

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf : ...../UAMOB/FSNVST/DSA/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV      Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Présenté par :

ABCHICHE Lilia

ABID Halima

*Thème*

**Effet d'incorporation de l'huile de sésame sur la stabilité oxydative de l'huile de palme au cours des fritures répétées**

Soutenu le : 07 / 07 / 2022

Devant le jury composé de :

Noms et Prénoms	Grade	Université	Membres Du Jury
RAHMOUNI. A	MAA	Univ. Bouira	Présidente
TAOUDIAT. A	MCB	Univ. Bouira	Promotrice
DADOUN. N	Dr	Univ. Bouira	Co-Promotrice
BOURFIS. N	MCB	Univ. Bouira	Examinatrice

Année Universitaire : 2021/2022

**Remerciement**

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu le seul miséricordieux, qui nous a donné le courage, la force et la volonté pour l'accomplir.*

*Nous tenons à remercier très vivement notre promotrice **Mme TAUDIAT A.**, maitre de conférences à l'université de **Bouira**, pour son encadrement, ses compétences, ses précieux conseils, sa disponibilité et sa gentillesse à notre égard pour le bon déroulement de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre grande considération et notre vive reconnaissance à notre Co-promotrice **Mlle DADOUN N.**, Docteur à l'université de Bouira de nous avoir aidées et encouragées tout au long de notre travail. Nous le remercions également, pour ses précieux conseils, sa disponibilité.*

*Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à **Mme RAHMOUNI**, maitre de conférences à l'université de Bouira, d'avoir accepté de présider notre jury*

*Nos plus vifs remerciements à **Mme BOURFIS** maitre de conférences à l'université de Bouira, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons exprimer nos reconnaissances envers le personnel de la direction des recherches et développement au sein de « **Cevital Spa** », nous remercions en particulier Mr **HADJAL Samir** pour nous avoir proposé ce sujet et pour sa disponibilité et ses conseils.*

*Nous remercions également **Mr ALIANE Khellaf** de nous avoir suivis et d'avoir participé au bon déroulement de notre travail.*

**Dédicaces**

*Au nom de Dieu, le clément et le miséricordieux*

*Avec l'aide de Dieu le tout puissant et enfin et achevé ce travail .Merci à vous, Dieu, autant de particules dans l'univers, d'eau dans la mer, de vie sur terre, lequel je dédie ce modeste travail à toute les personnes qui me sont chers :*

*A la lumière de ma vie, mes très chers parents pour leurs conseils, leurs efforts, leurs sacrifices et surtout pour leurs soutiens tout au long de ma vie et auxquels je ne rendrai jamais assez et que le Bon Dieu me les gardes.*

*Mes très chères sœurs qui m'ont toujours encouragé :*

*Hanane et son mari **Toufik** et leurs anges **Riham** et **Mayel**.*

*Mes sœurs **Naima**, **Nassima**, **Ryma** que j'adore tellement à qui je souhaite beaucoup de bonheur, santé et de réussite.*

*A mon frère **Nouredine** à qui je souhaite la réussite et une très belle vie en France.*

*À celle avec qui j'ai partagé mon travail **Halima**.*

*A ma chère promotrice: **TAOUDIAT**.*

*A tous mes amis et toute ma famille.*

*A tous ceux qui ont participé de près ou loin pour la réalisation de ce travail.*

**Lilia**

**Dédicaces**

*Au nom de Dieu, le clément et le miséricordieux*

*A la lumière de ma vie, mes très chers parents :*

*Il n'y a pas de meilleurs mots à utiliser aujourd'hui que "Merci." Maman et Papa pour votre amour infini et votre sacrifice. Vous m'avez donné le plus beau des cadeaux: l'éducation, le meilleur héritage que les parents puissent transmettre à leurs enfants. Je vous souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé et je vous dois mes succès.*

*Mes très chers frères qui m'ont toujours encouragé :*

*Meziane, Saïd, Hamza et Rezki.*

*Ma meilleure soeur qui m'a encouragé toujours:*

*Fatima, Dalila, Dahbia et Khouloud.*

*A ma deuxième famille: la famille de HASSA Nourelaine.*

*A mes amies*

*Salha, Lilia, Cherifa, Nesrine.*

*A ma chère promotrice: TAOUDIAT NAIMA.*

*A toute la promotion 2021/2022.*

*Merci et bon courage à toutes mes amies d'étude de la spécialité agroalimentaire et contrôle de qualité.*

**Halima**

# Table des matières

**Table des matières**

**Remerciements**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction** ..... 01

**Partie bibliographique**

**Chapitre I : Les huiles végétales**

I.Sésame ..... 02

I.1.Généralité sur la plante ..... 02

I.2.Graine de sésame ..... 03

I.3.Huile de sésame ..... 03

I.3.1.Composition chimique ..... 03

I.3.2.Composition en acide gras ..... 04

I.3.3.Composition en insaponifiable ..... 04

I.3.3.1.Stérols ..... 04

I.3.3.2.Tocophérols..... 05

I.3.3.3.Lignanes ..... 06

I.3.3.3.1.Lignanes solubles dans l'huile ..... 07

I.3.3.3.2.Lignanes glucosylés ..... 09

I.4.Profil nutritionnel et médical de sésame ..... 09

I.5.Utilisations de sésame..... 09

I.5.1.Utilisations des graines ..... 09

I.5.2.Utilisations de l'huile..... 09

I.5.3.Utilisations de tourteau ..... 10

I.5.4.Utilisations des autres parties de la plante ..... 10

II.Palme ..... 11

II.1.Palmier à huile..... 11

II.2.Huile de palme.....	11
II.3.Composition chimique de l'huile de palme.....	12
II.3.1.Constituants majeurs de l'huile de palme.....	12
II.3.2.Constituants mineurs de l'huile de palme.....	12
II.3.2.1.Pigments.....	13
II.3.2.2.Vitamine E.....	13
II.3.2.2.1.Tocophérols.....	13
II.3.2.2.2.Tocotriénols.....	14
II.3.2.2.3.Stérols et les terpènes.....	14
II.4.Utilisation de l'huile de palme.....	15

**Chapitre II: Friture et oxydation des huiles végétales**

I.Friture.....	17
I.1.Définition.....	17
I.2.Types de friture.....	17
I.2.1.Friture plate.....	17
I.2.2.Friture profonde.....	18
I.3.Principes de l'opération de friture.....	18
I.4.Modification aux cours des fritures.....	18
I.5.Produits formés lors de friture.....	18
II.Oxydation des lipides.....	20
II.1.Définition.....	20
II.2.Etapes principales d'oxydation des lipides.....	21
II.2.1.Auto-oxydation.....	21
II.2.2.Photo-oxydation.....	22
II.2.3.Oxydation enzymatique.....	22
II.2.4.Thermo-oxydation.....	23
II.3.Facteurs influençant l'oxydation.....	23

II.3.1.Teneur en oxygène.....	23
II.3.2.Température.....	23
II.3.3.Présence d'agents antioxydants .....	23
II.3.4.Présence d'agents pro-oxydants .....	24
II.3.5.Teneur en acide gras libre.....	24
II.3.6.Lumière.....	24
II.4.Antioxydants.....	24
II.4.1.Antioxydants naturels .....	25
II.4.2.Antioxydants de synthèse .....	25

**Partie expérimentale**

**Chapitre I: Matériel et méthodes**

I.Matériel et méthodes .....	26
I.1.Matériel végétal.....	26
I.2.Analyses physico-chimiques des huiles étudiées.....	26
I.2.1.Détermination de l'acidité.....	26
I.2.2.Détermination de l'indice de peroxyde.....	26
I.2.3.Détermination de profil en acides gras .....	27
I.3.Enrichissement de l'huile de palme par l'huile de sésame .....	28
I.4.Test de friture.....	28
I.5.Caractérisation des huiles de friture testées .....	29
I.5.1.Détermination du profil en acides gras durant les fritures .....	29
I.5.2.Détermination du taux des composés polaires.....	29
I.5.3.Test d'accélération d'oxydation "Rancimat" .....	30
I.6.Analyses sensoriels .....	31
I.7.Traitement et analyse des résultats.....	32

**Chapitre II: Résultats et discussion**

I.Résultats et discussions.....	32
I.1.Caractérisations initiales des huiles étudiées .....	32



I.1.1.Profil en acides gras des mélanges d’huiles étudiées.....	33
I.2.Évaluation du degré d’altération des mélanges d’huiles au cours des fritures répétées .....	34
I.2.1.Evolution de taux des composés polaires .....	34
I.2.2.Test d’accélération d’oxydation.....	35
I.2.3.Composition en acides gras des huiles au cours des fritures répétées .....	36
I.2.4.Evaluation de la qualité organoleptique des huiles de fritures et des frites préparées ...	40
I.2.4.1.Aspects des bains de fritures .....	40
I.2.4.2.Aspects des frites préparées .....	42
I.2.4.2.1.Goût.....	42
I.2.4.2.2.Odeur .....	42
I.2.4.2.3.Texture .....	43
I.2.4.2.4.Couleur... ..	44
I.2.4.2.5.Saveur .....	45
<b>Conclusion.....</b>	<b>46</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Résumé</b>	

**Liste des abréviations**

<b>AG</b>	Acides gras.
<b>AGI</b>	Acides gras insaturées.
<b>AGL</b>	Acides gras libres.
<b>AGMI</b>	Acides gras monoinsaturés.
<b>AGPI</b>	Acides gras polyinsaturés.
<b>AGS</b>	Acides gras saturés.
<b>AGT</b>	Acides gras trans.
<b>CG</b>	Corps gras.
<b>CPT</b>	Composés polaires totaux.
<b>HP</b>	Huile de palme.
<b>HP/HS1</b>	Huile de palme enrichie par 1% de l'huile de sésame.
<b>HP/HS2</b>	Huile de palme enrichie par 1% de l'huile de sésame.
<b>HP/HS3</b>	Huile de palme enrichie par 1% de l'huile de sésame.
<b>ISO</b>	International standard organisation.
<b>LDL</b>	Lipoprotéines de basse densité.
<b>NO</b>	Oxyde Nitrique.
<b>OSI</b>	Indice de Stabilité Oxydative.
<b>TBH</b>	Ter Butyl Hydroxy Quinone.
<b>TG</b>	Triglycérides.
<b>TIR</b>	Temps d'Induction au test Rancimat.

## Liste des figures

<b>Figure I:</b> Présentation de la plante de sésame. ....	02
<b>Figure II:</b> Structure des tocophérols et tocotréonols. ....	06
<b>Figure III:</b> Structure et numérotation des atomes de carbones du phénylpropane (1) et des lignanes (2) (liaison $\beta$ - $\beta'$ ou 8,8'). ....	07
<b>Figure IV:</b> Structure chimiques des principaux lignanes présents dans les graines et l'huile de sésame. ....	08
<b>Figure V:</b> Le palmier (a) et les noix de palme (b). ....	11
<b>Figure VI:</b> Composition panoramique de l'huile de palme brute. ....	15
<b>Figure VII:</b> Principales utilisations de l'huile de palme. ....	16
<b>Figure VIII:</b> Abstractions possibles de l'hydrogène des liaisons C-H allyliques des acides gras insaturés. ....	20
<b>Figure IX:</b> Chromatographie en phase gazeuse. ....	28
<b>Figure X:</b> Testeur OptiFry. ....	30
<b>Figure XI:</b> Rancimat ....	31
<b>Figure XII:</b> Évolution des composés polaires en fonction du nombre de friture. ....	34
<b>Figure XIII:</b> Le temps d'induction de différents types d'huiles testées. ....	35
<b>Figure XIV:</b> évolution de la teneur en acides gras des huiles au cours des fritures répétées. ....	39
<b>Figure XV:</b> Les attributs du goût pour des frites préparées. ....	42
<b>Figure XVI:</b> Les attributs de l'odeur pour les frites préparées. ....	42
<b>Figure XVII:</b> Les attributs de la texture pour les frites préparées. ....	43
<b>Figure XVIII:</b> Les attributs de la couleur pour les frites préparées. ....	44
<b>Figure XIX:</b> Les attributs de la saveur pour les frites préparées. ....	45

**Liste des tableaux**

**Tableau I:** Caractéristiques physico-chimiques de l'huile de graine de sésame). ..... 03

**Tableau II:** Teneur en lignanes (mg/100g huile) dans les différentes graine de sésame..... 08

**Tableau III:** Profil en acides gras de l'huile de palme..... 12

**Tableau IV:** Types d'altérations, agent causal et types de produits formés lors du chauffage  
des corps gras. .... 19

**Tableau V:** Rapport quantité frites sur l'huile utilisée dans la friteuse..... 29

**Tableau VI:** Les caractéristiques initiales de huile palme et de sésame. .... 32

**Tableau VII:** La composition en acide gras des mélanges d'huiles étudiées. .... 33

**Tableau VIII:** Les compositions en acides gras des huiles lors de la friture de pommes de  
terre. .... 38

**Tableau IX:** Les observations notées lors de la friture ..... 41

# Introduction

### Introduction

Les huiles végétales sont utilisées pour la cuisson de plusieurs aliments en raison de leurs effets bénéfiques pour la santé. Bien que l'exposition de ces dernières à l'oxygène, à la chaleur et à la lumière engendre leur détérioration et réduit leur valeur nutritive (**Naz et al., 2005**).

Cependant, l'utilisation des huiles de friture à plusieurs reprises produit des composants indésirables qui provoquent des risques pour la santé. Ces composants sont dus à une série de réaction complexe aboutissant à l'oxydation, l'hydrolyse et la polymérisation de l'huile (**Warner, 2003**) ; Ainsi que la présence de l'aliment dans le processus de friture peut accélérer ces réactions en conduisant à la diminution de la qualité organoleptique de l'huile et des aliments frits (**Gertz, 2000 ; Innawong, 2004 ; Aladedunye et Przybylski, 2009 ; Hassanien et Sharob, 2014**).

Le mélange de différentes huiles est une méthode importante et simple pour obtenir une huile avec les propriétés oxydatives souhaitées. La combinaison d'huiles végétales améliore les propriétés nutritionnelles et physiques ainsi que les propriétés chimiques telles que la stabilité oxydative (**Hashempour-Baltork et al., 2016**).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet d'incorporation de l'huile de sésame dans l'huile de palme sur la stabilité oxydative durant les fritures répétées.

Pour ce faire nous avons structuré notre travail en deux parties, initié par une synthèse bibliographique mettant l'accent sur les huiles végétales (huile de sésame et huile de palme), les fritures et l'oxydation des lipides.

La seconde partie concerne le travail pratique, les méthodes d'analyses, les paramètres physico-chimiques et les indicateurs de qualité et de suivi pour l'élaboration d'une huile combinée. Dans notre étude, nous avons d'abord caractérisé ces huiles à l'état frais; Ensuite, des essais de fritures, aux nombres de dix ont été réalisés. Des échantillons ont été prélevés au 1<sup>er</sup>, 5<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> cycle de fritures; Ensuite, des analyses physicochimiques et sensorielles ont été effectuées, les résultats obtenus avec leur interprétation ont été envisagés pour déceler une éventuelle altération de goût, d'odeur et la couleur des huiles des bains de fritures et des frites préparées.

# Partie bibliographique

# Chapitre I



## I. Sésame

### I.1. Généralité sur la plante

Le sésame (*sesamum indicum L*) est une plante annuelle aromatique, la plus anciennement connue et utilisée par l'homme. Il est cultivé principalement dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du sud.

Cette plante est frileuse, ne résiste pas aux gelées et elle a besoin de longs étés chaud lui permettant d'aller au bout de son cycle, c'est-à-dire la formation de graines dont le cycle varie de 80 à 180 jours (Rebbas *et al.*, 2020).



Figure I: Présentation de la plante de sésame (Tir, 2013)

## I.2. Graine de sésame

La graine est appelée la « reine des oléagineux », elle occupe la 9<sup>ème</sup> place parmi les 13 principales cultures oléagineuses qui représentent 90% de la production mondiale de l'huile comestible (Bamigboye *et al.*, 2010 ; Gadade *et al.*, 2017).

Les graines de sésame sont de petite taille (3-4 mm de long et 1,5-2 mm de large), plates, ovales, lisses ou réticulées. Selon Gandhi et Srivastava (2007) ; Mohammed et Hamza (2008), ces graines ont des couleurs variables allant du blanc, brun clair au brun.

Le sésame est une plante oléagineuse alimentaire intéressante du point de vue nutritionnel, constitué d'acide gras (45 à 55%), de protéines (19 à 25%), de minéraux (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Se) de vitamines (B et E) et d'antioxydants (Borchani *et al.*, 2010 ; Nzikou *et al.*, 2010 ; Yogranjan *et al.*, 2014 ; Demeet *et al.*, 2017 ; Rizki *et al.*, 2017 ; Sene *et al.*, 2017).

## I.3. Huile de sésame

### I.3.1. Composition chimique

Les graines de sésame sont les plus riches en huile comparativement aux principaux oléagineux, comme les graines de soja, colza et du tournesol et sa teneur oscille entre 44% à 58% (Elhanafi *et al.*, 2020). Parmi les facteurs qui influent sur cette teneur, figurent la variété de la graine (Kamal-Eldin, 1994 ; Baydar *et al.*, 1999). Selon ces auteurs, la teneur en huile varie entre 28% à 55% dont les variétés spontanées contiennent moins d'huile (environ 30%) que les espèces cultivées.

L'huile de sésame est un système chimique complexe et sa qualité est définie par quelques paramètres physico-chimiques à savoir: l'acidité, l'indice de peroxyde...etc (Tableau I). L'huile de sésame est constituée deux grands groupes à savoir les substances saponifiables (186 -195 mg KOH/g huile et les substances insaponifiables (1-1,5%).

**Tableau I:** Caractéristiques physico-chimiques de l'huile de graine de sésame (Codex alimentarius, 2011)

Propriétés physicochimiques	Valeurs
Indice de Peroxyde mEq/kg	10
Acidité (%)	1,5 – 4
Densité relative (20°C/eau à 20°C)	0,915 - 0,924
Indice de réfraction (40°C)	1,465 – 1,469
Indice de saponification (mg KOH/g huile)	186 – 195
Indice d'iode	104 – 120
Matière insaponifiable (g/kg)	≤ 20

Les graines de sésame renferment 50 à 55% d'huile, 20% de protéines, 14 à 20% de glucides et 2 à 3% de fibres (Nosheen *et al.*, 2019). On y trouve également des lignanes, comme la sésamine, la sésamoline, le sésamol, et le sésaminol qui présentent tous une activité antioxydante. Une corrélation positive a été observée entre la teneur en huile des graines de sésame et la teneur en sésamine dans l'huile. En matière de triglycérides (ingrédient majoritaire présents dans l'huile), les acides gras constitutifs les mieux représentés sont l'acide oléique (43%), linoléique (39%), l'acide palmitique (11%), stéarique (6%) et arachidique (1%) étant en proportion bien moindre (Sengupta *et al.*, 1976).

### **I.3.2. Composition en acide gras**

L'acide oléique est le composant principal des acides gras représentant (43,51 à 49,05% ) des acides gras totaux, suivi de l'acide linoléique (36,10 à 39,80%), l'acide palmitique (7,83 à 9,46%), l'acide stéarique (5,40 à 6,09%) et l'acide arachidonique (0,31 à 0,57%) (Ozkan *et al.*, 2012).

La composition en acide gras varie avec les espèces de sésame. Celles avec des teneurs élevées en acide oléique et linoléique sont souvent choisies pour la culture. Les huiles de graines de sésame spontanées, par conséquent, sont plus riches en acides gras saturés comparées aux huiles des graines cultivées (Kamal-Eldin, 1994).

La composition en acide gras des différentes classes de lipides dans l'huile de sésame montre également des variations. Le lipide majeur des graines de sésame est le triacylglycérol, qui est présent à près de 90% dans l'huile. Il a un plus faible pourcentage en acide gras saturés et un pourcentage plus élevé en acides gras insaturés par rapport aux autres classes de lipides tels que diacylglycérols, acides gras libres, lipides polaires et esters de stérol (Kamal-Eldin, 1994).

### **I.3.3. Composition en insaponifiable**

Selon Itoh (1973), la teneur en insaponifiable varie entre 1 à 1,5%. La fraction insaponifiable contient une classe de composés spécifiques au sésame à savoir la sésamine (moyenne de 360mg/ 100g de CG) et la sésamoline (moyenne de 270mg/ 100g de CG) qui conduisent à la formation de sésamol et de sésaminol au cours du raffinage ou de l'hydrogénation (Tashiro, 1990); Le sésamol disparaît sensiblement au cours de désodorisation alors que le sésaminol moins affecté par cette étape du raffinage. Sésamol et sésaminol sont des antioxygènes puissants (Terrones, 1990).

#### **I.3.3.1. Stérols**

Les phytostérols ou stérols végétaux sont les composants essentiels des membranes, jouant un rôle important dans le contrôle de la fluidité et la perméabilité des membranes aussi bien que

dans la transduction de signal. Leur rôle dans des cellules végétales est semblable à celui du cholestérol dans des cellules des mammifères (**Piironen et al., 2000**). Chimiquement, ce sont des alcools stéroïdes constitués d'un assemblage tétracyclique cyclopentaphénanthrénique (A, B, C, D) comprenant un groupement hydroxyle en position 3 du cycle A et une chaîne latérale (**Benveniste, 1986**).

Les stérols sont présents dans les huiles végétales sous leurs formes libres ou d'esters: les stérols glucosides, ou stérols glucosides estérifiés. Les stérols libres et esters sont souvent les formes dominantes. Dans l'huile de sésame, les stérols diméthyles sont les plus importants, ils représentent jusqu'à 85-89% des stérols totaux, suivis par les mono-méthyles (9-11%) et diméthyles (2-4%) (**Kamal-Eldin, 1994**).

Selon le **Codex Alimentarius**, l'huile de sésame peut contenir des teneurs supérieures à 1,9% de stérols totaux, c'est l'une des sources les plus riches en phytostérols.

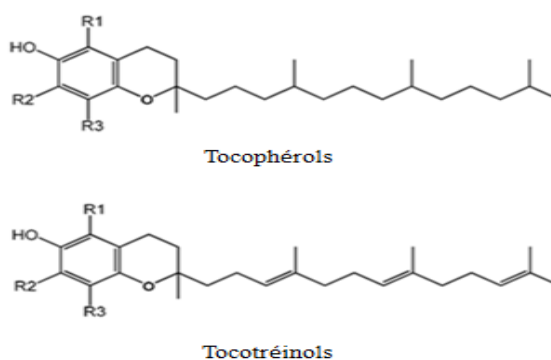
### **I.3.3.2. Tocophérols**

Les tocophérols désignent un ensemble de molécules composées d'un noyau 2-méthyl-6-chromanol et d'une chaîne phytyle entièrement saturée (**Verleyen et al., 2002**).

L'huile de sésame est bien connue pour sa stabilité à l'oxydation, l'une des raisons pour cette stabilité est attribuée à sa teneur en tocophérol qui varie de 330 mg/kg à 1010 mg/kg selon le **Codex Alimentarius**.

La vitamine E est une vitamine liposoluble recouvrant un terme générique pour tous les tocophérols et tocotriénols (figure II) desquels existent 8 dérivatifs et dont l' $\alpha$ -tocophérols le plus abondant.

Des études cliques ont démontré qu'en ajoutant du sésame à l'alimentation quotidienne sous forme de graines, d'huile ou en poudre, la concentration sanguine de gamma-tocophérol augmente. Des études épidémiologiques laissent entendre qu'en plus de posséder des propriétés antioxydants, le gamma-tocophérol pourrait jouer un rôle dans la prévention du cancer et des maladies cardiovasculaires (**Shils et al., 2006**).



**Figure II:** Structure des tocophérols et tocotrénols (**Bartosínska *et al.*, 2016**)

Plusieurs études ont rapporté que des tocophérols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ ) et tocotriénols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) ont été identifiés dans les graines de sésame et la teneur varie avec l'origine génétique et les conditions de culture (**Jiang *et al.*, 2001** ; **Hemalatha *et al.*, 2004** ; **William *et al.*, 2008**). Selon ces auteurs, le  $\gamma$ -tocophérol est la forme la plus abondante dans les graines de sésame (381  $\mu\text{g/g}$ ) et elle est la plus importante pour la santé humaine car il semble être un piège plus efficace pour les électrophiles lipophiles, par rapport au  $\alpha$ -tocophérol qui est la forme prédominante de la vitamine E dans les tissus et c'est la principale forme de suppléments.

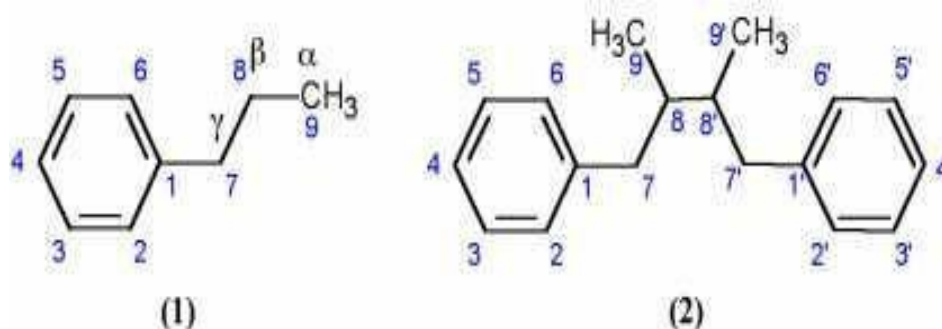
**Jiang *et al* (2000)** ont également montré que le  $\gamma$ -tocophérol et son principal métabolite, le 2, 7,8-triméthyl-2-(b-carboxyéthyl)-6-hydroxychromane, possèdent une activité anti-inflammatoire importante comparativement à l' $\alpha$ -tocophérol.

Des études intérieures effectuées sur l'huile de sésame ont montré que le  $\gamma$ -tocophérol est le tocophérol prédominant (7 $\mu\text{g/g}$ ) de l'huile de sésame, tandis que le  $\delta$ -tocophérol représente moins de 5% des tocophérols totaux. L' $\alpha$ -tocophérol est présent dans l'huile de sésame sous forme de traces seulement (**Moreau et Lampi, 2012**).

### I.3.3.3. Lignanes

Les lignanes sont un groupe de composés naturels qui sont définis comme un produit de couplage oxydatif du  $\beta$ -hydroxyphenylpropane et largement distribués en tant que composés mineurs dans le végétal.

Les lignanes ont été définis en **2013** par **Dar et Arumugam** sous forme de dimères phénylpropanoïdes ou deux unités de phénylpropane (C6 C3), sont liées par leur carbone 8 (liaison  $\beta$ - $\beta'$ ) tel que représente la figure III (**Sainvitu *et al.*, 2012**).



**Figure III:** Structure et numérotation des atomes de carbones du phénylpropane (1) et des lignanes (2) (liaison β-β' ou 8,8') (*Sainvitu et al., 2012*)

Les graines de sésame contiennent une diversité de lignanes furofuraniques, lesquels peuvent être divisés en deux types :

#### I.3.3.3.1. Lignanes solubles dans l'huile

Bien que l'huile de sésame contient près de 85% d'acides gras insaturés, elle est connue pour être très résistante au rancissement oxydatif et peut être conservée pendant de longues durées (*Abou-Gharbia et al., 2000, Yen et Shyu, 2000*). Cette stabilité spécifique n'est pas seulement attribuée à la présence de tocophérols, mais elle est aussi associée aux lignanes (*Gustone, 2011*). Dans la graine de sésame, la sésamine et la sésamoline sont les deux principaux lignanes. La sésamine a été identifiée dans d'autres plantes, alors que la sésamoline est caractéristique du sésame et n'a pas été trouvée dans d'autres plantes que le *Sesamum*. L'étude réalisée par *John Wiley et Sons (2005)* sur la teneur en lignanes dans 14 variétés de graine de sésame commercialisées et cultivées au Japon a montré que la sésamine est toujours plus élevée que la sésamoline et que le rapport moyen de sésamoline/sésamine dans les variétés noires (0,6-1,0) est plus grand que dans les variétés blanches (0,2-0,5). D'autres types de lignanes tels que le sésamol, sésamolinol, et sésaminol sont présents en quantité mineure, comme indiqué dans le tableau II.

Tableau II: Teneur en lignanes (mg/100g huile) dans les différentes graine de sésame (John Wiley et Sons, 2005)

Couleur du tégument	Sésamine	Sésamoline	Sésamine	Sésamol	Sésamolinol	Sésaminol
Blanche	821,3	441,2	0,537	2,0	1,0	1,4
Blanche	410,6	441,2	0,537	2,5	1,0	1,0
Blanche	522,7	123,5	0,236	2,5	0,9	0,3
Blanche	885,2	476,5	0,538	ND	1,0	ND
Blanche	464,0	229,9	0,494	5,0	1,1	1,0
Jaune	453,3	247,0	0,545	Trace	0,3	Trace
Violet	464,0	317,6	0,684	2,5	1,5	1,1
Marron	528,0	264,6	0,501	Trace	0,7	Trace
Marron	682,7	458,8	0,672	4,0	1,2	1,0
Noire	502,5	441,2	0,878	3,6	1,2	1,1
Noire	314,3	235,3	0,749	10,8	1,9	1,1
Noire	362,7	229,4	0,632	2,5	0,8	0,5
Noire	154,7	152,9	0,988	4,9	0,9	0,9
Noire	293,3	294,0	1,002	6,5	1,1	1,2

ND : non détecté.

Les principaux lignanes solubles dans l'huile du sésame sont le sésamol, le sésamolinol, le pinorésinol, la sésamine et la sésamoline (Pathak *et al.*, 2014).

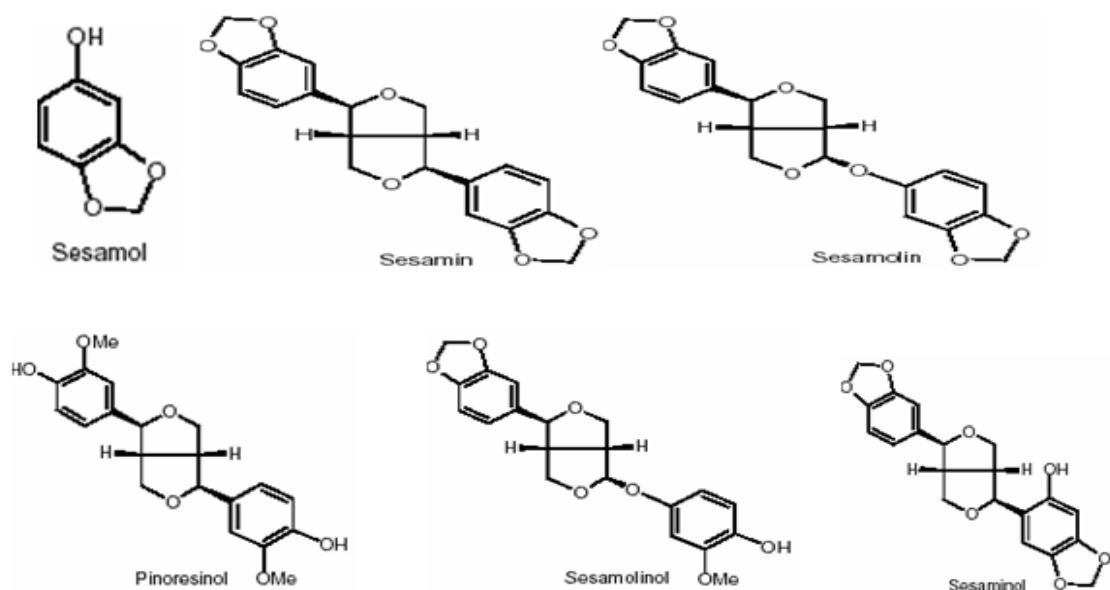


Figure IV: Structure chimiques des principaux lignanes présents dans les graines et l'huile de sésame (Tir, 2005)

**I.3.3.3.2. Lignanes glucosylés**

Les graines de sésame contiennent de grandes quantités de glucosides de lignanes. Ce sont les formes glucosylées de lignanes. Bien que la plupart des lignanes se trouvent dans l'huile de graines de sésame, les lignanes glucosylées sont présents dans la farine de sésame et sont hydrosolubles.

Les glucosides de lignanes isolés à partir de graines de sésame sont principalement des glucosides pinorésinol glucosides sésaminol avec les mono, di et triglucosides dont deux isomères de diglucoside et di-glucoside sésamolinal.

Les principaux lignanes glycosylés sont le sésaminol triglucoside, le pinorésinol triglucoside, les sésaminol monoglucoside, le pinorésinol monoglucoside, les deux isomères du pinorésinol diglucoside et du sésaminol diglucoside (**Katsuzaki et al., 1992 ; Katsuzaki et al., 1994 ; Moazzami et al., 2006 ; Pathak et al., 2014**).

**I.4. Profil nutritionnel et médical de sésame**

Le sésame (*Sesamum indicum L*) est un aliment longtemps utilisé pour son apport énergétique et ses bienfaits pour la santé à travers la prévention de diverses maladies. Cette caractéristique est liée à la présence de sésamine, le lignane plus abondant dans l'huile des graines de sésame (*Sesamum indicum L*). Ce dernier exerce diverses fonctions biologiques (anti-inflammatoire, anti-oxydante, anti-cancer...) (**Nakai et al., 2003**).

**I.5. Utilisations de sésame****I.5.1. Utilisations des graines**

La graine de *sesamum indicum* a une grande valeur alimentaire. Elle est consommée telle qu'elle ou sous forme de farine "tahina" riche en méthionine et en tryptophane et elle rentre dans la préparation de diverses pâtisseries orientales (**Honjoya et al., 2021**).

Les graines de sésame sont souvent utilisées entières dans la cuisine pour leur goût prononcé de noisette, incorporées dans une grande gamme de pains salés et sucrés, de farines, de biscuits et de collations, ou simplement saupoudrées sur les petits pains pour hamburger.

Une partie de la production de sésame (environ 20%) est réservée à la consommation des graines qui sont consommées grillées ou pour la confection des plats traditionnels "purée de sésame" (**Caty, 1996**).

**I.5.2. Utilisations de l'huile**

L'huile de sésame peut être présente en tant qu'excipient car elle semble être la moins immunisante et irritante comparativement à d'autres huiles. Elle peut se trouver dans des produits sous forme injectable le plus souvent, en particulier les neuroleptiques, mais aussi sous forme orale et topique (**Honjoya et al., 2021**).



En dehors de l'alimentation humaine, l'huile de sésame est utilisée dans les industries pour la fabrication de divers produits (savon, peinture, insecticide, ...) (**Rasolofomanana, 2016**).

L'utilisation de sésame dans la cosmétologie grâce à la présence de nombreuses substances ayant une influence sur la peau et les cheveux telle que la sésamine, la sésamoline et les vitamines qui ont des propriétés anti-oxydantes, régénératrices et hydratantes. Les phytostérols ont une activité assainissant et contribuent à réguler le sébum. D'autre part, l'huile de sésame entre dans la composition de préparations pour application cutanée ou capillaire (**Honjoya et al., 2021**).

Un récent progrès clinique a prouvé que l'huile du sésame est considérablement efficace pour traiter la sécheresse de la mucoité nasale due à un climat hivernal sec. De plus, l'huile de sésame contient de fortes teneurs en linoléate lié aux triglycérides qui inhibe sélectivement le développement des mélanomes (**Tir, 2005**).

L'huile de sésame est stable grâce à la présence d'antioxygènes naturels spécifiques (sésamol et sésamoline), elle est utilisée pour la friture et l'assaisonnement et également sous forme hydrogénée dans les margarines et shortenings (**Terrones, 1990 ; Caty, 1996**).

### **I.5.3. Utilisations de tourteau**

Le tourteau de sésame est un concentré de grande valeur nutritive et énergétique pour l'alimentation du bétail et de la volaille. Il contient une teneur élevée en huile résiduelle et particulièrement riche en acides aminés et apporte dans la ration des animaux une amélioration du rapport Ca/P. Les tourteaux de sésame est un sous-produit riche en protéines obtenu après extraction de l'huile, peut être de qualité alimentaire s'il est issu de graines de sésame décortiquées, ou utilisé comme aliment pour le bétail, en particulier les ruminants et la volaille s'il est obtenu à partir de graines de sésame non décortiquées (**Terrones, 1990**).

### **I.5.4. Utilisations des autres parties de la plante**

En Afrique Subsaharienne, les jeunes feuilles de la plante sont employées comme légumes pour la soupe. En Afrique orientale et australe, les feuilles jouent également un rôle dans le traitement des morsures de serpents et de la malaria. Le mucilage ou le jus des feuilles permet de soigner la fièvre, la toux, les douleurs ophtalmiques et il est administré pour traiter la dysenterie et la gonorrhée, de même il est utilisé dans les pansements après la circoncision. La cendre de la tige remplace le sel et constitue une source appréciable de sels minéraux. Le sésame est utilisé aussi pour préparer des parfums et l'eau de Cologne (**Terrones, 1990**).

## II. Palme

### II.1. Palmier à huile

Le palmier à huile *Elaeis guineensis jacq* (Aréacées) est une monocotylédone largement cultivé pour ses fruits et ses graines riches en huile à usage alimentaire et industriel. Il est originaire d’Afrique de l’Ouest, son habitat naturel se trouve dans les forêts d’eau douce (Mensah, 1999).

Le fruit du palmier à huile est fait de trois parties: la pulpe ou mésocarpe, le noyau et l’amande. La pulpe ou mésocarpe, de couleur jaune-orangé est à la base de l’huile de palme, elle contient un noyau très dur ou coque. A l’intérieur du noyau se trouve la graine ou amande (Jacquemard, 1995).

Le palmier à huile produit deux types d’huile bien différenciée: l’huile de palme brute obtenue à partir du mésocarpe fibreux (pulpe) et l’huile de palmiste brute obtenue à partir de l’amande (le palmiste) du noyau. 90% de la production d’huile de palme est destinée à la consommation alimentaire humaine, soit comme huile de friture et de cuisson, soit comme ingrédient dans une large gamme de produits alimentaires. Les 10% restants sont consommés par divers secteurs économiques (O’Keefe, 2000).

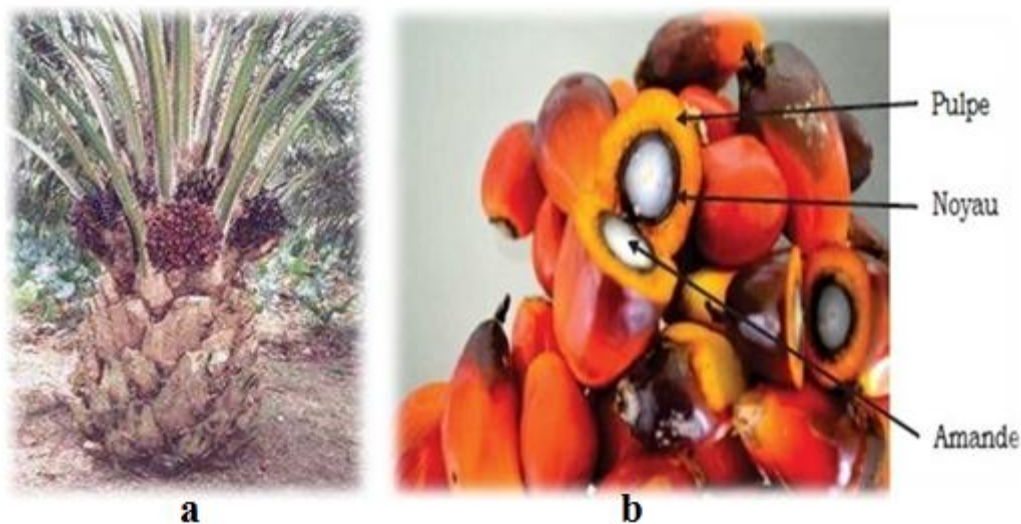


Figure V: Le palmier (a) et les noix de palme (b) (Djohan, 2017)

### II.2. Huile de palme

L’huile de palme est une huile végétale extraite par pression à chaud de la pulpe des fruits de palmier à huile *Elaeis guineensis* (Mukherjee et Mitra, 2009). Elle est de couleur rouge orangé à cause de la présence des caroténoïdes (Lecerf, 2011), puis devient translucide après raffinage dans l’industrie agroalimentaire. Elle ne doit pas être confondue avec l’huile de

palmiste. L'huile de palme est le plus souvent vendue et consommée raffinée **Terrones, (1990)**.

### II.3. Composition chimique de l'huile de palme

L'huile de palme brute est composée d'une grande variété de constituants, on y retrouve les composés majoritaires tels que les triglycérides (95-99%). Il existe dans l'huile de palme une faible part d'acides gras dits essentiels avec moins de 0,5% d'acide  $\alpha$ -linoléique et de 9 à 12% d'acide linoléique (**Lecerf, 2011**). En plus des constituants majeurs glycéridiques, l'huile de palme brute contient des composés dits mineurs: la vitamine E (tocophérols et tocotriénols), les caroténoïdes, les phytostérols, le squalène, les composés phénoliques, etc. (**Sambanthamurthi et al., 2000 ; Tan et al., 2001 ; Morin et Pages-Xatart-Pares, 2012**).

#### II.3.1. Constituants majeurs de l'huile de palme

Généralement sont les acides gras, l'huile de palme est constituée d'environ 50% d'acides gras saturés (AGS) et 50% d'acides gras insaturés (AGI). Sa richesse en acides gras saturés la rend semi-solide à température ambiante, son point de fusion se situe entre 35-42°C (**Sambanthamurthi et al., 2000**). Le tableau III représente le profil en acides gras de l'huile de palme.

**Tableau III:** Profil en acides gras de l'huile de palme (**FAS, 2006**)

Acides gras		Pourcentage (%)
Saturés	Acide myristique	0,5 - 2
	Acide palmitique	39,5 - 74,5
	Acide stéarique	3,5 - 6
Mono insaturés	Acide oléique	36 - 44
Polyinsaturés	Acide linoléique	10
	Acide $\alpha$ -linoléique	< 0,5

#### II.3.2. Constituants mineurs de l'huile de palme

Lors de l'extraction de l'huile à partir du mésocarpe, les triglycérides hydrophobes attirent d'autres composants cellulaires solubles dans l'huile, il s'agit des constituants dits mineurs. Ces derniers sont représentés par les phosphatides, les stérols, les pigments, la vitamine E (les tocots), les traces de métaux, des mono glycérides, des diglycérides et des acides gras libres (**Cottrell, 1991 ; Sambanthamurthi et al., 2000**).

**II.3.2.1. Pigments**

Il existe deux classes de pigments naturels dans l'huile de palme brute: les caroténoïdes et les chlorophylles. Ces pigments interviennent dans les mécanismes d'auto-oxydation, de photo-oxydation et d'antioxydation à l'intérieur de la plante (**Tan et al., 1981**).

Les caroténoïdes sont les précurseurs de la vitamine A, avec une forte activité provitaminique A pour les  $\beta$ -carotènes. Les caroténoïdes sont les plus souvent à l'état *trans* et sont divisés en deux principales classes. Il s'agit des carotènes, strictement constitués d'hydrocarbures de polyène et des xanthophylles qui contiennent l'oxygène. Le plus simple des carotènes est le lycopène.

Les caroténoïdes majeurs de l'huile de palme sont les  $\alpha$  et  $\beta$  carotènes, qui représente près de 90% des caroténoïdes totaux (**Yap et al., 1991 ; Mondé et al., 2009**).

L'huile de palme rouge est la source végétale naturelle la plus riche en carotènes (caroténoïdes). Cela signifie que l'huile de palme rouge contient 10 à 15 fois plus de carotènes que les carottes et 50 fois plus que les tomates.

Il existe au moins 600 caroténoïdes et l'huile de palme rouge comprend un vaste éventail d'entre eux, dont les principaux sont le lycopène, la lutéine, la zéaxanthine, la cryptoxanthine, les alpha- et les betacarotènes. Ils sont très importants pour les yeux, les alphacarotènes sont importants pour le système immunitaire, le lycopène a une action protectrice contre le cancer de la prostate. Les carotènes confèrent de nombreux avantages à l'huile de palme rouge au niveau de la santé. Ils contribuent à la protection contre le cancer, la protection des muqueuses des voies respiratoires et la protection contre les maladies cardio-vasculaires (**Yap et al., 1997 ; Mondé et al., 2009**).

Les chlorophylles font partie d'un groupe de pigments tétra pyrroliques avec des fonctions et des éléments structuraux communs. Elles sont caractérisées par un iso-cycle à cinq membres et par la présence d'un atome de magnésium complexé à leur centre, les plus répandues et également les plus étudiées les chlorophylles  $\alpha$  et  $\beta$  (**Fooly, 2000**).

**II.3.2.2. Vitamine E**

La vitamine E est une vitamine liposoluble qui se compose de deux familles :

**II.3.2.2.1. Tocophérols**

Sont structurellement caractérisés par une chaîne latérale saturée. Elles se trouvent en (18-22%) dans la vitamine E.

**II.3.2.2.2. Tocotriénols**

Possèdent une chaîne latérale insaturée, elles sont rares dans les huiles végétales à l'exception de palme, d'orges et du son du riz. Les principaux tocotriénols présents dans l'huile de palme sont:  $\alpha$ -tocotriénol (22%),  $\gamma$ -tocotriénol (46%) et  $\Delta$ -tocotriénol (12%).

Les tocophérols et tocotriénols sont constitués de quatre différentes formes naturelles différentes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ ) qui ont des degrés variables d'activité antioxydante et vitaminique E (**Sambanthamurthi et al., 2000**).

La teneur en vitamine E de l'huile de palme brute varie entre 500 à 800 mg/ kg (**Tan et Oh, 1981 ; Mondé et al., 2009**).

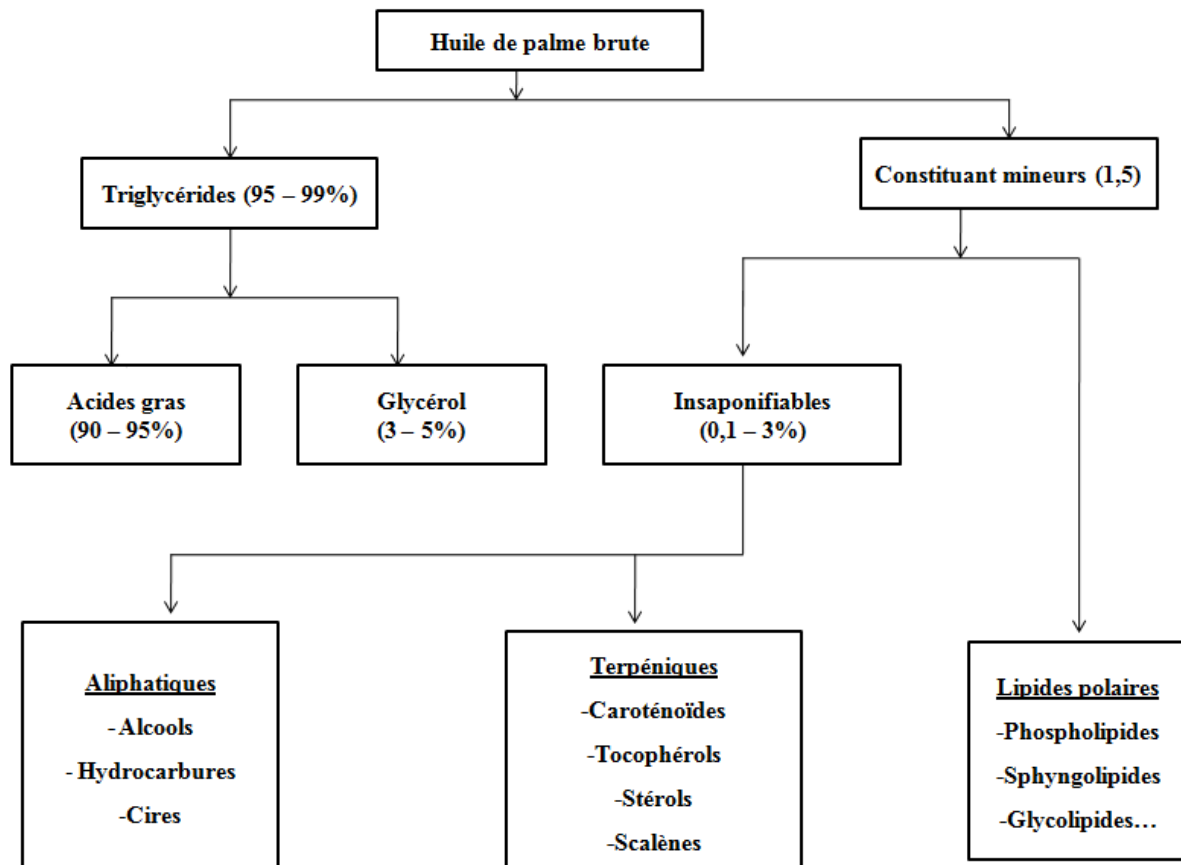
La vitamine E est un antioxydant permettant à l'organisme de lutter contre le stress oxydatif, en particulier la peroxydation lipidique. Elle est apportée à l'organisme uniquement par l'alimentation, soit sous forme libre (vitamine E naturelle contenue dans les végétaux) soit sous forme estérifiée (vitamine E de synthèse). Elle est absorbée avec les graisses grâce aux sels biliaires et à la lipase pancréatique (**Borel et al., 2001 ; Jean-françois, 2011**).

**II.3.2.2.3. Stérols et les terpènes**

Les stérols constituent une fraction non négligeable (326-627mg/kg) de la partie insaponifiable de l'huile et leur taux dans l'huile de palme est de l'ordre de 0,03% de la composition totale (**Sambanthamurthi et al., 2000**).

Les terpènes de l'huile de palme sont essentiellement des alcools triterpéniques qui représentent 0,02% des insaponifiables (**Sambanthamurthi et al., 2000**).

La composition chimique de l'huile de palme brute est illustrée par la figure VI.



**Figure VI:** Composition panoramique de l'huile de palme brute (Morin et Pares-Xatart, 2012)

#### II.4. Utilisation de l'huile de palme

L'huile de palme peut se substituer à la plupart des autres huiles végétales et possède de très nombreuses utilisations dans le monde (figure VII):

- 80% pour l'agroalimentaire: huile de friture, margarines, matières grasses pour la boulangerie, pâtisserie et tout type préparation alimentaire.
- 10 à 15% pour l'industrie pharmaco-chimique et cosmétique: savonnerie, médicament, dentifrice...
- < 10% pour l'agro-carburant, le biodiesel (Lecerf, 2013).

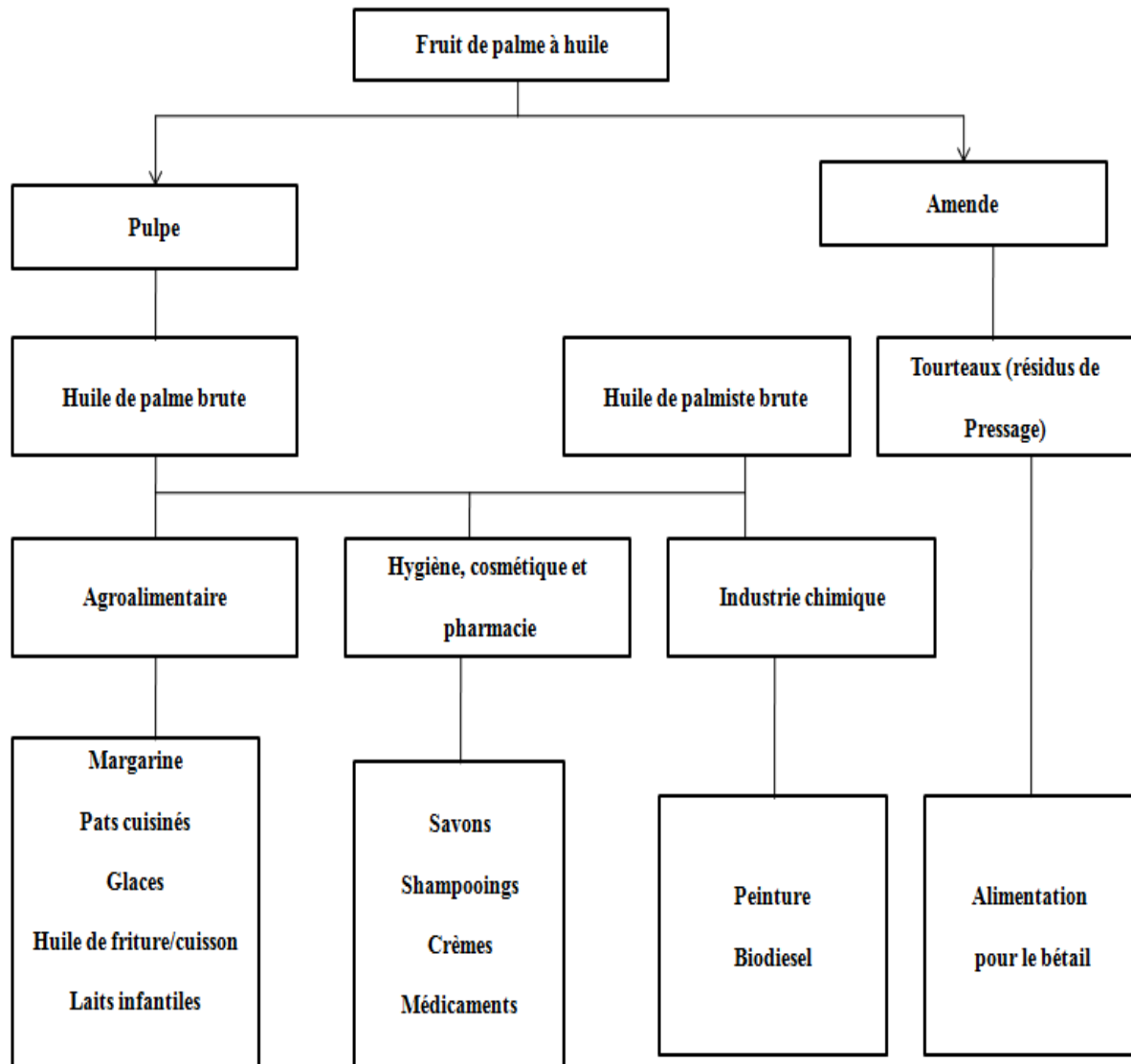


Figure VII: Principales utilisations de l'huile de palme

# Chapitre II



**I. Friture****I.1. Définition**

La friture est considérée comme étant le procédé le plus ancien et le plus couramment utilisé dans la préparation des aliments (**Sánchez-Gimeno et al., 2008**). C'est l'opération qui permet en une seule et même étape, de déshydrater, cuire, texturer, formuler des aliments, imprégner et développer des saveurs (**Rojas, 2007**).

Le procédé de friture profonde défini comme un processus dans lequel un aliment est cuit par immersion dans une huile ou une graisse comestible chauffée. Le processus est traditionnellement réalisé dans des conditions atmosphériques et des températures de friture proches de 180°C (**Dobraszczyk et al., 2005**).

Selon **Duran et al (2007)**, frire dans l'huile à une température comprise entre 160 et 180°C entraîne des vitesses de séchage très élevées. Cela provoque un transfert intense qui induit un fort départ d'eau. Il se crée en surface une zone déshydratée qui va progresser vers le cœur du produit installant, pour une frite, un différentiel de structure intéressant au plan organoleptique (**Trystram, 2010**).

Selon **Vitrac et al (2003)**, la friture est utilisée principalement 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 qualité sensorielle des aliments par le développement de textures, couleurs et saveurs,
- La stabilisation de matières ou aliment par l'abaissement de la teneur en eau et l'inactivation des micro-organismes.

**I.2. Types de friture**

Il existe deux types de friture différents:

**I.2.1. Friture plate**

La friture plate consiste à mettre en contact une partie de la surface de la matrice alimentaire humide, ou à faible teneur en eau, avec une faible quantité de matière grasse. Elle se réalise dans une poêle et utilise des corps gras variés comme le beurre, la margarine, ou diverses huiles (**Fredot, 2005**).

### I.2.2. Friture profonde

La friture profonde consiste à l'immersion totale de la matrice alimentaire humide, ou à faible teneur en eau, dans un bain de matière grasse pendant un temps variable mais limité. Le corps gras dans ce type de friture peut être utilisé une dizaine de fois alors qu'en friture plate, la poêle est nettoyée après chaque usage (**Fredot, 2012**).

### I.3. Principes de l'opération de friture

La friture est un procédé rapide permet le transfert simultané de chaleur et de matières (de direction opposée) au sein d'un matériau. A partir d'un produit brut, la friture combine en une seule étape, déshydratation et cuisson, avec la gélatinisation de l'amidon, la dénaturation des protéines, l'aromatisation et la coloration via les réactions de Maillard et l'entrée d'huile (**Francis et al., 2012**).

### I.4. Modification aux cours des fritures

Lors de la friture il existe deux types de modifications; Pour l'aliment et l'huile.

- Pour l'aliment les changements observés au cours de friture sont la couleur, la flaveur, gonflement de l'amidon, le brunissement des aliments par la réaction de Maillard et la dénaturation des protéines (**Trache, 2017**).
- Pour l'huile, elle subit un grand nombre de réaction complexe, à des températures élevées, en présence d'eau et d'oxygène, telles que l'oxydation, polymérisation et hydrolyse une diminution des acides gras essentiel et de la vitamine E (**Vierling, 2008**).

### I.5. Produits formés lors de friture

Au cours du chauffage à haute température des huiles et des graisses végétales en présence d'air, les réactions d'oxydation et d'hydrolyse qui ont lieu conduisent à la formation de nouveaux produits complexes et indésirables tels que, la formation d'acrylamide, libération des composés volatils et la formation des composés polaires (**Berdeaux et al., 2012**).

- Formation d'acrylamide dite brunissement non enzymatique, a lieu au cours de la réaction de Maillard (**Mottram et al., 2002**). Cette réaction influe sur plusieurs aspects de la qualité des produits alimentaires tels que, la saveur, la couleur et la formation d'arômes (**Vinci et al., 2012**). A température de friture élevée, un acide aminé, l'asparagine réagit avec les sucres pour produire l'acrylamide (**Quayson et Ayernor, 2007**).

- Des composés de nature volatils et non-volatils apparaissent dans l’huile de friture, lors des opérations de friture répétées à haute température et en présence d’oxygène atmosphérique, les composés volatils se dissipent au cours du processus de friture, tandis que les composés non volatils, restent présents dans l’huile de friture et dans le produit frit (**Debnath et al., 2012**).
- Les composés polaires totaux (CPT) sont considérés comme l’une des méthodes d’évaluation des huiles altérées (**Bhattacharya et al., 2008**). Ces composés polaires constituent la fraction des nouveaux composés indésirables non-volatils accumulés dans l’huile lors des traitements de friture (**Juárez et al., 2011**).

Les types d’altérations, les agents causals et les types de produits formés lors du chauffage des corps gras sont donnés dans le tableau IV.

**Tableau IV:** Types d’altérations, agent causal et types de produits formés lors du chauffage des corps gras (**Dobarganes, 1998**)

Type d’altération	Agent causal	Composés formés
Oxydative	Air (Oxygène)	Produits non volatils <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monomères oxydés</li> <li>• Dimère et oligomères</li> <li>• Polymères oxydés</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produits volatils</li> <li>• Hydrocarbures</li> <li>• Cétones, aldéhydes, alcools, acides...</li> </ul>
Thermique	Température	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monomères cycliques</li> <li>• Dimères apolaires et oligomère</li> <li>• Polymères</li> <li>• Acides gras trans (AGT)</li> </ul>
Hydrolytique	Humidité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acides gras libres (AGL)</li> <li>• Diglycérides</li> <li>• Monoglycérides</li> <li>• Glycérol</li> </ul>

## II. Oxydation des lipides

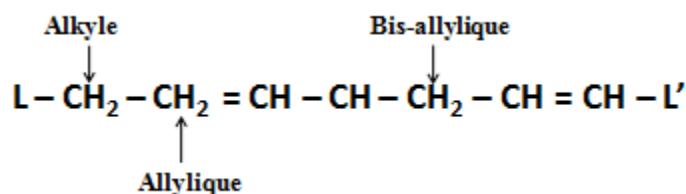
### II.1. Définition

Le rancissement oxydatif des acides gras est un phénomène chimique, spontané, évolutif, irréversible et altératif. Il peut entraîner deux conséquences majeures:

- ✚ La dégradation des qualités nutritionnelles et sensorielles des aliments.
- ✚ Le développement de plusieurs pathologies, telles que désordres intestinaux chroniques, l'artériosclérose, l'athérogenèse, les maladies neurodégénératives et divers types de cancer, si les produits issus de l'oxydation sont consommés pendant longtemps (Jessup *et al.*, 2004 ; Guillén et Goicoechea, 2008).

L'oxydation se caractérise par l'attaque des acides gras insaturés portés par les molécules lipidiques, par l'oxygène atmosphérique (figure VIII). Cette réaction implique:

- ❖ **Un substrat:** les acides gras insaturés avec des hydrogènes en positions allylique et bisallylique, se trouvant généralement estérifiés au sein des triglycérides et des phospholipides.
- ❖ **Un réactif:** l'oxygène atmosphérique.



**Figure VIII:** Abstractions possibles de l'hydrogène des liaisons C-H allyliques des acides gras insaturés (Erickson, 2002)

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'oxydation des lipides (Dridi, 2016). Ils peuvent être classés en:

- ✓ **Facteurs intrinsèque:** composition en acides gras des lipides, présence d'espèces pro-oxydantes (ions métalliques, enzymes) ou d'antioxydants naturels (tocophérols).
- ✓ **Facteurs extrinsèque:** température, lumière, pression partielle en oxygène, présence de pro-oxydants exogènes.

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

## II.2. Etapes principales d'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides, ou rancissement oxydatif des acides gras, est classiquement décomposés en trois étapes principales, initiation, propagation et terminaison, généralement décrites comme étant successives (**Dridi, 2016**). L'oxydation lipidique peut être, selon le milieu et les initiateurs mis en jeu le résultat de plusieurs voies réactionnelles:

- ✚ L'auto-oxydation, initiée par la température, les ions métalliques, ou les radicaux libres correspondants à des lipides déjà oxydés.
- ✚ La Photo-oxydation, initiée par la lumière UV en présence de photo-sensibilisateurs.
- ✚ L'oxydation enzymatique, catalysée par la lipoxygénase et la cyclooxygénase.

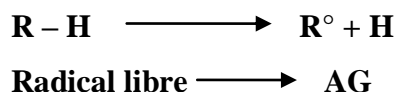
### II.2.1. Auto-oxydation

Les acides gras insaturés réagissent avec l'oxygène pour former des hydro-péroxydes qui génèrent par dégradation des petites molécules: les hydrocarbures, aldéhydes et des cétones.

L'autooxydation est une réaction en chaîne de radicaux libres se déroulant en trois étapes à savoir l'initiation, propagation et terminaison (**Ighil, 2016**).

#### ▪ Initiation

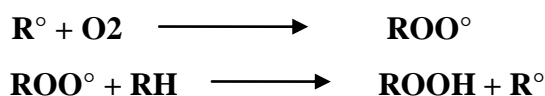
Les réactions d'initiation conduisent à la formation des radicaux libres par la perte d'un proton dans un AG généralement non saturé selon la réaction suivante:



Cette réaction peut être déclenchée par chauffage ou irradiation, mais très souvent par réaction avec un radical libre issu de la décomposition des hydroperoxydes lipidiques, presque toujours présents en quantité très faible. Des traces d'hydroperoxydes peuvent être formées par réaction avec l'oxygène à l'état singlet ou par des lipoxygénases (**Ighil, 2016**).

#### ▪ Propagation

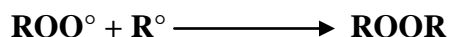
La propagation est une réaction radicalaire en chaîne. Les  $R^\circ$  formés fixent l'oxygène moléculaire et forment des radicaux peroxyde ( $ROO^\circ$ ). Ces derniers peuvent réagir avec une nouvelle molécule d'AG pour former des hydroperoxydes ( $ROOH$ ) et un autre  $R^\circ$ .



La vitesse de la réaction de propagation est lente lorsque la vitesse d'initiation est basse, elle est accélérée avec l'augmentation de la température d'une part et du degré d'insaturation des huiles d'autre part. La réaction en chaîne est inhibée en présence d'antioxydants (**Ighil, 2016**).

### ▪ Terminaison

Selon **Alais et al (2003)**, elle correspond à l'interaction entre deux radicaux libres ce qui donne des composés non radicalaires très divers (aldéhydes, cétones, hydrocarbures...) selon la réaction suivante



Les réactions de terminaison sont lentes lorsque la concentration en  $\text{R}^\circ$  est basse.

### II.2.2. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie de peroxydation lipidique initiée par des substances photosensibilisatrices. Elle correspond à la dégradation oxydative des lipides en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photo-sensibilisateurs. Dans les aliments, les photosensibilisateurs sont des molécules telles que les hémoprotéines, la riboflavine ou d'autres pigments. En présence d'un photo-sensibilisateur, l'énergie lumineuse convertit l'oxygène triplet ( $3\text{O}_2$ ) en oxygène singlet ( $1\text{O}_2$ ), qui peut réagir avec les doubles liaisons insaturées des chaînes grasses. En effet, dans son état fondamental, la molécule d'oxygène sous son état triplet est stable et incapable de réagir avec les acides gras insaturés. Les photosensibilisateurs interviennent dans l'oxydation des lipides selon deux types de mécanisme. Selon le premier mécanisme, les molécules photosensibles réagissent dans leur état excité avec l'oxygène triplet auquel elles transfèrent leur énergie pour donner un oxygène singlet, qui est le très réactif et peut attaquer les acides gras insaturés pour former les hydroperoxydes. Dans un second mécanisme, la molécule photosensible dans son état excité agit comme les radicaux libres initiateurs et arrache un hydrogène de l'acide gras insaturé pour former un radical libre, qui est capable de réagir avec la molécule d'oxygène dans son état fondamental (**Ighil, 2016**).

### II.2.3. Oxydation enzymatique

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

Les lipoxygénases catalysent l'addition directe de l'oxygène, et les mono-hydroperoxyde produits se décomposent de la même manière que les produits de l'auto-oxydation ou la photo-oxydation (**Graille, 2003**).

**II.2.4. Thermo-oxydation**

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 modifications chimiques. Celles-ci résultent de la destruction des liaisons insaturées, de l'addition d'oxygène aux molécules, de la scission des TG en AGL et en AG à courte chaîne (**Grandgirard, 1992**).

**II.3. Facteurs influençant l'oxydation****II.3.1. Teneur en oxygène**

La teneur en oxygène est le facteur prépondérant. 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**).

L'influence de l'oxygène sur la vitesse de l'oxydation peut être décrite qualitativement et quantitativement. D'un point de vue qualitatif, la réaction d'oxydation en présence de l'oxygène singlet  $1O_2$  est beaucoup plus rapide qu'en présence de l'oxygène triplet  $3O_2$  car l'oxygène singulet peut directement réagir avec les lipides alors que l'oxygène triplet réagit avec les radicaux lipidiques. D'un point de vue quantitatif, la quantité d'oxygène dissout dans l'huile est suffisante pour oxyder l'huile à une valeur de l'indice de peroxyde d'environ 10 meq/kg (**Dridi, 2016**).

**II.3.2. Température**

Une élévation de la température favorise l'oxydation des lipides. Cette dernière est d'autant plus rapide que la température est importante: l'abstraction des hydrogènes allyliques et la décomposition des hydroperoxydes en produits secondaires sont 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**).

Une étude de l'oxydation de 10 huiles végétales différentes à des températures entre 110 °C et 140°C montre que l'oxydation lipidique est fortement corrélée à la température. En général, l'augmentation de la température entraîne une augmentation de la vitesse d'oxydation (**Tan et al., 2001**).

**II.3.3. 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 complexes les métaux pro-oxydants (**Frenot et Vierling, 2001**).

Les tocophérols jouent un rôle d'antioxydant biologique, protecteur des acides gras polyinsaturés au niveau des membranes cellulaires et des lipoprotéines. Leur pouvoir

antioxydant est reconnu et contribue à protéger de nombreux produits formulés (additifs E306 à E309) et les huiles végétales qui en contiennent naturellement (**Jean-François, 2011**).

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**).

#### **II.3.4. 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**).

Les métaux qui peuvent catalyser l'oxydation lipidique sont ceux capables de transférer un électron comme le cobalt, le fer, le cuivre, le manganèse, le magnésium et le vanadium. Les métaux qui s'oxydent par le transfert de deux électrons, tels que l'étain  $\text{Sn}^{2+}$ , ne peuvent pas catalyser l'oxydation (**Prior et al., 2005**).

#### **II.3.5. Teneur en acide gras libre**

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. Les acides gras libres sont également connus pour être des espèces pro-oxydantes par leurs facultés à former des complexes avec les métaux. Ces complexes augmentent la solubilité des métaux. De plus, ils sont capables de rompre les hydroperoxydes par catalyse acide (**Cuvelier et Maillard, 2007**).

#### **II.3.6. Lumière**

La lumière est un facteur qui influence l'oxydation des huiles. Elle entraîne une perte importante de qualité de l'huile tant sur le plan sensoriel (rancidité) que nutritionnel (la perte de la vitamine E). Dans les huiles, les pigments végétaux favorisent l'oxydation en présence de la lumière et rends cette huile plus fragile aux UV. Les bêta-carotènes, en revanche, captent l'énergie lumineuse et aident à protéger l'huile de l'oxydation.

#### **II.4. Antioxydants**

Les antioxydants sont des composés capables de retarder ou d'empêcher les processus oxydatifs. Ils peuvent être soit comme des antioxydants primaires; Sont des substances capables d'interrompre la chaîne radicalaire (Butyl Hydroxy anisole, Butyle Hydroxy Toluène, Tocophérols et Flavonoïdes), soit comme des antioxydants préventifs (Acides ascorbique, Acide citrique, Phosphates et Caroténoïdes) (**Graille, 2003**).

Sur le marché mondial, les antioxydants peuvent être classés en deux catégories: les antioxydants naturels et les antioxydants synthétiques.



**II.4.1. Antioxydants naturels**

Selon **Boers (2000)**, la grande majorité des huiles végétales, graisses et produits alimentaires contiennent un certain taux d'antioxydants naturels. Ces derniers incluent les tocophérols (vitamine E), les flavonoïdes, les polyphénols et les produits du brunissement de Maillard. Les tocophérols comprennent quatre congénères (l' $\alpha$ , le  $\beta$ , le  $\gamma$  et le  $\delta$ -tocophérol), la plus part des huiles végétales contiennent un certain pourcentage de tocophérols naturels.

- ✚ Acides phénols; L'acide gallique, un triphénol existe dans les plantes alimentaires sous forme hydrosoluble, il est thermosensible à la haute température, son ester propylique est autorisé comme additif antioxydant synthétique.
- ✚ Les flavonoïdes se présentent sous la forme aglycone de glycosides et de dérivés méthyles; Ce sont les plus actifs parmi les antioxydants végétaux alimentaires. Sa fonction antioxydant comprend aussi le piégeage des anions super oxydes et la réception de l'oxygène à l'état singlet.

**II.4.2. Antioxydants de synthèse**

Les antioxydants de synthèse sont disponibles depuis longtemps, mais leur utilisation est réglementée, tels que le palmitate d'ascorbyl, Butyle Hydroxy Anisole, Butyle Hydroxy Toluène, Gallate de propyl et Ter Hydroxy Quinone (**Ighil, 2016**).

Le palmitate d'ascorbyl (E304) est considéré comme un antioxydant naturel. Il hautement efficace pour la protection des huiles, des graisses de friture et des produits frits grâce à sa stabilité à la chaleur.

Le Butyle Hydroxy Anisole (BHA E320) a une grande stabilité dans les huiles végétales. C'est l'un des principaux additifs utilisés en formulation en raison de sa stabilité et de son pouvoir antioxydant.

Le Butyle Hydroxy Toluène (BHT E321) est très semblable au BHA, il est très soluble dans les huiles bien qu'il ne soit pas aussi soluble que le BHA. Sa stabilité à la chaleur est très faible.

Gallate de propyl (E310) c'est un antioxydant destiné à la fois au huiles et graisses végétales. Il est moins soluble dans les graisses comparé au BHT et le BHA et à la fois plus sensible à la chaleur. Il est largement utilisé dans les mélanges d'antioxydants.

Le Ter Butyle Hydroxy Quinone (TBHQ), la seule raison de son utilisation est sa possession des propriétés antioxydants supérieure aux autres antioxydants synthétiques (**Boers, 2000**).

# Partie expérimentale

# Matériel et méthodes

## **I. Matériel et méthodes**

L'ensemble des expérimentations du présent travail de recherche ont été réalisées au laboratoire de biochimie, faculté SNV de l'université de Bouira et au laboratoire de recherche et développement de l'unité agroalimentaire "Cevital Spa".

### **I.1. Matériel végétal**

Cette étude a été effectuée sur deux huiles végétales à savoir l'huile de palme et de sésame. L'huile de sésame utilisée dans cette étude a été extraite à froid à partir des graines de sésame (*sesamum indicum*) non torréfiés provient du Pakistan. Concernant l'huile de palme, elle a été produite par pression à chaud de la pulpe de fruit de palmier.

### **I.2. Analyses physico-chimiques des huiles étudiées**

Les méthodes utilisées pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques sont celles décrites dans le **Codex alimentarius**.

#### **I.2.1. Détermination de l'acidité**

L'acidité « A » est la teneur de l'huile en acides gras libres résultant de l'hydrolyse des triglycérides et exprimée en pourcentage d'acide oléique.

5g de l'huile ont été dissout dans 30ml du mélange éthanol/éther, puis titré en agitant, avec la solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1N en présence de phénolphthaléine (quelques gouttes) à 1% dans l'éthanol, jusqu'à virage de l'indicateur (coloration rose).

$$\text{Acidité \%} = \frac{N \times V \times 282.5}{m \times 1000} \times 100$$

**V** : nombre de millilitres de solution titrée de KOH éthanolique.

**N** : normalité exacte de la solution titrée de KOH éthanolique.

**m** : prise d'essai en gramme.

#### **I.2.2. Détermination de l'indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde «IP » représente la quantité de peroxyde présente dans l'échantillon exprimée en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras (mEq O<sub>2</sub>/kg), oxydant d'iodure de potassium (KI) avec libération d'iode. L'indice de peroxyde permet d'évaluer l'état de fraîcheur de l'huile.

Le principe consiste à un traitement de 1g d'huile en solution dans l'acide acétique (15ml) et le chloroforme (10ml) par une solution d'iodure de potassium (KI) (1ml), le titrage d'iode libéré se fait par une solution de thiosulfate de sodium à 0,01N en présence d'emplois d'amidon (1g/100ml) comme indicateur coloré.

La formule de l'indice de peroxyde est :

$$IP = (V - V_0) \times T/m \times 1000$$

**V** : volume de thiosulfate de sodium de l'échantillon en ml.

**V<sub>0</sub>** : volume requis pour titrer le blanc en ml.

**m** : poids de la prise d'essai en g

**T** : normalité de thiosulfate de sodium.

### I.2.3. Détermination de profil en acides gras

Le profil en acides gras a été déterminé par la chromatographie en phase gazeuse (CPG) (figure IX) selon les conditions opératoires suivantes :

- Appareil du type Agilent Technologies 6890N Network GC
- Colonne capillaire de type Stabilwax, longueur 30 mètres, diamètre interne de 0,32mm;
- Programmation de la température: 150°C pendant 3 min suivi d'une augmentation de 3°C/min jusqu'à 220°C (26,3min) puis maintenue constante jusqu'à la fin de l'acquisition (35,3min)
- Mode d'injection: mode split, ratio 1/50 à la température de 250°C.
- Détecteur à ionisation de flamme était à 270°C
- Gaz vecteur: l'Hélium.
- Débit de gaz vecteur: 1,5ml/min.
- Volume injecté 1µl.



**Figure IX:** Chromatographie en phase gazeuse (Agilent Technologies 6890N Network GC)

### **I.3. Enrichissement de l'huile de palme par l'huile de sésame**

L'enrichissement de l'huile de palme a été réalisé par l'ajout de trois concentrations de l'huile de sésame à savoir 1%, 2% et 3%. Quatre échantillons ont été préparés: HP (témoin: huile de palme), HP/HS1 (huile de palme enrichie par 1% de l'huile de sésame), HP/HS2 (huile de palme enrichie par 2% de l'huile de sésame) et HP/HS3 (huile de palme enrichie par 3% de l'huile de sésame).

### **I.4. Test de friture**

L'évaluation du degré d'altération de l'huile de palme préalablement enrichie par l'huile de sésame pour ensuite comparer les résultats obtenus avec ceux de l'huile de palme non enrichie.

Les essais de friture ont été réalisés à l'aide d'une friteuse de marque GF (MARBLE).

Le produit utilisé est la pomme de terre en raison de sa composition simple. Elle est la plus utilisée en friture vue qu'elle est dépourvue de graisses. Les pommes de terre sont découpées en frites de tailles plus au moins égales, puis séchées à l'aide d'un papier absorbant (*Wafa*) avant la friture.

Après chauffage du bain d'huile à 180°C, la friture est entamée en introduisant la première pesée de frites dans l'huile testée tout en fixant le temps de friture à 5min, ensuite la deuxième pesée est introduite en chronométrant à nouveau et cela est répété jusqu'à la dixième pesée. Cette opération est répétée pour les quatre huiles étudiées à savoir HP, HP/HS1, HP/HS2 et HP/HS3.

Le rapport quantité frites /quantité huile dans la friteuse est donné dans le tableau V.

**Tableau V:** Rapport quantité frites sur l'huile utilisée dans la friteuse

Nombre de fritures	Quantité huile (g)	Quantité pomme de terre (g) (pomme de terre /huile =100g/kg)
1	380	38
2	260	26
3	260	26
4	260	26
5	260	26
6	140	14
7	140	14
8	140	14
9	140	14
10	140	14

Afin de vérifier l'efficacité de l'enrichissement de l'huile de palme par l'huile de sésame et d'estimer le degré d'oxydation au cours des fritures répétées, des prélèvements ont été effectués sur des bains de fritures, à la première, à la cinquième, et à dixième friture respectivement. Le témoin (négatif: avant friture) a été préparé pour l'ensemble des huiles testé.

### **I.5. Caractérisation des huiles de friture testées**

#### **I.5.1. Détermination du profil en acides gras durant les fritures**

Le profil en acides gras des huiles étudiées a été déterminé par la méthode décrite précédemment.

#### **I.5.2. Détermination du taux des composés polaires**

Les composés polaires sont des composés formés lorsqu'on chauffe des corps gras à des températures élevées (friture) (Caude, 1997).

Le pourcentage en ces composés est mesuré à l'aide d'un appareil appelé «OPTIFRY MIROIL» (figure X) selon de mode décrit par (SARL Développement durable –France, (2009).

L'appareil doit être calibré par l'huile raffinée, la sonde de l'OPTIFRY doit être propre et tiède (20°C). Lors de mesure, on trempe l'OPTIFRY dans l'huile de telle façon que les trous

d'altération soient complètement couvert puis on tient la sonde dans l'huile à un angle d'environ 45° afin que l'air puisse s'échapper. La valeur est affichée sur l'écran après environ cinq secondes.

Ce testeur doit être nettoyé après la dernière mesure de la journée, il doit être sec au moment d'emploi et doit être étalonné à chaque nouvelle huile.



**Figure X:** Testeur OptiFry

### I.5.3. Test d'accélération d'oxydation "Rancimat"

La détermination de l'indice de stabilité oxydative (OSI) par Rancimat, est la méthode standard la plus utilisée lors de l'évaluation de la stabilité des corps gras aux conditions d'oxydation accélérées (Arain *et al.*, 2009 ; Velasco *et al.*, 2009 ; Garcia-Moreno *et al.*, 2013 ; Pedro *et al.*, 2013). La spécification de Temps d'Induction au test Rancimat (TIR), exprimé en heures correspond au temps pendant lequel la matière grasse a résisté à un stress oxydatif.

Le principe de test consiste à vieillir prématurément les matières grasses par décomposition thermique à 98°C, sous un bullage intensif d'air (Rahmani, 2007). Une prise d'essai de 3g d'échantillon (huile) est placée dans un bloc de chauffage de « Rancimat 743 » (Figure XI), réglé à une température de 98°C et du débit d'air de 10 litres /heures, les composés volatils libérés pendant le processus de dégradation sont rassemblés dans une cellule contiennent 60 ml d'eau distillée. Pour l'expression des résultats, l'appareil permet un calcul automatique de la période d'induction, tout en utilisant le maximum de la seconde dérivée de la courbe. La stabilité à l'oxydation est exprimée en heures. Ce résultat sera ensuite comparé avec le témoin.





**Figure XI:** Rancimat (The 743 Rancimat in brief)

### **I.6. Analyses sensoriels**

L'analyse sensorielle est un examen de propriétés organoleptiques d'un produit par les organes de sens. Elle permet d'étudier les caractéristiques sensorielles des produits en utilisant l'homme comme «instrument de mesure» à partir de ses cinq sens; Toucher, gout, odorat, vue et ouïe.

Les paramètres organoleptiques sont:

- L'apparence (couleur, aspect) révélée par la vue;
- La texture (état de produit: résistance, consistance) révélée par le toucher;
- La saveur (arôme, saveur) révélée par le gout;
- L'odeur (odeur, note) révélée par l'odorat;
- L'ouïe (croquant, croustillant).

L'analyse sensorielle a été effectuée par 20 dégustateurs sur les deux produits à savoir la pomme de terre (frites) et les huiles de friture. Les dégustateurs ont été invités à évaluer chaque attribut sensoriel et remplir une fiche de dégustation mise à leur disposition (Annexe I). Les huiles de friture ont été évaluées pour la couleur de bain d'huile, l'odeur et la projection d'huile tandis que les frites ont été évaluées pour tous les paramètres organoleptiques cités précédemment. Le responsable de jury, après avoir recueilli les fiches de dégustation remplies par chacun des dégustateurs, a contrôlé les appréciations attribuées pour chaque produit.

### **I.7. Traitement et analyse des résultats**

Les résultats obtenus sont analysés à l'aide de l'outil informatique (Excel), et sont présentés sous forme de tableau et de graphiques.

# Résultats et discussions

### I. Résultats et discussions

#### I.1. Caractérisations initiales des huiles étudiées

L'ensemble des résultats de la caractérisation des huiles étudiées sont regroupés dans le tableau VI.

**Tableau VI:** Les caractéristiques initiales de huile palme et de sésame

Caractéristiques initiales	Huile de sésame	Huile de palme
<b>Les caractéristiques physicochimiques</b>		
Acidité (%)	0,30	0,08
Indice de peroxyde (meqO <sub>2</sub> /kg)	7,10	1,00
<b>La composition en acides gras (%)</b>		
Acide laurique (C12 :0)	0,00	0,10
Acide myristique (C14 :0)	0,00	1,00
Acide palmitique (C16 :0)	12,80	43,50
Acide stéarique (C18 :0)	2,10	4,30
Acide oléique (C18 :1)	27,50	36,60
Acide linoléique (C18 :2)	0,40	9,10
Acide $\alpha$ -linoléique (C18 :3)	0,90	0,20
Acides gras saturées	15,00	48,90
Acides gras insaturées	28,90	45,90
Acides gras mono-insaturées	27,50	36,60
Acides gras polyinsaturées	1,40	9,30

D'après le tableau VI on remarque que l'indice de peroxyde des deux huiles étudiées sont inférieures à la limite indiquée par **ISO 3960/2007** pour les corps gras d'origine animales et végétales (10mEq O<sub>2</sub>/kg), ainsi ces deux huiles ont montré des valeurs de l'acidité (0,3% et 0,08% pour l'huile de sésame et de palme respectivement) conformes aux celles données par **ISO 660/2020**.

L'huile de palme étudiée est de type saturé (48,90% d'acides gras saturés) tandis que l'huile de sésame est de type insaturé (28,90% d'acides gras insaturés), cette forte proportion en acides gras insaturés lui confère des propriétés bénéfiques pour la santé.

L'huile de palme est composée majoritairement d'acide palmitique (43,50%), et oléique (36,60%) et linoléique (9,10%); Cependant l'huile de sésame est riche en acide oléique (27,50%) et palmitique (12,80%).

Les valeurs de la composition en acide gras des huiles étudiées sont similaires à celles trouvées par **Codex (1999)**. Ces valeurs confirment que l'huile de palme et de sésame testées sont des huiles conformes.

### **I.1.1. Profil en acides gras des mélanges d'huiles étudiées**

Les résultats de la composition en acides gras des mélanges d'huiles étudiées sont récapitulés dans le tableau VII.

**Tableau VII:** La composition en acide gras des mélanges d'huiles étudiées

Acides gras	La composition en acides gras (%)			
	HP	HP/HS1%	HP/HS2%	HP/HS3%
Acide laurique (C12 :0)	0,10	0,01	0,01	0,01
Acide myristique (C14 :0)	1,00	0,99	0,98	0,97
Acide palmitique (C16 :0)	43,50	43,19	42,89	42,58
Acide stéarique (C18 :0)	4,30	4,28	4,26	4,24
Acide oléique (C18 :1)	36,60	36,50	36,41	36,31
Acide linoléique (C18 :2)	9,10	9,02	8,93	8,85
Acide $\alpha$ -linoléique (C18 :3)	0,20	0,76	1,32	1,87
Acides gras saturées	48,90	48,56	48,22	47,03
Acides gras insaturées	45,90	46,28	46,65	47,03
Acides gras mono-insaturées	36,60	36,50	36,41	36,31
Acides gras polyinsaturées	9,30	9,77	10,25	10,72

Les résultats obtenus montrent que les profils en acides gras de trois huiles testées (HP/HS1%, HP/HS2%, HP/HS3%) sont similaires. Les trois mélanges présente un taux élevé en acide

palmitique et acide oléique, par contre un taux faible en acide laurique, myristique, stéarique et linoléique.

Les mélanges de l'huile obtenus sont de type saturé (HP: 48,90%, HP/HS1%: 48,56%, HP/HS2%: 48,22%, HP/HS3%: 47,03%); Ils renferment aussi en quantité importante les acides gras mono-insaturés (HP: 36,60%, HP/HS1%: 36,50%, HP/HS2%: 36,41%, HP/HS3%: 36,31%) comparativement aux acides gras polyinsaturés. Cette forte proportion en acides gras mono-insaturés lui confère une bonne stabilité oxydative. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Ramadan, 2013).

### I.2. Évaluation du degré d'altération des mélanges d'huiles au cours des fritures répétées

#### I.2.1. Evolution de taux des composés polaires

La mesure des composés polaires est l'un des plus importants indicateurs de l'état de dégradation de l'huile, de ce fait, le taux de composés polaires dans l'huile traduit son taux de dégradation et de dissociation des triglycérides (Romano *et al.*, 2012).

La teneur en composés polaires des mélanges des huiles au cours des fritures répétées est illustrée par la figure XII. Les résultats obtenus révèlent que la teneur en composés polaires est proportionnel au nombre de fritures.

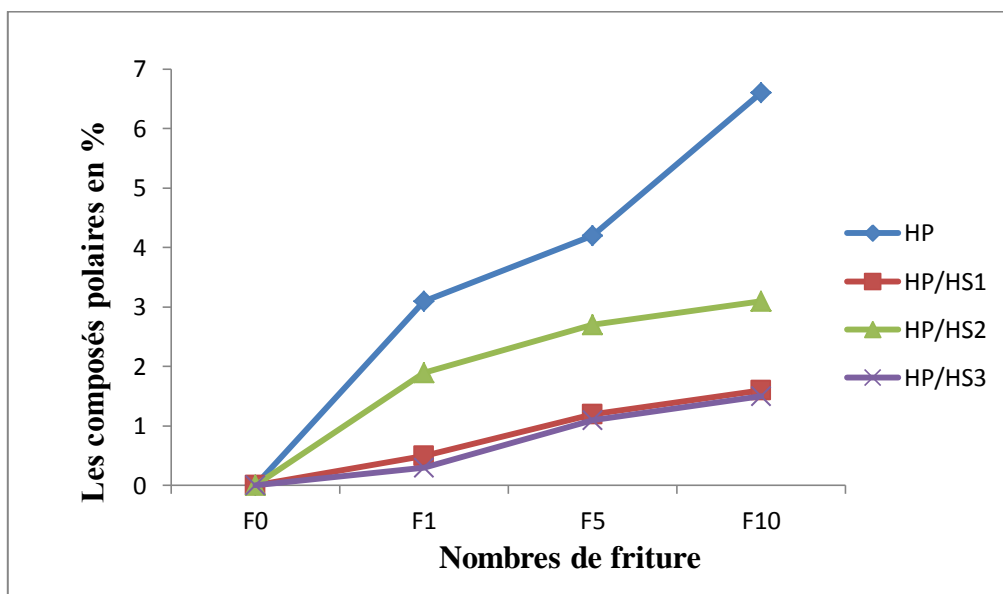


Figure XII: Évolution des composés polaires en fonction du nombre de friture

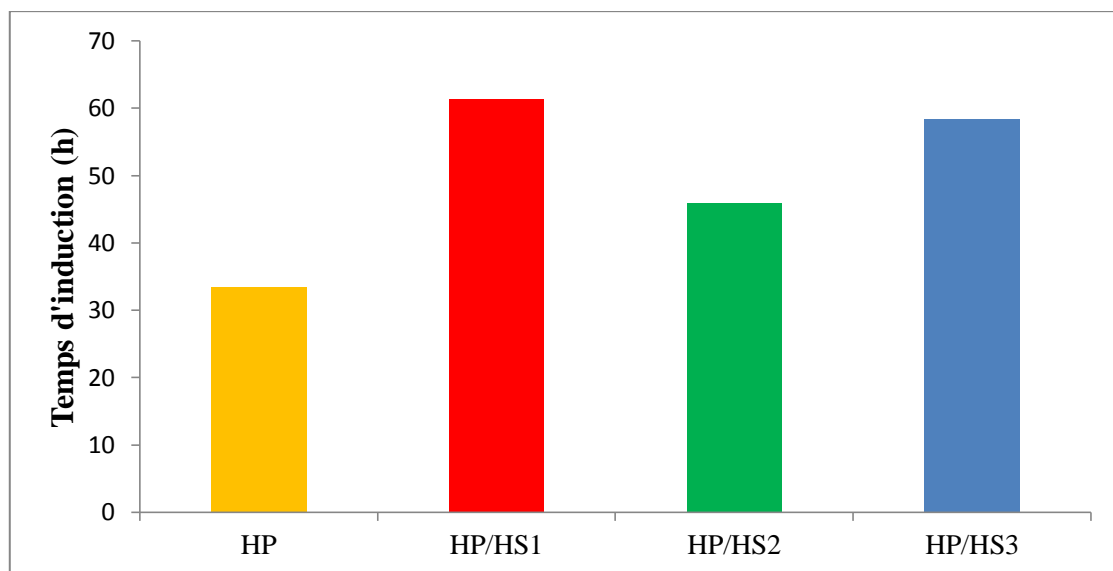
D'après la figure XII, la teneur en composés polaires avant friture est de 0% pour les quatre huiles, où elle s'accroît à partir de la première friture dans toutes les huiles testées sans atteindre la limite (25-27%) indiquée par **Sebastian *et al* (2014)** à la dixième friture.

A la dixième friture, les teneurs finales en composés polaires dans les échantillons enrichis (HP/HS1: 1,6%, HP/HS2: 3,1% et HP/HS3: 1,5%) sont inférieures à celles des autres échantillons non enrichis (HP: 6,6%). Ainsi d'après cette figure, on remarque que HP/HS1 et HP/HS3 présentent des taux similaires et les plus faibles en composés polaires comparativement à HP/HS2. En accord avec nos résultats, **Ramroudi *et al* (2022)** ont indiqué dans leur étude menée sur l'étude des propriétés physicochimiques des mélanges huiles végétales, que le taux de composés polaires dans l'huile de maïs additionnée de l'huile de sésame a augmentés après trois jours de friture de (6,45 à 18,75).

**Cuvelier *et al* (2004)** ont rapporté que la composition chimique des huiles de fritures est fortement affectée par la thermo-oxydation, ce qui se manifeste par l'apparition de composés néoformés responsables de la dégradation de leurs caractéristiques organoleptiques.

### I.2.2. Test d'accélération d'oxydation

La stabilité oxydative des mélanges d'huiles a été mesurée par Rancimat avant la friture. Les résultats obtenus (exprimés en temps d'induction h) sont illustrés par la figure XIII.



**Figure XIII:** Le temps d'induction de différents types d'huiles testées

De l'analyse de la figure XIII, il ressort que le temps d'induction diffère d'un échantillon à l'autre dont La durée de vie la plus courte a été enregistrée pour HP (33,47h), cela signifie une moindre stabilité oxydative, contrairement à HP/HS1 et HP/HS3 qui possèdent des durées de vie les plus longues (61,34h et 58,34h respectivement), donc une stabilité oxydative importante, quant à HP/HS2 sa stabilité à l'oxydation accélérée est de 45,79h. **Cuvelier et Maillard (2012)** ont signalé que les huiles les plus insaturées telle l'huile de palme sont les moins stables à l'oxydation. Par conséquent, il pourrait être conclu que la stabilité oxydative des mélanges des huiles végétales est liée à leur taux en acides gras poly et mono-insaturés (**Arranz et al., 2008 ; Bhatnagar et al., 2009**).

La stabilité oxydative des huiles dépend de plusieurs facteurs tels que la composition chimique de la matière initiale, les conditions de traitement de l'huile, l'endommagement mécanique, l'humidité, la présence des contaminants et le degré de maturité des graines (**Ratusz et al., 2016**). Une étude menée par **Bhatnagar et al (2009)** sur la stabilité oxydative réalisé par le test (Rancimat) des huiles de sésame, de tournesol et de maïs a révélé que le mélange huile maïs-sésame présente une bonne stabilité oxydative par rapport aux autres huiles.

**Smith et al (2007)** ont évalué la résistance à l'oxydation et ont révélé que l'huile de tournesol est plus résistante à l'oxydation de par sa concentration en acide oléique.

### I.2.3. Composition en acides gras des huiles au cours des fritures répétées

Les compositions en acides gras des huiles lors de la friture de pommes de terre sont présentées dans le tableau VIII et illustrées par la figure XIV.

L'analyse chromatographique en phase gazeuse montre que les acides gras prédominants dans ces mélanges d'huiles sont l'acides palmitique (C16: 0) (HP: 46%, HP/HS1: 45%, HP/HS2: 44% et HP/HS3: 45%) et l'acide oléique (C18: 1) (HP: 37,996%, HP/HS1: 37,755%, HP/HS2: 37,142 et HP/HS3: 37,338%).

D'après la figure XIV, on remarque que les quatre huiles présente un taux élevé en acides gras saturés lors de la friture, les valeurs obtenus dépassent 50% (l'huile de palme est très riche en AGS particulièrement en acide palmitique, d'où elle tire sa dénomination).

Elles présentent aussi un pourcentage élevé en AGMI (36,503%, 36,406% et 36,309% pour les mélanges d'huiles HP/HS1, HP/HS2 et HP/HS3 respectivement) avant friture. Par contre un faible taux d'AGPI variant de 9 à 10% a été observé dans tous les mélanges d'huiles étudiées; Néanmoins cette teneur diminue au cours des fritures pour atteindre des valeurs



suivantes: HP/HS1: 0,266%, HP/HS2: 0,284% et HP/HS3: 0,143% à la dixième friture engendrant une augmentation de taux d'AGS dans toutes les huiles testées.

La présence d'AGMI en grande quantité dans les huiles alimentaires est plutôt souhaitable en vue de garantir une bonne santé (**Mensink et Katan, 1990**).

**Abdulkarim et al (2007)** mentionnent que les huiles qui renferment une fraction élevée en AGMI, particulièrement en acide oléique, contribuent à une diminution du risque de maladie coronarienne.

Les huiles pourraient également être choisis pour la friture en raison de la bonne stabilité de ces acides gras au procédé de friture (**Zribi et al., 2014**).

Lors de l'altération des huiles, les réactions d'élongation et de désaturation entraînent une diminution d'AGPI et conduit probablement une augmentation du taux d'AGS et en même temps à la diminution du rapport  $\Sigma$ AGPI/AGS (**Liu et White, 1992 ; Tan et Man, 1999**).

Tous ces changements de la composition en AG dans les huiles ont lieu suite aux réactions chimiques qui se produisent au sein des huiles pendant le traitement thermique. Il s'agit donc des réactions de cyclisation, polymérisation, pyrolytique, d'hydrolyse, d'oxydation (**Xu et al., 1999**).

**Tableau VIII:** Les compositions en acides gras des huiles lors de la friture de pommes de terre

AG/Fritures	HP				HP/HS1				HP/HS2				HP/HS3			
	F0	F1	F5	F10	F0	F1	F5	F10	F0	F1	F5	F10	F0	F1	F5	F10
<b>C12:0</b>	0,100	0,424	0,480	0,439	0,099	0,410	0,417	0,450	0,098	0,437	0,406	0,399	0,097	0,411	0,425	0,426
<b>C14:0</b>	1,000	1,155	1,269	1,190	0,990	1,136	1,148	1,210	0,980	1,165	1,122	1,117	0,970	1,129	1,158	1,160
<b>C16:0</b>	43,500	45,167	46,673	45,872	43,194	45,005	45,233	45,928	42,888	44,723	44,700	44,700	42,582	44,621	45,009	45,030
<b>C18:0</b>	4,300	4,399	4,249	4,395	4,279	4,454	4,434	4,309	4,258	4,325	4,426	4,440	4,237	4,409	4,336	4,336
<b>C18:1</b>	36,600	37,996	36,642	37,422	36,503	37,755	37,709	36,997	36,406	37,142	37,613	37,692	36,309	37,338	37,180	37,154
<b>C18:2</b>	9,100	0,144	0,149	0,150	9,015	0,146	0,010	0,140	8,930	0,144	0,011	0,144	8,845	0,146	0,016	0,009
<b>C18:3</b>	0,200	0,133	0,122	0,127	0,758	0,136	0,134	0,126	1,316	0,135	0,138	0,140	1,874	0,134	0,133	0,134
<b>AGS</b>	48,900	51,145	52,671	51,896	48,562	51,005	51,232	51,897	48,224	50,650	50,654	50,656	47,886	50,570	50,928	50,952
<b>AGI</b>	45,900	38,273	36,913	37,699	46,276	38,037	37,853	37,263	46,652	37,421	37,762	37,976	47,028	37,618	37,329	37,297
<b>AGMI</b>	36,600	37,996	36,642	37,422	36,503	37,755	37,709	36,997	36,406	37,142	37,613	37,692	36,309	37,338	37,180	37,154
<b>AGPI</b>	9,300	0,277	0,271	0,277	9,773	0,282	0,144	0,266	10,246	0,279	0,149	0,284	10,719	0,280	0,149	0,143
<b>AGPI/AGS</b>	0,190	0,005	0,005	0,005	0,200	0,006	0,003	0,005	0,210	0,006	0,003	0,006	0,220	0,003	0,003	0,003

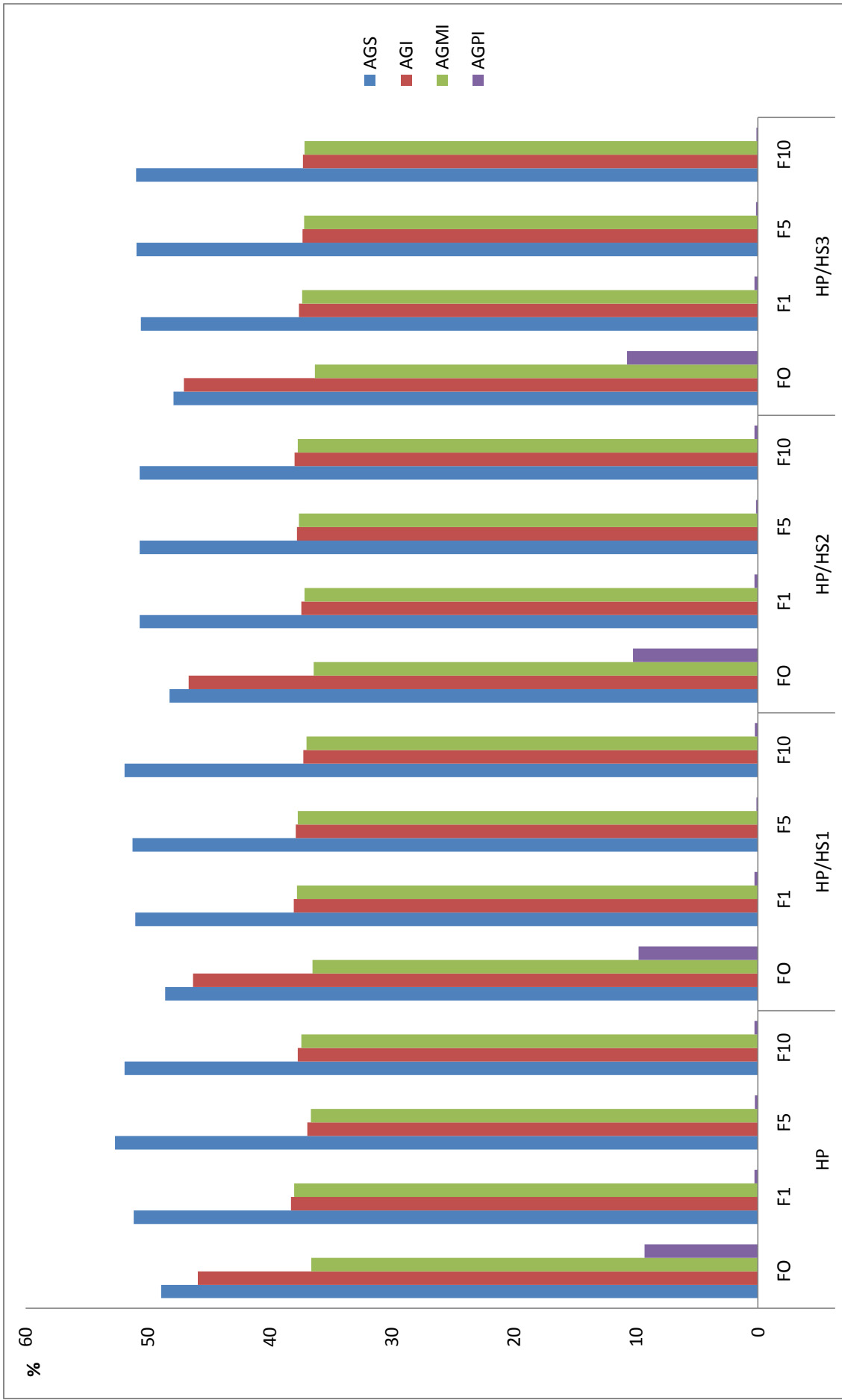


Figure XIV: évolution de la teneur en acides gras des huiles au cours des fritures répétées

### I.2.4. Evaluation de la qualité organoleptique des huiles de fritures et des frites préparées

#### I.2.4.1. Aspects des bains de fritures

Le premier critère auquel nous nous sommes intéressés après les cycles de friture réalisées, c'est l'aspect sensoriel (organoleptique) des échantillons d'huile prélevés du bain après chaque friture. Les perceptions notées sont portées dans le tableau IX. D'après les résultats obtenus on remarque que pendant le procédé de friture, les huiles présentent une stabilité remarquable avec l'absence de la projection, d'odeur indésirable et la couleur demeure limpide jusqu'à la sixième friture; Au-delà un changement de couleur est marqué et ce dernier s'accroît au fur et à mesure que le processus de friture dure. Concernant l'odeur des bains de fritures des mélanges d'huiles testées, HP et HP/HS1 présentent une odeur neutre au cours des fritures répétées tandis que l'odeur de sésame est marquée dans les huiles HP/HS2 et HP/HS3 à partir de la première friture, puis elle commence à disparaître à partir de la quatrième friture pour HP/HS2 et à la septième friture pour HP/HS3.

Selon **Judde (2004)**, les composés volatils tels que les cétones et les aldéhydes sont responsables des saveurs de rance des huiles de fritures; Ces composés sont caractérisés par un seuil de détection très faible. Par ailleurs, **Fredot (2005)** affirme que le point de fumée des huiles diminue selon leurs niveaux d'altération. Ainsi, la qualité organoleptique de l'aliment frit diminue; Elle se traduit par le changement de la couleur des frites au fur et à mesure que le processus de friture avance. L'altération des huiles au cours des fritures répétées se manifeste par la détérioration de leurs qualités organoleptiques, telles que la couleur, l'odeur, saveur etc. (**Innawong et al., 2004**).

Le passage de la couleur clair à une couleur jaune pâle est dus à la présence des acides gras oxydés et carbonylés (**Bansal et al., 2010**).

**Tableau IX:** Les observations notées lors de la friture

Mélanges des huiles	HP			HP/HP1			HP/HS2			HP/HS3		
	Couleur	Odeur	Projection d'huile	Couleur	Odeur	Projection d'huile	Couleur	Odeur	Projection d'huile	Couleur	Odeur	Projection d'huile
<b>Paramètres N° fritures</b>												
<b>1<sup>ère</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>2<sup>ème</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>3<sup>ème</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>4<sup>ème</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>5<sup>ème</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>6<sup>ème</sup> friture</b>	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Neutre	Absence	Limpide	Note de Sésame	Absence
<b>7<sup>ème</sup> friture</b>	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence
<b>8<sup>ème</sup> friture</b>	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence
<b>9<sup>ème</sup> friture</b>	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence
<b>10<sup>ème</sup> friture</b>	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence	Changement de couleur	Neutre	Absence

### I.2.4.2. Aspects des frites préparées

La perception d'un produit alimentaire par les consommateurs est basée sur plusieurs attributs tels que le goût, l'odeur, la couleur, la texture et la saveur.

#### I.2.4.2.1. Goût

Les attributs du goût pour les frites préparées sont illustrés par la figure XV.

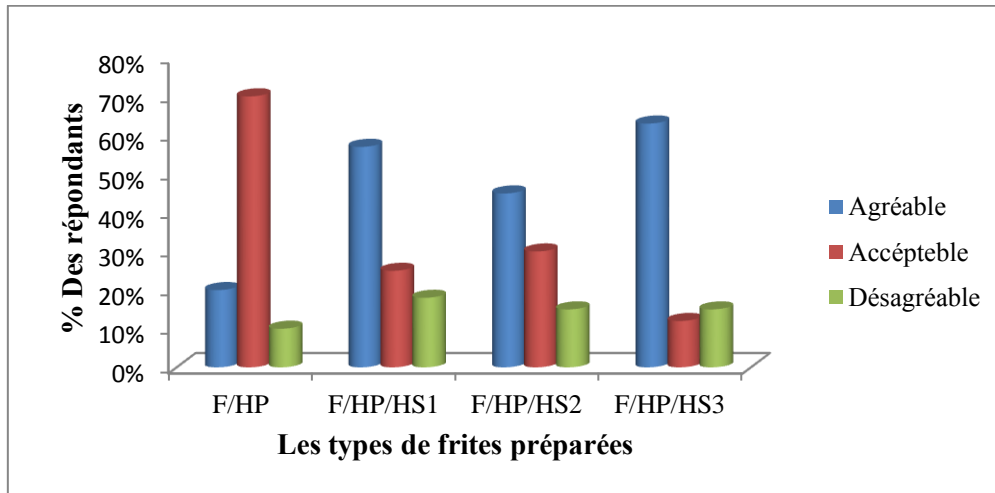


Figure XV: Les attributs du goût pour des frites préparées

De l'analyse de la figure XV, il s'avère que les frites préparées dans HP/HS3 sont les plus agréables comparativement aux frites à HP/HS2 et HP/HS1. Par contre les frites à HP sont considérées seulement acceptables par les dégustateurs.

D'après les résultats obtenus, il ressort que l'ajout d'huile de sésame à l'huile de palme améliore le goût des frites.

#### I.2.4.2.2. Odeur

Les attributs de l'odeur pour les frites préparées sont illustrés par la figure XVI.

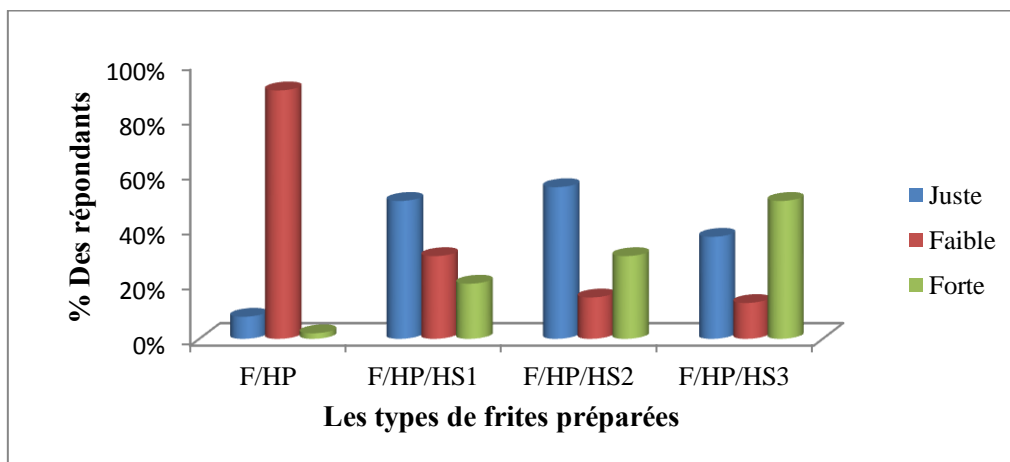


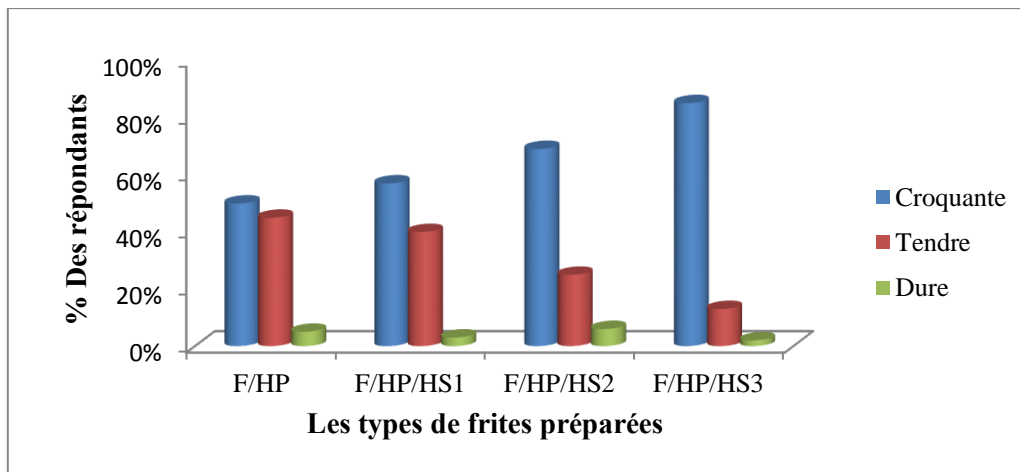
Figure XVI: Les attributs de l'odeur pour les frites préparées

De l'analyse de la figure XVI, il s'avère que les frites préparées dans HP sont les plus faibles d'odeur comparativement aux frites à HP/HS1 et HP/HS2. Par contre les frites à HP/HS3 sont considérées fortes d'odeur par les dégustateurs.

D'après les résultats obtenus, il ressort que l'ajout de l'huile de sésame à l'huile de palme améliore l'odeur des frites.

### I.2.4.2.3. Texture

Les attributs de la texture pour les frites préparées sont illustrés par la figure XVII.



**Figure XVII:** Les attributs de la texture pour les frites préparées

De l'analyse de la figure XVII, il s'avère que les frites préparées dans HP/HS3 sont les plus croquantes comparativement aux frites à HP, HP/HS1 et HP/HS2. Cela signifie l'acceptabilité générale de la texture de quatre types de frites préparées.

Selon **Pambou (2015)**, la masticabilité, la cohésion, l'adhésion, la rigidité tout comme le reste des autres paramètres diminuent également après friture de la banane plantain, suite à la gélatinisation de l'amidon et à la solubilisation de la lamelle médiane moyenne. Donc la friture a eu un effet positif sur la texture.

I.2.4.2.4. Couleur

Les attributs du couleur pour les frites préparées sont illustrés par la figure XVIII.

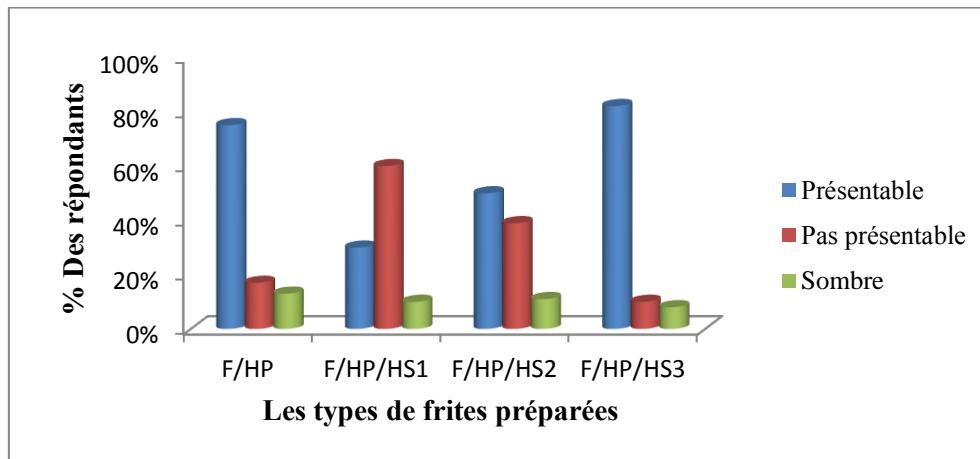


Figure XVIII: Les attributs de la couleur pour les frites préparées

De l'analyse de la figure XVIII, il s'avère que les frites préparées dans HP et HP/HS3 sont les plus présentables comparativement aux frites à HP/HS2. Par contre les frites à HP/HS1 sont considérées seulement pas présentables par les dégustateurs.

D'après les résultats obtenus, il ressort que l'ajout d'huile de sésame à l'huile de palme améliore la couleur des frites.

Dans le cas des fruits et légumes par exemple, la couleur finale du produit frit dépend de la nature, de la maturité, de la quantité de sucres réducteurs et d'autres composés biochimiques, et surtout des conditions de friture.

Selon **Pambou (2015)**, la friture de la banane "plantain" dans l'huile de palme raffinée et l'huile de soja n'a pas effet sur la couleur.

des études antérieures ont montré que certains paramètres comme la température et le type de l'huile, la dimension de l'échantillon, le ratio substrat / huile ont des effets sur la couleur du produit frit (**Cluvier, 2004 ; Kita et al., 2007**).



I.2.4.2.5. Saveur

Les attributs de la saveur pour les frites préparées sont illustrés par la figure XIX.

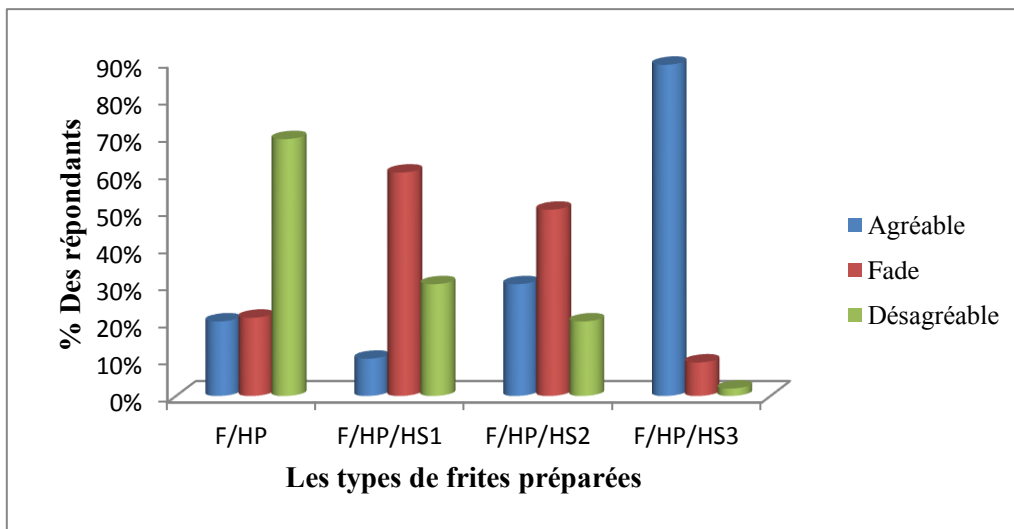


Figure XIX: Les attributs de la saveur pour les frites préparées

De l'analyse de la figure XIX il s'avère que les frites préparées dans HP/HS3 sont les plus agréables comparativement aux frites à HP/HS2 et HP/HS1. Par contre les frites à HP sont considérées seulement désagréables par les dégustateurs.

D'après les résultats obtenus, il ressort que l'ajout d'huile de sésame à l'huile de palme améliore la saveur des frites.

**Kita et al (2007)** indiquent dans leurs travaux que le choix du milieu de friture (type d'huile) peut avoir des effets sur les qualités sensorielles finales recherchées par le consommateur dans les produits frits.

**Conclusion**

### Conclusion

Les huiles végétales riches en acides gras polyinsaturés de la série «oméga 6» et «oméga3» 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 d'un mélange d'huiles de friture pourrait limiter les réactions de détérioration. A cet effet, notre travail s'inscrit dans le cadre d'élaboration d'une formule d'huile à usage friture avec un mélange de deux huiles palme et sésame a différentes concentrations (1%, 2% et 3%).

Cette étude effectuée en collaboration avec le département de recherche et développement de l'unité Agro-industriel (Cevital Spa). Les résultats obtenus dans notre travail montrent que:

- Les composés polaires de trois mélanges d'huiles sont de faibles taux.
- La stabilité oxydative de mélange d'huiles possède des durées de vie les plus longues, ce qui signifie la résistance des huiles à l'oxydation.
- Au cours de la friture les acides gras se dégradent notamment les acides gras polyinsaturés.
- Les frites préparées à partir de deux huiles combinées sont de bonne qualité sensorielle soit pour la couleur, odeur, gout, saveur et texture. Cela signifie que l'huile de sésame a amélioré la qualité des frites préparées.

Dans la continuité de ce travail, il serait intéressant d'étudier l'effet d'ajout d'huile de sésame sur la fraction insaponifiable de l'huile de palme avant et après la friture.

# Références bibliographiques

### A

- **Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S., & Ghazali, H. M. (2007).** Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food chemistry*, 105(4), 1382-1389.
- **Abou-Gharbia, H. A., Shehata, A. A. Y., & Shahidi, F. (2000).** Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food research international*, 33(5), 331-340.
- **Aladedunye, F. A., & Przybylski, R. (2009).** Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(2), 149-156.
- **Alais, C., Linden, G., & Miclo, L. (2003).** Biochimie alimentaire. 5ème édition de l'abrégé. *Dunod, Paris*.
- **Ali, O., Deniz, C., & Muhittin, K. (2012).** Morphological properties and chemical compositions of some sesame (*Sesamum indicum* L.) populations cultivated in Kilis, Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 7(19), 3029-3033.
- **Alimentarius, C. (2011).** Codex standard. *Rome, Food Agriculture Organization*, 33-198.
- **Arain, M. B., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., ... & Shah, A. Q. (2009).** Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and environmental safety*, 72(2), 301-309.
- **Arranz, S., Cert, R., Pérez-Jiménez, J., Cert, A., & Saura-Calixto, F. (2008).** Comparison between free radical scavenging capacity and oxidative stability of nut oils. *Food Chemistry*, 110(4), 985-990.

### B

- **Bamigboye A. Y., Okafor A. C. et Adepoju O. T. (2010).** Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. *African Journal of Food Science and Technology*, 1(3), pp.71-75.
- **Bansal, G., Zhou, W., Barlow, P. J., Lo, H. L., & Neo, F. L. (2010).** Performance of palm olein in repeated deep frying and controlled heating processes. *Food chemistry*, 121(2), 338-347.
- **Bartosińska, E., Buszewska-Forajta, M., & Siluk, D. (2016).** GC-MS and LC-MS approaches for determination of tocopherols and tocotrienols in biological and food matrices. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 127, 156-169.
- **Berdeaux, O., Fontagné, S., Sémon, E., Velasco, J., Sébédio, J. L., & Dobarganes, C. (2012).** A detailed identification study on high-temperature degradation products of oleic and linoleic acid methyl esters by GC-MS and GC-FTIR. *Chemistry and physics of lipids*, 165(3), 338-347.
- **Bhatnagar, A. S., Prasanth Kumar, P. K., Hemavathy, J., & Gopala Krishna, A. G. (2009).** Fatty acid composition, oxidative stability, and radical scavenging activity

of vegetable oil blends with coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(10), 991-999.

- **Bhattacharya, A. B., Sajilata, M. G., Tiwari, S. R., & Singhal, R. S. (2008).** Regeneration of thermally polymerized frying oils with adsorbents. *Food Chemistry*, 110(3), 562-570.
- **BOERS, J. (2000).** Naturels ou synthétiques?. *Process (Cesson-Sévigné)*, (1156), 32-34.
- **Borchani, C., Besbes, S., Blecker, C. H., & Attia, H. (2010).** Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(5), 585-596.
- **Borel, S. (2001).** *Comportement et dimensionnement des fondations mixtes* (No. GT73).

### C

- **Caty, M. G. (1996).** Teratomas in childhood. *Current Opinion in Pediatrics*, 8(3), 287-292.
- **Caude, M. (1997).** Supercritical fluid extraction: a new performant analytical tool for sample treatment. *Analisis*, 4(25), 81-96.
- **Codex Alimentarius, Named Vegetable Oils 8, Codex Standard 210, (Adopted 1999. Revisions 2001, 2003, 2009. Amendment 2005, 2011).**
- **Cottrell, R. C. (1991).** Introduction: nutritional aspects of palm oil. *The American journal of clinical nutrition*, 53(4), 989S-1009S.
- **Cuvelier, C., Cabaraux, J. F., Dufrasne, I., Hornick, J. L., & Istasse, L. (2004).** Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. In *Annales de Médecine Vétérinaire* (Vol. 148, No. 3). Annales Medecine Veterinaire, Liege, Belgium.
- **Cuvelier, M. E., & Maillard, M. N. (2007).** Revue: Comment évaluer l'efficacité des antioxydants alimentaires?. *Science des Aliments*, 27, 259-282.

### D

- **Dar, A. A., & Arumugam, N. (2013).** Lignans of sesame: purification methods, biological activities and biosynthesis—a review. *Bioorganic chemistry*, 50, 1-10.
- **Debnath, S., Rastogi, N. K., Krishna, A. G., & Lokesh, B. R. (2012).** Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of poori: An Indian traditional fried food. *Food and bioproducts processing*, 90(2), 249-256.
- **Deme, T., Haki, G. D., Retta, N., Woldegiorgis, A., & Geleta, M. (2017).** Mineral and Anti-Nutritional Contents of Niger Seed (*Guizotia abyssinica* (Lf) Cass., Linseed (*Linum usitatissimum* L.) and Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties Grown in Ethiopia. *Foods*, 6(4), 27.
- **Djohan, Y. F. (2017).** *Influence d'un régime riche en huile de palme sur le statut antioxydant, la fonction mitochondriale et les désordres métaboliques associés à l'obésité* (Doctoral dissertation, Université Montpellier; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire)).

- **Dobarganes. (1998).** Formation and analysis of high molecular weight compounds in frying fats and oils. *O. C.L. Vol. S: n° 1*.pp 41-52.
- **Dobraszczyk, B. J., Ainsworth, P., Ibanoglu, S., & Bouchon, P. (2005).** Baking, extrusion and frying. *Food processing handbook*, 237-290.
- **Dridi, W. (2016).***Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau-dans-huile* (Doctoral dissertation, Bordeaux).
- **Durán, M., Pedreschi, F., Moyano, P., & Troncoso, E. (2007).** Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of food Engineering*, 81(1), 257-265.

### E

- **Eftimov, P., Yokoi, N., & Georgiev, G. A. (2022).** Surface Chemistry Study of the Interactions of Sesame Oil with Meibomian Films. *Molecules*, 27(2), 464.
- **Elhanafi, L., Benkhadda, Z. B., Rais, C., Houhou, M., Lebtar, S., Channo, A., & Greche, H. (2020).** Biochemical Composition, Antioxidant Power and Antiinflammatory of Dehulled Sesamum indicum Seeds and Its Coat Fraction. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 13(3).
- **Erickson, M. C. (2002).** Lipid oxidation of muscle foods. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 365-412.

### F

- **FAS, (2006).** Foreign Agricultural Service. Palm oil continues to dominate Global consumption in 2006/07. USDA Circularseries. Fop 6-06.
- **Fooly, L. (2000).** HowellAB and VorsaN, The structure of cranberry proanthocyanidins which inhibit adherence of uropathogenic P-fimbriated Escherichia coli in vitro. *Phytochemistry*, 54, 173-181.
- **Francis, C., Aman, M. Z., Isabelle, T., & Gilles, T. (2012).** Friture profonde: les interactions huile-produit. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*.
- **Fredot, E. (2005).***Connaissance des aliments*. Tec & Doc Lavoisier.
- **Fredot, É. (2012).***Connaissance des aliments: bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique* (p. 1). Paris: Éditions Tec & doc.
- **Frènot, M., & Vierling, E. (2001).** biochimie des aliments diététique du sujet bien portant 2<sup>ème</sup> édition doin éditeur cndp centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine.

### G

- **Gadade, B. V., Kachare, D. P., Satbhai, R. D., & Naik, R. M. (2017).** Nutritional composition and oil quality parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *International Research Journal Multidisciplinary Studies*, 3(7).
- **Gandhi, A. P., & Srivastava, J. (2007).** Studies on the production of protein isolates from defatted sesame seed (*Sesamum indicum*) flour and their nutritional profile. *ASEAN Food Journal*, 14(3), 175.

## Références bibliographiques

- **García-Moreno, C., Pallitto, C., Devries, K., Stöckl, H., Watts, C., & Abrahams, N. (2013).** Global and regional estimates of violence against women: prevalence and health effects of intimate partner violence and non-partner sexual violence. World Health Organization.
- **Gertz, C. (2000).** Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9), 566-572.
- **Graille, J. (2003).** *Lipides et corps gras alimentaires*. Lavoisier Tec et Doc.
- **Grandgirard, A. (1992).** Transformations des lipides au cours des traitements thermiques. Effets nutritionnels et toxicologiques. *Les Cahiers de l'ENSBANA*, 8, 49-67.
- **Guillén, M. D., & Goicoechea, E. (2008).** Toxic oxygenated  $\alpha$ ,  $\beta$ -unsaturated aldehydes and their study in foods: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(2), 119-136.
- **Gunstone, F. (Ed.). (2011).** *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. John Wiley & Sons.

### H

- **Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2016).** Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 52-58.
- **Hassanien, M. F. R., & Sharoba, A. M. (2014).** Rheological characteristics of vegetable oils as affected by deep frying of French fries. *Journal of food measurement and characterization*, 8(3), 171-179.
- **Hemalatha, S. (2004).** Lignans and tocopherols in Indian sesame cultivars. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81(5), 467-470.
- **Honjoya, S., Cottel, N., Saf, S., Just, J., Bidat, E., & Benoist, G. (2021).** Allergie au sésame: revue générale. *Revue Française d'Allergologie*, 61(6), 415-420.

### I

- **Ighil, F., & Mani, D. (2016).** *Evolution de la fraction saponifiable et insaponifiable d'une huile végétale raffinée «Afia» au cours des fritures répétées* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Innawong, B., Mallikarjunan, P., Irudayaraj, J., & Marcy, J. E. (2004).** The determination of frying oil quality using Fourier transform infrared attenuated total reflectance. *LWT-Food Science and Technology*, 37(1), 23-28.
- **ISO 3960 4ème édition, (2007).**
- **ISO 660 4ème édition, (2020).**

### J

- **Jacquemard, JC. (1995).** Le palmier à huile. Coll. le Technicien d'agriculture tropicale. Ed Maisonneuve et Larose; 207p.
- **Jean-François, L. (2011).** Vitamine E et physiologie du tissu adipeux. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*.
- **Jessup, W., Kritharides, L., & Stocker, R. (2004).** Lipid oxidation in atherogenesis: an overview. *Biochemical Society Transactions*, 32(1), 134-138.



- **Jiang, Q., Christen, S., Shigenaga, M. K., & Ames, B. N. (2001).**  $\gamma$ -Tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *The American journal of clinical nutrition*, 74(6), 714-722.
- **Jiang, Q., Elson-Schwab, I., Courtemanche, C., & Ames, B. N. (2000).**  $\gamma$ -Tocopherol and its major metabolite, in contrast to  $\alpha$ -tocopherol, inhibit cyclooxygenase activity in macrophages and epithelial cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(21), 11494-11499.
- **John W & Sons, (2005).** Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Sixth Edition, Six volume Set. Edited by Fereidoon Shahidi., Inc., Chapitre 12, Sesameoil, Lucy Sun Hwang.
- **Juárez, M. D., Osawa, C. C., Acuña, M. E., Sammán, N., & Gonçalves, L. A. G. (2011).** Degradation in soybean oil, sunflower oil and partially hydrogenated fats after food frying, monitored by conventional and unconventional methods. *Food Control*, 22(12), 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?. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 11(6), 414-418.

### K

- **Kamal-eldin, L. A. (1994).** Applequist, variations in fatty acid Composition of the Different Acyl Lipids in Seed Oils from Four sesamum Species, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 71(2), 135-139.
- **Katsuzaki H, Osawa T, Kawakishi S, (1992).** Chemistry and oxidative activity of lignan glucosides in sesame seed. In Ho, C.T., Osawa T, Huang M, T, and Rosen, R.T Eds. *Food Phytochemical for cancer prevention II : Teas, Spices, and Herbs ; ACS Symposium Series 547 ; Am Chem Soc : Washington, D.C., : 275-280.*
- **Katsuzaki, H ; Kawakishi, S ; Osawa, T. (1994).** Sesaminol glucosides in sesame seeds. *Phytochemistry*, 35 (3) 773-776..
- **Kita, A., Lisińska, G., & Golubowska, G. (2007).** The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food chemistry*, 102(1), 1-5.

### L

- **Lecerf, J. M. (2011).** Les huiles végétales: particularités et utilités: Vegetable oils: Particularities and usefulness. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(3), 257-262.
- **Lecerf, J. M. (2013).** L'huile de palme: aspects nutritionnels et métaboliques. Rôle sur le risque cardiovasculaire. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 20(3), 147-159
- **Liu, H. R., & White, P. J. (1992).** Oxidative stability of soybean oils with altered fatty acid compositions. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69(6), 528-532.

### M

- **Mensah, G. A. (1999).** Le palmier à huile, un arbre à buts multiples et une source de technologies traditionnelles variées. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 9.
- **Mensink, R. P., & Katan, M. B. (1990).** Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *New England Journal of Medicine*, 323(7), 439-445.
- **Moazzami, A. A., Andersson, R. E., & Kamal-Eldin, A. (2006).** Characterization and analysis of sesamol diglucoside in sesame seeds. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 70(6), 1478-1481.
- **Mohammed, M. I., & Hamza, Z. U. (2008).** Physicochemical properties of oil extracts from *Sesamum Indicum* L. seeds grown in Jigawa State–Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12(2).
- **Monde, A. A., Michel, F., Carbonneau, M. A., Tiahou, G., Vernet, M. H., Eymard-Duvernay, S., ... & Cristol, J. P. (2009).** Comparative study of fatty acid composition, vitamin E and carotenoid contents of palm oils from four varieties of oil palm from Côte d'Ivoire. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(15), 2535-2540.
- **Moreau R.A .et Lampi A.M. (2012).** Analysis methods for tocopherol and tocotrienols. *Analysis of antioxidant-rich phytochemical*. 353p.
- **Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012).** Huiles et corps gras végétaux: ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 63-75.
- **Mottram, D. S., Wedzicha, B. L., & Dodson, A. T. (2002).** Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906), 448-449.
- **Mukherjee, S., & Mitra, A. (2009).** Health effects of palm oil. *Journal of human Ecology*, 26(3), 197-203.

### N

- **Nakai, M., Harada, M., Nakahara, K., Akimoto, K., Shibata, H., Miki, W., & Kiso, Y. (2003).** Novel antioxidative metabolites in rat liver with ingested sesamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1666-1670.
- **Naz, S., Siddiqi, R., Sheikh, H., & Sayeed, S. A. (2005).** Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. *Food Research International*, 38(2), 127-134.
- **Nosheen, A., Bano, A., Naz, R., Yasmin, H., Hussain, I., Ullah, F., ... & Tahir, A. T. (2019).** Nutritional value of *Sesamum indicum* L. was improved by *Azospirillum* and *Azotobacter* under low input of NP fertilizers. *BMC plant biology*, 19(1), 1-12.
- **Nzikou, J. M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N. P. G., Kimbonguila, A., ... & Desobry, S. (2009).** Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in Congo-Brazzaville. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 1(1), 6-11.

### O

- **O’Keefe, S. F., Kiple, K. F., & Ornelas, K. C. (2000).** An overview of oils and fats, with a special emphasis on olive oil. *The Cambridge world history of food, 1*, 375-97.

### P

- **Pambou-Tobi, N. (2015).** *Influence des conditions de friture profonde sur les propriétés physicochimiques de la banane plantain Musa AAB «harton»: étude du vieillissement des huiles et modélisation des transferts de matière au cours du procédé* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine; Université Marien-Ngouabi (Brazzaville)).
- **Pathak, N., Rai, A. K., Kumari, R., & Bhat, K. V. (2014).** Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy reviews*, 8(16), 147.
- **Pedro, H. T., Inman, R. H., & Coimbra, C. F. (2013).** Solar forecasting methods for renewable energy integration. *Progress in energy and combustion science*, 39(6), 535-576.
- **Piironen, V., Lindsay, D.G., Miettinen, T. A., Toivo, J., and Lampi, A.M. (2000).** Plant sterols: Biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 80 939-966.
- **Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10), 4290-4302.

### Q

- **Quayson, E. T., & Ayernor, G. S. (2007).** Non-enzymatic browning and estimated acrylamide in roots, tubers and plantain products. *Food chemistry*, 105(4), 1525-1529.

### R

- **Rahmani, M. (2007).** Méthodes d’évaluation de la stabilité oxydative des lipides. *Les technologies de laboratoire*, 2(2).
- **Ramadan, I. Z. (2013).** Dividend policy and price volatility. Empirical evidence from Jordan. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, 3(2), 15-22.
- **Ramano, R., Rabe, M., Maree, D & Price, G. (2012).** Compendium of water conservation and water demand management interventions and measures at the Municipal Level in South Africa, WRC project TT 519/12. *Water Research Commission, Gezina, 185pp.*
- **Ramroudi, F., Yasini Ardakani, S. A., Dehghani-Tafti, A., & Khalili Sadrabad, E. (2022).** Investigation of the Physicochemical Properties of Vegetable Oils Blended with Sesame Oil and Their Oxidative Stability during Frying. *International Journal of Food Science*, 2022.

## Références bibliographiques

- **Rasolofomanana, J. (2016).** Activité physique chez les diabétiques de type 2 vues au service d'Endocrinologie de Centre Hospitalier Universitaire Befelatanana Antananarivo, Madagascar. *Revue médicale des Grands Lacs ISSN, 2304*, 0149.
- **Ratusz, K., Popis, E., Ciemniowska-Żytkiewicz, H., & Wroniak, M. (2016).** Oxidative stability of camelina (*Camelina sativa* L.) oil using pressure differential scanning calorimetry and Rancimat method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 126*(1), 343-351.
- **Rebbas, K., Ghadbane, M., Miara, M. D., Hammou, M. A., & Rebbas, N. (2020).** Découverte de *Sesamum indicum* L.(Pedaliaceae) dans la région de Selatna (Bordj Bou Arreridj, Algérie) Discovery of *Sesamum indicum* L.(Pedaliaceae) in the Selatna region (Bordj Bou Arreridj, Algeria). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
- **Rizki H, Nabloussi A, Kzaiber F, Latrache H, Hanine H. (2017).** Mineral Composition of Some Accessions of SesameSeeds(*Sesamum Indicum* L.)CollectedfromMorocco. *International Journal of Engineering Research and Allied Sciences, 2*(8) : 2455-9660.
- **Rojas-Gonzalez, J. A. (2007).**Impact de l'opération de friture du plantain (*Musa AAB" barraganete"*) sur différents marqueurs nutritionnels: caractérisation et modélisation (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

### S

- **Sainvitu, P., Nott, K., Richard, G., Blecker, C., Jérôme, C., Wathelet, J. P., ... & Deleu, M. (2012).** Structure, properties and obtention routes of flaxseed lignan secoisolariciresinol, a review. *BASE*.
- **Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Tan, Y. (2000).** Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in lipid research, 39*(6), 507-558.
- **Sánchez-Gimeno, A. C., Negueruela, A. I., Benito, M., Vercet, A., & Oria, R. (2008).** Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process. *Food chemistry, 110*(3), 654-658.
- **Sebastian, A., Ghazani, S. M., & Marangoni, A. G. (2014).** Quality and safety of frying oils used in restaurants. *Food research international, 64*, 420-423.
- **Sene, B., Sarr, F., Sow, M. S., Diouf, D., Niang, M., & Traoré, D. (2017).** Physico-chemical composition of the sesame variety (*Sesamum indicum* L.) 32-15 and characterization of its derived products (seeds, oil and oilcake) in Senegal. *Food Sci Qual Manag, 65*, 5-10.
- **Shils M, E., Shike M., Ros A. C., Caballero, B., Cousins r.J. (2006).** Modern Nutrition in Health and Disease. 10<sup>Éd</sup>. Lippincott Williams and Wilkins.
- **Smith, S. A., King, R. E., & Min, D. B. (2007).** Oxidative and thermal stabilities of genetically modified high oleic sunflower oil. *Food Chemistry, 102*(4), 1208-1213.

### T

- **Tan, B. K. (1981).** Malaysian palm oil chemical and physical characteristics. *PORIM Technology, 3*.

- **Tan, B. K., & Oh, F. C. H. (1981).** *PORIM Survey 1979/80 Oleins and Stearins from Malaysian Palm Oil Chemical and Physical Characteristics*. Institut Penyelidikan Minyak Kelapa Sawit Malaysia.
- **Tan, C. P., & Che Man, Y. B. (1999).** Quantitative differential scanning calorimetric analysis for determining total polar compounds in heated oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(9), 1047-1057.
- **Tan, Y. A., Sundram, K., & Sambanthamurthi, R. (2001).** Influence of Structure and Processing on Bioavailability-Water-soluble Phenolics from the Palm Oil Industry. *Special Publications of the Royal Society of Chemistry*, 269, 548-551.
- **Tashiro T. Fukuda Y. Osawa T. Namiki M. (1990).** *J. Amer.OilChem. Soc.*76, 508-511.
- **Terrones, A. (1990).** Sesame, safflower seek new impetus in Mexico. *International news on fats, oils and related materials (USA)*.
- **Tir, R. (2005).** *Extraction et analyse de l'huile de graine de sésame* (Doctoral dissertation, Alger).
- **Tir, R. (2013).** *Extraction et caractérisation de l'huile de graines de sésame de diverses origine* (Doctoral dissertation, Université des Sciences et de la Technologie d'Alger, Houari Boumediène).
- **Trache, M. (2017).** *Contribution à l'étude de la stabilité des huiles raffinées aux cours des fritures répétées* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Trystram, G. (2010).** Effets des transformations industrielles des pommes de terre sur les propriétés nutritionnelles. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(6), S52-S59.

### V

- **Velasco-Quesada, G., Guinjoan-Gispert, F., Piqué-López, R., Román-Lumbreras, M., & Conesa-Roca, A. (2009).** Electrical PV array reconfiguration strategy for energy extraction improvement in grid-connected PV systems. *IEEE transactions on industrial electronics*, 56(11), 4319-4331.
- **Verleyen, T., Kamal-Eldin, A., Mozuraityte, R., Verhé, R., Dewettinck, K., Huyghebaert, A., & De Greyt, W. (2002).** Oxidation at elevated temperatures: competition between  $\alpha$ -tocopherol and unsaturated triacylglycerols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(4), 228-233
- **Vierling, E. (2008).** *Aliments et boissons: filières et produits*. Editions Doin.
- **Vinci, R. M., Mestdagh, F., & De Meulenaer, B. (2012).** Acrylamide formation in fried potato products—Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food chemistry*, 133(4), 1138-1154.
- **Vitrac, O., Trystram, G., & Raoult-Wack, A. L. (2003).** Procédé de friture et produits frits.

### W

- **Warner, K. A. (2003).** Effects of antioxidants in frying oils. *Chemistry of frying oils. AOCS, Champaign*, 210-227.

- **Williamson, K. S., Morris, J. B., Pye, Q. N., Kamat, C. D., & Hensley, K. (2008).** A survey of sesamin and composition of tocopherol variability from seeds of eleven diverse sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes using HPLC-PAD-ECD. *Phytochemical analysis*, 19(4), 311-322.

### X

- **Xu, X. Q., Tran, V. H., Palmer, M., White, K., & Salisbury, P. (1999).** Chemical and physical analyses and sensory evaluation of six deep-frying oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(9), 1091-1099.

### Y

- **Yap, S. C., Choo, Y. M., Ooi, C. K., Ong, A. S., & Goh, S. H. (1991).** Quantitative analysis of carotenes in the oil from different palm species. *Elaeis*.
- **Yen, G. C., & Shyu, S. L. (2000).** Oxidative stability of sesame oil prepared from sesame seed with different roasting temperatures. *Food Chemistry*, 31(3), 215-224.
- **Yogranjan, S. G., Marabi, R. S., Mishra, M. K., & Mishra, S. P. (2014).** Global resurgence of sesame (*Sesamum indicum* L.) utilization: a current scenario. *Indo-Am J Agric Vet Sci*, 2(3), 2321-9602.

### Z

- **Zribi, A., Jabeur, H., Aladedunye, F., Rebai, A., Matthäus, B., & Bouaziz, M. (2014).** Monitoring of quality and stability characteristics and fatty acid compositions of refined olive and seed oils during repeated pan-and deep-frying using GC, FT-NIRS, and chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(42), 10357-10367.



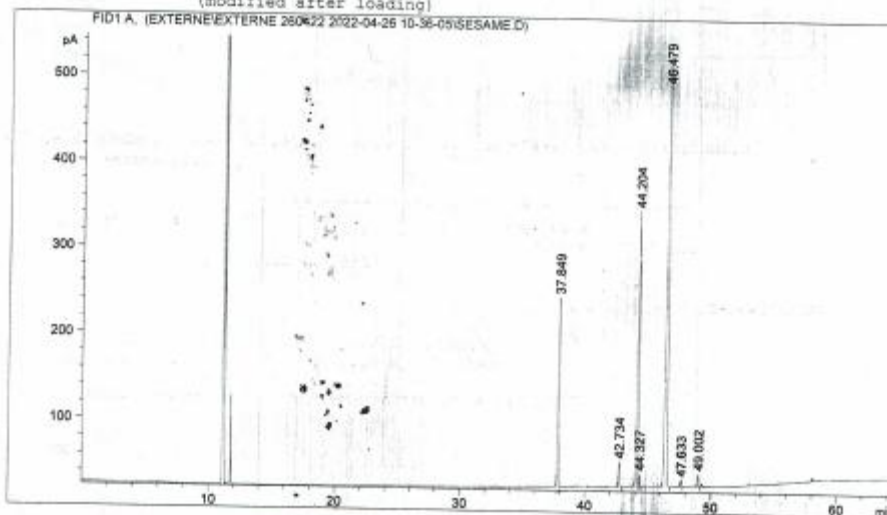
Annexe II

Composition en acide gras de l'huile de sésame.

Data File C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\EXTERNE 260422 2022-04-26 10-36-05\SESAME.D  
 Sample Name: sesame stag

```

-----
Acq. Operator   : DJAMILA                      Seq. Line :    2
Acq. Instrument : Instrument                   Location  : Vial 102
Injection Date  : 26/04/2022 13:55:57         Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\EXTERNE\EXTERNE 260422 2022-04-26 10-36-05\DJAMILA.M
Last changed   : 20/04/2022 12:09:29 by DJAMILA
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\COOLDCMN.M
Last changed   : 26/04/2022 13:51:08 by DJAMILA
                                           (modified after loading)
  
```



Area Percent Report

```

-----
Sorted By      : Signal
Multiplier:    : 1.0000
Dilution:      : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

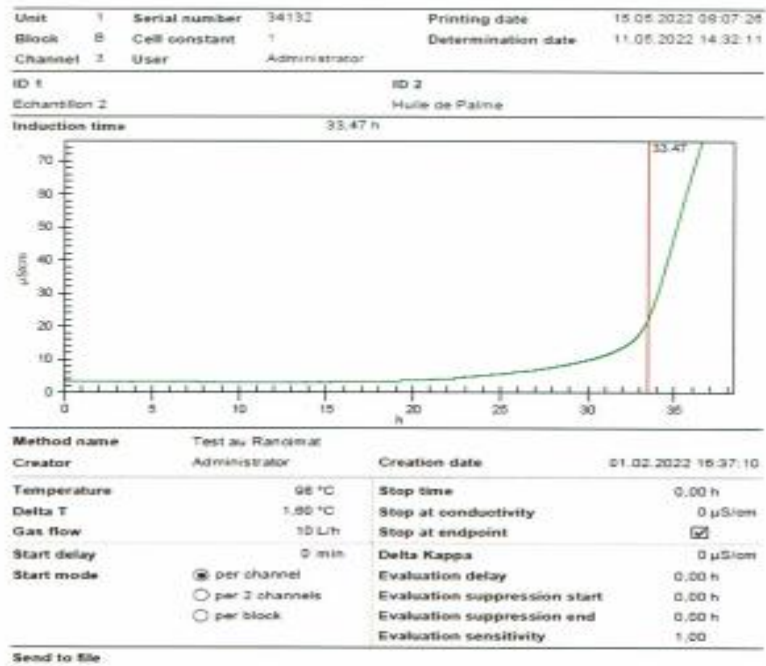
Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	37.849	BB	0.0743	1149.94263	218.91263	12.89189
2	42.734	BB	0.0833	191.9258	28.79752	2.15166
3	44.204	BV	0.0963	2401.95532	319.16425	26.92809
4	44.327	VB	0.0568	51.68205	13.92149	0.57940
5	46.479	BB	0.1235	4996.64746	504.53629	56.01693
6	47.633	BB	0.0773	41.22871	8.04298	0.46221
7	49.002	BV	0.0814	86.50640	15.08378	0.96981
Totals :				8919.88844	1108.45893	



Annexe III

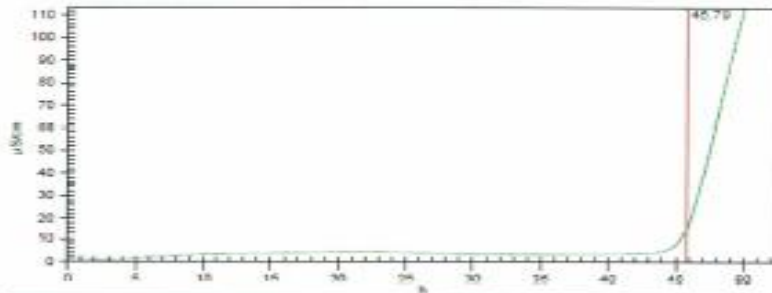
Le temps d'induction des huiles.



Unit 1 80121000000 34132 PHIRING SISA 10.05.2022 08:06:58  
 Block 9 Cell constant 1 Determination date 11.05.2022 14:32:10  
 Channel 2 User Administrator

ID 1 ID 2  
 Ech 2 PO + 2% Sésame

Induction time 45.70 h



Method name	Test au Randmat		
Creator	Administrator	Creation date	01.02.2022 16:37:10
Temperature	98 °C	Stop time	0.00 h
Delta T	1.00 °C	Stop at conductivity	0 µS/cm
Gas flow	18 l/h	stop at request	<input checked="" type="checkbox"/>
Start delay	0 min	Delta Kaosa	0 µS/cm
Start mode	<input checked="" type="radio"/> per channel <input type="radio"/> per 2 channels <input type="radio"/> per block	Evaluation delay	0.00 h
		Evaluation suppression start	0.00 h
		Evaluation suppression end	0.00 h
		Evaluation sensitivity	1.00

Send to file

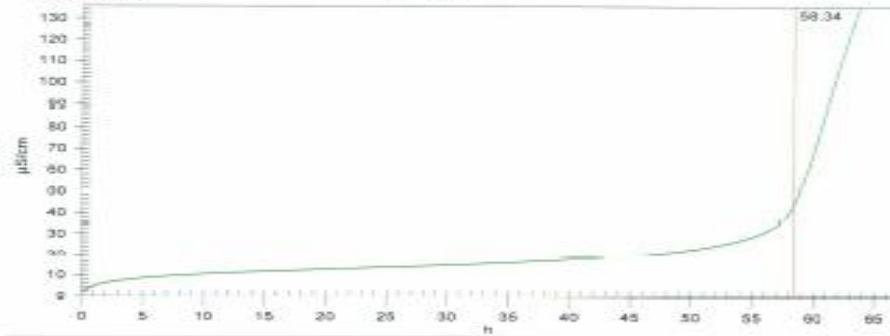


Unit	1	Serial number	34132	Printing date	15.05.2022 08:07:28
Block	B	Cell constant	1	Determination date	11.05.2022 14:32:11
Channel	3	User	Administrator		

ID 1  
Ech 3

ID 2  
PO + 3% Sésame

Induction time 58,34 h



Method name	Test au Rancimat		Creation date	01.02.2022 16:37:10
Creator	Administrator			
Temperature	98 °C	Stop time	0,00 h	
Delta T	1,60 °C	Stop at conductivity	0 µS/cm	
Gas flow	10 L/h	Stop at endpoint	<input checked="" type="checkbox"/>	
Start delay	0 min	Delta Kappa	0 µS/cm	
Start mode	<input checked="" type="radio"/> per channel	Evaluation delay	0,00 h	
	<input type="radio"/> per 2 channels	Evaluation suppression start	0,00 h	
	<input type="radio"/> per block	Evaluation suppression end	0,00 h	
		Evaluation sensitivity	1,00	

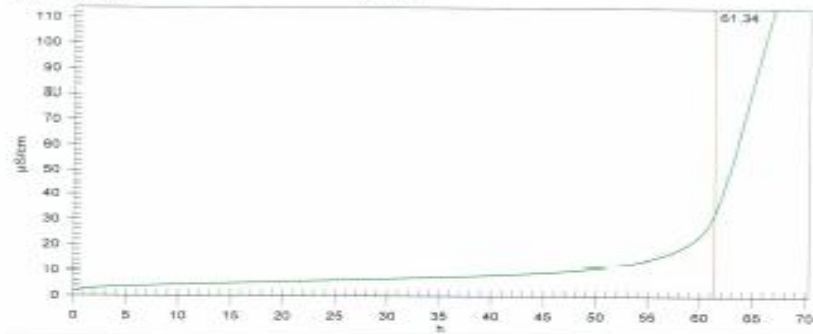
Send to file



Metrohm 743 Rancimat

Unit	1	Serial number	81192	Printing date	10.02.2022 08:08:32
Block	B	Cell constant	1	Determination date	11.05.2022 14:17:00
Channel	1	User	Administrator		

ID 1	ID 2
Etan 1	MD + 1% Sésame
Induction time	61,34 h



Method name	Test au Ranzimat	Creation date	01.02.2022 16:37:10
Creator	Administrator		
Temperature	95 °C	Stop time	0,00 h
Delta T	1,00 °C	Stop at conductivity	0 µS/cm
Gas flow	10 L/h	Stop at endpoint	<input checked="" type="checkbox"/>
Start delay	0 min	Delta Kappa	0 µS/cm
Start mode	<input checked="" type="radio"/> per channel <input type="radio"/> per 2 channels <input type="radio"/> per block	Evaluation delay	0,00 h
		Evaluation suppression start	0,00 h
		Evaluation suppression end	0,00 h
		Evaluation sensitivity	1,00

Send to file



### Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet d'incorporation de l'huile de sésame dans l'huile de palme sur la stabilité oxydative au cours des fritures répétées. Un mélange de deux huiles palme et sésame à différentes concentrations (1%, 2% et 3%) a été élaboré. La caractérisation physicochimique a été effectuée sur les deux huiles étudiées et leur profil en acides gras a été déterminé par chromatographie en phase gazeuse (CPG) avant et après friture. L'évaluation de la stabilité oxydative au cours des fritures répétées par le test rancimat montre que l'huile de palme additionnée de l'huile de sésame révèle un temps d'induction relativement plus élevé que celui de l'huile de palme sans l'huile de sésame. Les résultats obtenus ont montré que l'ajout de l'huile de sésame améliore la stabilité oxydative de l'huile de palme.

**Mots clés:** huile de palme, huile de sésame, friture, stabilité oxydative.

### Abstract

The objective of this work is to study the effect of the incorporation of sesame oil in palm oil on oxidative stability during repeated frying. A mixture of two oils palm and sesame at different concentrations (1%, 2% and 3%) was prepared. Physico chemical characterization was carried out on the two oils studied and their fatty acid profile was determined by gas chromatography (GC) before and after frying. The evaluation of oxidative stability during frying repeated by the rancimat test shows that palm oil with added sesame oil has a relatively higher induction time than palm oil without sesame oil. The results obtained showed that the addition of sesame oil improves the oxidative stability of palm oil.

**Keywords:** palm oil, sesame oil, frying, oxidative stability.

### ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير دمج زيت السمسم في زيت النخيل على الاستقرار التأكسدي أثناء القلي المتكرر. تم تطوير مزيج من زيوت النخيل و السمسم بتركيزات مختلفة (1% و 2% و 3%). تم إجراء التوصيف الفيزيائي الكيميائي الزيوت التي تمت دراستها وتم تحديد ملامح الأحماض الدهنية الخاصة بها بواسطة كروماتوغرافيا الغاز قبل القلي وبعده. يُظهر تقييم استقرار الأوكسدة أثناء القلي الذي كرره اختبار الرانسيمات أن زيت النخيل مع زيت السمسم المضاف له وقت تحفيز أعلى نسبياً من زيت النخيل بدون زيت السمسم. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن إضافة زيت السمسم يحسن الاستقرار التأكسدي لزيت النخيل.

**الكلمات المفتاحية:** زيت النخيل، زيت السمسم، القلي، الاستقرار التأكسدي.