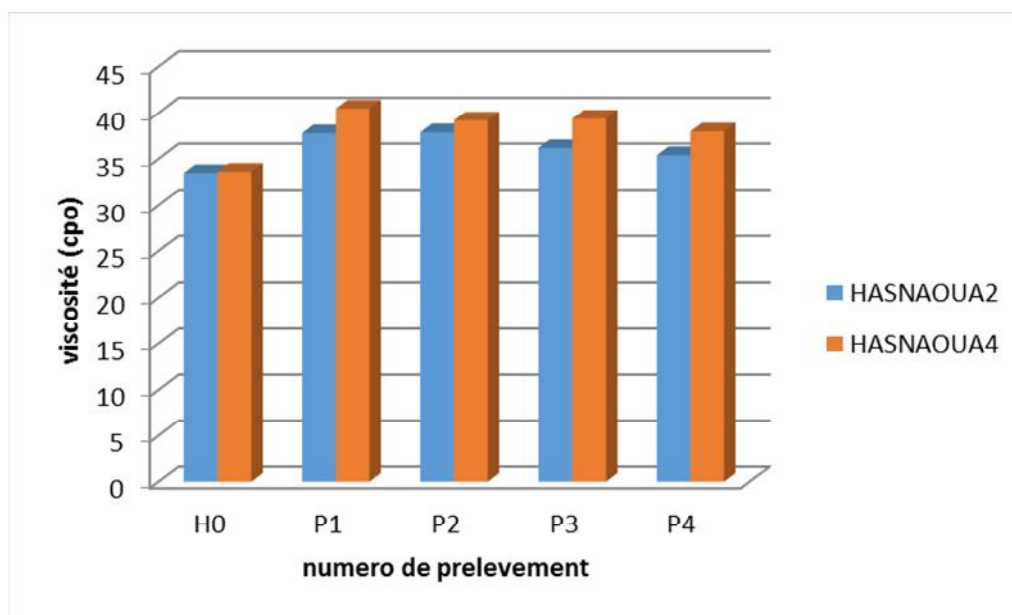
L'analyse de la variance pour l'humidité (*Annexe 9*) nous donne une  $p=0.15$ , cela signifie que le facteur restaurants n'a aucune influence significative sur l'humidité.

Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est réparti en 2 groupes homogènes (*Annexe 10*) et chaque groupe homogène représente un niveau de facteur. Le facteur lot d'huile n'a pas d'influence significative sur l'humidité  $p=0$ .

### b. La viscosité :

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



**Figure 12** : comparaison entre la viscosité de l'huile fraîche et l'huile frite dans les deux restaurants H2 et H4

Il ressort de notre étude que l'huile fraîche a une valeur de 33.46 pour H2 et 33.6 pour H4. Une augmentation de la viscosité dans les deux restos H2 et H4 est enregistrée elle a atteint la valeur maximal 40% à H4. Ces valeurs sont proches de celle trouvées par *AIT AHMED et AIT DJEBBARA(2017)* ayant travaillé sur l'huile « Lynor » 37.82, 40.16 .Néanmoins, les valeurs de la viscosité des bains obtenus dans notre étude sont supérieures à celles obtenues par *NEDIL et KEBAILI (2015)*, ayant utilisé la même huile.

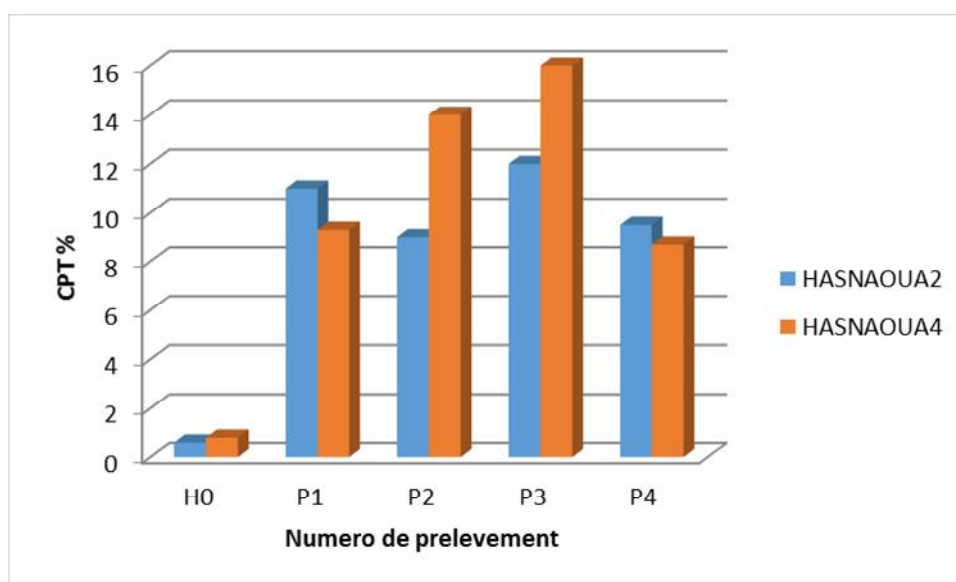
L'analyse de la variance pour viscosité (Annexe) nous donne une  $p < 0.1$  cela signifie que le facteur restaurant n'influence pas sur la viscosité de l'huile.

Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% est réparti en 2 groupes homogènes (Annexe) et chaque groupe homogène. Le facteur lot d'huile n'influence pas sur la viscosité ( $p=0$ ).

### c. Les composés polaires totaux (CPT)

Ils sont représentés principalement par les monomères de triacylglycerols oxydés (TG Mox) et des polymères de triacylglycérols (TG Pox). Ces produits sont souvent toxiques affectent l'état nutritionnel de consommateur (*GUILLENE et URIARTE, 2011*).

La détérioration d'une huile de friture se traduit généralement par une augmentation de sa polarité (*JUAREZ, 2011*). On distingue deux groupes de CPT : les composés initialement présents dans MG avant usage et les produits d'altération thermo-oxydative. D'après (*GUILLENE et URIARTE, 2011*) une huile de la friture est considérée dangereuse une fois le pourcentage de CPT atteint 25% en poids.



**Figure13** : comparaison entre les composés polaires totaux de l'huile fraîche et l'huile fritee dans les deux restaurants H2 et H4

La figure 13 montre que les CPT des huiles frittées sont augmentés dans les deux restaurants mais ceux de H4 sont plus élevés que ceux de H2. De ce fait on peut considérer notre huile de friture propre à la consommation (% de CPT  $\leq$  25%).

# Conclusion

## Conclusion

L'objectif de cette étude consiste en une évaluation de l'altération de l'huile de marque « La Belle » lors de la friture de poisson dans les restaurants universitaires de Hasnaoua. Le nombre de restaurant concernés par ce travail est de 2 H2 et H4. Des échantillons, d'huiles de bains ont été prélevés à la fin de la friture, vers 12 heures. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées ; les résultats obtenus ont été comparés entre les deux restaurants retenus.

Les huiles fraîches raffinées utilisées dans ces restaurants sont conformes aux normes établies par le *Codex alimentarius*. L'utilisation de ces huiles dans la friture de poisson a induit leur altération. Le niveau de détérioration de ces huiles diffère d'un restaurant à un autre; l'altération est plus accentuée dans le restaurant H4. Ceci pourrait être dû au niveau de maîtrise différent de ce mode de cuisson ou le mode de conservation des huiles.

Ces modifications ont induit un noircissement plus prononcé de la couleur de l'huile dans H4.

Commençant par les indices chimiques les valeurs de l'acidité obtenus pour l'huile frite ont dépassé la norme mais ce dépassement était plus remarquable dans H2 elle a enregistré une valeur maximale de 0.45 % pour P2. Pour l'indice d'iode aussi c'est H2 qui a enregistré la valeur maximale 125.36g I<sub>2</sub> /100g d'huile. Par contre l'indice de peroxyde a marqué une augmentation remarquable dans H4. L'indice de saponification aussi a enregistré des valeurs supérieures par rapport à la norme qui sont plus élevées dans H2. On voyant ces résultats on constate que l'altération de l'huile était plus prononcée dans le restaurant H2.

Pour les indices physiques ; l'humidité était plus augmentée dans H4, la viscosité aussi a enregistré la valeur maximale dans H4. Les valeurs des composés polaires totaux ont atteint les 16 % dans H4 mais comme la limite était 25% on peut considérer notre huile propre à la consommation.

En comparant nos résultats à ceux obtenus dans les études antérieures sur la friture de la pomme de terre, on a remarqué que la friture de poisson altère plus rapidement l'huile, ceci pourrait être dû à la complexité de la composition de poisson.

Il serait judicieux de compléter cette étude en s'intéressant aux autres restaurants universitaires et en analysant d'autres paramètres physico-chimiques, comme l'analyse des profils en acides gras et le dosage de la vitamine E dans la perspective d'améliorer les conditions de friture où déjeunent un nombre de plus en plus élevé d'étudiants.

### Références bibliographiques

- ❖ **ABDULKARIM M., ADEL A., ZEINAB H., ABD EL-WAHAB B., ATEF A., IBRAHIM A., MON T. et AL-SHEMY A. (2011).** *Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocelluloses materials.*
- ❖ **ADRIAN J., DAN VILLIER P. et POTUS J. (1998).** *Introduction a l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Edition : Tec ET DOC, Lavoisier, Paris. pp*
- ❖ **AFNOR.** Association Française de Normalisation. Recueil de normes françaises des corps d'origines animales et végétales de 1982 à 1989 (En concordance avec l'EN et l'A.O.C.S). Ed. AFNOR.
- ❖ **ALAIS C et LINDEN G. (1997).** Abrégé de biochimie alimentaire. 4<sup>ème</sup> édition : MASSON, Paris . pp
- ❖ **ALAIS et LINDIN, 1987 ; VITRAC (2003).** Biochimie alimentaire. 5<sup>ème</sup> Edition de l'abrégé. Edition : Dunod, Paris. pp
- ❖ **ALIAS et LINDIN, 1987 ; VITRAC et al., VITRAC et al., 2003) :**
- ❖ **(Alais et Linden, 1997; Nicolay et Roulin, 2004) :**  
[hp ://www.memoireonline.com/01/09/1883/m\\_Suini-et-comparaison-des-parametres-physico-chimiques-de-lhuile-de-soja-raffineechimiquement-et-enz2.html](http://www.memoireonline.com/01/09/1883/m_Suini-et-comparaison-des-parametres-physico-chimiques-de-lhuile-de-soja-raffineechimiquement-et-enz2.html).
- ❖ **ANONYME 2. (2011).** INRA-carrefours de l'innovation agronomique 9 juin 2011.
- ❖ **ANONYME 2. Wikipédia, l'encyclopédie libre. : Soja, 2009.**
- ❖ **ANONYME 3. (2008).** Par groupe du lipide huilerie du France, les huiles végétales consommation directe.7-9 Azoulay. Paris, p259-266
- ❖ **ANONYME 4. (2008).** INTRA-carrefours de l'innovation agronomique 9juin 2011.
- ❖ **ANONYME 5. (2017).**La sardine et ces bien faits
- ❖ **ANONYME 1, (1992) :** Dossiers scientifiques de l'institut français pour la nutrition.
- ❖ **APFELBAUM M., ROMAN M. et DUBUS M. (2009).** Diététique et nutrition. 7<sup>ème</sup> édition : Masson, Paris.
- ❖ **APFELBAUM M., ROMAN M. et DUBUS M. (2009).** Diététique et nutrition. 7<sup>ème</sup> édition : Masson, Paris. pp
- ❖ **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.
- ❖ **CAUSERT J. (1982).** Chauffage des corps gras et risque de toxicité. *Cah. Nut. Diet*, N°1, Vol17, p.19-33.

- ❖ **CHEFTEL J.C. et CHEFTEL H. (1977) :** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol 1. Tec et Doc. Lavoisier, Paris *CLARK et SERBIA, 1991 ; MANSOURI et OURAHMOUNE, 2000*).
- ❖ **CODEX-ALIMENTARUS, (1992).** Normes codex pour les graisses et les huiles d'origine végétales. In : Graisses, Huiles et Produits dérivés (8), FAO/OMS, Rome.
- ❖ **COLLOMBE, V. et MAYOR, M.** Le soja, la reine des légumineuses. Haute école de santé Genève, 2007,1-4
- ❖ **COSSUT, J., DEFRENNE, B., DESMEDT, C., FERROUL, S., GARNET, S., ROELSTRAETE, L.,VANUXEEM, M. et VIDAL, D. (2002).** Les Corps gras : Entre tradition et modernité. Gestion de la qualité nutritionnelle et marketing des produits alimentaires. Projet réalisé dans le cadre de DESS en QUALIMAPA. Université des sciences et technologies de Lille-Institut agroalimentaire de Lille, p.21-64.
- ❖ **DENIS J. (1998).** Manuel des corps gras. In : Raffinage des corps gras. Tome 2<sup>ème</sup> éd. Paris : éd. Lavoisier, 88p.
- ❖ Denise, 1992; Alais et Linden, 1997) :  
[hp ://www.memoireonline.com/01/09/1883/m\\_Suini-et-comparaison-des-parametres-physico-chimiques-de-lhuile-de-soja-raffineechimiquement-et-enz2.html](http://www.memoireonline.com/01/09/1883/m_Suini-et-comparaison-des-parametres-physico-chimiques-de-lhuile-de-soja-raffineechimiquement-et-enz2.html)
- ❖ **EYMARD S. (2003).** Mise en évidence et suivie de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation de chichard (*Trachurus trachurus*) : Choix des procédés. Thèse de doctorat, université de Nantes, France.
- ❖ **FAO 1994).** *Quality and quality changes in fresh fish. FAO Fish. Tech. Pap. 348.*
- ❖ **FREDOT E. (2005).** Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- ❖ **FREDOT,( 2012 ):** Connaissance des aliments: base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition: Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 417–488.
- ❖ **FRENOT M. et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 2<sup>ème</sup> édition : Doin éditeur. Pp : 79-94.
- ❖ **FURNISTEN J. (2007).** Contribution à l'étude biologique de la sardine atlantique (*Sardina pilchardus Walbaum*). 227-385p.
- ❖ **GERMAN et KINSELLA, (1985) :** Lipid oxidation in fish tissue, enzymatic initiation via lipoxygenase. Journal of agricultural and food chemistry, Vol.33, pp: 680 – 683.

- ❖ **GERTEZ 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.
- ❖ **GRAILLE, (2003) :** Lipides et corps gras alimentaires. Ed. Tech et Doc (Collection Sciences et Techniques agroalimentaires), 469p.
- ❖ **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.
- ❖ **GUILLÈNE M.D. et 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.
- ❖ **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.
- ❖ **HIDALGO F.J., LEON M.M. et ZAMORA R. (2006).** Antioxidative activity of amino phospholipids and phospholipid/ amino acid mixtures in edible oils as determined by the Rancimat method. Food Chemistry, (54), pp: 541-5467.
- ❖ **JEANTET et al, (2006) :** Science des aliments : Biochimie- Microbiologie-Procédés- Produits. Tome 1. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 95-120.
- ❖ **JOTTERAND, C. et KIZIRIA , N.** L'acide gras oméga 3 et oméga 6 : pourquoi sont-ils essentiels ? Haute école de santé Genève, 2007,1-7
- ❖ **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.
- ❖ **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.
- ❖ **KARLESKINDE, 1992 :** T1. Principaux constituants chimiques des corps gras. Ed Lavoisier : 95p, 358p.
- ❖ **KAUFMANN et PYSER, 2000 :** Comparaison of different methods to determine polar compounds frying oils. Food technologie. 377-380.
- ❖ **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 Bénin, (7).pp : 1007 – 1012.

- ❖ **LABOURET P. (2005).** Les huiles alimentaires. *Vegetal oils: The different advantages of different oils in health*, pp: 1– 6.
- ❖ **LINDEN et LORIENT, 1994 :** Biochimie agro-industrielle. Edition : Masson, Paris. pp : 90 – 100.
- ❖ **LINDEN G ; LORIENT D. (1994).** Biochimie agro-industrielle. Edition : Masson, Paris. pp : 90 – 100.
- ❖ **MAZOYER M. (2002).** Larousse agricole. Edition : Larousse, pp : 458 – 626.
- ❖ **NJOUENKEU R. et NAGRASSOUM M. (2002).** Etude comparative de la valeur en friture de quelques huiles végétales (comparative study of frying behaviour of some vegetable oils). *Journal of Food Engineering*, (121), pp : 211 – 125
- ❖ **OLLE (1998),** huiles de fritures : état de situation et aspect réglementaire .OCL.VOL 5,55-57.
- ❖ **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.
- ❖ **Platon, 1988 ; Rohani Binti, 2006)**
- ❖ **Platon, 1988).**
- ❖ **POISSON J.P. et NARCE M. (2003).** Corps gras alimentaires : aspects chimiques, biochimiques et nutritionnels. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- ❖ **ROBERFROID M.B., COXAM V. et DELZENNE N. (2008).** Aliments fonctionnels. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 186-195.
- ❖ **Simopoulos, 2001) :** *Evolutionary aspects of diet and essential fatty acids. World Review of Nutrition & Dietetics*, 88,18-27.
- ❖ **Stansby et Hall,( 1967) :** *Chemical composition of commercially important fish of the USA.Fish.Ind.Res.*, 3,29-34.
- ❖ **UZZAN A. 1992 : ).** Olive et huile d'olive. In : Manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 221 – 228.
- ❖ **VITRAC O., RAOULT-WACK A.L et TRYSTRAM G. (2003). ).** Procédé de friture et produits frits. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 231-269.

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