

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études

En Vue de l'Obtention de Diplôme de Master en Sciences Agronomiques
Option : Management de la Qualité Totale et Sécurité des Aliments

Thème

**Evaluation de l'altération de l'huile « Elio »
au cours de la friture de poisson, « Anchois »**

Réalisé par M^{elle} AOUCHICHE NADIA

Devant le jury

Président:	M ^r AMROUCHE T.	Maitre de conférences	U.M.M.T.O.
Examineur :	Mr AMIR Y.	Professeur	U.M.M.T.O.
Promoteur:	Mr SADOUDI R.	Maitre de conférences	U.M.M.T.O.
	M ^r HADJAL S, responsable du laboratoire de recherche et développement (R&D)		

Promotion 2016-2017

Remerciements

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

Mon promoteur M^r SADOUDI R. Maître de conférences au département des Sciences agronomiques à UMMTO d'avoir accepté de m'encadrer et de me guider tout au long de ce travail.

A toute l'équipe de CEVITAL, particulièrement M^r HADJAL S., responsable du laboratoire de recherche et développement (R&D) pour son encadrement interne.

Au président du jury M^r AMROUCHE T. Maître de conférences au département des Sciences agronomiques à UMMTO qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Et aux examinateurs M^r AMIR Y. Professeur au département des sciences agronomiques à UMMTO.

Je remercie aussi M^{ELLE} Djamila pour m'avoir aidé dans la réalisation de l'étude statistique.

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

AMROUCHE NADIA

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à

Ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus durs

Et ceux à qui je dois tant

A mes parents,

Pour leur amour et leur support affectif.

À

Mes sœurs Narimane, Nawal et Fatima et à mes frères Younes et Youva

Mon Mari Takfarinas, et toute sa famille Ouali

Mon neveu Amayes

Ma nièce Aniya

Mes grands-mères yema ouardia et yema fadhema

*Ma Très chère amie hayet ouhadda qui m'a beaucoup aider dans ce travail et à
qui je dois énormément*

Aicha qui m'a soutenus et qui m'a héberger durant mon stage

Mes oncles et tantes sans exception

à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce manuscrit

AOUCHICHE Nadi



SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Synthèse bibliographique

Chapitre I : les huiles végétales

I.1. Définition des huiles	2
I.2. Etudes des huiles végétales.....	2
I.2.1. Huile de tournesol.....	2
I.2.1.1. Composition.....	3
I.2.1.1.1. Triglycérides	3
I.2.1.1.2. Acides gras.....	3
I.2.1.1.3. Insaponifiables	4
I.2.2. Utilisation.....	5
I.2.2.1. Utilisation alimentaire.....	5
I.2.3.1. Utilisation non alimentaire.....	5
I.2.2. Etude de l'huile de Soja.....	5
I.2.2.1. Propriété physicochimique	5
I.2.2.2. Composition	6
I.2.2.2.1. Les acides gras	6
I.2.2.2.1. Les insaponifiables.....	7

Chapitre II: Friture

II.1. Définition.....	8
II.2. Intérêts de l'opération de friture	8
II.3. Types des fritures	8
II.3.1. Friture plate	8
II.3.2. Friture profonde	8

II.3.3. Friture en restauration collective	9
II.3.4. Friture industrielle	9
II.4. Choix de l'huile à utiliser pour la friture	9
II.5. Principe de la friture	10
II.6. Modification aux cours des fritures	10
II.6.1. Modification au sein de l'aiment	10
II.6.2. Modification au sein de l'huile	10
II.7. Différents produits formés lors des fritures	11
II.8. Aspect toxicologique des huiles chauffées	12
II.9. Conseils pratiques lors des fritures	13

Chapitre III: Altération des huiles végétales

III.1.Type d'altération des huiles	14
III.1.2.Hydrolyse	14
III.1.3. Isomérisation	14
III.1.4. Polymérisation et cyclisation	14
III.1.5. Oxydation	15
III.1.5.1 Auto oxydation	15
III.1.5.1.1. Initiation (amorçage)	16
III.1.5.1.2.Propagation	16
III.1.5.1.3.Terminaison	17
III.1.5.2.Photo oxydation	17
III.1.5.3.Oxydation enzymatique	17
III.1.5.4.OAltération thermooxydative	18
III.2.Facteurs influents l'oxydation	18
III.2.1.Teneur en oxygène	19
III.2.2.Température	19
III.2.3. Présence d'agents antioxydants	19
III.2.4. Présence d'agents pro-oxydants	19
III.2.5. Teneur en acides gras libres	19
III.2.6. Activité de l'eau	20

Chapitre IV: Anchois

IV.1. Définition	21
IV.2. Composition.....	21
IV.3. Valeur nutritionnelle	22
IV.4. Caractéristique de l'huile de foie de morue	24

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Objectif de l'étude.....	25
II. Conduite expérimentale.....	25
II.1. Choix de l'huile	25
II.2. Choix de poisson	26
II.3. Mode de friture	26
II.4. Echantillonnage	27
III. Analyses physico-chimiques.....	28
III.1. Analyses physiques	28
III.1.1. Indice de réfraction.....	28
III.1.2. La couleur.....	29
III.1.3. Composés polaires totaux.....	29
III.1.4. Test d'oxydabilité accéléré ou test de Rancimat.....	30
III.2. Analyses chimiques.....	31
III.2.1. Acidité	31
III.2.2. Indice de peroxyde	32
III.2.3. Indice d'iode.....	32
III.2.4. Indice de saponification.....	33
IV. Analyse statistique	34

Résultats et discussion

I. Analyse organoleptique.....	35
II. Evolution des indices physiques.....	35
II.1. Indice de réfraction.....	36
II.2. La couleur.....	37

II.3. Composés polaires totaux.....	39
II.4. Test d'oxydabilité accélérée	41
III. Evolution des indices chimiques	42
III.1. Evolution de l'acidité	42
III.2. Evolution de l'indice de peroxyde.....	46
III.3. Evolution de l'indice d'iode.....	46
III.4. Evolution de l'indice de saponification.....	48

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure	Titre	page
1	Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique	18
2	Vitesse d'oxydation et activité de l'eau	20
3	Les Anchois <i>Engraulidés (Engraulidae)</i>	21
4	friteuse de marque « PROLINE »	26
5	Appareil OptiFry™ MIROIL	30
6	Appareil Rancimat «743 Rancim at Metrohm»	31
7	Evolution de la couleur jaune au cours des fritures de l'anchois	37
8	Evolution de la couleur rouge au cours des fritures de l'anchois	38
9	Evolution de l'acidité au cours des fritures de l'anchois	43
10	Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures de l'anchois	45
11	Evolution de l'indice d'iode au cours des fritures de l'anchois	47
12	Evolution de l'indice de saponification au cours des fritures de l'anchois	49

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Principales constantes physicochimiques de l'huile de tournesol	02
II	Compositions en acides gras de l'huile de tournesol (% acides gras totaux)	03
III	Composition en insaponifiables de l'huile de tournesol	04
IV	Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja	05
V	Composition en acides gras de l'huile de soja (% des acides gras totaux).	06
VI	Composition en insaponifiables de l'huile de soja	07
VII	Types d'altération, agent causal et types de produits formés lors du chauffage des CG	12
VIII	Composition d'anchois en vitamines et assimilés	22
IX	Analyse nutritionnelle moyenne pour 100g d'anchois cru (partie consommable)	23
X	Caractéristiques de l'huile de foie de morue	24
XI	Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage.	25
XII	Conditions expérimentales des essais de fritures	27
XIII	Rapports « poissons sur volume d'huile » dans chaque bain de friture	28
XIV	Observations notées lors des essais de fritures avec l'huile « Elio »	35
XV	Résultats de l'indice de réfraction et la couleur	36
XVI	Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de Réfraction	36
XVII	Résultats de l'ANOVA pour la variable la couleur(Jaune)	39
XVIII	Résultats de l'ANOVA pour la variable la couleur(Rouge)	39
XIX	Résultats des taux de composés polaires	40
XX	Résultats de l'ANOVA pour la variable composé polaires	40
XXI	Résultats du test de Rancimats	41
XXII	Résultats des indices chimiques	42

XXIII	Résultats de l'ANOVA pour la variable de l'acidité	44
XXIV	Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de peroxyde	46
XXV	Résultats de l'ANOVA pour la variable indice d'iode	48
XXVI	Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de saponification	49

Liste des abréviations

A % : Acidité

AFNOR : Association française de normalisation.

AG : Acide gras.

AGE : Acide gras essentiel.

AGI : Acide gras insaturé.

AGL : Acide gras libre.

AGMI : Acide gras mono insaturé.

AGPI : Acide gras polyinsaturé.

AGS : Acide gras saturé.

AGT : Acides gras totaux.

AGE : Acide Gras Essentiel.

AGL : Acide Gras Libre.

CG : Corps gras.

ECN : Espèce chimique nouvelle.

R° : Radical libre d'acide gras

ROO° : Radical peroxy.

ROOH : Hydroperoxydes.

I_i : Indice d'iode.

I_s : Indice de saponification.

I_i : Indice d'iode.

I_s : Indice de saponification.

I_p : Indice de peroxyde

Ir₄₀ : Indice de réfraction à 40°C.

Ir₂₀ : Indice de réfraction à 20°C.

ISO : International Standards Organisation

MAG : Monoacylglycérol.

MG : Matière Grasse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

TG : Triglycérides.

TPC : Taux des Composés Polaires.

Les huiles végétales sont considérées comme une source privilégiée de macronutriments, tels que les acides linoléique et alpha-linoléique, deux acides gras essentiels (AGE) et de micronutriments (vitamine E et phytostérols). Elles ont aussi un rôle énergétique important, assuré par les acides gras saturés (AGS), voire les acides gras mono-insaturés (AGMI), grâce à leur potentiel d'oxydation biologique (β oxydation) qui génère de l'ATP (COMBE et ROSSIGNOL-CASTERA, 2010).

Les huiles entrent dans la quasi-totalité des recettes culinaires, par leurs propriétés physico-chimiques, organoleptiques et rhéologiques. Autrement dit, elles apportent le goût et l'onctuosité aux aliments. Leur domaine d'utilisation est vaste et varié : friture, cuisson, assaisonnement, pâtisserie, chocolaterie et dans bien d'autres domaines alimentaires (JUAREZ et al, 2011).

L'utilisation des huiles comme fluide caloporteur pour la friture des aliments est extrêmement répandue dans les préparations culinaires et ce au niveau ménager, restauration ainsi qu'à l'échelle industrielle. La friture est l'un des procédés les plus anciens d'élaboration des aliments (VARELA, 1998).

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

L'objectif de notre étude consiste en une évaluation de l'altération d'une huile végétale de marque « Elio » aux cours de la friture de poisson (anchois). Cette huile est formulée à partir d'une combinaison entre l'huile de tournesol et du soja 20% et 80% respectivement ; elle est d'abord analysée sur le plan physicochimique ; ensuite, des essais de fritures, au nombre de dix, ont été menés dans une friteuse électrique dotée d'un couvercle et réglée à 150°C.

Chapitre I : Les huiles végétales

I.1. Définition des huiles

Une huile est une substance organique insoluble dans l'eau ; elle est formée essentiellement de TG, c'est-à-dire d'ester glycérolique des AG (KARLESKIND, 1992). On les différencie généralement par leur point de fusion ; les huiles sont liquides à 15°C, tandis que les MG sont plus ou moins solides à cette température (LECERF, 2011). Les huiles proviennent soit des fruits (olive et palme), soit des graines oléagineuses (arachide, soja, tournesol, etc.) (APFELBAUM *et al.*, 2009).

I.2. Etude des huiles végétales

I.2.1. Huile de tournesol

Le tournesol offre une huile de bonne qualité alimentaire, de couleur jaune citron, limpide, de saveur douce et agréable (DRONNE, 2001). L'huile de tournesol se caractérise par sa teneur en acide linoléique (C18 :2) (MOHTADJ-LAMBALLAS, 1989) et pratiquement dépourvue en acide linoléique (C18 :3). Comme toutes les huiles végétales très insaturées, l'huile de tournesol est sensible à la chaleur ; elle ne peut être chauffée à plus de 180°C ni pour un temps prolongé (WIBOUT, 1986).

Tableau I: Principales constantes physicochimiques de l'huile de tournesol (CODEX ALIMENTARIUS, 1992).

Caractéristiques	Normes
Densité relative (20°C /eau à 20°C).	0,918 - 0.923
Indice de réfraction à 20°C.	1,918 - 1,469
Indice d'iode (g d'iode/100g huile).	110 - 143
Indice de saponification (mg d'iode/100g huile)	188 - 194
Insaponifiable.	Au maximum 15 g/Kg

I.2.1.1. Composition de l'huile de tournesol

I.2.1.1.1.les Triglycérides

Comme toutes les huiles végétales, l'huile de tournesol se compose essentiellement de TG (98% à 99%) (KARLESKIND, 1992).

I.2.1.1.2.Les acides gras

La compositions détaillées en acides gras d'huiles de tournsol est indiquée dans le tableau II.

Tableau II :Compositions en acides gras de l'huile de tournsol (% acides gras totaux) (MORIN *et al*, 2012).

Acide gras	Nombre de carbone	% AGT
Ac.myristique	C14:0	< 0,2
Ac. palmitique	C16:0	5-8
Ac. margarique	C17:0	< 0,1
Ac. stéarique	C18:0	4-6
Ac.arachidique	C20:0	< 0,5
Ac. béhénique	C22:0	0,5-1
Ac.Lignocérique	C24:0	< 0,3
Ac .palmitoléique	C16:1	< 0,5
Ac.héptadinoique	C17 :1	-
Ac. oléique	C18:1	15-25
Ac. gadoléique/gondoiiique	C20:1 (n-11)/C20:1 (n-9)	< 0,5
Ac.Erucique	C22:1 n-9	< 0,2
Ac. linoléique	C18:2 n-6	62-70
Ac. α -linoléique	C18:3 n-3	< 0,2
Ac.gras saturés	AGS	10-16
Ac.gras mono-insaturés	AGMI	15-26
Ac.gras polyinsaturés	AGPI	62-70

I.2.1.1.3. Les insaponifiables

La teneur en insaponifiables est variable selon la nature de l'huile ; celle du tournesol est comprise entre 0,5 et 1,5 % ; le tableau III ci-dessous résume tous les constituants principaux d'insaponifiables.

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

Insaponifiable : 0,5-1,5 %						
Teneur en stérols (en mg /100g de CG)		325-515	Teneur en tocophérols (en mg / 100g de CG)		44-120	
Composition des stérols : (en % des stérols totaux)			Composition des tocophérols : (en % des tocophérols totaux)			
Cholestérol		< 0,4	alpha tocophérol			91-97
Brassicastérol		0	beta tocophérol			3-6
Campestérol		8-11	gamma tocophérol			≤ 2
Stigmastérol		7-10	delta tocophérol			-
βsitostérol		58-64	tocotriénols			-
Δ5 Avénastérol		2-7				
Δ7 Stigmastérol		9-14				
Δ7 Avénastérol		4-6				
Isofucostérol		0,4-1				
Fucostérol		2-3				
Teneur en hydrocarbures (en mg /100g de CG)			Teneur en alcools aliphatiques (en mg / 100 g de CG)			100
dont squalène		15-20				

I.2.2. Utilisation de l'huile de tournesol

I.2.2.1. Utilisation alimentaire

L'huile de tournesol est utilisée dans l'industrie alimentaire pour la fabrication des aliments et des assaisonnements, ainsi que pour la friture et de nombreuses autres préparations. Sa richesse en acide linoléique est particulièrement recherchée pour la friture. Elle confère, en effet, une bonne stabilité de l'huile à la cuisson et de bonne aptitude technologique pour la friture industrielle. En alimentation humaine, l'huile de tournesol réduit le taux de cholestérol sanguin et l'apparition des MCV (ROGIS, 2002).

I.2.3.1. Utilisation non alimentaire

Bien que la production d'huile de tournesol soit principalement destinée à l'assaisonnement et à la friture, son utilisation pour les applications industrielles s'élargit au secteur non alimentaire. Les huiles de variétés à haute teneur oléique sont utilisées pures ou modifiées pour des applications dans les domaines de la lubrification, de la solvatisation ou encore, pour leur teneur en phytostérols ou d'autres AG dans les domaines pharmaceutique et cosmétique (GOTOR, 2008).

I.2.2. Etude de l'huile de soja

Comme toute huile végétale, l'huile de soja ne contient pas de cholestérol et pauvre en AGS. Elle est adoucissante, anti-eczémateuse et protège l'épiderme. Elle a un intérêt nutritif grâce à sa richesse en vitamine F, dite aussi facteur F (LABOURET, 2005). La richesse de l'huile de soja en AGE, la met en premier rang après le tournesol, et la rend très intéressante dans le cas d'hypercholestérolémie, d'athérosclérose (PAULE, 2001).

L'huile de soja a un rapport AGPI W3 / AGPI W6 bénéfique pour la santé cardiovasculaire (JOTTERAND *et al*, 2007).

I.2.2.1. Propriétés physicochimiques

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

Tableau IV : Principales constantes physico-chimiques de l'huile de Soja (CODEX ALIMENTARIUS, 1992).

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

I.2.2.2. Composition de l'huile du soja

I.2.2.2.1. Les acides gras

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

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

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

I.2.2.2.2. Les insaponifiables

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

Tableau VI : Composition en insaponifiables de l'huile de soja (KARLESKIND, 1992).

Insaponifiable : 0,5-1,6 %			
Stérols (en mg /100g)	250-418	Hydrocarbures (en mg /100g)	
		Tocophérols (en mg / 100g)	80-167
Composition des stérols (en % des stérols totaux)		Composition des tocophérols : (en % des tocophérols totaux)	
Cholestérol	< 1	<u>al</u> phatocophérol	5-10
Brassicastérol -		<u>bet</u> atocophérol	2-3
Campestérol	19-23	<u>gam</u> matocophérol	44-60
Stigmastérol	17-19	<u>del</u> ta tocophérol	30-43
β sitostérol	47-59	tocotriénols	-
Δ 5 Avénastérol	2-4		
Δ 7 Stigmastérol	1-3		
Δ 7 Avénastérol	1-2	Alcools triterpéniques (en mg / 100 g)	
Ergostérol	< 3		

Chapitre II : la friture

II.1. Définition

La friture est un procédé commun et populaire employé depuis l'antiquité. Elle permet la cuisson d'une gamme de produits. Ce procédé consiste à prolonger les aliments dans la matière grasse portée à des températures élevées. Le processus de friture est complexe et implique beaucoup de facteurs, dont certains dépendent du processus lui-même et d'autres de l'aliment et le type de graisse utilisée (KAUFMANN *et al*, 2000 ; GERTZ *et KOCHAAR*, 2001 ; SAGUY *et DANA*, 2003).

Elle permet donc une évaporation de l'eau des aliments qui conduit à une déshydratation à la surface et la formation d'une croûte (BOUCHON, 2009)

II.2. Intérêts de l'opération de friture

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

- la digestibilité des aliments en facilitant leur trituration et leur assimilation dans le Tractus (coagulation des protéines et de l'amidon) ;
- la palatabilité des aliments par le développement de textures, couleurs et saveurs ;
- la stabilisation des matières premières ou aliments par l'abaissement de la teneur en eau du matériau et l'inactivation des micro-organismes (GRAILLE, 2003).

Le but de la friture est donc de porter les aliments à une température, telle qu'ils caramélisent et que leur goût soit modifié (VIERLIN, 2008).

II.3. Types des fritures

II.3.1. Friture plate

La friture plate correspond à la cuisson d'un aliment avec un petit volume d'huile dans une grande surface en présence d'air. Exemple : la cuisson d'une viande grillée (steak ou escalope) (FREDOT, 2012).

II.3.2. Friture profonde

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

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

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

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

II.3.3. Friture en restauration collective

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

II.3.4. Friture industrielle

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

II.4. Choix de l'huile à utiliser pour la friture

Les corps gras dont le point de fumée, à l'état frais se situe au-delà de 200°C sont généralement considérée comme trop instable pour une utilisation dans les procédés de friture industrielle à précision atmosphérique. Les corps gras saturés tels que les matières grasses d'origine animale sont bon marché et très stables à la chaleur.

Les huiles ou matières grasse végétales riches en acides gras mono-insaturés (et faible en C₁₈:2 et C₁₈:3) sont privilégiées. Les huiles d'olive, de palme, de tournesol, de coprah, de colza et d'arachide sont naturellement riches en acides gras mono-insaturés et utilisées telles qu'elles sont en friture. Les huiles de soja et de colza, riche e acides gras polyinsaturés et notamment en C₁₈:3, sont utilisés en friture après hydrogénation partielle.

Le choix de type ou de mélange d'huile utilisées dépendra en outre de perception et de l'acceptabilité du produit frit par le consommateur (odeur, texture, sensation en bouche,

arrière-goût, stabilité de l'huile lors de stockage avant utilisation ou dans le produit final) (VITRAC *et al.*, 2003) .

II.5. Principe de la friture

C'est un processus avec trois caractéristiques distinctives :

- La température élevée de l'huile (160-180°C) permet un transfert thermique rapide et un court temps de cuisson.
- La température du produit (à l'exception de la région de la croûte) ne doit pas excéder 100°C.
- La lixiviation des composés solubles dans l'eau est minime (SAGUY *et* DANA, 2003).

Les couches superficielles du matériau sont plus rapidement déshydratées et donc les premières soumises à des températures supérieures à celle où l'eau interstitielle se vaporise. Elles sont donc le siège des principales réactions et transformations visibles macroscopiquement (brunissement, croûtage, etc.).

II.6. Modification aux cours des fritures

II.6.1. Modification au sein de l'aliment

Les changements qui se produisent dans l'alimentation sont :

- L'aliment perd de l'eau : l'eau de l'aliment s'évapore et libère des composés colorés dans le bain de friture. Et permet de cuire l'aliment à l'intérieur (FREDOT, 2012)
- L'aliment retient une grande quantité de matières grasses responsable d'une augmentation de sa valeur énergétique. La teneur en lipides dépend de la nature de corps gras utilisé et la température du bain de friture (FREDOT, 2012).
- L'aliment cède des lipides dans le bain de friture : le passage est important s'il s'agit de poisson, on retrouve des acides gras libres qui seront sensibles à l'altération (VIERLING, 2003) ;
- L'aliment frit développe à sa surface une couleur plus foncée et une texture plus ferme (ou croûte), et développe aussi la saveur et l'arôme frit (GUPTA, 2005).

II.6.2. Modification au sein de l'huile

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

- Les acides gras essentiels ;
- La vitamine E (les tocophérols) est réduite à plus de 50% lors d'un chauffage à 177°C pendant 8 heures.

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

- Des modifications organoleptiques : la couleur du bain devient brune et son acidité augmente ;
- Des modifications physico-chimiques : la densité, la viscosité et l'indice de réfraction s'élèvent. Le poids diminue et même le volume.

II.7. Différents produits formés lors des fritures

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

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

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

Type d'altération	Agent causal	Composés résultants
Oxydative	Air (oxygène)	Produit non volatils Monomères oxydés Dimères et oligomères Polymères oxydés
		Produits volatils Hydrocarbures, Cétones, aldéhydes, alcools, acides.
Thermique	Température	Monomères cycliques Dimères apolaires et oligomères. Plymères Acides gras trans (AGT)
Hydrolytique	Humidité	Acides gras libres (AGL) Diglycérides Monoglycérides Glycérol

II.8. Aspect toxicologique des huiles chauffées

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

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

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

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

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

II.9. Conseils pratiques lors des fritures

D'après *OLIVIER et MARTINEZ,(2005)*.

- Le CG choisi doit être destiné à cet usage ;
- La friteuse doit être conforme aux normes de sécurité ;
- Le bain de friture doit être rempli de manière à respecter les proportions indiquées par le constructeur ;
- Prendre des précautions particulières liées aux type d'aliment ;

La température ne doit pas dépasser 180°C ;

- Ne pas laisser l'huile plus de deux ou trois semaines dans la friteuse sans l'utiliser ;
- Nettoyer régulièrement la friteuse ;
- Filtrer le bain après chaque usage ;

Chapitre III : Altérations des lipides

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

III.1. Types d'altérations

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

III.1.2. Hydrolyse

L'hydrolyse c'est la coupure des liaisons esters qui est obtenue soit par voie chimique ou enzymatique, elle se développe surtout sous l'action de la chaleur et de l'humidité. Les lipides en tant qu'esters d'acides gras peuvent être hydrolysés en AGL, diacylglycérol et monoacylgcérol par fixation d'une, deux ou trois molécules d'eau (*PRIOR, 2003*).

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

III.1.3. Isomérisation

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

III.1.4. Polymérisation et cyclisation

Elles sont responsables de réarrangements inter et intramoléculaires qui sensibilisent l'huile de friture à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de la viscosité apparente des huiles. La polymérisation est un critère pertinent pour la détérioration des huiles de friture; elle peut être inhibée par les antioxydants (*PRIOR, 2003*).

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

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

La polymérisation des huiles riches en AGPI peut se produire lors de chauffage à des températures élevées. Certains polymères formés sont des corps cycliques nocifs pour la santé (*TREMOLIERE et al., 1984*).

III.1.5. Oxydation

Tous les corps gras subissent au cours de leur conservation ou de leur utilisation des altérations oxydatives. Les principaux composés oxydables sont les acides gras insaturés, à l'état libre ou estérifiés en triglycérides. Le phénomène d'oxydation des acides gras conduit à une dégradation organoleptique, avec apparition d'une flaveur caractéristique « rance » qui modifie la qualité marchande du produit (*BONNEFIS C.S. 2005*).

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

Les acides gras saturés ne s'oxydent qu'à une température supérieure à 60°C, tandis que les acides polyinsaturés s'oxydent même lors de l'entreposage des aliments à l'état congelé.

L'oxydation des corps gras est classée en 3 types :

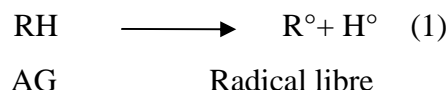
III.1.5.1. Auto-oxydation

L'auto-oxydation altère les huiles alimentaires par dégradation des acides gras essentiels dont les conséquences sont une baisse de la valeur nutritionnelle et la formation de produits de décomposition. Ces derniers leur donnent une odeur et une flaveur indésirables et voire une certaine toxicité (*POKORNY, 2003*). L'auto-oxydation des lipides est une réaction auto-catalytique. Il s'agit d'un enchainement de réactions radicalaires se déroulant en trois étapes (*EYMARD, 2003*) :

III.1.5.1.1. Initiation (amorçage)

L'initiation primaire qui correspond à la formation de radicaux libres. Un radical libre est une molécule qui possède un électron non apparié et on le note souvent R° .

Les acides gras insaturés (RH) perdent un atome d'hydrogène pour former un radical libre centré sur le carbone (R°) (radical alkyle). Ces réactions nécessitent une énergie d'activation élevée et sont catalysées par la lumière, l'élévation de température et par la présence d'ions métalliques. Selon la réaction suivante :



La vitesse de la réaction d'initiation augmente avec l'instauration des lipides, la température et l'énergie de radiations ionisantes ou solaires (*POKORNY, 2003*).

Lorsque la teneur en peroxydes (générés lors des réactions primaires) s'accroît, on observe une oxydation dite secondaire qui résulte de la décomposition des peroxydes.

III.1.5.1.2. Propagation

Le radical libre formé (R°) très réactif, fixe une molécule d'oxygène et forme un radical libre peroxyde instable (ROO°) (2) qui peut réagir avec une nouvelle molécule d'acide gras (RH) pour former un hydro-peroxyde non radicalaire plus stable ($ROOH$) (3).



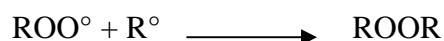
La phase de propagation peut elle-même être décomposée en deux étapes séquentielles (*JUDDE, 2004*) :

- La première étape correspond à l'apparition des peroxydes composés primaires d'oxydation, à partir des radicaux libres instables, la quantité de peroxydes formés peut être évaluée analytiquement grâce à la détermination de l'indice de peroxyde.
- La deuxième étape se traduit par l'évolution des hydroperoxydes en composés secondaires d'oxydation.

La vitesse de la réaction de propagation est lente lorsque la vitesse d'initiation est basse ; elle est accélérée avec l'augmentation de la température et avec l'augmentation de degré d'instauration des huiles. La réaction en chaîne est inhibée en présence d'antioxydants.

III.1.5.1.3. Terminaison

Pendant cette phase, les espèces radicalaires réagissent entre elles pour donner des espèces non radicalaires (aldéhydes, cétones, époxydes...) mettant ainsi fin aux cycles réactionnels selon la réaction suivante :



Les réactions de terminaison sont lentes lorsque la concentration en R° est basse (POKORNY, 2003).

III.1.5.2. Photo-oxydation

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

III.1.5.3. Oxydation enzymatique

Le phénomène d'oxydation des acides gras insaturés peut être d'origine enzymatique. L'enzyme principalement impliquée est la lipoxygénase qui catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique, et aboutit à la formation d'hydro-peroxydes. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés. Son activité est donc souvent couplée avec celle des lipases et phospholipases (BONNEFIS C.S. 2005).

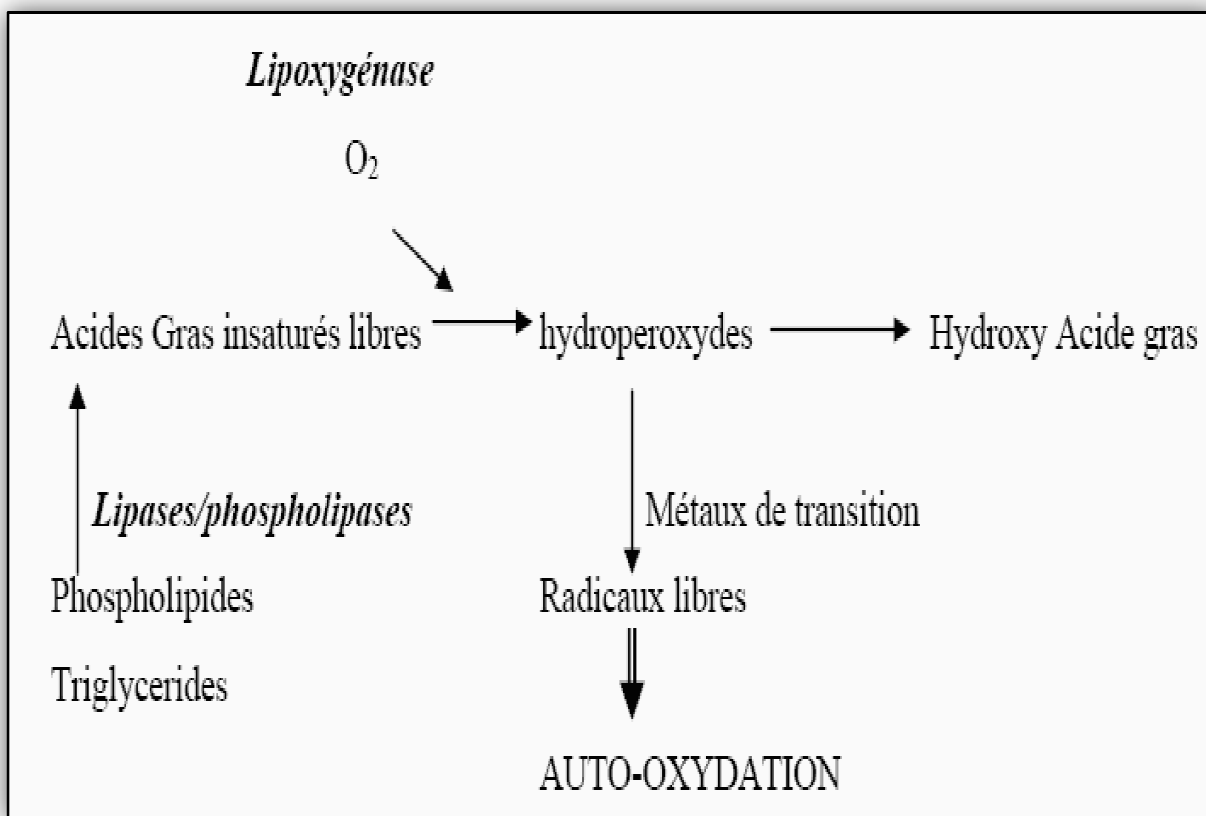


Figure 01 : Mécanisme d'initiation de la peroxydase lipidique par l'activité lipoxygénasique
(GERMAN et KINSELLA, 1985).

III.1.5.4 Altération thermooxydative

Les corps gras alimentaires peuvent être soumis à différents types de traitements thermiques, aussi bien au stade de raffinage, qu'au stade de l'utilisation ménagère ou industrielle (friture), en présence d'air, cela se traduit par nombreuses transformations et modification chimiques, celles-ci résultent de la destruction des liaisons insaturées, de l'addition d'oxygène aux molécules, de la scission des triglycérides en acides gras libres et en composés ayant une plus courte longueur de chaîne (GRANDGIRARD, 1992).

III.2 Facteurs influents l'oxydation

Les facteurs qui influencent l'oxydation sont nombreux. Il s'agit de facteurs intrinsèques tels que la composition en acides gras des lipides (nombre et position des insaturations) la présence de pro-oxydants (ions métalliques, enzymes, etc.) ou d'antioxydants naturels (tocophérols, caroténoïdes, etc.) et des facteurs externes tels que la température, le pH, la lumière, la pression partielle en oxygène, l'activité de l'eau, les conditions de stockage et de transformation.

III.2.1. Teneur en oxygène

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

III.2.2. Température

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

III.2.3. Présence d'agents antioxydants

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

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

III.2.4. Présence d'agents pro-oxydants

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

III.2.5. Teneur en acides gras libres

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

III.2.6. Activité de l'eau

On peut suivre la vitesse d'oxydation des acides gras en fonction de l' A_w , comme illustré par la figure 2.

- Pour $A_w \leq 0.1$, l'oxydation est très élevée parce que l'oxygène insoluble dans l'eau est réactif en phase hydrophobe.
- Entre 0.2 et 0.3, l' A_w a une faible influence. La monocouche d'eau s'oppose au passage de l'oxygène jusqu'aux lipides et bloque l'oxydation.
- Lorsque $0.2 \leq A_w \leq 0.5$, les peroxydes actifs réagissent avec l'eau et peu avec les lipides. Les antioxydants solubles ont une action protectrice efficace.
- Pour $A_w \leq 0.5$, les catalyseurs métalliques diffusent vers les sites d'oxydation et la catalyse minérale exerce son plein effet.
- Lorsque $A_w \leq 0.9$, l'oxydation ralentit par effet de dilution.

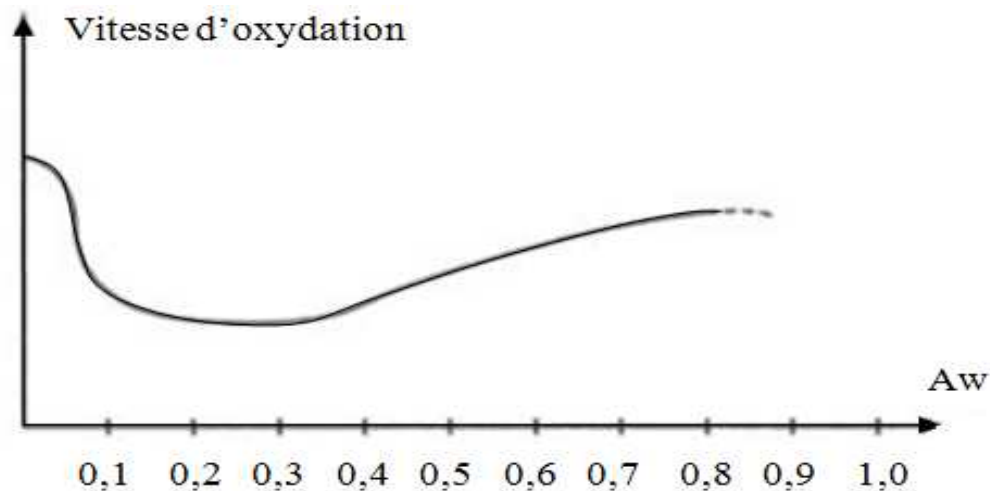


Figure N°02 : Vitesse d'oxydation et activité de l'eau (FRENOT et VIERLING, 2001)

Chapitre IV: Les anchois

IV.1. Définition

Le terme d'anchois désigne plusieurs espèces de poissons constituant la famille des *Engraulidés (Engraulidae)*. C'est un petit poisson de mer (*figure 3*), considéré comme une excellente source de protéines ; il contient les neuf acides aminés essentiels à l'organisme vivant (*MEYER, 2009*).



Figure 3 : Les Anchois *Engraulidés (Engraulidae)*.

Il existe deux types d'anchois, les «anchois littoraux» d'eaux saumâtres pêchés en méditerranée et dans l'étang de thau et les «anchois du large», pêchés au large jusqu'en octobre et ne regagnent le littoral qu'avec le retour du printemps.

L'anchois fait partie de la famille des poissons gras, riches en lipides. Ceux-ci sont formés d'acides gras polyinsaturés, bénéfiques pour le système cardio-vasculaire. L'anchois apporte, aussi, des vitamines en quantité non-négligeable. L'anchois se consomme grillé, frit ou en escabèche.

IV.2. Composition

L'anchois est un poisson gras doté de nombreux bénéfices pour la santé humaine (acides gras mono insaturés et polyinsaturés). Il est riche en protéines de haute valeur biologique, vitamines (A, D, B et provitamine A), minéraux et oligo-éléments (iode, phosphore, potassium et fer), le tableau VIII représente la composition d'anchois en vitamine et assimilés (*BOURRE, 2005*). Sa chair offre d'intéressantes concentrations en minéraux et oligo-éléments

Tableau VIII Composition d'anchois en vitamines et assimilés (*BOURRE, 2005*).

Vitamine A et provitamine A	82 µg
Rétinol	82 µg
Thiamine (vitamine B1)	0,06mg
Vitamine K	2,6 µg
Acide pantothénique (vitamine B5)	0,65mg
Vitamine B6	0,14mg
Folates totaux	9 µg
Vitamine D	11 µg
Vitamine E (tocophérols)	0,29mg

IV.3. Valeur nutritionnelle

Dans le cadre d'une alimentation variée et équilibrée, la consommation régulière d'anchois réduirait le risque de mortalité par maladies cardiovasculaires (*CALDER, 2004*), Les oméga 3 seraient également dotés d'effets anti-inflammatoires, utiles dans le traitement de pathologies comme l'asthme, l'arthrite rhumatoïdes, le psoriasis (*MORI et BEILIN, 2004*), et les maladies inflammatoires de l'intestin.

Ils participeraient aussi à la prévention des troubles de l'humeur comme la dépression (*BOURRE, 2005*). L'acide docosahexaénoïque participe également au développement et au fonctionnement du cerveau, ainsi qu'à l'entretien des fonctions cognitives et de la vision (*HORROCKS et YEO, 1999*). Le *tableau IX* représente l'analyse nutritionnelle moyenne pour 100g d'anchois cru (partie consommable).

Tableau IX Analyse nutritionnelle moyenne pour 100g d'anchois cru (partie consommable)
(HORROCKS et YEO, 1999)

	Apport de 100g d'anchois cru (partie comestible)		
Energie	129 Kcal	Sodium	104mg
Protéines	20,1 g	Fer	3,3mg 23%
Lipides	5,4 g	Vitamine A	105µg 12%
Glucide	1,1 g	Vitamines B2	105mg 16%
Acides gras saturés	1,3 g	Vitamine PP	14mg 100%
Acides gras polyinsaturés	1,29 g	Vitamine B12	0,62µg 62%
Cholestérol	100mg	Eau	73,1 g
Phosphore	182mg 22%	Zinc	2,37mg
Magnésium	41mg 13%	Cuivre	0,69mg
Calcium	82mg 10%	Manganèse	0,3mg
Iode	55 µg	Sélénium	26,3 µg

IV.4. Caractéristique de l'huile de foie de morue

Le tableau X montre un certificat d'analyse d'un laboratoire PHOSPHOTECH d'huile de foie de morue 1 000 UI vit A/100 UI vit D Référence 05H.

Tableau X : Caractéristiques de l'huile de foie de morue.

Détermination	Teneurs	Résultats
Densité à 20°C	0,917-0,928 g/cm ³	conforme
Indice de réfraction à 20°C	1,477-1,482	1,478
Indice d'anisidine	Max 30	9,8
Indice d'iode	150-180g/100g	150
Indice de peroxyde	Max 10 meq O ₂ /kg	5,0
Insaponifiables	Max 1,5 %	0,9
Indice de saponification	180-190	182
Test au froid	Min 3h à 0°C	conforme
Acide gras libres	Max 0,25%	0,05
Teneur en vitamine A	Min 1000 UI/g	1001
Teneur en vitamine D	Min 100 UI/g	102
Acide Eicosapentaénoïque (EPA)	Min 8 %	conforme
Acide Docosahexaénoïque (DHA)	Min 9%	conforme
Acide gras polyinsaturés	Min 20%	conforme
Dioxins	Max 2 pg TEQ (WHO)/g	conforme
PCB	Max 0,2 ppm	conforme
Cadmium		conforme
Mercure	Max 0,005 ppm	conforme
Plomb	Max 0,1 ppm	conforme

I Objectif de l'étude

L'objectif de cette thématique consiste à évaluer le degré de résistance ou sensibilité des huiles raffinées commercialisées dans notre pays durant les fritures répétées. A cet effet, des sujets de mémoires de fin de cycle ont été proposés et soutenus sur la friture de la pomme de terre. Dans la perspective d'enrichir cette thématique, la présente étude s'intéresse à la friture de poissons, les anchois en l'occurrence.

II. Conduite expérimentale

II.1. Choix de l'huile

Pour notre étude, on a opté pour l'huile de marque «Elio», la plus utilisée par les ménages et dans la restauration collective (restaurants, fast-food, etc.) en raison de son prix abordable. C'est une huile mixte, un coupage de deux huiles : l'huile de soja et l'huile de tournesol, à raison de 80% et 20% respectivement. Elle est commercialisée par l'unité «Cevital» ; elle est utilisable en assaisonnement et en friture. Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage sont portées dans le *tableau XI*.

Tableau XI. Les caractéristiques mentionnées sur l'étiquette de l'emballage.

ELIO
100% végétale Soja et Tournesol Assaisonnement, cuire et frire, dorer et préparation de gâteaux Sans cholestérol Température conseillée : max. 180°C Stockée à l'abri de la lumière et source de chaleur certifié ISO 22000 par le Bureau VERITAS Certifications Réutilisable 10 fois

II.2. Choix de poisson

Le poisson utilisé dans ces essais de fritures menées au laboratoire est l'anchois. C'est un poisson gras ; il a été acheté le 05/04/2017 au marché de Tizi-Ouzou, à 8 heures du matin. Il a été pêché à Dellys à 5 heures du matin. La quantité achetée est de 3kg pour le prix de 1500 DA le kilogramme.

L'anchois est un aliment de large consommation à l'état frais, que ce soit par les ménages et dans la restauration collective ; il est riche en acides gras polyinsaturés de la série des omégas 3. Il est très consommé de par son accessibilité et par ses qualités organoleptiques très appréciées.

II.3. Mode de friture

Avant son introduction dans la friteuse, les poissons (anchois) ont été éviscérés, rincés avec de l'eau de robinet et essuyés à l'aide de papier absorbant. Dans le souci de stabiliser la température de friture, on a choisi un mode de chauffage électrique par l'utilisation d'une friteuse électrique de marque « PROLINE » (figure 4).



Figure 4: friteuse de marque « PROLINE »

Cette friteuse est de contenance de 3.5 litres ; elle est dotée d'un panier rectangulaire permettant de frire tout type d'aliment, d'une cuve amovible donnant une aisance lors de son nettoyage, d'un thermostat à température réglable et d'une minuterie ; les dimensions de la

cuve sont : 41cm de largeur, 23cm de hauteur. Les conditions expérimentales fixées durant toute notre expérimentation sont mentionnées dans le *tableau XII*

Tableau XII: Conditions expérimentales des essais de fritures

Type de friture	Friture profonde, sans incorporation de l'huile fraîche et avec le couvercle fermé.
Nombre de fritures	10
Température de cuisson	150°C
Durée de cuisson	5 min
Temps entre deux fritures	5 min
Volume de l'huile initialement utilisé	3 litres
Volume de l'huile prélevé	200 ml
Nombre d'échantillon analysés	4

Afin de garder le rapport quantité de poisson sur le volume d'huile constant durant la friture,

II.4. Echantillonnage

Afin de caractériser l'huile « Elio » utilisée dans des essais de friture, un volume de 200 ml a été prélevé dans un flacon en plastique, puis recouvert de papier d'aluminium avant de le stocker au réfrigérateur.

Pour les essais de fritures, on a versé trois litres d'huile dans la friteuse ; celle-ci a été mise en marche ; après un temps d'attente de 10 minutes, un thermomètre a été introduit dans le bain afin de s'assurer de la température. Après cela, une quantité de 150g d'anchois a été introduite dans le bain de friture porté à 150°C.

Après 5 minutes de cuisson, un volume de 200 ml d'huile du 1^{er} bain de friture a été prélevé, et ce après avoir homogénéisé le bain à l'aide d'une louche en inox ; cette huile a été filtrée puis refroidie à la température du laboratoire avant d'être transvasée dans une bouteille en plastique étiquetée.

Avant la friture du 2^{ème} lot de poisson, la température a été contrôlée à nouveau à l'aide d'un thermomètre ; les conditions pratiques de la friture de ce 2^{ème} lot et d'échantillonnage sont similaires à celles du 1^{er} lot. Cependant, afin de garder constant le rapport « quantité de poisson / volume d'huile » la quantité de poisson introduite dans la

friteuse à été réduite ; le *tableau XIII* indique les quantités de poisson et les volumes d'huile des 10 bains de friture.

Tableau XIII: Rapports « poissons sur volume d'huile » dans chaque bain de friture.

Nombre de fritures	Volume d'huile en (ml)	Quantité de poissons en (g)
1	3000	150
2	2800	140
3	2600	130
4	2400	120
5	2200	110
6	2000	100
7	1800	90
8	1600	80
9	1400	70
10	1200	60

Compte tenu de manque en produits chimiques au laboratoire, on a limité les analyses physico-chimiques qu'aux huiles des 1ers, 5èmes et 10 ème bains de fritures.

III. Analyses physico-chimiques

III.1. Analyses physiques

III.1.1 Indice de réfraction (ISO 6320. 4^{ème} édition, 2000)

On entend par « indice de réfraction » d'une substance, le rapport entre la vitesse d'une lumière de longueur d'onde déterminée dans l'air et la vitesse de cette même lumière dans cette substance. Il est mesuré à 40°C à l'aide d'un réfractomètre approprié.

Une quantité d'huile à analyser est d'abord filtrée à l'aide d'un papier-filtre ; quelques gouttes de cette huile filtrée sont déposées entre prismes du réfractomètre de façon à remplir complètement l'espace entre ces prismes ; un temps d'attente est nécessaire de quelques minute est accordé pour permettre à l'huile d'atteindre la température des prismes.

(Annex1)

La mesure est ensuite effectuée. Les résultats sont exprimés selon cette formule :

Expression des résultats :

$$N^{t'}_D = N^t_D + 0,00035 (t - t')$$

Où : $t' = 40^\circ\text{C}$.

t : température de l'échantillon pendant l'analyse

III.1.2 La couleur

La mesure de la couleur de l'huile fraîche et des huiles des bains de fritures a été réalisée à l'aide d'un «calorimètre Lovibond » ; ce dernier est composé de deux séries de verres de couleur jaune et rouge.

Le principe de cette technique consiste à comparer la couleur de la lumière de l'huile à analyser versée dans une cuve à face parallèle par rapport aux verres standardisés. A l'aide d'une monoculaire, les verres colorés et l'échantillon d'huile à analyser sont éclairés par une source lumineuse (lampe de 6W) sur un bloc de carbonate de magnésium. La couleur transmise par l'huile est comparée à celle des verres.

A cet effet, on verse l'échantillon d'huile à analyser dans une cellule de (5 pouces et 1/4) puis on détermine la couleur en la comparant à la couleur des lames de la cellule standard.

Les valeurs de la couleur sont données comme suit : X_J et X_R .

J : la couleur jaune.

R : la couleur rouge.

X, Y : les valeurs déterminés par LOVIBOND.

III.1.3 Composés polaires totaux

Le pourcentage des composés polaire totaux (TPC) est défini comme étant le pourcentage en poids de composés d'altération néoformés au cours du chauffage des huiles de fritures ; ils sont représentés principalement par les monomères de triacylglycérols oxydés (TGMOX) et des polymères de triacylglycérols (TGPOX). Ils sont formés de monomères oxydés (oxyacides) et par polymérisation d'oxypolymères qui représentent une fraction importante des PATO formés. Ces produits, souvent toxiques, affectent l'état nutritionnel du consommateur (GUILLEN et URIARTE, 2011).

Dans notre étude, l'analyse des composés polaire totaux (TPC) dans l'huile fraîche et dans les huiles des différents bains ont été réalisé à l'aide d'un appareil de marque « OPTIFRY™ MIROIL» illustré par la *figure 5*.

Le fonctionnement de cet appareil se fait comme suit : on chauffe, d'abord, les échantillons d'huiles à une température de 40°C. On plonge, ensuite, le capteur de l'appareil dans l'huile chaude de telle sorte que les trous d'aération de l'appareil soient complètement couverts d'huile ; on tient le testeur dans l'huile à un angle d'environ 45° afin que l'air puisse

s'échapper ; le pourcentage en composés polaires totaux est affiché puis noté à la stabilisation de la température qui s'affiche en parallèle (environ 5 secondes).



Figure 5 : appareil OptiFry™ MIROIL

III.1.4. Test d'oxydabilité accéléré ou test de Rancimat (ISO 6886, 2006)

Ce test est effectué pour évaluer la stabilité oxydative de l'huile. L'appareil utilisé est le Metrohm 743 Rancimat. La spécification du temps d'induction (TIR) au test Rancimat, exprimé en heures, correspond au temps durant lequel l'huile résiste à un stress oxydatif.

Le principe de cette technique consiste à vieillir prématurément une quantité de la matière grasse (dans notre cas 3g d'huile) par décomposition thermique à une température bien déterminée (98°C) sous un bullage intensif d'air (10l/h). Les produits de dégradation (acides organiques) de cette oxydation poussée sont entraînés par un courant d'air et recueillis dans une cellule de mesure remplie d'eaux distillée, dans laquelle est immergée une électrode de mesure de la conductivité. (RAHMANI et SAAD, 1989).

Le temps de résistance au stress oxydatif est déterminé par conductimétrie ; il correspond au temps d'induction au test Rancimat (T.I.R.), appelé aussi « période d'induction ». Le temps d'induction est présenté sous forme de graphes grâce à un logiciel

spécial. La fin de celle-ci est indiquée lorsque la conductivité se met à augmenter rapidement ; cette augmentation accélérée est provoquée par l'accumulation d'acides gras volatils produits au cours de l'oxydation.



Figure 6 : Appareil Rancimat «743 Rancimat Metrohm».

III.2. Analyse chimique

III.2.1. Acidité (AFNOR-NF T60-204, 1988). (Annex2)

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 résultats

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

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

Soit :

A: acidité exprimée en pourcentage.

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

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

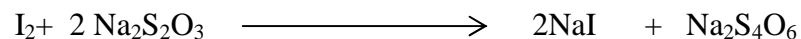
m: masse en (g) de la prise d'essai.

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

III.2.2 Indice de peroxyde (AFNOR-NFT60-22, 1988) (Annex3)

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 :

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

Ip : 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.

III.2.3 Indice d'iode (AFNOR-NFT60-203, 1990) (Annex4)

L'indice d'iode permet de déterminer le degré d'insaturation d'un corps gras. Le principe consiste à dissoudre une prise d'essai dans l'éthanol et de l'iode alcoolique (0.2N), puis, on titre la solution avec une solution de thiosulfate de sodium (0.1N).

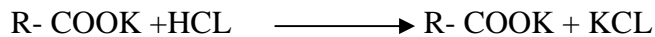
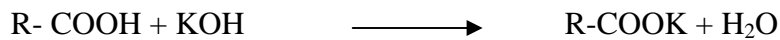
L'indice de peroxyde est exprimé par la formule suivante :

$$I_i = \frac{V_0 - V}{P} \cdot 1,269 / 100g \text{ d'huile}$$

I_i : indice d'iode ; V_0 : Volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisé pour l'essai à blanc (ml) ; V : Volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml ; 0,01269 : nombre de grammes d'iode correspondant à 0,1ml de thiosulfate de sodium à 0,1 N.

III.2.4. Indice de saponification (AFNOR-NFT60-206 ,1985) (Annex5)

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 (0.5N) sous réfrigérant à reflux pendant une heure. Le titrage de l'excès de KOH par une solution de HCL (0.5N) en présence de phénolphtaléine.



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

I_s : indice de saponification exprimé en milligramme par gramme ; V_0 : volume d'HCL pour l'essai a Blanc en ml ; V_1 : volume d'HCL pour l'échantillon pris en ml ; P : prise d'essai en gramme ; N : normalité d'HCL (0,5N) ; E_g : Equivalent gramme de KOH (56,1g /mol)

$$I_s(\text{mgKOH/g}) = N \times E_g \times (V_0 - V_1) / p$$

IV. Analyse statistique des résultats

Les données expérimentales des bains de fritures obtenues, sont statistiquement testées par l'analyse de la variance (ANOVA), en utilisant le logiciel STATBOX version 6.0 à un seuil de signification de 0.05% afin de déterminer la présence de différence significative.

I. Analyse organoleptique

L'analyse sensorielle est considérée comme la méthode de choix puisqu'elle est la seule à rendre compte parfaitement de l'état d'acceptabilité de l'huile mais elle reste lourde à mettre en œuvre (CUVELIER et MAILLARD, 2012).

Au cours des fritures effectuées, une évaluation sensorielle a été mise en point sur l'huile et l'aliment, les résultats sont résumés dans le tableau XIV.

Tableau XIV : Observations notées lors des essais de fritures avec l'huile « Elio »

Observation Nombre de fritures	Couleur de bain	Couleur de l'anchois	Odeur perçue	Apparition de la fumée	Formation de la mousse
0	Claire	–	Caractéristique	–	–
1	Claire	–	Caractéristique	–	–
5	Claire	Dorée	Caractéristique	–	–
10	Brune	Dorée	Caractéristique	–	+

(-) : absence

(+) : présence

L'altération d'une huile au cours de son utilisation en fritures répétées se manifeste par la détérioration de sa qualité organoleptique, telles que la couleur, l'odeur, la consistance, etc. JUDGE (2004).

Les résultats portés dans le *tableau XIV* montrent que la couleur des anchois change au cinquième cycle de friture et la couleur du bain au dixième cycle de friture. De plus, on ne note pas une altération de l'odeur ; la formation de la fumée est absente, mais une mousse s'est formée à la 10^{ème} friture.

II. Evolution des indices physiques

Les résultats des analyses de l'indice de réfraction et de la couleur effectuées sur l'huile fraîche et les différents échantillons d'huiles prélevés des baigns après friture sont portés dans le *tableau XV*.

Tableau XV : Résultats de l'indice de réfraction et la couleur

Nombre de fritures	Indice	5 p & ¼ Couleur		Indice de réfraction à 40°C
		Jaune	Rouge	
0		11 ^c ±1	1,4 ^c ±0,153	1,466±0,003
1		12 ^c ±1	1,6 ^c ±0,153	1,467±0,002
5		18 ^b ±1	2,2 ^b ±0,153	1,467±0,002
10		22 ^a ±1	3,4 ^b ±0,153	1,467±0,002

Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions

II.1. Indice de réfraction

Lié à l'instauration, cet indice est influencé par de nombreux facteurs : acidité libre, oxydation, polymérisation et présence de fonctions secondaires sur les molécules (WOLF, 1968). Il augmente avec : l'état d'altération de l'huile, la longueur de la chaîne des acides gras et avec leurs instaurations (MALLIKARJUNAN *et al.*, 2010).

Par ailleurs, l'indice de réfraction est considéré comme un critère de pureté de l'huile. C'est un caractère d'identification, il est propre à chaque huile.

L'indice de réfraction augmente durant le 1^{er} cycle de friture, puis se stabilise pour les dix autres. En s'appuyant sur les facteurs susceptibles d'entraîner l'augmentation de ce critère, on suggère que la diffusion des acides gras du poisson vers les bains de fritures pourrait être à l'origine de cette évolution. En effet, le poisson est caractérisé par sa haute teneur en acides gras polyinsaturés à longue chaîne.

Le tableau XVI représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable Indice de réfraction.

Tableau XVI: Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de réfraction

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	11	0				
VAR.FACTEUR 1	0	3	0	0,421	0,74493		
VAR.RESIDUELLE 1	0	8	0			0,002	0,14%

Les résultats de la détermination de l'indice de réfraction n'ont pas révélé de différence significative ($p\text{-value}=0.74493>0.05$). Ce qui confirme l'absence de l'influence du nombre de friture de poisson sur l'indice de réfraction des huiles des bains. Le test de *NEWMAN* et *KEULS* a montré un seul groupe homogène.

II.2. Couleur

L'altération des huiles se traduit généralement par une intensification de leur couleur d'origine. Les résultats que nous avons obtenus, représentés dans la figure 7 et 8, montrent que le nombre d'unités jaune et rouge augmente significativement en fonction du nombre de fritures.

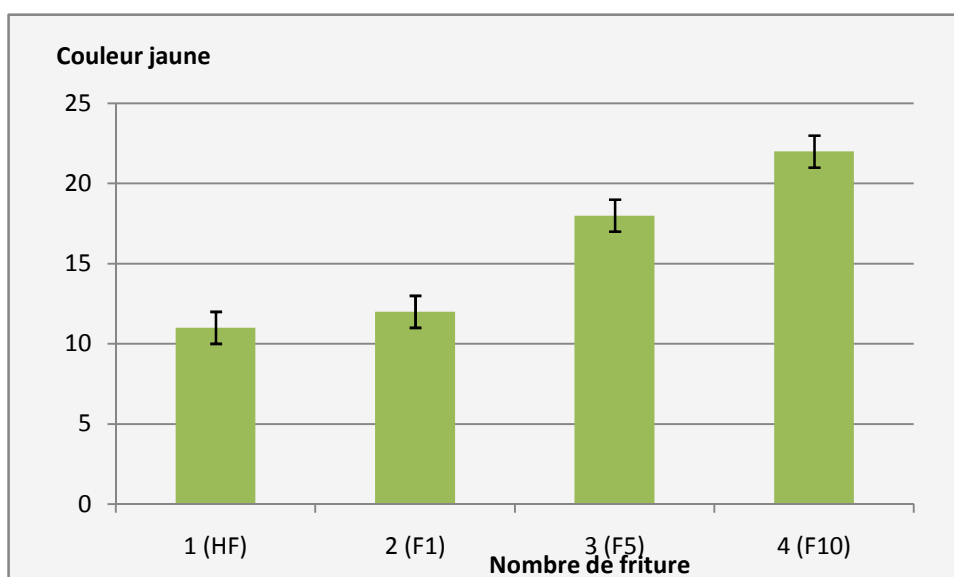


Figure 7 : Evolution de la couleur jaune au cours des fritures de l'anchois

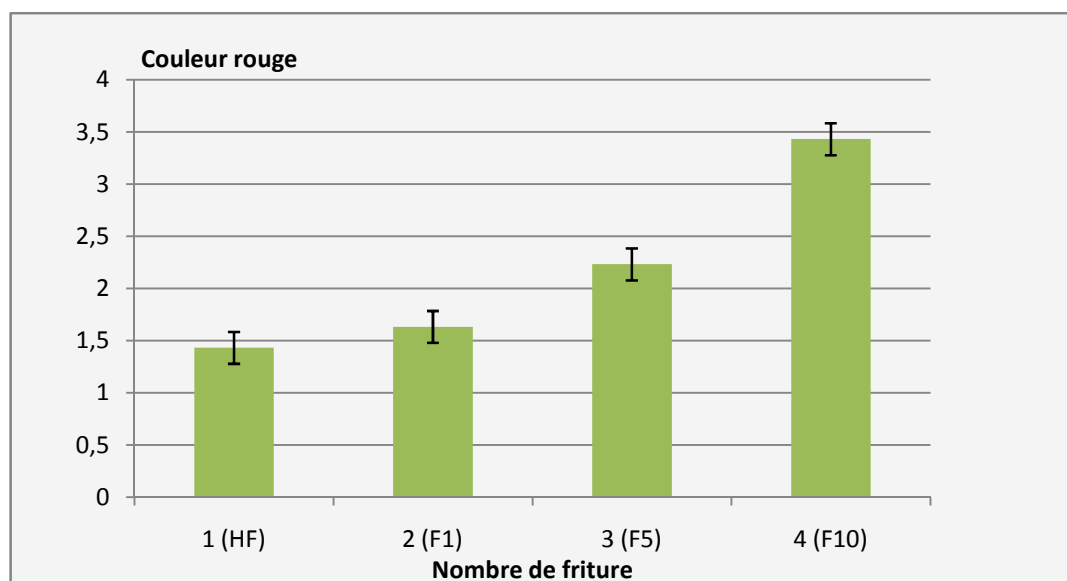


Figure 8 : Evolution de la couleur rouge au cours des fritures de l'anchois.

D'après *GHAZALI et al. (2009)*, outre l'oxydation, la variation de la couleur des huiles de fritures serait liée directement à la composition de l'aliment frit. En effet, certains composés de l'aliment, comme les hydrates de carbone peuvent être introduits dans l'huile de bains de friture ; de tels composés réagissent avec l'huile entraînant le changement de sa couleur.

L'évolution de la couleur du mélange lors des fritures de la sardine est relativement plus marquée que celle des fritures de la pomme de terre comme indiqué lors des travaux menés au niveau de « notre » faculté.

Selon *GERTZ (2008)*, la couleur brune de l'huile de friture est due aux produits de la réaction de Maillard (réaction entre une fonction amine et un sucre réducteur). Dans le cas de la pomme de terre riche en glucide (environ 20%), le changement de la couleur de l'huile utilisée en friture est dû principalement à cette réaction.

La couleur intense et sombre est plus importante dans le cas de la friture avec poisson, ceci s'explique par le nombre important de réactions chimiques entre les lipides du poisson et ceux de l'huile dans le bain de friture, qui se traduisent par la formation de différents polymères thermo-oxydés. Le *tableau XVII* représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable, la couleur.

Tableau XVII: Résultats de l'ANOVA pour la variable la couleur(Jaune)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	250,25	11	22,75				
VAR.FACTEUR 1	242,25	3	80,75	80,75	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	8	8	1			1	6,35%

Les résultats de l'analyse de l'intensité de la couleur jaune ont révélé une différence très hautement significative au seuil de 5% ($p\text{-value}=0,00001 < 0,05$). Ceci confirme une grande influence du nombre de friture sur la couleur jaune de l'huile. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% (*annexe 6*) a fait apparaître trois groupes homogènes A, B et C pour le facteur, la couleur jaune. Par ailleurs, le *tableau XVIII* représente les résultats de l'analyse de la variance pour l'autre facteur, la couleur rouge.

Tableau XVIII : Résultats de l'ANOVA pour la variable la couleur Rouge

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,477	11	0,68				
VAR.FACTEUR 1	7,29	3	2,43	104,143	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,187	8	0,023			0,153	7,00%

Les résultats de l'analyse de la couleur rouge ont révélé une différence hautement significative au seuil de 5% ($p\text{-value}=0,00001 < 0,05$). Ceci confirme une grande influence du nombre de friture sur la couleur rouge de l'huile de friture. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% (*annexe 7*) a, également, fait apparaître trois groupes homogènes A, B et C pour le facteur, la couleur rouge.

II.3. Composés polaires (TPC)

La détermination des composés polaires totaux (TPC) dans l'huile de friture fournit la mesure la plus fiable de l'ampleur de la dégradation oxydative (*ANDRALI et al., 2010*). Les huiles de fritures sont considérées comme dangereuses pour la santé humaine lorsque le pourcentage en TPC atteint 25% en poids. Pour certaines réglementations européennes, une huile de friture dépassant 25% de TPC doit être renouvelée (*GUILLENE et URIARTE, 2012*).

Tableau XIX : Résultats des taux de composés polaires.

Huiles	Composés polaires (TPC%)			
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	Moyenne
Huiles fraîche	1,2	1,1	1,1	1,133 ^c ±0,058
1 ^{ère} friture (37°C)	5	8,1	7	6,7 ^b ±1,572
5 ^{ème} friture (40°C)	7,8	11,3	10,9	10 ^a ±1,916
10 ^{ème} friture (40°C)	10,5	10,5	12,9	11,303 ^a ±1,383

Le pourcentage en composés polaires des huiles de fritures atteint au bout de la dixième friture un taux de 11,303% ; ce résultats est très en dessous de la valeur limite maximale signalée par la réglementation internationale (25%).

Cette augmentation serait due à l'oxydation et à la polymérisation des triglycérides naturellement non polaires, affectée par l'oxygène et la chaleur induisant la formation de composés de polarité plus élevée, comme les AGL, les mono- et diglycérides, aldéhydes, cétones, polymères, composés cycliques et aromatiques.

Le *tableau XX* représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable composés polaires.

Tableau XX: Résultats de l'ANOVA pour la variable composé polaires

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	201,221	11	18,293				
VAR.FACTEUR 1	185,11	3	61,703	30,64	0,00016		
VAR.RESIDUELLE 1	16,111	8	2,014			1,419	19,48%

L'analyse de la variance donnée par le *tableau* montre que le nombre de friture a un effet très hautement significatif sur les taux de composés polaires des huiles des bains de friture. Le test de *NEWMAN et KEULS* au seuil de signification de 0.1% (*annexe 8*) fait apparaître trois groupes homogènes A, B et C.

II.4. Test d'oxydabilité accélérée

Le test de Rancimat est un paramètre important pour l'évaluation de la qualité des huiles. Il donne une bonne estimation de leur sensibilité à la dégradation oxydative (*CHEIKH-POUHOU, 2007*).

Ce test a été effectué à l'aide du Rancimat (*ISO 6886*) avec la spécification du temps d'induction au test Rancimat, exprimé en heures. Il correspond au temps pendant lequel l'huile végétale a résisté à un stress oxydatif (*JUDDE, 2004*).

Les résultats obtenus pour l'oxydabilité accélérée sont présentés dans le *tableau XXI* ; la stabilité est exprimée en temps d'induction d'oxydation.

Tableau XXI: Résultats du test de Rancimats.

Huiles	Huile fraîche	1 friture	5 fritures	10 fritures
Temps d'induction (heures)	13	08	09	11

Ces résultats représentent une seule répétition

Les huiles sont soumises à un stress oxydatif présentent deux formes d'altération poussée : une altération thermique par effet de la chaleur (98°C) et une altération oxydative provoquée par un flux d'air barboté dans l'huile induisant son oxydation.

Ce test renseigne sur la résistance ou la sensibilité de l'huile analysée : plus cette huile possède un temps d'induction élevé, plus celle-ci est dite résistante. Une autre explication peut être également évoquée, c'est celle de *FRANKEL (2007)* ; celui-ci suggère qu'un degré élevé en acides gras insaturés offre une grande susceptibilité à la formation de radicaux libres, accentuant le processus d'oxydation de cette huile.

Cependant, il ressort, contre toute attente, une augmentation de la « résistance » de l'huile pendant les essais de fritures. On suggère que ceci serait dû à la diffusion des molécules anti-oxydantes contenues dans la chair fraîche de poisson dans le bain de friture. Il a été rapporté dans la bibliographie une richesse des poissons en ces molécules protectrices, à l'origine des vertus thérapeutiques de ces aliments d'origine marine.

III. Evolution des indices chimiques

Le tableau XXII englobe les résultats d'analyses chimiques effectuées sur l'huile fraîche et les différents échantillons d'huiles prélevés des bains après chaque friture.

Tableau XXII : Résultats des indices chimiques

Nombre de fritures	Acidité (%)	Indice de peroxyde (meq O ₂ /kg d'huile)	Indice d'iode (g I ₂ /100g d'huile)	Indice de saponification (mg KOH /g d'huile)
0	0,08 ^b ±0,01	0,8 ±0,1	137,68 ^a ±0,092	182 ^c ±2
1	0,16 ^b ±0,01	2,6 ±0,1	134,86 ^b ±0,05	183 ^{bc} ±1,528
5	0,20 ^b ±0,01	4,0 ±0,1	121,17 ^c ±0,025	186 ^{ab} ±1
10	0,27 ^a ±0,01	5,2 ±0,1	115,19 ^d ±0,045	188 ^a ±1

Ces valeurs sont une moyenne de trois répétitions

III.1. Evolution de l'acidité

L'acidité est un moyen de mesurer le degré d'altération hydrolytique d'une huile ; elle permet de mettre en évidence une hydrolyse ; néanmoins, cette hydrolyse ne prévoit pas le degré d'oxydation ou de polymérisation des AG. Elle renseigne juste sur le taux d'AGL présents dans une huile (KPOVISSI et al., 2004). Dans le processus d'hydrolyse, la molécule de TG réagit avec une molécule d'eau pour donner un AGL et un diacylglycérol (GUPTA, 2005).

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

L'huile « Elio » fraîche utilisée dans notre étude a une acidité de 0.08% ; cette valeur est en concordance avec la norme algérienne (NA 1169 – 1990) établie à un maximum de 0,20% ; ceci dénote une maîtrise du raffinage dans l'unité où cette huile est élaborée.

Toutefois, elle est inférieure à celle obtenue par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ayant analysé la même marque d'huile ; la valeur enregistrée est de 0.151%.

Les résultats obtenus pour l'évolution durant la friture dans notre étude sont illustrés dans la *figure 9*.

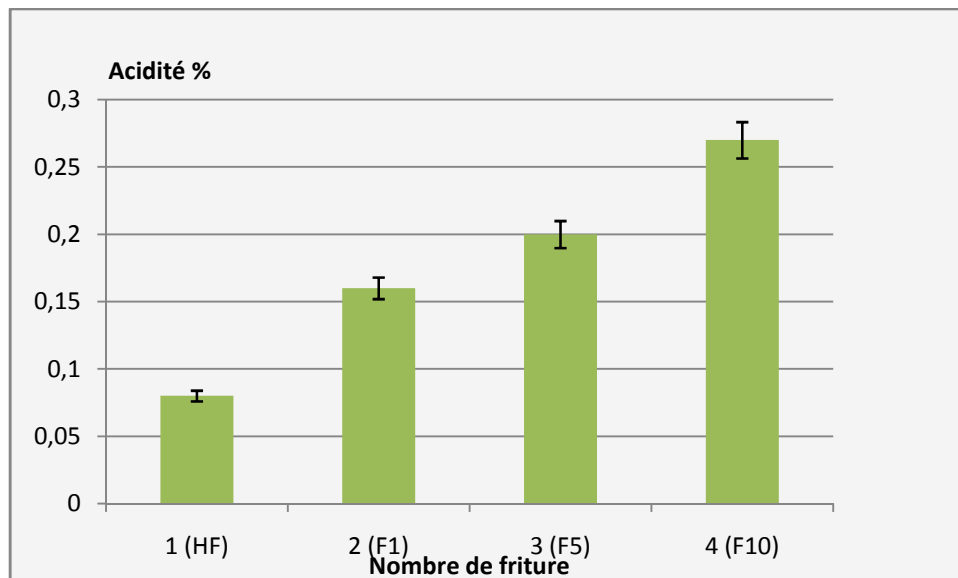


Figure 9 : Evolution de l'acidité au cours des fritures de l'anchois

Les résultats obtenus nous montrent une augmentation de cet indice chimique au fur et à mesure que le nombre de friture augmente. L'acidité augmente de 0.16% à la 1^{ère} friture et atteint une valeur de 0.20% à la 5^{ème} friture et 0.27% à la 10^{ème} friture.

Les valeurs de l'acidité obtenues dans notre étude expérimentale sont plus élevées que celles obtenues par *TRACHE et KECILI (2014)* ; ils ont noté des valeurs de 0.044% et de 0.063% respectivement à la 1^{ère} et à la 10^{ème} friture avec la pomme de terre. A la dixième friture, où on a enregistré une valeur de 0,27%, le taux d'acidification de notre huile est plus important que celui enregistré par *TRACHE et KECILI (2014)*.

Donc, l'huile s'altère rapidement avec la friture de poisson, L'acidité de l'huile présente des valeurs relativement élevées que lors de la friture de la pomme de terre. Cela peut être dû à la complexité de la composition du poisson (l'anchois). Cette différence pourrait être due à la contamination du bain de friture par l'huile d'anchois, contenant une forte teneur en AG fortement polyinsaturés ; ces AGPI s'oxydent rapidement, ce qui aurait induit une forte peroxydation des huiles des bains de friture, mis en évidence par une augmentation des valeurs de cet indice

L'augmentation de l'acidité des huiles des bains de friture observée dans notre étude peut être expliquée par la présence de l'eau de constitution de la chair de poisson, cette eau aurait catalysé la dégradation hydrolytique de l'huile chauffée.

Cette élévation pourrait, également, être due aux conditions expérimentales ; il importe de signaler que cette analyse a été effectuée 5 jours après la friture sur des échantillons conservés au réfrigérateur et à l'abri de la lumière puis transportés jusqu'au laboratoire de la raffinerie « Cevital » à Bejaia où les analyses ont été effectuées ; ces conditions pourraient contribuer à l'accumulation des AGL dans les bains de fritures, comme ont été rapportés par *GRANDGIRARD (1992)* ; *VITRAC et al. (2003)*.

Le *tableau XXIII* représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable l'acidité.

Tableau XXIII: Résultats de l'ANOVA pour la variable de l'acidité

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,822	11	0,075				
VAR.FACTEUR 1	0,802	3	0,267	103,796	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,021	8	0,003			0,051	14,19%

Les résultats de la détermination de l'acidité ont révélé une différence significative au seuil de 5% ($p\text{-value}=0,00001 < 0,05$). Ceci confirme une grande influence du nombre de friture sur les huiles des bains. Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% (*annexe 9*) fait apparaître deux groupes homogènes A et B.

III.2. Evolution de l'indice de peroxyde

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

L'indice de peroxyde pour l'huile fraîche est en concordance avec la norme ISO 3960 ayant retenu une valeur maximale de 10 meqO₂/Kg d'huile. Néanmoins, nos résultats sont nettement inférieurs à ceux obtenus par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ayant travaillé sur la même marque d'huile ; les valeurs enregistrées sont respectivement de 1.833 meqO₂/Kg d'huile et 4.333 meqO₂/Kg d'huile.

Cet écart pourrait être dû à la différence de qualité de l'huile brute réceptionnée et traitée dans la raffinerie ; les conditions de récolte, de raffinage et de stockage, etc. peuvent catalyser la formation des peroxydes dans l'huile brute et dans l'huile raffinée élaborée.

Durant les essais de friture, ya augmentation de cet indice. Les résultats de notre expérimentation sont illustrés par la *figure10*.

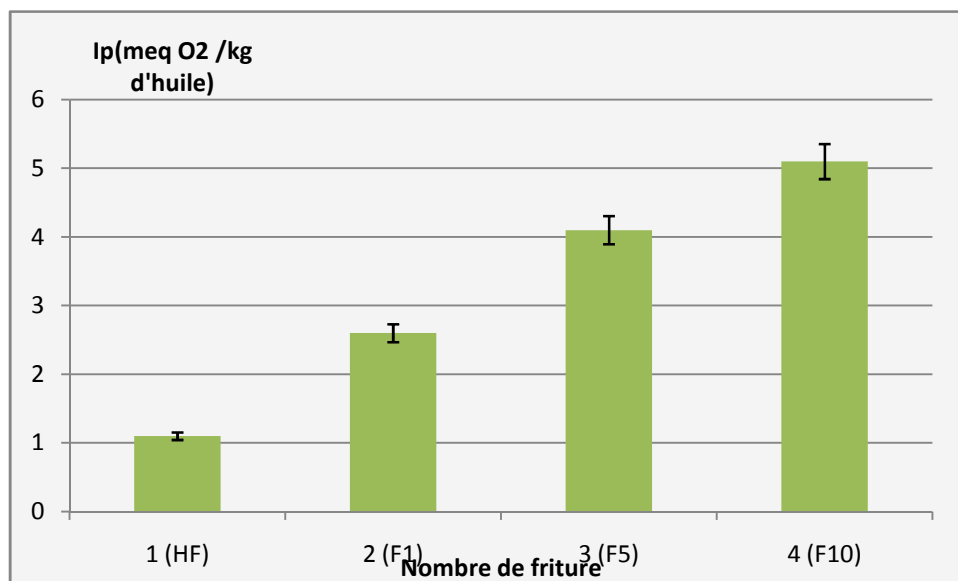


Figure 10 : Evolution de l'indice de peroxyde au cours des fritures de l'anchois

La *figure 10* montre que l'indice de peroxyde augmente au fur et à mesure que le nombre de fritures augmente. Selon *JUDDE (2004)*, cette augmentation est due à la formation de peroxydes (ROO°) à partir des radicaux libres instables (R°) des AG. Ces peroxydes sont incolore sans goût particulier ni odeur ; ce sont les produits primaires d'oxydation qui se forment dans l'huile lors des fritures (*ABDULKARIM et al., 2007*).

Dans notre cas, l'indice de peroxyde augmente de 0.8 meq O₂ / kg d'huile fraîche jusqu'à 5,2 meq O₂ / kg d'huile à la dixième friture. Au dixième cycle de friture, le taux de peroxyde est nettement supérieur à ceux enregistrés par *TRACHE et KCILI (2014)* ; les valeurs enregistrées sont respectivement de 2.23 meq O₂ / kg d'huile « Elio ».

L'indice de peroxyde de l'huile présente des valeurs relativement élevées que lors de la friture de la pomme de terre. Cela peut être dû à la complexité de la composition du poisson (l'anchois). Cette différence pourrait être due à la contamination du bain de friture par l'huile d'anchois, contenant une forte teneur en AG fortement polyinsaturés ; ces AGPI s'oxydent rapidement, ce qui aurait induit une forte peroxydation des huiles des bains de friture, mis en évidence par une augmentation des valeurs de cet indice.

L'indice de peroxyde augmente aux cours des traitements thermiques appliqués 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). Le tableau XXIV représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable Indice de peroxyde.

Tableau XXIV: Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de peroxyde

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	52,737	11	4,794				
VAR.FACTEUR 1	9,99	3	3,33	0,623	0,62206		
VAR.RESIDUELLE 1	42,747	8	5,343			2,312	60,57%

Les résultats de la détermination de l'indice de réfraction n'ont pas révélé de différence significative ($p\text{-value}=0.74493 > 0.05$). Ce qui confirme l'absence de l'influence du nombre de friture de poisson sur l'indice de réfraction des huiles des bains. Le test de *NEWMAN* et *KEULS* a montré un seul groupe homogène.

III.3. Evolution de l'indice d'iode

L'indice d'iode indique le nombre de double liaisons ou le degré d'insaturation globale des lipides. Ainsi, cet indice renseigne sur le degré d'oxydation des huiles et, donc, sur leur stabilité oxydative. Selon *KPOVISSI et al. (2004)*, les valeurs élevées de l'indice d'iode indiquent que ces huiles sont riches en AGI.

La valeur de l'Ii enregistrée sur notre huile fraîche est $137,68\text{gI}_2/100\text{g}$; elle est conforme à la norme nationale, comprise entre 120 et $143\text{ g I}_2/100\text{g}$ huile ; elle est, toutefois, inférieure à la valeur trouvée par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ($205.336\text{g I}_2/100\text{g}$ huile) ayant travaillé sur la même marque d'huile. Les résultats obtenus dans notre étude sont illustrés par la *figure 11*.

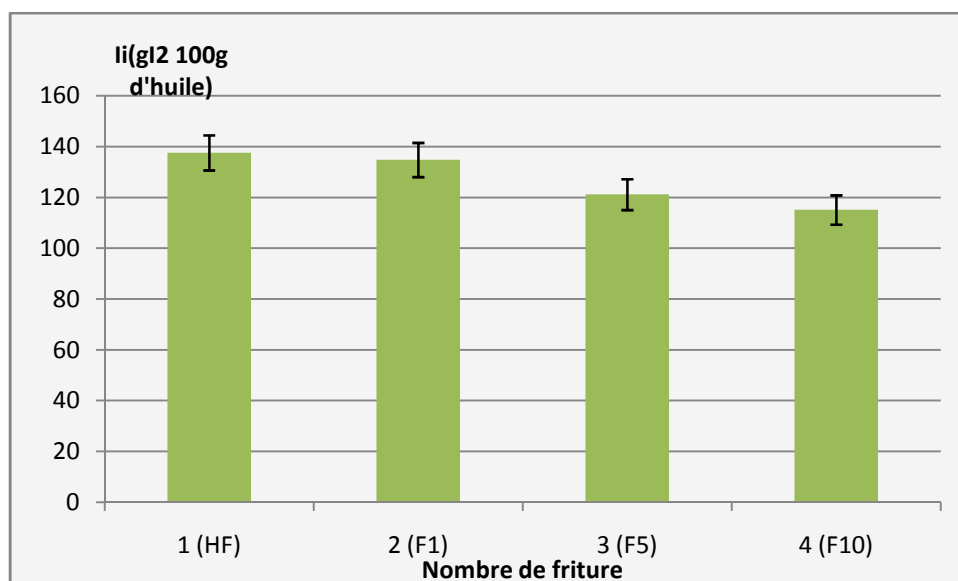


Figure 11. Evolution de l'indice d'iode au cours des fritures de l'anchois

Durant les essais de fritures, l'Ii diminue au fur et à mesure que le nombre de fritures augmente (*figure 11*) ; cette chute est due à la formation des produits d'oxydation lipidiques (*GERTZ 2008 ; SANCHEZ-GIMENO et al., 2008*).

Cet indice comme le montre la *figure 13*, chute d'une valeur de 134,86 gI₂/100 g d'huile à 115,19gI₂/100g huile à la 10^{ème} friture. Le nombre de doubles liaisons de l'huile diminue aux cours des fritures successive.

Selon *GRANGIRARD et JULLIARD (1987)*, la diminution de degré de l'instauration des huiles utilisées est due à la polymérisation thermique des chaînes grasses insaturées. En comparant nos résultats à ceux obtenus par *TRACHE et KECILI (2014)* sur la même marque d'huile, mais dont l'aliment est complètement différents, on remarque qu'à la dixième friture, notre huile est plus peroxydée ; les valeurs enregistrées sont respectivement de 112,94g I₂/100gd'huile et de 115,19g I₂/100gd'huile de la dixième friture. Cette forte diminution de l'indice d'iode confirme les valeurs élevées de l'indice de peroxyde et montre aussi que l'huile de bain de friture facilement et fortement lorsque avec la friture de poissons.

Le *tableau XXV* représente les résultats de l'analyse de la variance pour la variable Indice d'iode.

Tableau XXV: Résultats de l'ANOVA pour la variable indice d'iode

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1043,138	11	94,831				
VAR.FACTEUR 1	1043,111	3	347,704	102184,3	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,027	8	0,003			0,058	0,05%

L'étude statistique réalisée pour le paramètre, indice d'iode a donné une probabilité égale à 0, donc inférieure à 0.001, ceci indique une différence très hautement significatives entre les niveaux de ce facteur. Cela montre que le facteur étudié (nombre de friture de poisson) influe sur l'huile. Le test de *NEWMAN-KEULS* (*Annexe10*), a montré quatre groupes homogènes (A, B, C et D), chaque groupe représente un niveau de facteur, donc ces différences qui sont très hautement significatives existent entre chaque niveau de facteur.

III.4. Evolution de l'indice de saponification

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

La valeur de l'indice de saponification de l'huile fraîche étudiée est de 137,68mg de KOH/g d'huile. Cette valeur concorde avec les normes fixées par le *Codex alimentarius*, soit 188-194mg de KOH/g d'huile. Cet indice est, cependant, supérieur à celui trouvé par *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ayant travaillé sur la même marque d'huile « Elio », la valeur enregistrée est de 187 mg de KOH/g d'huile. Les résultats de notre expérimentation sont illustrés par la *figure12*.

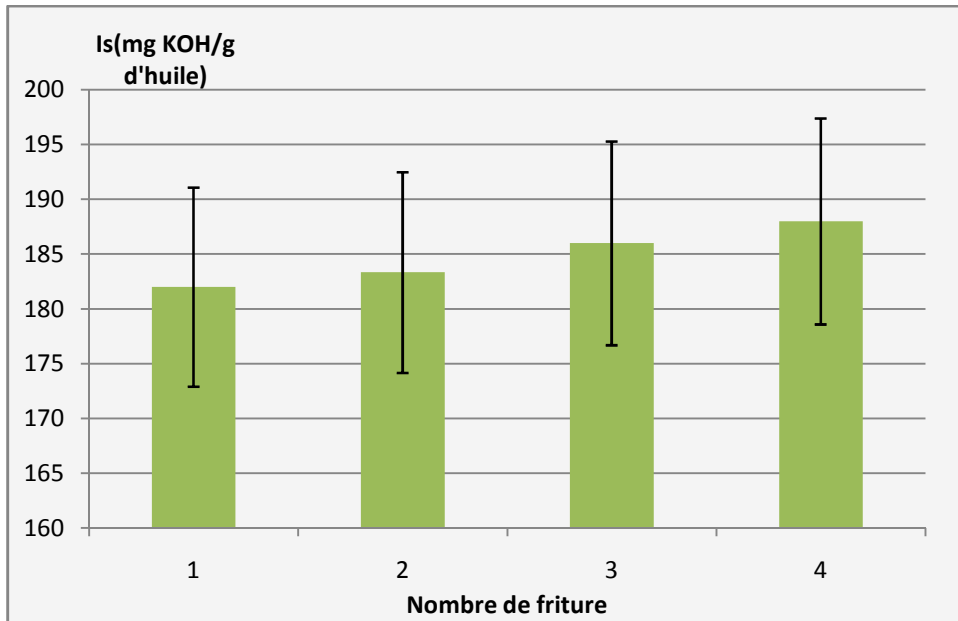


Figure 12. Evolution de l'indice de saponification au cours des fritures de l'anchois

La représentation graphique des résultats obtenus (*figure 12*) montre une augmentation de l'indice durant les dix cycles de fritures ; cela s'explique par la rupture des chaînes d'acides gras avec formation des hydroperoxydes sous l'effet de la chaleur ; 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*).

Toutefois *GUETTAR et HAMOUNI (2015)* ; *HAMRANI et NAIT AMER (2014)* ayant travaillé sur la friture de la pomme de terre en utilisant la même marque d'huile (Elio) ont obtenu une diminution de cet indice. Cette diminution est due à la formation des polymères par le pontage inter moléculaire des triglycérides oxydés (*PERRIN, 1992*). Le *tableau XXVI* représente les résultats de l'analyse de la variance pour cet indice.

Tableau XXVI: Résultats de l'ANOVA pour la variable indice de saponification

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	81,667	11	7,424				
VAR.FACTEUR 1	65	3	21,667	10,4	0,00423		
VAR.RESIDUELLE 1	16,667	8	2,083			1,443	0,78%

Les résultats de la détermination de l'indice de saponification ont révélé une différence significative au seuil de 5% ($p\text{-value}=0,00423 < 0,05$). Ceci confirme une grande influence du nombre de friture de poisson sur les valeurs de cet indice durant les fritures répétées. Le test de *NEWMAN et KEULS* au seuil de signification de 5% (*annexe 11*) fait apparaître trois groupes homogènes A, AB, BC et C pour le facteur étudié.

Ce travail a été mené dans le but d'évaluer les modifications physico-chimiques de l'huile « Elio » durant la friture de poisson (cas Anchois). A cet effet, dix fritures successives de l'anchois ont été menées au laboratoire à l'aide d'une friteuse électrique fermée à une température de 150°C.

Les échantillons d'huiles des bains de fritures ont été prélevés après chaque cycle et ont fait l'objet de diverses analyses afin de déterminer l'évolution des paramètres physico-chimiques indicateurs du déroulement des réactions de détérioration.

Les résultats obtenus ont révélé plusieurs modifications dans la composition des huiles de bains de fritures. Celles-ci sont dues à l'action combinée de la chaleur appliquée, de l'oxygène et des constituants de poisson (eau et nutriments). Le niveau d'altération des huiles des bains augmente avec l'avancement de la friture (nombre de fritures).

Les signes d'altération commencent à partir de la 5^{ème} friture où la couleur du bain de friture commence à s'accroître ; néanmoins, la couleur de l'anchois préparé avec ce bain de friture est appréciable, d'un goût caractéristique des aliments frits.

L'altération de la qualité sensorielle des anchois préparés est à partir de la 5^{ème} friture est le résultat de la détérioration de certains critères chimiques, notamment les indices de peroxyde et d'iode. L'indice de peroxyde, renseignant sur la formation et l'accumulation des produits primaires d'oxydation ; cet indice augmente continuellement lors des fritures et atteint une valeur maximale de 5,2 à la dixième friture. Néanmoins, cette valeur est acceptable ; elle est inférieure à 10 meq/Kg d'huile. L'indice d'iode a, également, enregistré une forte diminution ; cette chute est due à la diminution du nombre de doubles liaisons des AG de l'huile.

En dépit de toutes les altérations constatées à travers les indices classiques (indices d'acide, de peroxydes, etc.), l'huile utilisée dans ces essais de friture ne s'est pas détériorée pour autant. En effet, le taux de composés polaires du 10^{ème} bain de friture n'a pas dépassé la limite maximale fixée par les organismes internationaux, à savoir un taux $\leq 25\%$. En s'appuyant sur ce résultat et les conditions de friture, cette huile pourrait être réutilisée.

Néanmoins et afin de veiller à la santé du consommateur, il est plus que nécessaire de respecter vigoureusement les recommandations pratiques de friture citées dans divers manuels des corps gras. De plus, il est utile de respecter le nombre de fritures porté sur l'étiquette de l'emballage des huiles raffinées commercialisées.

A

- ❖ **ABDULKARIM S.M ; LONG K ; LAI O.M ; MUHAMMAD S.K.S. et GHAZALI H.M. (2007).** Frying quality and stability of high-oleic *Moringaoleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, (105), pp : 1382 – 1389.
- ❖ **ADRIAN J ; DAN VILLIER P ; et POTUS J. (1998).** Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaire. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 47 –171.
- ❖ **APFELBUM M ; ROMAIN M. et DUBUS M. (2009).** Diététique et nutrition. 7^{ème} édition. Masson, Paris. pp : 321 – 334.

B

- ❖ **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.
- ❖ **BOUCHON P., 2009.** Understanding Oil Absorption During Deep-fat Frying, *Advances in Food and Nutrition Research*, vol. 57, chap. 5, p.p. 209-234.
- ❖ **BOURRE JM. ,2005** Dietary omega-3 Fatty acids and psychiatry: mood, behaviour, stress, depression, dementia and aging. *J Nutr Health Aging.*; 9:31-38..

C

- ❖ **CALDER PC., 2004** n-3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. *Clin Sci (Lond)* July;107(1):1-11
- ❖ **CODEX-ALIMENTARUS, (1992).** Normes codex pour les graisses et les huiles d'origine vegetales. In :Graisses, Huiles et Produits dérivés volume (8), FAO/OMS, Rome. pp : 9 – 71.
- ❖ **COMBE N. ET ROSSIGNOL-CASTERA A., 2010.** Huiles végétales et friture. *Cahiers de nutrition et diététique*, vol.45, p.p. 44-51.

- ❖ **CHEIKH- POUHOU S., BESBES S., HENTATI B., BLECKER C., DEROANNE C. ET ATTIA H., 2007.** Nigella sativa L: chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. Food chemistry, vol. 101, p.p. 673-681
- ❖ **CUVELIER M.E. ET MAILLARD M.N., 2012.** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL, vol. 19, n. 2, p.p. 125-132.

D

- ❖ **DOBARGANES C., 1998.** Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils. OCL, vol. 5, p.p. 41-47.
- ❖ **DRONNE Y. (2001).** Les marchés oléagineux de l'Europe dans le contexte international. OCL. N°3, Vol 8, pp : 183 – 190.

E

- ❖ **EYMARD S. (2003).** Mise en évidence et suivie de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*) : choix des procédés. Thèse de doctorat spécialité biochimie. Ecole polytechnique de l'université de Nantes.

F

- ❖ **FRANKEL EN. (1998).** Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- ❖ **FRANKEL E.N., 2007.** Antioxidants in food and biology. Dundee : The Oily Press LTD.

- ❖ **FREDOT E. (2012).** Connaissance des aliments: base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition: Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 417–488.
- ❖ **FREDOT E. (2005).** Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 296-320.
- ❖ **FRENOT M ; et VIERLING E. (2001).** Biochimie des aliments : Diététique du sujet bien portant. 2^{ème} édition : Doin éditeur. Pp : 79-94.

G

- ❖ **GERTZ C. (2008).** Optimum deep frying, from the Food Industries Association of Austria, F.I.A.A. from June. pp : 125 – 135.
- ❖ **GERMAN J.B. et KINSELLA J.E. (1985).** Lipid oxidation in fish tissue, enzymatic initiation via lipoxygenase. Journal of agricultural and food chemistry, Vol.33, pp : 680 – 683.
- ❖ **GERTZ C. et KOCHAAR P. (2001).** A new method to determine oxidative stability of vegetable fat and oil at simulated frying temperature. OCL. Vol 8. N° 1, pp: 82-91.
- ❖ **GHAZALI H. M., TAN A., ABDULKARIM D. AND ZULKILLY M.U. 2009.** Oxidative stability of virgin coconutoil compared with RBD palm olein in deep fat frying of fishe craches. Journal of food, vol. 7, n°3 et 4, p.p. 23-29.
- ❖ **GOTOR A. A. (2008).** Etude des variations des teneurs et de la variabilité des compositions en tocophérols et en phytostérols dans les Akènes et l’huile de tournesol (*Helianthusannuus L.*). Thèse de doctorat, université de Toulouse, France.
- ❖ **GRANDGIRARD A. (1992).** Transformation des lipides au cours des traitements thermiques, effet nutritionnels et toxicologiques. In : aspect nutritionnel des constituants des aliments influence des technologies. Edition. Tec et Doc, Paris. pp : 49 – 63.
- ❖ **GRANDGIRRAD A. et JULLIARD F. (1987).** Corps gras. Rev. Fse, (34). pp : 213 – 219
- ❖ **GRAILLE J. (2003).** Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec& Doc, Lavoisier, Paris. pp : 1– 170.

- ❖ **GUPTA M.K. (2005).** Frying oils. Bailey's industrial oil and fat products. 6^{ème} édition. John Wiley & Sons, Inc. pp : 1 – 23.
- ❖ **GUILLEN M.D., URIARTE P.S., 2011.** A very simple, fast, and non-destructive approach to predict the time at which edible oils submitted to high temperature reach the established limits of safety. Food Chemistry, vol.127, p.p. 802-806.
- ❖ **GUETTAR T.et HAMOUNI Z. (2015).** effet de l'augmentation du nombre de friture sur la stabilité de l'huile « elio ». Mémoire d'ingénieur d'état. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie.

J

- ❖ **JOTTERAND C. et KIZIRIAN N.** Les acides gras oméga 3 et omega 6: pourquoi sont-ils essentiels ? *Haute école de santé Genève*, 2007, 1-7.
- ❖ **JUDDE A. (2004).** Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : Mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants, pour quelles applications. OCL, n° 6, vol.11, pp : 414 – 418.
- ❖ **JUAREZ M.D. et al., 2011.** Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. Food Control, vol. 22, p.p. 1920-1927.
- ❖ <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-aliments/ anchois/composition>

H

- ❖ **HORROCKS LA, YEO YK.** Health benefits of docosahexaenoic acid (ADH). *Pharmacol Res* 1999 September;40 (3):211-25.

K

- ❖ **KARLESKIND A. (1992).** Principaux constituants chimiques des corps gras, propriétés chimiques des corps gras. In : Manuel des corps gras Tome 1. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 95 – 358.
- ❖ **KAUFFMANN A., RYSER B. and SUTR B. (2000).** Comparaison of different methods to determine polar compounds frying oils. Food technologie. 377-380.
- ❖ **KPOVIESSI D.S ; GEORGE C ; ACCROMBESSI ; KOCHOOH C ; MOHAMED M ; SOUMANAU. et MOUDACHIROU M. (2004).** Propriétés physicochimiques et compositions de l'huile non conventionnelle de pourghère (jatropha-curca) de différentes régions du Benin, (7).pp : 1007 – 1012.

L

- ❖ **LABOURET P. (2005).** Les huiles alimentaires. Vegetal oils: The different advantages of different oils in health, pp : 1– 6.
- ❖ **LECERF J-M. (2011).** Les huiles végétales particularités et utilités. Médecine des maladies Métaboliques (5) 3, pp : 257 – 262.

M

- ❖ **MALLIKARJUNAN K., NGADI M.O. et CHINNAN M.S., 2010.** Breaded fried foods. CRC Press, éd Taylor & Francis group, 118 p
- ❖ **MEYER C.,ED.SC., 2009,** Dictionnaire des sciences animales.
- ❖ **MOHTADJI LAMBOLLAIS.et CORINE (1989).** Les corps gras. In : Les aliments. Paris : Moline. pp : 93.
- ❖ **MORIN O. et PAGES-XATART-PARES X. (2012).** Huiles et corps gras vegetaux. ressources fonctionnelles et interet nutritionnel. OCL,19(2), pp : 63 – 75.
- ❖ **MORI TA, BEILIN LJ.** Omega-3 fatty acids and inflammation. *Curr Atheroscler Rep.* 2004;6:461-467.

N

- ❖ **NDJOUENKEU R., NGASSOUM M., 2001.** Etude comparative de la valeur en friture profonde de quelques huiles végétales (Comparative study of frying behaviour of some vegetables oils). Journal of Food engineering, vol.52, p.p. 121-125.

O

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

P

- ❖ **PAULE N.(2001).** Diététique, les aliments, les huiles : huile de soja, valeur nutritionnelle de l'huile de soja. In :Mémento de l'agronome.
- ❖ **PERRIN J.L. (1992).** Evolution des corps gras au cours de leur utilisation alimentaire. In : Manuel des corps gras. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris pp : 1015– 1031.
- ❖ **POISSON J-P ; et NARCE N. (2003).** Corps gras alimentaires : aspects chimiques, biochimiques et nutritionnels. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition Tec & Doc, Lavoisier. pp : 1–47.
- ❖ **POKORNY J. (2003).** Problème de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 51.74.

- ❖ **PRIOR E. (2003).** Usage des corps gras alimentaires dans différents secteurs de la technologie alimentaire. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 147-179.

R

- ❖ **RAHMANI M, SAAD L.,1989.** Photooxydation des huiles d'olive : influence de la composition chimique. Rev Franç Corps Gras,vol. 36, p.p. 355-60.
- ❖ **RIAHI J.and MARZOUKI B ,2000** Effets of light on some vegetal oils quality and stability. Preliminary note. Rivista Italiana delle sostanze grasse.77 .
- ❖ **ROGIS FAURNIER.** Huile de tournesol, 2002 [en ligne]. (<http://www.prolea.com/tournesol.htm>). (page consultée en février 2007).
- ❖ **ROLLAND H. (2004).** Antioxydants naturels végétaux, OCL VOL. 11 N° 6.

S

- ❖ **SAGUY I. S. and DANA D. (2003).** Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Food Chemistry, 50:143-152.
- ❖ **SANCHEZ-GIMENO A. C., BENIO M., VERCET Y R A., ORIA, (2008).** Aceite deoliva virgen extra del Somontano : évaluation de las modificaciones fisico-químicas tras la fritura doméstica de patatas prefritas congeladas, grasas y aceites, 59 (1), enero-marzo. PP : 57-61.

T

- ❖ **TRACHE M et KECILI A. (2014).** Etude comparative de la stabilité oxydative de cinq huiles de tables au cours des fritures répétées. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie.

- ❖ **TREMOLIERE J ; SEVILLE Y ; JACQUOT R. et DUPIN H. (1984).** Manuel de l'alimentation humaine. Tome1. Edition: Esf, Paris. pp : 148

V

- ❖ **VARELA G ; BENDER A.E. et MORTON I.D. (1988).** Frying of Food, Ellis Horwood Ltd., Chichester (England), pp :202.
- ❖ **VIERLING E. (2003).** Aliments et boissons : Filières et produits. 2^{ème} édition : Doin, Cedex. pp : 187 – 208.
- ❖ **VITRAC O ; TRYSTRAN G. et RAOULT-WACK A.L. (2003).** Procédé de friture et produits frits. In: Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp : 231 – 269.

W

- ❖ **WIBOUT A. (1986).**Le livre des produits alimentaires. Edition : MAX BREZOL.

Les modes opératoires :

Les indices physiques :

Annexe 1 : Détermination de l'indice de réfraction

Réactifs

- Ether de pétrole (ou hexane).
- Eau distillée.

Mode opératoire

- Laver les prismes du réfractomètre à l'éther de pétrole.
- Les essuyer avec un chiffon propre et très doux.
- Verser alors entre les prismes 2 à 3 gouttes d'huile.
- Déplacer alors la lunette de visée pour que la ligne de séparation de la plage claire et de la plage sombre se situe à la croisée des fils du réticule.
- Lire l'indice de réfraction de l'huile à t° 40°C.

Les indices chimiques :

Annexe 2 : Détermination de l'acidité

Réactifs

- Oxyde diéthylique / éthanol à 96% (V/V).
- Solution d'hydroxyde de potassium dans l'éthanol (0.1N).
- Phénol phtaléine : solution 10g/l dans l'éthanol à 96%.

Mode opératoire

- dissoudre une prise d'essai (10g) dans 50 à 150 ml du mélange oxyde diéthylique/éthanol.
- titrer en agitant avec la solution d'hydroxyde de potassium jusqu'au virage de l'indicateur (coloration rose de la phénophtaléine durant au moins 10 secondes).
- déterminer le volume (V) de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisé.

Annexe 3 : Détermination de l'indice de peroxyde

Réactifs

- Mélange de 12 ml de chloroforme et de 18 ml d'acide acétique.
- Iodure de potassium : solution (1ml d'eau distillée + 0,5g d'iodure de potassium) aqueuse saturée récemment préparée.
- Thiosulfate de sodium : solution aqueuse 0.01N.
- Empois d'amidon : solution aqueuse à 1%, récemment préparée à partir d'amidon natif.

Mode opératoire

- Peser à 0,01g près dans une capsule 5g d'huile.
- Transvaser la prise d'essai dans un flacon en présence de 12 ml de chloroforme.
- Ajouter 15 ml d'acide acétique et 1 ml d'une solution saturée d'iodure de potassium
- Boucher le flacon et agiter pendant 1 mn pour dissoudre le corps gras, puis l'abandonner 5 mn à l'abri de la lumière.
- Ajouter 75 ml d'eau distillée et titrer l'iode libéré avec la solution de thiosulfate de sodium 0,01 N en agitant vigoureusement en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré.
- Effectuer de la même façon un essai à blanc à l'exception du corps gras.

Annexe 4 : Détermination de l'indice d'iode

Réactifs

- Alcool éthylique à 96%.
- Iode, solution 0,2 N dans l'alcool éthylique à 96%.
- Thiosulfate de sodium, solution 0,1N.
- Amidon soluble à 1%.

Mode opératoire

- Peser au mg près, une prise d'essai de 0,2g de corps gras dans un ballon à fond plat.
- Ajouter à cette dernière 10 ml d'alcool éthylique tout en agitant afin de dissoudre le corps gras.
- Additionner au ballon 10 ml d'iode 0,2 N alcoolique et mélanger la solution.

- Rajouter ensuite 30 ml d'eau et fermer étanchement le ballon par le bouchon.
- Agiter la solution contenue dans le ballon énergiquement pendant 5 mn.
- Ouvrir ce dernier et rincer le bouchon par de petites quantités d'eau qu'on réunit avec la solution.
- Titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à l'apparition de la coloration jaune.
- Ajouter à la solution 1 ml de la solution d'amidon. La coloration devient bleue foncée.
- Continuer à titrer la solution par le thiosulfate de sodium jusqu'à la disparition de la coloration bleue.
- Effectuer de la même façon un essai à blanc à l'exception du corps gras.

Annexe 5 : Détermination de l'indice de saponification

Réactifs

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

Mode opératoire

- Dans une fiole de 250 ml, introduire une prise d'essai de 2g d'huile.
- Ajouter 25 ml de potasse alcoolique 0,5 N.
- Adapter le réfrigérant ascendant.
- Agiter pour dissoudre et porter à l'ébullition pendant 30 à 45 mn, en ajoutant un régulateur d'ébullition (pierre ponce).
- Titrer l'excès d'alcali dans la solution savonneuse chaude avec l'acide chlorhydrique 0,5N en présence de phénophtaléine en solution à 1% dans l'alcool éthylique.
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions à l'exception du corps gras.

Annexe 6 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour indice de couleur (jaune)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	F10	22	A		
3.0	F5	18		B	
2.0	F1	12			C
1.0	HF	11			C

Annexe 7 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour indice de couleur (rouge)

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	F10	3,433	A		
3.0	F5	2,233		B	
2.0	F1	1,633			C
1.0	HF	1,433			C

Annexe 8: Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour les composés polaires

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	F10	11,303	A		
3.0	F5	10	A		
2.0	F1	6,7		B	
1.0	HF	1,133			C

Annexe 9 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour L'acidité

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	HF	0,8	A	
4.0	F10	0,27		B
3.0	F5	0,2		B
2.0	F1	0,16		B

Annexe 10 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour L'Iode

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	HF	137,6	A			
2.0	F1	134,807		B		
3.0	F5	121,173			C	
4.0	F10	115,143				D

Annexe 11 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS pour L'indice de saponification

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	F10	188	A		
3.0	F5	186	A	B	
2.0	F1	183,333		B	C
1.0	HF	182			C

Résumé

Les huiles végétales riches en acides gras polyinsaturés ont, certes, des avantages nutritionnels, mais, elles peuvent s'avérer toxiques pour l'Homme lors de leur utilisation dans la préparation des aliments frits. Néanmoins, un choix adéquat du mode de friture pourrait limiter les réactions de détérioration. L'objectif de cette étude a consisté à évaluer l'altération de l'huile de marque « Elio » sur les propriétés physico-chimiques des bains de dix fritures répétées au cours des fritures de l'anchois.

A la lumière de nos résultats obtenus, il s'avère que l'huile Elio se dégrade plus rapidement et plus facilement avec la friture des poissons, Néanmoins, en s'appuyant sur ce résultat et les conditions de friture, cette huile pourrait être réutilisée.

Mots clés : Huile, Anchois, détérioration.

Abstract

Vegetable oils rich in polyunsaturated fatty acids do have nutritional benefits, but they can be toxic to humans when used in the preparation of fried foods. Nevertheless, an adequate choice of frying mode could limit deterioration reactions. The objective of this study was to evaluate the alteration of the "Elio" oil on the physicochemical properties of the baths of ten fries repeated during frying of anchovy.

In the light of our results, it appears that Elio oil degrades more quickly and easily with fish frying. Nevertheless, based on this result and the frying conditions, this oil could be reused .

Key words : Oil, Anchovy, deterioration.