

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI TIZI-OUZOU

*Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques*

*Département de Science Agronomique*

# *Mémoire de fin d'études*



*En vue de l'obtention du diplôme de Master  
en Sciences Agronomique*

*Option : Transformation et Conservation des Produits Agricole*

## *Thème*

**EVALUATION DE L'ALTERATION DE HUILE  
SOJA AU COURS DE LA FRITURE DE POISSON  
DANS LES RESTAURANTS UNIVERSITAIRES  
BASTOS ET HASNAOUA**

*Proposé et dirigé par :*

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

*Présenté par :*

*M<sup>elle</sup> BOUDIA Lydia*

*M<sup>elle</sup> BOUDJELIL Lila*

*Devant le jury :*

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

*Maitre de conférences à l'UMMTO*

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

*Professeur à l'UMMTO*

*Année universitaire : 2016/2017*

# *Remerciements*

*« Merci Dieu tout puissant »*

*Celui qui nous a protégé, aidé et surtout soutenu jusqu'à pouvoir  
«mener la graine au fruit » pour son soutien providentiel.*

*Nous tenons à remercier et à exprimer nos profondes gratitudees à notre promoteur **Mr SADOUDI. R** maitre-assistant chargé de cours au département sciences Agronomiques à UMMTO d'avoir accepté de nous encadrer, il nous a bien orientés et nous avons à maintes reprises pris de son temps pour les corrections et les explications. Nous le remercierons jamais assez pour tous les renseignements qu'ils nous à donner avec énormément de patience et de dévouement.*

*Nos remerciements s'adressent également à **M<sup>r</sup> AMROUCHE. T** maitre de conférences à UMMTO, c'est un très grand honneur de l'avoir comme président de jury et c'est aussi un grand honneur de l'avoir comme enseignant, le savoir qui nous transmis est d'une valeur inestimable.*

*Nous voulons également exprimer nos sincères remerciements à **M<sup>r</sup> AMIR. Y** professeur à l'UMMTO. d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier **M<sup>r</sup> METNA** enseignant au département Agronomie à UMMTO, pour l'aide qui nous a apportée dans l'étude statistique.*

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

# *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ceux qui j'ai tant aimés avec beaucoup d'affection et que je suis fière de les avoir comme parents, HOURIA et, AREZKI aucune dédicace ne saurait exprimer mon grand amour, mon estime, ma reconnaissance et ma profonde affection. Je ne saurais vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi, et ce que vous faites jusqu'à présent. Que Dieu vous garde et vous accorde longue vie.*

*La mémoire de ma chère grande mère qu'il repose en paix;*

*La mémoire de mes chers grands pères qu'ils reposent en paix;*

*A ma très chère sœur et mon exemple dans la vie Lynda et sa petit familles;*

*Ma sœurs Djamila et sa petite famille*

*Ma sœur Soraya et ma tante Nadia*

*Mes chères adorables SARAH, SARAH, ILIAS, IMAN*

*Mes chers frères, AHCEN.MOH.FATI*

*Ma chère amie et binôme Lila et toute sa famille ;*

*A tous ceux qui se définissent par :*

*Paix...Amour...Bonté...Tolérance*

*LYDIA*

# *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents qu'avec leur soutien, leur amour et surtout leurs*

*Compréhension j'ai pu atteindre le succès, que dieu les bénissent ;*

*La mémoire de ma chers grande sœur Lila qu'elle repose en paix ;*

*Mes chers frères et sœurs et leurs petites familles ;*

*Mes chères adorables Ghoufrane, Izlane et Ghizlane;*

*Ma chère amie et binôme Lydia et toute sa famille ;*

*A tous ceux qui se définissent par :*

*Paix...Amour...Bonté...Tolérance*

*Lila*

## ***SOMMAIRE***

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction générale** ..... 01

### **Synthèse bibliographique**

<b>I. Généralités sur les huiles végétales</b> .....	03
I.1. Les huiles alimentaires .....	03
I.2. Définition des huiles végétales.....	03
I.3. Classification des huiles végétales .....	03
I.3.1. Différents types de l'huile en bouteilles .....	04
I.3.1.1. Huiles vierges.....	04
I.3.1.2. Huiles raffinées .....	04
I.4. Qualité des huiles .....	04
I.5. Propriétés physico-chimiques des huiles .....	05
I.5.1. Propriétés physique .....	05
I.5.1.1. Densité.....	05
I.5.1.2. Solubilité .....	05
I.5.1.3. Point de fusion.....	05
I.5.2. Propriétés chimiques .....	05
I.5.2.1. propriétés liées au groupement carboxylique.....	05
I.5.2.1.1. Formation d'esters.....	05

I.5.2.1.2. Formation de sels (savon) .....	06
I.5.2.1.3. Formation des acides gras libres .....	06
I.5.2.2. propriétés liées à la chaîne hydrocarbon .....	06
I.6. Importance des huiles dans l'alimentation humaine .....	06
I.6.1. Production des huiles végétales dans le monde et en Algérie .....	06
I.6.1.1. Marché mondial des oléagineux .....	06
I.7. Etude de l'huile de soja .....	09
I.7.1. Origine et définition .....	09
I.7.2. Classification de soja .....	09
I.7.3. Le grain de soja .....	10
I.7.4. L'huile de soja .....	11
I.7.5. Propriétés physico-chimiques .....	11
I.7.6. Composition .....	12
I.7.6.1. Acides gras .....	12
I.8. Intérêt nutritionnel de l'huile de soja .....	12

## **Chapitre II : Le Poisson**

II. Généralités sur le poisson .....	14
II.1. Généralités .....	14
II.2. La composition .....	14
II.3. Généralités sur la sardine .....	16
II.3.1. Définition .....	16
II.3.2. Éléments nutritifs .....	16

II.3.3. 1. Macro nutriments.....	16
II.3.3.2. Vitamines .....	17
II.3.3.3. Minéraux .....	17
II.3.3.4. Les oméga-3.....	17
II.3.3. Les rôles sanitaires de la sardine.....	18
II.3.3.1. Le renforcement des os.....	18
II.3.3.2. La croissance et le développement de l'organisme .....	18
II.3.3.3. Vitalité et apport d'énergie .....	18
II.3.3.4. Action anti oxydante.....	19
II.3.3.5. Lutte contre la dégénérescence maculaire liée à la l'âge .....	19
II.3.3.6. Lutte contre l'obésité (perte de poids) .....	19
II.3.3.7. La sardine anti-cancer .....	19
II.3.3.8. la sardine idéale pour une peau saine.....	19
II.3.3.9. Renforcement du système immunitaire .....	19
II.3.3.10. Réduction de syndrome de la résistance à l'insuline .....	20
II.3.3.11. Fonctionnement cérébrale.....	20
II.3.3.12. renforcement des articulations .....	20

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

III: Altération des huiles végétales .....	21
III.1. Altération des corps gras .....	21
III.2. Types d'altérations .....	21
III.2.1. hydrolyse .....	21
III.2.2. Altération oxydative .....	22

III.2.2.1. Mécanismes d'oxydation.....	23
III. 2.2.1.1.Auto-oxydation.....	23
III.2.2.1.2.Photo-oxydation .....	25
III.2.2.1.3. Oxydation enzymatique.....	25
III.2.2.2. Produits formés au cours de l'oxydation.....	27
III.2.2.3. Incidence physico pathologique des lipides oxydés.....	27
III.2.2.4. Facteurs influençant la détérioration oxydative .....	27
III.2.2.4.1.Température et lumière.....	27
III.2.2.4.2. Teneur en AGL.....	28
III.2.2.4.3. Teneur en oxygène .....	28
III.2.2.4.4. Présence d'agents antioxydants.....	28
III.2.2.4.5. Présence d'agents pro-oxydants .....	28
III.2.2.4.6. Activité de l'eau ( $A_w$ ) .....	29

## **Chapitre IV: Friture**

IV: Friture.....	30
IV.1. Définition .....	30
IV.2. Différentes types de fritures.....	30
IV.2.1. Friture plate .....	30
IV.2.2. Friture profonde.....	30
IV.3. Conséquence des fritures profondes sur les corps gras.....	30
IV.3.1. Modification physicochimiques .....	30
IV.3.2. Incidences nutritionnelles lors des fritures profondes.....	31

IV.4. Résistances des huiles à la chaleur .....	33
IV.5. Choix des huiles de fritures .....	33
IV.6. Aspect toxicologique des huiles chauffées.....	34
IV.7. Aspect réglementaire pour les huiles de fritures .....	34
IV.8. Gestion des huiles de fritures .....	35

## **Partie expérimentale**

### **Matériel et méthodes**

I. Objectif de l'étude.....	36
II. Conduite expérimentale .....	36
II.1. Choix de l'huile .....	36
II.2. Choix de l'aliment .....	37
II.3. Préparation de la sardine pour la friture.....	38
II.4. Echantillonnage .....	38
III. Analyses .....	38
III. 1. Analyses physiques .....	38
III.1.1. Teneur en eau et en matières volatiles.....	40
III.1.2. Détermination de la densité .....	40
III.1.3. Détermination de la viscosité .....	41
III.1.4. Mesure de taux des composés polaires.....	41
III.2. Analyses chimiques .....	42
III.2.1. Acidité .....	42
III.2.2. Détermination de l'indice de peroxyde .....	43
III.2.3. Indice de saponification.....	43

III.2.4. Indice d'iode.....	43
IV. Analyse statistique.....	44

## **Résultats et discussion**

I. Evolution des indices physiques .....	45
I.1. Humidité.....	47
I.2. La densité .....	49
I.3. La viscosité.....	51
I.3. Les composés polaires totaux.....	53
II. Evolution des indices chimiques.....	55
II.1. L'acidité .....	55
II.2. L'indice de peroxyde .....	58
II.3. L'indice d'iode.....	61
II.4. L'indice de saponification .....	63
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>65</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## **Résumé**

### Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
I	Aspect de quelques huiles végétales	4
II	le point de fumée et éclair de quelques huiles raffinées	5
III	La production mondiale des oléagineux en millions de tonnes (MT)	7
IV	Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie	8
V	La classification de l'espèce Glycine max	10
VI	Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja	11
VII	Composition en acides gras de l'huile de soja	12
VIII	Composition de la chaire du poisson	15
IX	Principales altérations subies par les CG au cours de leur chauffage	22
X	Résistance à chaleur des principales huiles alimentaires	33
XI	Caractéristiques de l'huile analysée	36
XII	Conditions de fritures de la sardine	38
XIII	Caractéristiques sensorielles des bains de fritures et de l'aliment préparé	45
XIV	La teneur en eau des quatre prélèvements pour les deux restaurants	47
XV	Les moyennes de la viscosité des quatre prélèvements pour les deux restaurants	49
XVI	Résultats de la densité des quatre prélèvements pour les deux restaurants	51
XVII	Les valeurs des composés polaires obtenues	53
XVIII	Résultats de la d'acidité des quatre prélèvements pour les deux restaurants	56
XIX	Résultats de l'indice de peroxyde des quatre prélèvements pour les deux restaurants	59

## Liste des tableaux

---

XX	Résultats de l'indice d'iode des quatre prélèvements pour les deux restaurants	61
XXI	Résultats de l'indice de saponification des quatre prélèvements pour les deux restaurants	63

**Liste des figures**

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>page</b>
1	Réaction d'estérification	06
2	Différentes huiles commercialisées en Algérie	08
3	Aspect général de la plante de soja et le fruit qui est une gousse qui contient les graines	09
4	Graine de soja	10
5	composition du soja	11
6	Photo de poisson	16
7	Représentation simplifiée de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés	24
8	Oxydation d'un acide gras insaturé	25
9	Mécanisme d'initiation de la peroxydase lipidique par l'activité lipoxygénasique	26
10	Schéma général de l'oxydation des lipides	26
11	Schéma général de l'oxydation des lipides	29
12	Réactions d'altération des huiles dans un bain de friture sous l'effet de la chaleur	32
13	Illustration de la friteuse	37
14	L'étuve (photo originale)	39
15	Le viscosimètre (photo originale)	40
16	Testeur (photo originale)	41
17	Réfrigérant à flux ( photo originale)	43
18	Déférence de la couleur des huiles des bains de friture des deux	46

## Liste des figures

---

	restaurants	
19	Comparaison de taux d'humidité pour les deux restaurants	48
20	Comparaison de la viscosité pour les deux restaurants	50
21	Comparaison de la densité pour les deux restaurants	52
22	Le taux des composés polaires pour les deux restaurants	54
23	Comparaison de l'acidité pour les deux restaurants	57
24	Comparaison de l'indice de peroxyde des bains de friture pour les deux restaurants	60
25	L'indice d'iode des huiles frites des deux restaurants	62
26	Diminution de l'indice de saponification des huiles frites des deux restaurants	64

### A % Acidité

**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.

**ATG** : Analyse Thermogravimétrique. .

**A $\omega$**  : Activité de l'eau.

**°C**: Degré Celsius.

**CG** : Corps gras.

**CPG** : Chromatographie en phase gazeuse.

**CPT** : Composes Polaires Totaux.

**E<sub>a</sub>** : Energie d'activation.

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

**I<sub>p</sub>** : Indice de peroxyde.

**I<sub>r</sub>** : Indice de réfraction.

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

**MG** : Matière grasse.

**NPN** : azote non protéique

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

**R°** : Radical libre d'acide gras.

**ROO°** : Radical peroxy.

**ROOH** : Hydroperoxyde.

**TAG** : Triacylglycérides.

**TCP** : Taux de composés polaires.

## Liste des abréviations

---

**TG** : Thermogravimétrie.

**TG** : Triglycérides

**TMAO** : Oxyde de triméthylamine.

# *Introduction*



## Introduction

L'utilisation des huiles comme fluide caloporteur pour la friture des aliments est extrêmement répandue dans les préparations culinaires, et ce au niveau ménager, restauration ainsi qu'à l'échelle industrielle. La préférence pour les produits industriels frits est due à la technique rapide et pratique de la production, et le fait qu'après la friture, les aliments présentent des propriétés sensorielles uniques de couleur, saveur, texture et goût très appréciées par les consommateurs.

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 oméga 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 que il s'agit de la restauration collectives.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail, qui est une étude comparative des échantillons d'huile des bains de friture de poisson avec une huile 100% soja dénommée « LYNOR » lors de la friture de la sardine au niveau de deux restaurants universitaires, BASTOS et HASNAOUA de notre université (Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou).

Des échantillons de bains de fritures ont été prélevés régulièrement ; plusieurs méthodes physico-chimiques ont été développées afin de déterminer le degré de sensibilité à la thermo-oxydation et le niveau de résistance atteint par l'huile. Cette altération est basée sur des changements dans certaines propriétés physico-chimiques, résultant des modifications en termes de composition chimique. De plus, une analyse sensorielle a été envisagée pour déceler une éventuelle altération de goût, d'odeur et la couleur des huiles des bains de fritures et des poissons frits préparés.

*Synthèse  
Bibliographique*



*Chapitre I*  
*Huiles végétales*

## I. Généralités sur les huiles végétales

### I.1. Les huiles alimentaires

Les huiles végétales sont largement utilisées en alimentaire, elles sont connues depuis longtemps par leurs rôles nutritionnels et comme source d'énergie. L'importance de ces huiles est surtout liée à leur richesse en AGIP et acides gras dissociés (REIDDS, 1992).

### I.2. Définition des huiles végétales

Les huiles sont des composantes des AG avec des structures chimiques différentes les unes des autres ; elles sont composées principalement des TG (3AG), soit les AGS, soit les AGI (AGMI et AGPI) (ANONYME 1, 1992).

Les huiles sont liquides à températures ordinaire et insoluble dans l'eau. Les CG culinaires que l'on appelle huiles sont d'origine végétales, extraits soit de graines (tournesol, arachide, colza, soja, sésame, coton), de fruits (olive, cornouille, noix) et de racines (souches : rhizomes de plantes aquatique comestible) (APFELBAUM, 2004).

Les huiles majoritairement trouvées dans le commerce sont des huiles raffinées, plus stables, et sans arrière-goût végétal car les mucilages, les gommages, les lécithines et d'autres composés végétaux indésirables ont été éliminés lors du raffinage. Plus une huile contient des AGPI, plus elle nécessite des précautions pour sa conservation. Mais son intérêt nutritionnel est plus grand également.

### I.3. Classification des huiles végétales

Les huiles alimentaires sont subdivisées selon leur état physique en les principales classes suivantes : les huiles végétales fluides : huiles d'arachides, de colza, de germe de maïs, de tournesol, de soja, d'olive, de noix et de pépins de raisin ; les huiles végétales concrètes (ou graisses) : coprah (provenant de la noix de coco), huiles de palme et de palmiste (GRAILLE, 2003).

Les utilisations recommandées pour chaque huile dépendent essentiellement de la Nature des acides gras qui les constituent. De ce fait, les huiles alimentaires sont réparties en Trois types d'huiles :

- ◆ Les huiles pour assaisonnement.
- ◆ Les huiles pour cuisson.
- ◆ Les huiles pour friture.

Pour chaque huile, il existe une température critique (ou point de fumage) au-dessus de laquelle il ne faut pas chauffer l'huile. Quand l'huile atteint la température critique, ses composants se dégradent, forment des composés toxiques et l'huile fume et c'est pour cela que

certaines huiles comme l'huile de noix dont la température critique est faible sont déconseillées pour la cuisson (ANONYME 1, 2011).

**I.3.1. Différents types d’huiles en bouteille**

**I.3.1.1. Huiles vierges**

Elles sont soit issues d’un seul fruit ou graine (mono-fruits ou mono-graines), comme est le cas de : olive, noix, noisette, amande, pistache, pignon, colza, grille, tournesol, etc. ou un mélange de plusieurs (huiles combinées).

**I.3.1.2. Huiles raffinées**

- Mono-graines : colza, tournesol, tournesol oléique, soja, maïs, arachide.
- Combinées : mélange de différentes huiles végétales

(ANONYME 2, 2008).

**I.4. Qualité des huiles**

La qualité des huiles alimentaires est définie comme étant une combinaison des attributs des produits qui ont une signification en déterminant le degré d’acceptabilité de ces produits par l’utilisateur. Elle peut aussi être définie à partir de ces valeurs nutritionnelles, organoleptiques ou commerciales.

Les critères organoleptiques varient d’une huile à l’autre. En effet chaque huile présente des caractères qui lui sont propres. La qualité d’une huile de friture peut être appréciée relativement sur la base de sa viscosité, sa couleur et son odeur. L’huile de palme par exemple est de teinte rouge contrairement aux autres qui ont des teintes allant du jaune, jaune/clair au jaune très foncé. Cette différence de coloration peut s’expliquer par la différence de composition de ces huiles (FAO/OMS, 1993). Le tableau suivant présente quelques aspects des huiles végétales :

**Tableau I 01 :** Aspects de quelques huiles végétales (NDEYE, 2001).

<b>Aspects</b>	<b>Huile Maïs</b>	<b>Huile Soja</b>	<b>Huile d’arachide</b>	<b>Huile de tournesol</b>
<b>Consistance</b>	Liquide <u>limpide</u>	Liquide	Liquide	Liquide
<b>Couleur</b>	Jaune pale à jaune	Jaune foncé	Jaune foncé	Jaune foncé
<b>Odeur</b>	Relativement inodore	Quasi sans odeur	Franche de la gaine	Franche de la gaine

**I.5. Propriétés physico-chimiques des huiles****I.5.1. Propriétés physiques****I.5.1.1. Densité**

Les huiles et les lipides flottent sur l'eau (FERENOT et VIERLING, 2001). Elle diminue au fur à mesure que le poids moléculaires des AG diminue et que leur insaturation augmente (UZZAN, 1992).

**I.5.1.2. Solubilité**

Les lipides sont insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques (éther éthylique, essence, chloroforme, hexane ...). La solubilité est une propriété employée pour l'extraction des lipides dans la fabrication des huiles (GRAILLE, 2003).

**I.5.1.3. Point de fusion**

Le point de fumée est la température à laquelle une huile chauffée commence à dégager de la fumée et le point d'éclair est la température à laquelle une huile chauffée s'enflamme au contact d'une flamme (PRIOR, 2003).

Le tableau II 02. Donne le point de fumée et le point éclair par ordre décroissant de quelques huiles chauffées.

**Tableau II 02 :** le point de fumée et éclair de quelques huiles raffinées (PRIOR, 2003).

Huile	Point de fumée (°C)	Point éclair (°C)
Colza	218	317
Arachide	207	315
Soja	213	317
Tournesol	209	316
Palme	223	314
Coprah	194	288

**I.5.2. Propriétés chimiques**

Les propriétés chimiques des AG sont liées d'une part au groupement carboxylique et d'autre part à la chaîne carbonée.

**I.5.2.1. Propriétés liées au groupement carboxylique****I.5.2.1.1. Formation d'esters**

L'estérification est la condensation d'une fonction carboxylique avec une fonction alcool selon la réaction suivante :



**Figure 01** : Réaction d'estérification (MASSON, 2002).

#### **I.5.2.1.2. Formation de sels (savon)**

La saponification est une réaction de neutralisation des AG par des bases (KOH et NaOH). L'indice de saponification est inversement proportionnel à la longueur des AG (MASSON, 2002).

#### **I.5.2.1.3. Formation des acides gras libres**

Les AGL sont issus de l'hydrolyse des triacylglycérols (ALIAS et al, 2003).

#### **I.5.2.2. Propriétés liées à la chaîne hydrocarbonée**

La présence de doubles liaisons dans la chaîne carbonée confère aux AG une certaine réactivité. En effet, les liaisons éthyléniques peuvent faire l'objet des réactions d'additions (MASSON, 2002).

##### **a) Fixation d'hydrogène**

L'hydrogénation permet la diminution de l'insaturation des CG par fixation d'hydrogène sur les doubles liaisons de la chaîne hydrocarbonée, sous l'action de la chaleur, de la pression et en présence d'un catalyseur tel que le Nickel (VIERLING, 2003).

##### **b) Fixation d'halogène**

La réaction d'addition peut avoir lieu avec les halogènes, comme l'iode. Cette réaction est utilisée pour définir l'indice d'iode ; celui-ci augmente avec le nombre d'insaturation (MASSON, 2002). La réactivité des doubles liaisons des chaînes carbonées peut aussi être à l'origine de réaction d'oxydation, de polymérisation et de cyclisation (MASSON, 2002).

### **I.6. Importance des huiles dans l'alimentation humaine**

#### **I.6.1. Production des huiles végétales dans le monde et en Algérie**

##### **I.6.1.2. Marché mondial des oléagineux**

Le marché mondial des oléagineux a connu un développement spectaculaire au cours 30 dernières années aussi bien au niveau de la production des graines, des huiles et des tourteaux que des échanges mondiaux.

Le terme « oléagineux » désigne un ensemble de produits agricoles qui, une fois transformés ou triturés, donnent des huiles qui sont recherchées sur tous les marchés mondiaux. Le soja (*Glycine max L. Merrill*), c'est une plante appartenant à la famille des Légumineuses, sa teneur en huile est de 20-22%. Le soja représente 70% de la production mondiale des sept principales cultures oléagineuses : soja, coton, arachide, tournesol, canola/colza, coprah et graine de palmiste (ANONYME ,2004).

Le tournesol (*Helianthus annuus*), appartient à la famille des composées. La teneur en huile des différentes variétés varie de 40 à 60%. Le tournesol représente 7% de la production mondiale de graines oléagineuses (4ème rang) (ANONYME 3, 2011). Les principaux pays producteurs de l'huile de :

- ◆ **Soja** : les Etats-Unis, le Brésil et l'Argentine ;
- ◆ **Tournesol** : la Russie, l'Ukraine et l'Argentine.

Les données du tableau 03 montrent une évolution de la production des produits Oléagineux. La production mondiale de graines oléagineuses se caractérise par une reprise de la croissance durant la campagne 2009/2010. La production totale, a monté de plus de 8,2% par rapport à la campagne précédente et a enregistré un nouveau record de 4405 millions de tonnes. La campagne 2009/2010 traduit une hausse de la production mondiale des huiles/matières grasses de 5,2% par rapport à la campagne 2008/2009.

**Tableau 03** : La production mondiale des oléagineux en millions de tonnes (MT) selon les données de l'USDA et la FAOSTAT.

<b>Année</b> <b>Produits oléagineux</b>	<b>2007/2008</b>	<b>2008/2009</b>	<b>2 009/2010</b> <b>Variation :</b> <b>2009/2010</b>	<b>Variation :</b> <b>2009/2010</b> <b>par rapport</b> <b>2008/2009</b>
Graine oléagineux	403.5	407.1	404.5	8.2%
Huiles et matières grasses	155.6	159.7	168.0	5.2%
Tourteau d'oléagineux	101.5	99.7	111.9	12.2%

\*Pour satisfaire la demande, plusieurs entreprises des CG importent des huiles brutes, qui après son raffinage et sa transformation, produisent des huiles destinées directement à la consommation, des margarines, des graisses végétales et des produits annexes tel que le savon.

\*Il existe sur le marché Algérien différentes marques d’huiles végétal alimentaire, quelles soient pures (huile de soja et de tournesol) ou mélangées, celles-ci sont utilisées pour l’assaisonnement, la cuisson ou la friture.

\*Le conditionnement est la mise sous emballage des huiles pour assurer leur conservation et leur transfert depuis l’usine de fabrication jusqu’aux consommateurs. Le conditionnement doit permettre une excellente conservation jusqu’au moment de l’emploi. De plus, il doit être d’une inertie totale vis-à-vis de l’aliment (*CHEFTEL et CHEFTEL, 1977*).



**Figure 02 :** Différentes huiles commercialisées en Algérie

**Tableau 04 :** Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie

Marque	Nature de l’huile
Huile ELIO	80% Soja, 20% Tournesol
Huile FLEURIAL	100% Tournesol
Huile AFIA	95% Soja, 5% maïs

<b>Huile LYNOR</b>	<b>100% Soja</b>
Huile BONAL	100% Soja
Huile HUILOR	100% Soja
Huile la BELLE	100% Soja
Huile OLÉOR	100% Soja
Huile SAFIA	100% Soja

**I.7. Etude de l’huile de soja**

**I.7.1. Origine et définition**

Le soja est une plante herbacée annuelle connue seulement à l’état cultivé. Il en existe des très nombreuses variétés se différenciant notamment par le port, depuis des plantes grimpantes ou rampantes, plus proche des types originaux, aux formes naines plus couramment cultivées (KUAKUVI, 2008).

Le soja est originaire des régions chaudes du sud-est de l’Asie, mais 45% des surfaces cultivées se trouvent aux États-Unis et 55% de la production mondial provient de Brésil, Argentine, Chine et L’Inde (JULIEN, 2005).

Ce n’est qu’au cours de ce dernier siècle que le soja s’est développé comme culture en Europe et en Amérique du sud (POUZET, 2005).

En Amérique du sud , le soja (*Glycine max* (L) Merr.), est surtout produit pour son huile, qui est fabriquée industriellement, L’huile de soja bolivienne est commercialisée a travers le monde depuis 1985 et sa production a fortement augmenté depuis : de 60 000 ha en 1985 à 330 000 ha pour la période de production 1994-1995 (NNEUWENHUIS et NIEUWELIN , 2005).



**Figure 03 :** Aspect général de la plante de soja et le fruit qui est une gousse qui contient les graines

### I.7.2. Classification du soja

La taxonomie de l'espèce *Glycine max* est présentée dans le tableau N°

**Tableau 05:** La classification de l'espèce *Glycine max* (Anonyme, 2009).

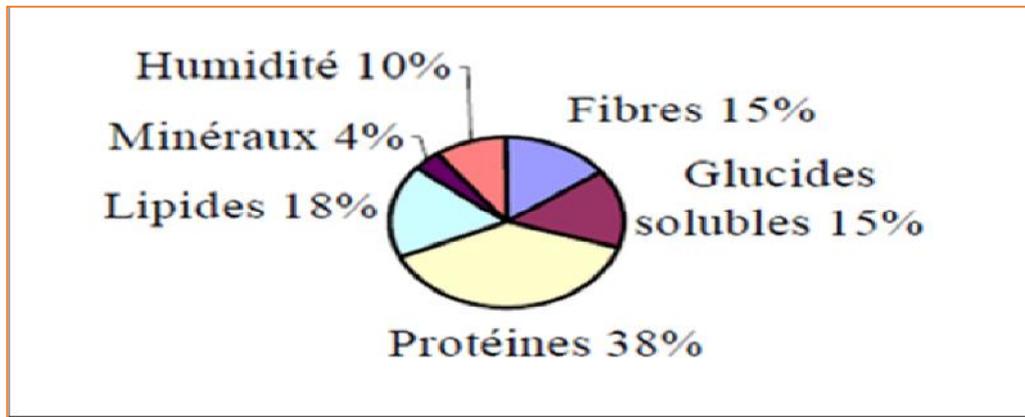
Taxon	Nom latin
Règne	Planta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	<i>Glycine</i>
Espèce	<i>Glycine max</i> L.

### I.7.3. La graine de soja



**Figure 04 :** Graine de soja

La graine de soja est une source très riche en nutriments essentiels et constitue l'un des aliments les plus versatiles. C'est une excellente source de protéines de bonne qualité et équivalente à d'autres aliments protéiques ; elle contient environ 38% de protéines, 18% d'huile, 15% de glucides solubles, 15% de glucides insolubles et 14% d'autres composants (entre autres de l'eau et de la matière minérale) ; elle est riche en acides gras polyinsaturés et ne contient pas de cholestérol (CAMO, 1999).



**Figure 05 :** composition du soja.

**Source :** US Soyfoods Directory 1998 ; 9

#### I.7.4. Huile de soja

L'huile de soja est fluide et de couleur jaune plus moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction, elle a une saveur assez prononcée d'haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en AGPI et notamment en AGE  $\alpha$ -linoléique, que le corps humain et incapable de les synthétise. Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuse 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).

#### I.7.5. Propriétés physicochimiques

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

**Tableau 06:** Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja selon le *Codex Alimentarius*, (1999).

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 KOH /100g huile).	189- 195
Insaponifiable.	Au maximum 15 g/Kg

### I.7.6. Composition

#### I.7.6.1. Acides gras

La compositions détaillées en acide gras de l'huile de soja est indiquée dans le tableau I (MORIN *et al.*, 2012).

**Tableau 07:** Composition en acides gras de l'huile de soja (*% des acides gras totaux*)

Acide gras	Nombre de Carbone	% AGT
Ac.myristique	C14:0	< 0,2
Ac. palmitique	C16:0	8-11
Ac. margarique	C17:0	-
Ac. stéarique	C18:0	3-6
Ac. arachidique	C20:0	< 1
Ac. béhénique	C22:0	<0,7
Ac. lignocérique	C24:0	< 0,4
Ac .palmitoléique	C16:1	< 0,2
Ac. héptadinoique	C17 :1	-
Ac. oléique	C18:1	17-26
Ac.gadoléique/gondoiiique	C20:1 (n-11)/C20:1 (n-9)	< 0,4
Ac. érucique	C22:1 (n-9)	0,2
Ac. linoléique	C18:2 n-6	50-62
Ac. Alphalinoléique	C18:3 n-3	4-10
Ac. gras saturés	AGS	11-21
Ac. gras mono-insaturés	AGMI	17-27
Ac. gras polyinsaturés	AGPI	54-72

### I.8.Intérêt nutritionnel de l'huile de soja

Comme toute huile végétale, l'huile de soja ne contient pas de cholestérol et pauvre en AGS. Elle est adoucissante, anti – ride et protège l'épiderme. Elle a un intérêt nutritif grâce a sa richesse en vitamine F, dite aussi facteur F (LABOURET, 2005).

La richesse de l'huile de soja en AGE, la met en premier rang après le tournesol, et la rend très intéressante dans le cas d'hypercholestérolémie et d'athérosclérose (PAULE ,2001).

L'huile de soja a un rapport AGPI w3/AGPI w6 bénéfique pour la santé cardiovasculaire (JOTTERAND *et al.*, 2007).

L'huile de soja est riche en acides gras insaturé, dont l'organisme a besoin. Les qualités nutritionnelles du soja et de ses dérivés restent très intéressantes même pour une consommation occasionnelle de ces aliments. Que l'on soit végétarien ou non, le soja devrait avoir sa place dans toute alimentation variée et équilibrée (COLLOMB et MAYOR, 2007).

Il contient aussi des composés indésirables tels que : le facteur inhibiteur de la trypsine, l'hémagglutinine qui est un inhibiteur de la croissance, les goitrigènes qui dérèglent la fonction thyroïdienne et l'acide phytique qui bloque l'absorption des minéraux essentiels (Mg,Fe,Zn) (MESSENA, 1999).

# *Chapitre II*

## *Le poisson*

**II. Généralités sur le poisson****II.1. Généralités**

Le poisson joue un rôle considérable dans l'alimentation, c'est un aliment de haute valeur nutritionnelle vu sa richesse exceptionnelle en éléments nutritifs essentiels (protéines, lipides, vitamines liposolubles, éléments minéraux...). De plus il est particulièrement apprécié pour sa haute teneur en acides gras polyinsaturés.

**II.2. La composition**

La composition chimique de la chair (ou partie consommable du muscle) de poisson frais marin (non, ou d'eau douce (non transformé), se rapproche très sensiblement de celle des animaux terrestres. Les principaux éléments constitutifs de la chair de poisson sont : l'eau (65 à 84%), les protéines (15 à 24%), les lipides (0.1 à 22%), les éléments minéraux (0,8 à 2%), les glucides (essentiellement du glycogène) en faible quantité (0,3 dans le poisson, 3% chez les mollusques et des vitamines (hydro et liposoluble) (*SAINCLIVIER, 1983*). La composition chimique du poisson varie d'une espèce à l'autre, et même à l'intérieur d'une même espèce, en fonction du cycle biologique annuel (*PICLET, 1987*).

La teneur en lipides de la chair du poisson fluctue en fonction de l'espèce (poisson maigre, semi- gras, grasse), de l'âge (les plus âgés étant les plus gras), du sexe, de la saison de partie musculaire du poisson. Cette teneur est toujours inversement proportionnelle à la teneur en eau. Les poissons sont ainsi classés maigres (moins de 5%), semi gras (5 à 8 %) et gras (8 à 25). Notons que ces teneurs sont celles relevées dans le muscle ; elles peuvent être plus au moins élevées dans d'autres parties du poisson (*PICLET, 1987*) . La forte teneur du poisson en acides gras insaturés lui confère un grand avantage nutritionnel et diététique comme une diminution du cholestérol sanguin et incidence sur les maladies cardiovasculaires (*LAMPILA, 1987*).

Les matières azotées du poisson sont essentiellement constituées de protéines, mais contiennent aussi des quantités non négligeables d'azote non protéique (NPN). Le NPN comprend des acides aminés libres (lysine, histidine) ; des dipeptides (Carnosine, anserine) ; des divers aminés (taurine, urée) ; de la créatine ; de la créatinine ; des bases volatiles dont l'ammoniac , l'oxyde de triméthylamine TMAO (essentiellement dans les poissons marins) ; des acides nucléiques et enfin des nucléotides (*SAINCLIVIER, 1983*).

Selon leur localisation dans le poisson, les protéines peuvent être classées en :

\*protéines extracellulaires dites aussi protéines du stroma ou protéines de soutien ou protéines du tissu conjonctif. Elles sont insolubles dans les solutions salines. Ce sont le collagène, l'élastine, la kératine et la connectine.

\*protéines intracellulaire, subdivisées en :

-fraction myogène, hydrosoluble, extractible, en solution de faible force ionique. Cette fraction comprend les protéines sarcoplasmiques (myoglobine, albumine, globulines, nucléoprotéines) ;

-fraction myofibrillaire peu soluble, elle comprend les protéines dites de structure (myosine, actine, actomyosine) et les protéines régulatrices (trop myosines, troponines, actinines, protéines de la strie M, protéines C). Les protéines myofibrillaires sont soluble dans les solution à force ionique élevée.

Le poisson est pauvre en glucides ; le glycogène est le sucre essentiel du muscle du poisson. Du ribose libre peut apparaître dans les muscles de certains poissons.

Le tableau suivant donne la teneur en quelques éléments minéraux du muscle du poisson.

**Tableau 8 :** Composition de la chaire du poisson (*FURNESTIN ,2007*)

Constituants	Poissons (filet)		
	Minimum	Intervalle normal	Maximum
Protéines	6	16-21	28
Lipides	0,1	0,2-25	67
Hydrates de carbones		<0,5	
Cendres	0,4	1,2-1,5	1.5
Eau	28	66-81	96

**II.3. Généralités sur la sardine****II. 3.1. Définition**

La sardine fait partie de la famille des clupéidés. Son corps est couvert d'écaillés qui se détachent très facilement. Elle possède un dos arrondi, vert olive ou bleu vert, avec un ventre et des flancs argentés ; sa taille commune est de 10 à 20 cm.



**Figure 06:** photo de poisson

La sardine peuple l'ouest de la Méditerranée et le Nord-Est Atlantique.

Côté nutritionnel, 100 g de sardine apportent 163 Kcal dont 20,4 g de protéines et 9 g de lipides.

Elle contient de nombreuses vitamines (A, D, B2, PP, et B12) ainsi que des sels minéraux (phosphore, magnésium, calcium et fer).

**II.3.2. Éléments nutritifs**

Les nutriments contenus dans la sardine sont extrêmement nombreux. Il s'agit essentiellement des acides gras et de la vitamine D. En outre, la vitamine B12, le sélénium, le phosphore, la protéine, la niacine, la choline, le cuivre, l'iode, le calcium, et bien d'autres, sont autant de substances dont regorge la sardine. Du fait de la présence de ces nombreux nutriments, il est recommandé de consommer la sardine. La répartition nutritionnelle des sardines se présente comme suite :

**II.3.2.1. Macronutriments :**

Chaque 3,85 onces d'huile de sardine emballé fournit 191 grammes de calories, 1,4 g de matières grasses et 22,7 grammes de protéines. Ce total constituerait 45% de l'apport quotidien en protéines, et 16% de graisse (ANONYME 2, 2017).

**II.3.2.2. Vitamines :**

3,85 onces de sardines contiennent 338 mg de vitamine B12, qui peut effectivement apporter 137% des besoins quotidiens de vitamine B12. Selon Linus Institut Pauling, les vitamines B12 consommée en quantité suffisante réduisent les affections cardiaques et les cancers.

Une boîte de sardine garantit 44% de l'apport quotidien de vitamine D, ce qui aiderait à lutter contre le cancer et l'arthrite (ANONYME 3, 2017).

La sardine contient environ 12% de l'apport quotidien de riboflavine (cette dernière aide contre les cataractes et les migraines) et 24% de l'apport quotidien de niacine qui selon l'Université Maryland Médical Center, renforce l'immunité, notamment contre l'arthrite et la maladie d'Alzheimer (ANONYME 4, 2017).

L'huile de poisson, en particulier celle obtenue à partir de foies de poissons comme l'huile de foie de morue est une source riche de vitamine A et de vitamine D. Cependant, une dose excessive d'huile de foie de morue peut conduire à la toxicité et l'accumulation de vitamines excessives dans le corps, ce qui peut entraîner des effets secondaires graves.

**II.3.2.3. Minéraux :**

Chaque boîte de sardine contient 35% de l'apport quotidien de calcium, de 15% de fer, 10% de potassium, et 45% de phosphore. Le calcium est un élément important pour le bon fonctionnement des nerfs et des muscles. Le fer, pour sa part, permet aux globules rouges de transporter l'oxygène à travers l'organisme. Le phosphore est essentiel à la formation et au stockage de l'énergie de l'ADN. Le potassium neutralise l'action du sodium et empêche la survenue de l'hypertension.

**II.3.2.4. Les oméga-3**

L'association américaine de diététique recommande une consommation quotidienne, 500 milligrammes d'EPA et de DHA. Ceci protégerait des problèmes cardiaques. Avec trois onces de sardines un apport de 835 mg d'oméga-3 est garanti (incluant EPA et DHA) (ANONYME 5, 2017).

**II.3.3. Les rôles sanitaires de la sardine**

Grace à leur richesse en oméga-3 et en vitamine B12, la sardine contribue pour beaucoup, à une bonne santé cardiovasculaire. Ces nutriments aident à réduire le mauvais cholestérol et réguler les triglycérides. L'impact est immédiat sur la santé dans la mesure où les radicaux libres sont éliminés. Par ailleurs, les acides gras contenus dans l'oméga-3 sont des antioxydants particulièrement puissants qui empêchent la coagulation sanguine et par conséquent, les crises cardiaques ou accidents vasculaires cérébraux. La richesse de la sardine en vitamine B12 fait de cet aliment un aliment des plus sains au monde. La vitamine B12 équilibre le niveau d'homocystéine. Enfin, le coenzyme Q10 de la sardine améliore la santé cardiaque de l'homme (ANONYME 6, 2017).

**II.3.3.1. Le renforcement des os**

La vitamine D, le phosphore, le calcium, le magnésium et la vitamine B12 sont présents dans les sardines. Ces éléments 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 (ANONYME 7, 2017).

**II.3.3.2. La croissance et le développement de l'organisme**

Les sardines contiennent tous les acides aminés essentiels au bon fonctionnement de l'organisme et la synthèse des protéines corporelles. Ces acides aminés ont un impact positif sur les cellules, les tissus, et les muscles conjonctifs. La distribution d'oxygène et de nutriments à l'intérieur de l'organisme est améliorée. Les protéines apportées par la sardine améliorent la réponse immunitaire de l'organisme ; la quasi-totalité du système immunitaire est constitué de protéines et plus essentiellement des acides aminés (ANONYME 8, 2017).

**II.3.3.3. Vitalité et apport d'énergie**

Le fer permet la fixation de l'oxygène les globules rouges. Ceci permet un approvisionnement de l'organisme en énergie et sa vitalité (tonus) particulièrement chez les femmes dans la mesure où ces dernières perdent du fer lors de leurs menstruations.

**II.3.3.4.Action anti-oxydante**

Les sardines sont naturellement riches en antioxydants puissants, tel que CoQ10, celui-ci contribue non seulement à la bonne santé cardiaque, mais aussi, à la lutte contre l'hypertension et le cancer du rein (ANONYME 9 ,2017).

Une boîte de sardine apporte 87% de la quantité de sélénium dont a besoin quotidiennement votre organisme. Pour rappel, le sélénium préserve le corps de l'homme des dommages causés par les radicaux libres. Il contribue également à la division cellulaire et empêche la destruction chromosomique à la base de troubles graves chez les enfants. Le sélénium augmente le nombre ainsi que la qualité des spermatozoïdes chez l'homme tandis que chez la femme, il réduit les risques de fausses couches (ANONYME 10, 2017).

**II.3.3.5.Lutte contre l'obésité (perte de poids)**

La sardine aide l'organisme humain à brûler très rapidement des calories emmagasinées.

**II.3.3.6.Lutte contre la dégénérescence maculaire liée à l'âge**

Ce phénomène s'observe chez les personnes âgées d'au moins 50 ans. Il s'agit d'une affection caractérisée par une perte progressive de la vue du fait de la dégénérescence maculaire.

**II.3.3.7.La sardine : un anti-cancer**

La vitamine D sous forme de calcétriol contenue dans les sardines aide à lutter contre le déséquilibre du cycle cellulaire, et en conséquence, réduit les risques d'attraper le cancer.

**II.3.3.8.La sardine : idéale pour une peau saine :**

Les acides gras présents dans la sardine ont un impact sur la peau. En outre, la sardine est riche en antioxydants qui aident à lutter contre les éventuels dégâts résultants due à une exposition prolongée au soleil (ANONYME 11, 2017).

**II.3.3.9. Renforcement du système immunitaire**

Du fait de sa richesse en acides gras et aminés, en fer, en vitamines et en antioxydants, la sardine aide à renforcer le système immunitaire de l'homme. D'après les recherches, l'huile de sardine augmente le nombre de cellules immunitaires, ce qui renforce le système immunitaire tout entier (ANONYME 12, 2017).

**II.3.3.10. Réduction de syndrome de la résistance à l'insuline**

Quand le corps secrète de l'insuline, il faut qu'une réponse appropriée soit donnée. D'après les recherches, les protéines contenues dans la sardine aident à réduire la résistance à l'insuline (ANONYME 13, 2017)

**II.3.3.11. Fonctionnement cérébral**

Après le stress oxydatif, des troubles du cerveau tels que les maladies d'Alzheimer, de Parkinson ou encore l'autisme, ne tardent pas à survenir. Si tous les antioxydants présents dans les sardines aident à lutter contre lesdits dommages, le rôle de l'oméga 3 est bien particulier, car il empêche la survenue du stress oxydatif. Par conséquent, les maladies sus-énumérées n'apparaissent pas. Selon l'université médicale du Maryland, la niacine contenue dans la sardine lutte également contre l'arthrite et la maladie d'Alzheimer.

**II.3.3.12. renforcement des articulations**

Les lésions articulaires surviennent en cas de pathologies telles que l'arthrite rhumatoïde, la goutte, ainsi que d'autres formes de douleurs articulaires. La sardine peut grandement soulager en éliminant les médiateurs inflammatoires et les dommages causés par les radicaux libres (ANONYME 14, 2017).

# *Chapitre III*

## *Altérations des huiles*

### III. Altération des huiles végétales

#### III.1. Altération des corps gras

Les lipides présents dans les aliments sont instables à la chaleur ; ils s'altèrent facilement lors de leur stockage à la température ambiante, voire même à des températures plus basses à cause de leur sensibilité à l'oxydation. (*JUDDE, 2004*).

#### III.2. Types d'altérations

L'hydrolyse et l'oxydation sont les principales voies d'altération des lipides au cours de la production, du stockage et de la transformation des huiles. Ces modifications diminuent la durée de stockage, altèrent la qualité organoleptique, nutritionnelle et la sécurité alimentaire de ces aliments. (*FRANKEL, 1998*).

##### III.2.1. Hydrolyse

L'hydrolyse des TG avec libération des AGL est le résultat d'une action enzymatique, en présence d'une humidité suffisante, qui caractérise le rancissement ou rancidité hydrolytique (*ROZIER, 2004*).

Le mécanisme de l'hydrolyse est complexe ; le glycérol et les AGL subissent aussi des changements. Cette lipolyse est due à l'action des lipases qui sont le plus souvent d'origine microbienne ; l'hydrolyse catalyse l'oxydation qui, elle-même, génère des composés volatils qui conduisent à la flaveur de rance (*PRIOR, 2003*).

Les CG alimentaires peuvent être soumis à différents types de traitements thermiques, aussi bien au stade de raffinage, qu'au stade de l'utilisation ménagère ou industrielle (friture), en présence d'air, cela se traduit par nombreuses transformations et modifications chimiques. Celles-ci résultent de la destruction des liaisons insaturées, de l'addition d'oxygène aux molécules, de la scission des TG en AGL et en AG à courte chaîne (*GRANDGIRARD, 1992*).

Les altérations subies par l'huile au cours de chauffage sont résumées dans le *tableau N°08*.

**Tableau 09** : Principales altérations subies par les CG au cours de leur chauffage (*PERRIN, 1992*).

<b>Altérations</b>	<b>Causes</b>	<b>Produits résultants</b>
Hydrolytique	Humidité	Acide gras libres Diglycérides Monoglycérides Glycérol
Oxydative	Air (Oxygène)	Produits volatils : Hydrocarbures, cétones, aldéhydes, alcools, acides, etc.
		Produits non volatils Oxymonomères Oxypolymère
Thermique	Température	Polymères Monomères cycliques

**III.2.2. Altération oxydative**

L'oxydation se caractérise par son caractère évolutif (dû à la succession dans le temps de différentes réactions chimiques, conduisant à plusieurs familles de produits réactionnels intermédiaires et finaux) irréversible et altératif (*JUDDE, 2004*).

Cette réaction conduit à une perte de vitamines, une diminution de la valeur nutritionnelle (AGE), une détérioration du goût (composés volatils à flaveur caractéristique,

rancissement) et même parfois à l'apparition de substances toxiques (aldéhydes, hydrocarbures, cétones, etc.) (*POKORNY et al., 2000*).

### III.2.2.1. Mécanismes d'oxydation

D'après *EYMARD (2003)*, l'oxydation des lipides peut résulter de plusieurs voies réactionnelles en fonction du milieu et des agents initiateurs : l'auto-oxydation catalysée par la température, les ions métalliques, etc. ; la photo-oxydation, initiée par la lumière en présence de photo-sensibilisateurs et l'oxydation enzymatique initiée par la lipoxygénase.

#### III.2.2.1.1. Auto-oxydation

Parmi les différents types d'altérations des lipides, l'auto-oxydation est le phénomène le plus répandu. Les AGI, libres ou combinés sous forme de TG ou de phospholipides réagissent avec l'oxygène pour former, dans un premier temps, des peroxydes, qui génèrent par dégradation de petites molécules telles : les hydrocarbures, aldéhydes et cétones (*PRIOR, 2003*). L'auto-oxydation est une réaction en chaîne ; elle se déroule en trois étapes :

##### 1. Phase d'initiation

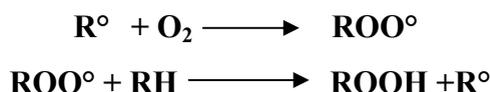
La première étape dans cette phase est la formation de radicaux libres à partir des lipides selon la réaction suivante :



Cette réaction peut être déclenchée par chauffage ou irradiation, mais très souvent par réaction avec un radical libre issu de la décomposition des hydroperoxydes lipidiques, presque toujours présents en quantité très faible. Des traces d'hydroperoxydes peuvent être formées par réaction avec l'oxygène à l'état singulet ou par des lipoxygénases (*PRIOR, 2003*).

##### 2. Phase de propagation

La propagation est une réaction radicalaire en chaîne. Les  $\text{R}^\circ$  formés fixent l'oxygène moléculaire et forment des radicaux peroxy ( $\text{ROO}^\circ$ ). Ces derniers peuvent réagir avec une nouvelle molécule d'AG pour former des hydroperoxydes ( $\text{ROOH}$ ) et un autre  $\text{R}^\circ$ .



La vitesse de la réaction de propagation est lente lorsque la vitesse d'initiation est basse ; elle est accélérée avec l'augmentation de la température et avec l'augmentation du

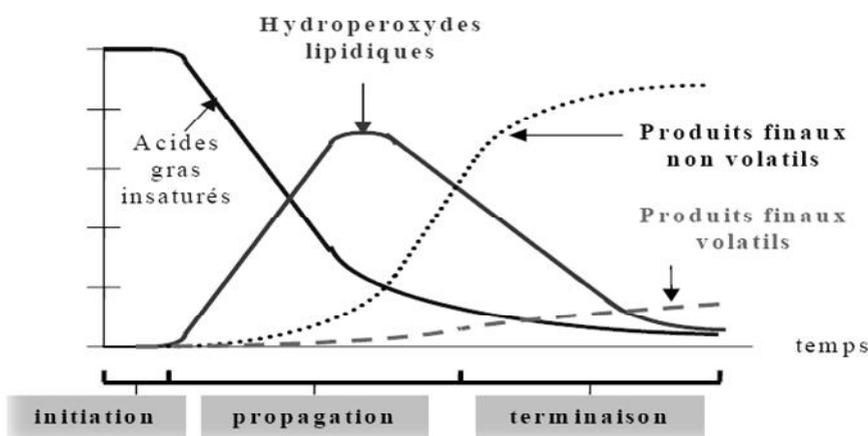
degré d'insaturation des huiles. La réaction en chaîne est inhibée en présence d'antioxydants (POKORNY, 2003).

### 3. Phase de terminaison

Ce sont des réactions lentes au début de l'oxydation, c'est-à-dire quand la concentration en radicaux libres est basse ; mais, elles deviennent très rapides à des concentrations élevées quand l'oxydation est avancée (PORTER *et al.*, 1995).

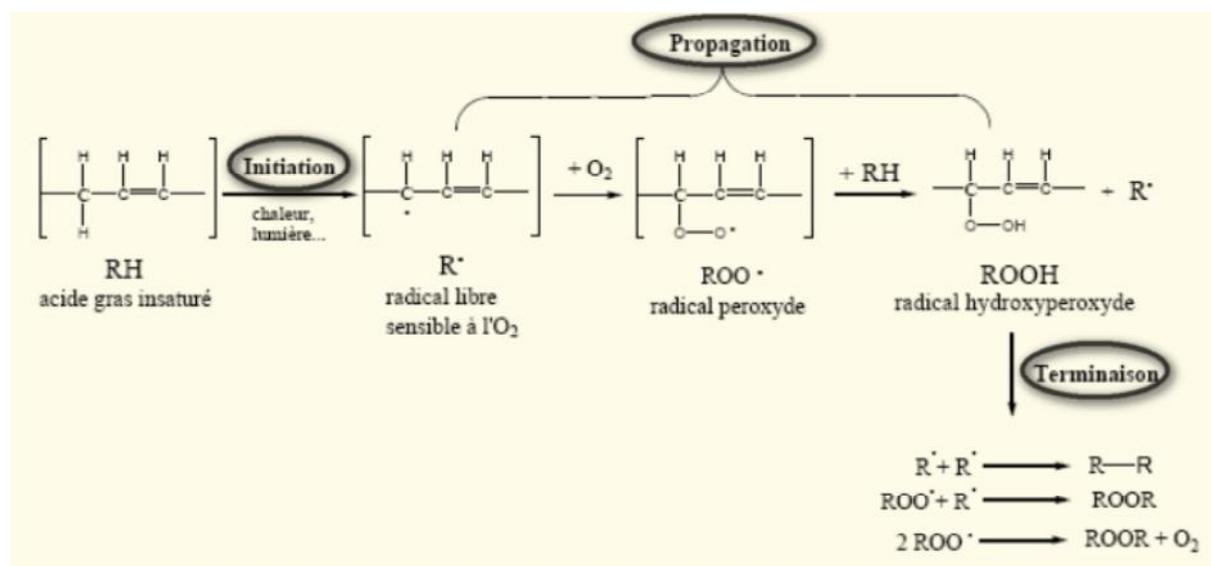
Les réactions de terminaison sont lentes lorsque la concentration en  $R^\circ$  est basse (POKORNY, 2003).

La cinétique de la réaction d'oxydation suit une courbe exponentielle croissante (figure 4) ; elle comporte trois phases distinctes : l'initiation, la propagation et la terminaison (EYMARD, 2003).



**Figure 07 :** Représentation simplifiée de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés d'après (JUDDE, 2004).

La figure 5 présente le schéma d'oxydation d'un AGI



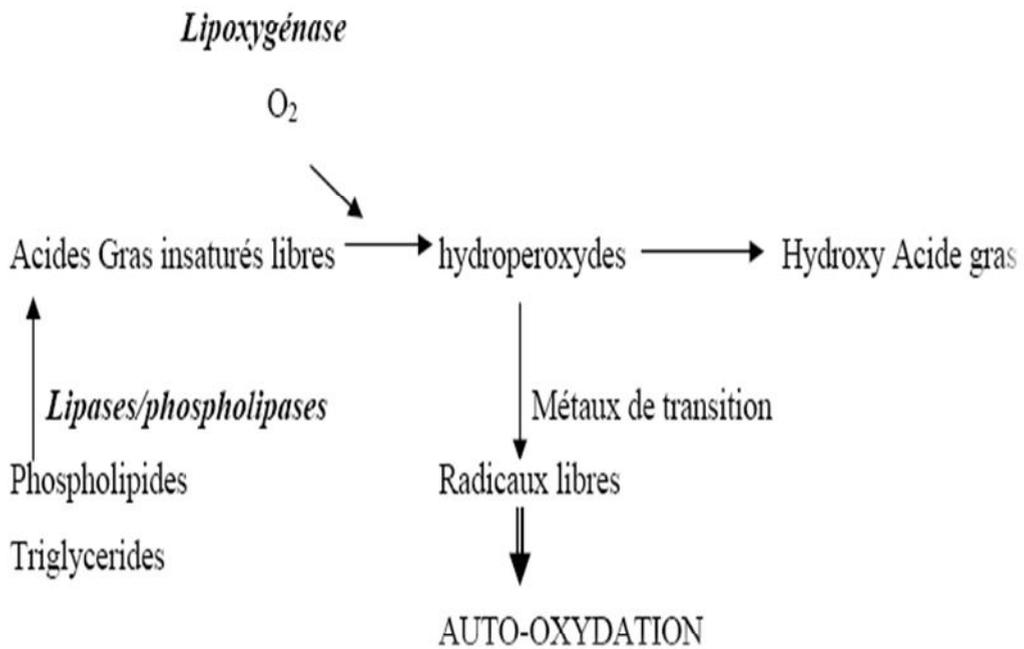
**Figure 08:** Oxydation d'un acide gras insaturé (MOLL *et al.*, 1998).

### III.2.2.1.2. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie importante de production d'hydroperoxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photo-sensibilisateurs, tels que les hémoprotéines ou la riboflavine (RIAHI *et* MARZOUKI, 2000). Deux situations peuvent se présenter : une photo-oxydation directe où la lumière joue le rôle d'accélérateur des cinétiques des réactions d'oxydation et où les mécanismes chimiques restent les mêmes ; une oxydation photo-sensibilisée se déroulant grâce à la présence nécessaire d'un agent photo-sensibilisateur (chlorophylle, certains colorants et certaines vitamines) qui active l'oxygène de l'air en le faisant passer de son état fondamental dit « triplet » à un état excité dit « singulet » ; cette énergie acquise permet à l'oxygène actif de se fixer directement sur l'AG sans passer par l'étape radicalaire. Les mécanismes réactionnels sont, donc, différents ; les produits formés sont, aussi, différents (JUDDE, 2004).

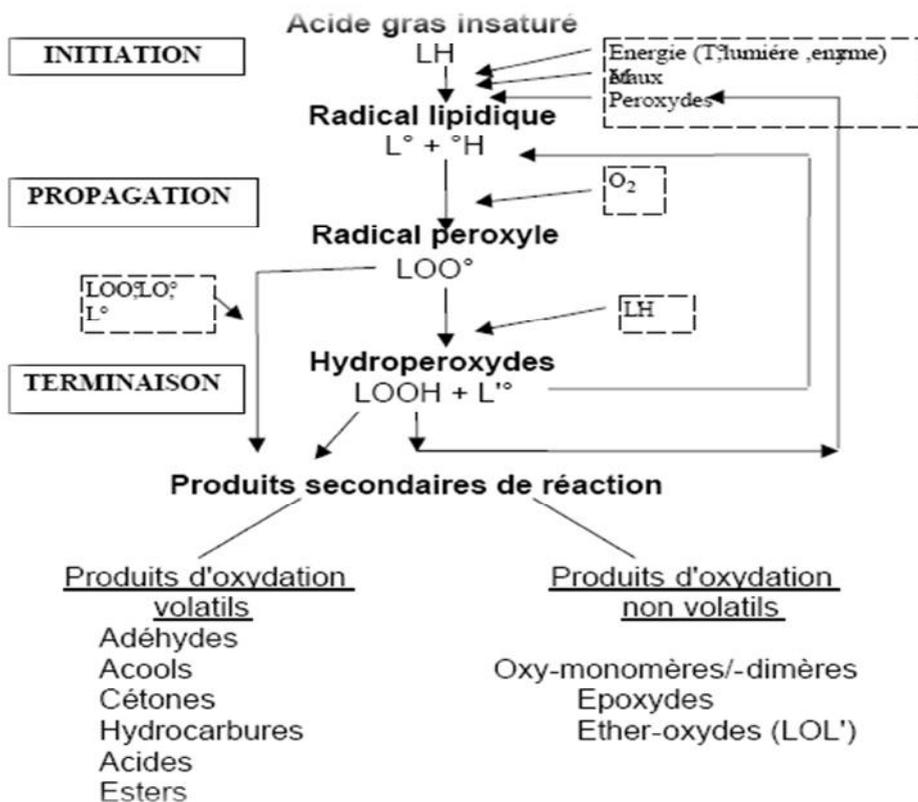
### III.2.2.1.3. Oxydation enzymatique

La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un AGI (figure 6) et aboutit à la formation d'hydroperoxydes ; la cyclooxygénase est une lipoxygénase qui incorpore deux molécules d'oxygène au niveau d'un AG pour former des hydroperoxydes spécifiques (EYMARD, 2003).



**Figure 09 :** Mécanisme d'initiation de la peroxydase lipidique par l'activité lipoxygénasique (GERMAN et KINSELLA, 1985)

La figure 08 présente le schéma général d'oxydation des lipides.



**Figure 10 :** Schéma général de l'oxydation des lipides (EYMARD, 2003).

### III.2.2.2. Produits formés au cours de l'oxydation

L'oxydation des lipides comprend d'abord la formation de composés réactifs comme les radicaux peroxydes (*GRAILLE, 2003*). Les peroxydes sont peu stables ; ils donnent naissance, par scission, des molécules plus petites : hydrocarbures, aldéhydes, cétones, acides ; celles-ci sont responsables de la détérioration organoleptique (*MOLL et MOLL, 1998*).

### III.2.2.3. Incidences physiopathologiques des lipides oxydés

En plus de leurs effets sur la valeur nutritionnelle et le critère organoleptique des huiles, l'oxydation des lipides génère des produits toxiques susceptibles de développer des maladies (*PERRIN, 1992 ; JUDDE, 2004 ; MUIK et al., 2005*).

Actuellement, il est admis que la lipo-péroxydation des lipides insaturés (AG et cholestérol) est à l'origine de nombreuses maladies chez l'homme. En effet, le stockage et le mode de génèrent et concentrent une multitude de radicaux libres, de lipo-péroxydes et de divers métabolites issus de la lipo-péroxydation, particulièrement nocifs pour la santé (*MORELLE-LAUZANNE, 2006*).

L'utilisation répétée des huiles de fritures peut augmenter la concentration des AG *trans* ; ces derniers sont à l'origine de l'apparition des MCV. Plusieurs études indiquent que les produits d'oxydation des huiles peuvent être cancérogènes : cancer de poumons apparaît chez les femmes exposées à la vapeur libérée pendant la friture de poisson (*SAGUY et DANA, 2003*).

D'après (*MANSOURI et OURA-HMOUNE, 2000*), l'alimentation à long terme des animaux par des huiles et graisses des fritures induit des retards de croissance et la diminution du poids des animaux.

### III.2.2.4. Facteurs influençant la détérioration oxydative

#### III.2.2.4.1. Température et lumière

Le rancissement oxydatif est un phénomène chimique et spontané ; il se produit dès que les AGI (comportant au moins une double liaison) sont en contact avec l'oxygène atmosphérique. Il a été établi qu'à cette étape, la lumière ou la température sont des facteurs accélérateurs ; ce ne sont pas des éléments nécessaires et suffisants pour déclencher des phénomènes d'oxydation (*JUDDE, 2004*).

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

### III.2.2.4.2. Teneur en AGL

Les AGL, du fait de leur dispersion plus grande, sont plus sensibles à l'oxydation que les estérifiés. Les lipases accélèrent l'oxydation des AG des TG (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

### III.2.2.4.3. Teneur en oxygène

La teneur en oxygène est le facteur prépondérant, car la molécule initie ces réactions d'oxydation. Pour assurer une bonne conservation des aliments riches en lipides, il faut les préparer (friture, grillade, rôtisserie) de certains aliments (viandes ou poissons) placer sous emballage non poreux en atmosphère pauvre en oxygène (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

### III.2.2.4.4. Présence d'agents antioxydants

Les aliments contiennent soit naturellement, soit sous forme d'additif, des molécules plus oxydables que les lipides. Les tocophérols, l'acide ascorbique, les acides aminés soufrés et les protéines complexent les métaux pro-oxydants. Ainsi, ces molécules protègent les acides gras de l'oxydation (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

### III.2.2.4.5. Présence d'agent pro-oxydant

Les aliments contiennent des métaux activateurs des oxydations (fer, nickel, cobalt, cuivre, manganèse). Les céréales et les graines oléagineuses contiennent des lipoxygénases, enzymes d'oxydation des acides polyinsaturés comme l'acide linoléique (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

III.2.2.4.6. Activité de l'eau ( $A_w$ )

On peut suivre la vitesse d'oxydation des acides gras en fonction de l' $A_w$ .

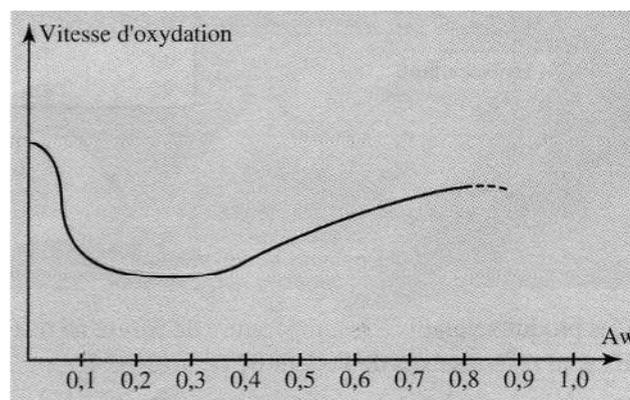
\*Pour  $A_w < 0.1$ , l'oxydation est très élevée parce que l'oxygène insoluble dans l'eau est réactif en phase hydrophobe.

\*Entre 0.2 et 0.3, l' $A_w$  a une faible influence. La monocouche d'eau s'oppose au passage de l'oxygène jusqu'aux lipides et bloque l'oxydation.

\*Lorsque  $0.2 < A_w < 0.5$ , les peroxydes actifs réagissent avec l'eau et peu avec les lipides. Les antioxydants solubles ont une action protectrice efficace.

\*Pour  $A_w > 0.5$ , les catalyseurs métalliques diffusent vers les sites d'oxydation et la catalyse minérale exerce son plein effet.

\*Lorsque  $A_w > 0.9$ , l'oxydation ralentit par effet de dilution.



**Figure 11** : Schéma général de l'oxydation des lipides.

(FRENOT et VIERLING, 2001).

# *Chapitre IV*

## *Procédé technologique de la friture*

**IV. Friture****IV.1. Définition**

La friture est l'opération qui permet, en une seule et même étape, de déshydrater, cuire, texturer et formuler les aliments ; elle permet l'imprégnation en matière grasse, une perte de solutés propres, un développement d'arôme, etc. L'application la plus répandue de cette opération à toutes les échelles de transformation (domestique ou industrielle) est la déshydratation-cuisson des produits riches en eau (*VITRAC et al., 2003*).

La friture est principalement utilisée pour réaliser des transformations qui augmentent la digestibilité des aliments (coagulation des protéines et de l'amidon), la palatabilité des aliments par le développement de textures, couleurs et saveurs. Enfin, la stabilisation des matières premières par l'abaissement de leur teneur en eau et l'inactivation des microorganismes (*GRAILLE, 2003*).

**IV.2. Différents types de fritures****IV.2.1. 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*).

**IV.2.2. Friture profonde**

La friture profonde correspond à l'immersion d'un aliment dans une huile chauffée à une température supérieure à 100°C pendant une période donnée. Dans cette opération, la surface de contact avec l'air est plus réduite et le bain est réutilisée (*HUBBARD et FERKAS, 1999*).

Selon *FREDOT (2005)*, le bain de friture subit plusieurs cycles thermiques : une montée en température en absence de l'aliment jusqu'à 180°C maximum, ajout de l'aliment ce qui abaisse la température, maintien de la température pendant la friture de l'aliment et enfin, retour à la température ambiante.

**IV.3. Conséquences des fritures profondes sur les corps gras****IV.3.1. Modifications physicochimiques**

Durant ces modifications, le bain brunit et l'acidité du corps gras augmente (*FREDOT, 2005*).

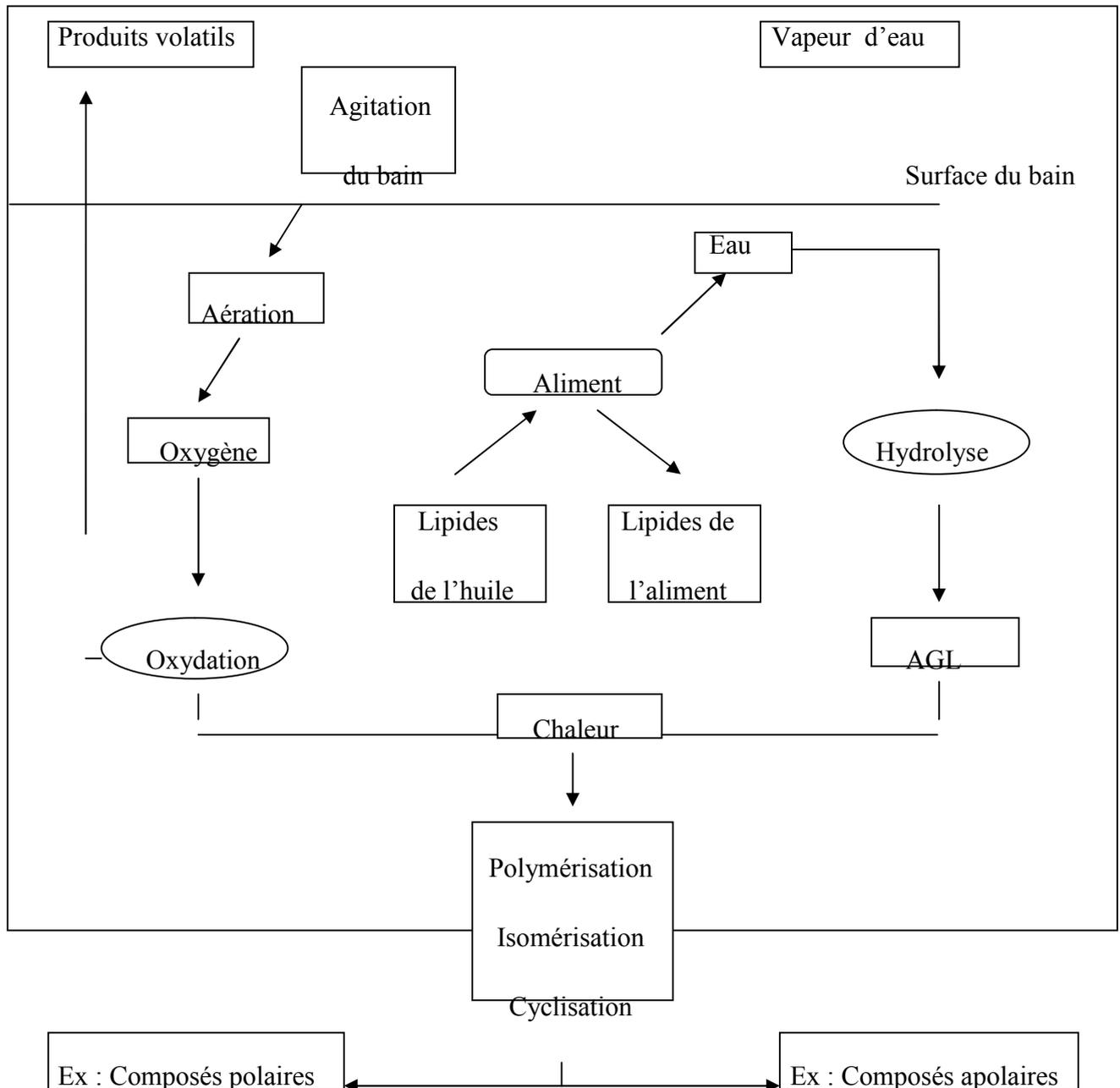
Elles dépendent du nombre d'insaturation du CG et de la présence de tocophérols. Les différentes réactions qui se produisent dans un bain de friture sous l'effet de la chaleur sont

nombreuses : l'aliment perd de l'eau par évaporation entraînant la libération des composés colorés dans le bain de friture ; l'aliment retient une grande quantité de matières grasses (MG), ce qui entraîne une augmentation de sa valeur énergétique ; l'aliment cède des lipides dans le bain de friture, notamment des AGL qui seront sensibles à l'altération ; la quantité de composés les plus fragiles de l'huile diminue ; on assiste ainsi à la perte d'acides gras essentiels, de tocophérols (exemple : la vitamine E est détruite à plus de 50% lors d'un chauffage à 177°C pendant 8 heures), etc. Enfin, de composés nouveaux se forment, on en cite : des produits volatils (responsables de l'odeur particulière de la friture), composés polaires (ils représentent une fraction importante des PATO qui, en excès, peuvent être irritant pour la muqueuse digestive) et composés non polaires (ils apparaissent suite à des réactions d'hydrolyse et de cyclisation du fait de l'élévation de température) (*FREDOT, 2005*).

#### **IV.3.2. Incidences nutritionnelles lors des fritures profondes**

Une température de chauffage trop élevée et un temps prolongé rendent de plus en plus indigeste le corps gras, car son absorption devient plus lente et moins complète. De plus, la formation de composés polaires en particulier des triglycérides oxydés présente une certaine toxicité (*FREDOT, 2005*).

Toutes ces conséquences sont illustrées dans *la figure 9*.



**Figure 12 :** Réactions d’altération des huiles dans un bain de friture sous l’effet de la chaleur (VIERLING, 2003).

**IV.4. Résistance des huiles à la chaleur**

Au cours des fritures, les CG se modifient peu à peu sous l’action conjuguée de l’oxygène et de la température. A cet effet, il est important de respecter la température de chauffage, car chaque CG possède un point de fumée qui lui est propre (*FREDOT, 2005*) (*tableau VIII*).

Le point de fumée ou la température critique désigne donc la température à laquelle un CG commence à se décomposer en se noircissant et en dégageant une fumée âcre (*FREDOT, 2005*).

**Tableau 11:** Résistance à la chaleur des principales huiles alimentaires (*FREDOT, 2005*).

	<b>Huiles</b>						
	<b>Palme</b>	<b>Tournesol</b>	<b>Colza</b>	<b>Soja</b>	<b>Mais</b>	<b>Olive</b>	<b>Arachide</b>
<b>T° critique (°C)</b>	230	200	210	220	220	215	218
<b>T° max conseillée (°C)</b>	180	170	170	170	170	180	180

**IV.5. Choix des huiles de fritures**

Les CG très saturés, tels que les MG d’origine animale sont bon marché et très stables à la chaleur, mais leurs effets cholestérolémiantes et les risques cardiovasculaires associés les font rejeter par les consommateurs. Le choix des MG de friture résulte alors d’un compromis entre la sensibilité à la thermo-oxydation et l’intérêt nutritionnel (*STOCKWELL, 1988*).

Les huiles ou MG végétales riches en AGMI, telles que l’huile d’olive, le tournesol oléique et l’arachide sont privilégiées et utilisées en friture telles quelles. Les huiles de soja et de colza riche en AGPI, notamment de la série  $\omega 3$  sont utilisées en friture après leur hydrogénation partielle. Les huiles tropicales de palme et de palmiste, malgré leur grande stabilité thermique, sont suspectées à cause de leur teneur élevée en AGS (*RANHOTRA, 1993*).

Le choix de type ou de mélange d'huiles utilisées en friture dépendra également de la perception et de l'acceptabilité du produit frit par le consommateur. Les critères de choix sont : odeur, texture, sensation en bouche, arrière-goût et stabilité de l'huile lors du stockage avant l'utilisation ou dans le produit final (*VITRAC et al., 2003*).

#### **IV.6. Aspect toxicologique des huiles chauffées**

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

Les métaux, présents naturellement dans les corps gras mais éliminés en grande partie lors du raffinage, activent les oxydations, car ce sont des catalyseurs de la fixation d'oxygène. Les glucides des aliments sont de bons capteurs de radicaux libres et ont l'effet inverse des métaux ; ils protègent les lipides contre l'oxydation (*FRENOT et VIERLING, 2001*).

*GARIBAGAOGLU et al. (2007)* ont montré aussi, lors de l'administration d'huile de tournesol chauffée à des rats, une toxicité hépatique par la dégénération des lipides cellulaires, l'occlusion des veines et une nécrose tissulaire. Cette toxicité se traduit généralement par l'hypertrophie du foie.

Cependant, aucun effet carcinogène ou mutagène n'est induit par des CG chauffés dans des conditions de friture réelles. Seules, des conditions extrêmement sévères de chauffage (220-240°C) ont permis de mettre en évidence une faible activité mutagène (*LECERF, 2008*).

#### **IV.7. Aspect réglementaire pour les huiles de fritures**

Actuellement, les dernières recommandations confirment que les principaux critères de qualité des huiles de friture restent essentiellement sensoriels ; l'utilisation de méthodes rapides et corrélées aux méthodes de références est conseillée (*VITRAC, 2003*). L'appréciation du caractère usager des huiles de friture doit être confirmée par deux mesures de références : le taux de composés polaire 24% et un taux de polymères 12% (*OLLE, 2003*).

**IV.8. Gestion des huiles de fritures**

Les huiles de fritures sont collectées dans de nombreux pays par les organismes indépendants afin de protéger l'environnement. Ces huiles collectées présentent une composition chimique et des qualités nutritionnelles et sanitaires très variables ; elles comprennent souvent des fractions solides ou liquides.

Après la collecte, ces matières grasses sont débarrassées de l'eau et des éléments solides ; on peut ensuite les fractionner selon leur point de fusion et éventuellement les désodoriser. Lorsque la législation le permet, ces huiles traitées sont incorporées dans l'alimentation animale. Dans le cas contraire, ces produits servent de combustible, par exemple en cimenterie, voire de carburant pour moteur diesel (*MITTELBACH et ENZELSBERGER, 1999 cités par VITRAC et al., 2003*).

# *Étude expérimentale*



# *Matériel et méthodes*



### I. Objectif de l'étude

Le but de notre étude expérimentale consiste à évaluer le degré de résistance à la thermo-oxydation de l'huile de marque « Lynor » au cours de la friture de poisson au niveau des restaurants universitaires.

Le choix de notre étude a porté sur deux restaurants universitaires Hasnaoua et Bastos. Les prélèvements d'échantillons d'huile de bain de friture s'effectue chaque première et dernière quinzaine de mois (Mars, Avril, Mai) à partir du dernier cycle de friture (vers 12 heures), sans malheureusement qu'on assiste de visu au déroulement de ce processus.

Dans ces restaurants, les fritures sont menées en continue (sans période de refroidissement) dans des friteuses en inox à gaz sans couvercle et sans incorporation régulière d'huile fraîche.

Les prélèvements ont été effectués dans des flacons en verre, à raison d'un flacon pour l'huile fraîche et deux flacons pour l'huile de baigns. En arrivant au laboratoire, les huiles des baigns ont été filtrées pour éliminer les débris de poisson frits puis conservés au réfrigérateur jusqu'à leur analyse. Le nombre d'échantillon prélevés à partir de chaque restaurant est de 8.

Les différents indices physico-chimiques ont été réalisés dans les différents laboratoires de l'université.

### II. Conduite expérimentale

#### II.1. Choix de l'huile

Durant notre expérimentation, les restaurant universitaires s'approvisionnaient du complexe PROLIPOS situé à la zone industriel d'Ain M'lila ; c'est une huile pure, elle est à 100% soja ; elle est destinée à l'assaisonnement et à la friture. Les caractéristiques portées sur l'étiquette de l'emballage de cette huile sont comme suit :

**Tableau IX :** Caractéristiques de l'huile analysée.

<b>LINOR</b>
100% soja
Assaisonnement, cuire et frire, dorer et préparation de gâteaux
Sans cholestérol
Riche en vitamine E
Température conseillée : max 180°C
<b>Réutilisation 4 fois</b>
Stockée à l'abri de la lumière et source de chaleur

### II.2. La préparation de la sardine pour la friture

Dans le menu des restaurants universitaires de Tizi-Ouzou, trois plats de sardine sont servis les Dimanche, mardi et jeudi. Selon la disponibilité, une quantité moyenne de 140 à 200 kg est préparée ; la sardine provient, généralement, du port de Dylles (wilaya de Boumerdès).

La sardine est nettoyée, marinée avec du sel, épicée et enfin recouverte avec de la farine. Pour frire cette quantité énorme de sardine, des friteuses géantes sont utilisées, avec un mode de chauffage électrique au gaz ; cette friteuse, de marque FAGOR, est de contenance de 25 litres avec une profondeur de 20 cm et 120 cm de longueur et 80 cm de largeur ; elle comporte un couvercle amovible (*figure13*). Le *tableau* énumère les conditions de friture dans les restaurants retenus.



**Figure 13:** Illustration de la friteuse

**Tableau XI** : Conditions de fritures de la sardine

Friture en continue	Sans ajout de l'huile fraiche dans le bain
Quantité de poisson	140KG
Nombre de friteuses	2
Nombre de fritures	10 pour chaque friteuse
Température fixée au début	180°C (non réglable)
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

### II.4. Echantillonnage

A la fin de friture (vers 12 h), un volume de 180 ml l'huile est prélevé du dernier bain, et ce 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 effectués sur place vue l'indisponibilité du matériel et de quelques réactifs, ce qui nous a contraint à conserver les échantillons au réfrigérateur pendant des trois semaines.

## III. Analyses

### III.1. Analyses physiques

#### III.1.1. Teneur en eau et matières volatiles :

La teneur en eau et en matières volatiles d'un CG est définie comme étant la perte de masse subit par ce produit après son chauffage à  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant un temps suffisamment court pour éviter l'oxydation, mais suffisamment long pour permettre l'élimination totale de l'eau. Le principe consiste à chauffer une prise d'essai à  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  dans une étuve pendant 1 heure de temps. (AFNOR NF T606-201 d'octobre 1984).

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

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

m0 : 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 après chauffage.



**Figure 14 : L'étuve (photo originale)**

### III.1.2. 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 la graisse à une température T °C par la masse de même volume d'eau distillée à 20°C. (AFNOR-NFT60621).

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

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

Soit :

$m$  : poids de l'éprouvette vide ;  $m_1$  : poids de l'éprouvette pleine d'eau ;  $m_0$  : poids de l'éprouvette pleine d'huile .

### III.1.3. La viscosité

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

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

Sachant :

$\mu$  : La viscosité en Centipoise ;  $\rho_f$  : La densité de la balle de métal qui est égale à 8,02 g/ml ;  $\rho$  : Densité de l'huile ;  $t$  : Le temps de descente en minute ;

$K$  : Constante du viscosimètre qui est égale à 35.



**Figure 15 : le viscosimètre( photo originale)**

### III.1.4. Mesure du taux des composés polaires

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

La mesure des composés polaires de l'huile se fait par un «Testeur» (Figure16) Cet appareil permet une mesure précise des composés polaires présents dans l'huile et une approche des polymères responsables de la dégradation des huiles de friture .

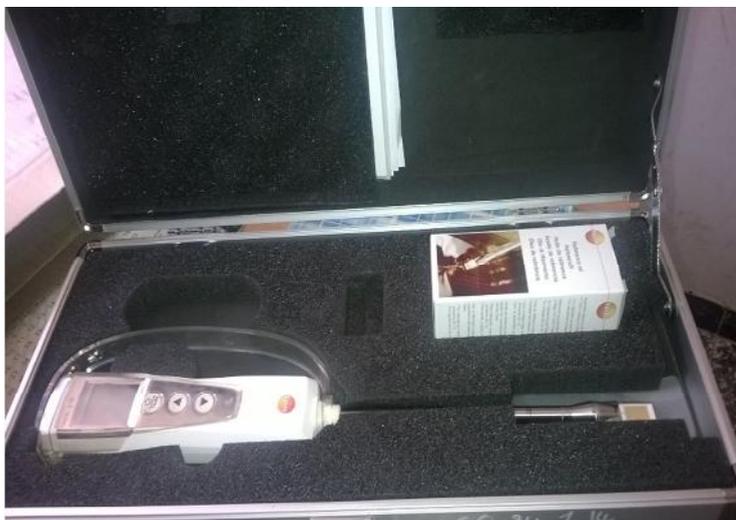


Figure16 : Testeur (photo originale).

### III.2. Analyses chimiques

#### III.2.1. Acidité

Par définition, l'acidité est le pourcentage d'acides gras libres dans une matière grasse (huile) ;elle est exprimée en pourcentage d'acide oléique.(AFNOR NF T60-204 de décembre 1984)

Le principe consiste à la mise en solution une prise d'essai dans l'alcool en présence de phénolphtaléine, puis titrage à chaud des acides gras libres présents par une solution de KOH selon la réaction suivante :



$$\text{Acidité(\%)} = \frac{N.C.M}{10.m}$$

Sachant :

M : Masse molaire d'acide oléique(282,5g/mol) ; N : Normalité de NaOH à 0.1 N

m : masse en gramme de la prise d'essai ; V : Volume en ml de KOH utilisé pour le titrage.

### III.2.2. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode. (AFNOR-NFT60-22).

Le principe de cette méthode consiste à un traitement d'une quantité d'huile en solution dans l'acide acétique et le chloroforme, par une solution d'iodure de potassium (KI). Le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) à 0.01 N en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré selon la réaction suivante :



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

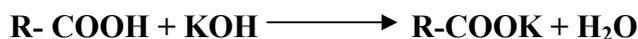
$$I_p(\text{meq } \text{O}_2/\text{Kg}) = \frac{N(V_1 - V_0) \times 1000}{P}$$

Soit :

$I_p$  : indice de peroxyde exprimé en milliéquivalent gramme par kilogramme ;  $V_0$  : volume de la solution thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en ml ;  $V_1$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé en ml ; N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0.01 N ; P : prise d'essai en gramme.

### III.2.3.Indice de saponification

C'est la quantité d'hydroxyde de potassium (potasse caustique KOH) en mg nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras. Le principe consiste à saponifier une prise d'essai par KOH alcoolique sous réfrigérant à reflux pendant une heure. Le titrage de l'excès de KOH par une solution de HCl à 0.5N en présence de phénolphtaléine.(AFNOR-NFT60-206)



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

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

Sachant :

$I_s$  : indice de saponification exprimé en milligramme par gramme ;  $V_0$  : volume d'HCL pour l'essai à blanc en ml ;  $V_1$  : volume d'HCL pour l'échantillon pris en ml ;  $P$  : prise d'essai en gramme ;  $N$  : normalité d'HCL (0.5N) ;  $Eq$  : Equivalent gramme de KOH (56.1 g/mol).



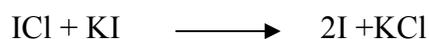
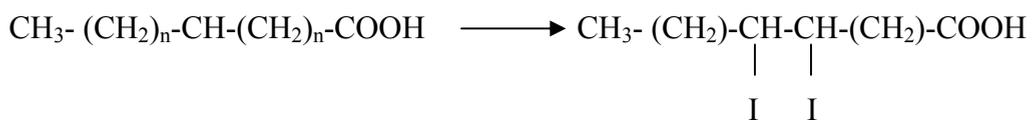
**Figure 17: Réfrigérant à reflux ( photo originale)**

### III.2.4. Indice d'iode

L'indice d'iode ( $I_i$ ) est la quantité du iode en gramme fixée par 100g de corps gras. Le principe consiste d'ajouter une solution de monochlorure d'iode dans un mélange d'acide acétique et de tétrachlorure de carbone. (AFNOR-NFT60-203).

Après un temps de réaction donné (30min), on détermine l'excès d'halogène par addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau distillée, puis par titrage du iode libéré par une solution titré de thiosulfate de sodium.

Les réactions qui se passent sont les suivantes :



L'indice d'iode est exprimé par :

$$Ii(gI_2|100g) = N(V_0 - V) \times 12.69/P$$

Soit:

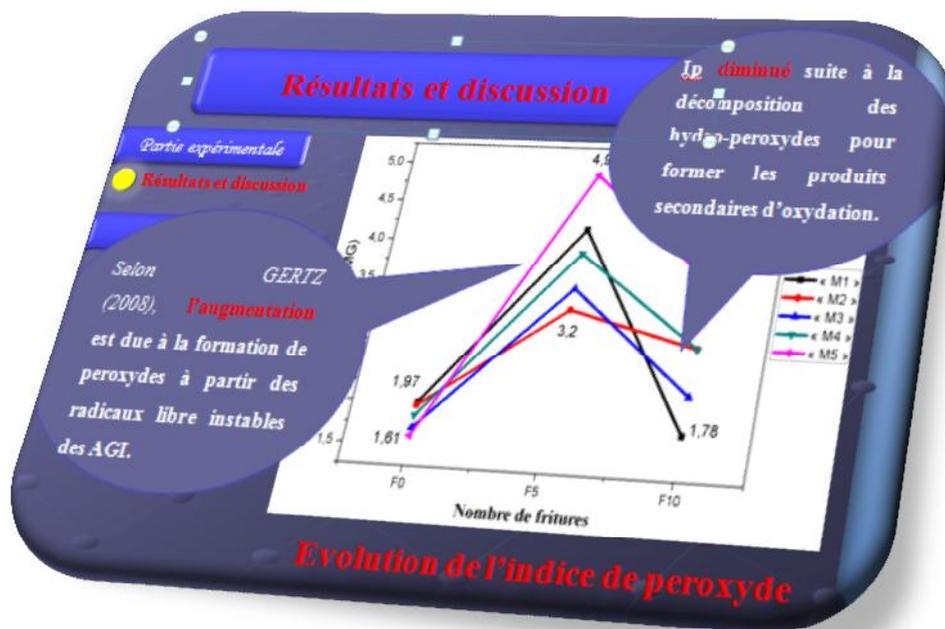
Ii : indice d'iode ;  $V_0$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml ;  $V$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml ;  $N$  : normalité de thiosulfate de sodium ; 12.69 : masse d'iode correspondant à 1ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras.

#### IV. Analyses statistiques

Le traitement statistique des résultats d'analyses physico-chimiques obtenus dans notre étude(densité,acidité,indice de peroxyde...etc) est réalisé grâce au logiciel **Stat box**.

C'est une analyse de la variance à deux facteurs de variabilité étudiés( le resto et de l'huile utilisée).

# Résultats et discussion



### I. Analyse organoleptique

Les premiers critères retenus lors des fritures répétées ont trait aux caractéristiques sensorielles des bains de fritures et de l'aliment préparé. Le tableau suivant présente uniquement les observations notées lors de la friture de la sardine au niveau du restaurant de Bastos le 16/05/2017 ; les résultats obtenus sont portés dans le tableau :

**Tableau XII:** l'observation notée lors de la friture.

N° de friture	Couleur du bain	Couleur de la sardine	Odeur	Apparition de la fumée	Formation de la mousse
1 <sup>er</sup>	Claire	Dorée	caractéristique	-	-
2 <sup>ème</sup>	Moine clair	Dorée+	caractéristique	+	+
6 <sup>ème</sup>	Brun++	Dorée++	Désagréable	+	+
7 <sup>em</sup>	Brun++	Dorée++	Désagréable+	+	+

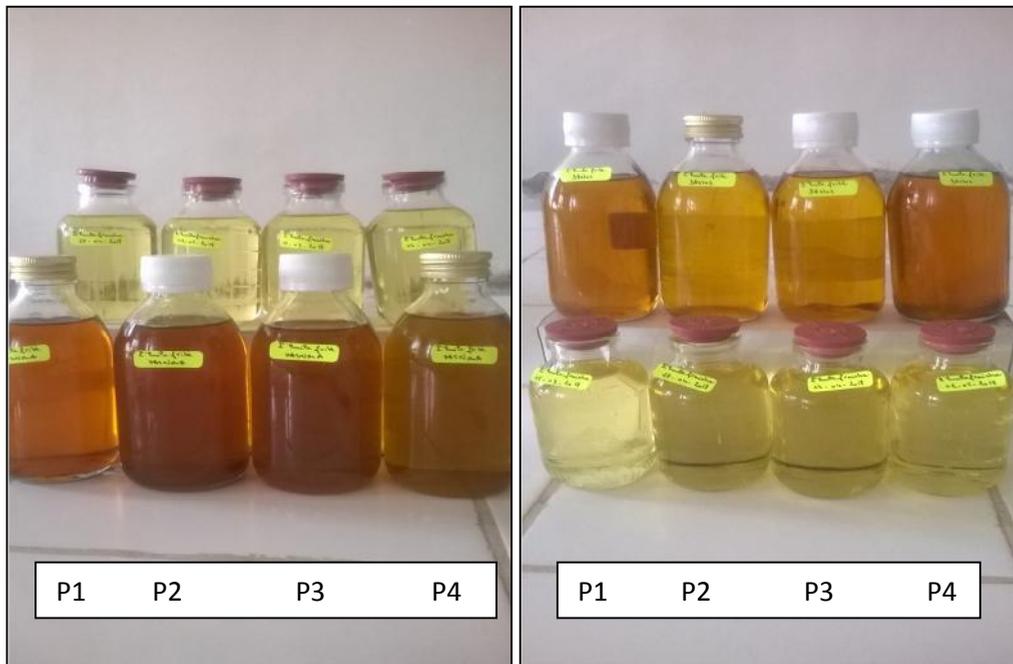
Signe (-) : Absence

Signe(+) : Intensité

L'altération des huiles au cours des fritures répétées se manifeste par la détérioration de leurs qualités organoleptiques, telle que la couleur, l'odeur, la mousse, etc. (GRANDGERARD, 1992).

La couleur de l'huile «lynor» à l'état frais et le changement de la couleur de cette huile après fritures et mise en évidence (figure 18)

La couleur de l'huile fraîche est très claire, on remarque une augmentation de l'intensité de la couleur dès la 2<sup>ème</sup> friture, accompagnée par l'apparition du fumé et la formation de la mousse, la couleur brune apparaît à partir de la 4<sup>ème</sup> friture et ne devient que de plus en plus sombre lors des dernières fritures (7<sup>ème</sup>).



Les échantillons de Hasnaoua

les échantillons de Bastos

**Figure18:** la déférencede la couleur des bains d’huiles des deux restaurants.

Selon JUDDE (2004), les composéé volatiles tels que les cétones et les aldéhydes sont responsable des flaveurs de rance des huiles de friture ; ces composéé sont caractérisés par un seuil de détection très faible. Par ailleurs, FREDOT (2005) affirme que le point de fumée des huiles diminue selon leurs niveaux d’altération. Ainsi, la qualité organoleptique du produit frit diminue ; elle se traduit par le changement graduel de la couleur de l’aliment frité.

D’après la figure en remarque une différence d’intensité de couleur des bains de friture et même celle des huiles fraîche ; les huiles fraîche prélevée de Bastos et moine claire que celle de hasnaoua et ça revient a la qualité de l’huile brute importer qui a été utilisée pour la production de cette huile ; ainsi que huile des bains prélevées du restaurant de Hasnaoua ont une couleur plus foncée que celles prélevées de Bastos.

Cette différence entre les deux résultats revient au mode de le temps de cuisson ;l’encapsulation de la sardine par la farine du blé est le facteur qui a causé le changement de la couleur d’huile dès les première fritures qui se traduit par la réaction de Maillard (l’amidon du blé) au niveau de la chaire du poisson lors de la friture qui donne la coloration brune et qui diffuse dans l’huile du bain.

### II. Evolution des paramètres physique.

#### II.1. Humidité

Selon les normes fixées par le *codex alimentarius (1992)*, les huiles raffinées fraîches ne doivent pas contenir de traces d'eau. Lors du traitement technologique, notamment à l'étape de désodorisation, l'humidité contenue dans l'huile brute est éliminée. Les humidités des huiles utilisées dans les restaurants universitaires Bastos et Hasnaoua sont intégrées dans le tableau.

**Tableau XIV:** Teneur en eau des huiles des quatre prélèvements.

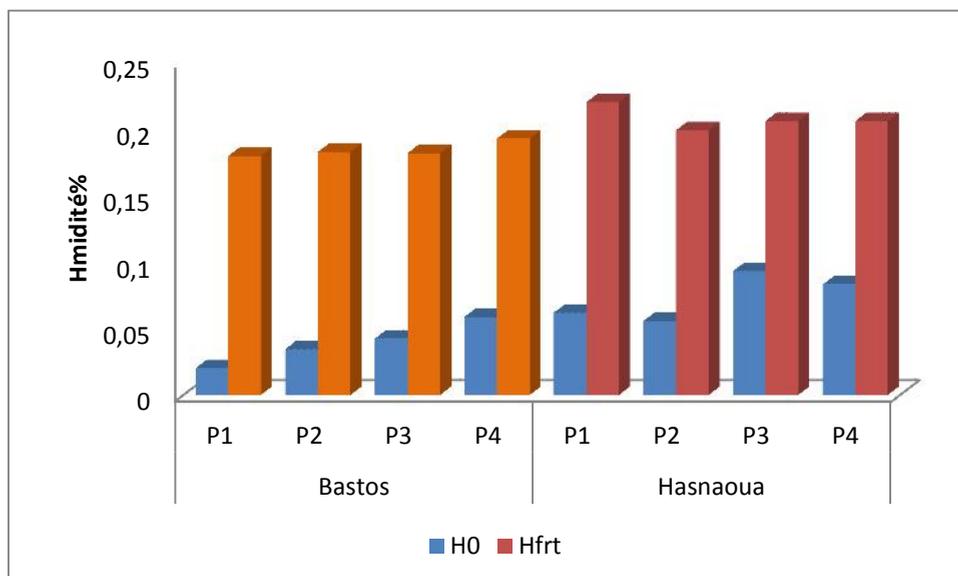
Restaurant	Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos	0.021±0.0 1	0.181±0 .09	0.034±0.056	0.183± 0.09	0.042±0.009	0.182± 0.09	0.058±0.0 4	0.193± 0.09
Hasnaoua	0.061±0.0 09	0.221±0 .11	0.055±0.005	0.199± 0.09	0.093±0.008	0.206± .10	0.083±0.0 08	0.206± 0.11

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions*

H.F : huile fraiche ; H.B : huile de bain de friture

L'huile fraiche raffinée «lynor» utilisé de notre étude expérimentale est caractérisée par une humidité très variable d'un prélèvement à un autre et aussi d'un restaurant à un autre, ces résultats son proche à ceux obtenu parAIT *AHMED et AIT DJBARA (2017)*. L'humiditédes huiles à l'état frais la plus élevéea été enregistrée par le prélèvement de (27/04/2017) de Hasnaoua 0.093% contre 0.058% du prélèvement de (16/05/2017) de bastos ; cette différence revienne à la différence de lot d'huile.L'humidification de ces huiles fraîches pourrait être due au mode de raffinage utilisé dans la raffinerie locale.

En effet, l'industrie locale mène cette distillation sous vide à une température de 180 à 240°C. Cette température est inférieure à celle suggérée parHENON (1999) qui est de 270°C pendant une heure à 1 heure 30 minutes.



**Figure 19 :** Comparaison des taux d'humidité pour les huiles des deux restaurants.

Au cours des fritures, l'humidité des huiles des baigns de fritures augmente par rapport à celle enregistrée par l'huile à l'état frais. Les valeurs maximales sont celles enregistrées en (16/05/2017) ; (0.206%) pour le restaurant de Hasnaoua ; contre (0.193) pour Bastos. Donc le restaurant de Hasnaoua marque les humidités les plus élevées pour H.F et H.B.

L'humidification de l'huile des baigns 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 mené à 180°C. En effet, l'eau et le CO<sub>2</sub> constituent les produits terminaux de la décomposition des hydroperoxydes.

On remarque une augmentation modérée d'humidité des huiles frites par rapport à l'huile fraîche pour les deux restaurants et cela durant les quatre prélèvements ; en outre la chair du poisson connue par sa forte teneur en eau et qui après sa mort, la surface se liquéfie plus à cause des composés de dégradation qui sont formés ; ce qui révèle normalement des taux d'humidités très élevés par rapport aux valeurs enregistrées.

Selon (GRAILLE, 2003), la friture de poisson sans le fariner sans au préalable induit une déshydratation de sa peau, son eau de surface doit être évaporée, et les fibres animales ne forment pas une croûte imperméable quand elles sont portées à température élevée.

En revanche, le farinage permet l'absorption d'eau de surface, une gélatinisation des graines d'amidon, puis la formation d'une croûte assez imperméable à l'huile.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à savoir le lots d'huile et le restaurant (Bastos et Hasnaoua) (Annexe 09 ).Il ressort de ce traitement que le facteur «restaurant» à un effet très hautement significatif ( $P=0,0009$ ) sur l'humidité des huiles de friture .Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huile de bain de friture dans 2 groupes homogène( A et B). le lot d'huile utilisée agit d'une façon très hautement significative ( $p=0$ ) sur l'humidité des bains d'huiles dans notre étude. Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (A et B). L'interaction entre les deux facteurs étudiés ne montre aucun effet significatif ( $p=0,41$ ) sur l'humidité d'huile étudiée.

### II.2. 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*).Il ressort de notre étude une augmentation de la viscosité des huiles des bains de friture par rapport à celle de l'huile fraîche aux niveaux des deux restaurants ; les résultats portés dans le (tableau XV).

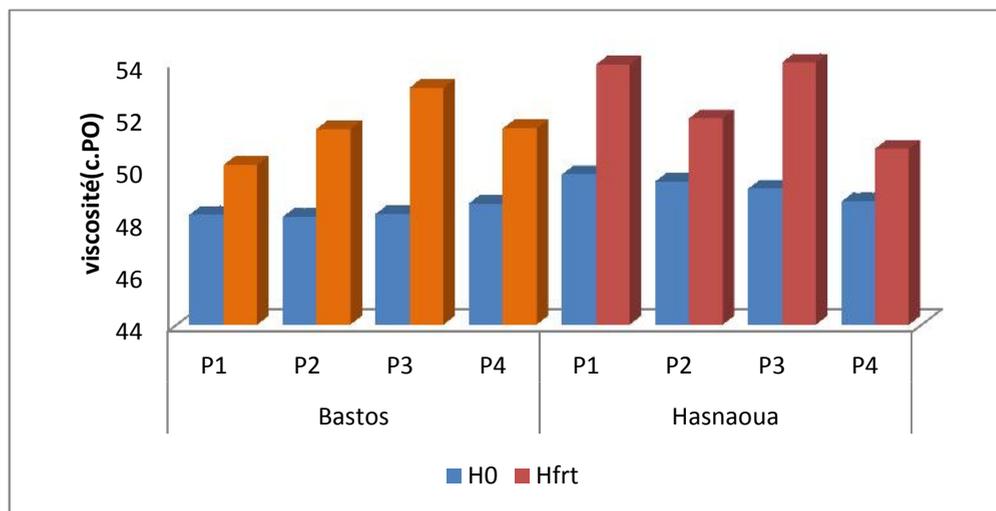
**Tableau XV** : les moyennes de la viscosité des quatre prélèvements.

	Viscosité (c.P0)							
	Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restaurant	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos	48.19±1. 50	50.06± 24.82	48.1±1.32	51.74±0. 64	48.22±1. 50	53.02±26 .55	48.61±0. 82	51.49±0 .54
Hasnaoua	49.71±0. 48	53.89± 26.94	49.44±0.5 2	51.87±2 5.94	49.17±0. 23	53.97±27 .01	48.68±0. 83	50.68±2 5.35

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions.*

H.F : huile fraîche ; H.B : huile de bain de friture.

L'huile «lynor» utilisée au niveau de restaurant de Bastos et Hasnaoua a une viscosité proche à celle obtenue par *KHERCHAOUI (2015)* qui à utiliser la même huile et qui à enregistré une valeur de 48.15 (c.P0) et supérieure à celle obtenue par *AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)* qui ont noté une viscosité de 42.75 (c.P0). ceci et du à la qualité de l'huile brute qui elle-même influencé par la qualité des graine ainsi que la différence des conditions expérimentales. L'Augmentation de la viscosité dans chaque prélèvement par rapport à l'huile fraiche marque une différence entre les deux restaurants (Bastos et Hasnaoua) comme l'indique la *figure 20*.



**Figure20** : Comparaison de la viscosité huiles des deux restaurants.

La viscosité la plus élevée est celle de l'huile prélevée de hasnaoua en (27/04/2017) soit 53.97 (c.P0). Ces valeurs obtenues sont supérieures à ceux d'*AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)* qui ont noté une valeur maximale de 40.18 (c.P0). Cela indique que nos huiles sont devenues plus consistantes. Les valeurs de cet indice augmentent de 1.87 ; 3.64, 4.8, 2.88 % ; pour les huiles prélevées de Bastos et 4.18 ; 2.34 ; 4.8 ; 2 % ; pour celle de Hasnaoua. Ceci est dû aux quantités élevées d'aliments cuits et à la différence des conditions de cuisson (température non réglable) et en présence d'eau et d'oxygène, les triglycérides subissent un grand nombre de réactions complexes.

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

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

Le traitement statistique des résultats de la viscosité (*Annexe 11*), révèle une différence hautement significative en fonction d'huile de friture et le restaurant, on note également l'existence de 2 groupes homogènes pour le facteur huile (*Annexes 12*).

### II.3. Densité

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

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

**Tableau XVI** : Résultats de la densité des quatre prélèvements pour les deux restaurants.

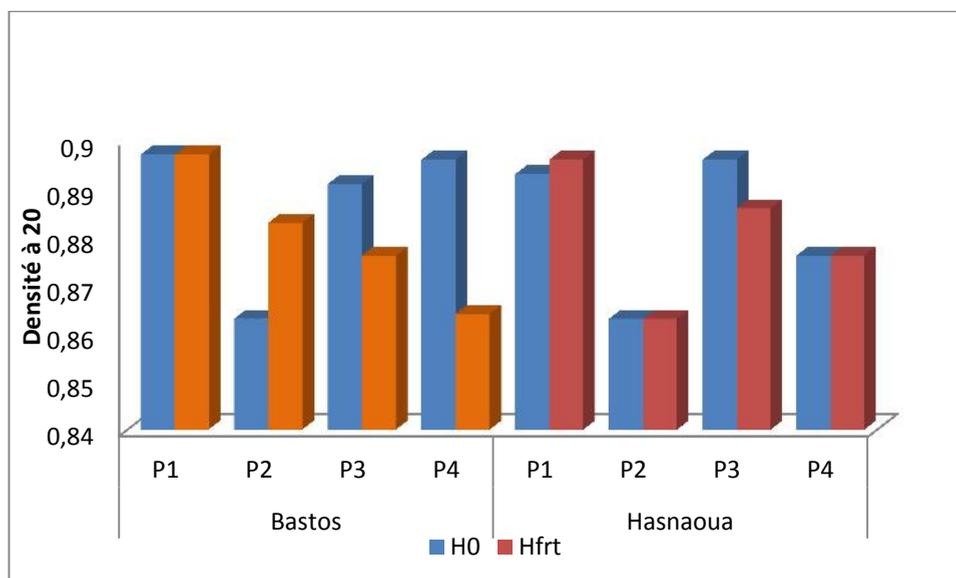
	Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos	0.897±1. 501	0.863±0. 431	0.891±1. 327	0.684±0. 432	0.893±1. 500	0.863±0. 431	0.896±0. 827	0.876±0. 44
Hasnaou a	0.897±0. 480	0.883±0. 441	0.876±0. 525	0.864±0. 432	0.896±0. 236	0.863±0. 431	0.886±0. 832	0.876±0. 439

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions*

H.F : huile fraîche ; H.B : huile de bain de friture.

Selon le *Codex alimentarius (1999)*, la densité des huiles raffinées se situe entre 0.909 et 0.916. La valeur maximale de la densité de l'huile « lynor » à l'état frais est inférieure à la norme (0.897) ; enregistré en(16/03/2017) pour les deux restaurants Bastos et Hasnaoua. Cette

valeur inférieure à la norme peut être due à sa faible teneur en insaponifiable et que l'huile a subit un raffinage poussé. La figure 21 illustre le de la densité des huiles frites pour chaque prélèvement.



**Figure 21** : Comparaison de la densité des huiles des deux restaurants.

Il ressort des résultats portés dans cette figure une diminution de la densité des huiles des bains Par rapport à l'huile fraîche durant son utilisation en friture. La diminution serait due à la formation d'AGL de poids moléculaire bas, ainsi que la richesse d'huile de soja en AGPI ; ces derniers constituent une particularité qui contribue à diminuer la densité des huiles des bains de friture. Le pourcentage de diminution est de 0.03 ; 0.20 ; 0.03 ; 0.02% respectivement pour les prélèvements 1 ; 2 ; 3 et 4 de Bastos et 0.01. 0.01. 0.03. 0.01% pour les prélèvements de Hasnaoua. Les pourcentages de diminution les plus élevés sont marqués par le restaurant de Bastos (P1 du mois de mars et P2 du mois de mai) et (P3 de mois d'avril) de Hasnaoua. La teneur élevée de cette huile en AGI favorise sa sensibilité à la thermo-oxydation.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à savoir le lot d'huile et le restaurant (*Annexe 13*). Il ressort de ce traitement que le facteur restaurant n'a aucune influence significative ( $p=0,94$ ) sur la densité de huile utilisée dans notre étude. Le lot d'huile agit d'une façon très hautement significative ( $p=0.0001$ ) sur la densité des huiles utilisées dans notre étude cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (*A et*

B).L'interaction entre les deux facteurs étudiés (l'huile et le restau) ne montre aucune différence significative ( $p=0,19$ ).

### II.4. Dosage des composés polaires totaux (CPT).

Ils sont représentés principalement par les monomères de triacylglycérols oxydés (TGMox) et des polymères de triacylglycérols (TGPOx). Ces produits, souvent toxiques, affectent l'état sanitaire du consommateur (*GUILLÈNE et URIARTE, 2011*).

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

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

**Tableau XVII** : Le taux des composés polaires des échantillons d'huile.

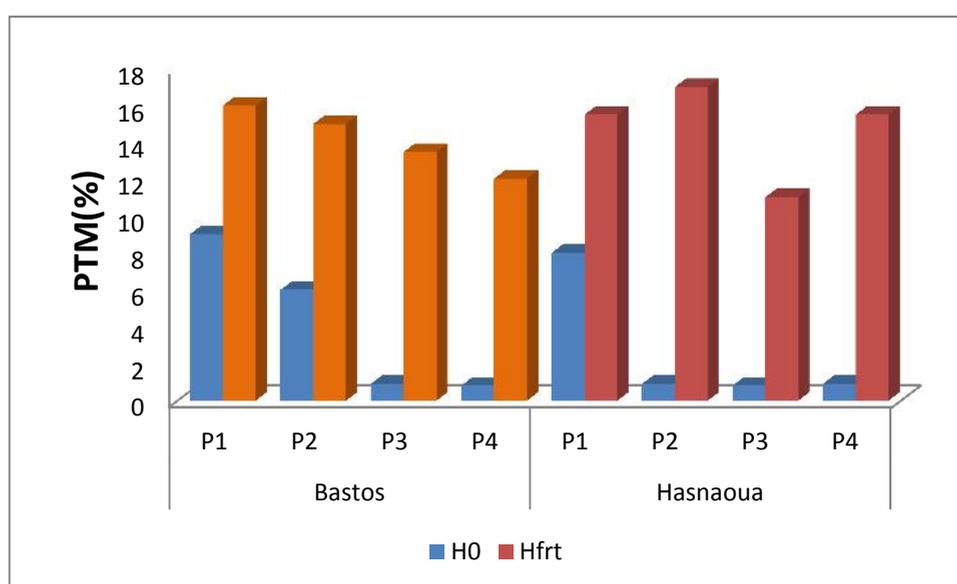
		CPT (%)							
		Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restaura nt		H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos		9%TP M	16%TPM à 45c°	6% TPM	15%TP M à 45c°	0.9%TP M	13.5%TP M à 47c°	0.8 %	12.%TP M à50c°
Hasnaou a		8%TP M	15.5%TP Mà 45c°	0.9%TP M	17%TP M à46c°	0.8%TP M	11%TP M à 42c°	0.9 %	15.5%TP M à 46c°

*Ces valeurs représentent une seule répétition*

En effet, *FARHOOSH et TAVASSOLI-KAFRANI, (2010)* ont rapporté qu'une huile de bonne qualité a un taux en CP compris entre 0,4% et 6,4%.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que le taux des CP d'huile fraîche à dépasser la norme ; 9% pour bastos et 6% pour Hasnaoua du prélèvement 1 de (16/03/2017) l'analyse de ces composés à été fait a la Wilaya au niveau du bureau de service commercial le 27/05/2017/ la date qui sépare le prélèvement et le moment ou en 'à effectués l'analyse et assez lent pour modifié les caractères de l'huile fraîche. tandis que les prélèvements P2 ;P3 ;P4 ; respectivement du Bastos et Hasnaoua en noté des valeurs inférieure a la norme.

Pour les trois premiers prélèvements les valeurs sont pas valable les échantillons de huile sans déjà altérés.



**Figure 22 :** Le taux des CPT

Selon *MASSON et al. (1999)*, dans la législation européenne, le pourcentage maximal autorisé en composés polaires varie de 25% à 27% et c'est au-delà que l'huile est considérée impropre à la consommation, voire toxique. De ce fait, on peut considérer « nos » huiles de friture sont conformes à la norme internationale.

La figure montre que le pourcentage des CP des huiles des bains ont augmenté par rapport à celle de huile fraîche dans les deux restaurants, a valeur la pus élevée et de 17%TPM qui revienne au prélèvement P2 de Hasnaoua contre une valeur maximal de

16%TPM enregistré pour Bastos. Cette différence put être expliquée par la différence de la maîtrise des procédé de friture entre les deux restaurant. La surface huile-air offerte par la friteuse, le volume et la hauteur de l'huile dans la friteuse ainsi que la volatilité des aldéhydes sont autant de facteurs qui influent sur la rétention des aldéhydes formés sur la matrice de l'huile *CUVELIER et al., (2012)*. Ainsi que la composition chimique des huiles de friture est fortement affectée par la thermo-oxydation, ce qui se manifeste par l'apparition de composés néoformés responsables de la dégradation des caractéristiques organoleptiques.

Par ailleurs, la concentration des aldéhydes lorsque l'huile atteint 25% en poids de CPT est proche de sa valeur maximale. Cette dernière est la cause des préoccupations inquiétantes car ces aldéhydes incluent un génotoxique et un citotoxique, le 4-hydroxy-(E)-2-alcènes (*GUILLÈNE et URIARTE, 2012*).

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à s'voir le lot d'huile et le restaurant(Annexe15).Il ressort de ce traitement que le facteur «restaurant» n'aucun effet ( $P=0,9$ ) sur le %CPT.Le lot d'huile utilisée agit d'une façon très hautement significative ( $p=0$ ) sur %CPdes bains d'huiles dans notre étude. Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (*A et B*). L'interaction entre les deux facteurs étudiés ne montre aucun effet significatif ( $p=0,14$ ) sur l'indice de peroxyde d'huile étudiée.

### III. Evolution des indices chimique

#### III.1. Acidité

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

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

Les AGL sont formés pendant l'oxydation et l'hydrolyse suite à la scission de la molécule de TAG (*PERKINS, 1996*). Elle est due à la grande quantité d'eau libérée par

l'aliment frit (pomme de terre) mais également conséquente aux hautes températures appliquées (180 – 220°C) (*WASSEF et NAWAR, 1996*).

Les résultats d'acidité des huiles fraîches utilisées dans notre étude et celles des bains de fritures sont intégrés dans le (*tableau XVII*).

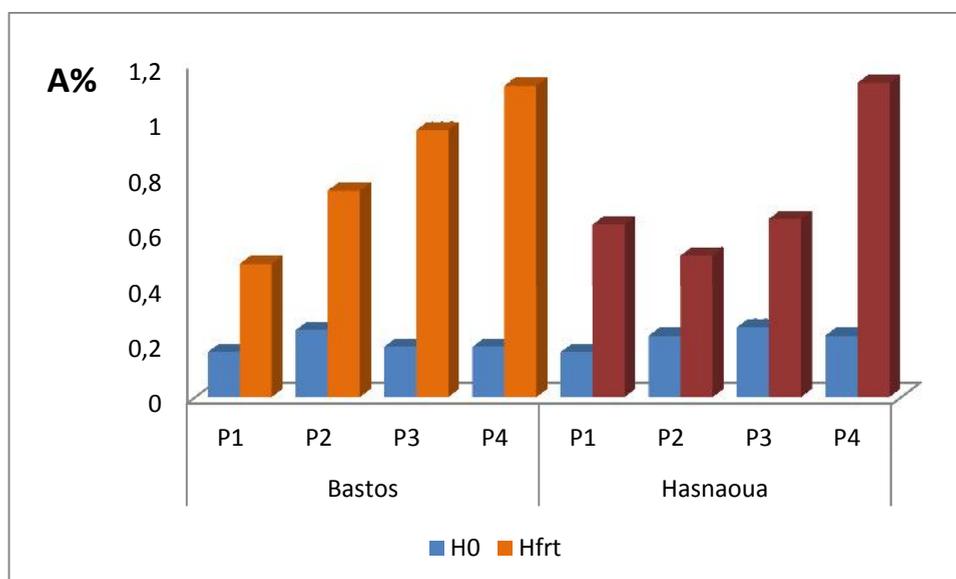
**Tableau XVIII:** Acidité des huiles fraîche et des bains de friture.

		A%							
		Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restaur ant		H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos		0.16±0.3	0.48±0.0	0.24±0.0	0.74±0.2	0.18±0.0	0.96±0.3	0.18±0.0	1.12±0.4
	02		94	58	50	16	82	16	89
Hasnao		0.16±0	0.62±0.1	0.22±0.0	0.51±0.3	0.25±0.1	0.64±26	0.22±0.0	1.13±0.3
	ua		28	74	16	41	3	74	35

*Ces valeurs sont une moyenne de quatre répétitions.*

H.F : huile fraîche ; H.B : huile de bain de friture.

L'analyse de L'acidité des prélèvements de huiles fraîches «lynor» utilisées pour la friture de la sardine indique deux valeurs maximal 0.24% ; 0.25% respectivement pour le restaurant de *bastos et Hasnaoua*. Ces valeurs sont supérieures à ceux obtenus par AIT *AHMED et AITDJBARA (2017)* sur la même huile au niveau de TAMDA qui ont noté 0.22% comme valeur maximale. L'acidité enregistrée pour les restaurants *Bastos et Hasnaoua* conforme à la norme internationale, fixée à 0,4% ainsi la différence entre nos deux restaurants dépend de plusieurs facteurs : conditions d'échantillonnage, le lot d'huile et son cheminement (transport des huiles de l'unité de production jusqu'aux grossistes), condition de stockage etc.



**Figure23:** Résultat d'acidité des huiles des bains de friture.

La figure montre que l'acidité initiale des huiles fraîches atteint des valeurs maximale à la fin de chaque friture. Le pourcentage d'augmentation de l'acidité pour le restaurant 1 est 0.28 ; 0.54 ; 0.76 ; 0.92% respectivement pour P1 ; P2 ; P3 ; P4 ; et 0.42 ; 0.3 ; 0.44 ; 0.92% respectivement pour le restaurant 2 ; et que les valeurs maximal revienne au prélèvement effectués en (16/05/2017) pour les deux restaurants.

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

La vitesse de l'auto-oxydation augmente avec l'insaturation des lipides. Dans le cas des lipides très insaturés de poisson, les pertes dues à l'auto-oxydation peuvent s'avérer importantes, même en suivant des cuissons traditionnelles (GRAILLE, 2003). C.à.d. que la forte teneur de poisson en acide gras polyinsaturé est dégagée dans l'huile lors de la friture. Cela explique les valeurs élevées de l'acidité des bains d'huile.

L'augmentation de l'acidité des huiles de bains de friture observée dans notre étude peut être expliquée par le déroulement du processus hydrolytique durant les fritures respectives ; elle est due à la libération continue d'AGL (température élevée et eau) (BOUREGHD et al., 2013). Cette élévation pourrait, également, être due aux conditions expérimentales dans lesquelles les échantillons sont conservés ; le temps séparant la prise d'échantillons et le moment où l'analyse de ce paramètre est effectuée (des semaines après la

friture au réfrigérateur et à l'abri de la lumière) ; ainsi que les prélèvements de restaurant 2 HASNAOUA sont transportés à sa température ambiante ; ces conditions pourraient contribuer à l'accumulation des acides gras libres dans les bains de fritures, comme ont été rapportées par *GRANDGIRARD(1992)* ; *VITRAC et al.(2003)*.

Le contenu en AGL est le test le plus fréquemment utilisé, mais il n'est pas recommandé de l'employer comme seul indicateur pour déterminer la qualité d'une huile. Les huiles à hautes teneurs en AGL ont un point de fumée inférieur (*AUGUSTIN et al., 1987*) et sont tensio-actives, ce qui les rend susceptibles de former l'écume et les exposer davantage à des réactions d'oxydation (*IZBAIM et al., 2010*).

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à savoir le lot d'huile et le restaurant (*Annexe 17*). Il ressort de ce traitement que le facteur restaurant n'a aucune influence significative ( $p=0,71$ ) sur l'acidité de l'huile utilisée dans notre étude. Le lot de huiles agit d'une façon très hautement significative ( $p=0.00009$ ) sur la densité des huiles utilisées dans notre étude cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (*A et B*). L'interaction entre les deux facteurs étudiés (lot d'huile et le restaurant) ne montre aucune différence significative ( $p=0,56$ ).

### III.2. Indice de peroxyde

D'après *ROLLAND (2004)*, la mesure de l'oxydation d'un CG en temps réel se fait par la mesure de l' $I_p$  ; une valeur élevée de cet indice signifie que le CG est rance (*FRÉNOT et VIERLING, 2001*).

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

**Tableau XIX** : Résultats des quatre prélèvements pour les deux restaurants.

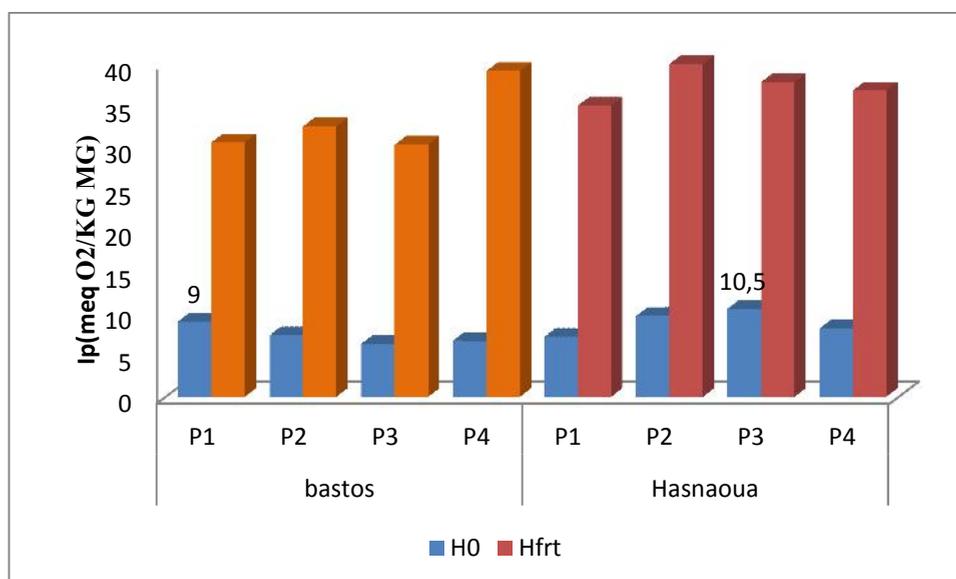
		IP							
		Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restauran t		H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos		9±3.774	30.66±1 5.35	7.33±1.04 0	32.5±1 6.37	6.33±6.00 6	30.33 ±15.1 7	6.66±3.32 9	30.16 ±19.5 9
Hasnaoua		8.16±0. 288	36.83±1 7.92	37.83±1.0 40	9.66±2 0	40±2.645	0.64± 18.98	7.16±4.40 4	35±18 .43

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions.*

H.F : huile fraîche ; H.B : huile de bain de friture.

D'après ces résultats, on remarque une variation de l'Ip des différentes huiles fraîches ; les teneurs enregistrées sont inférieures à la norme *ISO 3960*, soit une valeur maximale de 10meq/Kg d'huile également inférieure à ceux obtenu par *AIT AHMED et AIT DJEBARA(2017)* sur la même huile et qui a noté 10.5meq/Kg d'huile comme une valeur maximal .cette huile est peroxydée ; ceci confirme les valeurs élevées de l'acidité et la forte teneur en AGI de cette huile.

Les conditions de récolte, de raffinage et de stockage, etc. peuvent être à l'origine de la formation des peroxydes dans les l'huiles fraîches avant les fritures.



**Figure 24 :** Comparaison d'indice de peroxyde des huiles des deux restaurants.

D'après cette figure, on remarque une augmentation de l'Ip des différents prélèvements; les pourcentages d'augmentation des teneurs enregistrées sont : 21.66 ; 25.17 ; 24 ; 23.5% pour l'huile de Bastos et de 28.67 ; 27.33 ; 30.34 ; 27.84 % pour celle de Hasnaoua. nos valeur sont égales a ceux obtenu par *AIT AHMED et AIT DJEBARA(2017)*.

Ainsi que la valeur maximale d'indice de peroxyde marquée pour le restaurant de Hasnaoua 40 meqO<sub>2</sub>/Kg. Les valeurs élevées de l'indice de peroxyde de ce dernier, l'acidité et le pourcentage des composés polaires indiquent que sont huile et la plus peroxydée.

Cette augmentation serait due, selon *CONSTANTIN (2000) ; et JUDGE (2004)* à l'apparition de composés peroxydés (peroxydes ROO°) à partir des radicaux libres instables (R°) des AGI. De plus, la formation de ces peroxydes pourrait être influencée par : la présence de l'oxygène de l'air (O<sub>2</sub>), l'action de la chaleur (effet combiné de la température et du temps de chauffage) et la destruction de tocophérols, présents dans l'huile, qui jouent un rôle d'antioxydant (*CONSTANTIN, 2000 ; O'BRIEN, 2009*).

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à s'voir le lot d'huile et le restaurant(Annexe19).Il ressort de ce traitement que le facteur «restaurant» à un effet très hautement significatif (P=0,03) sur le paramètre Ip. Cela est vérifié par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huile de bain de friture dans 2 groupes homogène (*A et B*).L'huile utilisée agit d'une façon très hautement significative (p=0) sur Ip des bains d'huiles dans notre étude. Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-*

*KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (*A et B*). L'interaction entre les deux facteurs étudiés ne montre aucun effet significatif ( $p=0,29$ ) sur l'indice de peroxyde d'huile étudiée.

### III.3. Indice d'iode

L'indice d'iode permet de mesurer le degré d'insaturation globale d'une matière grasse. Il pourrait donc nous renseigner sur le degré d'oxydation des huiles de friture (*ADRIAN et al. 1998*). Selon *KPOVIESSI et al. (2004)*, les valeurs élevées de l'indice d'iode indiquent que ces huiles sont riches en AGI. Les valeurs de l'indice d'iode obtenues dans notre étude sont intégrées dans le *tableau XX*.

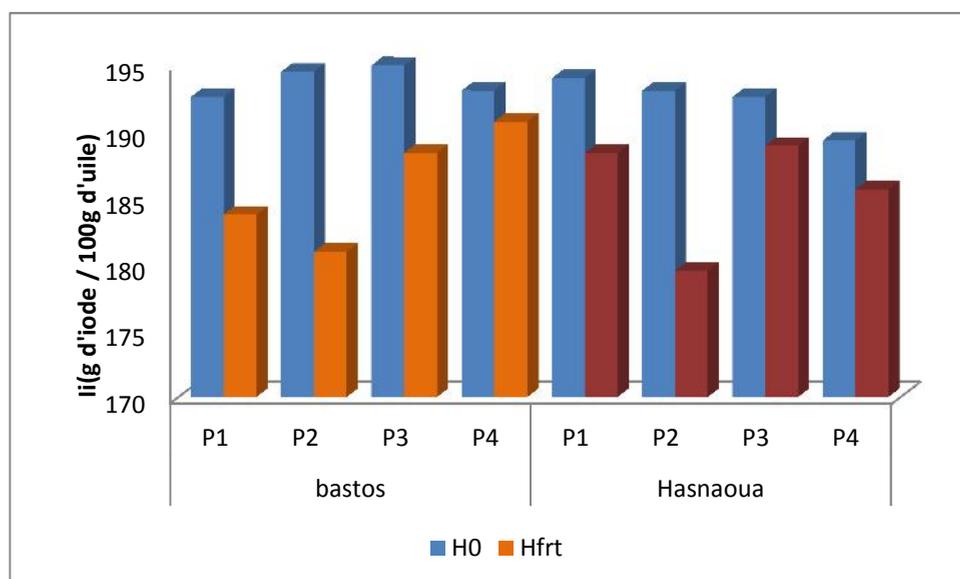
**Tableau XX** : Résultat d'indice d'iode des quatre prélèvements.

		Ii (g d'iode/100g d'huile)							
		Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restaur urant		H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos		122.5±2 .286	114.84± 0.41	122.03± 0.363	117.16± 58.62	124.35± 0.635	116.11± 58.08	121.9± 3.494	113.15± 56.57
Hasna oua		120.55± 1.676	112.51± 56.57	125.41± 0.967	108.91± 62.03	123.93± 3.392	116.95± 56.26	125.2± 0.733	112.93± 56.47

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions.*

H.F : huile fraîche ; H.B : huile de bain de friture.

Les valeurs de l'Ii enregistrées sur les huiles fraîches sont conformes à la norme nationale comprise entre 120 – 143 g I<sub>2</sub>/100g huile ; elles sont inférieures aux valeurs trouvées par *KHERCHAOUI (2015)*; et *AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)* ayant travaillé sur huiles «Lynor»



**Figure 25:** L'indice d'iode des huiles frites des deux restaurants.

D'après la *figure* on remarque une légère diminution de cet indice. Les valeurs de cet indice chutent de 7.66 ; 4.84 ; 8.24 ; 8.75% pour les quatre prélèvements du restaurant Bastos et 8.04 ; 16.5 ; 6.98 ; 12.27% pour ceux de Hasnaoua.

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

La valeur la plus élevée de diminution revient au prélèvement P2 réalisé pour l'huile de Hasnaoua 16.5% ; selon *GERTEZ (2008)*, l'abaissement de cet indice est le reflet d'une diminution sensible de l'insaturation globale de l'huile dégradée. Cette destruction résulterait de l'action combinée de la chaleur (favorisant les réactions de polymérisation) et de l'oxygène (favorisant les réactions d'oxydation) sur les doubles liaisons des AGI de l'huile fraîche. Plus une huile est insaturée, plus la perte en AGE est importante et par conséquent une diminution du nombre de doubles liaisons des chaînes hydrocarbonées.

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à savoir le lot d'huile et le restaurant (Annexe 21). Il ressort de ce traitement que le facteur «restaurant» n'a aucun effet ( $P=0,69$ ) sur le paramètre **Ii**. L'huile utilisée agit d'une façon très hautement

significative ( $p=0.00001$ ) sur **Ii** des bains d'huiles dans notre étude. Cela est vérifié par le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de 5% regroupant les échantillons d'huiles de bains de fritures dans 2 groupes homogènes (*A et B*). L'interaction entre les deux facteurs étudiés ne montre aucun effet significatif ( $p=0,10$ ) sur l'indice de peroxyde d'huile étudiée.

### III.4.Indice de saponification

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

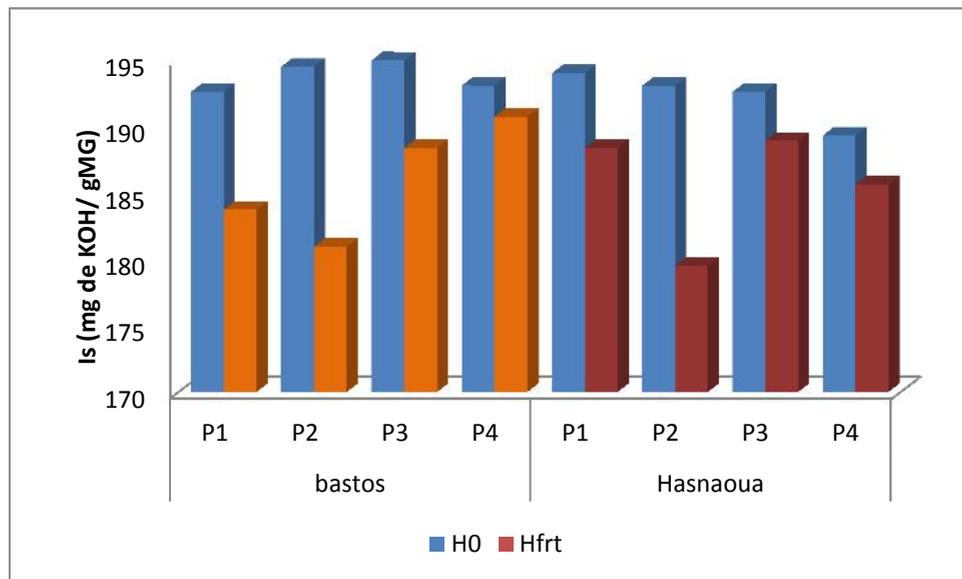
**Tableau XXI** :Résultats d'indice de saponification.

		Is (méq KOH /g d'huile							
		Prélèvement 1 (16/03/2017)		Prélèvement 2 (23/04/2017)		Prélèvement 3 (27/04/2017)		Prélèvement 4 (16/05/2017)	
Restau rant		H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B	H.F	H.B
Bastos		192.6± 1.61	183.71± 91.89	194.47± 2.14	180.91± 90.84	194.94± 3.70	188.4±9 4.21	193.07± 0.80	19.73±9 5.51
Hasna oua		194±1. 61	188.39± 94.20	193.07± 1.40	079.51± 89.76	192.6±1 .61	188.39± 94.20	189.33± 2.14	185.59± 92.81

*Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions.*

H.F : huile fraiche ; H.B : huile de bain de friture.

Les valeurs de l'indice de saponification (Is) enregistrées sur les huiles fraîches sont conformes à la norme nationale comprise entre 189 – 195 mg de KOH/ g MG ; elles sont très proches des valeurs trouvées par *AIT AHMED et AIT DJEBARA (2017)*.



**Figure 26:** Diminution de l'indice de saponification d'huiles frites des deux restaurants.

Une diminution de cet indice indique la formation de polymères par le pontage inter moléculaire des triglycérides oxydés (*PERRIN, 1992*). Par contre, une augmentation peut s'expliquer par la rupture des chaînes d'AG sous l'effet de la chaleur ; ceci peut impliquer plus ou moins une forte tendance à la libération des substances volatiles au cours du chauffage et l'augmentation de l'acidité de ces huiles (*NJOUENKEU et NAGRASSOUM, 2002*).

Nos résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs à savoir le lot d'huile et le restaurant (*Annexe 23*). Il ressort de ce traitement que les deux facteurs n'ont aucune influence significative sur l'indice de saponification de l'huile utilisée. L'interaction entre les deux facteurs étudiés (lot d'huile et le restaurant) ne montre aucune différence significative ( $p=0,33$ ).

*Conclusion*

### Conclusion

Le but de notre étude expérimentale consiste à évaluer le degré de résistance à la thermo-oxydation des bains de friture de la sardine avec l'huile de soja « LINOR » au cours des fritures répétées dans les restaurants universitaires. Le nombre de restaurant concernés par ce travail est de 2 ; des fritures aux nombre de dix, 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.

L'objectif principal de cette étude comparative des bains de friture des deux restaurants Bastos et Hasnaoua a permis de détecter divers différences en friture sachant que l'huile et la même et les lots de ces dernières sans différent.

Les échantillons d'huiles des bains de fritures ont été prélevés à al fin de friture et ont fait l'objet de diverses analyses afin de déterminer l'évolution des indices physico-chimiques indicateurs du déroulement des réactions de détérioration.

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, ce que montre l'analyse organoleptique qui décrit l'apparition de fumé dès la 2<sup>ème</sup> friture et un brunissement prononcé serait dû au déroulement de la réaction de Maillard et la complexité de la composition de poisson.

Une diminution de la densité qui est due à la formation des AGL de poids moléculaire bas, et des composés primaire d'oxydation a des chaine plus au moine court.

La viscosité des huiles des bains augmente, cet élévation pourrait être due au déroulement de la réaction de polymérisation catalysée par la température élevée appliquée (180c°), ainsi l'abaissement du point de fumé contribue à l'augmentation de la viscosité.

La diminution de l'indice de saponification des huiles des bains est due à la formation des polymères par le pontage inter moléculaire des TAG oxydés.

Les résultats obtenus ont révélé que le farinage des poissons a diminué significativement l'ampleur des réactions d'hydrolyses et la déshydratation de la peau de poisson.

Par ailleurs, la formation de peroxyde dénote le déroulement de l'oxydation de l'acide linoléique, principal acide gras de l'huile de soja.

La forte teneur de poisson en acide gras polyinsaturé est dégagé dans l'huile lors de la friture. Cela explique les valeurs élevées de l'acidité des bains.

Toutes ces réactions se déroulent au niveau des insaturations des chaînes hydrocarbonées de l'acide linoléique. Ceci s'est traduit par une diminution de l'indice d'iode renseignant sur la diminution du nombre de doubles liaisons des chaînes hydrocarbonées.

En dépit du déroulement de ces réactions d'altération qui sont plus accentués dans le restaurant de Hasnaoua pour la plus part des paramètres appliqué, la qualité des bains d'huiles des deux restaurants BASTOS et Hasnaoua n'est pas altérée pour autant. L'analyse du taux de composés polaires de leur huiles de friture a montré, certes, leur augmentation, mais sans pour autant arrivé au seuil fixé par les organismes internationaux, soit un taux inférieur à 25% ; le maximum atteint est de 17 % dans. Ceci en témoigne de la résistance d'huile à la température de friture (180°C).

Afin de veiller à la santé du consommateur, il est plus que nécessaire de respecter le nombre de friture porté sur l'étiquette de l'emballage des huiles commercialisé.

## **Recommandations :**

A fin de réduire et/ou de retarder l'altération d'une huile au cours de la friture, certaines recommandations paraissent utiles à savoir :

- Préchauffer l'huile de friture avec un maximum de température.
- Utiliser des huiles plus résistantes à la chaleur ; plus les poissons sont petits et plus le bain de friture doit être chaud, pour qu'ils dorment rapidement sans être trop cuits.
- Saler après cuisson, le sel mis avant la cuisson favorise la déshydratation et augmente l'absorption de la matière grasse.
- Les poissons doivent être bien secs, c'est pour cette raison qu'on les farine.
- on obtiendra une friture plus légère et plus savoureuse si on utilise une grande quantité d'huile ; afin qu'elle ne refroidisse pas trop lorsque vous y plongerez les poissons.

## **Perspectives:**

- 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.
- Une analyse microbiologique dans la perspective d'améliorer les conditions de friture où déjeunent un nombre de plus en plus élevé d'étudiants.
- Faire varier le temps de prise d'échantillons en tenant compte des saisons de pêche pour mieux comprendre l'interaction de ces huiles avec la sardine (lipide de poisson).

*Références*

*bibliographiques*

### Références bibliographiques

#### A

- ❖ **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.
- ❖ **ADRIAN J., DAN VILLIER P. et POTUS J. (1998).** Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 47 – 171.
- ❖ **ANONYME 1, (1992) :** Dossiers scientifiques de l'institut français pour la nutrition. Ed. : IFN ; Paris ; p5.
- ❖ **ANONYME 2. (2011).** INRA-carrefours de l'innovation agronomique 9 juin 2011.
- ❖ **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.
- ❖ **NDEYE A.K. (2001).**Etude de la composition chimique et la qualité végétales artisanales consommées aux SENEGAL thèse pour l'obtention du garde de docteur en pharmacie
- ❖ **ANONYME 5. (2017).**La sardine et ces bien faits  
(<https://www.naturaforce.com/2017/01/bienfaits-omega-3-sante>)
- ❖ **ANONYME 2. Wikipédia, l'encyclopédie libre. :** Soja, 2009.
- ❖ **ALAIS C., LINDEN G. et MICLO L. (2003).** Biochimie alimentaire. 5<sup>ème</sup> édition de l'abrégé : Dunod, paris. pp : 51 – 71.
- ❖ **APFELBAUM M. et ROMON M. (2004).** Diététique et nutrition 6<sup>ème</sup> Edition. Masson(Ed). Paris.357pp
- ❖ **AUGUSTIN M.A., ASAP T. et HENG L.K. (1987).** Relationships between measurements of fat deterioration during heating and frying in RBD olein. J Am Oil Chem Soc (64), pp : 1670 – 1675.
- ❖ **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.
- ❖ **BOUREGHDA A., BENAYACHE S., et BENAYACHE F. (2013).** Change of physic-chemical proprieties of some local oils. During frying. Nat Sci; 11(11), pp : 88 – 91.  
<http://www.sciencepub.net>.

### C

- ❖ **CHEFTEL H. et CHEFTEL J-C. (1977).** Les principaux systèmes biochimiques alimentaires comportement au cours des traitements in introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 252 – 254.
- ❖ **CODEX-ALIMENTARUS, (1992).** Normes codex pour les graisses et les huiles d'origine végétales. In :Graisses, Huiles et Produits dérivés volume (8), FAO/OMS, Rome. pp : 9 – 71.
- ❖ **CODEX ALIMENTARIUS. (1999).** Norme pour les huiles végétales portant un non Spécifique. FAO /OMS, Rome, p.41
- ❖ **COLLOMBE, V. et MAYOR, M.** Le soja, la reine des légumineuses. Haute école de santé Genève, 2007,1-4
- ❖ **CONSTANTIN B. (2000).** Les lipides. Ecole polytechnique fédérale, Leusane. pp : 138 – 144.

### E

- ❖ **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.

### F

- ❖ **FARHOOSH R. et TAVASSOLI-KAFRANI M.H. (2010).** Polar compounds distribution of sunflower oil as affected by unsaponifiable matters of Bene hull oil (BHO) and tertiary-butylhydroquinone (TBHQ) during deep-frying. Food Chemistry, vol.122, pp : 381 – 385.
- ❖ **FRANKEL EN. (1998).** Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- ❖ **FRENOT M. et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 2<sup>ème</sup> édition : Doin éditeur. Pp : 79-94.
- ❖ **FREDOT E. (2005).** Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- ❖ **FURNISTEN J. (2007).** Contribution à l'étude biologique de la sardine atlantique (*Sardina pilchardus Walbaum*). 227-385p.

### G

- ❖ **GARIBAGAOGLU M., ZLYBEK U., ERDAMAR S., CEVIK A. et ELMACIOGLU F. (2007).** The hepatotoxic effects of deep fried sunflower oil on ratlivers. *Advances in molecular medicine. International journal of molecular biology, biochemistry and gene technology.* pp: 35-40.
- ❖ **GERTEZ C. et KOCHAAR P. (2001).** A new method to determine oxidativesabiliy of vegetable fat and oilatsimulatedfrying temperature. *OCL. Vol 8. N° 1,* pp : 82-91.
- ❖ **GERTZ C. (2008).** Optimum deep frying, from the Food Industries Association of Austria, F.I.A.A. from June. pp : 125 – 135.
- ❖ **GRAILLE J. (2003).** *Lipides et corps gras alimentaire.* Ed Tec & Doc, Lavoisier
- ❖ **GRANDGIRRAD A. et JULLIARD F. (1987).** *Corps gras. Rev. Fse, (34).* pp : 213 – 219
- ❖ **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.

### S

- ❖ **HUBBARD L. J. et FARKAS BE. (1999).** Procédé de friture et produits frits. In : *Lipides et corps gras alimentaires.* Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 231-269.

### J

- ❖ **IZBAIM D., FAIZ B., MOUDDEN A., TAIFI N. et ABOUDAUD I. (2010).** L’utilisation des ultrasons pour l’évaluation de l’huile de friture. In : *10<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique.* Lyon, France.

### L

- ❖ **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*

## Références bibliographiques

---

- ❖ **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.



- ❖ **KALAPATHY U. PROCTOR A. (2000).** A new method for free fatty acid reduction in frying oil using silicate films produced from rice hull ash, *J Am Oil Chem. Soc.* (77), pp : 593 – 598.
- ❖ **KARLESKIND A. (1992).** Principaux constituants chimiques des corps gras, propriétés chimiques des corps gras. In : *Manuel des corps gras Tome 1.* Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 95 – 358.
- ❖ **KPOVIESSI D.S., GEORGE C., ACCROMBESSI., KOCHOOH C., MOHAMED M., SOUMANAU et MOUDACHIROU M. (2004).** Propriétés physicochimiques et compositions de l'huile non conventionnelle de pourghère (*jatropha-curca*) de différentes régions du Benin, (7). pp : 1007 – 1012.
- ❖ **KUAKUVI, E.** Etude sur le développement de la culture du soja et d'un modèle d'encadrement des producteurs CIPB ,2008, 2-3.



- ❖ **LABOURET P. (2005).** Les huiles alimentaires. *Vegetal oils: The different advantages of different oils in health*, pp : 1– 6.
- ❖ **LAMPILA.L.E. ,1987.** Seed oil lipids : analysis and health benefits. In : Kramer D.E et Liston.J. (eds). *Seed Oil Quality Determination*, pp. 497\_515. Elsevier Science Publishers, Paris.
- ❖ **LECREF J.M. (2008).** Quel est l'impact connu et possible des modes de cuisson sur le survenue des cancers ? Institut Pasteur de Lille.



- ❖ **MANSOURIA. et OURAHMOUNE.F.(2002).** Effet de l'huile de tournesol thermooxydée sur le foie et les lipides sériques chez le rat en croissance mémoire de fin cycle

## Références bibliographiques

---

d'ingénieur d'état en technologie alimentaire : INA (Institut national agronomique) El harach.

- ❖ **MASSON O. (2002).** Biochimie : Les bases biochimiques de la diététique. Edition : Tec& Doc, Lavoisier, Paris. pp : 81–83.
- ❖ **MITTELBACH M. et ENZELSBERGER H. (1999).** Transesterification of heated rapeseed oil for extending diesel fuel. J. Am oil. J.A.O.C.S. Vol 8, pp: 1324-1326.
- ❖ **MORIN O. et PAGES-XATART-PARES X. (2012).** Huiles et corps gras végétaux. ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. OCL,19(2), pp : 63 – 75.
- ❖ **MORDRET F. (1992).** Analyse des corps gras. In : Manuel des corps gras. Edition : Tec & Et Doc, Lavoisier, Paris. pp : 1147 – 1182.
- ❖ **MANSOURIA. et OURAHMOUNE.F.(2002).** Effet de l'huile de tournesol thermo oxydée sur le foie et les lipides sériques chez le rat en croissance mémoire de fin cycle d'ingénieur d'état en technologie alimentaire : INA (Institut national agronomique) El harach.



- ❖ **NIEUWENHUIS R. et NIEUWELINK J. (2005).** Fondation Agromisa : La culture du soja et d'autres légumineuses. Pays-Bas : Wageningen, pp : 9 – 19.
- ❖ **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



- ❖ **OIL WORDL. (2004).** Production mondiale d'huiles et graisses, Cultures et Marchés 2001-2004. [www.prolea.com](http://www.prolea.com).
- ❖ **OLLE (1998),** Huiles de fritures : état de situation et aspect réglementaire .OCL.VOL
- ❖ **OLLE M. (2003).** Réglementation des corps gras. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 456.



- ❖ **PAULE N. (2001).** Diététique, les aliments, les huiles : huile de soja, valeur nutritionnelle de l'huile de soja. In : Mémento de l'agronome.
- ❖ **PERKINS E.G. (1996).** Nutrition and practical application. Edition: Deep frying chemistry, AOCS Press, Champaign, pp : 160 – 182.

## Références bibliographiques

---

- ❖ **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
- ❖ **PICLET.D. 1976.** Le poisson aliment : composition, intérêt nutritionnel. Cah. Nutr. Diét., 22(4).317-336.
- ❖ **POKORNY J. (2003).** Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 51.74.
- ❖ **PORTER NA. (1995).** Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 53
- ❖ **POUZET A. (1992).** Manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- ❖ **PRIOR.E. (2003).**In lipides et corps gras alimentaire, GRAILLE et al ; Ed Tec et Doc. Lavoisier.
- ❖ **PRIOR E. (2003).** Usage des corps gras alimentaires dans différents secteurs de la technologie alimentaire. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 147-179.



- ❖ **RANHOTRA GS. (1993).** Procédé de friture et produits frits. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 231-269.
- ❖ **ROLLAND Y. (2004).** Antioxydants naturels végétaux. O.C.L., 11, pp : 419 – 424.



- ❖ **SAGUY I. S. and DANA D. (2003).** Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Food Chemistry, 50:143-152.
- ❖ **SAINCLIVIER, M.1983.** L'industrie alimentaire halieutique. Premier volume : le poisson matière première. Bulletin Scientifique et Technique, 297 p. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Rennes
- ❖ **SANCHEZ-GIMENO A.C., NEGUERUELA A.I., BENITO M. et VECET R.O. (2008).** Some physical changes in Aragon extra virgin olive oil during frying process. Food chemistry, (110), pp : 654 – 658.
- ❖ **STOCKWELL AC. (1988).** Procédé de friture et produits fris. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 231-269.

## Références bibliographiques

---

- ❖ **USDA., FAOSTAT. (2011).** In: Impact de la volatilité des prix internationaux de produits agricoles sur les industries agroalimentaires en Algérie Cas de CEVITAL produit agroalimentaire (huiles alimentaires et sucre), p.180.
- ❖ **UZZAN A. (1992).** Olive et huile d'olive. In : Manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 221 – 228.



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

# *Annexes*

**Les modes opératoires :**

**Les indices physiques :**

### **Annexe 01 : Détermination de l'humidité**

#### **Matériels**

- Balance analytique de précision
- Capsules.
- Etuve isotherme réglée à  $103 \pm 2$  °C.
- Dessiccateur contenant un déshydratant (le gel de silice).

#### **Mode opératoire**

- Régler l'étuve à  $103 \pm 2$  °C ;
- Sécher une capsule en verre, la refroidir dans un dessiccateur puis la peser (Soit  $P_1$  ce poids) ;
- Peser 5g d'huile dans la capsule (soit  $P_1$  ce poids) ;
- Placer la capsule contenant l'échantillon dans l'étuve pendant 1 heure ;
- Refroidir au dessiccateur et peser une autre fois la capsule (soit  $P_2$  son poids) ;
- Répéter la pesée jusqu'à ce que le poids soit stable.

### **Annexe 02 : Détermination de la densité**

#### **Matériels**

- Balance de précision.
- Pipette graduée de 10 ml.
- béchers de 40ml.

#### **Mode opératoire**

- Prélever à l'aide d'une pipette graduée 10ml d'huile de tournesol ;
- Les verser dans un bécher de 40 ml de poids connu ;
- Mettre le bécher sur balance de précision et noter le poids de l'échantillon d'huile ;
- Refaire de nouveau l'expérience avec de l'huile de tournesol ;
- Refaire de nouveau l'expérience avec de l'eau distillée.

### Annexe 03 : Détermination de la viscosité

#### Matériels

- Viscosimètre à bille Chronomètre.

#### Mode opératoire

- Rincer le viscosimètre à l'éthanol pur avec précaution ;
- Le laisser sécher quelques minutes sur du papier absorbant déposé sur la paille ;
- Utiliser la bille métallique au lieu de la bille plastique ;
- L'introduire dans le tube du viscosimètre, le remplir d'huile de tournesol et éviter la formation de bulles d'air ;
- Refermer le bouchon et mettre le tube en position horizontale ;
- Redresser le viscosimètre en position verticale doucement en faisant attention à la bille ;
- Mettre le chronomètre en position de démarrage. Dès que la bille atteint le trait supérieur dans le viscosimètre, déclencher le chronomètre. Suivre la chute de la bille et dès qu'elle atteint le trait inférieur du viscosimètre, arrêter le chronomètre. Et noter le temps en secondes (t).

### Annexe 04 : Détermination des CPT

#### Matériels

- Plaque chauffante
- Bain marine
- Testo 270

#### Mode opératoire

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

### Les indices chimiques :

#### Annexe 05 : Détermination de l'acidité

##### Réactifs

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

##### Mode opératoire

- Dissoudre une prise d'essai (10g) dans 50 ml d'éthanol ;
- Ajouter quelques gouttes de la solution de phénolphtaléine ;
- Titrer en agitant avec la solution d'hydroxyde de potassium jusqu'à l'apparition de la couleur rose persistante pendant 10 secondes ;
- Déterminer le volume (V) de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée.

#### Annexe 06 : Détermination de l'indice de peroxyde

##### Réactifs

- Chloroforme.
- Acide acétique.
- Iodure de potassium : solution (1ml d'eau distillée + 0.5g d'iodure de potassium) aqueuse saturée juste avant son utilisation.
- Thiosulfate de sodium : solution aqueuse 0.01N.
- Empois d'amidon : solution aqueuse à 1%, récemment préparée à partir d'amidon natif.

##### Mode opératoire

- Peser 2g d'huile dans un ballon ;
- Ajouter 10ml de chloroforme ; puis 15ml d'acide acétique ;
- Additionner 1ml d'iodure de potassium (KI) ;
- Boucher aussitôt le ballon ;
- Agiter le mélange pendant 1mn, le laisser à l'abri de la lumière pendant 5mn ;
- Ajouter 75ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon à 1%. La coloration bleu noirâtre apparaît ;
- Titrer l'iode libéré jusqu'à décoloration complète avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01N en agitant vigoureusement en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré ;
- Effectuer de la même façon un essai à blanc

### **Annexe 07 : Détermination de l'indice d'iode**

#### **Réactifs**

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

#### **Mode opératoire**

- Peser 0.2g du corps gras dans un ballon
- Ajouter à cette dernière 10ml d'éthanol ; puis 10ml d'iode alcoolique (0.2N) ; et 30ml d'eau distillée ;
- Agiter énergiquement pendant 5mn et placer le ballon à l'abri de la lumière pendant 30mn environ ;
- Titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à l'apparition de la coloration jaune ;
- Ajouter à la solution 1ml d'amidon à 1% pour avoir une coloration bleue foncée.
- Continuer à titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à la disparition de la coloration bleue.
- Effectuer de la même façon un essai à blanc.

### **Annexe08 : Détermination de l'indice de saponification**

#### **Réactifs**

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

#### **Mode opératoire**

- Peser 2g d'huile et les introduire dans un ballon à col rodé ;
- Ajouter 25ml de potasse alcoolique (KOH) à 0.5N ;
- Porter à ébullition sous réfrigérant à reflux (avec u régulateur d'ébullition), pendant une heure, en agitant de temps en temps ;
- Titrer l'excès d'alcalis de KOH avec l'acide chlorhydrique 0.5N en présence de phénolphtaléine jusqu'à la décoloration complète ;
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions.

**Annexe 09 : Analyse de la variance de l'humidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,084	15	0,006				
VAR.FACTEUR 1	0,003	1	0,003	19,458	0,0009		
VAR.FACTEUR 2	0,079	1	0,079	459,875	0		
VAR.INTER F1*2	0	1	0	0,738	0,41117		
VAR.RESIDUELLE 1	0,002	12	0			0,013	10,40%

**Annexe 10 : les groupes homogènes issus de l'analyse statistiques de l'humidité**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	R hasn	0,14	A	
1.0	R bact	0,112		B

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	h frit	0,196	A	
2.0	h f	0,056		B

**Annexe 11 : Analyse de la variance de la Densité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,003	15	0				
VAR.FACTEUR 1	0	1	0	0,004	0,94849		
VAR.FACTEUR 2	0,002	1	0,002	33,962	0,0001		
VAR.INTER F1*2	0	1	0	1,849	0,19666		
VAR.RESIDUELLE 1	0,001	12	0			0,008	0,88%

**Annexe 12 : les groupes homogènes issus de l'analyse statistiques de la densité**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	h f	0,892	A	
1.0	h frit	0,869		B

**Annexe 13 : Analyse de la variance de la viscosité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	60,515	15	4,034				
VAR.FACTEUR 1	4,272	1	4,272	3,973	0,067		
VAR.FACTEUR 2	43,323	1	43,323	40,288	0,00005		
VAR.INTER F1*2	0,015	1	0,015	0,014	0,90328		
VAR.RESIDUELLE 1	12,904	12	1,075			1,037	2,06%

**Annexe 14 : les groupes homogènes issus de l'analyse statistique de viscosité**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	h frit	52,061	A	
2.0	h f	48,77		B

**Annexe 15 :Analyse de la variance des CPT**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	173,938	15	11,596				
VAR.FACTEUR 1	0	1	0	0	0,99		
VAR.FACTEUR 2	150,063	1	150,063	90,604	0		
VAR.INTER F1*2	4	1	4	2,415	0,14314		
VAR.RESIDUELLE 1	19,875	12	1,656			1,287	11,13%

**Annexe 16 : les groupes homogènes issus de l'analyse statistique des CPT**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	h frit	14,625	A	
2.0	h f	8,5		B

**Annexe 17: Analyse de la variance de L'Acidité**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,821	15	0,121				
VAR.FACTEUR 1	0,005	1	0,005	0,139	0,71587		
VAR.FACTEUR 2	1,337	1	1,337	34,552	0,00009		
VAR.INTER F1*2	0,014	1	0,014	0,361	0,56493		
VAR.RESIDUELLE 1	0,464	12	0,039			0,197	40,12%

**Annexe 18 : Les groupes homogènes issus de l'analyse statistique de l'acidité**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	h frit	0,779	A	
2.0	h f	0,201		B

**Annexe 19:Analyse de la variance de L'Indice de peroxyde**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3072,49	15	204,833				
VAR.FACTEUR 1	33,553	1	33,553	5,392	0,0371		
VAR.FACTEUR 2	2956,91	1	2956,91	475,202	0		
VAR.INTER F1*2	7,358	1	7,358	1,183	0,29884		
VAR.RESIDUELLE 1	74,669	12	6,222			2,494	11,50%

**Annexe 20 : Les groupes homogènes issus de l'analyse statistique de l'indice de peroxyde**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	R hasn	23,143	A	
1.0	R bact	20,246		B

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	h frit	35,289	A	
2.0	h f	8,1		B

**Annexe 21:Analyse de la variance de L'Indice d'Iode**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	399,39	15	26,626				
VAR.FACTEUR 1	0,852	1	0,852	0,16	0,69716		
VAR.FACTEUR 2	318,167	1	318,167	59,716	0,00001		
VAR.INTER F1*2	16,434	1	16,434	3,084	0,10151		
VAR.RESIDUELLE 1	63,936	12	5,328			2,308	1,95%

**Annexe 22: Les groupes homogènes issus de l'analyse statistique de la l'indice d'iode**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	h f	122,99	A	
1.0	h frit	114,071		B

**Annexe 23:Analyse de la variance de L'Indice de Saponification**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	334308500	15	22287230				
VAR.FACTEUR 1	22302530	1	22302530	1	0,33897		
VAR.FACTEUR 2	22145980	1	22145980	0,993	0,34032		
VAR.INTER F1*2	22273890	1	22273890	0,999	0,33892		
VAR.RESIDUELLE 1	267586100	12	22298840			4722,165	344,81%