

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Sciences des Corps Gras



Réf:.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude comparative entre deux huiles de friture «Elio» avec et
sans fortification au *Forti-fry***

Présenté par :

BOUCHELLAH LYNDA & BOUCHERIT CHAHIRA

Soutenu le : **22/06/2023**

Devant le jury composé de :

Mme. BOULEKBACHE LILA
M. CHIKHOUNE AMIROUCHE
Mme. BOUBCHIR KAHINA

Professeur
MCA
MAA

Président
Encadreur
Examinatrice

Année universitaire: 2022-2023

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu, le tout puissant, d'avoir guidé nos pas vers les portes du savoir tout en illuminant notre chemin et de nous avoir accordé le foie et la force, secrets de l'achèvement ce travail dans de bonnes conditions.

*On tient à remercier **Mr Chikhouné Amirouche** pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et ses encouragements.*

*Nos remerciements s'adressent aux membres du jury pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'évaluer et de juger ce travail, **Mme Boubchir Kahina** en qualité d'examinatrice **Mme Boulekbache Lila** en qualité de présidente.*

On tient tout particulièrement à remercier :

- *Notre promoteur au niveau du complexe Cevital **Mr Saïbi Aziz** pour ces conseils ces orientations et surtout pour sa patience.*
- ***Mr Aliane Khellaf** Ingénieur R&D*
- *Tous les personnels du laboratoire de la raffinerie Cevital Qui ont mis à notre disposition tout le matériel nécessaire, surtout **Mr Nait chabane Abdelouhab**.*
- *L'ensemble de mes enseignants qui m'ont accompagnée tout au long de notre cursus*
- *Nos familles et amis (es) pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidés à l'aboutissement de cette quête.

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

*A mon très cher frère Karim Et mes chers parents 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 très chères sœurs: Zakia, Samira, Lamia et Amel

*A tous mes amis(es) : Syphax, Sylia, Samia, Wissem, Razika, Fifi et
Mamy*

*A celle avec qui j'ai partagé mon travail «Chahira» et sa famille;
Tous mes ami(e)s et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à
réaliser ce travail;*

A tous les étudiants de la promotion SCG 2022/2023



Lynda

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À mes très chers parents pour leurs sacrifices et leurs soutient de tout long de ma vie et auxquels je ne rendrais jamais assez

Mes très chers frères Lyes, Nasro, walid et ma sœur Loubna et mes cousins et cousines : Assil, Malak, Hiba à qui je souhaite une grande réussite dans leur vie

A mon cher binôme avec qui j'ai partagé mon travail «Lynda» et sa famille

Tous mes ami(e)s : Nabil, Sara, Wissam, Marwa, Yasmine, et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail sans exception.



Chahira

Table des matières

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	1
---------------------------	----------

Partie 1 : Synthèse de données bibliographiques

Huile de soja

I. Généralités sur l'huile de soja	3
I.1. Composition.....	4
I.2. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile	4
I.3. Raffinage de l'huile de soja	5
I.3.1. Les étapes du raffinage.....	5
I.4. Intérêt nutritionnel de l'huile de soja.....	7

La friture

II. Définition de la friture	8
II.1. Type de friture	8
II.1.1. Friture plate	8
II.1.2. Friture profonde.....	8
II.2. Intérêt de l'opération de friture.....	8
II.3. Choix de l'huile de friture	9
II.4. Ratio produit/huile.....	9
II.5. Vieillessement	9
II.6. Modifications de l'aliment au cours de friture	9
II.7. Principales transformations physique et chimique des huiles au cours des fritures ..	10
II.7.1. Réaction d'hydrolyse.....	10
II.7.2. Réaction de polymérisation.....	10
II.7.3. Réaction d'oxydation	11
II.8. Produits de dégradation des huiles de friture.....	11
II.9. Bonnes pratiques lors des fritures.....	11

Antioxydants & Fortification

III. Antioxydants & Fortification.....	12
III.1. Les radicaux libres.....	12
III.2. Oxydation	12
III.3. Mécanisme de l'oxydation des huiles.....	12
III.3.1. Auto-oxydation.....	13
III.3.2. Photo-oxydation	14
III.3.3. Oxydation enzymatique.....	14
III.4. Facteurs influençant l'oxydation	15
III.5. Antioxydants.....	16
III.5.1. Définition	16
III.5.2. Mécanisme d'action des antioxydants.....	16
III.5.3. Utilisation des antioxydants	16
III.5.4. Classification des antioxydants	16
III.6. La fortification des huiles	17
III.6.1. Intérêt de la fortification.....	17
III.6.2. Fortification en vitamine E.....	17
III.6.1. Fortification en vitamine A	18
III.6.2. Fortification en vitamine D3	18

Partie 2 : Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes

IV. Matériel et Méthodes.....	19
IV.1. Objectif de l'étude	19
IV.2. Choix de l'huile	19
IV.3. Choix de l'aliment à frire.....	19
IV.4. Description de l'antioxydant testé dans cette étude.....	20
IV.5. Procédure de friture	20
IV.6. Échantillonnage	22
IV.7. Méthodes d'analyses.....	23
IV.7.1. Analyse organoleptique.....	23
IV.7.2. Analyses physico-chimiques	23

Résultats et Discussion

V. Résultats et Discussion	26
V.1. Résultats des analyses organoleptiques	26
V.2. Résultats des analyses physico-chimiques	28
V.2.1. Evolution de l'acidité	29
V.2.2. Evolution de la couleur	30
V.2.3. Evolution du taux des composés polaires (TPC)	31
Conclusion & perspectives.....	34

Références Bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des abréviations

AG : acide gras

AGPI : acide gras polyinsaturés

AGMI : acide gras monoinsaturés

AGE : acide gras essentiels

AGL : acide gras libre

CG : corps gras

R° : radicaux libre

ROO⁻ : radical peroxyde

ROOH : hydroperoxydes

BHA : Butylhydroxyanisole

BHT : butylhydroxytoluene

PG : galette propylée

TBHQ : Tetra-butylhydroquinone

SIN : système internationale de numérotation des additifs alimentaire

PET : poly éthylène téréphtalate

SPA : société par action

ISO : organisation internationale de normalisation

TPC : taux des composés polaires

TGMOX : monomères de triacylglycérols oxydés

TGPOX : polymères de triacylglycérols oxydés

TGOX : triglycerides oxydés

DPTG : dimer et polymère de triglycérides

NEB : brunissement non enzymatique

AFSSA : association française sécurité sanitaire alimentaire

Liste des tableaux

Tableau I : Composition en AG de l'huile de soja (% en poids)	4
Tableau II : Principales constantes physico-chimiques de l'huile de soja.....	4
Tableau III : Liste des ingrédients formant le forti-fry.....	20
Tableau IV : Conditions expérimentales des essais de friture	21
Tableau V : Résultats de l'évaluation des caractéristiques organoleptique des huiles et de l'aliment frit	27
Tableau VI : Résultats des analyses physico-chimiques.....	28

Liste des figures

Figure 1 : Graine et huile de soja	3
Figure 2 : Diagramme général du raffinage d'huile végétale.....	6
Figure 3 : Représentation simplifiée de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés	14
Figure 4 : Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique	15
Figure 5 : Photographie prise sur la pomme de terre utilisée dans l'étude.....	19
Figure 6 : Les bâtonnets de pomme de terre (photo originale).....	20
Figure 7 : Friteuse électrique de marque SEB (photo original).....	21
Figure 8 : Echantillons d'huiles prélevées au cours des fritures (Photographie originale)	22
Figure 9 : colorimètre lovibond.....	24
Figure 10 : Testeur Opti-Fry MIROIL	25
Figure 11 : Frites obtenues du bain d'huile fortifiée (photo originale)	26
Figure 12 : Frites obtenue du bain d'huile sans fortification (photo originale).....	26
Figure 13 : Evolution de l'acidité des huiles au cours des fritures répétées.....	29
Figure 14 : Evolution de la couleur jaune des échantillons prélevés lors des fritures répétées.....	30
Figure 15 : Evolution de la couleur rouge des échantillons prélevés lors des fritures répétées	30
Figure 16 : Evolution du taux des composés polaires au cours des fritures répétées.....	32

Introduction

Introduction

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel dans notre alimentation. Ils sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme et contribuent à l'apport d'énergie. D'une part, c'est une source privilégiée de macronutriments essentiels, notamment en acide linoléique « $\omega 6$ » en acide α -linoléique « $\omega 3$ » et d'autre part de micronutriments tels que la vitamine E et les phytostérols (Combe et Rossignol-Castera, 2010).

Avant d'être utilisées, ces huiles doivent être raffinées. Il s'agit d'un procédé visant à maintenir ou à améliorer ces propriétés organoleptiques, nutritionnels ainsi que leur stabilité pendant le stockage. Pour ce faire, plusieurs étapes visant à éliminer les composés indésirables sont réalisées: le dégommage, la neutralisation, la décoloration et la désodorisation (Pages *et al.*, 2010).

La friture est l'une des méthodes de cuisson les plus courante, tant à l'échelle ménagère que dans le secteur de la restauration qui fournit une alimentation savoureuse dans une période relativement courte. Cependant, l'utilisation des huiles de friture à plusieurs reprises et à de hautes températures peut produire des constituants qui compromettent non seulement la qualité des aliments, mais peuvent aussi promouvoir la formation de divers éléments de décomposition avec des implications nutritionnelles défavorables et des dangers pour la santé humaine. Ces composants sont formés par une série complexes de réactions qui provoquent l'oxydation, l'hydrolyse et la polymérisation de l'huile (Izbaim *et al.*, 2010).

L'oxydation des lipides est l'une des principales causes de détérioration de la qualité des produits dans l'industrie alimentaire, en particulier ceux riches en acides gras polyinsaturés (AGPI) tels que les huiles de graines comestibles (Ramadan et Wahdan, 2012). En plus des saveurs et des arômes indésirables, l'oxydation des acides gras réduit la valeur nutritionnelle des aliments et conduit à la formation de composés toxiques (Mazaheri *et al.*, 2019).

Les risques liés à la friture ont fait l'objet de nombreuses études. Certains nutritionnistes prônent la quasi-exclusion des aliments frits dans le souci de promouvoir une alimentation saine. Par conséquent, ces dernières années, des recherches ont été menées sur l'enrichissement des huiles avec des sources de substitues naturels provenant d'espèces végétales qui possèdent des propriétés antioxydantes (Nour *et al.*, 2018).

Le but de ce travail est d'évaluer l'effet de l'enrichissement d'une huile végétale soja (100%) par le Complexe CEVITAL Spa. Bejaïa avec un antioxydant naturel «Forti-fry», afin d'améliorer la stabilité oxydative de cette huile lors des fritures répétées. Ce manuscrit est organisé en deux parties.

Une partie bibliographique, traitant des généralités sur l'huile de soja, le procédé de friture et enfin quelques notions sur les antioxydants et la fortification

La seconde partie est dédiée à l'expérimentation où nous avons exposé la démarche adoptée afin de tester l'effet de l'antioxydant employé par l'entreprise Cevital « Forti-fry » sur la stabilité de l'huile de soja raffinée, où divers paramètres physicochimiques et organoleptiques ont été évalués au cours de cette étude.

Synthèse de données bibliographiques

Huile de soja

I. Généralités sur l'huile de soja

Les huiles végétales jouent un rôle important dans notre alimentation. Elles sont des sources privilégiées de macronutriments essentiels, acide linoléique oméga-6 et acide α -linolénique oméga-3, et de micronutriments (vitamine E, phytostérols) (Combe et Rossignol-Castera, 2010). Ceux-ci contribuent aux qualités sensorielles du produit en lui conférant une texture onctueuse, crémeuse et fondante, un aspect brillant et un goût distinctif. Enfin, elles assurent une fonction technique, notamment comme moyen de transfert de chaleur lors de la cuisson (friture), d'enrobages et d'agents de démoulage, ou comme vecteurs d'arômes et de colorants lipophiles (Cuvelier et Maillard, 2012).

L'huile de soja est l'une des huiles les plus consommée au monde, elle est fluide, fraîche, a une saveur douce et une odeur légère et agréable. Sa couleur est jaune plus ou moins foncée. Selon les graines et la méthode d'extraction elle est riche en AGPI, notamment en AGE, en acide alpha-linolénique. Elle est riche en lécithine, précieuse pour la reconstruction des cellules nerveuses et le cerveau, sa bonne digestibilité en fait constitue un bon substitut à l'huile d'olive que de nombreuses personnes ne peuvent pas la consommer. L'huile de soja peut supporter des températures élevées allant jusqu'à 200°C (Cossut *et al.*, 2002).

Elle est extraite des graines d'une légumineuse (figure 1), le soja (*Glycine Max*), originaire de chine et introduite d'abord en France en 1740. Le soja est considéré comme l'une des plantes les plus anciennement cultivées. Les graines de soja contiennent entre 17 et 20% de l'huile (Claude, 2013).



Figure 1 : Graine et huile de soja

I.1. Composition

L'huile de soja est riche en acides gras insaturés (AGI), particulièrement en acides linoléique (50-62%) et α -linolénique (4-10%) et donc pauvre en acides gras saturés (AGS) (tableau I). La présence d'acide gras α -linolénique classe souvent l'huile de soja dans le groupe des huiles siccatives. Cette huile est caractérisée par une grande diversité d'espèces moléculaires de triacylglycérols.

Tableau I : Composition en AG de l'huile de soja (% en poids) (Claude, 2013)

Acide gras	% en poids
Acide palmitique 16 :0	8-13
Acide stéarique 18 :0	2-5
Acide oléique 18 :1 (n-9)	17-26
Acide linoléique 18 :2 (n-6)	50-62
Acide linolénique 18 :3 (n-3)	4-10
Acide arachidique 20 :0	<1

I.2. Caractéristiques physico-chimiques de l'huile

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja d'après le Codex alimentarius, 1999, sont résumées dans le tableau II.

Tableau II : Principales constantes physico-chimiques de l'huile de soja (Codex-Alimentarius, 1999).

Caractéristique	Valeur
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'I ₂ /100g d'huile)	120-143
Indice de saponification (mg KOH/g huile)	189-195
Insaponifiable (g/kg d'huile)	Max 15

I.3. Raffinage de l'huile de soja

Les huiles brutes obtenues contiennent de nombreuses impuretés et des composés indésirables tels que les acides gras libres (AGL), les phospholipides, les pigments...qui provoquent des goûts et des odeurs désagréables et une mauvaise conservation. Le raffinage est une opération destinée à éliminer ces impuretés pour conférer des saveurs subtiles et augmenter la durée de conservation (Cossut *et al.*, 2002).

I.3.1. Les étapes du raffinage

I.3.1.1. Dégommage/Démucilagination

C'est la première étape du raffinage, elle consiste à appliquer un traitement à l'eau et/ou acides dilués (citrique ou phosphorique) qui visent à éliminer les phospholipides de l'huile brute. Seulement environ 3% d'eau est ajoutée à l'huile de soja brute. Après malaxage, centrifugation et séchage des gommages formées, la lécithine est récupérée pour être valorisée (Régis *et al.*, 2016).

I.3.1.2. Neutralisation

C'est l'étape la plus importante et la plus délicate pour éliminer les acides gras libres qui donnent à l'huile un goût désagréable. A ce stade du procédé, une solution de soude est ajoutée au mélange issu du dégomme. Sa concentration dépend de l'acidité de l'huile. Après mélange et centrifugation, la pâte neutralisée obtenue est lavée plusieurs fois à l'eau et séchée sous vide (Régis *et al.*, 2016).

I.3.1.3. Lavage et séchage

Un ou deux lavages à l'eau chaude permettent d'éliminer la quasi-totalité des traces de savon résiduel. L'huile lavée est ensuite séchée par pulvérisation sous vide à environ 90 °C (Cossut *et al.*, 2002).

I.3.1.4. Décoloration

Dans un décolorateur contenant de l'huile chauffée à 90-100°C sont introduits de 0,2 à 2% d'agents d'adsorption tels que les terres décolorantes. Après 30 minutes de contact sous agitation et vide poussé, l'huile est refroidie et filtrée pour extraire les pigments encore présents (Régis *et al.*, 2016).

I.3.1.5. Désodorisation

La désodorisation consiste à envoyer un courant de vapeur sèche à travers l'huile préalablement chauffée à environ 180 à 240°C et maintenue sous vide très poussé. Cela permet l'élimination des produits volatils tels que les aldéhydes, les cétones, etc. qui sont responsables du goût et de l'odeur désagréable de l'huile (Régis *et al.*, 2016). Un diagramme résumant le procédé générale du raffinage des huiles végétales est illustré en figure 2.

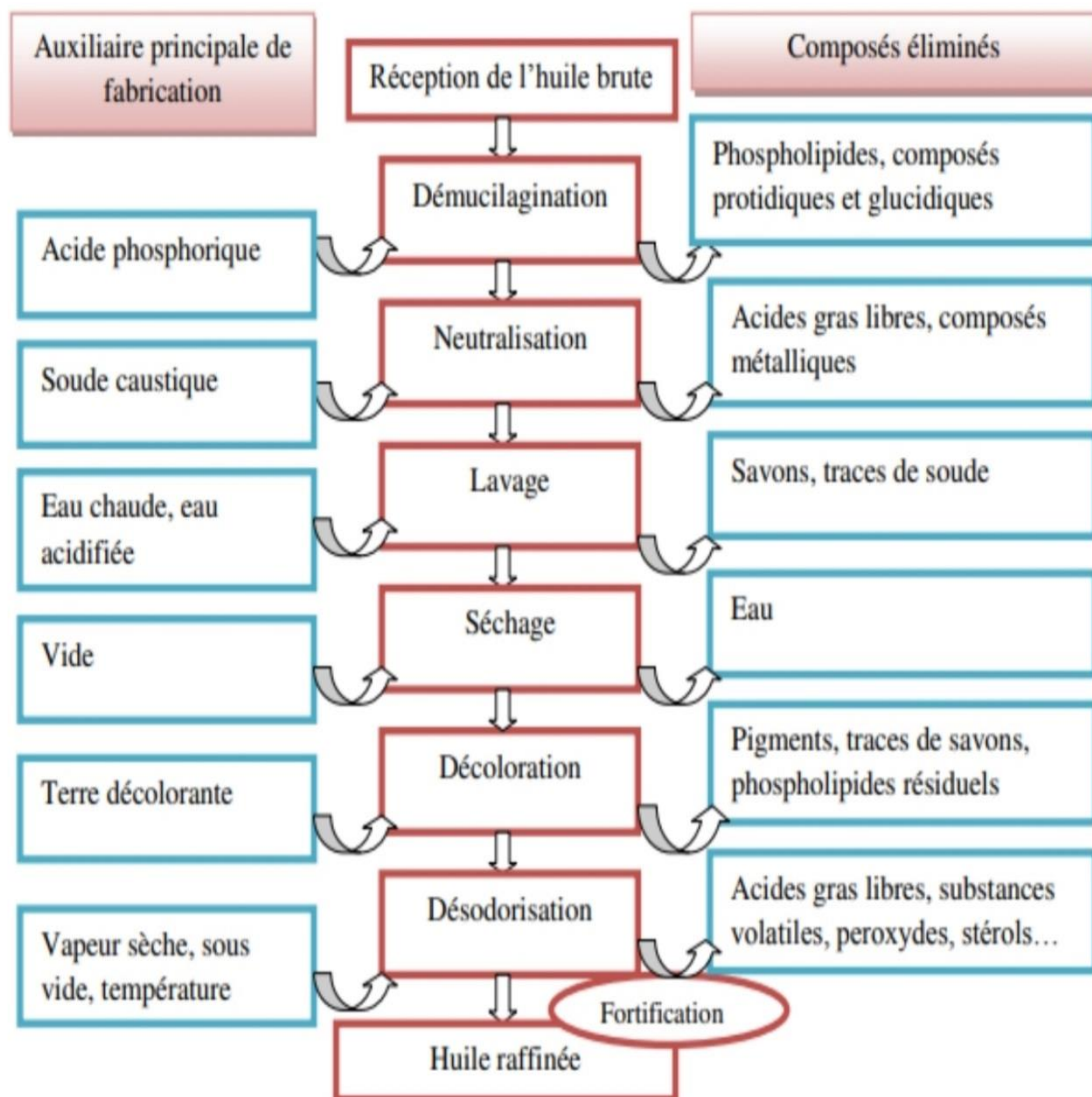


Figure 2 : Diagramme général du raffinage d'huile végétale (Devillers *et al.*, 2010)

I.4. Intérêt nutritionnel de l'huile de soja

L'huile de Soja fait partie des huiles végétales recommandées pour ses bienfaits nutritionnels. Elle possède un profil lipidique équilibré : vecteur d'oméga-3 et d'oméga-6, associé à des phytostérols. Cet ensemble lui confère une action protectrice contre les troubles cardio-vasculaires (hypercholestérolémie, hypertriglycéridémie, en particulier) (*Jotterand et al., 2007*). En outre, l'huile de Soja contient de la vitamine E. La vitamine E est une substance antioxydante, la plus antioxydante parmi toutes les vitamines. L'huile végétale de Soja aidera donc à lutter contre les radicaux libres issus de la peroxydation des lipides C'est donc une parfaite protectrice des membranes cellulaires (Guillouty, 2016). N'oublions pas son incroyable richesse en vitamine K qui améliore le flux sanguin et aide à renforcer la formation et la structure des os (Jorge et *al.*, 2014 ; Ghasemi Pirbalouti et *al.*, 2015).

La friture

II. Définition de la friture

La friture est une méthode de cuisson qui utilise l'huile comme moyen de transfert de chaleur. La cuisson des aliments s'effectue à des températures supérieures au point d'ébullition de l'eau (entre 155 et 190°C). C'est l'une des pratiques les plus courantes pour la cuisson des aliments en restauration commerciale et collective (Saguy et Dana, 2003). La friture permet la déshydratation des aliments riches en eau (fruits, légumes, viandes et poissons, etc.), conduisant à la formation de croûtes (Bouchon, 2009 ; Gonde *et al.*, Morin, 2012).

II.1. Type de friture

II.1.1. Friture plate

La friture plate consiste à cuire des aliments dans une petite quantité d'huile sur une grande surface en présence d'air. L'oxydation thermique est maximisée, mais l'huile n'est utilisée qu'une seule fois pour éviter la formation de composés toxiques, par exemple lors de la cuisson d'un steak (Fredot, 2005).

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

II.1.2. Friture profonde

La friture par immersion profonde est réalisée par immersion forcée ou par flottation de l'aliment dans un grand volume d'huile. La masse d'huile constitue alors une réserve potentielle de chaleur qui pourra être utilisée pour la déshydratation et la cuisson rapide de l'aliment (Graille, 2003).

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

II.2. Intérêt de l'opération de friture

La friture sert principalement à effectuer des transformations qui augmentent, améliorent :

- la digestibilité des aliments en favorisant le broyage et l'assimilation dans le tube digestif (coagulation des protéines et de l'amidon) ;

- la palatabilité des aliments grâce au développement de la texture, de la couleur et de la saveur ;
- la stabilisation de matière ou d'aliments en réduisant la teneur en eau de matière, et inactivation des micro-organismes (Vitrac *et al.*, 2003).

II.3. Choix de l'huile de friture

Afin de prolonger sa qualité, la polyinsaturation de l'huile de friture doit être la plus faible possible. Les huiles dérivées d'acides gras saturés sont les plus stables pour la friture et sont donc plus utilisées. En revanche, d'un point de vue nutritionnel, les effets sur la santé de ces huiles sont controversés. D'autre part, Les huiles dérivées d'acides gras polyinsaturés (considérés comme plus sains) s'oxydent rapidement et deviennent impropres à la consommation (Bouchon, 2009 ; Varela *et al.*, 1988).

II.4. Ratio produit/huile

Le rapport aliment frit par rapport à la quantité d'huile doit être maintenu en dessous de 6 parts d'huile en poids ($<1/6$) pour 1 poids d'aliment frit (Rossell, 2001). Cela maintient la température de l'huile au niveau de friture à une température de 130°C ou plus.

II.5. Vieillesse

Plusieurs facteurs affectent la détérioration de l'huile dans le temps, rendant difficile de déterminer quand changer l'huile. Les huiles usées sont foncées ou visqueuses, peuvent contenir des sédiments et ont un goût piquant (Rossell, 2001). L'humidité libérée par les aliments pendant la friture attaque l'huile, libérant des composés polaires sensibles à l'oxydation et à la décomposition thermique qui s'accumulent avec le temps. La température critique à ne pas atteindre ni dépasser est de 200 °C. L'huile vieillit deux fois plus vite tous les 10°C au-dessus de 200°C (Delagoutte, 2007). Les fluctuations de température augmentent l'oxydation de l'huile (Varela *et al.*, 1988).

II.6. Modifications de l'aliment au cours de friture

Les changements qui se produisent dans l'aliment au cours de la friture sont :

- Déshydratation des aliments : l'eau des aliments s'évapore et libère des composés colorés dans le bain de friture et laisse cuire les aliments à l'intérieur (Fredot, 2012)

- Les aliments contiennent beaucoup de matières grasses, augmente sa valeur énergétique. La teneur en lipides dépend de la température du bain de graisse et de friture utilisée (Fredot, 2012)
- Libération des lipides dans les bains de friture : le passage est important s'il s'agit des frites précuites surgelées qui contient 6% de lipides au départ, on retrouve des AGL qui seront sensibles aux changements (Vierling, 2003).
- Les aliments frits ont une surface plus foncée et une textures plus douce, ferme (ou croustillant) et donne une saveur et un arôme de friture (Gupta, 2005).

II.7. Principales transformations physique et chimique des huiles au cours des fritures

Au cours de la friture, diverses réactions ont lieu, entraînant diverses modifications physiques et chimiques. Ce sont des réactions très complexes conduisant à la formation de nombreux produits de polymérisation. Plus de 400 de ces produits ont été identifiés à des températures élevées où l'apport d'oxygène est sévèrement limité. Les principales réactions conduisent à la polymérisation plutôt qu'à l'oxydation des produits, et ces produits se forment également entre les ingrédients alimentaires et les huiles, affectant le goût, l'arôme et la durée de conservation des produits (Saguy et Dana, 2003).

II.7.1. Réaction d'hydrolyse

Dans des conditions de friture normales, il y en a beaucoup plus. Au contact de la vapeur d'eau, des acides gras libres, des monoglycérides, des diglycérides et même du glycérol seront produits. Ces composés sont très sensibles aux réactions ci-dessus (oxydation et polymérisation) et ont les propriétés suivantes : Les produits obtenus à partir de ces composés sont la source la plus importante de mauvais goût et d'odeur. A noter que le type de composé formé peut être déterminé qualitativement en fonction de la nature du changement recherché (Dgcerf, 2012).

II.7.2. Réaction de polymérisation

La réaction de polymérisation des acides gras insaturés et de leurs glycérides n'a lieu que sous l'influence d'une température élevée. Ces réactions génèrent des réarrangements intermoléculaires et intramoléculaires qui rendent les huiles de friture sensibles à l'oxydation et augmentent la viscosité apparente de l'huile. Un composé résineux est ensuite barboté sur les surfaces et les parois du bain (Vitrac *et al.*, 2003 ; Gornay, 2006).

II.7.3. Réaction d'oxydation

Le contact avec l'oxygène en suspension provoque souvent des changements d'arôme et de couleur indésirables dans les huiles de friture et les aliments frits. Ces composés oxydants sont dérivés des hydroperoxydes, qui sont des composés oxydants primaires. Les réactions en chaîne impliquées dans leur formation sont déclenchées par l'apparition de composés radicalaires produits par l'oxydation des triglycérides dans le bain et sont donc soumises à une autocatalyse (Dgcerf, 2012).

II.8. Produits de dégradation des huiles de friture

Pendant la friture, l'huile se décompose pour former des composés monomères et polymères volatils ou non volatils, augmentant la teneur en acides gras libres et en composés carbonylés et diminuant l'insaturation des acides gras (Kahouli, 2010). Ils se présentent sous forme de produits primaires et secondaires dans les huiles de friture. Les produits primaires sont des molécules instables, appelées hydroperoxydes, considérées comme des produits primaires de la réaction. En raison de l'instabilité, ils sont divisés en deux radicaux libres. Les produits secondaires proviennent de la décomposition des hydroperoxydes sous l'influence de la chaleur de friture. Ce sont des composés volatils qui modifient l'odeur des produits oxydants (Glaude, 2004).

II.9. Bonnes pratiques lors des fritures

Selon les recommandations du ministère du Commerce (2012), la friture nécessite des précautions de base à savoir :

- le corps gras 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 ;
- Il faut prendre des précautions particulières liées au 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.

Antioxydants & Fortification

III.1. Les radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques avec un seul électron dans leur enveloppe externe, ce qui les rend particulièrement instables. Lorsque cet électron unique se trouve sur un atome d'oxygène, on l'appelle une «*espèce réactive de l'oxygène*» (ROS) (Durand *et al.*, 2013). En fait, ce radical libre a toujours tendance à piéger les électrons et à remplir les orbitales, ce qui le rend plus stable (Favier, 2003).

Les radicaux libres sont des molécules contenant de l'oxygène formés au cours du métabolisme physiologique et dans certaines conditions pathologiques. Ils peuvent piéger les électrons et endommager les tissus en déstabilisant la molécule d'origine (Filane et Toumi, 2012).

III.2. Oxydation

Toutes les matières grasses subissent des modifications oxydatives lors du stockage ou de l'utilisation. Les principaux composés oxydables sont les acides gras insaturés, libres ou estérifiés en triglycérides. Les phénomènes d'oxydation des acides gras entraînent une détérioration organoleptique avec l'apparition d'un goût «*malodorant*» caractéristique qui altère la qualité marchande du produit (Bouhadjra, 2011). Au contact de l'oxygène de l'air, les radicaux libres formés à partir d'acides gras insaturés sont oxydés en radicaux peroxydes puis en hydroperoxydes. Cela permet aux saveurs de se développer et entraîne des changements de couleur indésirables dans les huiles de friture et même les aliments frits (Graille, 2003). Les acides gras saturés ne s'oxydent qu'à des températures supérieures à 60°C, et les acides polyinsaturés s'oxydent même lorsque les aliments sont conservés congelés (Pascaud *et al.*, 1985 ; Crapiste *et al.*, 1999 ; Pokorny, 2003).

III.3. Mécanisme de l'oxydation des huiles

L'oxydation des lipides se produit par une variété de mécanismes. Cependant, la composition des produits de réaction est quasiment identique et indépendante du mécanisme (Perrin, 1992). Sauf dans des conditions extrêmes, l'oxygène attaque les doubles liaisons ou les groupes méthylène adjacents. En raison de la génération de radicaux libres, les liaisons carbone-hydrogène, qui appartiennent pour la plupart aux systèmes saturés, deviennent beaucoup plus stables à des températures de chauffage inférieures à 200°C. A des températures supérieures à 200°C, on observe une isomérisation des doubles liaisons et des réactions de polymérisation également initiées par les radicaux libres (Pokorney, 2003).

III.3.1. Auto-oxydation

L'auto-oxydation des lipides est une réaction radicalaire en chaîne auto-catalytique. Une séquence de réactions d'initiation, de propagation et de terminaison correspondant à l'activation des molécules d'AG a été proposée pour expliquer l'auto-oxydation des lipides (Jeantet *et al.*, 2006).

➤ Initiation

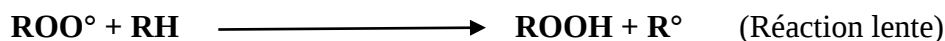
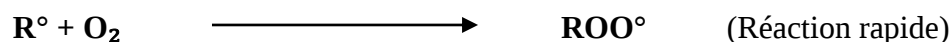
Cette première étape consiste en la formation des premiers radicaux alkyles (R°) à partir des acides gras insaturés (RH) :



L'oxydation des lipides est initialement très lente en raison de la vitesse d'initiation lente, et cette vitesse s'accélère par de nombreux facteurs tels que la chaleur, la lumière, les rayonnements ionisants et certaines enzymes (lipoxygénase) (Villiere et Genot, 2006).

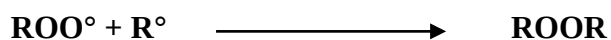
➤ Propagation

La deuxième étape de réaction est l'étape de propagation, dans laquelle un radical alkyle précédemment formé réagit avec l'oxygène moléculaire pour former un radical peroxyde (ROO°) dans cette étape rapide (Judde, 2004). Ceux-ci réagissent alors avec les acides gras pour former des hydroperoxydes ($ROOH$) et de nouveaux radicaux alkyles, initiant un nouveau cycle de réaction. Le produit principal de la réaction, l'hydroperoxyde, est une molécule instable. Ils se décomposent en sous-produits lorsqu'ils sont exposés à la chaleur ou aux métaux. Parmi ceux-ci, les composés volatils sont responsables du changement d'odeur des produits d'oxydation (Villiere et Genot, 2006).



➤ Terminaison

Cela correspond à l'interaction entre les radicaux libres pour donner des composés non radicalaires très différents (aldéhydes, cétones, hydrocarbures, etc.) après des réactions ultérieures. Mettent ainsi fin aux cycles réactionnels (Villiere et Genot, 2006).



Les réactions de terminaison sont lentes lorsque la concentration en R° est basse (Pokorny, 2003). La formation et la décomposition des hydroperoxydes sont représentés par la figure 3.

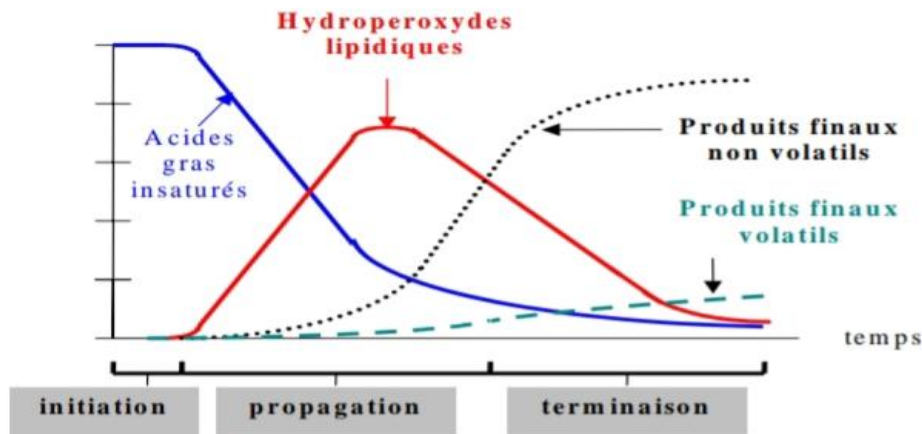


Figure 3 : Représentation simplifiée de la cinétique d'oxydation des acides gras insaturés (Judde, 2004)

III.3.2. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie importante pour la production d'hydroperoxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photo-sensibilisateurs, tels que les hémoprotéine, la chlorophylle ou la riboflavine (Riahi et Marzouki, 2000). Deux situations peuvent se présenter :

- Photo-oxydation directe, où la lumière agit comme un accélérateur des cinétique des réactions d'oxydation et où les mécanismes chimiques demeurent identiques;
- La photo-oxydation se produit grâce à la présence des éléments nécessaires photo-sensibilisateurs (chlorophylle, certains colorants et certaines vitamines), activent l'oxygène de l'air à partir de son état fondamental appelé "état triplet" à un état excité appelé "état singulet" ; cette énergie acquise permet aux espèces réactives de l'oxygène de se fixer directement à l'AG sans passer par l'étape extrême.

Par conséquent, les mécanismes de réaction sont différents, les produits formés sont également différents (Judde, 2004).

III.3.3. Oxydation enzymatique

Selon Eymrad (2003), le phénomène d'oxydation des AGI pourrait provenir des enzymes. Les deux principales enzymes impliquées sont la lipoxygénase et cyclo- oxygénase :

- La lipoxygénase catalyse l'insertion de molécules d'oxygène selon l'AGI réagit stéréospécifiquement et conduit à la formation d'hydroperoxydes. Son comportement surtout sur les

AG non estérifiés. Par conséquent, ses activités sont généralement couplées avec la lipase et la phospholipase (Figure 4).

- La cyclo-oxygénase est une lipoxygénase qui contient deux molécules d'oxygène. Des hydroperoxydes spécifiques sont formés dans l'AG. La cyclo-oxygénase catalyse la formation de prostaglandines et de thromboxanes *in vivo* lipoxygénase et leucotriénase.

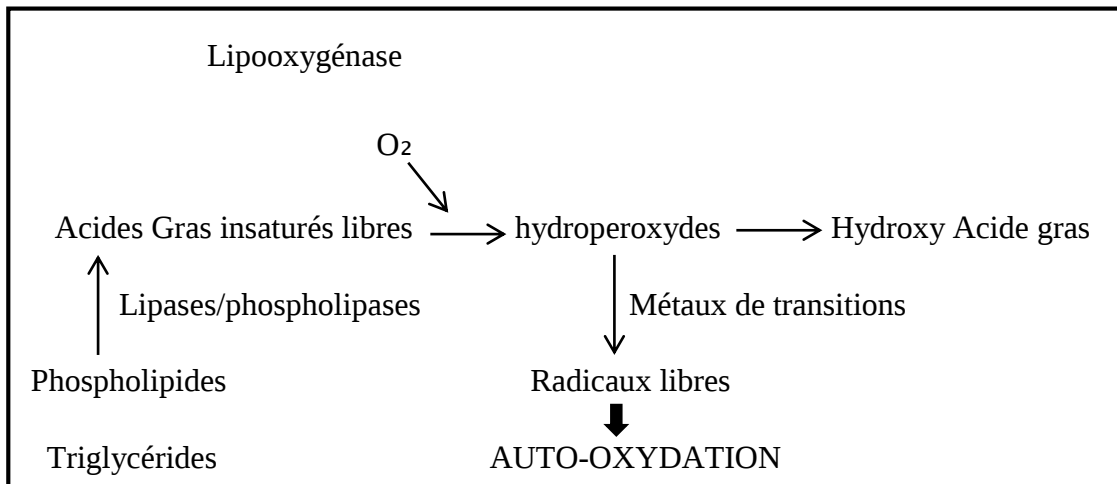


Figure 4 : Mécanisme d'initiation de la peroxydation des lipides par l'activité lipoxygénasique (German et Kinsella, 1985)

III.4. Facteurs influençant l'oxydation

Selon Fredot (2005), trois principaux éléments sont à l'origine du vieillissement de l'huile et conduit à sa dégradation :

- ✓ Au contact de l'huile, l'air (oxygène) provoque des réactions d'oxydation conduit à la formation de composés polaires indésirables.
- ✓ L'eau rejetée par les aliments dégrade la qualité de l'huile en provoquant des réactions d'hydrolyse qui entraînent également la formation de composés polaires Indésirable.
- ✓ À des températures supérieures à 200 °C, les huiles riches en acides linoléique et α-linolénique présentent une stabilité thermique moindre, plus la température et le temps de chauffage sont élevées, plus la quantité de nouvelles espèces chimiques se forment et peuvent se retrouver dans les aliments et diminuer la valeur nutritionnelle de ces derniers.

Selon Delagoutte (2007), la durée de vie de l'huile de friture dépend aussi du degré d'utilisation. Certain signes indiquent que l'huile est épuisée, tels que :

- Présence de dépôts ;

- Saveur acre ;
- Teneur en composés polaires >25% (impropre à la consommation).

III.5. Antioxydants

III.5.1. Définition

Les antioxydants sont définis par Halliwell (1999) comme « toute substance qui, à de faibles concentrations par rapport au substrat susceptible d'être oxydé, empêche ou retarde l'oxydation de ce substrat ». L'antioxydant alimentaire idéal doit être facile à incorporer, efficace à faible dose, non toxique, ne provoque pas de couleurs, d'odeurs ou de goûts indésirables, est soluble dans les lipides, résistant aux processus technologiques et reste stable durant le chauffage sans apporter de changement remarquable sur la qualité de l'aliment par rapport au stockage à long terme (Kahouli, 2010).

III.5.2. Mécanisme d'action des antioxydants

L'oxydation des lipides insaturés ne peut être empêchée en présence d'oxygène, c'est aussi une réaction irréversible. Les antioxydants agissent dans différents états d'oxydation. Ils réagissent généralement aux radicaux libres générés lors des étapes d'initiation et de propagation en réduisant leur activité. L'initiation est empêchée de manière préventive en complexant le catalyseur pour qu'il réagisse avec l'oxygène et en protégeant les aliments de la lumière et des radiations (Marc *et al.*, 2004).

III.5.3. Utilisation des antioxydants

Les antioxydants sont des composés puissants qui peuvent neutraliser les radicaux libres impliqués dans la dégradation des cellules. Certains antioxydants sont fabriqués par le corps humain, mais les vitamines et les polyphénols doivent être ingérés à partir des aliments. La plupart des études montrent un effet protecteur des régimes riches en antioxydants sur le risque de maladies cardiovasculaires et de cancer. Un autre bénéfice des antioxydants concerne la peau. Les antioxydants limitent le vieillissement cutané en réduisant les effets néfastes des radicaux libres (Desmier, 2016).

III.5.4. Classification des antioxydants

Les antioxydants sont classés selon leur origine en antioxydants naturels ou synthétiques.

➤ Antioxydants synthétiques

Dans l'industrie alimentaire, les antioxydants synthétiques, tels que le Butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT), la gallate propylée (PG) et le Tetra-butylhydroquinone (TBHQ), sont largement utilisés parce qu'ils sont efficaces et moins chers que les antioxydants naturels. Cependant, leur sécurité est très discutée car ils génèrent un besoin de recherche comme matières de substitution d'après des sources naturelles comme antioxydants de la nourriture (Lisu *et al.*, 2003).

➤ Antioxydants naturels

Les antioxydants naturels sont considérés comme une partie importante d'une alimentation saine. Ils peuvent se présenter sous forme d'extraits purs, de mélanges d'ingrédients actifs ou de poudres telles que des graines ou des feuilles. Ces antioxydants sont produits dans les cellules vivantes pour maintenir un équilibre délicat entre l'oxydation et la réduction au cours du métabolisme des nutriments et de la fonction immunitaire. Ils sont classés en trois groupes principaux tels que les polyphénols, les vitamines et les caroténoïdes (Namzer *et al.*, 2019).

III.6. La fortification des huiles

L'enrichissement des aliments, aussi appelé fortification alimentaires est une opération qui consiste à ajouter des micronutriments aux aliments. Elle est définie comme étant l'addition d'un ou de plusieurs nutriments à un aliment qu'ils y soient naturellement présents ou non. Elle concerne notamment les aliments communément consommés tels que la farine et l'huile de table... (Sogodogo, 2011). Une part importante des micronutriments des huiles brute est détruite au cours du raffinage (Ferrari *et al.*, 1996). Cependant l'enrichissement des huiles avec des extraits naturels assurent un apport de ces substances détruites (Régis *et al.*, 2016).

III.6.1. Intérêt de la fortification

Les huiles végétales commerciales peuvent être fortifiées à des fins nutritionnelles tels que les vitamines (E, A et D), les acides gras oméga-3 et les antioxydants afin d'améliorer leur valeurs nutritionnelles, leur qualités organoleptiques, de prolonger la durée de conservation et prévenir ou retarder les processus d'oxydation (Kivilompolo *et al.*, 2008 ; Gramza-Michalowska *et al.*, 2011).

III.6.2. Fortification en vitamine E

La vitamine E fait partie de la famille des tocophérols. Cette famille comprend 4 substances : l' α -tocophérol qui est la vitamine E proprement dite, le β -tocophérol, le γ -

tocophérol et le δ -tocophérol (Poisson.M et Norce, 2003). Cette vitamine a la capacité de protéger les acides gras polyinsaturés contre l'oxydation et est souvent utilisée comme conservateur alimentaire (SIN 306 a SIN 309) pour éviter le rancissement des aliments par les radicaux libres (Choe *et al.*, 2009).

III.6.1.Fortification en vitamine A

La vitamine A est une vitamine liposoluble, également connue sous le nom rétinol. Elle est essentielle pour la croissance, la vision, le système immunitaire et la production (Desmier, 2016) .

Il existe deux sources de vitamine A dans l'alimentation :

- Vitamine A d'origine animale : Rétinol ou vitamine A présente dans le foie, la viande, les œufs, le beurre, le lait et ses dérivés.
- Vitamine A d'origine végétale : caroténoïde ou provitamine A présente dans le persil, la coriandre, les légumes jaune orange dans les carottes, les pêches, les abricots. Une carence en vitamine A peut entraîner la sécheresse de la peau, de l'anémie et un retard de croissance (Richard, 2014).

III.6.2.Fortification en vitamine D3

Le vitamine D3 également connue sous le nom cholécalciférol, est une forme de vitamine D. Elle est importante pour la régulation du métabolisme osseux et la prévention de l'ostéoporose, ainsi que pour la santé musculaire et la prévention de certaines maladies chroniques. Une carence en vitamine D3 peut causer des douleurs osseuses, des fractures, une faiblesse musculaire et une augmentation du risque de maladies cardiovasculaires et de certains cancers. La principale source de vitamine D est la lumière du soleil, mais on peut trouver la vitamine D3 dans les poissons, la viande, le lait et ses dérivés et les œufs. (Baïz et Dossus, 2014).

Partie Expérimentale

Matériel et Méthodes

IV. Matériel et Méthodes

IV.1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude expérimentale consiste à évaluer l'effet du rajout d'un antioxydant «forti-fry» sur quelques paramètres physico-chimiques de l'huile finie de soja (100%) produite par Cevital.

Notre démarche consiste à suivre quelques indices physico-chimiques au cours de 15 fritures répétées à 180°C. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de contrôle de qualité du complexe Cevital spa Bejaia.

IV.2. Choix de l'huile

L'huile sélectionnée pour cette étude est l'huile commercialisée de marque « Elio ». Le choix de cette huile est dû à sa large utilisation en friture par les consommateurs. L'échantillon d'huile utilisé dans cette étude est produite le 19/02/2023 et conservée dans un emballage en PET de 5 litres.

IV.3. Choix de l'aliment à frire

L'aliment utilisé dans les essais de fritures est la pomme de terre (figure 5). C'est un aliment de large utilisation en friture domestique et collective. Il est facile à découper en différentes formes géométriques et il est de composition simple, riche en glucides (environ 20%, majoritairement de l'amidon), pauvre en protéines (2%) et pauvre en lipides (0,1%) (Mignolet, 1968).



Figure 5 : Photographie prise sur la pomme de terre utilisée dans l'étude

IV.4. Description de l'antioxydant testé dans cette étude

La plus grande difficulté avec l'huile de friture est qu'elle ne peut pas être utilisée à plusieurs cycles sans s'oxyder. Son oxydation entraîne une perte de qualité et peut même présenter un danger pour la santé des consommateurs. Heureusement, il existe des produits qui maintiennent l'huile de friture en bon état même après de multiples utilisations «les antioxydants naturels». Parmi ces antioxydants le «Forti-fry™», utilisé au niveau de complexe Cevital spa de Bejaia. Il est importé de Belgique.

Le FORTI-FRY™ est une combinaison naturelle, élaboré à partir d'extraits riches en tocophérols et d'huiles spéciales qui prolongent considérablement la durée de vie des huiles de friture (tableau III). Il empêche la formation de composés indésirables et d'odeurs désagréables. De plus, FORTI-FRY™ réduit considérablement la formation de mousse.

Tableau III : Liste des ingrédients formant le forti-fry

N°	Nom de l'ingrédient
1	Esters citriques des mono-et diglycérides d'acides gras (E471c)
2	Huile de tournesol
3	Huile de son de riz
4	Huile de colza
5	Extrait riche en tocophérols (E306)

IV.5. Procédure de friture

Les tubercules de pomme de terre ont été épluchés et coupés manuellement à l'aide d'un coupe-frites, ce qui nous a permis d'obtenir des frites de même taille pour garder stable leur surface de contact avec l'huile de friture. Les bâtonnets obtenus ont été rincés à l'eau et soigneusement séchés avec du papier absorbant (figure 6).



Figure 6 : Les bâtonnets de pomme de terre (photo originale).

Les fritures ; au nombre de 15 avec l'huile Elio 100% (avec forti-fry) et 15 autres avec de l'huile Elio sans forti-fry; ont été réalisées par chauffage électrique en utilisant une friteuse de marque « SEB » d'une capacité de 2,5 litres (figure 7). Cette friteuse comporte une cuve en aluminium, un couvercle avec fenêtre, un disjoncteur thermique, un panier de capacité de 1,2 Kg de frite fraîche.



Figure 7 : Friteuse électrique de marque SEB (photo original)

Les essais de friture sont réalisés en continue sans ajout d'huile fraîche au bain. La quantité de frites introduite dans le bain est réduite graduellement le long des cycles de fritures pour maintenir constant le rapport poids de frites / quantité d'huile. Les conditions expérimentales fixées durant toute notre expérimentation et le rapport quantité de frites/l'huile du bain sont portées dans le tableau IV :

Tableau IV : Conditions expérimentales des essais de friture

Huile de friture «Elio»	Huile sans forti-fry	Huile avec forti-fry
Nombre de friture	15 fritures	15 fritures
Température (°C)	180	180
Durée de cuisson (min)	5	5
Quantité d'huile utilisée (initiale)	2250 ml	2250 ml
Rapport pomme de terre/huile	(1/10) 100 g / l	(1/10) 100 g / l
Durée entre 2 fritures (min)	5	5

IV.6. Échantillonnage

Après chaque friture, un volume d'huile de 150 ml est prélevé après homogénéisation du bain. Les huiles prélevées des différents bains sont filtrées et mises dans des préformes PET étiquetées. Après refroidissement à température ambiante, ces échantillons sont entreposés au réfrigérateur réglé à 4°C.

Les échantillons ainsi obtenus ont été soumis à de multiples analyses pour suivre l'évolution des modifications du bain de friture de l'huile Elio « 100% » au cours de ces traitements thermiques. Enfin, un échantillon d'huile fraîche est également prélevé en premier avant la réalisation des fritures. Les échantillons prélevés apparaissent sur la photo de la figure 8.

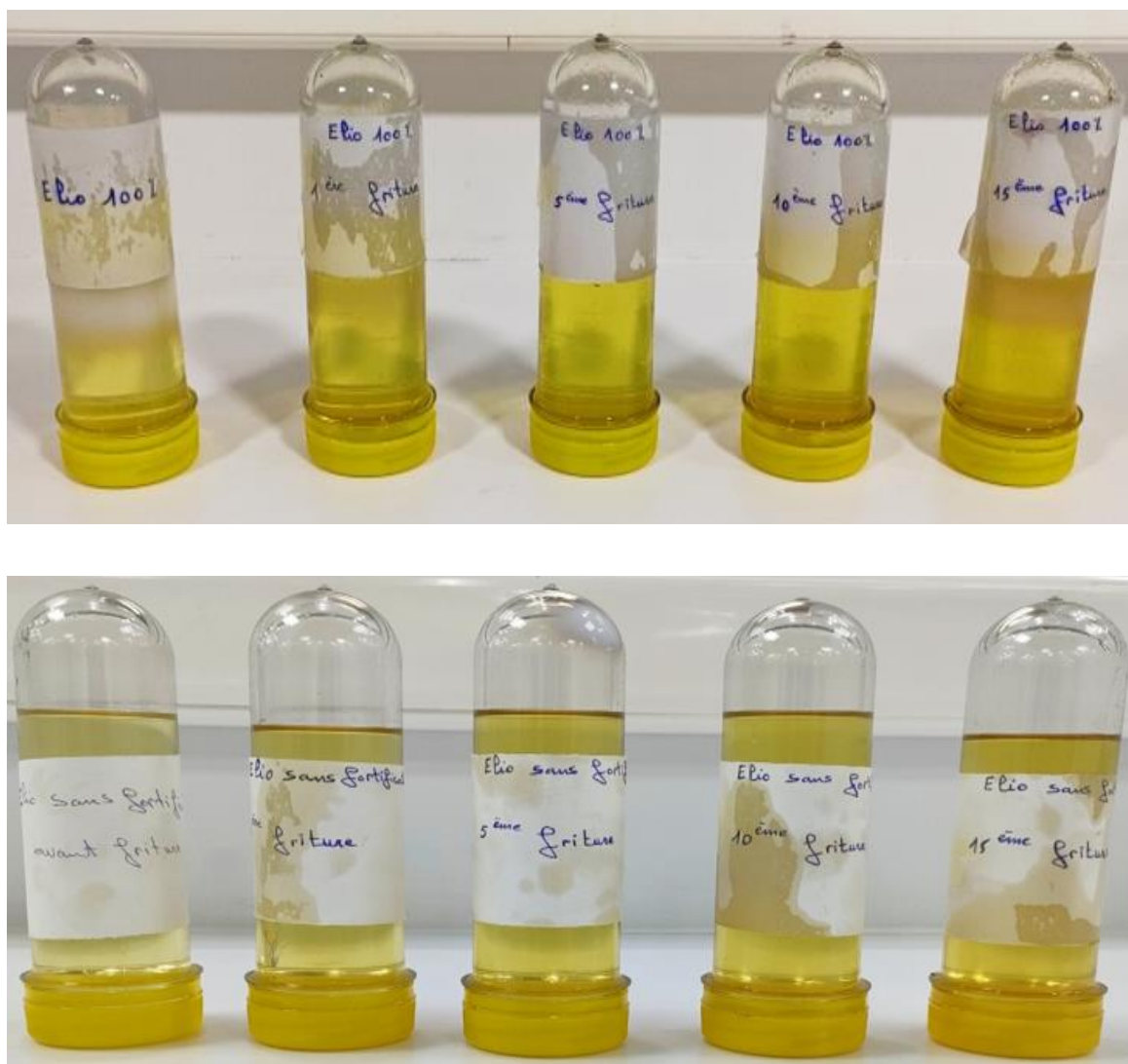


Figure 8 : Echantillons d'huiles prélevées au cours des fritures (Photographie originale)

IV.7. Méthodes d'analyses

Pour évaluer la stabilité et le degré de la résistance de l'huile «Elio sans forti-fry» et «Elio avec forti-fry» au cours des fritures répétées, l'acidité, la couleur, le taux des composés polaires ont été évaluées sur les échantillons d'huiles témoins (sans traitement thermique) et sur les huiles prélevés à différents cycles de friture.

IV.7.1. Analyse organoleptique

L'analyse organoleptique des huiles végétales consiste à évaluer leurs caractéristiques sensorielles, telles que la couleur, l'odeur et la saveur. Cette analyse permet de déterminer la qualité et la fraîcheur de l'huile, ainsi que son aptitude à être consommée.

Dans le but d'identifier les propriétés organoleptiques de notre huile de fritures, une analyse sensorielle a été réalisée pour déterminer la dégradation de sa qualité pendant les 15 fritures réalisées.

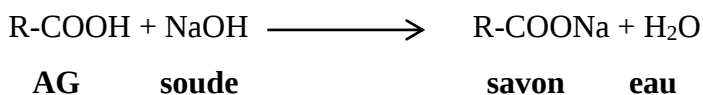
IV.7.2. Analyses physico-chimiques

IV.7.2.1. Détermination de l'acidité (ISO 660)

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.

✓ Principe

Il consiste à titrer les acides gras libres (AGL) par une solution de NaOH en présence d'un indicateur coloré la phénophtaléine selon la réaction suivante :



✓ Mode opératoire

Une quantité de 75 ml d'alcool neutralisé (éthanol + phénophtaléine + NaOH) est placé dans un erlenmeyer de 250ml. Par la suite 10g d'huile à analyser sont rajoutés. L'ensemble est chauffé sur une plaque chauffante avant d'être titré avec le NaOH jusqu'apparition d'une couleur rose persistante.

✓ Expression des résultats

L'acidité est donnée par la formule suivante :
$$A(\%) = \frac{V \cdot N \cdot m}{10 \cdot M}$$

A : Acidité de l'huile en %

N : Normalité de NaOH (0,1N)

V : Volume de NaOH (ml).

m : Poids de la prise d'essai (m=10g).

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

IV.7.2.2. Détermination de la couleur

La détermination de la couleur d'un aliment joue un rôle important dans l'évaluation de sa qualité. Les huiles sont teintées de différentes couleurs qu'il faut déterminer afin de pouvoir les distinguer entre elles et d'évaluer l'efficacité de l'étape de la décoloration au cours du raffinage.

✓ Principe

La détermination de la couleur est effectuée par un colorimètre lovibond (figure 9). Il est constitué de deux séries de verres colorés : jaune et rouge. La couleur de l'huile est comparée à une couleur obtenue grâce à la superposition de ces verres colorés.

✓ Mode opératoire

L'huile à analyser est versée dans une cellule en verre de cinq pouces qui est placée dans le colorimètre. La couleur de l'échantillon est déterminée par une meilleure comparaison possible avec les lames de couleur standards.



Figure 9 : colorimètre lovibond

IV.7.2.3. Détermination du taux des composés polaires (TPC)

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

✓ Mode opératoire

Le pourcentage des composés polaires est mesuré à l'aide d'un testeur appelée «Opti-Fry MIROIL» (Suisse) (figure 10), composé d'une sonde qu'on doit faire émergée dans l'échantillon ensuite la valeur sera affichée directement sur l'écran de l'appareil. Ce testeur doit être bien nettoyé après la dernière mesure de la journée et doit être sec au moment de l'emploi.



Figure 10 : Testeur Opti-Fry MIROIL

Résultats et discussion

V. Résultats et Discussion

V.1. Résultats des analyses organoleptiques

La qualité d'un aliment ou d'un produit alimentaire est un concept subjectif, qui varie en fonction du principal outil d'évaluation du consommateur. Cependant, des critères objectifs d'évaluation de la qualité ont été développés.

Dans le cadre de notre travail de mémoire, nous avons choisi d'étudier l'influence du procédé de friture sur deux types d'huiles de soja 100% produites par Cevital dont l'une a subi une fortification au Forti-Fry. L'apparence des frites préparées est illustrée dans les figures de 11 et 12. Les résultats de l'évaluation des caractères organoleptiques sont résumés dans le tableau V.

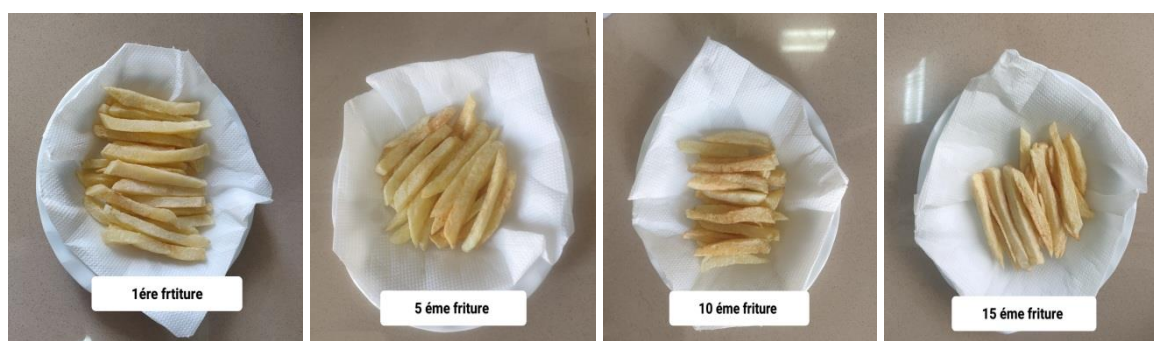


Figure 11 : Frites obtenues du bain d'huile fortifiée (photo originale)

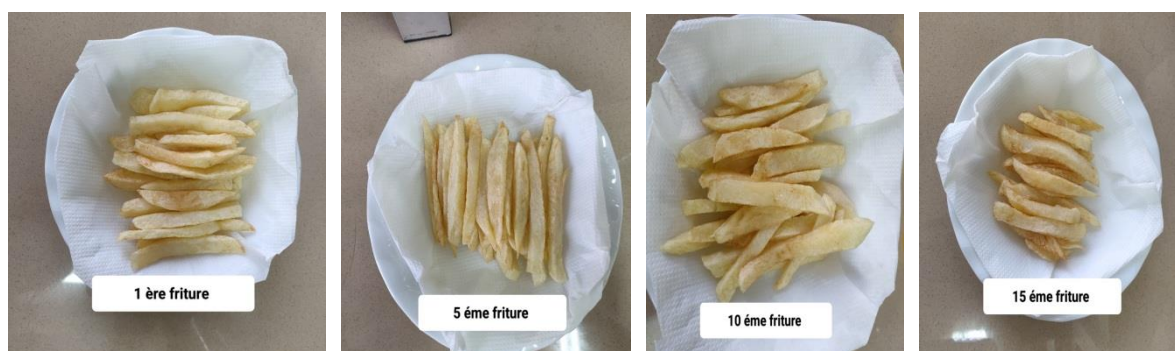


Figure 12 : Frites obtenue du bain d'huile sans fortification (photo originale)

Tableau V : Résultats de l'évaluation des caractéristiques organoleptique des huiles et de l'aliment frit

	Observation notées lors des fritures	Paramètre analysés				
		Couleur du bain	Couleur de la frite	Odeur	Gout de la frite	Projection d'huile
Elio sans forti-fry	1 ^{ère} friture	Claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	Présence
	5 ^{ème} friture	Claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	Présence
	10 ^{ème} friture	Moins claire	Jaune dorée+	Désagréable	Piquante	Présence
	15 ^{ème} friture	Moins claire	Jaune dorée+	Désagréable	Piquante	Présence
Elio avec Forti-fry	1 ^{ère} friture	Claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	-
	5 ^{ème} friture	Claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	-
	10 ^{ème} friture	Claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	-
	15 ^{ème} friture	Moins claire	Jaune dorée	Néant	Agréable	-

Signe (-) : Absence

Signe (+) : Intensité

Au cours de la friture, l'huile subit des changements thermiques et oxydatifs, entraînant la formation de sous-produits, ce qui affecte ses propriétés nutritionnelles et sensorielles (Zula *et al.*, 2022).

Les résultats portés dans le tableau V montrent que la couleur du bain de friture devient plus intense. Il y avait un léger changement de couleur au cours de la 10^{ème} friture pour l'huile «Elio sans forti-fry» et dans la 15^{ème} friture pour l'huile «Elio avec forti-fry». Ce changement peut s'expliquer par la présence des polymères thermo oxydés.

En effet, la couleur des frites est la 1^{ère} modification observée. Ce début d'altération se produit vers la 10^{ème} et la 15^{ème} friture de l'huile « Elio sans forti-fry» par contre aucune altération n'est observée pour l'huile «Elio fortifie». Selon Judde (2004), une couleur dorée prononcée des frites indique un stade de brunissement non enzymatique (NEB). C'est le résultat de la réaction de Maillard entre les glucides de la pomme de terre et les acides aminés présents dans l'aliment frit.

Il est à noter que l'odeur des frites était toujours caractéristique et très acceptable pour l'huile Elio avec forti-fry mais change et devenir piquante à partir de la 10^{ème} friture pour l'huile sans forti-fry. Selon Judde (2004), les composés non volatils tels que les cétones et les

aldéhydes provoquent des odeurs dans les huiles de friture. Ces composés se caractérisent par des seuils de détection très bas.

Par ailleurs, l'évaluation sensorielle des frites permet de relever quelques éléments d'appréciation des huiles en friture. Le résultat de dégustation faite par nous et par quelque étudiant laissant apparaître que le gout des frites devient piquant à partir de la 10^{ème} friture dans l'huile sans fortification.

Il est à noter également que, nous n'avons pas observé de phénomène de projection d'huile au niveau de l'huile fortifiée au forti-fry par rapport à l'autre échantillon non fortifiée. Ce constat peut s'expliquer par le contact de l'eau contenue dans la pomme de terre avec l'huile. Cela montre que le forti-fry stop le phénomène d'éclaboussure de l'huile.

V.2. Résultats des analyses physico-chimiques

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

Tableau VI : Résultats des analyses physico-chimiques

	Echantillon	Acidité %	Couleur		Composés polaires
			Jaune	Rouge	
Elio sans forti-fry	Avant friture	0,05	13,0	1,3	/
	1 ^{ère} friture	0,08	27,0	2	3,9
	5 ^{ème} friture	0,11	46,8	3,2	7,2
	10 ^{ème} friture	0,11	59,9	4,7	9,4
	15 ^{ème} friture	0,11	72,9	5,5	11,1
Elio avec forti-fry	Avant friture	0,03	14	1,4	/
	1 ^{ère} friture	0,05	35	2,3	1,8
	5 ^{ème} friture	0,08	46	2,9	2,9
	10 ^{ème} friture	0,08	58	4,9	7
	15 ^{ème} friture	0,10	72	5,8	8,9

V.2.1. Evolution de l'acidité

L'acidité reflète le niveau d'acide gras libre dans l'échantillon d'huile c'est un indicateur capital d'altération des huiles végétales (Zula *et al.*, 2022). Les résultats de l'évolution de l'indice d'acide obtenu dans notre étude sont illustrés dans la figure 13.

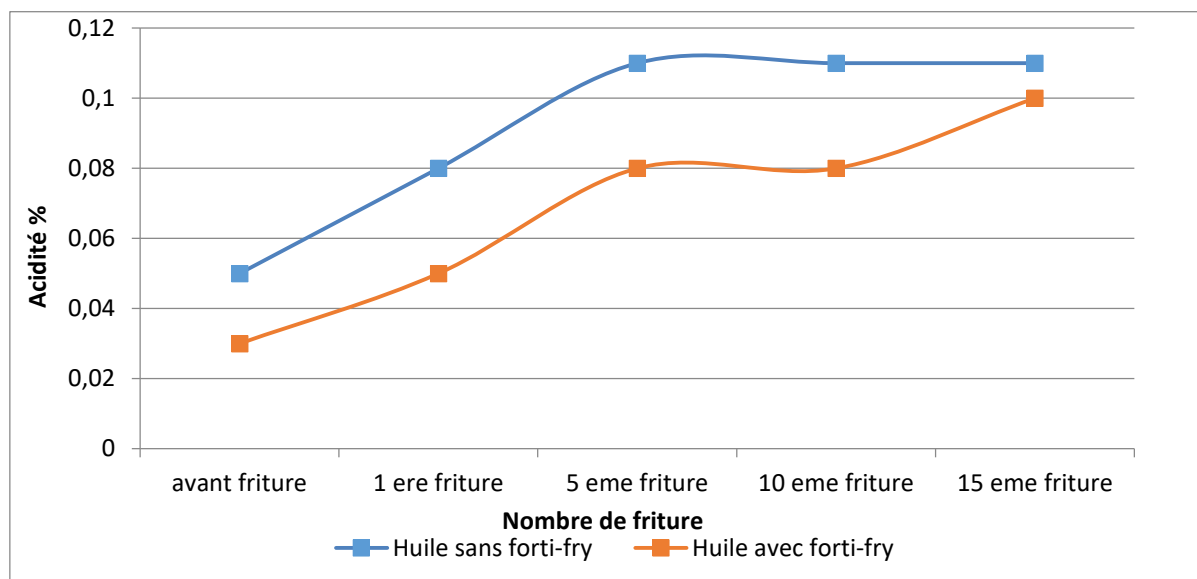


Figure 13 : Evolution de l'acidité des huiles au cours des fritures répétées

Les huiles fraîches utilisées dans notre étude ont une acidité de 0,03% pour l'huile avec forti-fry et 0,05% pour l'huile sans forti-fry. Ces valeurs sont en concordance avec la norme ISO 660 (max 0,12).

D'après les résultats portés dans le tableau VI, on remarque que l'acidité de l'huile des bains de friture augmente au fur et à mesure que le nombre de cycle de fritures augmente. Les valeurs oscillent entre 0,03% et 0,10% pour l'huile Elio fortifié et entre 0,05% et 0,11% pour l'huile Elio sans fortification. La valeur maximale (0,11%) a été enregistrée à partir de la 5^{ème} friture.

L'augmentation de l'acidité de l'huile de friture observée dans notre étude peut s'expliquer par le déroulement du processus d'hydrolyse au cours du procédé de friture. Cela est dû à la libération continue des AGL. Cette réaction est catalysée par la température élevée et la teneur en humidité des frites fraîches (Boureghd *et al.*, 2013). En fait, des études antérieures sur les huiles de friture ont prouvés que le taux d'AGL augmente pendant la friture (Kalapathy et Proctor, 2000). Selon Gupta (2005), lors de l'hydrolyse, les molécules de triacylglycérols réagissent avec les molécules d'eau pour former des AGL et des diacylglycérols. De plus,

selon Wolff (1991), l'acidification de l'huile augmente en présence d'eau dans des conditions favorables, notamment sous l'effet de la chaleur et de la pression (chauffage électrique).

V.2.2. Evolution de la couleur

La couleur est le premier critère auquel nous intéressons pour évaluer le niveau de stabilité ou d'altération des huiles durant leur utilisation en friture. L'évolution de la couleur jaune et rouge pour tous les échantillons analysés est donnée dans les figures 14 et 15.

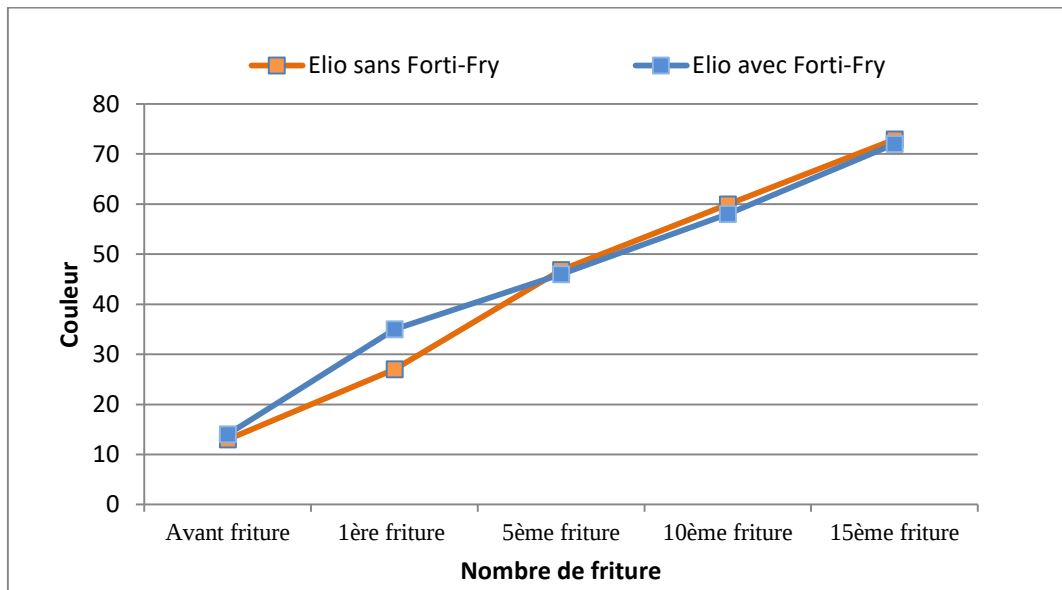


Figure 14 : Evolution de la couleur jaune des échantillons prélevés lors des fritures répétées

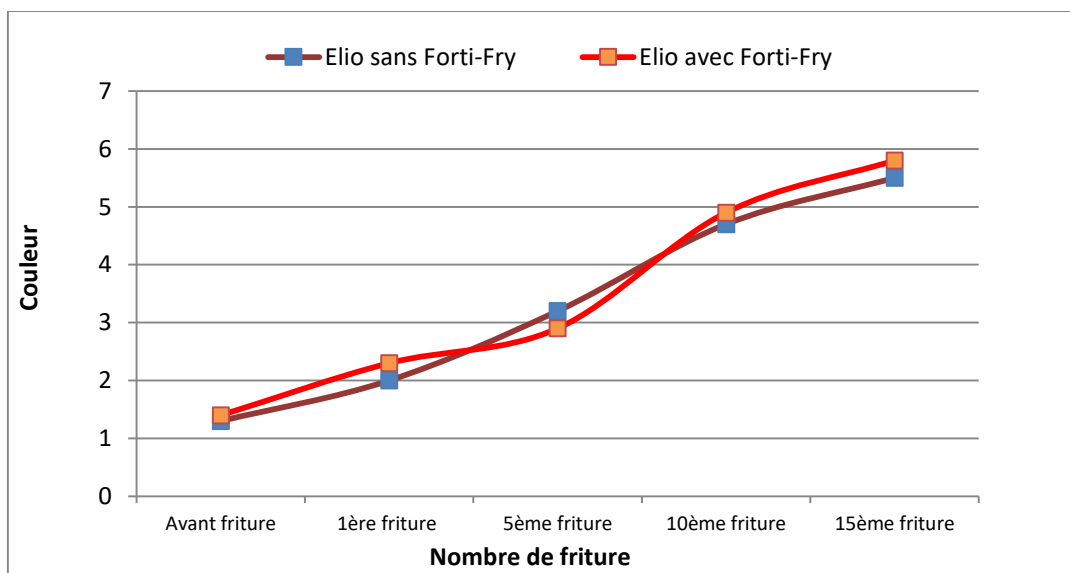


Figure 15 : Evolution de la couleur rouge des échantillons prélevés lors des fritures répétées

D'après les résultats obtenus pour les huiles fortifié et non fortifié, les intensités de couleurs jaune et rouge sont en concordance avec la norme utilisé au niveau de Cevital, pour lesquelles la couleur jaune est évaluer au maximum a 16 (J16) et l'intensité de la couleur rouge à 2 (R2).

Le premier signe d'altération se manifeste généralement par une intensification de la couleur d'origine de l'huile. Les quinze échantillons analysés dans notre étude sont de couleur jaune à jaune clair.

Lors de la friture la couleur deviendra plus foncée au fur et à mesure que le nombre de cycle de friture augmente. De plus, la vitesse de formation de la couleur peut être affectée par le type d'aliment frit. Comme la pomme de terre dont les composés peuvent être introduits dans l'huile tels les hydrates de carbone (amidon, protéines....) peuvent interagir avec les huiles en changeant leur couleurs (Frank *et al.*, 2007; Ghazali *et al.*, 2009).

Le changement de la couleur de l'huile utilisée pour la friture peut être dû à plusieurs facteurs à savoir : la composition de l'huile à l'état frais, l'accumulation des composés conjugués et de produits d'oxydation, la formation de polymères, les pigments de l'huile et ceux contenus dans la pomme de terre (Aladedunye, 2015).

La majeure partie de l'intensité de couleur de l'huile végétale est éliminée lors du raffinage (décoloration et désodorisation). De manière générale, les huiles végétales aux couleurs vives sont connues pour être plus attractives d'un point de vue commercial (Syed *et al.*, 2019).

De nombreux auteurs (Chen *et al.*, 2013 ; MBA *et al.*, 2014 ; Wenstrup *et al.*, 2014) ont suggéré que la couleur est l'une des propriétés physique les plus importantes des huiles alimentaires utilisée pour évaluer la qualité ou le degré de dégradation de l'huile.

Les fritures répétées des huiles végétales, notamment lorsqu'elles sont riche en acides gras polyinsaturés induit la formation de plusieurs composés qui vont modifier et nuire sur les caractéristiques et la présentation de ces corps gras (Jawsir *et al.*, 2000).

V.2.3. Evolution du taux des composés polaires (TPC)

Les composés polaires sont des composés formés à partir de la polymérisation des mono et des diglycéride et des AGL formés par l'hydrolyse des triglycérides. Les résultats de l'évolution du taux des composés polaires (TCP) obtenues dans notre étude sont illustrés dans la figure 16.

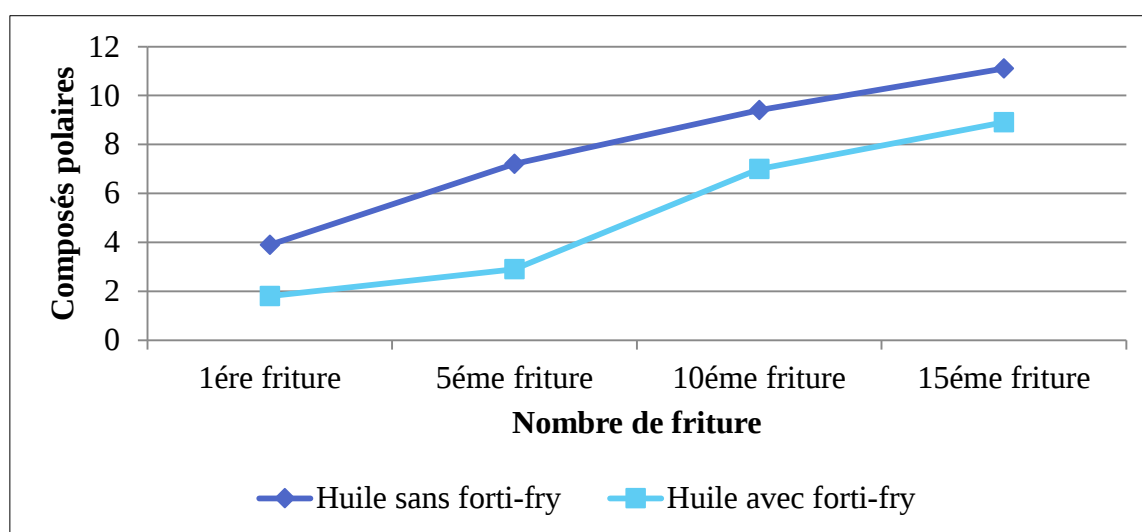


Figure 16 : Evolution du taux des composés polaires au cours des fritures répétées.

Dans cette dernière partie de travail, une détermination des composés polaires a été effectuée pour l'huile fortifiée (avec forti-fry) mais également pour l'huile sans forti-fry après plusieurs cycles de friture (1, 5, 10 et 15^{ème} friture).

D'après les résultats illustrés par le diagramme de la figure 15, tous les échantillons collectés ont un taux de composés polaires inférieur à la limite maximale fixée par l'AFSSA en 2005.

On remarque également qu'il y a une augmentation continue dans le taux en allant de 1,8% dès la 1^{ère} friture jusqu'à la valeur de 8,9% (15^{ème} friture) pour l'huile fortifiée et en allant de 3,9% (1^{ère} friture) jusqu'à 11,1% à la 15^{ème} friture pour l'huile sans forti-fry.

Cette augmentation peut s'expliquer par le déroulement des réactions de dégradation, qui conduit à la formation des triglycérides oxydés (TGOx). Ces derniers sont les principaux produits d'altération suivis par les dimères et polymères de triglycérides (DPTG). (Guillène et Uriarte, 2011).

Selon Guillène et Uriarte (2011), les huiles de friture sont considérées comme dangereuses lorsque la proportion de composés polaires atteint 25% en poids. Selon certaines réglementations européennes, l'huile de friture avec un CPT supérieur à 25% doit être renouvelée. En revanche, les valeurs observées dans notre étude sont nettement inférieures à la norme (moins 25%). Ce qui permettrait d'utiliser ces deux huiles dans d'autres cycles de fritures.

Dans notre étude, des produits frits savoureux sont produits dans des conditions de friture contrôlées. La quantité totale de composés polaires est très faible et ne présente aucun danger pour la santé des consommateurs.

La teneur en TCP est considérée comme un bon indicateur de la qualité de l'huile de friture. Des coefficients de corrélation élevés ont été rapportés dans la littérature entre ce paramètre physique et d'autres critères tels que l'indice de d'iode, d'acide, la couleur, les AGS, les AGPI, les AGMI, les acides gras trans, mono- et polyinsaturés (Benhamou, 2017).

En général, la détérioration de l'huile de friture entraîne une augmentation de sa polarité (Juarez, 2011). Cuvelier *et al.* (2012) ont rapporté que la composition chimique des huiles de friture est fortement influencée par l'oxydation thermique, qui se manifeste par l'apparition de composés nouvellement formés responsables de la détérioration des propriétés organoleptiques.

Conclusion & Perspectives

Conclusion & perspectives

La stabilité oxydative d'une huile dépend en particulier de la nature et de la teneur en acides gras insaturés. Ainsi, les huiles les plus insaturées sont les moins stables à l'oxydation, et ce d'autant plus que le nombre de doubles liaisons sur les AG est élevé. Ainsi, l'huile de soja riche en AGPI est plus oxydable que les autres huiles. Cette stabilité est, également, dépendante de la teneur de l'huile en tocophérols (dont vitamine E) ; ces molécules mineurs sont susceptibles d'exercer une action protectrice anti-oxydante.

L'objectif de notre étude effectuée au niveau du complexe CEVITAL de Bejaia consiste à évaluer l'effet de l'addition d'un antioxydant naturel « *Forti Fry* » à l'huile de soja (100 %) et suivre son degré de résistance à l'oxydation lors des fritures répétées.

Lors de la procédure de friture, plusieurs dégradations se produisent au niveau des acides gras, ainsi une dégradation des qualités de l'huile et de l'aliment frit. Les échantillons d'huile prélevés lors de la 1^{ère}, 5^{ème}, 10^{ème} et 15^{ème} fritures, ont fait l'objet de diverses analyses physico-chimiques et organoleptique afin d'évaluer leurs degrés d'altération.

Les résultats obtenus dans la présente investigation, montrent que l'enrichissement de l'huile de soja par le « *Forti-fry* », a permis la conservation de la plupart des paramètres organoleptiques étudiés (la couler, l'odeur, le gout) au cours des fritures en comparaison avec l'huile de soja non enrichie.

Sous l'effet de la chaleur et de l'eau apportée par les tranches de la pomme de terre fraîche, les réactions d'hydrolyse sont intenses, ce qui a fait augmenter l'acidité des bains de fritures ; les acidités maximales sont respectivement de 0,10% et 0,11% pour l'huile fortifiée et non fortifiée. De même pour la couleur, les valeurs maximales enregistrées sont de 72 et 72,9 pour la couleur jaune et de 5,8 et 5,5 pour la couleur rouge respectivement pour l'huile fortifiée et non fortifiée.

Le meilleur critère physique retenu pour juger la qualité des huiles de bains de fritures est le taux de composés polaires. L'enrichissement a permis la réduction des taux en composés polaires qui se forment lors de la friture en comparaison à l'huile de soja non enrichie dans les mêmes conditions. Les valeurs obtenues sont nettement inférieure au maximum toléré 25%. Cela explique la possibilité de réutiliser cette huile même après la 15^{ème} friture.

A la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que le Forti-fry a exercé un effet protecteur contre l'oxydation thermique et l'éclaboussure de l'huile durant le chauffage excessif, de plus pour renforcer leur contenu nutritionnel global et pour lutter contre les carences de ces éléments.

En perspectives nous insisterons sur certains points qui nous paraissent importants à poursuivre à savoir :

- Il serait intéressant de reconduire ces essais et d'évaluer l'effet antioxydant du forti-fry sur d'autres huiles végétales.
- Il serait intéressant également de comparer l'effet protecteur du Forti-fry à d'autres antioxydants naturels (extraits végétaux par exemple).

.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

Afssa. 2005. Rapport de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Risques et bénéfices, pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations, 221p.

Aladedunye F. 2015. Curbing thermo oxidative degradation of frying oils: current knowledge and challenges. Eur.j.lipid.Sci &Tech, 117: 1867-1881.

Alais C., Linden G. et Miclo L., 2003. Biochimie alimentaire. 5eme Edition de l'abrégé. Edition: DUNOD, Paris. 56-60.

B

Baïz N. et Dossus L. 2014. Vitamine D et santé : fausses promesses ou réalité ?. La Lettre du Rhumatologue. 398 : 18-22.

Benhamou K. 2017. Evaluation de la qualité des huiles de bains de fritures des fastfoods de la ville d'azeffoune, université de Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, diplôme de master en Agronomie. 34-37.

Bouchon P. 2009. Understanding Oil Absorption during Deep – Fat Frying. Advances in Food and Nutrition Research, 37. 209-234.

Bouhadjra. 2011. Étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge, thèse pour l'obtention du diplôme de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

Boureghd A., Benayache S. et Benayache F. 2013. Change of physic-chemical proprieties of some local oils. During frying. Nat sci. 11:88- 91.

C

Références Bibliographiques

Chen W.A., Chiu C.P., Cheng W.C., HSU C.K. et KUO M.I. 2013. Total polar compound and acid values of repeatedly used frying oils measured by standard and rapid methods. J Food Drug Anal.21: 58–65.

Choe E., Lee J. et Min D.B. 2009.Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods.

Comprehensive Reviews in Food Sci. Food Safety. 345-358.

Claude L. 2013.Les lipides, Nutrition et santé. Edition Tec & Doc. Paris. 25.

Codex Alimentarius. 1999. Norme pour les huiles végétales portant un nom Spécifique. CODEX STAN 210.

Combe N. et Rossignol-Castera A. 2010. Vegetable oils and frying. Cahier de nutrition et diététique. 44-51.

Cossut J., Defrenne B., Desmedt C., Ferroul S., Garnet S., Roelstraete L., Vanuxeem M. et Vidal D. 2002. Les Corps Gras: Entre Tradition et Modernité. Gestion de la Qualité Nutritionnelle et Marketing des Produits Alimentaires. 21-64.

Courtois F., Mohammad Ziaifar A., Trezzani I. et Trystram G. 2012. Friture profonde, les interactions huile-produit.89-95.

Crapiste G.H., Brevedan Miv., Carelli A.A. 1999. Oxidation of sunflower oil during storage. 1437-1443.

Cuvelier M.E. et Maillard M.N. 2012. Stabilités des huiles alimentaires au Cours de leur stockage. 125-132.

D

Delagoutte C. 2007. «Huiles de friture et dangers», La Cuisine Collective, 205. 20.

Desmier T. 2016. Les antioxydants de nos jours : définition et applications, thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie - université de limoges.75p .

Devillers PH., Thébault J., Mathellier B. 2010. Huiles végétales : Guide d'aide à l'application des meilleures technologies disponibles. 5p.

Dgcerf. 2012. Guide de contrôle des huiles de friture. Recommendations for frying oils.3rd international symposium on deep-fat frying, optimal opérations. March 20-21, Hagen/Westphalia. Germany.

Références Bibliographiques

Dobarganes M.C. et Marquez-Ruiz G. 1998. Dimeric and higher Oligomeric triglycerides. In: Perkins, E.G., Erickson, M.D. (Eds). deep frying. Chemistry, Nutrition and Practical Applications. AOCS Press. Illinois.89–111.

Durand D., Damon M. et Gobert M. 2013. Le stress oxydant chez les animaux de rente : Principes généraux. Cahiers de nutrition et de diététique. 48 :218-224.

E

Eymrad S. 2003. Mise en évidence et suivie de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation de chinchard (*Trachurus trachurus*) : choix des procédés. Thèse de doctorat. Université de Nantes, France. 126.

F

Favier A. 2003. Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. Actualité Chimique ; 11 :108-117.

Fredot E. 2005. Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 296-320

Fredot E. 2012. Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la Diététique. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris.417-488.

Filane E. et Toumi H. (2012). Rôle des dérivés réactifs de l'oxygène et de l'exercice Physique sur le métabolisme osseux. Revue de rhumatisme.387-392.

G

German J.B. et Kindella J.E. 1985. Lipid oxidation in fish tissue, enzymatic initiation via lipoxgénase. Journal of agricultural and food chemistry. Vol 33:680-683.

Ghaly M. et El-Khamissi H. 2021. Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology .Effect of Deep Frying on Fatty Acid Composition and Polymer Content in Sunflower and Soybean Oils. 12:189- 194.

Ghasemi Pirbalouti A., Emami Bistghani Z., Malekpoor F. 2015. An over view on genus thymus. J of Herbal Drugs. 6: 93-100.

Références Bibliographiques

Ghazali H.M., Tan A., Abdulkarim D. et Zulkilly M.U .2009. Oxydative stability of virgin coconut oil compared with RBD palm ole in in deep fat frying of fishcrackes. Journal of food. 7 :23-29.

Glaude Genot. 2004. Comment protéger les acides gras polyinsaturés à longues chaînes oméga 3 (AGPI -- LC ω 3) vis-à-vis de l'oxydation ? Scientific Figure on ResearchGate.11:133-141.

Gonde P. et Morin O. 2012. Optimisation du choix de l'huile en friture industrielle : l'exemple Mc .Caïn. OCL ; 19: 96-100.

Gornay Julien. 2006. Transformation par voie thermique de triglycérides et d'acide gras. Application à la valorisation chimique des déchets lipidiques Institut national polytechnique de lorraine. Département de chimie physique des réactions.318.

Graille J. 2003. Lipides et corps gras alimentaires-Paris : Tec et Doc. 1-35. ISBN 2674306059467 VOL. 11N°6, Novembre –Décembre, 415-418.

Gramza-Michalowska A; Sidor M; Hes J. 2011. Food Biochem. 35:1723-1736.

Guillen M.D. et Uriarte P.S. 2011. A very simple, fast, and non-destructive Approach to predict the time at which edible submitted to high temperature reach the Established limits of safety. Food Chemistry, vol. 127 : 802-806.

Guillouty A. 2016. Plantes médicinales et antioxydants, thèse pour le Diplôme d'état de Docteur en Pharmacie- Université Toulouse III Paul Sabatier. France. 101.

Gupta M.K. 2005. Frying oils. Bailey's industrial oil and fat products. 6^{ème} Edition. John Wiley & Sons, 1 – 23.

H

Hallal Z.2011. Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydants de certaines huiles essentielles extraites des Citrus. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.78.

Halliwell B. 1999.how to characterize a biological antioxidant free radical. 1-32.

J

Jamil, S., Dufour, J. -P. G. et Deffense, E. M. J. 1998. Method of degumming a fatty Substance andfatty body so obtained: 1-7.

Références Bibliographiques

Jawsir I., Chemana Y. et Kitts D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. Food research international 33 :501-508.

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. et Brule G. 2006. Oxydation des lipides. In : Science des aliments. Volume 1. Edition : Tec & doc, Lavoisier, Paris. 95-113.

Jotterand C. et Kiziria N. 2007. L'acide gras oméga 3 et oméga 6 : pourquoi sont-ils essentiels, Haute école de santé Genève, 1-7.

Jorge N., Veronezi C.M. et Del Ré P. 2014. Antioxydant effect of thym and organo extracts in soybean oil under thermoxidation, J of food process and preserv. ISSN 1745-4549.

Juarez M.D. 2011. Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially Hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional Methods. Food Control, vol.22: 1920 – 1927.

Judde A. 2004. Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications ; OCL, Novembre/Décembre.11 : 414-418.

K

Kahouli, 1. 2010. Effet antioxydant d'extraits de plantes (Laurus nobilis L., Rosmarinus officinalis, Origanum majorana, Oléa Europea L.) Dans l'huile de canola chauffée.111.

Kalapathy U et Proctor A. 2000. A new method for free fatty acid reduction in frying oil using silicate films produced from rice hull ash, J Am Oil Chem. Soc. 77:593 - 598.

Kivilompolo M., Oburka V., Hyotylainen. 2008. Comprehensive two-dimensional liquid chromatography in the analysis of antioxidant phenolic compound in wines and juices. Anal Bioanal Chem, 391:373-380.

L

Le ministère du commerce. 2012. Commerce : un guide pour le contrôle des huiles de friture, Alger.

Linden G. et Lorient D. 1994. Biochimie agro-industrielle. Edition : Masson, Paris. 90 – 100.

Leray C. 2013. Les lipides nutrition et santé. Ed. Tec & Doc. Lavoisier. Paris. 333.

Références Bibliographiques

Lisu W., Jui-hung Y., Hsiao-ling L. et Wul M.J. 2003. Antioxidant effect of methanol extracts from Lotus Plumule and Blossom (*Nelumbonucifera* Gertn). *Journal of food and Drug Analysis*. 11: 60-66.

M

Marc F., Davin A., Benbrahim L., Ferrand C. et Baccaunaud Met Fritsch. P. 2004. Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *Médecine science*.20. 458-463.

Mba O., Adewale P., Dumont M. J. et Ngadi M. 2014. Application of near-infrared spectroscopy to characterize binary blend of palm and canla oils, *Ind. Corps Prod*.61: 472-478.

Mignolet G. 1968 : Technologie des aliments. Ed. Pantyn ; Bruxelles. 78-79.

Mohtadji-Lamballais C. 1989. Les aliments. Ed. Maloine. 94-102.

N

Nemzer B.V., Yashin A.Y., Vedenin A.N., Yashin Y.I., Yashunsky D.V., Nifantiev N.E. and Kalita D. 2019. Selected Powerful Natural Antioxidants: Structure, Food Sources, Antioxidant Activities, and Important Health Benefits. *Journal of Food Research*, 8: 60.

O

Oyedeji, A. B., Sobukola, O. P., Henshaw, F., Adegunwa, M. O., Ijabadeniyi, O. A., Sanni, L. O., & Tomlins, K. I. 2017. Effect of frying treatments on texture and colour parameters of deep fat fried yellow fleshed cassava chips. *Journal of Food Quality*.10.

P

Pages X., Morin O., Birot C. 2010. Raffinage des huiles et des corps gras et élimination des contaminants Oleagineux *Corps gras Lipide*;17:86-99

Pascaud A., Bennacer I., Bridonneau P. et Pascaud M. 1985. Acides gras Polyinsaturés indispensables, eicosanoïdes et cancer. *Cah. Nutr. Diet*, 20 :443-450.

Perrin J.L. 1992. Analyse des corps gras. Détermination de l'altération. In : manuel des corps gras. Tome 2. Edition : Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 1198-1216.

Platon, J. F. 1988. Raffinage de l'huile de soja. *American Soybean Association* N°19: 3-30

Références Bibliographiques

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. 51-74.

R

Régis, J., Joffre, F., & fine. 2016. Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en micronutriments des huiles végétales de colza, soja et tournesol. V23:5.

Riahi J et Marzouk B. 2000. Effects of light on some vegetal oils quality and Stability. Preliminary note. Rivista Italiana delle Sostanze Grasse, 77: 25-30.

Richard T., Tamsamani H., Delaunay J., Krisa S., Mérillon J. 2014. Stilbènes : De la chimie à la neuroprotection. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 49 :173-180.

Rohani Binti, M. Z. 2006. Process design in degumming and bleaching of palm oil. Centre of lipids engineering and applied research: 9-45.

Poisson M., J.P. et Norce. 2003. Corps gras alimentaires: Aspects chimiques, biochimiques et nutritionnels. In. Lipides et corps gras alimentaires. Ed. Technique et Documents. 1-50.

Rossell J.B. 2001. Frying, Improving quality. Boca Raton Boston, FL: CRC Press, New York, Washington. 369.

S

Saguy I.S. et Dana D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, Health and consumer aspects, Journal of Food Engineering, 56:143-152.

Sebei K., Boukhchina S. et Kallel H. 2007. Évolution des tocophérols en relation avec les acides gras insaturés au cours de la maturation des graines de colza de printemps (*Brassica napus* L.). C. R. Biologies 330 :55–61.

Sogodogo Y. 2013. Evaluation de la prévalence de la carence en vitamine A suite à la fortification de L'huile végétale dans la région de Koulikoro en 2011. Thèse de médecine. 51.

Stier R.F. 2004. Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. Eur J Lipid Sci Technol. 106 : 766-771.

V

Varela G., Bender A.E. et Morton I.D. 1988. Frying of principales, changes, and new approaches. New York: VCH. (Morton, I. D., ed.). Ellis Horwood. Chichester, 202.

Références Bibliographiques

Vierling E. 2003. Aliments et boissons : Filières et produits. 2ème Edition : Doin, Editeur. 187-208.

Villier A. et Genot C. 2006. Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsions. France. 1-7.

Velasco J. et Dobarganes C. 2002. Oxidative stability of Virgin olive oil, European journal of lipid science and technology. 557-710.

Vitrac O., Raoult –wack A.L. et Trystram G. 2003. procédé de Friture et produits frits. In : Lipides et corps gras alimentaires. Edition : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 231-269.

W

Wenstrup M. J., Plans M. et Rodriguez-saona LE. 2014. Effect of a novel induction food-processing device in improving frying oil quality. Int J Food Sci. Technol. 49 :2223–222.

Wolf J.P. 1991. Analyses et dosage des lipides. In : techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Multon A. Edition: Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 450.

Z

Ziaifar A. M. 2008. Oil absorption during deep fat frying: mechanisms and Important factors, Industries des Sciences et Industries du Vivant et de L'Environnement, Thèse doctorat. (Agro Paris Tech). France. 116-131.

Žula M., Grilc M. et Likozar B. 2022. Hydrocracking, Hydrogenation and Hydrodeoxygenation of Fatty Acids, Esters and Glycerides: Mechanisms, Kinetics and Transport Phenomena. 444:136564.

Annexe

Annexe I : Rapport de quantité de frite sur le volume d'huile

Nombre de friture	Huile	Pomme de terre
1	2 ,25 l	225 g
2	2,10 l	210 g
3	2,05 l	205 g
4	2,00 l	200 g
5	1,95 l	195 g
6	1,75 l	175 g
7	1,70 l	170 g
8	1,65 l	165 g
9	1,60 l	160 g
10	1,55 l	155 g
11	1,35 l	135 g
12	1,30 l	130 g
13	1,25 l	125 g
14	1,20 l	120 g
15	1,15 l	115 g

Résumé

L'objectif de notre étude est l'estimation de l'effet de la fortification de l'huile elio (100% soja) avec un antioxydant naturel « forti-fry » au cours des fritures répétées. Des analyses physico-chimiques (acidité, couleur et composés polaire) et organoleptiques (consistance, odeur, couleur...) ont été réalisés avant et après l'enrichissement de cet huile à la suite de deux cycles de friture avec l'aliment utilisée (pomme de terre). Les résultats obtenus ont permis de déduire que les échantillons analysés répandent aux normes. Les analyses sur l'huile avant et après la fortification, montre une augmentation importante du taux des composés polaire, ainsi que la variation de quelques indices déterminés au cours de la friture. L'utilisation de cet antioxydant naturel apporte une protection pour l'huile contre les processus oxydative surtout après plusieurs cycles de friture.

Mots clés : Fortification, Elio, forti-fry, friture.

Abstract

The aim of our study is to estimate the effect of the fortification of elio oil (100% soya) with a natural antioxidant "forti-fry" during repeated frying. Physico-chemical analyzes (acidity, color and polar compounds) and organoleptic analyzes (consistency, smell, color, etc.) were carried out before and after the enrichment of this oil following two frying cycles with the used food (potatoes). The results obtained made it possible to deduce that the samples analyzed spread to the standards. Analyzes on the oil before and after fortification show a significant increase in the rate of polar compounds, as well as the variation of some indices determined during frying. The use of this natural antioxidant provides protection for the oil against oxidative processes, especially after several frying cycles.

Keywords: Fortification, Elio, Forti-fry, frying.