

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université « Mouloud Mammeri » de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Agronomie.



Mémoire de fin d'études



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

Option : Agro-alimentaire et contrôle de qualité

Thème

*Evaluation de la qualité des huiles de
bains de fritures des fastfoods de la ville
d'Azazga*

Proposé et dirigé par :

M^r. SADOUDI R.

Présenté par :

M^{elle} BOUHALOUFA Samia

M^{elle} MOUDER Naima

Devant le jury :

Président : M^r. AMIR Y.

Professeur à l'UMMTO

Examineurs : M^r. BENGANA M.

Maitre de Conférences Classe B à l'UMMTO

2017- 2018

Remerciements

Notre projet de Fin d'Etudes n'est nullement le fruit d'un travail personnel, d'une collaboration directe ou indirecte d'un certain nombre de personnes auxquelles nous tenons à présenter nos remerciements :

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

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur SADOUDI R. Maître de conférences B au département Sciences Agronomiques à l'UMMTO, pour tous les efforts qu'il a consenti tout au long de l'élaboration de ce modeste travail, ses encouragements, ses précieux conseils qui nous ont été d'une grande aide.

Nous voulons adresser nos plus vifs remerciements à M^r AMIR Y. Professeur à l'UMMTO pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de ce jury.

Nous tenons à remercier très sincèrement M^r BENGANA M. Maître de conférences B à l'UMMTO d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à remercier M^r METNA enseignante au département sciences Agronomiques à l'UMMTO, pour l'aide qu'il nous a apporté dans l'étude statistique.

Nous remercions également les responsables du laboratoire commun d'analyse physico-chimique de la faculté à l'UMMTO pour leurs aides, leur soutien et le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à nous tenons compagnie au cours de notre travail.

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

Dédicaces

À mes parents:

Je dédie ce projet de fin d'étude à mes chers parents **DAHBLA** et **AMAR** et à mon cher grand père **CHERIF**, qui m'ont aidé et à ceux qui ne sont jamais avares ni de leurs temps ni de leurs connaissances pour répondre à mes interrogations. J'espère être à la hauteur de ce que vous m'avez inculqué, tout en sachant que tout ce que je pourrai faire ne peut égaler ce que vous m'avez donné. Que Dieu, le Tout Puissant, vous garde et vous procure bonheur et santé.



À mes chers sœurs et frère:

LAMIA, ASSIA, SAIDA et **LYÉS**.

Pour leurs encouragements et leurs soutiens tout au long de ma formation.



À mes professeurs:

Pour leur orientation et leurs conseils durant ma formation.

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



À mes très chers amis:

AZAM, KARIMA et **NABILA**

A ceux qui ont partagé ma joie et ma souffrance et aussi pour leur fidélité et leur amitié.

A mon binôme « **SAMIA** »

NAIMA

Dédicaces

À mes parents:

*Je dédie ce projet de fin d'étude à mes chers parents **SAID** et **FATIMA** qui m'ont aidé et à ceux qui ne sont jamais avares ni de leurs temps ni de leurs connaissances pour répondre à mes interrogations. J'espère être à la hauteur de ce que vous m'avez inculqué, tout en sachant que tout ce que je pourrai faire ne peut égaler ce que vous m'avez donné. Que Dieu, le Tout Puissant, vous garde et vous procure bonheur et santé.*



À mes chers frères et sœurs:

MOHAMED, SOUHILA et **SAMIRA**

Pour leurs encouragements et leurs soutiens tout au long de ma formation.



À mes professeurs:

Pour leur orientation et leurs conseils durant ma formation.

Aussi les enseignants qui m'ont encadré durant tout la période passée de mon cursus universitaire.



À mes très chers amis:

A ceux qui ont partagé ma joie et ma souffrance et aussi pour leur fidélité et leur amitié.

*A mon binôme « **NAIMA** »*

SAMIA

Liste des abréviations

AG : Acide gras.

AGI : Acide gras insaturé.

AGL : Acide gras libre.

AGMI : Acide gras mono insaturé.

AGPI : Acide gras polyinsaturé.

AGS : Acide gras saturé.

C. Po : centipoise .

CG : Corps gras.

CPT: compose polaire totaux.

Ii : indice d'iode.

Ip : indice de peroxyde.

Is : indice de saponification.

ISO : International standard organisation.

Meq O₂/Kg : Milli équivalent d'oxygène actif/Kg.

MG: Matière Grass.

Mt: million de tonne.

OH° : Radical hydroxyl.

Ppm : Partie par million.

Q/ha: quintaux/ hectare.

R°: Radical alkyl.

RO°: Radical alcoxyle.

ROO°: Radical hydro peroxy.

ROOH: Hydroperoxydes.

TG: Triglycérides.

UE : Union Européenne.

DPTG : dimer et polymères de triglycérides

USDA : Département de l'agriculture des Etats Unis

Liste des tableaux

Tableau I : Composition de l'huile de soja en acides gras	04
Tableau II : Principaux paramètres physico-chimiques de l'huile de soja	05
Tableau III : Composition triglyceridique de l'huile de tournesol	05
Tableau IV : Composition des acides gras de l'huile de tournesol	06
Tableau V : Les caractéristiques de l'huile de tournesol	06
Tableau VI : Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie	07
Tableau VII : Production d'huiles végétales brutes comestibles, Algérie	10
Tableau VIII : Facteurs favorisant l'oxydation	13
Tableau IX : Les différents types d'acides gras.....	21
Tableau X : Changement de l'huile durant le processus de friture et les composés résultants ..	26
Tableau XI : Les réglementations dans le monde des graisses et des huiles de friture	28
Tableau XII : Résultat de l'indice d'acide des trois prélèvements	37
Tableau XIII : Résultat de l'indice d'iode des trois prélèvements	40
Tableau XIV : Résultat de l'indice de peroxyde des trois prélèvements	43
Tableau XV : Evolution des Indices de peroxyde avec la température	45
Tableau XVI : Résultat de l'indice de saponification des trois prélèvements.....	46
Tableau XVII : Limites inférieure et supérieurs des CPT des huiles chauffées selon le guide d'emploi de l'appareil <i>Testo 270</i>	48
Tableau XVIII : Résultat de composé polaire des trois prélèvements	49
Tableau XIX : Résultat de l'indice d'humidité des trois prélèvements.....	53
Tableau XX : Résultat de la densité des échantillons d'huiles de bains de fritures.....	54
Tableau XXI : Résultat de l'indice de viscosité des trois prélèvements.....	57

Liste des figures

Figure 1: Représentation graphique de la composition en acides gras de quelques huiles végétales	03
Figure 2 : Schéma général de l'oxydation des lipides	14
Figure 3: Réactions croisées intervenant dans l'huile lors de son utilisation en friture.....	24
Figure 4 : La réaction d'hydrolyse et les produits formés durant la friture	26
Figure 5: carte géographique de la commune d'Azazga	29
Figure 6: valeurs moyennes de l'acidité des huiles de bains prélevées des fastfoods.	38
Figure 7: Valeurs moyennes d'indice d'iode des huiles de bains prélevées des fastfoods	41
Figure 8: valeurs moyennes de l'indice de peroxyde des huiles de bains prélevées des fastfoods	43
Figure 9: Valeurs moyennes de l'indice de saponification des huiles de bains prélevées des fastfoods	46
Figure 10: Valeurs moyennes de CPT des huiles de bains prélevées des fastfoods	50
Figure 11: Valeurs moyennes de l'humidité des huiles de bains prélevées des fastfoods.....	53
Figure 12: Valeurs moyennes de la densité des huiles de bains prélevées des fastfoods.	55
Figure 13: Valeurs moyennes de la viscosité des huiles de bains prélevées des fastfoods.....	57

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Sommaire	
Introduction générale	01

Partie bibliographique

Chapitre I : Les huiles végétales

I. Les huiles végétales	02
I.1. Généralités	02
I.2. Définition	02
I.3. Définition de quelques huiles comestibles	02
I.4. Types d'huiles	
I.4.1. Huiles vierges	03
I.4.2. Huiles raffinées	03
I.5. Les huiles alimentaires.....	03
I.6. Les différents types d'huiles	04
I.6.1. Huile de soja	04
I.6.1.1. Composition.....	04
I.6.1.1.1. Acides gras	04
I.6.1.1.2. Insaponifiables	04
I.6.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés	04
I.6.2. Huile de tournesol	05
I.6.2.1. Composition en triglycérides et acides gras.....	05
I.6.2.2. Composition en insaponifiables	06
I.6.2.3. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés.....	06
I.7. Les différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition.....	07

Chapitre II : Filière des huiles végétales

II. Filière des huiles végétales	08
II.1. Fondamentaux des Oléagineux	08

II.2. Marché mondial des huiles végétales	08
II.2.1. Production.....	08
II.2.2. Consommation.....	08
II.2.3. Commerce	09
II.3. La filière des oléo-protéagineux en Algérie	09
II.3.1. Consommation et bilan alimentaire en Algérie	09
II.3.2. Production agricole.....	09
II.3.3. L'industrie des oléagineux.....	10
II.3.4. Importation	11

Chapitre III : Altération des corps gras

III. Altération des corps gras	12
III.1. Altération biologique.....	12
III.2. Altération chimique.....	12
III.2.1. Hydrolyse (acidification).....	12
III.2.1.1. Hydrolyse enzymatique.....	12
III.2.1.2. Hydrolyse spontanée	12
III.3. Altération oxydative (rancissement)	13
III.3.1. Facteurs favorisant l'oxydation	13
III.3.2. Mécanismes généraux de l'oxydation	14
III.3.2.1. L'auto-oxydation	14
III.3.2.1.1. Mécanisme réactionnel.....	14
III.3.2.2. Photo-oxydation	16
III.3.2.2.1. Photo-oxydation directe	16
III.3.2.2.2. Oxydation photo-sensibilisée	16
III.3.3. L'oxydation enzymatique.....	16
III.4. Produits formés au cours de l'oxydation des lipides.....	16
III.4.1. Produits primaires	16
III.4.2. Produits secondaires	17
III.5. Les indicateurs d'oxydation (rancissement).....	17
III.5.1. Indice d'acide	17
III.5.2. Indice d'iode	17
III.5.3. Indice de peroxyde	17
III.6. Mesure de l'état d'oxydation des lipides.....	18

III.6.1. Analyse des substrats d'oxydation	18
III.6.2. Analyse des produits primaires d'oxydation	18
III.6.3. Analyse des produits de décomposition des hydro-péroxydes	18
III.7. Impact de l'oxydation sur les huiles.....	18
III.7.1. Impacts nutritionnel et organoleptique, sanitaire et économique	19

Chapitre IV : La friture

IV. La friture	20
IV.1. Généralité	20
IV.2. Les points critiques des huiles de friture	20
IV.2.1. Type d'huile	20
IV.2.2. Vieillessement	21
IV.2.3. Cuisson	22
IV.2.3.1. Evaporation d'eau et texture	22
IV.2.3.2. Température de friture	22
IV.2.3.3. Rapport frite/huile	22
IV.2.3.4. Traitements post-friture ou refroidissement	22
IV.3. Principaux corps gras de friture	23
IV.4. Processus général de la friture	23
IV.5. Les facteurs de dégradation de l'huile de friture	24
IV.6. Réaction et produits de dégradation de l'huile durant la friture	24
IV.6.1. Réactions d'oxydation	25
IV.6.2. Réactions de polymérisation	25
IV.6.3. Réactions d'hydrolyse	25
IV.6.4. Rancissement	26
IV.7. Prévention de la dégradation de l'huile de friture	27
IV.8. La réglementation des huiles de friture	27

Partie Expérimentale

I. Matériels et méthodes

I.1. Objectif de l'étude	29
I.2. Présentation de la région d'étude	29

I.3. Echantillonnage	29
I.4. Analyses physico-chimiques	30
I.4.1. Analyses physiques	30
I.4.1.1. Teneur en eau et matières volatils	30
I.4.1.2. Détermination de la viscosité.....	31
I.4.1.3. Densité à 20°C	31
I.4.1.4. Taux des composés polaires.....	32
I.4.2. Analyse chimique	32
I.4.2.1. Acidité.....	32
I.4.2.2. Indice de peroxyde	33
I.4.2.3. Indice de saponification	34
I.4.2.4. Indice d'iode	34
I.5. Analyse statistique des résultats	35

II. Résultats et discussion

II.1. Résultats d'analyses physico-chimiques.....	36
II.1.1. Analyses chimiques	37
II.1.1.1. Acidité	37
II.1.1.2. Indice d'iode	39
II.1.1.3. Indice de peroxyde.....	42
II.1.1.4. Indice de saponification.....	45
II.1.2. Analyses physiques.....	47
II.1.2.1. Taux des composés polaires totaux	47
II.1.2.2. L'humidité	52
II.1.2.3. La densité.....	54
II.1.2.4. La viscosité	56
Conclusion	60

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Introduction

Les habitudes alimentaires de l'Algérien ont connu un changement brutal. Cette évolution est parallèle au changement du style de vie de la population. La consommation alimentaire a évolué et s'est diversifiée sous l'influence des médias lourds comme la télévision. Ce changement s'est fait au détriment de l'alimentation traditionnelle, à base de couscous, viandes et légumes, consommée à la maison. Actuellement, les repas sont pris hors domicile, avec une forte consommation d'aliments frits.

Cette situation a induit l'ouverture de plusieurs établissements de la restauration rapide, appelés fastfoods, étrangers aux habitudes alimentaires de nos ancêtres et par conséquent l'apparition de nombreuses maladies nouvelles liées à la qualité médiocre, voire néfaste des plats préparés dans des conditions extrêmes de température et d'emploi d'additifs chimiques de synthèse.

Au cours des dernières années, la contribution des huiles de friture à l'apport énergétique total des habitants ne cesse d'augmenter dans les pays du tiers monde, appelés pays en voie de développement. Ceci est principalement dû à la hausse de la consommation des produits frits, très populaires en raison de leur saveur souhaitable, la couleur et la texture croustillante (*DOBARGANES et MARQUEZ-RUIZ, 2003 ; ALADEDUNYE, 2009*).

La non disponibilité de l'huile d'olive dans le marché local, liée à la faible production a contraint notre pays à recourir à l'importation des huiles brutes dans la perspective de satisfaire la demande nationale de plus en plus grandissante. Ces huiles subissent un raffinage qui les appauvrit en molécules anti-oxydantes, ce qui expose les acides gras polyinsaturés de ces huiles à graines de tournesol et soja à diverses réactions d'altération lors de leur utilisation dans la préparation des frites, très prisées par la population.

Il a été établi que lors du processus de friture, notamment dans des fastfoods, les huiles sont soumises à des températures très élevées (supérieure à 180°C), en présence de l'oxygène atmosphérique et d'eau contenue dans la pomme de terre. C'est ainsi que des réactions très complexes se produisent, on en cite : l'oxydation thermique, la polymérisation et l'hydrolyse (*CLARK, 1991 ; TYAGI et VASISHTHA, 1996*). Les produits de décomposition résultants altèrent la saveur et la couleur de l'huile et peuvent même être nocifs pour la santé (*INNAWONG et al, 2004*).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, qui se veut une contribution à l'étude de la qualité des huiles de baignades de fritures dans les fastfoods de certaines villes de notre région de Kabylie. Dans la présente, nous nous sommes proposés d'étudier quelques la qualité des huiles de bain de friture de quelque fastfoods de la ville d'azazga.

Partie
bibliographique

Chapitre I

Les huiles végétales

I. Les huiles végétales

I.1. Généralités

Les huiles entrent dans la composition de la plupart des repas en leur conférant une saveur, ainsi, leur qualité est déterminante pour la santé du consommateur (*PISTORE, 2013*).

En effet, les huiles végétales apportent des nutriments essentiels à l'organisme: acides gras essentiels non synthétisés par l'organisme et des vitamines ; de plus la vitamine E est un puissant antioxydant, elle protège la membrane cellulaire, notamment celle des globules rouges et des globules blancs (cellules du système immunitaire). Enfin, les huiles végétales participent à la régulation du cholestérol sanguin (*PILLET, 2015*).

I.2. Définition

L'huile végétale est souvent liquide à température ambiante et insoluble dans l'eau. Les huiles se composent de lipides formés de triglycérides (TG) composés des molécules des acides gras estérifiées sur une molécule de glycérol. Les TG offrent de l'énergie pour le corps humain. Les huiles les plus commercialisées sont les huiles de soja, colza, olive (*BOUTAYEB, 2013*).

I.3. Définition de quelques huiles comestibles

Les huiles végétales comestibles sont des aliments composés essentiellement de glycérides, d'acides gras exclusivement d'origine végétale. Elles peuvent contenir en faible quantité d'autres lipides comme les phosphatides, des constituants insaponifiables et les acides gras libres naturellement présents.

Les huiles vierges sont obtenues exclusivement au moyen des procédés mécaniques, notamment des traitements thermiques. Elles peuvent être purifiées uniquement par lavage à l'eau, décantation, filtrage et centrifugation.

Les huiles pressées à froid sont obtenues, sans modification de l'huile, exclusivement par des procédés mécaniques, sans utilisation de procédés thermiques. Selon le *Codex alimentarius de 1993*, elles peuvent avoir été purifiées uniquement par lavage à l'eau, décantation, filtrage et centrifugation.

I.4. Types d'huiles

I.4.1. Huiles vierges

- Mono-fruits ou mono-graines : olive, noix, noisette, amande, pistache, pignon, colza grillé et tournesol.
- Combinées.

I.4.2. Huiles raffinées

- Mono-graines : colza, tournesol, tournesol oléique, soja, maïs et arachides.
- Combinées : mélange de différentes huiles végétales. (WOLFF, 1968).

I.5. Les huiles alimentaires

Les huiles végétales alimentaires contiennent des acides gras dans des proportions qui varient selon leur origine (LAMBERT, 2005). Chaque huile a une composition particulière représentée dans la *figure 1*, chacune a une utilisation conseillée en fonction du type de cuisine (assaisonnement, cuisson à la poêle, cuisson au four ou friture) et en fonction des besoins nutritionnels d'homme (COSSUT, 2002). Au point de vue de leur composition en acides gras, on peut différencier les huiles végétales comme le montre la *figure*.

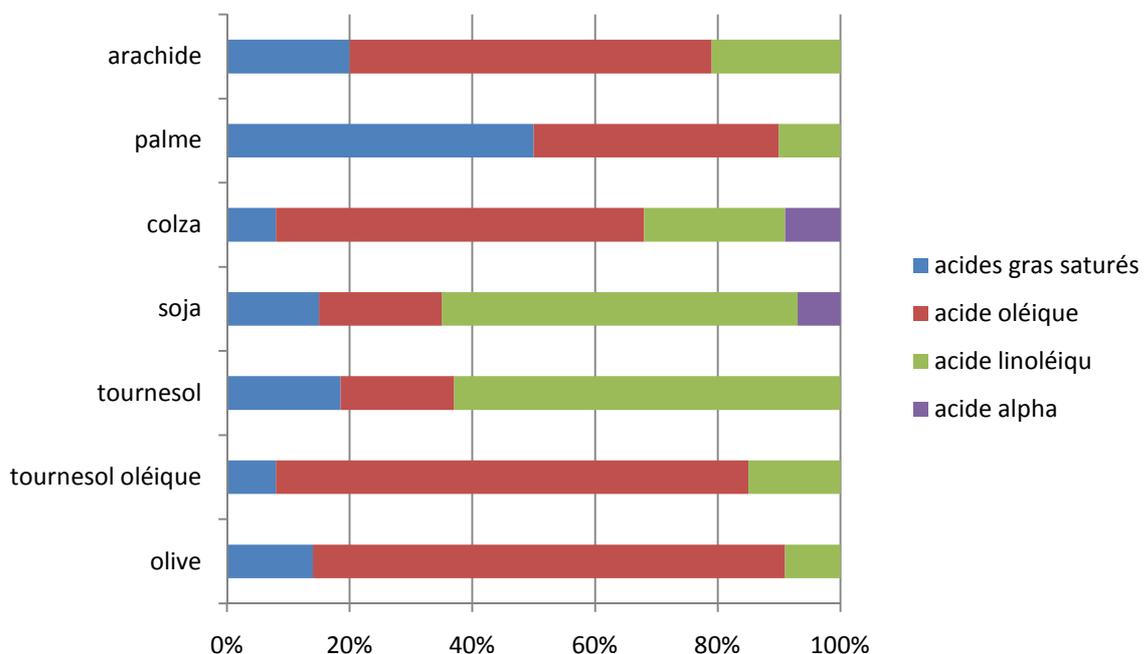


Figure 1: Représentation graphique de la composition en acides gras de quelques huiles végétales (GRAILLE, 2003).

I.6. Les différents types d'huiles

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

I.6.1. Huile de soja

I.6.1.1. Composition

I.6.1.1.1. Acides gras

La teneur en acides gras insaturés de l'huile de soja est très élevée, les molécules de TG contiennent au moins deux acides gras insaturés. Le tableau I présente la composition totale en acides gras.

Tableau I : Composition de l'huile de soja en acides gras (POUZET, 1992).

Acide gras saturés	% Acides gras totaux	Acide gras insaturés	% Acides gras totaux
C 14:0	< 0,2	C 16:1	< 0,2
C 16:0	8 – 13	C 18:1	17 – 26
C 18:0	2 – 5	C 18:2	50 – 62
C 20:0	< 1,2	C 18:3	4 – 10
C 22:0	< 0,5	C 20:1	< 0,4

I.6.1.1.2. Insaponifiables

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

Les phosphatides se présentent dans l'huile sous deux formes :

- ✓ Hydratables : Ces formes contiennent un groupe fortement polaire, ce sont en particulier la phosphatidyl-choline et la phosphatidyl-éthanolamine qui sont aisément éliminées. (JUAN et RODRIGUEZ, 1999).
- ✓ Non hydratables : Des sels de calcium et de magnésium des acides phosphatidiques et des phosphatidylinositols (DEBRUYNE, 2001).

I.6.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés

Les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja sont présentées dans le

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

Paramètres	Valeurs
Densité à 20°C (g/cm ³)	0,921-0,924
Viscosité à 20° C (C.po)	53-58
Indice de saponification (mg KOH /g)	188-195
Indice de réfraction (nm)	1.473-1.477
Indice d'iode (g d'iode/100g de CG)	125-128
Indice d'acidité (%)	0.3-1.8

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

I.6.2. Huile de tournesol

I.6.2.1. Composition en triglycérides et acides gras

La composition triglycéridique obtenue au moyen de la HPLC est développée dans le Tableau III (KARLESKIND, 1992).

Tableau III : Composition triglycéridique de l'huile de tournesol (KARLESKIND, 1992).

Nature	% de triglycéride
Tri linoléine	36.3
Oléodilinoleine	29.1
Palmitodilinoleine	11.3
Palmitooleolinoleine	4
Palmitodilioleine	0.5
Stéarooléolinoleine	2.1

L'huile de tournesol est caractérisée par sa teneur importante en acides gras insaturés (87%) contre 13% d'acides gras saturés. L'huile de tournesol possède une faible teneur en acide α -linoléique (C18:3, ω 3) et une importante teneur en acide linoléique (C18:2, ω 6). La composition en acides gras de l'huile de tournesol exprimée en % des acides gras total est présentée dans le tableau IV.

Tableau IV : Composition des acides gras de l'huile de tournesol (MERRIEN, 1992).

Acide gras saturés	% d'acides gras totaux	Acide gras insaturé	% d'acides gras totaux
C16 :0	5-7	C16 :1	≤ 0,4
C18 :0	4-6	C18 :1	15-25
C20 :0	<1	C18 :2	62-70
C22 :0	<1	C18 :3	≤ 0,2
		C20 :1	<0,5

I.6.2.2. Composition en insaponifiables

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

- ✓ Les tocophérols : représentés essentiellement par l' α -tocophérols.
- ✓ Les phytosterols : représentés essentiellement par le β -sitostérols et par le stigmastérols et le compestérol.
- ✓ les hydrocarbures : présents en très faible quantité dans les huiles de tournesol. Ces substances sont de nature très diverses : les cires, glucides, stérols, et antioxydants.

I.6.2.3. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés

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

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

Constantes	Valeur
Densité à 20°C (g/cm ³)	0,920-0,925
Indice d'iode (g d'iode/100g de CG)	120-134
Indice de saponification (mg KOH /g)	188-193
Indice de réfraction à T° de 20°C (nm)	1,474-1,476
Viscosité (C.po)	51-57

L'huile de tournesol est utilisée dans l'industrie alimentaire pour la fabrication des sauces et des assaisonnements, ainsi que pour la friture et de nombreuses autres préparations (ROGIS, 2002). Sa richesse en acide linoléique est particulièrement recherchée pour la friture.

Bibliographie

Elle confère en effet une bonne stabilité de l'huile à la cuisson et de bonne aptitude technologique pour la friture industrielle.

I.7. Les différentes huiles commercialisées en Algérie et leur composition

Il existe sur le marché Algérien différentes marques d'huiles végétales alimentaires (*tableau VI et figure 7*), quelles soient pures (huile de soja et de tournesol) ou mélangées, celles - ci sont utilisées pour l'assaisonnement, la cuisson ou la friture.

Tableau VI : Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie (*Service de la Protection de la Consommation, 2002*).

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

Chapitre II

Filière des huiles végétales

II. Filière des huiles végétales

II.1. Fondamentaux des Oléagineux

Les oléagineux sont des plantes cultivées spécifiquement pour leurs graines ou leurs fruits riches en matières grasses, dont on extrait de l'huile à usage alimentaire, énergétique ou industriel (*MATALLAH, 2006*).

La culture des oléagineux (le soja, la graine de coton, l'arachide, le tournesol, le colza, le coprah et le palmier à huile) remonte aux origines de l'agriculture. On retrace la culture du soja en Chine et au Japon à plus de 5000 ans. Les premières instances attestées d'utilisation du lin proviennent du Sud de la Mésopotamie, où cette plante était cultivée 5000 ans avant J.-C. Dans les millénaires qui ont suivi, le lin s'est répandu dans toute l'Europe, en Afrique, en Asie et, enfin, en Amérique du Nord. On ajoute aussi un arbre portant de l'huile dans ses et qui devient important vue sa production mondiale. Le secteur mondial des Oléagineux, dont la production s'est multipliée par 9 depuis 1964, devrait continuer sur sa lancée et prendre une ampleur encore plus grande à moyen terme (*MATALLAH, 2006*).

II.2. Marché mondial des huiles végétales

II.2.1. Production

La production mondiale d'huiles végétales progresse régulièrement, elle a atteint 157,76 millions de tonnes en 2013. L'Indonésie, UE, Malaisie, la Chine, l'USA, l'Inde, Argentine, Brésil, CIS sont les principaux producteurs de corps gras.

La production mondiale d'huile de palme a été multipliée par 6, et occupe en 2003 la deuxième place derrière le soja, avec 28 Mt soit 27% de la production mondiale (contre 12% en 1981). En 2013, le palme occupe la première place des huiles produites dans le monde avec 52,38Mt, soit 39.44% de la production mondiale (contre 37,95% en 2011). Selon the (*USDA, 2013*), l'huile de soja a également connu une bonne progression, et se place, à présent en deuxième position avec 32,51% en 2013 de la production mondiale soit 43,18 Mt.

II.2.2. Consommation

La consommation d'oléagineux est soutenue par la croissance de la population mondiale. En ce qui concerne celle de graines, elle progresse de 5,2% en 2011 / 2012 pour atteindre 443,61 millions de tonnes et devrait encore croître de près de 4% en 2012 / 2013. La demande mondiale pour les principales huiles végétales (palme, soja, tournesol, colza,

Bibliographie

arachide, coco, palmiste, et coton) demeure soutenue, en hausse de 3,9%, comparable à la saison précédente.

Globalement et pour les huit principales huiles, le marché est équilibré entre l'offre et la demande en 2012 / 2013. La Chine conforte sa place de premier consommateur, avec 30,8 millions de tonnes pour 2012 / 2013 (en hausse de 5%), devant l'UE-27, l'Inde, les États-Unis et l'Indonésie. La consommation d'huile de palme enregistrera une hausse de 6,7% en 2012 / 2013. Si on le plantait sur seulement 12 % de la surface totale de l'Afrique, on pourrait remplacer le besoin mondial actuel en pétrole par la récolte annuelle de cette huile végétale. Elle reste en tête des huiles consommées avec 34% de la consommation mondiale (*USDA, 2013*).

II.2.3. Commerce

Parmi les oléagineux, c'est le soja qui est le plus échangé, loin devant le colza dont les volumes commercialisés sont huit fois moindres. À eux seuls, le Brésil, les États-Unis et l'Argentine représentent 85,6% des exportations de graines de soja. La Chine, suivie de loin par l'UE, reste le premier importateur, avec plus de 50%. Selon les prévisions de la *FAO* (2013) les exportations 2012 / 2013 devraient se situer juste en dessous des 99 millions de tonnes, en hausse de 5% par rapport à la saison précédente.

II.3. La filière des oléo-protéagineux en Algérie

II.3.1. Consommation et bilan alimentaire en Algérie

En 2009, la consommation d'huiles végétales s'établissait à un peu plus de 12 kg/personne en Algérie (contre 17 kg en Tunisie et 12 kg au Maroc). L'huile d'olive, produit traditionnel ne représente que 13% de cette consommation. Elle est largement supplantée aujourd'hui par l'huile de soja (49%), de tournesol (13%). de colza (7%) et d'arachide (5%). A l'exception de l'huile d'olive, les autres huiles sont importées. Au total, le marché intérieur représenterait environ 430 000 t (*RASTOIN et BENABDERRAZIK, 2014*).

II.3.2. Production agricole

La production de graines oléagineuses en Algérie n'a jamais été importante en raison des conditions climatiques et de la préférence accordée à la production de céréales, avec jachère. En conséquence, le colza, l'arachide et le tournesol qui sont les seuls oléagineux de graine cultivés restent cantonnés à quelques milliers de tonnes depuis des décennies.

Bibliographie

Le colza a été introduit à la fin des années 1970. Il est monté à 90 000 t en 1989, puis a fléchi à 30000 t dans les années 2000-2007, pour atteindre 46 500 t en 2012. L'arachide est à 2800 t, et le tournesol, qui a connu un pic de production à 1800 t au milieu des années 1970, a disparu.

En 2012, on recensait 17000 ha de colza et 2300 ha d'arachide, ce qui donne des rendements de 27,4 q/ha en colza et de 12,1 q/ha en arachide, niveaux que l'on peut considérer comme tout à fait corrects en zone méditerranéenne, et qui ont sensiblement progressé dans les 20 dernières années. Les perspectives techniques et économiques de développement des cultures oléagineuses en Algérie sont favorables.

La culture des graines oléagineuses étant très limitée (moins de 20 000 ha, pour une production de 50000 t en 2012, principalement de colza), 90% des besoins algériens en huiles alimentaires (hors huile d'olive) sont couverts par l'importation d'huiles brutes (essentiellement de soja) qui sont raffinées sur place. En conséquence, la production locale de tourteaux pour l'alimentation animale est très faible et entraîne également des importations massives (*RASTOIN et BENABDERRAZIK, 2014*).

II.3.3. L'industrie des oléagineux

L'Algérie ne dispose pas à ce jour d'unités industrielles de trituration de graines oléagineuses. On note une petite production, à caractère artisanal d'huile d'olive, d'arachide, de colza et de tournesol, pour un total de 70 000 t d'huiles végétales brutes en moyenne 2008-12 (tableau VII).

Tableau VII : Production d'huiles végétales brutes comestibles, Algérie (*FAOSTAT, 2013*)

Huile :	Moyenne 2008-2012 (t)	Variation 1993-2010
d'olive, vierge	36940	1,6
d'arachide	19645	2,0
de colza	12737	1,1
de tournesol	681	30,2
Total huiles brutes	70004	1,6

L'industrie du raffinage et du conditionnement des huiles végétales est aujourd'hui largement privatisée. Elle comporte cinq opérateurs :

Bibliographie

- Cevital (Bejaia, marques Elio et Fleurial) leader du marché avec 50% qui dispose d'un potentiel de production de raffinage de 1800 tonnes/jour, la production nationale en huiles alimentaires se mettait à augmenter pour couvrir les besoins nationaux et exporter vers l'Europe du sud et d'autres pays comme l'Irak.
- Afia International Alegria filiale du groupe saoudien Savola, une raffinerie dans la wilaya d'Oran (marques Afia et Oleor) permettra d'augmenter la production nationale et la rendre plus compétitive sur le marché méditerranéen du point de vue quantitatif et qualitatif, environ 20% de part de marche.
- Groupe La Belle (Alger, sociétés des corps gras de Bejaia et Annaba, ex-établissements de l'entreprise nationale des corps gras ENCG, marques Goutte d'or et Huilor, 15%) ;
- Prolipos (société de production des corps gras, Ain M'lila, filiale du groupe Bareche, 6%) ;
- Safia (division agroalimentaire du groupe Cogral, 4 unités de raffinerie d'huile, marque Safia) (*IPEMED et RASTOIN, 2013*).

II.3.4. Importation

L'Algérie connaît un important déficit en huiles alimentaires et tourteaux. Par projection, on peut prévoir que, pour suivre une demande croissante, les importations vont continuer d'augmenter non plus au stade de la matière première (graines oléagineuses), mais du produit industriel intermédiaire (huiles brutes), et ce malgré l'accroissement potentiel de la production locale.

La principale huile produite est l'huile d'olive, qui ne couvre à peine les besoins en Algérie, mais reste fortement dépendante des importations pour alimenter leur marché. La consommation et les importations diffèrent selon le pays, ici en Algérie les huiles de tournesol et de colza sont plus importantes (*BENASSI et LABONNE, 2004*).

Le prix plafond de l'huile est depuis 2011 de 120 DA/l en bidon de 5 litres. En cas de réduction des marges, du fait de l'augmentation des prix des huiles brutes importées, un mécanisme de compensation abonde par le budget de l'Etat est accessible aux industriels. Cette gestion de la filière est coûteuse pour les finances publiques et génère des fraudes, mais

Bibliographie

est conforme au principe de la couverture universelle des besoins alimentaires de base des citoyens. (*IPEMED et RASTOIN, 2013*).

Chapitre III

Altération des corps gras

III. Altération des corps gras

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 fruits ou graines oléagineuses (*JUDDE, 2004*).

III.1. Altération biologique

Des micro-organismes sont généralement introduits par l'atmosphère ambiante, par l'appareillage de traitement non stérilisé, par les emballages, par le contact humain et par les insectes. L'action de ces micro-organismes a pratiquement pour résultat la formation d'enzymes génératrices d'acides gras, de produits d'oxydation, d'aldéhydes et de cétones ; ce qui se traduit par des modifications d'apparence, de texture, de saveur et aussi par l'apparition de produits toxiques (*FRANÇOIS, 1974*). Le cas le plus généralement étudié est celui d'une altération par *Aspergillus flavus*.

III.2. Altération chimique

Les facteurs d'altération chimique sont induits par deux phénomènes :

III.2.1. Hydrolyse (acidification)

Les lipides sont susceptibles de s'hydrolyser en glycérols et en acides gras libres en présence de lipases (soit endogènes ou exogènes) (*ALAIS et LIDEN, 1997*).

Il existe deux types d'hydrolyse:

III.2.1.1. Hydrolyse enzymatique

Cette réaction se déroule seulement dans les huiles brutes ; au cours du stockage et du transport de la matière première. Les enzymes responsables de cette hydrolyse sont les lipases (*TRIMOLIERE, 1980*).

III.2.1.2. Hydrolyse spontanée

Elle a lieu au cours du stockage et du traitement thermique des huiles, elle est favorisée par la présence des acides gras libres et le taux d'humidité. Cette hydrolyse s'accompagne par une oxydation, car les acides gras libres s'oxydent 10 fois plus vite que les triglycérides (*TRIMOLIERE, 1980*).

III.3. Altération oxydative (rancissement)

L'oxydation représente les principales altérations des matières grasses insaturées, aboutissant à leur rancissement oxydatif. Selon les mécanismes réactionnels mis en œuvre, L'oxydation est subdivisée en auto-oxydation, photo-oxydation et oxydation enzymatique. Les produits de la réaction de l'oxydation sont quasiment les mêmes et indépendants du mécanisme (RAHMANI, 2007).

III.3.1. Facteurs favorisant l'oxydation

Le rancissement oxydatif est un phénomène purement chimique et spontané dès lors que les acides gras insaturés (comportant au moins une double liaison) sont en présence d'oxygène atmosphérique ; notons à ce stade que la lumière ou la température sont des facteurs accélérateurs mais ne sont pas des éléments nécessaires et suffisants pour déclencher des phénomènes d'oxydation (JUDDE, 2004). Le tableau VIII résume les facteurs qui favorisent l'oxydation.

Tableau VIII : Facteurs favorisant l'oxydation (MULTON, 2002).

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

III.3.2. Mécanismes généraux de l'oxydation

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 et les photons. La photo-oxydation, initiée par la lumière en présence de photosensibilisateurs. Enfin, l'oxydation enzymatique initiée par la lipo-oxygénase (EYMARD, 2003).

III.3.2.1. L'auto-oxydation

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

III.3.2.1.1. Mécanisme réactionnel

La réaction de l'oxydation comporte trois phases distinctes (figure 2), l'initiation, la propagation, et la terminaison (EYMARD, 2003).

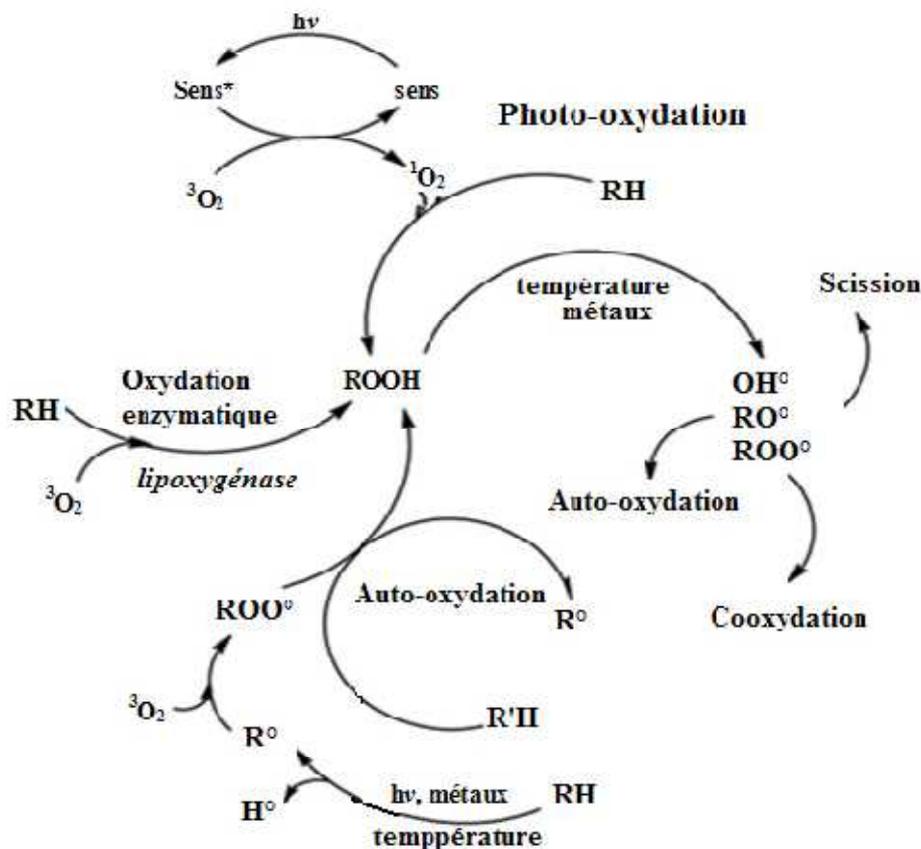
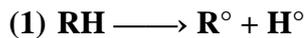


Figure 2 : Schéma général de l'oxydation des lipides (BERST et CUVELIER, 1996).

1-Initiation

Cette phase est lente ; elle correspond à la formation des radicaux libres (R°). En présence d'un Initiateur (I), les lipides insaturés (RH) perdent un atome d'hydrogène pour former un radical libre de lipide (R°). Ce mode d'initiation, favorisé par une élévation de température, peut être produit par des radiations ionisantes, des générateurs chimiques, des systèmes enzymatiques ou chimiques produisant des espèces activées de l'oxygène, ou de traces métalliques (*ANGELIQUE et CLAUDE, 2006*).



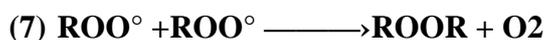
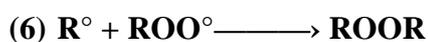
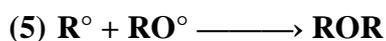
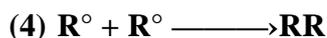
2-Propagation

C'est une réaction radicalaire en chaîne rapide, c'est la phase de la destruction des hydro-péroxydes et l'apparition des composés responsables du goût et de l'odeur de rance. La phase de propagation où l'oxygène fixé donne un radical peroxyde instable qui réagit avec une nouvelle molécule d'acide gras polyinsaturé et conduit à un néo radical libre et un hydro-péroxyde (*MARC et al., 2004*).



3-Terminaison

Les radicaux formés réagissent entre eux pour conduire à un produit qui n'est pas un radical libre.



Les hydro-péroxydes peuvent également se décomposer par scission homolytique de la liaison O-O pour former un radical alcoyl et un radical hydroxyle. Le radical alcoyl réagit avec d'autres AG et propage la réaction en chaîne. Le radical alcoyl peut à son tour subir une scission carbone-carbone de part et d'autre du radical pour former un radical alkyl et vinyl. Le radical alkyl peut réagir avec un hydrogène, un radical hydroxyle ou une molécule d'oxygène

Bibliographie

généralisant ainsi des hydrocarbures, des alcools et d'autres hydro-péroxydes. Le radical vinyle peut réagir avec un radical hydroxyle, un radical hydrogène ou oxygène moléculaire pour générer des aldéhydes et hydrocarbures (*CHIKHOUNE, 2007*). Au même temps que les réactions d'initiation et de propagation, des réactions d'arrêts peuvent se produire entraînant la disparition de certaines proportions des radicaux libres (*CHEFTEL et CHEFTEL, 1986*).

III.3.2.2. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie importante de production d'hydro-péroxyde en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse (UV) et des photo-sensibilisateurs, tels que les hémoprotéines ou la riboflavine (*RIAHI et MARZOUKI, 2000*), deux situations peuvent se présenter :

III.3.2.2.1. Photo-oxydation directe

La lumière joue le rôle d'accélérateur des cinétiques des réactions d'oxydation, les mécanismes chimiques restent les mêmes.

III.3.2.2.2. Oxydation photo-sensibilisée

Grâce à la présence nécessaire d'un agent photo-sensibilisateur (pigments type chlorophylle, certains colorants et certaines vitamines), l'oxygène normal de l'air est activé, passant de son état fondamental dit « triplet » à un état excité dit « singulet », état dans lequel l'oxygène a suffisamment d'énergie pour se fixer directement sur l'acide gras sans passer par l'étape radicalaire. Les mécanismes réactionnels sont donc différents (*JUDDE, 2004*).

III.3.3. L'oxydation enzymatique

Le phénomène d'oxydation des acides gras insaturés des fruits oléagineux peut être d'origine enzymatique. L'enzyme principalement impliquée est la lipo-oxygénase (*AISSI et al., 2011*). La lipo-oxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique, et aboutit à la formation d'hydro-péroxyde. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés.

III.4. Produits formés au cours de l'oxydation des lipides

III.4.1. Produits primaires

Les produits primaires de l'oxydation des huiles se composent essentiellement d'hydro-péroxydes variés. Même lorsque la plus grande partie de l'oxygène a été consommée dans les

Bibliographie

réactions secondaires. La raison repose sur l'instabilité des hydro-péroxydes qui sont rapidement décomposés en deux radicaux libres (*JOAQUIN et CARMEN, 2002 ; VILLERE et GENOT, 2006*).

III.4.2. Produits secondaires

Les hydro-péroxydes, produits primaires de la réaction, sont des molécules instables. Ils se décomposent sous l'effet de la chaleur ou des métaux en donnant naissance à des produits secondaires. Parmi ces derniers, les composés volatils sont à l'origine de la modification de l'odeur des produits oxydés (*JOAQUIN et CARMEN, 2002; VILLERE et GENOT, 2006*).

III.5. Les indicateurs d'oxydation (rancissement)

On utilise comme indicateurs d'oxydation différents indices, qui ont une signification dans leur propre limite. C'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas tenir compte de l'ensemble du phénomène de rancissement qui comporte beaucoup trop de réactions complexes, mais qui tout de même donne une bonne idée sur l'état d'oxydation des acides gras (*MARTY, 2005*). On distingue ainsi :

III.5.1. Indice d'acide

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

III.5.2. Indice d'iode

Il permet de connaître le degré d'insaturation globale d'un acide gras. C'est une évaluation de sa facilité à rancir, puisque, plus il contiendra d'insaturation, plus il sera sensible à l'O₂.

III.5.3. Indice de peroxyde

C'est le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode (*ADRIAN et al., 1998*).

Cet indice donne une évaluation sur la quantité de peroxydes présents dans un corps gras. C'est ce qui indique la quantité d'AG déjà rance.

III.6. Mesure de l'état d'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides s'accompagne de l'apparition et de la disparition de nombreux composés à des vitesses qui dépendent des conditions physico-chimiques dans lesquelles se trouve l'aliment (*ALLEN et HAMILTON, 1999*).

Certaines méthodes permettent d'évaluer l'état d'oxydation des lipides au cours du stockage des produits, tandis que des tests accélérés visent à mesurer la résistance des matières grasses à l'oxydation. Dans les deux cas, les méthodes utilisées peuvent être classées en trois groupes selon le principe mis en jeu : analyse des substrats d'oxydation, analyse des produits primaires d'oxydation et analyse des produits de décomposition des hydro-péroxydes.

III.6.1. Analyse des substrats d'oxydation

L'étude cinétique de la consommation de l'oxygène permet de mesurer la durée de la phase d'induction de l'oxydation lipidique. Il est également possible de doser les acides gras non oxydés résiduels par chromatographie en phase gazeuse et d'établir leur cinétique de disparition.

III.6.2. Analyse des produits primaires d'oxydation

Elle mesure du taux de peroxydes (l'indice de peroxyde, test Rancimat, ...) et les diènes conjugués (spectrophotométrie UV à 232 et 270 nm).

III.6.3. Analyse des produits de décomposition des hydro-péroxydes

Elle correspond au dosage des composés volatils (aldéhydes, cétones,...) et des composés non volatils : polaires et polymères (*JUDDE, 2004 ; ROLLAND, 2004 ; SHAHIDI et ZHONG, 2008*).

III.7. Impact de l'oxydation sur les huiles

L'oxydation de la matière grasse est importante d'un point de vue économique, car elle entraîne l'apparition de mauvais goût, de mauvaises odeurs, voire même dans certains cas la production de molécules toxiques par altération de l'ADN et des protéines. Selon *JOAQUIN et CARMEN, (2002) ; LAGUERRE et al. (2007) ; RAHMANI, (2007)*, ce processus peut se résumer en trois points :

III.7.1. Impacts nutritionnel et organoleptique, sanitaire et économique

Les vitamines liposolubles et des acides gras essentiels subissent une dégradation, ce qui induit un développement de saveurs anormales, changement de couleur, aussi l'oxydation de nutriments (disparition des vitamines A, E, C et oxydation d'acides aminés) pouvant générer la formation des composés toxiques (peroxydes, époxydes, aldéhydes).

Les composés secondaires d'oxydation montrent des effets cytotoxiques et mutagènes (cas du malondialdéhyde, par exemple, qui réagit avec l'ADN) ou encore des effets cancérigènes, mutagènes et athérogènes (cas des monomères cycliques et oxystérols).

Toutes ces anomalies liées à l'oxydation induisent une dépréciation de la qualité de l'huile qui entraîne perte de sa valeur marchande.

Chapitre IV

La friture

IV. La friture

IV.1. Généralité

La friture est l'une des plus anciennes et populaires méthode de préparation des aliments. Les aliments frits ont une saveur désirable, une couleur dorée et une texture croustillante, ce qui rend ces aliments très populaires pour les consommateurs.

Lors d'une friture, l'aliment est immergé dans le corps gras ou l'huile bouillante qui sert de medium pour le transfert de chaleur. La friture s'apparente à un processus de déshydratation à haute température (160 à 190°C). Son but est de former une croûte et de modifier la couleur, la saveur et la texture de l'aliment. Les pommes de terre sont les aliments les plus souvent frits ; les frites renferment 8 à 15% de graisses et les chips jusqu'à 35% (*MOREIRA et al., 1997*).

Cependant, l'utilisation des huiles de friture à plusieurs reprises et à de hautes températures peut produire des constituants qui compromettent non seulement la qualité nutritionnelle des aliments, mais peuvent aussi être à l'origine de la formation de composés chimiques ayant des effets néfastes sur la santé du consommateur (*TYAGI et al., 1996*).

IV.2. Les points critiques des huiles de friture

IV.2.1. Type d'huile

Le choix d'une huile de friture, repose sur la satisfaction d'un équilibre entre stabilité thermique et propriétés nutritionnelles. Une huile à haute teneur en acides gras saturés est très stable à la chaleur mais, d'un point de vue nutritionnel, elle a des effets néfastes sur la santé. Une huile riche en acides gras insaturés, dont les effets bénéfiques pour la santé, s'oxydera plus rapidement et deviendra impropre à la consommation.

Pour ces raisons, il faut trouver un compromis, les huiles convenables pour la friture sont celles qui contiennent une plus grande proportion d'acides gras mono-insaturés. Les huiles raffinées sont beaucoup plus stables lorsqu'elles sont chauffées que les huiles non raffinées. Pour trouver un bon équilibre, on peut mélanger certaines huiles (*DELAGOUTTE et al., CHRISTIAN, 2007*). Le tableau IX résume les différents types d'acides gras.

Tableau IX : Les différents types d'acides gras (DELAGOUTTE *et al.*, CHRISTIAN, 2007)

ACIDES GRAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE	FORMULE CHIMIQUE
Saturés		
Acide butyrique	4	C_3H_7COOH
Acide caproïque	6	$C_5H_{11}COOH$
Acide caprylique	8	$C_7H_{15}COOH$
Acide caprique	10	$C_9H_{19}COOH$
Acide laurique	12	$C_{11}H_{23}COOH$
Acide myristique	14	$C_{13}H_{27}COOH$
Acide palmitique	16	$C_{15}H_{31}COOH$
Acide stéarique	18	$C_{17}H_{35}COOH$
Acide arachidique	20	$C_{19}H_{39}COOH$
Monoinsaturés		
Acide palmitoléique	16	$C_{15}H_{29}COOH$
Acide oléique	18	$C_{17}H_{33}COOH$
Polyinsaturés		
Acide linoléique	18	$C_{17}H_{31}COOH$
Acide linolénique	18	$C_{17}H_{29}COOH$
Acide arachidonique	20	$C_{19}H_{31}COOH$

IV.2.2. Vieillessement

Les principaux éléments responsables du vieillissement d'une huile et qui causent sa dégradation sont l'eau, la température et l'oxygène de l'air. L'eau qui s'évapore des aliments lors de la friture altère l'huile en libérant des composés polaires plus susceptibles à l'oxydation et à la détérioration thermique et qui s'accumulent avec le temps. La température critique à ne jamais atteindre ou dépasser est de 200°C, car la chaleur peut aussi détériorer la qualité de l'huile en formant des composés non souhaitables. Au contact de l'oxygène de l'air, l'huile provoque des réactions d'oxydation qui causent la formation de composés polaires indésirables (ALEXANDER *et al.*, 1987)

La fluidité de l'huile permet son écoulement et d'éviter son absorption. Plus l'huile vieillit, moins elle sera fluide et plus elle sera absorbée par les aliments car elle aura moins tendance à s'égoutter.

Une huile contenant entre 24% et 30% de composés polaires est impropre à la consommation. La filtration permet d'enlever les éléments carbonisés mais pas les composés polaires, d'où l'importance de changer l'huile régulièrement puisque la filtration seule n'est pas toujours suffisante. Une huile usée est d'apparence foncée, épaisse ou visqueuse, peut contenir des dépôts et peut avoir une saveur âcre (ALEXANDER *et al.*, 1987).

IV.2.3. Cuisson

IV.2.3.1. Evaporation d'eau et texture

La quantité d'huile absorbée augmente en fonction de la quantité d'humidité perdue en cours de friture, car l'huile va occuper en partie l'espace laissé par l'évaporation d'eau (ZIAIIFAR, 2008). La cuisson modifie la texture et la porosité de la frite. Pour un même format de coupe, une frite crue absorbera moins d'huile qu'une frite précuite, peu importe le mode de pré-cuisson ou de blanchiment à l'eau ou à l'huile. Ceci peut être expliqué par la porosité de la pomme de terre où plus la pomme de terre est poreuse, plus elle absorbe de l'huile (BOUCHON, 2009).

IV.2.3.2. Température de friture

La température de friture dépend du type de produit, de sa taille et de sa composition. Elle varie souvent de 120 à 190°C. Des températures élevées d'huile entre 160 et 190°C peuvent permettre le transfert rapide de la chaleur, un brunissement rapide et un temps de cuisson court. Des températures élevées vont limiter le temps de friture.

Pour limiter la dégradation d'huile, la température de friture doit être inférieure à 140°C. Une température de 120°C nécessite un temps de friture plus long et engendre finalement une absorption d'huile plus élevée (CLARK *et al.*, 1991).

IV.2.3.3. Rapport frite/huile

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

IV.2.3.4. Traitements post-friture ou refroidissement

L'égouttage rapide et mécanique (par secousses) des aliments à leur sortie du bain de friture permet d'éliminer une bonne partie de l'huile contenue à leur surface, et joue un rôle important sur la teneur finale en gras. Car, cette action réduit la quantité d'huile qui pourrait être absorbée au cours du refroidissement des aliments frits (RIMAC-BRNCIC *et al.*, 2004).

IV.3. Principaux corps gras de friture

Les corps gras utilisés en friture sont des huiles ou des graisses végétales généralement raffinées, et ayant éventuellement subi une opération technologique post-raffinage du type hydrogénation ou fractionnement physique (*EVARD et al., 2007*).

Parmi les huiles végétales utilisées en friture, la plus courante aujourd'hui est l'huile de tournesol. Il existe deux huiles de tournesol issues de deux variétés de graines : l'huile de tournesol classique contenant plus de 60% d'acide linoléique oméga 6 et l'huile de tournesol oléique ayant elle plus de 80% d'acide oléique oméga 9 d'où une plus grande stabilité à l'oxydation et au chauffage (*KRISTOTT, 2003*).

Avec une teneur élevée en vitamine E, une origine non génétiquement modifiée, une saveur fruitée de graine, les huiles de tournesol sont des matières premières privilégiées pour la friture industrielle et ménagère. Elles constituent la base des mélanges spécifiques pour la friture vendus au consommateur et utilisés en restauration hors foyer. D'autres huiles oléiques ou linoléiques, telles que l'huile d'olive ou l'huile de pépin de raisin, peuvent avoir des applications en friture, mais leur typicité sensorielle ou leur coût en limite l'usage (*CARRE et al., 2003*).

IV.4. Processus général de la friture

Pour préparer des frites dorées et croustillantes, on choisit la variété de pommes de terre à frire. Après les avoir coupé en bâtonnets, lavé pour enlever l'excès d'amidon et bien séché, elles sont d'abord cuites pendant 5-6 minutes dans de l'huile végétale à 170°C. Elles sont, par la suite, retirées et égouttées, puis, replongées dans un bain d'huile à une température de 180°C durant environ quatre minutes pour les frire et dorer. Le but de la double cuisson est de rendre la frite à la fois tendre à l'intérieur et dorée à l'extérieur.

Il est important, dès la sortie de la friteuse, d'éponger les frites immédiatement en le déposant sur une double épaisseur de papier afin d'absorber l'huile à la surface, tant que la vapeur d'eau s'échappe encore. Car, lors de la friture et à la sortie du bain, l'huile sur la surface de la frite ne peut pas pénétrer, elle en est chassée par la vaporisation de l'eau de la pomme de terre pendant la cuisson. Mais, quand la vapeur présente dans la frite se condense en eau, la frite pompe l'huile déposée à la surface et l'absorbe (*MONOJ et al., 2004*).

IV.5. Les facteurs de dégradation de l'huile de friture

Lorsque les huiles sont chauffées, celles-ci subissent des dégradations plus ou moins importantes. Les huiles riches en acides gras monoinsaturés, comme l'huile d'olive et l'huile d'arachide, sont plus stables et résistent à la chaleur plus que les huiles riches en acides gras polyinsaturés telles que l'huile de maïs et l'huile de soja. Pour les fritures, il est important de ne pas surchauffer l'huile (ne pas dépasser 180°C) et de la remplacer fréquemment (WARNER, 2004).

La dégradation de l'huile de friture dépend principalement de l'absorption en oxygène, de la température de l'huile, de l'insaturation des acides gras. Pendant la friture, les graisses et les huiles sont exposées à des températures très élevées et une variété de réactions ont lieu. En présence d'oxygène, d'humidité des aliments et à des températures élevées entre 160°C et 180°C, l'huile subit trois réactions principales: l'hydrolyse, l'oxydation et la polymérisation; les huiles se décomposent pour former des produits volatils responsables d'odeurs désagréables et apparition de composés non volatils qui s'avèrent toxiques à fortes doses (WARNER, 2004)



Figure 3: Réactions croisées intervenant dans l'huile lors de son utilisation en friture.

IV.6. Réaction et produits de dégradation de l'huile durant la friture

Durant la friture d'un aliment, plusieurs réactions d'échange et de dégradation se déroulent, et qui sont responsables du goût et de la texture désirées des aliments frits. A des températures élevées entre 160°C et 180°C, en présence d'eau et d'oxygène, les triglycérides subissent des réactions complexes qui peuvent être classées en trois grandes familles : oxydation, polymérisation et hydrolyse (WARNER, 2002).

IV.6.1. Réactions d'oxydation

L'oxydation des lipides est l'une des causes importantes de la dégradation des aliments, accélérée à la haute température utilisée dans la friture, l'oxydation, crée des saveurs rances et réduit les caractéristiques organoleptiques des produits frits (*NAWAR, 1996*).

Les hydroperoxydes sont les principaux produits de la réaction initiale d'oxydation des lipides. Les réactions en chaînes responsables de leur formation sont autocatalysées, car initiées par l'apparition de composés radicalaires, issus eux-mêmes de l'oxydation des triglycérides du bain (*GERMAN et KINSELLA, 1985*). Il s'agit d'un enchaînement de réactions radicalaires se déroulant en trois étapes. Une première réaction produit un radical libre par élimination d'un hydrogène de l'acide gras (initiation). Puis les réactions s'enchaînent pour produire plusieurs radicaux libres (propagation) qui se combinent pour former des composés non radicalaires (terminaison) (*GRAY, 1978*).

IV.6.2. Réactions de polymérisation

Elles sont responsables des réarrangements inter et intra-moléculaires qui sensibilisent l'huile de friture à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de la viscosité apparente des huiles. Des composés semblables à des résines peuvent alors mousser à la surface du bain de friture et sur les parois (*TSENG et al., 1996*).

IV.6.3. Réactions d'hydrolyse

L'hydrolyse est l'une des principales réactions qui se produisent au cours de la friture en raison de la présence de l'humidité introduite avec l'aliment à frire et les températures relativement élevées utilisées.

Durant la friture, l'eau, la vapeur et l'oxygène initient les réactions chimiques dans l'huile de friture. L'eau, un nucléophile faible, attaque la liaison ester des triglycérides et produit des di- et mono-glycérides, le glycérol et les acides gras libres qui sont des composés très sensibles aux réactions d'oxydation et de polymérisation et les produits qui en dérivent sont responsables des principaux défauts de goût ou d'odeur. Les acides gras libres contenus dans l'huile augmentent en fonction du nombre de friture comme indiqué sur la (figure 4) (*PERKINS, 2006*). L'hydrolyse est plus préférable dans l'huile avec des acides gras insaturés courts que l'huile avec des acides gras saturés longs, car les acides gras insaturés courts sont plus solubles dans l'eau que les acides gras saturés longs.

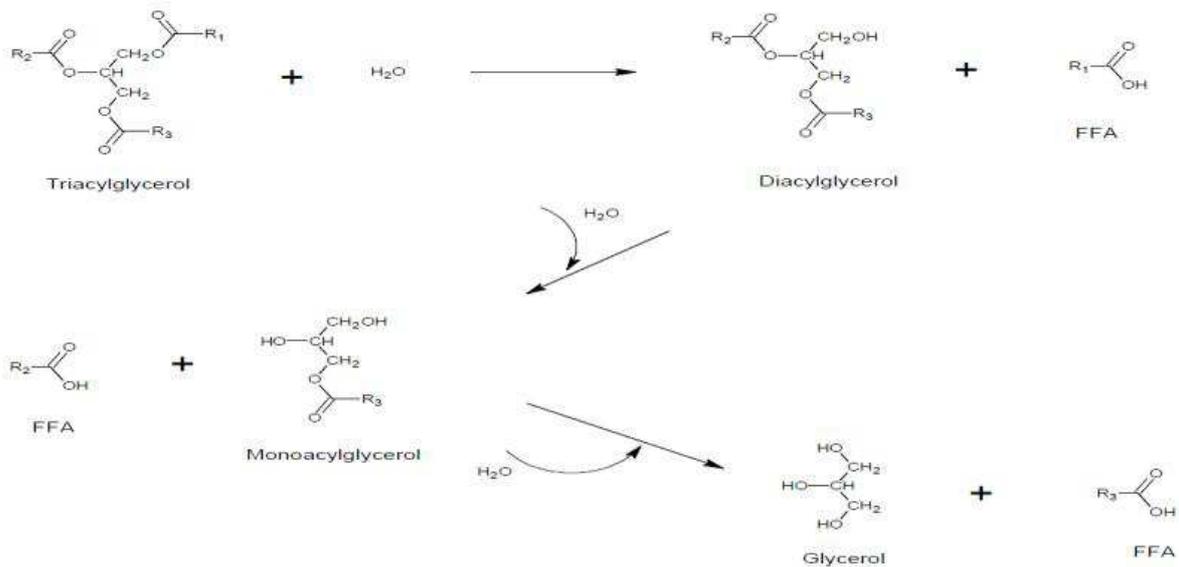


Figure 4 : La réaction d'hydrolyse et les produits formés durant la friture

Le glycérol s'évapore à 150°C et le glycérol restant dans l'huile favorise la production d'acides gras libres par hydrolyse. La teneur en acide gras libre maximale de l'huile de friture est comprise entre 0,05% et 0,08% (NAZ *et al.*, 2005)

Tableau X: Changement de l'huile durant le processus de friture et les composés résultants

Altérations	Causes	Composés formés
Thermique	température	Monomères cycliques Dimères et polymères
Oxydation	Air	Monomères oxydées, dimères et polymères Dimères et polymères non polaires Composés volatiles (hydrocarbures, aldéhydes, cétones, alcools, acides, etc.)
Hydrolyse	Humidité	Acides gras libres, mono, di et Glycérols

IV.6.4. Rancissement

L'exposition à l'air, la chaleur, et la lumière provoquent l'oxydation des huiles, les rendre rances, et conduisent à la formation des radicaux libres. Les graisses saturées ne sont pas affectés autant par l'oxydation, car ils sont très stables et possèdent un degré élevé de

Bibliographie

résistance à l'oxydation. Les graisses mono-insaturées, sont un peu sensibles à l'oxydation. Les huiles polyinsaturées, sont très instables et très réactives à l'oxydation (*DAVID, 1970*).

Les matières grasses subissent des changements lors du stockage ce qui leur confèrent un goût et une odeur désagréable, c'est le rancissement. Ce dernier est porté par l'action de l'air (rancissement par oxydation) ou par des micro-organismes. Le rancissement oxydatif est accélérée par exposition à la chaleur et la lumière, par l'humidité et par la présence de traces de certains métaux (par exemple le cuivre, le nickel, le fer).

Lorsque la concentration de peroxyde atteint un certain niveau, le changement chimique complexe se produit et les produits volatils sont formés et qui sont principalement responsables du goût et de l'odeur rance (*BAILEYS, 2005*).

IV.7. Prévention de la dégradation de l'huile de friture

La réaction d'oxydation peut être inhibée par des antioxydants qui sont naturellement présents dans les huiles ou ajoutés afin d'augmenter la stabilité. Les tocophérols sont des antioxydants naturels présents dans les huiles végétales. Des antioxydants synthétiques sont également disponibles pour augmenter la stabilité de l'huile. Les antioxydants retardent la réaction d'oxydation et inhibent la formation de radicaux libres, en cédant leurs atomes d'hydrogène phénoliques aux radicaux libres (*WAGNER et ELMADFA, 2000*).

IV.8. La réglementation des huiles de friture

Comme il a été admis que la qualité des aliments frits est affectée par la qualité l'huile de friture, la réglementation française en matière d'huile pour friture a évolué récemment et permet aujourd'hui d'utiliser pratiquement toutes les huiles, à l'exception des huiles fortement polyinsaturées (comme l'huile de lin ou de noix).

Selon le décret n° 2008-184 du 26-02-2008, la réglementation fixe des valeurs seuils à 25% de composés polaires totaux et 14% de polymères de triglycérides pour garantir la qualité des huiles chauffées et que ces seuils ne sont pas atteints en friture industrielle, collective ou ménagère dès lors que ces recommandations pratiques sont suivies (*FIRESTONE, 1993*).

Tableau XI : Les réglementations dans le monde des graisses et des huiles de friture (FIRESTONE, 1993).

Réglementation	<p>Règlements US : Food and Drug Administration</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acides gras libres < 1g/kg - Gallate de propyle (E310) : antioxydant < 0.1g/kg - Acides gras saturés < 500g/kg d'acides gras totaux - Acide érucique C22:1 < 50g/kg - Indice de peroxyde < 2méq/kg - Humidité < 3g/kg
	<p>Règlements Belgique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diméthylpolysiloxane E900 (antimoussant) < 3mg/kg - Teneur en acides gras libres < 2.5% - Composés polaires totaux < 25% - Viscosité < 37mPa.s à 50°C ou < 27 mPa.s à 50°C - Point de fumée > 170°C - Acide linoléique C18 :3 < 2% - Température de friture < 180 c°
	<p>Règlements France :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acide linoléique C18 :3 < 2% - BHA, BHT, Gallate (E310) sont autorisés - Les additifs de silicones sont interdits - Composés polaires totaux < 25%
	<p>Règlements Hongrie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composés polaires < 25% - Température de friture entre 160 et 180°C - Point de fumée > 180°C - L'huile de tournesol peut être utilisée pour un maximum 8-10 heures de friture
	<p>Règlements Italie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Température de friture maximale 180°C - Composés polaires totaux < 25%

Partie
expérimentale

Matériel
et
méthodes

I. Matériels et méthodes

I.1. Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de déterminer la qualité des huiles de bains de fritures, des établissements (locaux) de la restauration rapide appelés *fastfoods* de la ville d'Azazga, située à l'est de la wilaya de Tizi-Ouzou.

I.2. Présentation de la région d'étude

Azazga est une commune de la wilaya de Tizi-Ouzou, en Algérie. Elle est située à 30 km du littoral et à 30 km à l'est de Tizi-Ouzou et à 100 km à l'ouest de Béjaïa. Azazga est située en amont d'Acif Sebaou (le Fleuve Sébaou), situé entre Tizi-Ouzou et Yakouren.

Azazga, de par sa position centrale, est devenue au fil des années un axe de transit très important et très fréquenté par les usagers et routiers avec une superficie de 77,05 km² (figure 5).



Figure 5: carte géographique de la commune d'Azazga

I.3. Echantillonnage

L'échantillonnage a été fait selon les quatre points cardinaux (nord, sud, est et ouest), plus le centre de la ville d'Azazga. Le nombre de fastfoods étudié dans cette ville touristique est de cinq.

Partie expérimentale

Les échantillons d'huiles de bains de fritures ont été prélevés durant les périodes de 09/04/2018, 24/04/2018 et 09/05/2018. Le nombre d'échantillons prélevés est de quinze ; le volume de chaque échantillon est de 200 ml ; les prélèvements ont été effectués par nous-mêmes et de façon aléatoire, conformément aux recommandations en matière des statistiques ; les huiles des bains ont, au préalable, été homogénéisées avant le prélèvement de trois échantillons par fastfoods. Les huiles des bains de fritures prélevées ont été introduites dans des flacons (bocaux) en verre transparent, bien fermés puis recouverts de papier aluminium afin d'éviter toute altération liée à l'effet de la lumière et de l'air ambiant. Après refroidissement à la température ambiante, ces échantillons ont été entreposés et conservés au réfrigérateur réglé à une température de +4°C afin d'éviter l'altération due à la chaleur.

Ces échantillons ont été ensuite transportés au laboratoire où ils ont fait l'objet d'une série d'analyses physico-chimiques permettant de juger leur qualité. Parmi les critères physiques retenus, on en cite: la teneur en eau et matières volatils, la viscosité, la densité et taux des composés polaires. Pour les critères chimiques, on signale les différents indices, d'acide (acidité), d'iode, de peroxyde et de saponification.

I.4. Analyses physico-chimiques

I.4.1. Analyses physiques

I.4.1.1. Teneur en eau et matières volatils (AFNOR NF T606-201 d'octobre 1984).

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.

➤ principe

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

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

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

Partie expérimentale

m0: masse en gramme du bécher;

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

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

I.4.1.2. Détermination de la viscosité

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

❖ Principe

C'est la mesure du temps que nécessite une balle en métal pour s'écouler dans un capillaire d'un viscosimètre rempli d'huile. La viscosité est exprimée par la formule suivante:

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

Sachant :

μ : La viscosité en Centipoise ;

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

ρ : La masse volumique de l'huile (g/ml) ;

t : Le temps de chute en minutes;

K : Constante du viscosimètre qui est égale à 35.

I.4.1.3. Densité à 20°C (AFNORNFT606-21,1984)

La densité relative d'une huile ou d'une graisse est le quotient d'un certain volume de ce corps gras à une température de 20°C (D₂₀) par la masse du même volume d'eau distillée.

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 :

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

Soit :

Partie expérimentale

m : poids de l'éprouvette vide ;

m₁ : poids de l'éprouvette pleine d'eau ;

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

I.4.1.4. Taux des composés polaires

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

Dans notre étude, la mesure des CPT des échantillons d'huiles prélevés a été réalisée à l'aide d'un appareil dénommé « Testo 270 » de marque testo représenté par la *figure 14*.

Au cours de chaque contrôle par le service d'hygiène en introduit l'appareil dans le bain de friture et le taux de composé polaire s'affiche avec la température d'huile sur l'écran, les valeurs enregistrées sont une moyenne de trois répétitions. Cet appareil permet une mesure précise des CPT formés dans l'huile ; la valeur donnée révèle une approche des polymères responsables de la dégradation des huiles de friture.

I.4.2. Analyse chimique

I.4.2.1. Acidité (AFNOR-NF T60-204, 1988).

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

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



➤ Expression des résultants

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

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

Soit :

Partie expérimentale

A: acidité exprimée en pourcentage.

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

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

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

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

I.4.2.2. Indice de peroxyde (AFNOR-NFT60-22)

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.

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 formule suivante :

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

I_p : indice de peroxyde exprimé en milliéquivalent gramme par kilogramme ;

V₀ : volume de la solution thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en ml ;

V₁ : volume de thiosulfate de sodium utilisé en ml ;

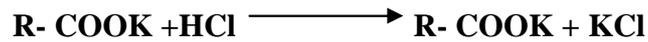
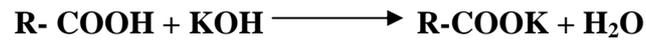
N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0.01 N ;

P : prise d'essai en gramme.

I.4.2.3. Indice de saponification (AFNOR-NFT60-206)

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.

Partie expérimentale



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

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

Où :

Is : indice de saponification exprimé en milligramme par gramme;

V₀: volume de la solution d'HCl 0,5 N utilisée pour l'essai à blanc (ml).

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

P : prise d'essai en gramme;

N : normalité d'HCL (0.5N);

Eg : Equivalent gramme de KOH (56.1 g/mol).

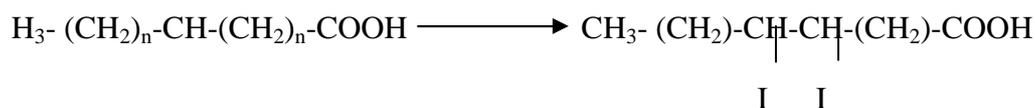
I.4.2.4. Indice d'iode (AFNOR NFT 60-203, 1988)

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

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 de l'iode libéré par une solution titré de thiosulfate de sodium.

Partie expérimentale

Les réactions qui se passent sont les suivantes :



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

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

Soit:

Ii : indice d'iode ;

V₀ : 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.

I.5. Analyse statistique des résultats

Le traitement statistique des résultats d'analyses physico-chimiques obtenus (densité, viscosité, humidité, composé polaire, acidité, indice d'iode, indice de saponification et indice de peroxyde) a été réalisé à l'aide du logiciel *STATBOX (version 6.4)*. Il consiste en une analyse de la variance à un seul facteur (fastfood).

Résultats
et
discussion

II. Résultats et discussion

II.1. Résultats d'analyses physico-chimiques

L'objectif de cette étude est de déterminer le niveau d'altération des huiles de bains de friture dans les fastfoods (restauration rapide) du chef-lieu de la ville d'Azazga. Les échantillons d'huiles de bains de fritures prélevés ont été soumis à des analyses physico-chimiques ; les résultats obtenus sur chaque paramètre ont, ensuite, été comparés entre les différents fastfoods inspectés pour vérifier leur conformité.

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

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

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

La particularité de cette huile est son rapport AGPI / AGS élevé par rapport aux autres huiles (SADOUDI *et al.*, 2017) l'ont estimé à 5,15.

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

Le dosage de ces paramètres s'effectue sans l'utilisation des produits chimiques, elle est en corrélation avec des méthodes officielles comme la détermination des composés polaires (GERTZ, 2000).

II.1.1. Analyses chimiques

II.1.1.1. Acidité

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

Selon les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, l'huile « elio » a une valeur moyenne d'acidité de l'ordre de 0,15%, cette valeur est en concordance avec la norme (NA 1169 – 1990) requise (max 0,20%)

Les résultats de l'acidité (% AGL) des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods lors des trois prélèvements effectués sont intégrés dans le *tableau XII*.

Tableau XII : résultat de l'acidité (% AGL) des trois prélèvements

Fastfood n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne± écart-type
1	0,236±0,030	0,326± 0,032	0,293±0,015	0,285±0,045 ^{ab}
2	0,290±0,017	0,256± 0,020	0,303±0,015	0,283±0,024 ^{ab}
3	0,323±0,037	0,343± 0,035	0,520± 0,026	0,395±0,108 ^a
4	0,166±0,068	0,306± 0,020	0,313± 0,015	0,261±0,082 ^b
5	0,330±0,050	0,176± 0,020	0,530± 0,020	0,345±0,177 ^{ab}

Selon les résultats portés dans ce tableau, on remarque une augmentation de l'acidité des huiles des baigns de fritures des cinq fastfoods inspectés par rapport au maximum toléré

Le pourcentage d'augmentation de l'acidité le plus élevé est enregistré sur les huiles de baigns de fritures prélevées dans le fastfood n°3, qui est de 163,3%, tandis que le pourcentage d'augmentation le moins élevé est enregistré sur les huiles de baigns de fritures prélevées dans le fastfood n°4, qui est de 74%.

Ainsi, les huiles des bains de fritures prélevées dans les fastfoods n°3 et n°5 ont subi une altération hydrolytique la plus poussée que celle des autres fastfoods, en enregistrant des valeurs maximales de 0,396 et 0,346 respectivement, comme le montre clairement la *figure 6*.

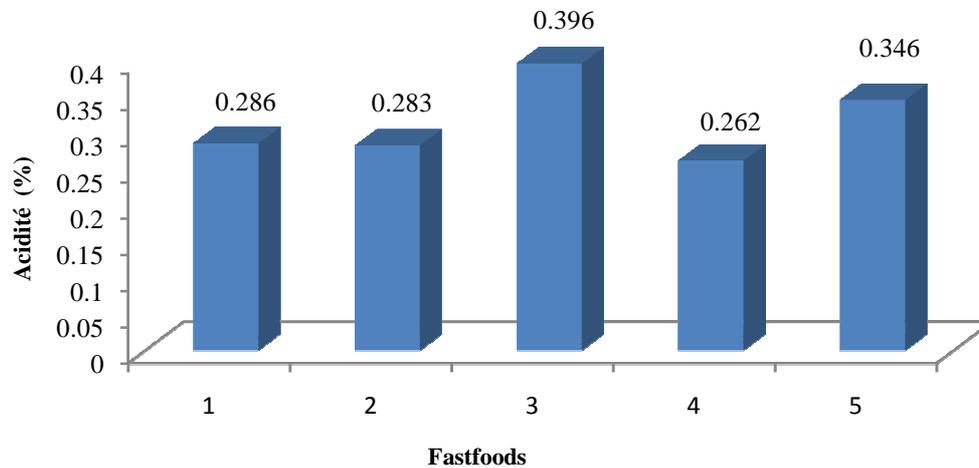


Figure 6: valeurs moyennes de l'acidité des huiles de bains prélevées des fastfoods.

En effet, l'analyse de la variance (*Annexe 16*) à un facteur (fastfood) a révélé une différence significative au seuil de 5% ($p\text{-value}=0,02$), ce qui confirme l'influence de facteur fastfood sur l'acidité. Cela est vérifié au seuil de 5% avec le test de *NEWMAN-KEULS* qui fait apparaître trois groupes homogènes (A, AB et B) (*Annexe 17*).

Cependant, l'utilisation de cette huile dans des fritures menées dans des conditions optimales n'a pas entraîné une altération aussi élevée. En effet, durant les travaux antérieures menés au département dans des conditions idéales de fritures, l'acidité du 10^{ème} ou 20^{ème} bain de friture n'a été que de 0,3%. Ces conditions optimales ont consisté en l'utilisation d'une friteuse électrique d'un faible volume, stabilisation de la température à 180°C, faible quantité de frites dans un grand volume d'huile, séchage des frites fraîches avant leur introduction de la friteuse, ce qui a réduit au maximum la durée de la cuisson.

Dans ces fritures menées au laboratoire, les valeurs de l'acidité à la 10^{ème} ou 20^{ème} friture n'ont été que de 0,25 à 0,30% trouvé par *HAMOUCHE et SANAT (2015)* et de 0,3 à 0,33% obtenues par *HIDEUR et CHIBANE (2015)* où les conditions de fritures lors de leur travail sont : l'utilisation des friteuses électrique en appliquant un mode de cuisson avec couvercles ou la température de friture retenues est de 190°C.

Cette différence entre les valeurs obtenues dans notre études et celles obtenues lors des fritures au laboratoire traduit et confirme l'effet délétère des conditions extrêmes sur la

stabilité des huiles raffinées. Les températures élevées appliqués dans les fastfoods (dépassant 180°C) entraînent une augmentation de l'ampleur du degré d'altération de ces huiles riches en AGPI (*GERTEZ et KOCHAAR, 2001*).

Par ailleurs, l'augmentation de l'acidité enregistrée dans tous les fastfoods pourrait être due à plusieurs facteurs, on en cite : la possibilité de la surutilisation du même bain de fritures, l'incorporation régulière de l'huile fraîche dans les bains, la quantité de frites préparées, l'introduction des frites fraîches non suffisamment égouttées, la température de cuisson dépassant 190°C et le nombre élevé de fritures effectué par jour, etc.

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

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

D'après les résultats obtenus par *HIDEUR et CHIBANE (2015)* dans des conditions idéales de fritures (fritures au laboratoire), l'acidité augmente au fur et à mesure que le nombre de fritures augmente. Néanmoins, l'intensité de l'acidification diffère selon la température de friture. Les pourcentages d'augmentation de l'acidité par rapport à l'huile fraîche à la 1^{ère} friture menée à 170°C et 190°C sont respectivement de : 33,92% ; 100,89%, ce qui montre l'effet délétère des températures excessives durant la friture.

II.1.1.2. Indice d'iode

L'indice d'iode « Ii » indique le nombre de doubles liaisons ou le degré d'insaturation globale des lipides. Cet indice renseigne sur le degré d'oxydation des huiles, donc, sur leur stabilité oxydative (*VINAIXA et al, 2005*).

Les résultats d'indice d'iode des huiles de bain de friture des échantillons prélevés des fastfoods lors des trois prélèvements effectués sont intégrés dans le *tableau XIII*.

Tableau XIII: Résultat de l'indice d'iode des trois prélèvements

Fastfood n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne±écart- type
1	120,143±0,188	114,803±0,323	120,086±0,299	118,344±3,066 ^a
2	119,833±0,306	118,743±0,440	118,146±0,181	118,907±0,855 ^a
3	118,413±0,255	111,140±0,245	109,686±0,424	113,079±4,675 ^b
4	120,823±0,246	117,373±0,731	117,043±0,060	118,413±2,093 ^a
5	114,770±0,252	120,006±0,106	111,716±1,092	115,497±4,192 ^{ab}

Selon la moyenne des travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, l'huile « elio » a un indice d'iode de l'ordre de 134.302gI₂/100g huile. La norme établie dans le *Codex Alimentarius de 1999* pour les huiles végétales raffinées est comprise entre 123 et 139 gI₂/100g d'huile.

D'après le *tableau*, les résultats de la moyenne montrent une diminution de la valeur de l'indice d'iode pour tous les échantillons des huiles de bains de fritures prélevés des fastfoods.

La valeur maximale de l'indice d'iode des échantillons d'huiles de bains de fritures prélevées dans la ville d'Azazga (notre étude) est de 118,908 gI₂/100g d'huile ; elle est inférieure à la valeur maximale enregistrée par *BENHAMOU, (2017)* sur les huiles de bains de fritures des fastfoods de la ville touristique d'Azeffoune, la valeur a été de 125,58 gI₂/100g d'huile pour lesquels les valeurs enregistrées sont entre 111,85 et 125,58. Cependant, les valeurs minimales enregistrées sont respectivement de 113,08 et 111,85 gI₂/100g d'huile, donc, en faveur des fastfoods de la ville d'Azazga ; ces valeurs confirment les valeurs des taux de composés polaires enregistrés lors de ces deux études.

La moyenne de l'indice d'iode la plus basse a été enregistrée par le fastfood 3 (*figure 7*). Ce fastfood a également, enregistré une forte acidification des huiles de bains analysés, avec un seuil de 0,395%, largement supérieur aux autres fastfoods. Dans ce fastfood, le pourcentage de diminution du nombre d'insaturation des acides gras est le plus élevé ; il a été estimé à 15,8% Cependant, les fastfoods 1, 2, 4 et 5 marquent une légère diminution.

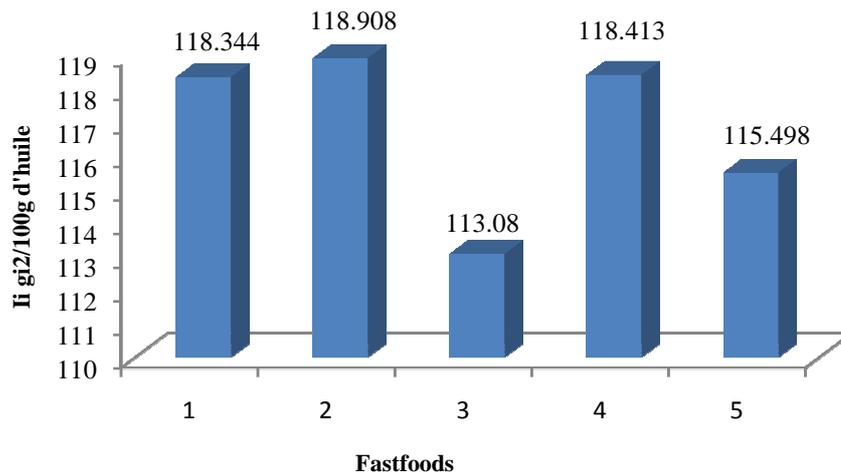


Figure 7: Valeurs moyennes d'indice d'iode des huiles de baigns prélevées des fastfoods

L'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (*Annexe 18*) a montré un effet très hautement significatif ($p=0,00031$) sur cet indice. Cela est vérifié au seuil de 5% avec le test de *NEWMAN-KEULS* qui fait apparaître trois groupes homogènes de fastfoods (A, AB et B) (*Annexe19*).

L'indice d'iode d'une huile diminue logiquement lors du traitement thermique de cette huile, comme dans le cas de son utilisation en friture. Cette chute est due à la formation des produits d'oxydation lipidiques, comme rapportés par *GERTZ (2008)* ; *SANCHEZ-GIMENO et al.,(2008)*.

La diminution de l'indice d'iode dans les huiles de friture se traduit par l'action de l'oxygène de l'air ambiant catalysée par la chaleur ; le substrat de cette réaction est l'AGPI. Il s'agit d'une perte nutritionnelle de l'huile dans la mesure où ces nutriments ne sont pas synthétisés par l'organisme de l'Homme. De plus, les produits chimiques issus des réactions de la polymérisation et de la cyclisation des AGPI restent dans l'huile de bain de friture ; ils sont jugés toxiques pour le consommateur (*Le FLOCH et al., 1968*).

Cependant, lors de la préparation des frites au laboratoire où les conditions sont totalement maîtrisées, comme l'utilisation d'une friteuse électrique à température réglable, égouttage préalable des frites fraîches, etc a entraîné une détérioration aussi élevée des huiles de baigns de fritures. En effet, *HAMOUCHE et SANAT (2015)* ont noté un indice d'iode de 102,15 à 99,63 gI₂/100g d'huile et 112,94 à 101,73 gI₂/100g d'huile trouvé par *DAHMOUN et BOUAOUD (2015)* d'huile ayant utilisé « elio » du 10^{ème} ou 20^{ème} bain de friture où les conditions de fritures lors de leur travail sont : l'utilisation des friteuses électrique en

appliquant un mode de cuisson avec couvercles ou la température de friture retenues est de 190°C.

Les conditions extrêmes ont diminué significativement le nombre des doubles liaisons des AGPI.

Selon *SANCHEZ-GIMENO et al.,(2008)*, l'indice d'iode est inversement proportionnel au nombre de fritures ; ceci est due à la formation de produits oxydés suite aux réactions se produisant au niveau des insaturations, diminuant ainsi leur nombre dans les chaînes hydrocarbonées. Cette diminution serait la conséquence des réactions d'oxydation et de polymérisation qui se produisent au cours des fritures. C'est la raison pour laquelle, l'indice d'iode est considéré comme un bon indicateur du degré d'altération des huiles (*MILLER et WHITE, 1988*).

II.1.1.3. Indice de peroxyde

D'après *ROLLAND, (2004)*, la mesure de l'oxydation d'un corps gras en temps réel se fait par la mesure de l'indice de peroxydes. L'indice de peroxyde correspond au nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de lipide susceptible d'oxyder l'iodure de potassium avec libération d'iode.

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

KRISTOTT, (2003) suggère que la conversion des AGI en peroxydes nécessite, au préalable, la libération de ces AG à partir des triglycérides par la réaction d'hydrolyse. L'indice de peroxyde augmente au cours des fritures répétées par la formation des produits primaires d'oxydation. Néanmoins, la valeur de cet indice peut diminuer suite à la décomposition des hydroperoxydes pour former les produits secondaires d'oxydation (*GERTZ, 2008*).

Les résultats d'indice de peroxyde des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods lors des trois prélèvements effectués sont intégrés dans le *tableau XIV*

Tableau XIV: Résultat de l'indice de peroxyde des trois prélèvements

Fastfood n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne±écart- type
1	10,736±0,643	21,606±0,774	13,233±0,251	15,191±5,693 ^b
2	13,833± 0,152	13,080±0,546	19,046±0,290	15,319±3,248 ^b
3	18,226± 0,445	22,946±0,172	25,966± 0,674	22,379±3,900 ^a
4	10,526± 0,431	18,036±0,066	20,880± 0,628	16,480±5,349 ^b
5	22,110± 0,310	12,446±0,476	28,476± 0,940	21,010±8,071 ^{ab}

Selon la norme *ISO 3960*, l'indice de peroxyde ne doit pas dépasser le seuil maximum fixé à 10 méq d'O₂/kg d'huile à l'état frais. Pour les huiles des bains de fritures, la limite maximale tolérée serait de 20 méq d'O₂/kg d'huile.

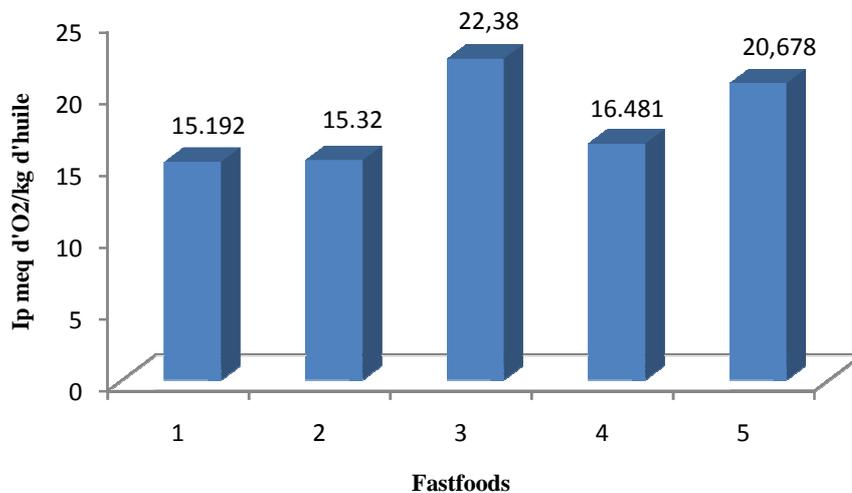


Figure 8: valeurs moyennes de l'indice de peroxyde des huiles de bains prélevées des fastfoods

L'huile « elio » a un indice de peroxyde moyen de 3,66 méq d'O₂/kg d'huile ; cette valeur est obtenue en utilisant les moyennes calculées et portées dans les mémoires soutenus dans notre département.

Il ressort des résultats de cette figure une augmentation de l'Ip dans les bains de fritures des échantillons prélevés dans tous les fastfoods. La peroxydation des huiles a,

Partie expérimental

également, été enregistrée lors des essais de fritures menées au laboratoire dans une friteuse électrique où les conditions ont été optimales. Néanmoins, les valeurs de cet indice étaient moins élevées.

Dans notre étude, le pourcentage d'augmentation de l'indice de peroxyde le plus élevé est enregistré sur les huiles de bains de fritures prélevées dans le restaurant n°3 qui est de 521,6% et le pourcentage de l'augmentation de l'indice de peroxyde le moins élevé est enregistré sur les huiles de bains de fritures prélevées dans le restaurant n°1 qui est de 322%.

L'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (*Annexe 20*) montre une probabilité inférieure à 0.05, ($p \text{ value}=0,0044$), ce qui signifie que ce facteur influe d'une façon très hautement significative sur l'indice de peroxyde. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% a fait apparaître trois groupes homogènes (A, B et C) (*Annexe 21*).

Ce résultat confirme ceux obtenus sur d'autres critères, comme l'acidité et l'indice d'iode, pour lesquels, le fastfood n°3 est défavorisé. En effet, dans ce fastfood, l'acidité du bain a été la plus élevée et que l'indice d'iode des bains a été le plus bas, ce qui dénote une mauvaise maîtrise du processus de friture.

La forte peroxydation enregistrée dans notre étude par rapport aux résultats antérieurs obtenus lors des fritures menées au laboratoire pourrait être due à la faculté de diffusion de l'oxygène de l'air dans les bains de friture menée dans une friteuse sans couvercle.

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

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

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

Une étude menée par M'BAYE (2012), sur l'effet de la température sur les huiles alimentaires par le dosage des indices de peroxyde ; les résultats obtenus sont présentés dans le *tableau XV*. Selon cet auteur, et en s'appuyant sur les résultats obtenus, toutes les huiles analysées ne sont pas bonnes pour la cuisson à haute température.

Tableau XV : Evolution des Indices de peroxyde avec la température (M'BAYE *et al.*, 2012)

Huile végétale en usage :	Valeurs de l'indice de peroxydes aux températures de :						
	35°C	45°C	55°C	75°C	105°C	125°C	200°C
au Maroc	8,1	8,42	10	12,7	15,64	19,31	24,12
en Indonésie	4,1	4,34	7,11	11,4	11,63	11,98	14,3
à Hong Kong	7,12	9,11	12	13,2	13,32	13,43	15,8
en Mauritanie	6,22	6,67	11,1	12,32	15,3	17	17,2

II.1.1.4. Indice de saponification

L'indice de saponification est par définition la quantité en milligramme de potasse nécessaire pour saponifier un gramme de corps gras. Pour un poids donné de triglycérides, la quantité de potasse nécessaire à la saponification augmente avec la diminution de longueur des chaînes d'acides gras.

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

La norme établie dans le *Codex Alimentarius de 1999* pour les huiles végétales raffinées est comprise entre 188-194 mg de KOH/g d'huile. Selon les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, l'huile « elio » à l'état frais a un indice de saponification de l'ordre de 192.583mg de KOH/g d'huile.

Partie expérimental

Durant les cycles de fritures, les résultats de l'indice de saponification des huiles de bain de friture prélevées des fastfoods inspectés dans la ville d'Azazga sont intégrés dans le *tableau XVI*.

Tableau XVI: Résultat de l'indice de saponification des trois prélèvements

Fastfoods n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne±écart- type
1	209,450±14,116	189,84± 0,463	199,953±0,854	199,747±9,806 ^a
2	191,686± 0,646	193,663± 2,292	190,623±0,332	191,990±1,542 ^{abc}
3	190,730± 7,442	189,193± 0,189	173,913± 5,600	184,612±9,297 ^{bc}
4	211,286± 3,279	190,216± 0,285	190,033± 0,232	197,178±12,217 ^{ab}
5	179,516± 14,844	199,813± 3,020	162,666± 14,872	180,665±18,600 ^c

En s'appuyant sur la valeur de l'huile fraîche, les valeurs de cet indice ont augmenté dans le cas des fastfoods n°1 et 4, tandis que pour les fastfoods n°2, 3 et 5, les valeurs ont diminué (*figure 9*).

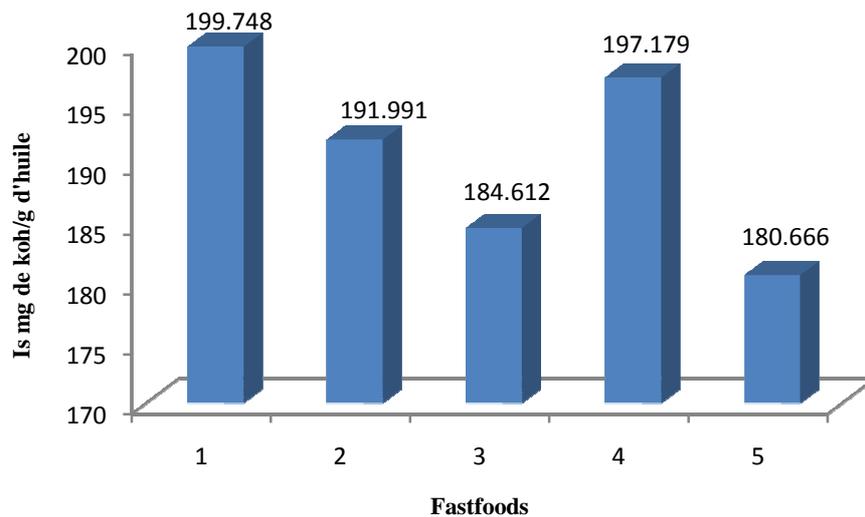


Figure 9: Valeurs moyennes de l'indice de saponification des huiles de bains prélevées des fastfoods.

BOURICHA et *CHERIEF* (2014) ayant travaillé sur la même marque d'huile (« elio »), ont remarqué une diminution de cet indice durant des essais de fritures menées au laboratoire dans une friteuse électrique. De même que *GUETTAR* et *HAMOUNI* (2015) ayant analysé « elio » à 180°C ; ils ont enregistré une diminution continue de cet indice à partir de la 1^{ère} et jusqu'à la 10^{ème} friture respectivement pour des valeurs de 216,452mg de KOH/g et 208,505mg de KOH/g.

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

Cependant, une augmentation de cet indice signifie rupture des chaînes d'acides gras, avec formation d'hydroperoxydes sous l'effet de la chaleur excessive ; ceci entraîne la libération de substances volatiles au cours du chauffage et accentue l'acidité des huiles des bains de fritures (*NJOUENKEU* et *NAGRASSOUM, 2002*), confirmant ainsi les résultats obtenus dans notre étude où la température de la friture dépasse largement 180°C.

L'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (*Annexe 22*) a donné une probabilité inférieure à 0.05, (p value=0,00603), ce qui signifie l'influence de ce facteur de façon très hautement significative sur l'indice de saponification. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% a fait apparaître cinq groupes homogènes (A, ABC, BC, AB et C) (*Annexe23*).

II.1.2. Analyses physiques

II.1.2.1. Taux des composés polaires totaux

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

L'Association Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) a rappelé dans un avis daté de juin 2005 qu'une teneur en composés polaires inférieure à 25% après chauffage est de nature à protéger la sécurité du consommateur et que le respect des bonnes pratiques d'utilisation des huiles en friture profonde est de nature à limiter l'apparition de composés chimiques indésirables .

Partie expérimental

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

Tableau XVII : Limites inférieure et supérieurs des CPT des huiles chauffées selon le guide d'emploi de l'appareil *Testo 270*

Couleur de l'alarme	Etat de l'huile	Valeur des TPM (Total Polar Materials)
Verte	Bonne qualité	Valeur TPM < Limite inférieure (20%)
Jaune	Limite d'utilisation d'huile	Valeur TPM entre les limites supérieure et inférieure
Rouge	Changement d'huile	Valeur TPM > Limite supérieure (25%)

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

Lorsque les conditions de fritures sont maîtrisées, les produits frits sont de bonne qualité gustative et les composés polaires totaux ne se forment qu'en très petites quantités tolérées par l'organisme vivant de l'homme (le consommateur) (*COMBE et ROSSIGNOL, 2010*).

La dénomination CPT concerne tous les produits formés lors du chauffage d'un CG. D'un point de vue chimique, les CPT regroupent les acides gras libres, les mono et diglycérides, les dimères et trimères de triglycérides (appelés polymères de triglycérides), ainsi que d'autres substances polaires oxydées (acides gras oxydés, triglycérides oxydés, etc.) (*BENHAMOU K, 2017*).

Selon (*BENHAMOU K, 2017*), les fractions principales des CPT sont les triglycérides oxydés (TGO) ; ces derniers sont les principaux produits de dégradation, suivis par les dimer

Partie expérimental

et polymères de triglycérides (DPTG) ; ils suivent la même tendance que celle des TPC: quantités plus élevées en friture et faible dans l'huile fraîche.

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

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

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

Les résultats des composés polaires des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods lors des trois prélèvements effectués sont intégrés dans le *tableau XVIII*

Tableau XVIII : résultat de CPT des trois prélèvements

Fastfoods n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne±écart- type
1	16,833±2,362	25,833± 0,763	18,5±1,322	20,388±4,788 ^b
2	20,660±0,288	18,000± 2,179	23,33±0,577	20,663±2,665 ^b
3	23,166±1,04	26,000±0,500	32± 1,322	27,055±4,510 ^a
4	15,833±0,577	23,330± 0,577	23,666± 0,577	20,943±4,428 ^b
5	24,160± 0,763	17,166± 0,288	32,5± 0,5	24,608±7,676 ^{ab}

Dans notre étude, le CPT des échantillons sont déterminés a une température comprise entre 40-70°C.

Selon les résultats portés dans ce tableau, on remarque que la totalité des huiles des bains de fritures ont un taux de composés polaires inférieur à la limite maximale, sauf le 3^{ème} qui marque une valeur supérieure qui est de 27,055%, mais reste inférieure à celle trouvé par *BENHAMOU* qui a noté une valeur maximale de 32,83%. Ce résultat confirme ceux de

l'analyse chimique montrant une moindre altération des bains de friture des fastfoods d'Azazga par rapport à ceux d'Azeffoune.

Les valeurs des composés polaires sont comprises entre 20,388 et 27,055. La majorité des fastfoods, soit 80% ont un taux de composés polaire inférieur à la norme fixée par l'AFSSA en 2005. Seulement 20% des fastfoods ont des valeurs supérieures à la norme (figure 10).

L'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (Annexe 22) a donné une probabilité inférieure à 0.05, (p value=0,00907), ce qui signifie l'existence d'une différence très hautement entre les fastfoods pour le TCP. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% a fait apparaitre trois groupes homogènes (A, AB et B) (Annexe23).

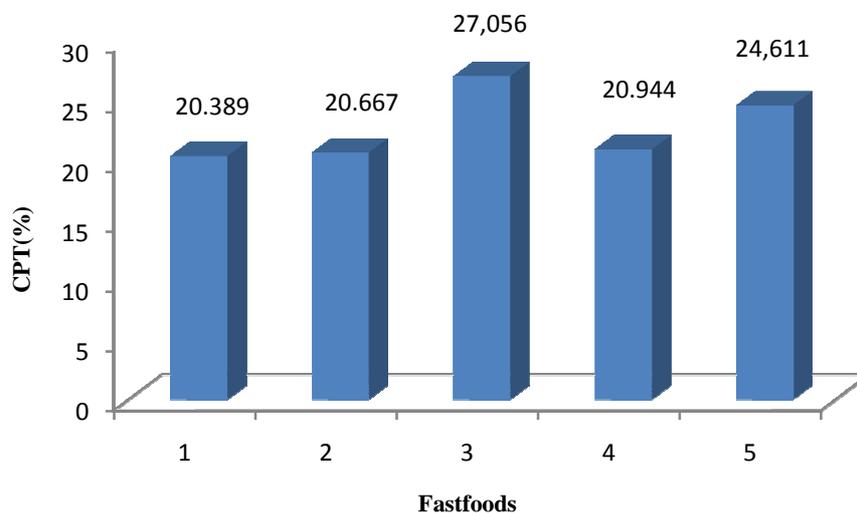


Figure 10: Valeurs moyennes de CPT des huiles de bains prélevées des fastfoods.

Ainsi, en s'appuyant sur les normes établies et sur les recommandations de *GUILLÈNE et URIARTE (2011)*, l'utilisation de l'huile du bain de friture dans le fastfood n°3 ayant enregistré un seuil de 27% s'avère dangereuse pour le consommateur. Comme ces prélèvements ont été effectués l'après-midi, le bain de fritures du fastfood n°3 doit être renouvelé pour préparer des frites dans la mesure où l'huile prélevée a un taux de CPT supérieur à la limite maximale tolérée, soit 25%. De même pour, le fastfood n°5 où un taux de composés polaires totaux proche du seuil critique a été noté. Le nombre de fritures à préparer avec ce bain doit être limité.

En effet, selon les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, mais dans des conditions optimales de fritures, les taux de CPT augmente avec l'augmentation du nombre de

fritures ; ces composés néoformés s'accumulent rapidement dans des conditions sévères de friture régnant dans les fastfoods.

IGHIL (2016) ont remarqué une augmentation continue du taux de CPT, en passant de 6% à la 1^{ère} friture jusqu'à un taux de 10% à la 20^{ème} friture, et ce dans des conditions idéales de fritures. Cette augmentation est similaire à celle trouvée par *LOUNI (2016)* en utilisant la même marque d'huile « elio » ; les valeurs ont augmenté de 8% à la 1^{ère} friture jusqu'à 11% à la 20^{ème} friture.

Ainsi, et contrairement aux huiles de bains de fritures issues des fastfoods, ces huiles pourraient être réutilisées dans la préparation d'autres frites. Dans ces conditions, la durée de la cuisson n'a pas dépassé 4 minutes, ce qui explique les faibles taux de CPT enregistrés. Ainsi, l'utilisation d'une friteuse électrique et la reproduction des mêmes conditions de laboratoire permet une plus longue durée de validité de l'huile « elio » au-delà des dix fritures recommandées et indiquées sur l'emballage de cette huile.

Une surutilisation de l'huile pendant la friture induit la formation et l'accumulation de l'acroléine dans les frites préparées. Cette dernière est un aldéhyde ($H_2C=CH-CHO$) extrêmement toxique par inhalation et ingestion. La chaleur rompt les liaisons s'établissant entre les AG à longues chaînes et la molécule de glycérol ; cette dernière perd deux molécules d'eau, ce qui forme l'acroléine.

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

Par ailleurs, les hydroperoxydes formés à partir des AGPI sont rapidement, soit scindés en molécules volatiles (aldéhydes, hydrocarbures), soit remaniés sous forme d'acides oxydés porteurs d'une ou plusieurs fonctions hydroxyle ($-OH$), cétone ($=O$) ou époxyde ($-O-$). Sous l'effet de la chaleur, ces acides oxydés peuvent eux-mêmes, se dimériser, voire se polymériser pour conduire à des glycérides à la fois plus polaires et à plus haut poids moléculaire que les triglycérides natifs de l'huile. En parallèle, les acides gras insaturés oxydés ou non, peuvent aussi se polymériser, plus rarement se couper ou se cycliser ; les

doubles liaisons peuvent se déplacer ou se modifier pour former une autre catégorie de composés nouveaux, en l'occurrence les acides gras conjugués ou *trans* (COMBE, *et al*, 2010).

Ainsi, des acides gras *trans* se forment pendant le chauffage des huiles. Néanmoins, leur formation nécessite des conditions de chauffage drastiques. En effet, il a été rapporté qu'après 20 cycles de friture de chips de pomme de terre, réalisés dans des conditions ménagères à 180°C, les huiles testées ne présentaient qu'une légère dégradation sans pour autant dépasser les normes établies. En effet, la formation de benzopyrène n'a pas été détectée et aucune augmentation significative des acides gras *trans* n'a été signalée dans ces conditions (BENHAMOU, 2017).

Pour chaque huile, il existe une température critique appelée point de fumée ou point de craquage au-dessus de laquelle l'huile ne doit être chauffée. Quand l'huile atteint sa température critique, ses constituants se dégradent, forment des composés toxiques et l'huile fume tout en dégageant une odeur âcre. C'est la raison pour laquelle une huile qui fume ou qui mousse doit être jetée.

Durant le chauffage, les AGPI des CG, très sensibles, se dénaturent en se transformant partiellement en substances indigestes et cancérigènes. En effet, lors de la cuisson à une température trop élevée, il se produit un « thermocraquage » dégradant ces huiles en composés toxiques, tels que l'acroléine et certains « goudrons », ce qui rend les aliments préparés indigestes et nocifs pour l'organisme (BENHAMOU, 2017).

II.1.2.2. L'humidité

Selon les travaux antérieurs menés dans notre laboratoire, l'huile raffinée « elio » à l'état frais à un taux d'humidité de 0.02%. Cette eau se forme essentiellement lors de l'étape de la désodorisation industrielle du processus de raffinage.

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

Tableau XIX: Résultat de l'humidité des trois prélèvements

Fastfood n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne± écart- type
1	0,079 ± 0,009	0,263 ± 0,032	0,083 ± 0,010	0,141±0,105 ^b
2	0,143 ± 0,040	0,173 ± 0,015	0,117 ± 0,045	0,144±0,028 ^b
3	0,286 ± 0,015	0,316 ± 0,037	0,266± 0,061	0,29±0,025 ^a
4	0,086± 0,009	0,180 ± 0,026	0,140 ± 0,036	0,136±0,047 ^b
5	0,290± 0,045	0,081 ± 0,006	0,333 ± 0,015	0,234±0,134 ^a

D'après le tableau, les résultats de la moyenne montrent une augmentation de l'humidité pour tous les fastfoods par rapport à l'huile à état frais.

Les valeurs obtenues sont comprises entre 0,136% pour le fastfood n° 4 et 0,29% pour le fastfood n°3. Ce résultat confirme les valeurs des autres indices pour ce fastfood n°3 ; la forte humidification des huiles de bain de friture de ce fastfood (*figure 11*) indique un stade d'altération avancé des échantillons d'huile prélevé.

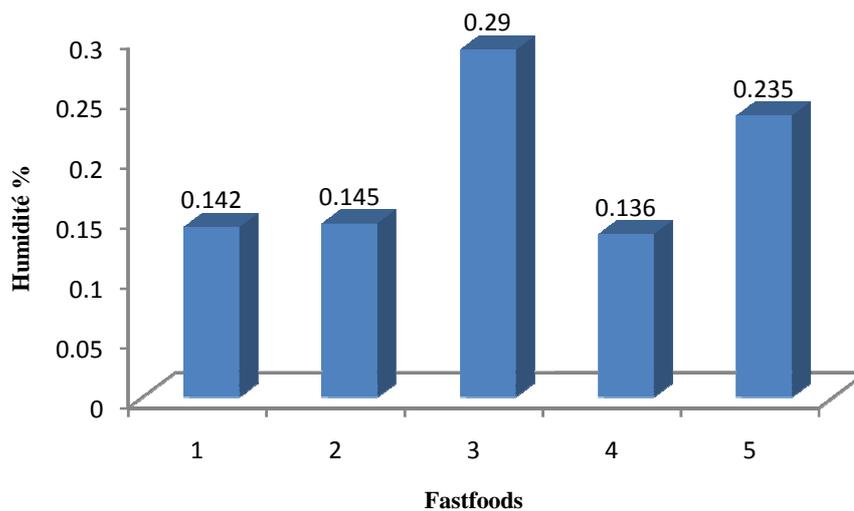


Figure 11: Valeurs moyennes de l'humidité des huiles de baigns prélevées des fastfoods.

L'analyse de la variance à un seul facteur (fastfood) (*Annexe 8*) a montré une probabilité inférieure à 0.05, (p value=0,00012), ce qui signifie son influence d'une façon très

Partie expérimental

hautement significative sur le taux d'humidité. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% fait apparaître deux groupes homogènes (A et B) (*Annexe 9*).

Ces valeurs sont nettement plus élevées que celles trouvées lors des essais de fritures menées dans des conditions optimales de fritures. *BELAIDI et BERKANI (2015)* ont noté un maximum de 0,099% à la 20^{ème} friture.

L'humidification accrue de l'huile des bains de fritures analysées pourrait être due à la formation d'eau et des matières volatiles au cours des réactions thermo-oxydatives se produisant lors du processus de friture, généralement supérieur à 180°C dans les fastfoods. En effet, l'eau et le CO₂ constituent les produits terminaux de la décomposition des hydroperoxydes.

Par ailleurs, un mauvais égouttage des bâtonnets des frites avant leur introduction dans la friteuse pourrait contribuer grandement à l'augmentation de l'humidité des huiles de bains de fritures prélevés des fastfoods.

II.1.2.3. La densité

La densité moyenne de l'huile raffinée fraîche de marque « elio » commercialisée est de 0,907 ; elle est inférieure à la limite minimale de la norme du *Codex alimentarius (1999)*, établie entre 0,919 et 0,925. La détermination de la densité d'une huile permet de connaître le degré de sa pureté. Ce critère physique est en fonction de la composition chimique de cette huile et de sa température (*KARLESKIND, 1992*).

Les résultats de la densité des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods d'Azazga sont intégrés dans le (*tableau XX*).

Tableau XX: Résultat de la densité des échantillons d'huiles de bains de fritures (n = 3)

Fastfoods n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne± écart- type
1	0,966±0,011	1,005 ± 0,015	0,98 ±0,017	0,983±0,019 ^a
2	0,980±0,010	0,976 ± 0,015	0,992 ±0,013	0,982±0,008 ^a
3	0,996±0,011	1,011 ± 0,025	1,02± 0,01	1,009±0,012 ^a
4	0,953±0,005	0,996± 0,011	0,997 ± 0,006	0,982±0,025 ^a
5	1,006±0,015	0,976 ± 0,005	1,036 ± 0,015	1,006±0,030 ^a

Les densités des échantillons d'huiles de bain de friture collectés dans les différents fastfoods ont été déterminées à une température de 20°C. Il ressort clairement de ces résultats une augmentation de la densité des huiles de baigns de fritures par rapport à la densité de l'huile à l'état frais. Ces valeurs oscillent entre un minimum de 0,982 pour le fastfood n°2 et un maximum de 1,009 pour le fastfood n°3 (figure 12), même si l'analyse statistique n'a pas montré de différences significatives.

En effet, l'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (Annexe 10) a montré une probabilité inférieure à 0.05, (p value=0,0118), ce qui signifie son influence d'une façon significative pour ce facteur. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% a fait apparaitre un seul groupe homogène (A) (Annexe11).

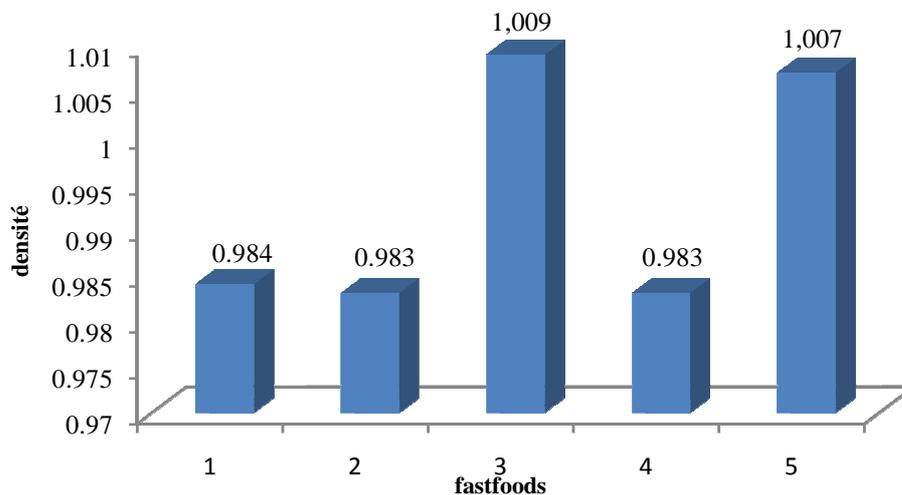


Figure 12: Valeurs moyennes de la densité des huiles de baigns prélevées des fastfoods.

Ainsi, un grand écart entre les différents fastfoods en matière de densité des échantillons prélevés a été enregistré. Les valeurs trouvées dans notre étude sont proches de celles notées par *BENHAMOU (2017)* sur des huiles de baigns de fritures prélevées de fastfoods d'Azeffoune, pour lesquels les densités sont comprises entre 0,919 et 1,021.

Dans des conditions idéales de fritures (réalisées au laboratoire), *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ont enregistré une densité maximale de 0.944 à la 20^{ème} friture, menée avec la même marque d'huile (elio).

Selon *EL-CHAMI et al. (1992)*, l'évolution de cet indice est due principalement à la polymérisation thermique et à la formation de composés de haut poids moléculaire (polymères).

Il a été admis que 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*).

Ainsi, l'augmentation de la densité des huiles de bains de fritures analysées dans notre étude, semble en être logique du fait du déroulement de nombreuses réactions de détérioration catalysées par la température appliquée, l'humidité de la pomme de terre et de la diffusion de l'oxygène de l'air ambiant. En effet, à haute température, la polymérisation est la réaction majeure se produisant durant la friture, ce qui augmente la viscosité des huiles de bains de fritures.

II.1.2.4. La viscosité

La viscosité d'une huile est sa résistance à son écoulement. La mesure de la viscosité pourrait être un bon test pour apprécier l'état d'altération des corps gras (*PERRIN, 1992*). Selon *POUZET (1992)*, les valeurs de la viscosité des huiles fraîches doivent être comprises entre 53 et 58 C.Po.

Dans notre étude, la viscosité des échantillons des huiles de bain de friture collectés dans les différents fastfoods ont été déterminées à une température de 20°C.

L'huile « elio » a une viscosité moyenne de 36,14 C.Po; cette valeur est obtenue en utilisant les moyennes calculées et portées dans les mémoires soutenus dans notre département.

Au cours des fritures, l'augmentation de la viscosité peut atteindre 20 à 70% de la valeur initiale selon le type d'huile utilisée (*PERRIN, 1992*). Les résultats de la viscosité des huiles de bain de friture prélevés des fastfoods sont intégrés dans le (tableau XXI).

Tableau XXI: Résultats de la viscosité moyenne des bains de fritures prélevés.

Fastfoods n°	Prélèvement 1 (09/04/2018)	Prélèvement 2 (24/04/2018)	Prélèvement 3 (09/05/2018)	Moyenne± écart- type
1	49,71±1,158	61,57± 0,529	50,08±0,268	53,786±6,743 ^b
2	50,82±0,500	51,85± 0,125	58,24±0,255	53,636±4,019 ^a
3	61,79±0,210	61,85± 0,132	66,03± 0,517	63,223±2,430 ^b
4	49,25±0,551	51,96± 0,281	58,92± 0,285	53,376±4,988 ^b
5	51,91±0,883	49,006± 0,300	67,3± 0,287	56,072±9,831 ^b

Les valeurs de la viscosité des huiles des bains de fritures prélevés des fastfoods sont comprises entre un minimum de 53,376 C.Po et un maximum de 63,223 C.Po pour les fastfoods n°4 et n° 3. Ce résultat confirme l'état d'altération de l'huile de bain de friture du fastfood n°3 par rapport à ceux des autres fastfoods.

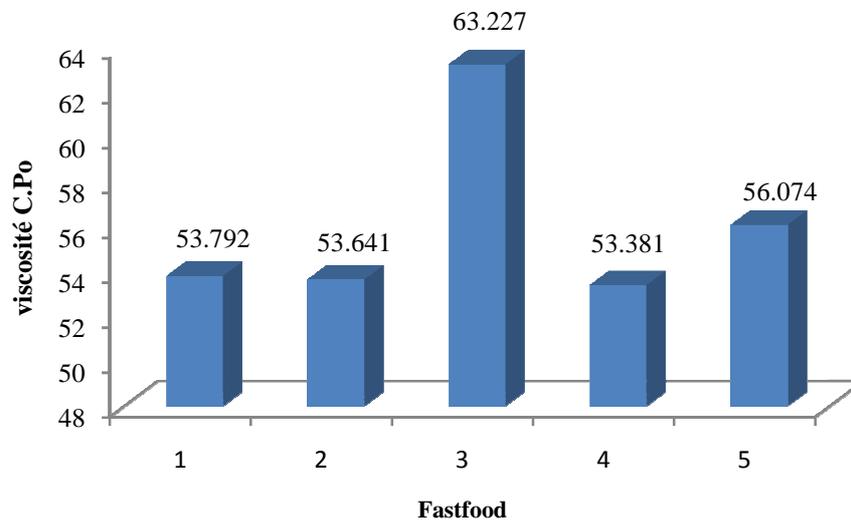


Figure 13: Valeurs moyennes de la viscosité des huiles de bains prélevées des fastfoods.

L'analyse de la variance à un facteur (fastfood) (*Annexe 12*) montre une probabilité inférieure à 0.05, (p value=0,00136), ce qui signifie son influence d'une façon très hautement significative sur la viscosité. Le test de *NEWMAN-KEULS* au seuil de signification de 5% a fait apparaitre deux groupes homogènes (A et B) (*Annexe 13*).

Partie expérimental

En comparant nos résultats à ceux obtenus dans des conditions idéales de fritures menées dans notre département, les valeurs obtenues dans notre étude sont nettement supérieures à celles obtenues par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* sur la même marque d'huile (elio) ; ces derniers ont noté une valeur maximale de 48.469 C.Po après 15 cycles de fritures.

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) ; l'augmentation de la viscosité confère à l'huile une consistance sirupeuse.

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)*.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'objectif central de la présente étude est de vérifier la conformité des fastfoods de la ville d'Azazga en termes de friture de pomme de terre. A cet effet, quelques établissements ont été choisis selon les quatre points cardinaux (nord, sud, est et ouest) plus le centre. Des échantillons d'huiles de bains de fritures ont été prélevés aléatoirement, puis analysés sur le plan physico-chimique.

Il ressort de cette étude que 73,33% des huiles de bains de fritures récupérées ont un taux de composés polaires totaux (CPT) conforme ; les taux enregistrés sont inférieurs à la limite maximale fixée par l'association française AFSSA *en* (2005). La détermination du taux de CPT est considérée comme une méthode fiable pour juger la qualité de l'huile usagée.

Ainsi, quatre fastfoods sur cinq de cette ville respectent les conditions de friture et par conséquent offrent des aliments frits sains. Seulement un fastfood (le n°3) a enregistré des valeurs élevées. Les huiles de bains de fritures prélevées de ce restaurant sont, d'ailleurs, caractérisés par une forte acidité, une valeur d'indice d'iode la plus faible et un indice de peroxyde le plus élevé, confirmant ainsi les valeurs des CPT, et aussi l'absence d'hygiène pour le personnel ainsi que le milieu des fastfoods.

Enfin, il n'en demeure pas moins que des efforts doivent encore être fournis pour une bonne maîtrise des conditions de préparation des aliments destinés aux consommateurs.

Recommandations

et

perspectives

Recommandations et perspectives

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

La température programmée de la friteuse ne doit pas dépasser les 180°C et devrait être de préférence entre 160 et 170°C. Des températures plus hautes provoquent une dégradation plus rapide de l'huile accélèrent la formation des acrylamides dans les frites préparées.

Afin de ne pas avoir un impact négatif sur le résultat de la friture, la quantité des produits à frire devrait être adaptée au volume d'huile pour éviter que la température ne baisse pas trop et brutalement lors de la friture. Et aussi nombre de friture effectué influe sur la qualité d'huile.

Après la friture, l'huile devrait être filtrée afin de retirer les particules ainsi qu'une partie de l'huile dégradée et l'eau fixée sur ces particules.

La surface de l'huile devrait être couverte pendant la non-utilisation de la friteuse, afin de protéger l'huile de l'oxygène, la lumière, la poussière et l'eau. Ceci empêche une dégradation supplémentaire de l'huile par l'oxydation et la photo-oxydation.

Nous suggérons que ce travail, mérite d'être approfondi afin de sensibiliser le personnel et les consommateurs pour protéger la santé publique.

*Références
bibliographique*

Références bibliographiques

ADRIAN J., DAN VILLIER P. et POTUS J. (1998). Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Ed. Tec & Doc. Lavoisier, Paris, p.47-171.

AFNOR- NFT60-21.

AISSI MV. (2011) Effet des prétraitements post-récolte des amandes de *Pentadesma butyracea* (Sabine) sur la technologie d'extraction en milieu réel et la qualité du beurre. *Oleagineux Corps Gras Lipides*. 6, p 384-392.

ALADEDUNYE F A., PRZYBYLSKI R., AM., J. (2009). *Oil Chem. Soc.*, 86, 149.

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

ALEXANDER, J. C.; VALLI, V. E.; CHANIN, R. E. (1987). Biological observations from feeding heated corn oil and heated peanut oil to rats. *J. Toxicol. Environ. Health*, 21, 295-309.

ALLEN JC ET HAMILTON RJ. (1999) Rancidity in foods. 3rd ed. Aspen publishers, Inc New York, USA. P.1-26. ISBN: 0-8342-1287-0.

ANGELIQUE V., CLAUDE G. (2006) Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation

ANONYME 11, (1995). Principe de fermat indice de réfraction. JP. Maratrey -

ANONYME, 6 (1996). La biologie du *Glycine max* (L.) Mer. (soja). Cahier parallèle à la Directive 94-08. Critères d'évaluation du risque environnemental associé aux végétaux à caractères nouveaux: 4-5.

BAILEYS. (2005) Industrial oil and fat products. Sixth edition. Six VolumeSet. Edited by Fereidoon Shahidi. Copyright, John Wiley & Sons, Inc: 243-282.

BENASSI J-L., LABONNE M. (2004) Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 11, Numéro 2, 92-6, MARS/AVRIL.

BENHAMOU K. (2017) Evaluation de la qualite des huiles de bains de fritures des fastfoods de la ville d'azeffoune, diplôme de master en Agronomie à l'UMMTO. p 34-37.

BERSET C ET CUVELIER ME. (1996) Méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipides.

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.

Références bibliographiques

BOUCHON P. (2009) Understanding Oil Absorption During Deep-Fat Frying, *Advances in Food and Nutrition Research*, Volume 37, Chapter 5, pp. 209-234.

BOUTAYEB A. (2013) Etude bibliographique sur les huiles essentielles et végétales Université Ibn Tofail.

CARRE P., DARTENUC C., EVRARD J., JUDE A., LABALETTE F., RAOUX R, ET AL. (06- 10 JULY. 2003) Frying stability of rapeseed oils with modified fatty acid compositions. 11th International Rapeseed Congress, Copenhagen, 2:540-3

CHEFTEL J C ET CHEFTEL H. (1986) Graisses et huiles. In : introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Tome 1. Paris : Tec & Doc : Lavoisier. ISBN : 2-85206-071-x. p 381.

CHIKHOUNE A. (2007) Huiles essentielles de Thym et d'origan : Etude de la composition chimique et de l'activité antioxydante et antimicrobienne. Thèse de magister : Alger : Institut

CLARK W. T. AND SERBIA G. W. (1991) Safety Aspects of Frying Fats and Oils. *Food Technol.*, 45: 84-89, 94.

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

CODEX ALIMENTARIUS. (1999). norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. fao/oms, rome, p.41.

CODEX STAN 19. (1999) Norme codex pour les graisses et les huiles comestibles non visées par des normes individuelles CODEX STAN 19-1981 (rév. 2- 1999). 1-5. consultée en Avril 2018).

COMBE, N. ET A. ROSSIGNOL-CASTERA. (2010). Huiles végétales et friture. Cahiers de

COSSUT E. A. (2002) Les Corps Gras: Entre Tradition et Modernité.

COSSUT J., DEFRENNE B., DESMEDT C., FERROUL S., GARNET S., ROELSTRAETE L., VANUXEEM M. ET VIDAL D. (2002) Les Corps Gras: Entre Tradition et Modernité. Gestion de la Qualité Nutritionnelle et Marketing des Produits Alimentaires. pp: 2 1-64.

csic.

Références bibliographiques

CUSTOT F. (1960). Quelques problèmes posés par le chauffage des graisses alimentaires. Le cas des fritures. *Acta. Chim. Hung.*, 23: 203-225.

DAVID P. (1970) Chemical analysis of foods. 6th Edition. MSC. Lond.A. Churchill. London. 514- 515.

DEBRUYNE. (2001) Transformation et aspect industriels : technique de l'ingénieur, traité agroalimentaire. des lipides en émulsions. Oléagineux, Corps Gras, Lipides. P 2-3.

DELAGOUTTE, CHRISTIAN. (2007). « Huiles de friture et dangers », La Cuisine Collective, no 205, p. 58-60.

DEYMIE B., MULTON J., SIMON D. (1981). Analyse et contrôle dans les industries agroalimentaires. Ed. Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Paris : Technique et documentation ; APRIA.

DOBARGANES C ET MARQUEZ-RUIZ G. (2003). Current Opinoin Clinical Nutrition & Metabolic Care, 6, 157 et de mesure du pouvoir antioxydant. *Sci. Aliments*. Vol. 16, p 219-245.

EL- SHAMI S. M., ZAKI SELEM I., EL- ANMAR I.M. et EL-MALLAH H. (1992). Dielectric properties for monitoring the quality of heated oil. *J.A.O.C.S.*

EVARD J., PAGES-XATARD-PARES X., ARGENSON C., MORIN O. (2007) Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cah Nutr Diét*;42: 1S13-1S23.

EYMARD S. (2003) Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*) : Choix des procédés. Thèse de doctorat : Nantes : Université de nantes : Ecole Doctorale Mécanique, Thermique et Génie Civil ; Laboratoire : IFREMER. p 126.

FAO. (avril 2018) « Perspectives alimentaires, les marchés en bref », juin 2013

FAOSTAT. (2013) World food and agriculture, FAO Statistical yearbook Part 1. The setting measures the state of the agricultural resource base by assessing the supply of land labour, capital and inputs, and examining the pressure on the world food system stemming from demographic and macroeconomic change.

FIRESTONE D. (December 1993) Worldwide regulation of frying fats and oils, *Journal of Food Engineering*, UD. Food and Drug Administration, Washington, INFORM. Vol. 4. 00.12.

Références bibliographiques

FRANÇOIS R. (1974) Les industries des corps gras : Biochimie, Extraction ; Raffinage et nuisance et réglementation. Ed. Lavoisier. Paris.

FRITSCH C.V., AM J. (1981) Oil Chem. Soc., 58, 272.

GERMAN J.B., KINSELLA J.E. (1985) Lipid oxidation in fish tissue. enzymatic initiation via lipoxygenase. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 33 680-683.

GERTZ C. (2008). Optimum deep frying, from the Food Industries Association of Austria, F.I.A.A. from June. pp: 125 – 135.

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

GERTZ C., KLOSTERMANN S., KOCHHAR S.P., EUR. J. (2000) Lipid Sci. Techn., 102, 543.

GRAILLE J. (2003) "Lipides et corps gras alimentaires," Editions Tec & Doc.

GRAY J.I. (1978) Measurement of lipid oxidation: a review. Journal of the American Oil Chemists Society 55 539-545.

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

GUPTA M.K. (2005). frying oils. bailey's industrial oil and fat products. 6^{ème} édition. john wiley & sons, inc. pp : 1 – 23.

HAMILTON R.J. (1994) The chemistry of rancidity in foods. In: Allen JC,Hamilton, R.J, editors. Rancidity in foods. 3rd ed. London: Blackie Academic & Professional. 1–2.

<http://www.fao.org/docrep/018/al999f/al999f.pdf>.

<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>.

INNAWONG B., MALLIKARJUNAN P AND MARCY J.E. (2004) The Determination of Frying Oil Quality Using a Chemosensory System. Lebensm Wiss u Technol., 37: 35-41.

IPEMED J-L RASTOIN. (2015) La filière des oléoprotéagineux en Algérie. Caractérisation de la filière.

JOAQUIN V., CARMEN D. (2002) Oxidative stability of virgin olive oil Eur. J. Lipid Sci. Technol. (104). p 661–676.

Références bibliographiques

- JUAN R. RODRIGUEZ G. (1999)** raffinage physique .Institut de la grasas y aceites
- JUDDE A. (2004)** Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications ?
- KARLESKIND A. (1992)** Manuel des corps gras, Tome2. Éd tec et doc, Lavoisier. Paris.
- KOCHHAR S P. (2001).** The composition of frying oils. In: Frying –Improving Quality. Ed. J. B. Rossell, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge (UK).
- KPROVIESSI 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.
- KRISTOTT J. (2003)** High-oleic oils – how good are they for frying? Lipid Technology;3:29-32.
- LAGUERRE M. (2007)** Evaluation of the stability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges.Progress in Lipid Research,p244-282.
- LAMBERT, J. (2005)** Les huiles végétales:2000 plantes oléagineuses répertoriées, institut français des huiles végétales pures, p.17.
- LAMBONI C, KÉTÉVI A., AWAGA K., DOH A. (2000).** A Study of Heated vegetable oils used by street vendor in Frying Foods in Lome, Togo. In *Bulletin d'informations de la SOACHIM*, 2: 1-5.
- LE FLOCH E., ACKER P., RAMEL P., LANTEAUME M. T., LE CLERC A. M. (1968).** les effets d'un chauffage de type culinaire sur les principaux corps gras alimentaires. ses incidences physiologiques et nutritionnelles. *ann.nut. alim.*, 22: 249-265.
- M'BAYE B. K., ALOUEMINE S. O., LO B. B., BASSENE E. (2012).** Etude de l'effet de la temperature sur les huiles alimentaires en mauritanie : dosage des indices de peroxyde *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 19: 26 – 33.
- MARC F. (2004)** Méthodes réévaluation du potentiel antioxydant dans les aliments.
- MARTY G. (2005)** Les huiles végétales pures. p 18/93.
- MASSON L. ROBERT P. LGOURIETA M. ROMERO N. ET ORTIZ. (1999).** Fat deterioration in deep fat frying of « French fries » potatoes at restaurant. Food shop sector, 460-468.

Références bibliographiques

- MATALLAH MED ASSAD ALLAH. (2006)** Marché mondial des oléagineux. Institut National Agronomique (INA) Alger – Magistère. Médecine/Science.20 : p458-463.
- MERRIEN A. (1992)** Tournesol In: “Manuel des corps gras”. Tom 1.éd. Tec et Doc, Lavoisier,
- MILLER L.A. ET WHITE P.J. (1988).** high temperature stabilities of low linolenate, high stearate and common soybean oils. *j.a.o.c.s.* vol 8, p.1324-1326.
- MONOJ K., GUPTA., WARNER K., PAMELA J. (2004)** White. Frying technology and practices. Ed AOCS press.
- MORDRET F. (1992).** Analyse des corps gras. In : Manuel des corps gras. Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, p.1147-1182.
- MOREIRA R.G., SUN X., AND CHEN Y. (1997)** Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *J. Food Eng.* 31: 485-498.
- MULTON JL. (2002)** Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires.
National Agronomique. p.28.
- NAWAR W.W. (1996)** Lipids. In: Fennema, O.R. (Ed.) *Food Chemistry.* (3th edition). Marcel Dekker. Inc. New York. USA. 225-319.0.
- NAZ S., SIDDIQI R., SHEIKH H., SAYEED S.A. (2005)** Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. *Food Research International.* 38: 127–134.
- NJOUENKEU R. et NAGRASSOUM M. (2002).** Etude comparative de la valeur en friture de quelques huiles végétales (comprative study of fring behaviour of som vegetable oils). *Jurnal of Food engineering,* (121), pp : 211 – 125. *Nutrition et de Diététique* 45(6), 44-51. OCL, p 414-418. *Oil and Fat Products,* p. 357-386. Octobre (2011) PDF. pp : 1-7.
- OLLE M. (1998).** Les huiles de fritures : état de situation et aspects réglementaire. OCL. Vol 5, pp : 55-57.
- OLLE M. (2002).** Analyse des corps gras. Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes. Laboratoire interrégional de Montpellier. *Techniques d'ingénieur. Traité analyse et caractérisation.* pp : 2-15. Paris.116-123.

Références bibliographiques

PERKINS E.G. (2006) Volatile odor and flavor components formed in deep frying. In: Erickson, M.D. (Ed.) Deep Frying; Chemistry, Nutrition and Practical Applications. AOCS Press, Urbana, IL. 51-56.

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

PERRIN J.L. (1992). Evolution des corps gras au cours de leur utilisation alimentaire. In : Manuel des corps gras. Tome 1. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 1015-1031.

PILLET F. (2015) La petite bible des huiles végétales, p 12.

PISTOR. (2013) Huiles et graisses, La brochure complète, www.pistor.ch/graisse.

POUZET A. (1992) *Raffinage des corps gras*. In manuel des corps gras tom I. Ed

RAHMANI M. (2007) Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II Département des sciences Alimentaires et Nutritionnelles : les techniques de laboratoire, 2 : p 18-20

RASTOIN J. L., BENABDERRAZIK E. H. (2014) Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb. Pour un co-développement de filières territorialisées, construire la méditerranée. Division de la statistique 2013/21 août 2013 Algérie. Paris : IPEMED-Institut de Prospective Economique du monde Méditerranéen, pp 23-33.

RASTOIN J. L., BENABDERRAZIK E. H. (2014) Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb. Pour un co-développement de filières territorialisées, construire la méditerranée. Division de la statistique 2013/21 août 2013. Algérie. Paris : IPEMED-Institut de Prospective Economique du monde Méditerranéen, pp 23-33.

RIAHI J ET MARZOUK B. (2000). Effects of light on some vegetal oils quality and stability. Preliminary note. Rivista Italiana delle Sostanze Grasse, 77: p 25-30.

RIMAC-BRNCIC S., LELAS V., RADE D., SIMUNDIC B. (2004) Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. J Food Eng; 64: 237-41.

ROGIS F. (2002) Huile de tournesol, [en ligne]. (<http://www.prolea.com/tournesol.htm>).

ROLLAND Y. (2004) Antioxydants naturels végétaux. OCl. p.419-424. <http://www.burgundyextracts.com>.

Références bibliographiques

ROMAN O. (2013) Mesure et prédiction de la réactivité des lipides au cours du chauffage d'huiles végétale a haute température. Thèse de doctorat. PariTech. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement.

ROSSELL J.B. (2001) frying, improving quality. boca raton, fl : *crc press*, p 369.

SADOUDI R., AMMOUCHE A. ET ALI AHMED D. (2014). thermal oxidative alteration of sunflower oil. edition: international journal of food and nutrition sciences vol. 1(1). pp : 02 – 07.

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), p.654-658.

SERVICE DE LA PROTECTION DE LA CONSOMMATION. (2002) Les huiles de friture. Département de l'Action Sociale et de la Santé GENÈVE. P1-4.

SHAHIDI F ET ZHONG Y. (2005) Lipid oxydation: measurement methods. Bailey's Industrial.

TABEE E., AZADMARD-DIMIRCHI S., JAGERSTAD M., DUTTA P.C., AM J. (2008) Oil Chem. Soc., 85, 857 tec & doc. Paris : Lavoisier. 781 P

TREMOLEIRES J. (1980) Manuel d'alimentation humaine. Tome 1 : les bases d'alimentation Ed : *E.S.F. Paris. P 553.*

TSENG Y-C., MOREIRA RG, SUN X. (1996) Total frying use time effects on soybean oil deterioration and on tortilla chip quality. Intl J Food Sci Technol 31:287– 94.

TYAGI V. K. AND VASISHTHA A. K. (1996) Changes in the Characteristics and Composition of Oils during Deep-fat frying. J. Amer. Oil Chem. Soc., 73: 499-506.

TYAGI V. K., AND VASISHTHA A. K. (1996) Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying Journal of the American Oil Chemists' Society 73 (4): 499-506.

USDA. (Avril 2018) Oilseeds: World Market and Trade, agritrade le commerce ACP analysé et décrypté. mars 2013., « World Agricultural Supply and Demand Estimates Report (WASDE) » <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>

UZZAN F., LOURY M. (1958). Les matières grasses destinées aux produits de boulangerie. *Revue française corps gras*, 5(233): 206.

Références bibliographiques

VANESSA P. (2015). Développement d'antioxydants pour les huiles de friture et contribution à l'étude du mécanisme de formation des monomères cycliques à partir d'acides gras omega-3. Mémoire, Maîtrise en sciences et technologie des aliments, Université Laval Québec, Canada.

VILLIER A., GENOT C. (2006) Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsions. France (4). p 1-7.

VINAIXA M., VERGARA A., DURAN C., LLOBET C., BADIA C., BREZMES J., VILANOVA X. et CORREIG X. (2005). Fast detection of rancidity in potato crisps using e-noses based on mass spectrometry or gas sensors. *Sensors and Actuators*, (106), pp : 67 – 75.

WAGNER K. H ET ELMADFA I. (2000) Effects of tocopherols and their mixtures on the oxidative stability of olive oil and linseed oil under heating. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 102: 624-629 &

WAGNER K. H., WOTRUBA, F AND ELMADFA, I. (2001) Antioxidative potential of tocotrienols and tocopherols in coconut fat at different oxidation temperatures. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 103: 746-751.

WARNER K. (2002) Chemistry of frying fats. In: Akoh CC and Min D.B. (eds), *Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology*. New York: Marcel Dekker, pp. 167-18

WARNER K. (2004) Chemical and physical reactions in oil during frying. *Frying Technology and Practice* 2:16-28.

WHITE P. J. (1991) Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. *Food Technol.*, 45, 75–79.

WOLFF. (1968) Manuel d'analyse des corps gras. Ed. Azoulay, Paris.

www.fao.org/publications.

ZIAIIFAR A.M. (2008) Oil absorption during deep-fat frying: mechanisms and important factors, *Industries des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech)*, Thèse doctorale, 155 pages.

Annexes

Annexes

I. Indices chimiques

Annexe 01 : Détermination de l'acidité

Matériel

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

Réactifs

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

Mode opératoire

- Dissoudre une prise d'essai (10g) dans 50ml 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 02: Détermination de l'indice d'iode (AFNOR NFT 60-203)

Matériel

- Erlenmeyers (ou ballons à fond plat)
- Béchers
- Balance analytique
- Pipettes
- Agitateur magnétique
- Burette

Annexes

Réactifs

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

Mode opératoire

- Peser 0,2g d'huile ;
- Ajouter 10 ml d'éthanol, puis 10 ml d'iode alcoolique (0.2N), après 30 ml d'eau distillée ;
- Agiter vigoureusement pendant 5 min et placer à l'abri de lumière pendant 30 min (environ) ;
- Titrer avec le thiosulfate de sodium (0.1N) jusqu'à l'apparition de coloration jaune ;
- Ajouter à la solution 1 ml de la solution d'amidon à 1% pour avoir une coloration bleu foncée ;
- Continuer à titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à la disparition de la couleur bleue ;
- Effectuer de la même façon un essai à blanc

Annexe 03: Détermination de l'indice de peroxyde

Réactifs

- Chloroforme (CHCl_3) ;
- Acide acétique (CH_3COOH) ;
- Solution aqueuse saturée d'iodure de potassium (KI) ;
- Solution aqueuse à 0,01N de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ;
- Solution d'empois d'amidon à 1%.

Mode opératoire

- Peser 2g d'huile dans un Erlen Meyer ;
- Ajouter 10 ml de chloroforme et 15 ml d'acide acétique ;
- Puis 1 ml de la solution d'iodure de potassium (1 ml d'eau distillée \rightarrow 0,5 ml de KI) ;
- Boucher aussitôt l'Erlen Meyer ;
- Agiter pendant une minute et laisser à l'abri de lumière ;

Annexes

- Ajouter 75 ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon ;
- Titrer l'iode libéré jusqu'à décoloration complète avec la solution de thiosulfate de sodium à 0,01N. Soit V ce volume ;
- Faire parallèlement un essai à blanc (sans matière grasse). Soit V_0 le volume de thiosulfate de sodium à 0,01N.

Annexe 04 : 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 25 ml de potasse alcoolique (KOH) à 0,5N ;
- Porter à ébullition sous réfrigérant à reflux (avec un régulateur d'ébullition), pendant une heure, en agitant de temps en temps ;
- Titrer l'excès d'alcalis de KOH avec l'acide chlorhydrique 0,5N en présence de phénolphtaléine jusqu'à la décoloration complète ;
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions.

II. Indices physiques

Annexe 05 : Teneur en eau et en matières volatiles

Appareillage

- Etuve isotherme réglée à $103 \pm 2^\circ\text{C}$;
- Bécher de 10 ml ;
- Dessiccateur ;
- Balance analytique avec précision de 0,0001g.

Mode opératoire

- Régler l'étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$;
- Peser un bécher à vide après l'avoir lavé et séché ;
- Peser 5 à 10g d'huile dans ce bécher ;

Annexes

- Introduire le bécher contenant l'huile dans l'étuve pendant 1 heure ;
- Refroidir l'ensemble (bécher + huile) dans un dessiccateur ;
- Peser l'ensemble (bécher + huile).

Annexe 06: Détermination de la viscosité

Mode opératoire

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

Annexe 07 : Détermination de la densité

Matériel

- Balance de précision.
- Pipette graduée de 10 ml.
- Bécher de 50ml.

Mode opératoire

- Prélever à l'aide d'une pipette graduée 10ml d'huile ;
- Les verser dans un bécher de 50ml de poids connu (m) ;
- Mettre le bécher sur la balance de précision et noter le poids de l'échantillon d'huile (m_0) ;
- Refaire la même expérience avec de l'eau distillée et noter le poids (m_1).

Annexes

III. Analyse statistique

Annexe 08 : Analyse de la variance de l'humidité

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,401	44	0,009				
VAR.FACTEUR 1	0,174	4	0,044	7,681	0,00012		
VAR.RESIDUELLE 1	0,227	40	0,006			0,075	39,77%

Annexe 09 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'humidité.

FACTEUR 1 : fastfood

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	FF3	0,29	A	
5.0	FF5	0,235	A	
2.0	FF2	0,145		B
1.0	FF1	0,142		B
4.0	FF4	0,136		B

Annexe 10 : Analyse de la variance de la densité

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,025	44	0,001				
VAR.FACTEUR 1	0,007	4	0,002	3,702	0,0118		
VAR.RESIDUELLE 1	0,018	40	0			0,021	2,15%

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

FACTOR 1: *Fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
3.0	FF3	1,009	A
5.0	FF5	1,007	A
1.0	FF1	0,984	A
2.0	FF2	0,983	A
4.0	FF4	0,983	A

Annexes

Annexe 12 : Analyse de la variance de la viscosité.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1767,604	44	40,173				
VAR.FACTEUR 1	625,724	4	156,431	5,48	0,00136		
VAR.RESIDUELLE 1	1141,88	40	28,547			5,343	9,54%

Annexe 13 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de la viscosité.

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	FF3	63,227	A	
5.0	FF5	56,074		B
1.0	FF1	53,792		B
2.0	FF2	53,641		B
4.0	FF4	53,381		B

Annexe 14 : Analyse de la variance de composé polaire

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1126,3	44	25,598				
VAR.FACTEUR 1	316,578	4	79,144	3,91	0,00907		
VAR.RESIDUELLE 1	809,722	40	20,243			4,499	19,79%

Annexe 15 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'acidité

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	FF3	27,056	A	
5.0	FF5	24,611	A	B
4.0	FF4	20,944		B
2.0	FF2	20,667		B
1.0	FF1	20,389		B

Annexe 16 : Analyse de la variance de l'acidité.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,455	44	0,01				
VAR.FACTEUR 1	0,109	4	0,027	3,141	0,02437		
VAR.RESIDUELLE 1	0,346	40	0,009			0,093	29,58%

Annexes

Annexe 17 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'acidité

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	FF3	0,396	A	
5.0	FF5	0,346	A	B
1.0	FF1	0,286	A	B
2.0	FF2	0,283	A	B
4.0	FF4	0,262		B

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

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	553,789	44	12,586				
VAR.FACTEUR 1	224,58	4	56,145	6,822	0,00031		
VAR.RESIDUELLE 1	329,209	40	8,23			2,869	2,46%

Annexe 19 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'indice d'iode

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	FF2	118,908	A	
4.0	FF4	118,413	A	
1.0	FF1	118,344	A	
5.0	FF5	115,498	A	B
3.0	FF3	113,08		B

Annexe 20 : Analyse de la variance de l'indice de peroxyde.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1269,353	44	28,849				
VAR.FACTEUR 1	393,547	4	98,387	4,494	0,0044		
VAR.RESIDUELLE 1	875,806	40	21,895			4,679	25,98%

Annexes

Annexe 21 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'indice de peroxyde

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	FF3	22,38	A	
5.0	FF5	20,678	A	B
4.0	FF4	16,481		B
2.0	FF2	15,32		B
1.0	FF1	15,192		B

Annexe 22 : Analyse de la variance de l'indice de saponification

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7958,513	44	180,875				
VAR.FACTEUR 1	2368,434	4	592,108	4,237	0,00603		
VAR.RESIDUELLE 1	5590,079	40	139,752			11,822	6,19%

Annexe 23 : Test de NEWMAN-KEULS au seuil = 5% de l'indice de saponification.

FACTEUR 1 : *fastfood*

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	FF1	199,748	A		
4.0	FF4	197,179	A	B	
2.0	FF2	191,991	A	B	C
3.0	FF3	184,612		B	C
5.0	FF5	180,666			C

Résumé

L'inquiétude du consommateur est toujours présente, voire grandissante et essaient d'inclure une alimentation plus saine dans leurs habitudes de vie, ce qui a fait l'apparition de plusieurs stratégies pour vaincre la malnutrition, parmi lesquelles le contrôle de la qualité des aliments. Cette stratégie pourrait être, appliquée aux huiles alimentaires de friture.

Notre travail a été réalisé dans le but d'évaluer la qualité des paramètres physico chimiques des huiles de baignades de fritures de quinze échantillons qui ont été prélevés en trois périodes ; au niveau de cinq fastfoods dans la ville d'Azazga, dans le but de s'assurer de la conformité et la pureté, de ces huiles et l'aspect hygiénique de ces fastfoods.

Des analyses physico-chimiques ont été faites sur les huiles de bain de fritures renseigne sur leurs degrés de dégradation.

La détermination du taux de CPT est considérée comme une méthode fiable pour juger la qualité de l'huile usagée, et d'après les résultats obtenus la majorité des fastfoods contrôlé ; utilisent des huiles conforme à la norme du taux de composés polaires, fixée dans de nombreux pays à un maximum de 25%.

Mots clés : fastfoods, Azazga, huiles de baignades de friture, composés polaires, friture profonde, indices physico-chimiques, dégradation.

Summary

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

Our work was carried out in order to evaluate the quality of the physicochemical parameters of the fried bath oils of fifteen samples that were taken in three periods; at the level of five fastfoods in the city of Azazga, in order to ensure the compliance and purity of these oils and the hygienic aspect of these fastfoods.

Physicochemical analyzes have been done on fried bath oils to provide information on their degree of degradation.

The determination of the CPT rate is considered a reliable method for judging the quality of used oil, and according to the results obtained the majority of fastfoods controlled; use oils in accordance with the standard of polar compounds, set in many countries at a maximum of 25%.

Key words: fastfoods, Azazga, frying bath oils, polar compounds, deep frying, physicochemical indices, degradation.