

# Influence des facteurs d'exposition domestique sur la stabilité des huiles végétales comestibles : cas de l'huile de palme en Côte d'Ivoire

Présenté par

**Brou Sylvie ANGUI**

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Santé

Spécialité Nutrition Internationale

le 23 septembre 2021

Devant le jury composé de :

Pr. Jalila ELATI,	Présidente
Chef de Service "Etudes et Planification", INNTA, Tunis	
Pr Patrick THONNEAU	Examineur
Directeur du Département Santé	
Pr. Pierre TRAISSAC,	Examineur
Ingénieur de recherche, IRD, Montpellier	

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, nous pensons particulièrement à :

Pr Patrick THONNEAU, Directeur du Département Santé pour son accompagnement, sa disponibilité et surtout ses multiples conseils pour la réalisation de cette étude.

Madame Alice Mounir, Chef du service administratif du département santé avec qui nous avons bénéficié des instructions et consignes pour l'avancement de notre travail de recherche.

Pr Thierry VERDEL, Recteur de l'Université Senghor et tout son staff administratif pour leur encadrement pendant toute notre formation et pendant le stage.

Pr Gildas Komenan GBASSI, Chef du laboratoire de contrôle des aliments du laboratoire national de santé publique de Côte d'Ivoire pour ses orientations et sa disponibilité pour la réalisation de ce travail.

Tout le personnel du laboratoire de contrôle des aliments, en particulier Mme GOLE Georgette pour ses conseils très enrichissants.

Tous les enseignants du département santé et ceux du tronc commun pour les connaissances et compétences acquises pendant ces deux années de master.

Nos camarades de promotion de l'Université Senghor, particulièrement la communauté Ivoirienne, ma famille du Tchad et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à mon épanouissement pendant ces deux années de formation.

## **Dédicace**

Je dédie ce travail

Au tout puissant, l'Éternel mon Dieu qui m'a permis de mener ce travail en bonne santé

A ma famille, mes parents, mes amis et tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ces deux années de formation

## Résumé

Les huiles végétales comestibles sont chimiquement instables en raison de la sensibilité à l'oxydation de leurs acides gras insaturés. Les mécanismes de l'oxydation reposent sur des réactions radicalaires qui entraînent une perte significative de la qualité de l'huile sur le plan sensoriel (rancissement) et des valeurs nutritionnelles (perte d'acides gras polyinsaturés et de vitamine E). La surveillance de l'état d'oxydation de l'huile peut être réalisée à l'aide de différents marqueurs, chacun apportant une information partielle sur l'ensemble du phénomène, mais incapable de prédire à lui seul l'état de stabilité de l'huile.

Le but de l'étude est d'évaluer la stabilité à l'oxydation des huiles végétales comestibles (huile de palme raffinée et brute) en Côte d'Ivoire par la mesure des indices de peroxyde, d'anisidine et de Totox après exposition de ces huiles à des facteurs d'exposition domestique tels que la température, la lumière et l'air. L'exposition a duré 3 mois et les essais ont été réalisés tous les 21 jours pour apprécier l'évolution des produits d'oxydation.

Une exposition aux températures de chauffage (100°C, 110°C et 120°C) a aussi été réalisée après trois chauffages successifs de 10 minutes.

Les résultats ont montré que les huiles comestibles sont mieux conservées dans des bouteilles scellées, stockées à 8 °C et à l'abri de la lumière.

Les bouteilles exposées à l'air et à la lumière des deux huiles stockées à 24°C se sont oxydées plus rapidement en raison de la photo-oxydation et de l'auto-oxydation. L'huile de palme brute avait une mauvaise conservation que l'huile de palme raffinée.

Les températures de chauffage ont montré une dégradation croissante à l'oxydation des huiles comestibles. Plus l'huile était chauffée plus les indices de peroxyde, d'anisidine et de Totox augmentaient.

## Mots clés

Huiles végétales, oxydation, stabilité, indice de peroxyde, indice d'anisidine, qualité nutritionnelle

## **Abstract**

Edible vegetable oils are chemically unstable due to the sensitivity of their unsaturated fatty acids to oxidation. The mechanisms of oxidation are based on free radical reactions that lead to a significant loss of sensory quality (rancidity) and nutritional values (loss of polyunsaturated fatty acids and vitamin E) of oil. Monitoring of the oxidation state of the oil can be carried out using different markers, each of which provides partial information on the whole phenomenon, but is unable to predict the stability state of the oil on its own.

The aim of the study was to assess the oxidative stability of edible vegetable oils (refined and crude palm oil) in Côte d'Ivoire by measuring the peroxide and anisidine indices after exposure of these oils to domestic exposure factors such as temperature, light and air. The exposure lasted 3 months and the tests were carried out every 21 days to assess the evolution of the oxidation products.

Exposure to heating temperatures (100°C, 110°C and 120°C) was also carried out after three successive 10 minutes heatings.

The results showed that edible oils are best preserved in sealed bottles, stored at 8°C and protected from light.

Bottles exposed to air and light of both oils stored at 24°C oxidised faster due to photo-oxidation and auto-oxidation. The crude palm oil had a poorer shelf life than the refined palm oil.

Heating temperatures showed increasing oxidative degradation of edible oils. The more the oil was heated, the higher the peroxide, anisidine and Totox values increase.

## **Keywords**

Vegetable oils, oxidation, stability, peroxide value, anisidine value, nutritional quality

## Liste des acronymes, abréviations, sigles et symboles

- **AFNOR** : Association Française de Normalisation
- **AGI** : Acide Gras Insaturé
- **AGMI** : Acide Gras Mono Insaturé
- **AGPI** : Acide Gras Polyinsaturé
- **AGS** : Acide Gras Saturé
- **AGT** : Acide Gras Trans
- **ANC** : Apports Nutritionnels Conseillés
- **AV**: Anisidine Value
- **C18:1**: Acide oléique
- **C18:2** : Acide linoléique
- **C18:3** : Acide  $\alpha$  linoléique
- **CEDEAO** : Communauté Economique Des Etats d’Afrique de l’Ouest
- **DO** : Densité Optique
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **HDL**: High Density Lipoprotein
- **I**: Initiateur
- **IA** : Indice d’Anisidine
- **INHP** : Institut National d’Hygiène Publique
- **IP**: Indice de Peroxyde
- **Ip-A** : Indice de para-Anisidine
- **ISO**: International Organization for Standardization
- **IT**: Indice Totox
- **L°**: Radical alkyle
- **LDL**: Low Density Lipoprotein
- **LNSP** : Laboratoire National de la Santé Publique
- **LO°**: Radical alkoxyde
- **LOO°**: Radical peroxyde
- **LOOH** : Hydroperoxyde
- **M** : Métal
- **MCV** : Maladies cardio-vasculaires
- **meq d’O<sub>2</sub>/kg** : Milliéquivalent d’oxygène actif par kilogramme
- **mol/kg** : Mole par kilogramme
- **MNT** : Maladies Non Transmissibles
- **NF** : Norme française
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **PME** : Petites et moyennes entreprises
- **PMI** : Petites et moyennes Industries

- **PNNS** : Programme National Nutrition Santé
- **PV** : Peroxide Value
- **TAG** : Triacylglycerols
- **TG** : Triglycérides
- **UEMOA** : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
- **µg/g** : Microgrammes par gramme
- **ω 3** : Oméga 3
- **ω 6** : Oméga 6

## Table des matières

Remerciements .....	ii
Dédicace .....	iii
Résumé.....	iv
Abstract .....	v
Liste des acronymes, abréviations, sigles et symboles .....	vi
Table des matières .....	1
<b>1 Introduction.....</b>	<b>2</b>
1.1 Les lipides .....	4
1.2 L’Huile de palme.....	8
1.3 L’oxydation des lipides .....	17
<b>2 Matériels et méthodes.....</b>	<b>24</b>
2.1 Cadre de l’étude .....	24
2.2 Type et période d’étude.....	24
2.3 Echantillons .....	24
2.4 Echantillonnage .....	26
2.5 Méthode d’évaluation de l’oxydation des huiles.....	26
2.6 Assurance qualité .....	28
2.7 Traitement et analyse des données .....	28
<b>3 Résultats.....</b>	<b>29</b>
3.1 Résultats des tests initiaux.....	29
3.2 Résultats de l’exposition à la température, à l’air et à la lumière pendant 3 mois.	30
3.3 Résultats de l’exposition aux températures de chauffage .....	32
<b>4 Discussion.....</b>	<b>35</b>
4.1 Qualité initiale des huiles .....	35
4.2 Exposition à la température à l’air et à la lumière.....	35
4.3 Exposition aux températures de chauffage .....	36
4.4 Limite de l’étude.....	38
<b>5 Conclusion .....</b>	<b>39</b>
Recommandations .....	40
Références bibliographiques.....	41
Liste des illustrations.....	46
Liste des tableaux.....	46

## 1 Introduction

Les huiles comestibles et les graisses dans l'alimentation jouent un rôle considérable dans la régulation du poids corporel et dans l'étiologie des maladies chroniques (Boateng et al. 2016). Malgré les litiges qui les entourent, elles sont considérées comme des nutriments essentiels pour l'organisme. Elles sont nécessaires pour remplir des fonctions critiques dans l'organisme. Elles participent à l'apport et au transport des vitamines liposolubles (E, D et pro-A). Elles améliorent la biodisponibilité des micronutriments liposolubles et fournissent un substrat essentiel pour la synthèse de composés métaboliquement actifs tels que les hormones stéroïdes, la testostérone, les œstrogènes et la progestérone (Boateng et al. 2016)

A partir des années 70, les huiles végétales se sont progressivement substituées aux huiles animales comme principale source de lipides. Le Programme National de Nutrition Santé (PNNS) de France préconise la consommation de graisses d'origine végétale riche en acides gras mono et poly insaturés (acides oléiques, linoléiques et  $\alpha$  linoléiques) reconnues très importantes pour la prévention des maladies telles que les maladies cardiovasculaires, l'obésité ou certaines formes de cancers (Roman 2012).

Les huiles végétales, constituées à plus de 95 % de triglycérides encore appelés triacylglycerols (TAG), sont très riches en vitamines liposolubles, en pigments naturels, en phospholipides et en phytosterols à l'étape brute (Cuvelier et Maillard 2012).

Elles assurent une fonction nutritionnelle et contribuent à l'apport d'énergie. Elles sont sources d'acides gras indispensables à l'organisme, en particulier l'acide linoléique (C18:2) précurseur des oméga-6 qui fournit 4% de l'apport énergétique sans alcool (ANC 2010) et l'acide alphalinoléique (C18:3) précurseur des oméga-3 qui fournit 1% de l'apport énergétique sans alcool. Ces deux acides gras sont dits essentiels parce que incapable d'être synthétisés par l'organisme (Cuvelier et Maillard 2012).

Les huiles végétales contribuent à la qualité organoleptique des aliments en leur apportant une texture onctueuse, crémeuse, fondante, un aspect brillant et une saveur spécifique (Cuvelier et Maillard 2012; Koohikamali et Alam 2019).

Malgré toutes ces qualités, les régimes alimentaires riches en graisses sont fortement associés à une prévalence accrue de surpoids et de l'obésité et à un risque élevé de développer une maladie coronarienne, une hypertension artérielle, un diabète sucré et certains types de cancer (Boateng et al. 2016; Fernando et al. 2015).

Ces dernières décennies, la consommation mondiale d'huile végétale a progressé au même rythme que l'augmentation de la population (Roman 2012).

Les huiles végétales les plus consommées au monde sont l'huile de palme, l'huile de soja, l'huile de colza, l'huile de tournesol... (Statista 2019).

L'huile de palme est l'huile la plus produite et consommée au monde (COMMODAFRICA 2018; Almeida et al. 2018; Jacquemard 2011). Sa production mondiale a quasiment triplé ces 20 dernières années. Elle est passée de 20 millions de tonnes en 2000 à 64,5 millions de tonnes en 2017 (Djohan 2017).

En Côte d'Ivoire, l'huile de palme est la première huile végétale produite et consommée (« FAOSTAT » 2021). Le pays occupe la deuxième place en Afrique et la onzième dans le monde des pays producteurs d'huile de palme avec une production estimée à 515 mille tonnes en 2020 (USDA 2021; CNUCED 2016; Rival 2020)

L'huile de palme fait partie des traditions culinaires de toute la région ouest-africaine depuis plusieurs générations (Boateng et al. 2016). Elle est utilisée pour la sauce et est mieux adaptée aux fritures de par sa composition stable (CNUCED 2016). C'est une excellente source de vitamines A et E, essentielles pour la santé de la mère et de l'enfant, elle lutte contre le rachitisme et la cécité infantile (Zagré et al. 2003).

L'un des principaux facteurs modulant la stabilité, la durée de conservation et la fraîcheur des huiles de cuisson est le stockage. L'oxydation est le principal phénomène chimique qui détériore la qualité des huiles. Pendant son traitement et son stockage, l'huile comestible s'oxyde par auto-oxydation, photo-oxydation et oxydation enzymatique (Dridi 2016). Le taux d'oxydation des huiles dépend de différents facteurs : la durée, l'oxygène, la présence de lumière et la température (Pristouri, Badeka, et Kontominas 2010).

L'oxydation détruit les acides gras essentiels et produit des constituants toxiques qui influencent les qualités sensorielles et nutritionnelles de l'huile (Tarmizi et Lin 2008). Les Huiles de fortes teneurs en acides gras insaturés sont sensibles à l'oxydation (Vrbiková et al. 2014).

Plusieurs études ont montré que les premiers produits d'oxydation des graisses, tels que les peroxydes d'acides gras, peuvent provoquer diverses maladies telles que l'athérosclérose, le cancer, l'ischémie cardiaque et cérébrale, les maladies allergiques et le vieillissement précoce (Tavakoli et al. 2019; Rafiee et al. 2012; Taghvaei et Jafari 2015).

Les seconds produits de l'oxydation, les aldéhydes, les cétones, les hydrocarbures provenant de la dégradation des hydroperoxydes sont responsables de la dégradation de la qualité sensorielle et nutritionnelle des huiles. Ils produisent une flaveur désagréable (rance) qui rend l'huile impropre à la consommation et engendrent ainsi des pertes économiques énormes (Jeuge et al. 2012; Roman 2012; Bouhadjra 2011; Dridi 2016).

L'objectif général de cette étude a été d'évaluer l'effet des facteurs d'exposition domestique sur la stabilité des huiles végétales comestibles en Côte d'Ivoire. Les objectifs spécifiques se résument à :

- Déterminer l'évolution de l'oxydation des huiles végétales après exposition à la température, à la lumière, à l'air pendant trois mois par la mesure des indices de peroxyde et d'anisidine ;
- Vérifier la stabilité des huiles après plusieurs chauffages prolongés et répétés ;
- Comparer la stabilité de l'huile de palme brute à celle de l'huile de palme raffinée de production industrielle ;
- Interpréter les résultats des mesures de l'indice de peroxyde, de l'indice d'anisidine et de l'indice Totox.

Pour atteindre les objectifs énumérés ci-dessus, nous avons organisé notre travail en plusieurs parties.

## **1.1 Les lipides**

Les lipides sont un ensemble de composés chimiques insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants des graisses (alcool, éther, benzène, chloroforme...). Ce sont des corps gras ou matières grasses appelés « Huile » lorsqu'ils sont liquides à la température ambiante 25 - 37°C et « Graisse » animale ou végétale selon la provenance lorsqu'ils sont solides à la température de 15 °C. Cette différence d'état physique est due à leur composition en acides gras. Les huiles sont plus riches en acides gras insaturés que les graisses (OLLIVIER, ARTAUD, et OLLIVIER 2015).

Les lipides représentent la forme la plus concentrée d'énergie, en effet 1 g de corps gras fournit à l'organisme 9 kcal ou 37,6 kJ, contre environ 4 kcal pour les glucides et les protéines (Boateng et al. 2016).

Tout comme les glucides et les protéines, les lipides jouent un rôle essentiel dans l'organisme. Ils interviennent dans la constitution de la membrane cellulaire, fournissent une réserve d'énergie, servent de véhicule aux vitamines liposolubles (A, D, E, K). Ils sont composés essentiellement de triglycérides, d'acides gras et de phospholipides, mais aussi, des lipides complexes. Ils sont classés selon la longueur de la chaîne de carbone des acides gras et selon leur degré de saturation (nombre de doubles liaisons) (OLLIVIER, ARTAUD, et OLLIVIER 2015; Bouhadjra 2011).

### **Les triglycérides**

Les triglycérides (TG) constituent 90 à 98% de la fraction lipidique des corps gras. Ce sont des triesters résultant de la combinaison de trois molécules d'acide gras par leur fonction carboxyle avec les fonctions alcooliques du glycérol (figure 1).

Le glycérol est un trialcool qui, estérifié par les acides gras, produit des monoglycérides, diglycérides et triglycérides. Les triglycérides sont les plus répandus et c'est la forme de réserve d'énergie chez l'homme. Le glycérol représente environ 10% en poids des triglycérides (OLLIVIER, ARTAUD, et OLLIVIER 2015).

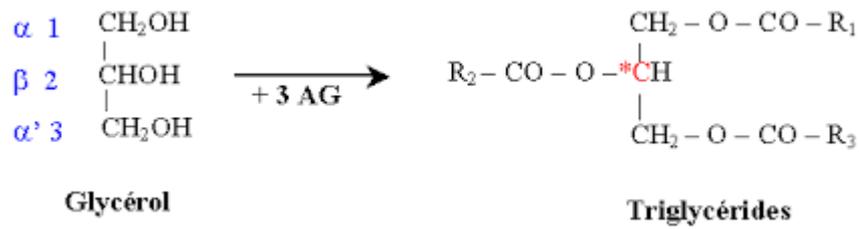


Figure 1: Formation d'un triglycéride à partir d'un glycérol et de 3 acides gras (Futura 2021)

### Acides gras

Les acides gras (AG) sont des composés organiques à base de carbone, d'hydrogène et d'oxygène (figure 2). Ce sont des chaînes carbonées dont une extrémité est un groupement acide carboxylique (Futura 2021; Walravens 2006).

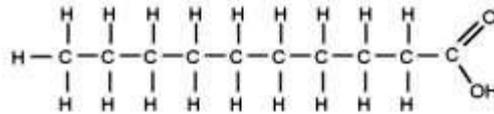


Figure 2: un acide gras (Futura 2021)

La chaîne linéaire est majoritairement rencontrée dans les huiles végétales alimentaires et la chaîne ramifiée dans les huiles et graisses d'origine animale. Les acides gras peuvent être saturés (pas de double liaisons), mono-insaturés (la chaîne carbonée contient une double-liaison) ou poly-insaturés (contenant plusieurs doubles-liaisons) (figure 3) (Futura 2021; Walravens 2006).

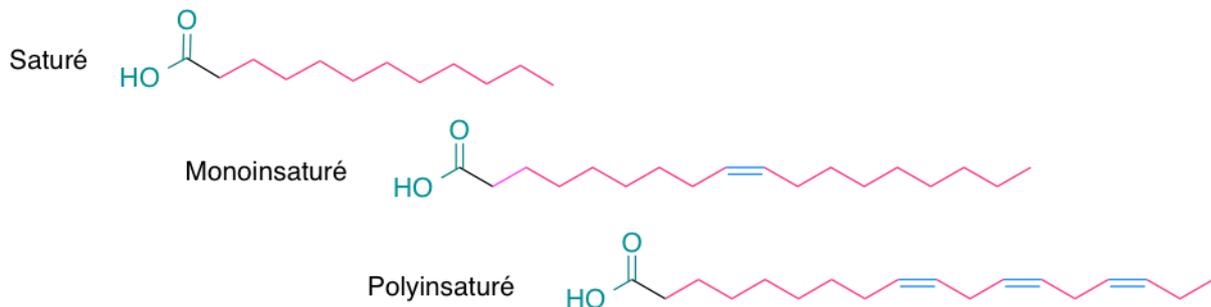


Figure 3: Acides gras saturé, mono insaturé et poly insaturé (Walravens 2006)

Les acides gras insaturés peuvent prendre 2 formes géométriques différentes, dites liaison « cis » ou « trans », ce qui leur confère des propriétés métaboliques différentes. La liaison « trans » donne une chaîne droite à l'acide gras, tandis que la liaison « cis » lui donne une chaîne courbée (figure 4) (Marchand 2010).

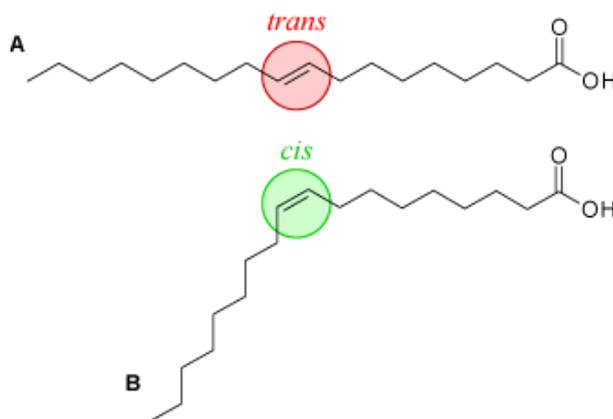


Figure 4: Acides gras trans et cis (Walravens 2006)

### Les acides gras trans

Les Acides gras trans (AGT) résultent de l'hydrogénation partielle des acides gras mono ou poly insaturés. C'est un phénomène chimique qui consiste à ajouter des atomes d'hydrogène à des acides gras insaturés cis, éliminant ainsi les doubles liaisons entre atomes de carbone et les rendant saturés (Marchand 2010)

Ils sont présents naturellement en petites quantités dans certains aliments, tels que les produits laitiers et la viande des ruminants (Boateng et al. 2016; Marchand 2010). On les retrouve aussi dans le lait maternel, en concentrations directement liées à la consommation alimentaire en acides gras trans de la mère (Marchand 2010).

La consommation des AGT industriels est étroitement associée à un risque accru de MCV (cardiopathie de 21% et le risque de décès de 28%), d'infertilité, d'endométriose, de calculs biliaires, de maladie d'Alzheimer, de diabète et de certains cancers (Boateng et al. 2016). L'absorption de seulement 5 g par jour de ces acides gras est associée à une hausse de 23% du risque de MCV. L'OMS estime que, chaque année, les apports en AGT industriels entraînent plus de 500 000 décès par MCV dans le monde (OMS 2018). Les groupes défavorisés sur le plan socio-économique sont les premiers consommateurs des AGT industriels, car les produits contenant des AGT industriels sont moins chers que les autres produits. L'une des cibles prioritaires de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est d'éliminer de l'alimentation les acides gras trans (AGT) industriels d'ici à 2023 partout dans le monde (OMS 2020; 2018).

### **Les acides gras essentiels**

Deux acides gras polyinsaturés sont dits "acides gras essentiels" parce qu'ils sont incapables d'être fabriqués par notre organisme. Ce sont les oméga 3 et oméga 6, ils doivent être apportés par l'alimentation. Ces acides gras essentiels jouent un rôle primordial dans l'organisme. Ils assurent le maintien du bon fonctionnement du cerveau, du système cardiovasculaire et du système immunitaire, et sont impliqués dans diverses fonctions. De ce fait, leur carence peut conduire à de graves anomalies physiologiques dont des retards de croissance, des troubles cutanés et rénaux, des anomalies fonctionnelles de reproduction.

## 1.2 L'Huile de palme

### Culture et origine

Originaire de l'Afrique de l'Ouest dans le golfe de Guinée, le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) a été exporté au cours des années en Amérique du Sud, au Sud-Est de l'Asie et dans le Pacifique Sud (CNUCED 2016; Mba, Dumont, et Ngadi 2015; Djohan 2017). Exclusivement cultivé dans les zones tropicales humides, le palmier à huile constitue une importante source de devises pour les économies locales, à la fois pour l'exportation et comme matière première pour l'industrie de transformation locale (Rival 2020; COMMODAFRICA 2018; CNUCED 2016; Djohan 2017). L'huile de palme extraite par pression à chaud de la pulpe ou mésocarpe des fruits du palmier à huile est de couleur rouge à l'état brute (figure 6). Cette couleur rouge est liée à sa richesse en caroténoïdes. Bien que l'huile de palme rouge soit reconnue pour ses bienfaits nutritionnels, sa richesse en vitamine E et en acide palmitique, les industriels lui préfèrent l'huile de palme désodorisée et décolorée (Mba, Dumont, et Ngadi 2015). Ce qui oblige à un raffinage qui aboutit à des produits dérivés tels que l'oléine de palme (fraction liquide riche en acide oléique) et la stéarine de palme (fraction solide riche en acide stéarique) (Dunford 2012; Lecerf 2013; Radhika et al. 2020).

L'oléine de palme et l'huile de palme rouge sont très utilisées dans les cuisines africaines, sud-américaines et asiatiques (COMMODAFRICA 2018; Boateng et al. 2016), tandis que la stéarine de palme est la plus utilisée dans les autres pays, (Mba, Dumont, et Ngadi 2015). En Côte d'Ivoire et dans certains pays d'Afrique, l'huile de palme rouge est produite de façon artisanale et autoconsommée (CNUCED 2016; Boateng et al. 2016). Les amandes de la graine de palmier à huile permettent d'obtenir l'huile de palmiste qui est principalement utilisée dans l'industrie chimique (CNUCED 2016).

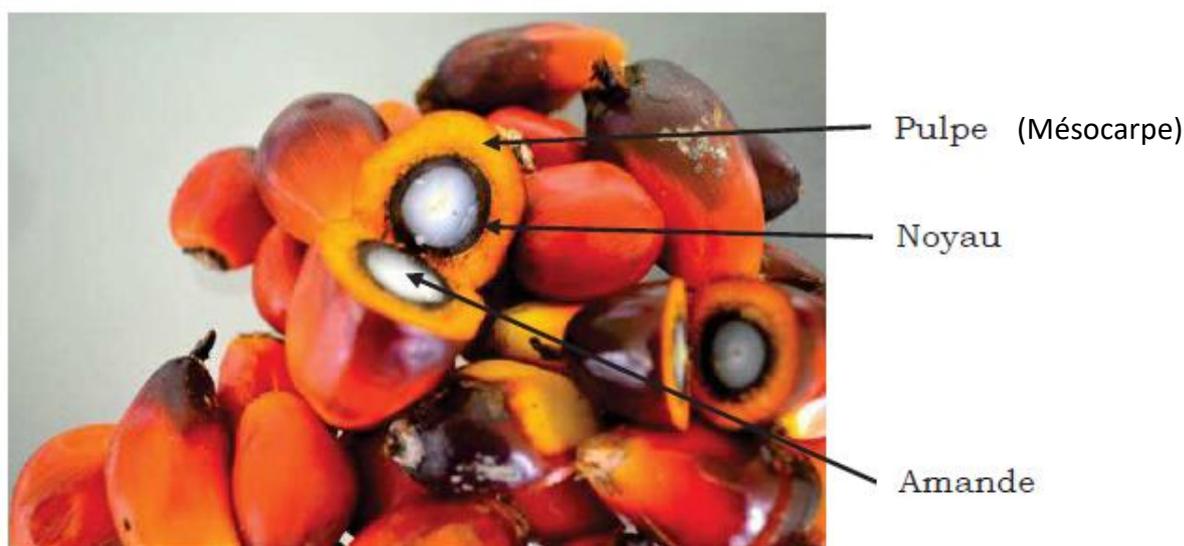


Figure 5: Fruits de palmier à huile (Djohan 2017)

### Production et consommation mondiale

Le palmier à huile est principalement cultivé pour ses huiles que sont l'huile de palme et l'huile de palmiste à usage alimentaire et industriel. La production mondiale d'huile de palme en 2020 est estimée à de 74,49 millions de tonnes (USDA 2021). Cette production est majoritairement assurée par deux pays (figure 6) : l'Indonésie avec 43,5 millions de tonnes et la Malaisie 19 millions de tonnes qui totalisent à eux seuls 84% de la production mondiale soit 62,5 millions de tonnes (Rival 2020; USDA 2021).

Le Nigeria est le premier producteur africain et cinquième mondial avec 1,28 millions de tonnes de production soit 40% de la production africaine et 2% de la production mondiale. La Côte d'Ivoire, quant à elle, a une production estimée en 2020 à 515 mille tonnes et est deuxième producteur en Afrique et onzième mondial, soit 17% de la production africaine et 1% de la production mondiale (COMMODAFRICA 2018; CNUCED 2016; Rival 2020; USDA 2021).

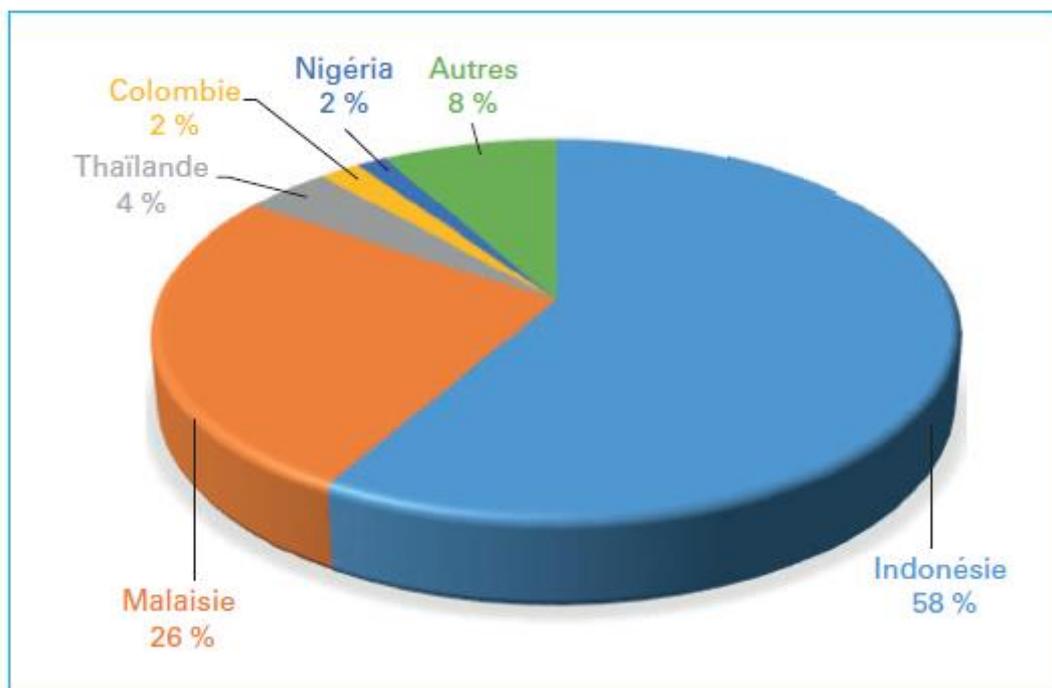


Figure 6: Répartition de la production mondiale d'huile de palme en 2020 (USDA 2021)

La consommation de l’huile de palme est dominée par les pays du Sud en pleine croissance démographique et économique (les pays émergents) telles que l’Indonésie, l’Inde et la Chine (figure 7) (Rival 2020).

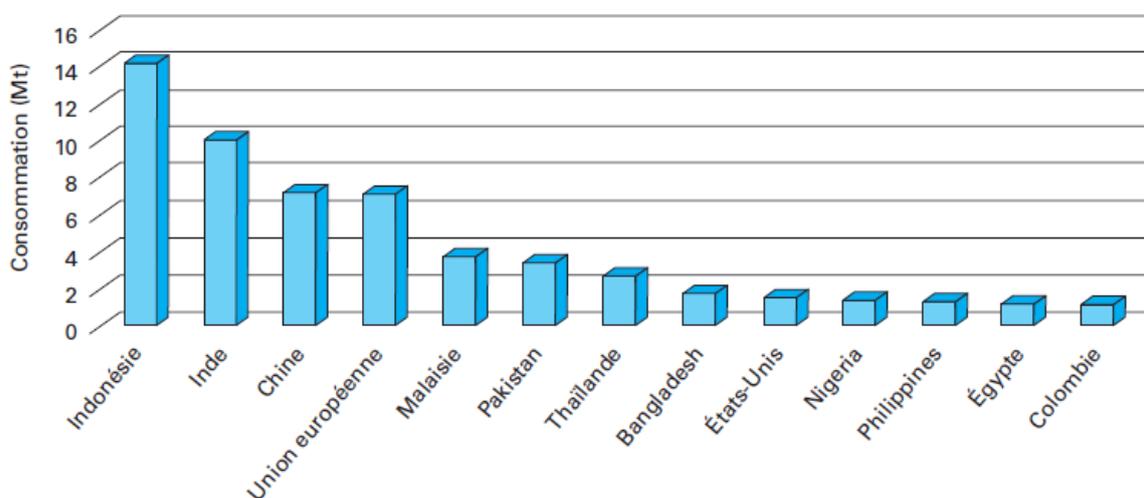


Figure 7: Répartition de la consommation mondiale d’huile de palme (Rival 2020)

L’évolution de la production et de la consommation d’huile de palme a suivi une expansion prévisible. En effet, la consommation globale en corps gras par habitant a plus que doublé entre 1975 et 2010, passant de 11 à 24,7 kg/an. La consommation mondiale par habitant devrait se stabiliser en 2050 à une consommation estimée à 27 kg; la demande étant portée principalement par la croissance démographique (figure 8). La production mondiale en huiles végétales devrait doubler d’ici à 2050, malgré les incertitudes liées à l’évolution de la consommation et sur le rôle futur joué par les biocarburants, qui reste étroitement lié aux cours du pétrole (Rival 2020).

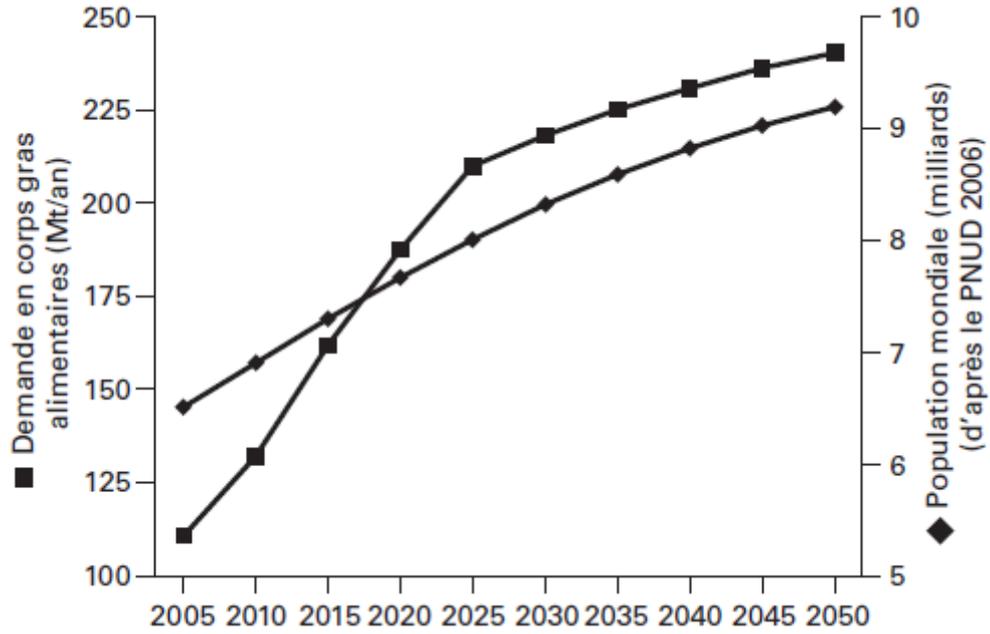


Figure 8: Évolution comparée de la population mondiale et de la demande en corps gras alimentaires (Rival 2020)

L'huile de palme, de par ses avantages comparatifs, est la première huile produite et consommée dans le monde (figure 9) (CNUCED 2016; Djohan 2017).

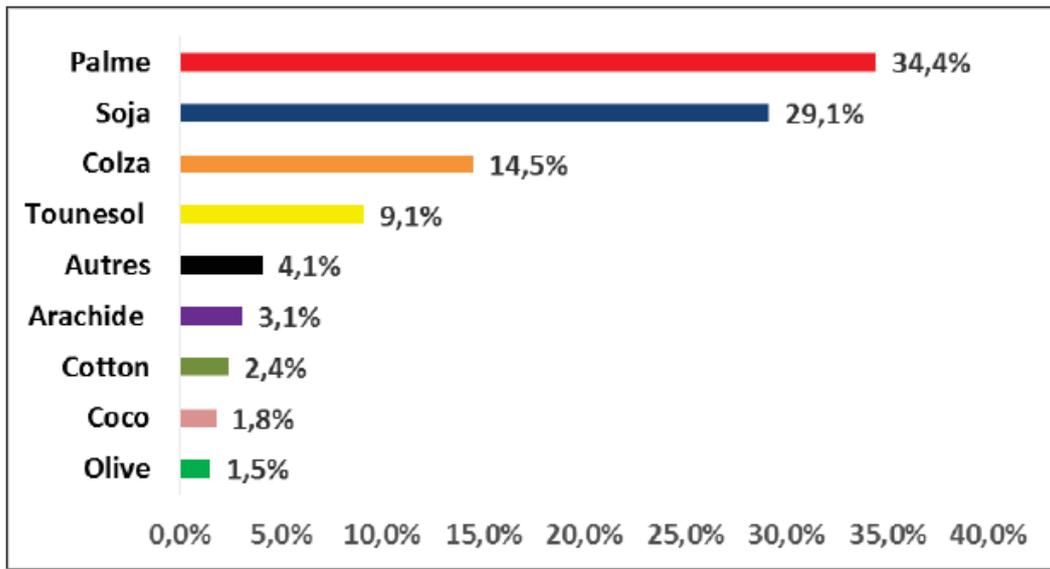


Figure 9: Production mondiale d'huiles végétales en 2017 (USDA, 2017)

### **Propriétés nutritionnelles**

Comme toute huile, l'huile de palme brute ou raffinée contient quasiment 100% de lipides (FONDS 2012; CNUCED 2016). L'huile de palme rouge tout comme l'oléine de palme contiennent pratiquement autant d'acides gras saturés que d'acides gras insaturés (Bonnewyn, Rousseau, et Nies 2013) . Elles contiennent à part égale des acides gras saturés (50%), avec principalement les acides palmitique et oléique, et des acides gras insaturés (40% AGMI et 10% AGPI) (CNUCED 2016).

L'huile de palme crue (brute ou rouge) est très riche en  $\alpha$ -,  $\beta$ - et  $\gamma$ -carotène, précurseur de la vitamine A qui prévient la cécité nocturne, facilite l'entretien des tissus et favorise la croissance. Dans les pays en développement comme la Côte d'Ivoire où la carence en vitamine A est un problème majeur chez les adultes et les enfants, l'utilisation en quantités modérées d'huile de palme dans l'alimentation est un moyen d'assurer un apport adéquat en vitamine A (Boateng et al. 2016).

L'huile de palme est riche en vitamines E (tocophérols et tocotriénols) qui agissent comme de puissants antioxydants la rendant relativement stable à l'oxydation. Elle contient aussi les phytostérols, le squalène, les composés phénoliques résumé dans le tableau 1 (Djohan 2017; Bonnewyn, Rousseau, et Nies 2013; Zagré et al. 2003; Loganathan et al. 2020). Quitte à perdre certaines de ses propriétés naturelles, le fort développement de l'utilisation de l'huile de palme raffinée pour la cuisson, les fritures et dans l'industrie de transformation s'explique par ses excellentes propriétés (stabilité à haute température de cuisson, résistance à l'oxydation, stabilité élevée dans le temps, etc.). C'est une alternative aux graisses trans, nuisibles pour la santé et aujourd'hui réglementées, voire interdites dans certains pays (OMS 2020; Marchand 2010).

Tableau 1: Les constituants mineurs d'une huile de palme brute (Djohan 2017)

	<b>Composés</b>	<b>(%)</b>	<b>Quantité (mg/kg)</b>
<b>Caroténoïdes</b>	$\alpha$ -carotène	36.2	
	$\beta$ - carotène	54.4	
	$\gamma$ -carotène	3.3	500 – 700
	Lycopène	3.8	
	Xanthophylles	2.2	
<b>Vitamine E</b>	$\alpha$ -tocophérol	28	
	$\alpha$ -tocotriénol	29	500 – 800
	$\gamma$ -tocotriénol	28	
	$\delta$ -tocotriénol	14	
<b>Stérols</b>	Cholestérol	4	
	Campestérol	21	~300
	Stigmastérols	21	
	$\beta$ -sitostérols	63	
<b>Phosphatides</b>	-	-	500 – 1000
<b>Alcools totaux</b>	Alcools triterpènes	80	~800
	Alcools aliphatiques	20	

### Utilisations

L'huile de palme peut se substituer à la plupart des autres huiles végétales et ses utilisations sont extrêmement variées (FONDS 2012; CNUCED 2016; Bonnewyn, Rousseau, et Nies 2013). Dans le monde, 80% de sa production est destinée à la consommation alimentaire (agroalimentaire), 10% pour l'oléochimie et autres industries et 10% pour le biodiesel. Cette répartition mondiale des usages de l'huile de palme diffère de celle enregistrée dans l'Union européenne (49% alimentaire, 18% oléochimie, 33% biocarburants) (Rival 2020).

Dans l'agroalimentaire, ses usages sont nombreux : plats cuisinés (fritures, sauces, soupes...), margarine, matière grasse pour la boulangerie et la pâtisserie, fabrication des aliments tels que biscuits, glaces, pâtes à tartiner, frites, chips, etc. (FONDS 2012; CNUCED 2016; Bonnewyn, Rousseau, et Nies 2013). Son faible coût, ses qualités de conservation, sa résistance à l'oxydation et son point de fusion supérieur à 35° C expliquent sa prédominance dans ce secteur. Elle ne contient quasiment pas d'acides gras trans, et ceci pourrait aussi expliquer la progression de son utilisation ces dernières années (CNUCED 2016; FONDS 2012).

Dans l'oléochimie, l'huile de palme et l'huile de palmiste sont utilisées dans les cosmétiques, les savonneries, les produits pharmaceutiques, les lubrifiants, les graisses et agents anticorrosifs, les bougies, le cuir, les surfactants, l'agro-chimie, les peintures et laques, les vernis l'électronique... (Rival 2020).

Dans les carburants, avec la canne à sucre, l'huile de palme est utilisée pour la fabrication du biodiesel, c'est l'une des cultures les plus rentables au plan énergétique (FONDS 2012; CNUCED 2016). La figure 10 nous présente les différentes utilisations de l'huile de palme et des autres produits dérivés des fruits du palmier à huile.

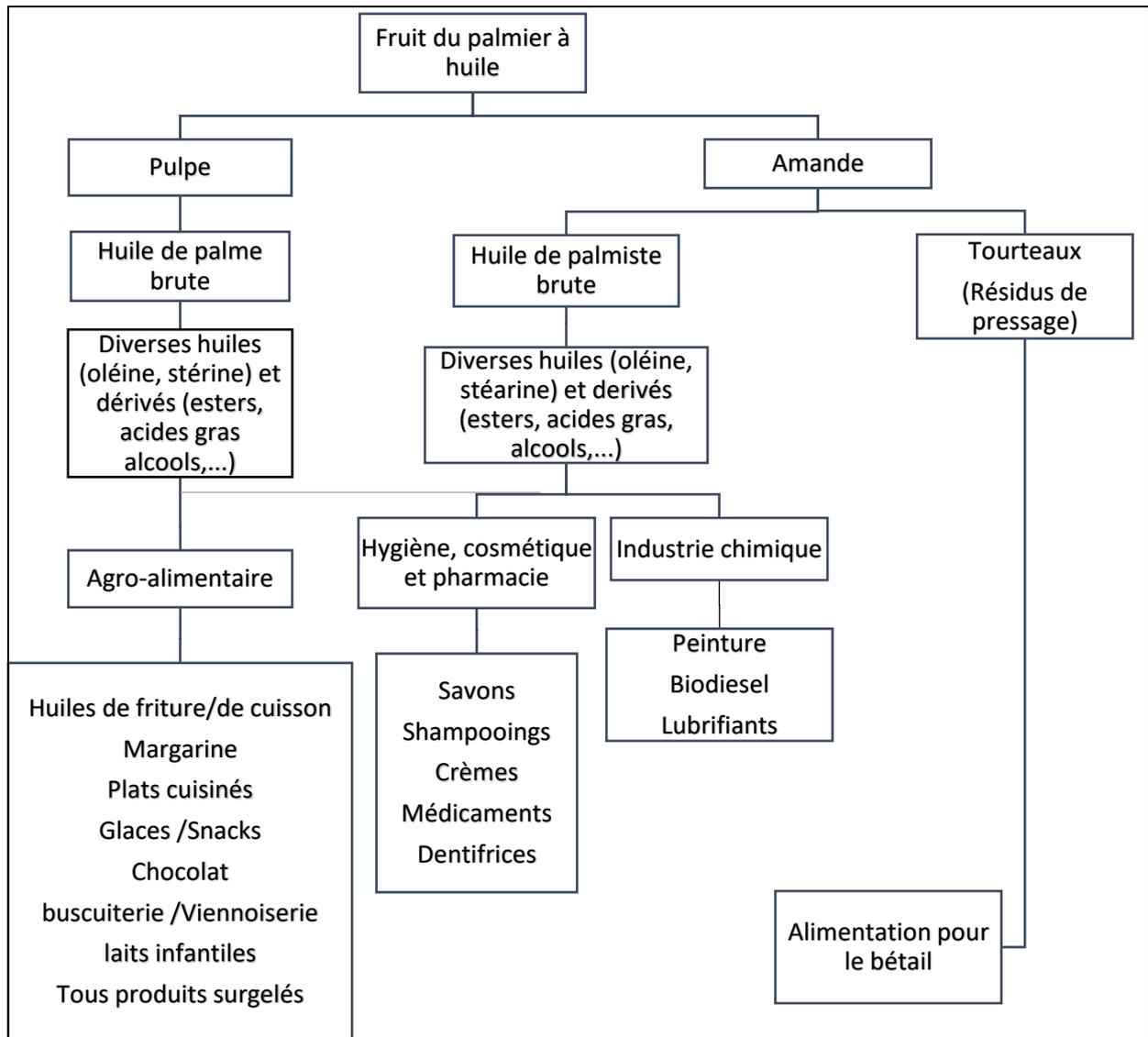


Figure 10: Principales utilisations de l'huile de palme (Djohan 2017)

## **Controverse et polémique autour de l'huile de palme**

L'huile de palme fait l'objet de controverses, elle est accusée d'être néfaste pour la santé, d'être à l'origine de la déforestation notamment en Indonésie et de porter atteinte à la biodiversité (FONDS 2012). Qu'en est-il réellement ?

Sur le plan de la santé, les acides gras saturés sont globalement hyper-cholestérolémiants chez l'Homme, leurs effets diffèrent selon la longueur de la chaîne. L'huile de palme, compte tenu de sa richesse en acides gras saturés (acide palmitique) élève le cholestérol LDL mais dans les mêmes proportions que des huiles moins riches en acides gras saturés et moindres que des huiles plus riches en acides gras saturés (copath) (FONDS 2012).

L'huile de palme élève aussi modestement le cholestérol HDL, plus que les huiles moins riches en acides gras saturés. Les composés mineurs (les tocotriénols) massivement présents dans l'huile de palme diminuent la synthèse endogène du cholestérol (FONDS 2012; Oguntibeju, Esterhuyse, et Truter 2009).

Selon Boateng, les acides gras saturés comme l'acide laurique et myristique (retrouvés uniquement à l'état de traces dans l'huile de palme) ont plus de potentiel pour augmenter les concentrations de cholestérol total et LDL que l'acide palmitique (trouvé en abondance dans l'huile de palme) (Boateng et al. 2016)

L'huile de palme ne contient aucun isomères d'acides gras trans-insaturés (Wattanapenpaiboon et Wahlqvist 2003). En effet, Sundram et al. en 2003 ont signalé que la consommation de l'huile de palme dans un régime faible en gras (<30% d'énergie) est efficace pour maintenir les niveaux souhaitables de cholestérol plasmatique et de lipoprotéine cholestérol (Sundram, Sambanthamurthi, et Tan 2003).

Selon Auffret (2019), les campagnes de diffamation et de dénigrement des huiles tropicales (huiles de palme et de coco) sont parties de la campagne anti-graisse saturée menée au Etats Unis vers la fin des années 1950 et s'est répandue au fil du temps dans tout le reste du monde.

Chong et Ng (1991) a noté que les campagnes anti-huile de palme (huile anti-tropicale) aux États-Unis ont été menées plus pour des gains économiques que pour de véritables préoccupations de la santé des Américains. Cette publicité négative est caractérisée par des pressions exercées sur tous les fronts, les industriels, les organismes gouvernementaux et les professionnels de la santé (y compris les nutritionnistes)

Le dénigrement des huiles tropicales (huiles de coco et de palme) pourrait contribuer à une insécurité alimentaire accrue si les populations sont obligées de consommer des huiles moins accessibles dites « plus saines » et à une diminution de la qualité de l'approvisionnement alimentaire. Cela entraînerait par la suite la faim dans les régions du monde en développement où il y a une pénurie d'énergie et de nutriments (Boateng et al. 2016).

### **Place de l'huile de palme en Côte d'Ivoire**

La Côte d'Ivoire est le deuxième pays africain producteur d'huile de palme après le Nigeria. Sa production en 2020 est estimée à 515 milles tonnes (USDA 2021). La filière du palmier à huile occupe une place très importante dans l'économie ivoirienne avec un chiffre d'affaires d'un peu plus de 500 milliards de F CFA en 2018 qui représente 3,13% du PIB ivoirien. La filière fait vivre plus de 2 millions de personnes avec 200 000 emplois réguliers (Tano et al. 2019).

Le palmier à huile est la deuxième culture d'exportation après le cacao (1 300 000 tonnes) (Tano et al. 2019). 45% de la production nationale d'oléagineux sont consommés localement et les 55% restant sont exportés vers les pays de l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) et CEDEAO (Communauté Economique Des Etats de l'Afrique de l'Ouest) qui reste largement déficitaire (Tano et al. 2019).

### 1.3 L'oxydation des lipides

L'oxydation des acides gras est une des causes importantes de la dégradation de la qualité sensorielle et nutritionnelle des lipides ou corps gras (Roman 2012; Jeuge et al. 2012). C'est un phénomène chimique spontané, évolutif, irréversible et altératif (Dridi 2016; Armelle 2004).

Tout corps gras liquide ou solide d'origine animale ou végétale en dehors de son environnement protecteur naturel subit des altérations au cours de son traitement, son stockage ou son utilisation (Jeuge et al. 2012; Roman 2012; Bouhadjra 2011; Zhang et al. 2019).

Ce phénomène d'oxydation lipidique a des conséquences néfastes sur la qualité des aliments. Il entraîne des pertes économiques et peut être cause de plusieurs pathologies par la production de toxines dangereuses pour la santé lorsqu'ils sont consommés pendant longtemps (Dridi 2016; Nizam et Mahmud 2021).

Sur le plan nutritionnel, l'oxydation des corps gras se traduit par l'apparition d'une saveur désagréable qualifiée de rance modifiant les caractéristiques sensorielles des aliments. Elle conduit également à la modification de la couleur, parfois de la texture ainsi qu'à des pertes de nutriments et de micronutriments essentiels (Roman 2012).

Sur le plan sanitaire, l'oxydation des lipides peut entraîner la formation de produits potentiellement toxiques (oxycholestérol, malnaldéhyde, endopéroxydes, acroléine, polymères de peroxydes, aldéhyde, cétone, ...) responsables du développement de plusieurs pathologies, tels que des désordres intestinaux chroniques, l'artériosclérose, l'athérogenèse, les maladies neurodégénératives et divers types de cancer (Dridi 2016; Roman 2012; Tavakoli et al. 2019).

Reconnue comme un problème majeur affectant les huiles comestibles au cours de leur production, stockage et consommation, l'oxydation des lipides, principalement des acides gras insaturés, est un enchaînement de réactions radicalaires qui se déroule en 3 étapes successives (initiale, propagation et terminaison) (Jeuge et al. 2012; Roman 2012; Dridi 2016; Bukola, Francis, et Patience 2015).

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer l'oxydation des lipides (figure 11).

- Les facteurs intrinsèques qui sont la composition en acide gras des lipides, la présence d'espèces pro-oxydantes (ions métalliques, enzymes) ou la présence d'antioxydants naturels (tocophérols) ;
- Les facteurs extrinsèques sont la température, la lumière, la pression partielle en oxygène, la présence de pro-oxydants exogènes ;

L'oxydation des lipides résulte de trois voies réactionnelles en fonction du milieu et des agents initiateurs (Bouhadjra 2011; Roman 2012) ;

- L'auto-oxydation catalysée par la température, les ions métalliques, les radicaux libres ;
- La photo-oxydation, essentiellement sous UV et en présence de sensibilisateurs, catalysée par l'oxygène ;
- L'oxydation enzymatique initiée par la lipoxygénase.

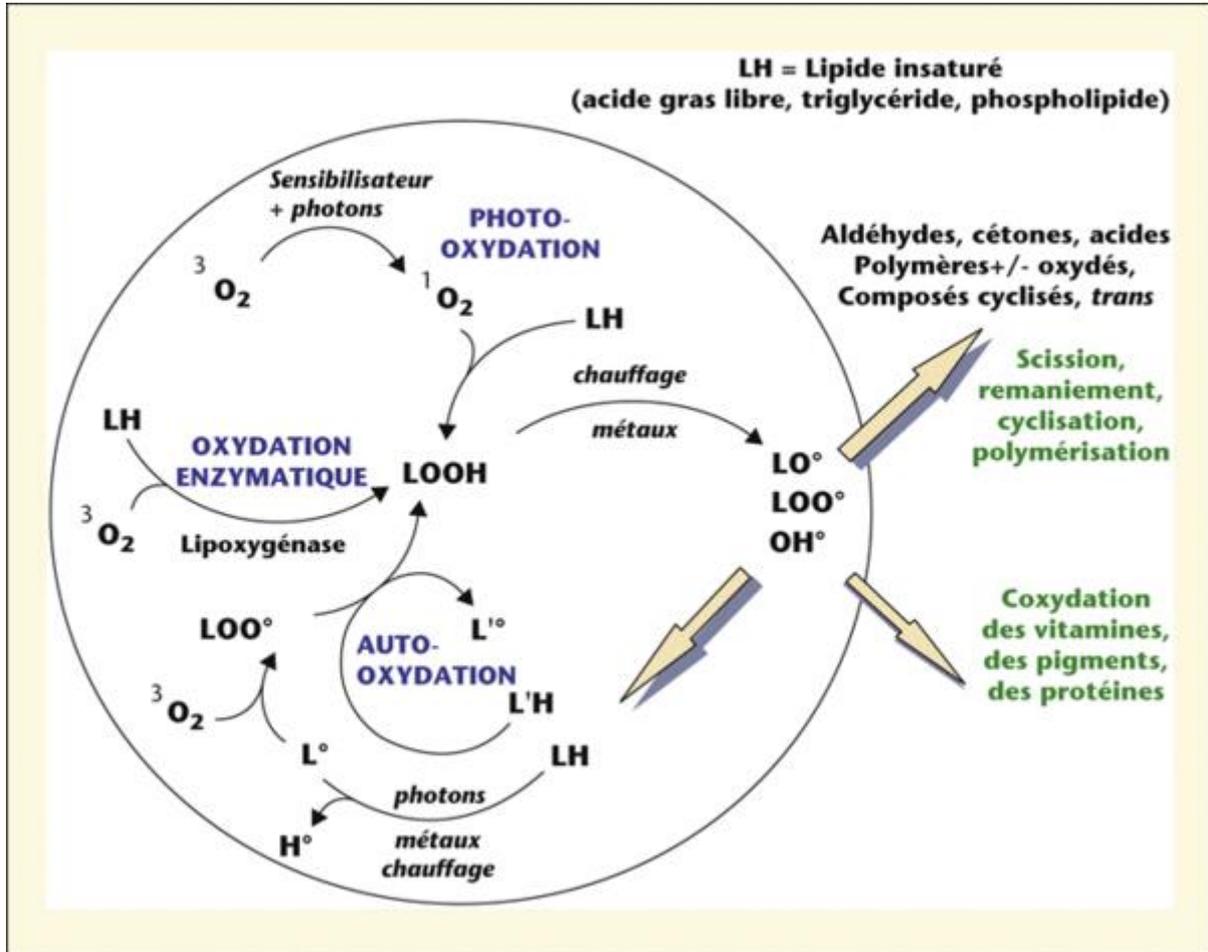


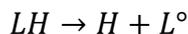
Figure 11: Schéma des réactions d'oxydation des lipides (d'après Berset et Cuvelier, 1996)

Ces voies réactionnelles aboutissent à la formation d'une même famille de composés appelés peroxydes plus précisément l'hydroperoxyde (LOOH), qui à température ambiante sont incolores et inodores. A haute température et en présence de métaux, ils se décomposent en des composés dont certains sont volatiles responsables de la rance et d'autres non volatiles (Roman 2012).

Les réactions d'oxydation sont une suite de réactions en chaîne qui aboutissent à l'accumulation d'hydroperoxyde (LOOH).

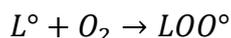
### - Initiation

En présence d'un initiateur (I), les acides gras insaturés (AGI) perdent un atome d'hydrogène pour former un radical lipidique libre (radical alkyle  $L^\circ$ ). Ces réactions sont spontanées, naturellement lentes dans les conditions douces.

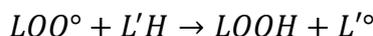


### - Propagation

Le radical alkyle  $L^\circ$  formé à la phase initiale très réactif va fixer rapidement une molécule d'oxygène, pour former un radical hydroperoxyde instable.



Ce nouveau radical arrache à son tour un hydrogène labile d'un deuxième acide gras pour former un hydroperoxyde non radicalaire plus stable, mais générant une nouvelle espèce radicalaire sur le deuxième acide gras.



Cette phase peut elle-même être décomposée en deux étapes séquentielles

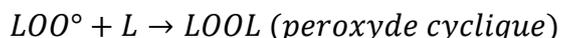
- La première étape correspond à l'apparition des peroxydes, composés primaires de l'oxydation, à partir des radicaux libres instables. La quantité de peroxydes formés peut être évaluée par la détermination de l'indice de peroxyde.
- La deuxième étape se traduit par l'évolution des hydroperoxydes en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

Elle se fait par deux voies principales

- La scission qui conduit à la libération de composés volatiles (chaînes carbonées courtes et moyennes), notamment aldéhydiques, responsables des flaveurs de rance, caractérisés par un seuil de détection très faible.
- Le remaniement qui fait suite à différents types de pontage intra- ou inter-acides gras ou suite à l'apparition de fonctions oxydées. À ce stade dit de rancissement, le goût rance est bien entendu perceptible qui peuvent être déterminé par l'indice d'anisidine

### - Terminaison

Pendant cette phase qui correspond aux derniers stades de l'oxydation, les espèces radicalaires réagissent entre elles pour donner des espèces non radicalaires, mettant ainsi fin aux cycles réactionnels.



### Aspect cinétique de l'oxydation des lipides

La vitesse de l'oxydation dépend premièrement de la nature de l'huile, de sa composition en acides gras particulièrement en AGPI, et de sa composition en composés mineurs pro-oxydants tels que des traces d'ions métalliques ou de pigments comme les chlorophylles (figure 12). Elle dépend aussi de la qualité initiale de l'huile, en particulier de sa concentration en hydroperoxydes, de la disponibilité d'oxygène, de la température etc. (Cuvelier et Maillard 2012; Dridi 2016; Zarazir et al. 2019).

Le temps de production de l'oxydation secondaire à partir de l'oxyde primaire (produits de dégradation des hydroperoxydes) varie d'une huile à l'autre (Radhika et al. 2020).

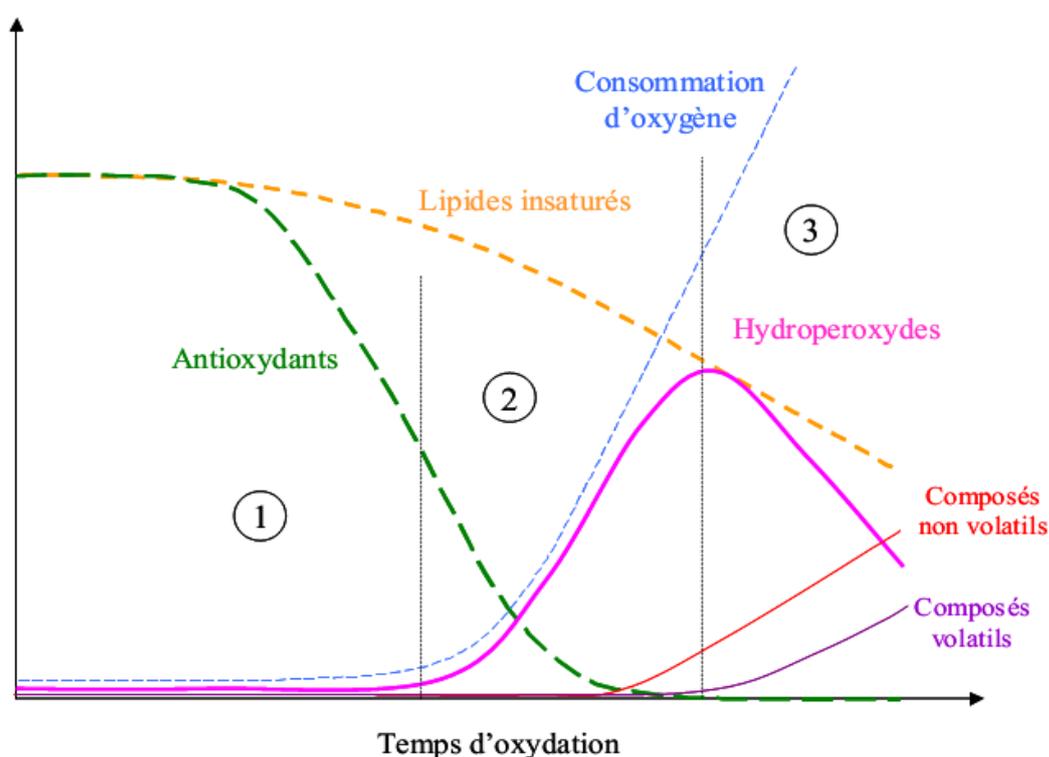


Figure 12: Cinétique des marqueurs de l'oxydation des lipides (Dridi 2016, Labuza, 1971)

L'évolution cinétique de l'oxydation des lipides se décrit en plusieurs étapes.

① La phase de latence ou d'initiation : pendant cette phase, on observe la disparition progressive des antioxydants, la formation de radicaux libres en quantités faibles par la réaction des acides gras insaturés avec l'oxygène. La durée de cette phase dépend de nombreux facteurs tels que la quantité d'antioxydants initialement présents dans la matrice, la présence de traces d'espèces pro-oxydantes ou de catalyseurs d'oxydation, l'état physique de la phase lipidique, etc.

② La phase de formation de produits primaires d'oxydation tels que les hydroperoxydes.

③ La phase de formation de produits secondaires par suite de la décomposition des hydroperoxydes, parmi lesquels les composés volatils de l'oxydation, qui sont responsables de la dégradation de l'odeur des aliments oxydés ou des acides qui participent au développement du goût de rance.

### Méthode d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles

L'état d'avancement de la réaction d'oxydation des lipides peut être mesuré par une grande variété de méthodes disponibles en fonction de l'information, de la précision recherchée et du substrat étudié (Dridi 2016). Les méthodes utilisées dans cette étude de l'oxydation lipidique sont basées sur des analyses physiques, chimiques, enzymatiques et thermiques.

Le tableau 2 présente les diverses méthodes et normes françaises ou internationales actuellement disponibles.

Tableau 2: Méthodes d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles (Cuvelier et Maillard 2012; Dridi 2016)

	Marqueurs d'oxydation	Méthodes
Produits	Niveau d'insaturation	Indice d'iode par mesure colorimétrique (Norme AFNOR NF EN ISO 3961)
	Acides gras	Chromatographie en phase gazeuse après méthanolyse des triglycérides (Norme AFNOR NF EN ISO 12966-2 et 5508)
	Acides gras libres	Indice d'acide par colorimétrie (Norme AFNOR NF EN ISO 660)
Produits primaires de l'oxydation	Diènes conjugués	Spectrophotométrie UV (Norme AFNOR NF EN ISO 3656)
	Peroxydes	Indice mesuré par iodométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 3960) ou potentiométrie (ISO 27107) ou AFNOR NF T 60-220
Produits secondaires de l'oxydation	Aldéhydes	Indice de para-Anisidine par spectrophotométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 6885) Test TBA (acide 2-thiobarbiturique) par spectrophotométrie
	Polymères	Chromatographie liquide haute performance d'exclusion (AFNOR NF EN ISO 16931) ou par viscosité
	Composés polaires	Chromatographie liquide d'absorption et gravimétrie (Norme AFNOR NF EN ISO 8420)
	Composés volatils	Chromatographie en phase gazeuse avec espace de tête (AOCS Recommended Practice Cg 1-83, 4-94)
	Rancidité	Analyse sensorielle avec juges experts (AOCS Recommended Practice Cg 2-83)
Produits d'oxydation total	Totox	Indice d'oxydation totale : déterminé par calcul (2 fois l'Indice de peroxyde + l'indice de para-Anisidine)

Dans le cadre de notre étude, nous avons évalué l'état d'oxydation des huiles à travers les mesures de :

- L'indice de peroxyde par iodométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 3960) ;
- L'indice de para-anisidine par spectrophotométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 6885) ;
- L'indice d'oxydation totale (Totox) qui, lui, est déterminé par calcul (2 fois l'Indice de Peroxyde + l'Indice de para-Anisidine).

### **L'Indice de Peroxyde**

L'indice de peroxyde (IP) représente l'état d'oxydation d'un corps gras au moment du dosage. L'oxydation des chaînes insaturées des lipides forme les peroxydes ou hydroperoxydes qui sont les produits de l'oxydation primaire. Ces composés sont labiles et se décomposent en composés plus stables (aldéhydes, cétones, acides...). De ce fait, l'indice de peroxyde évolue au cours du temps en passant par un maximum avant de décroître de telle sorte qu'un faible indice de peroxyde n'est pas un critère fiable de la mesure de l'oxydation (OLLIVIER, ARTAUD, et OLLIVIER 2015). Il est donc nécessaire de déterminer l'indice d'anisidine.

Par définition, l'indice de peroxyde est le nombre de microgrammes d'oxygène actif contenus dans un gramme de corps gras et susceptibles d'oxyder l'iodure de potassium.

Il peut être exprimé en:

- Microgrammes par gramme ( $\mu\text{g/g}$ ) ;
- Mole par kilogramme ( $\text{mol/kg}$ ) ;
- Milliéquivalent d'oxygène actif par kilogramme de matière grasse meq d' $\text{O}_2/\text{kg}$ .
- La relation entre les différentes expressions est

$$1 \text{ IP}(\mu\text{g/g}) = 1/16 \text{ IP} (\text{mmol/kg}) = 1/8 \text{ IP meq d}'\text{O}_2/\text{kg}$$

Les valeurs normales de l'indice de peroxyde sont :

- Pour les huiles raffinées jusqu'à 10 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile.
- Pour les huiles vierges et huiles pressées à froid jusqu'à 15 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile.

### **L'Indice d'Anisidine**

L'Indice d'Anisidine (IA) permet de déterminer la quantité de composés aldéhydiques (aldéhydes  $\alpha$  et  $\beta$  - insaturés) présents dans les corps gras. Les aldéhydes sont les produits de dégradation des peroxydes produits à la phase secondaire de l'oxydation, souvent caractérisée par une flaveur de rance. L'Indice d'anisidine est déterminé à partir de 0,5 g d'échantillon dans 25 ml de 2,2,4-triméthylpentane (isooctane), mesuré à une longueur d'onde de 350 nm après réaction à la p-anisidine dans les conditions spécifiées dans la norme ISO 6885.

Valeur normale : < 8 selon le CODEX STAN 210-1999 (Maszewska et al. 2018) et la fourchette de 4 selon le Codex Alimentarius spécifications standard pour l'huile de palme (Radhika et al. 2020)

### **L'indice d'oxydation totale**

L'indice TOTOX (Indice d'oxydation totale) est déterminé à partir des indices de peroxyde (IP) et d'anisidine. Ce paramètre est empirique et a l'avantage de donner l'état d'oxydation de la matière grasse et sa potentialité à évoluer vers de nouveaux produits d'oxydation. En général, une huile de qualité a une valeur TOTOX inférieure à 10 (Maszewska et al. 2018).

## **2 Matériels et méthodes**

### **2.1 Cadre de l'étude**

Cette étude s'est déroulée au service de contrôle des aliments du Laboratoire National de Santé publique de Côte d'Ivoire dans le cadre du stage conventionné de 5 mois du master en Nutrition Internationale de l'Université Senghor.

### **2.2 Type et période d'étude**

Il s'agit d'une étude d'expérimentation qui a consisté à :

- Exposer des huiles végétales comestibles dans certaines conditions (température, lumière et air) et à évaluer leur stabilité par la détermination des Indices de Peroxyde, d'Anisidine et de Totox tous les 21 jours sur trois mois ;
- Chauffer trois fois les huiles à différentes températures (100°C, 110°C et 120°C) pendant 10 minutes à chaque fois, et déterminer les indices de peroxyde, d'Anisidine et de Totox.

L'étude s'est déroulée sur les 5 mois correspondant à la durée de notre stage, du 3 mars au 3 août 2021.

### **2.3 Echantillons**

Nos échantillons sont constitués d'huile de palme brute et d'huile de palme raffinée. Il s'agit de l'huile de palme brute de la marque "LE PALMIER" conditionnée et commercialisée par la société SOCOFRAIS située dans les communes de Treichville (Zone 3 rue des Brasseurs) et Cocody (Angré Petro Ivoire), et de l'huile de palme raffinée de la marque "Aya" produite par la société SARCI SA (Société Africaine de Raffinage en Côte d'Ivoire) située à la zone industrielle de Yopougon.

Deux bouteilles de 1 L d'huile de palme brute "LE PALMIER" et deux bouteilles de 0,9 L d'huile de palme raffinée "Aya" ont été achetées. Les huiles ont été analysées dès leur arrivée au laboratoire pour déterminer leur qualité initiale.

#### **Conditions opératoires**

- Exposition à la température, à la lumière et à l'air pendant 3 mois

Les huiles de palme brute et raffinée ont été placées à deux températures différentes, à 24 °C (température du laboratoire) et à 8 °C (réfrigérateur) pour étudier l'effet des températures sur les échantillons d'huile pendant le temps de stockage.

Les huiles ont été mises dans des bouteilles transparentes et teintées et exposées de façon intermittente sous une alternance naturelle de lumière du jour et d'obscurité pour étudier l'influence de la lumière.

L'étude sur l'effet de l'air a été menée en gardant les bouchons de certaines bouteilles (hermétiquement fermées) et en ouvrant légèrement d'autres pour s'assurer de la libre circulation de l'air dans l'espace.

Nous avons huit (8) conditions différentes de stockage qui est la combinaison des 3 facteurs d'exposition (température, lumière et air). Chaque échantillon d'huile a été conditionné dans 8 bouteilles (4 transparentes et 4 teintées).

Au total, ce sont 32 bouteilles d'huile de palme brute et 32 bouteilles d'huile de palme raffinée, soit 64 échantillons au final.

Les huiles ont été analysées tous les 21 jours pendant 3 mois pour déterminer l'effet des facteurs température, lumière et air sur l'évolution de l'oxydation dans le temps.

Ces conditions qui simulent les paramètres d'exposition domestique sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3: Conditions d'exposition des échantillons à la température, à l'air et à la lumière

Conditions de stockage			
Echantillons	Température	Air	Lumière
(a)	8°C	Bouteille Fermée	Bouteille Teintée
(b)			Bouteille Transparente
(c)		Bouteille Ouverte	Bouteille Teintée
(d)			Bouteille Transparente
(e)	24° C	Bouteille Fermée	Bouteille Teintée
(f)			Bouteille Transparente
(g)		Bouteille Ouverte	Bouteille Teintée
(h)			Bouteille Transparente

- Exposition aux températures de chauffage prolongé et répété

Une étude de températures croissantes de chauffage a été réalisée sur les 2 types d'huile à 100°C, 110°C et 120°C pour apprécier les variations de l'oxydation des huiles.

Les huiles ont été chauffées trois (3) fois aux mêmes températures 100°C, 110°C et 120°C pendant 10 min et testées après chaque chauffage pour apprécier les valeurs des indices d'oxydation (Indice de peroxyde, Indice d'Anisidine et Indice Totox).

## 2.4 Echantillonnage

Deux bouteilles de 1 L d'huile de palme brute "LE PALMIER" et deux bouteilles de 0,9 L d'huile de palme raffinée "Aya" ont été achetées. Les huiles ont été analysées dès leur arrivée au laboratoire pour déterminer leur qualité initiale.

### **Exposition à la température, à la lumière et à l'air pendant 3 mois**

Pour cette exposition, nous avons utilisé une bouteille de 1L d'huile de palme brute et une bouteille de 0,9L d'huile de palme raffinée que nous avons renversé dans 64 bouteilles cassables vides propres et stériles que nous avons achetées sur le marché. Les 64 bouteilles avaient un volume de 100 ml chacune et étaient constituées de 32 bouteilles transparentes et 32 teintées.

Les bouteilles teintées et transparentes nous ont permis de reconditionner en nombre égal l'huile de palme brute et raffinée. Les bouteilles teintées ont été par la suite recouvertes par du papier alu.

Un volume de 50 ml des deux types d'huiles a été répartie équitablement dans 32 bouteilles dont 16 teintées et 16 transparentes et sont restées ouvertes pendant le temps de stockage avant les différents tests. Les autres 32 bouteilles restantes ont été bien remplies en nombre égal par les deux huiles, recouvertes de paraffine et bien fermées afin d'empêcher la circulation de l'air.

Ensuite les bouteilles ont été stockées à différentes températures, 32 bouteilles à 8°C et les 32 autres à la température de laboratoire qui était à 24°C.

Et enfin les différents tests ont été effectués tous les 21 jours pendant 3 mois sur 8 échantillons d'huile de palme raffinée et 8 échantillons d'huile de palme brute.

Les 8 échantillons testés étaient constitués comme suit

- ✓ Échantillons (a) : bouteille fermée, teintée stockée à 8°C
- ✓ Échantillons (b) : bouteille fermée, transparente stockée à 8°C
- ✓ Échantillons (c) : bouteille ouverte, teintée stockée à 8°C
- ✓ Échantillons (d) : bouteille ouverte, transparente stockée à 8°C
- ✓ Échantillons (e) : bouteille fermée, teintée stockée à 24°C
- ✓ Échantillons (f) : bouteille fermée, transparente stockée à 24°C
- ✓ Échantillons (g) : bouteille ouverte Teintée stockée à 24°C
- ✓ Échantillons (h) : bouteille ouverte transparente stockée à 24°C

## **Exposition aux températures de chauffages**

Une bouteille de chacune des huiles restant est divisée en trois (3) chacune pour constituer les échantillons des différentes huiles chauffées aux trois températures 100°C, 110°C et 120°C.

Les échantillons ont été chauffés dans une casserole sur une plaque chauffante programmée aux différentes températures pendant 10 minutes et renversé ensuite dans sa bouteille après refroidissement pour les tests.

Les échantillons ont été réchauffés après une semaine et testés à nouveau et cela à trois (3) reprises.

## **2.5 Méthode d'évaluation de l'oxydation des huiles**

### **Détermination de l'indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde est déterminé selon la norme AFNOR NF EN ISO 3960:2017 dont le principe est de traiter les corps en solution dans de l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium. On titre ensuite l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'indicateur coloré (empois d'amidon).

Le résultat exprimé en milliéquivalent d'oxygène active /Kg est déterminé par la formule suivante

$$IP = (V_1 - V_0) * \frac{T}{m} * 1000 \quad \text{Avec}$$

V1 Volume en mL de la solution de thiosulfate de sodium pour l'essai ;

V0 Volume en mL de la solution de thiosulfate de sodium pour le blanc ;

T Normalité exacte de la solution titrée de thiosulfate de sodium ;

M Masse en gramme de la prise d'essai.

### **Valeur normale**

Huiles raffinées : jusqu'à 10 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile

Huiles vierges et huiles pressées à froid : jusqu'à 15 milliéquivalents d'oxygène actif/kg d'huile.

### **Détermination de l'indice d'anisidine**

La méthode de détermination de l'indice d'anisidine spécifiée par la norme Internationale ISO 6885:2016(F) correspond à la mesure de la quantité d'aldéhydes (principalement des aldéhydes  $\alpha$ ,  $\beta$  insaturés) présents dans les corps gras d'origine animale et végétale.

Le principe consiste en la préparation d'une solution d'essai dans l'isooctane (2,2,4-triméthylpentane) qu'on fait réagir avec une solution de p-anisidine dans l'acide acétique et on mesure l'absorbance à 350 nm.

Le calcul de l'indice d'anisidine se fait à travers cette formule

$$AV = \frac{100 \cdot QV}{m} [1,2(A1 - A2 - A0)] \quad \text{Avec :}$$

- V le volume dans lequel l'échantillon pour essai est dissous, en millilitres (V = 25 ml);
- m la masse de la prise d'essai, en grammes;
- Q la teneur en échantillon de la solution mesurée sur la base de laquelle l'indice d'anisidine est exprimé, en grammes par millilitre (Q = 0,01 g/ml);
- A0 l'absorbance de la solution d'essai non soumise à réaction;
- A1 l'absorbance de la solution soumise à réaction;
- A2 l'absorbance de l'essai à blanc;
- 1,2 le facteur de correction pour la dilution de la solution d'essai avec 1 ml de réactif ou d'acide acétique glacial.

### **L'indice d'oxydation total (Indice Totox)**

Cet indice qui représente l'ensemble des produits de l'oxydation total c'est à dire les produits de l'oxydation primaire et de l'oxydation secondaire est déterminé par calcul selon cette formule :

$$TV = (2 * PV) + AV \quad \text{Avec}$$

- TV Indice Totox ;
- PV Indice de Peroxydes ;
- AV Indice d'Anisidine.

## **2.6 Assurance qualité**

Nous avons recouru à des méthodes normalisées qui ont été réalisées sur des équipements qualifiés en vue de garantir la fiabilité des résultats.

## **2.7 Traitement et analyse des données**

Les résultats, exprimés en moyenne  $\pm$  Ecart-type (n=3) ont été saisis et calculés sur Excel. Le logiciel Excel a aussi servi pour la mise en forme des tableaux et la réalisation des figures. L'ANOVA avec le test NIH NIAID Stats Calc. a été appliqué pour évaluer les différences entre les types d'huiles dans les mêmes conditions de stockage, au même temps et aux mêmes températures de chauffage. Les résultats ont été considérés comme statistiquement significatifs lorsque  $p < 0,05$ .

### 3 Résultats

#### 3.1 Résultats des tests initiaux

Des tests ont été réalisés dès la réception des échantillons pour déterminer leur qualité initiale, comme présentés au tableau 4.

Tableau 4: Résultat des tests initiaux des échantillons soumis à notre étude

N°	Echantillons	Taux d'humidité (TH)	Indice de peroxyde (IP)	Indice d'Anisidine (IA)	Indice d'Oxydation totale (Totox)
1	Echantillon 1	0,18 ± 0,01	3,00 ± 0,12	0,19 ± 0,08	6,19 ± 0,25
	Huile de palme Raffinée (RA 1)				
2	Echantillon 2	0,14 ± 0,12	3,50 ± 0,14	0,93 ± 0,01	7,93 ± 0,31
	Huile de palme Raffinée (RA 2)				
3	Echantillon 1	0,36 ± 0,09	2,50 ± 0,5	2,66 ± 0,03	7,65 ± 0,3
	Huile de palme brute (RO 1)				
4	Echantillon 2	0,42 ± 0,11	2,50 ± 0,3	2,14 ± 0,6	7,14 ± 0,28
	Huile de palme brute (RO 2)				
	<b>Norme OMS/FAO</b>	<b>&lt; 0,2 %</b>	<b>&lt; 10 / &lt; 15</b>	<b>4 / 8</b>	<b>&lt; 10</b>

Le taux d'humidité des échantillons d'huile de palme brute était supérieur à la norme recommandée par l'OMS. Les Indices de peroxyde, d'anisidine et de l'oxydation totale étaient dans les normes de recommandation de l'OMS/FAO.

### 3.2 Résultats de l'exposition à la température, à l'air et à la lumière pendant 3 mois

Tableau 5: Indices de peroxyde, d'anisidine et Totox des huiles de palme raffinée et brute après exposition à l'air à la température et à la lumière pendant 3 mois

Echantillon	Paramètre	Temps	(a) 8°C,	(b) 8°C,	(c) 8°C,	(d) 8°C,	(e) 24°C,	(f) 24°C,	(g) 24°C,	(h) 24°C,
			Fermé, Teinté	Fermé, Transparent	Ouvert, Teinté	Ouvert, Transparent	Fermé, Teinté	Fermé, Transparent	Ouvert, Teinté	Ouvert, Transparent
Indice de peroxyde		T0	<b>3,00 ± 0,12 *</b>	<b>3,00 ± 0,12 *</b>	<b>3,00 ± 0,12*</b>	<b>3,00 ± 0,12*</b>	<b>3,00 ± 0,12 *</b>	<b>3,00 ± 0,12 *</b>	<b>3,00 ± 0,12 *</b>	<b>3,00 ± 0,12 *</b>
		T 1	2,99 ± 0,10 *	3,99 ± 0,13	4,99 ± 0,20	4,49 ± 0,18 *	3,50 ± 0,12	4,00 ± 0,13	5,99 ± 0,25	12,98 ± 0,18 *
		T 2	3,00 ± 0,12	4,50 ± 0,15	5,00 ± 0,26 *	5,50 ± 0,19 *	3,50 ± 0,12	4,00 ± 0,13 *	6,50 ± 0,24	12,00 ± 0,10
		T 3	3,00 ± 0,12	4,00 ± 0,13 *	6,00 ± 0,23	6,50 ± 0,24 *	3,50 ± 0,12	4,00 ± 0,13 *	7,50 ± 0,30	13,00 ± 0,18
		T 4	3,00 ± 0,12	4,00 ± 0,14 *	6,05 ± 0,23 *	6,55 ± 0,24	3,30 ± 0,12	4,00 ± 0,13 *	8,50 ± 0,30	13,5 ± 0,25
Indice d'Anisidine		T0	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>	<b>0,19 ± 0,08</b>
		T 1	0,39 ± 0,01	0,59 ± 0,06	1,65 ± 0,01	1,15 ± 0,00	0,65 ± 0,07	1,63 ± 0,10	2,36 ± 0,03	3,57 ± 0,04
		T 2	0,50 ± 0,05	0,62 ± 0,05	1,80 ± 0,10	1,50 ± 0,09	0,67 ± 0,10	1,98 ± 0,11	2,90 ± 0,18	3,60 ± 0,2
		T 3	0,34 ± 0,07	1,37 ± 0,15	1,83 ± 0,18	1,61 ± 0,10	0,69 ± 0,18	2,08 ± 0,18	3,83 ± 0,3	4,27 ± 0,18
		T 4	0,37 ± 0,15	1,40 ± 0,10	2,50 ± 0,35	1,80 ± 0,10	0,75 ± 0,30	2,20 ± 0,20	4,00 ± 0,18	4,52 ± 0,24
Indice Totox		T0	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>	<b>6,19 ± 0,25</b>
		T 1	6,37 ± 0,17	8,57 ± 0,11 *	11,63 ± 0,10	10,13 ± 0,15 *	7,65 ± 0,20	9,63 ± 0,30	14,34 ± 0,15	29,53 ± 0,30
		T 2	6,5 ± 0,15	9,62 ± 0,28	11,8 ± 0,15	12,5 ± 0,11	7,67 ± 0,18	9,98 ± 0,11	15,90 ± 0,18	27,60 ± 0,30
		T 3	6,34 ± 0,11	7,37 ± 0,30	13,83 ± 0,30	14,61 ± 0,30	7,69 ± 0,30	10,08 ± 0,17	18,83 ± 0,30	30,27 ± 0,11
		T 4	6,3 ± 0,30	9,4 ± 0,40	14,6 ± 0,30	16,8 ± 0,18	7,75 ± 0,30	10,2 ± 0,30	21,00 ± 0,11	31,52 ± 0,20

Huile brute	Indice de peroxyde	T0	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *	2,50 ± 0,50 *
		T1	3,00 ± 0,18 *	3,00 ± 0,30	2,99 ± 0,30	4,00 ± 0,30 *	3,00 ± 0,18	4,49 ± 0,17	8,99 ± 0,30	13,50 ± 0,30 *
		T2	3,50 ± 0,11	4,00 ± 0,17	5,50 ± 0,15 *	6,50 ± 0,60 *	4,00 ± 0,20	4,50 ± 0,50 *	9,00 ± 0,30	15,99 ± 0,18
		T3	3,50 ± 0,13	4,00 ± 0,30 *	6,50 ± 0,17	7,50 ± 0,50 *	5,50 ± 0,30	4,00 ± 0,16 *	9,50 ± 0,30	15,00 ± 0,18
		T4	3,50 ± 0,15	4,00 ± 0,18 *	7,00 ± 0,50 *	7,65 ± 0,50	5,80 ± 0,17	4,03 ± 0,30 *	9,89 ± 0,18	16,35 ± 0,50
	Indice d'Anisidine	T0	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03	2,66 ± 0,03
		T1	2,31 ± 0,10	2,52 ± 0,09	2,82 ± 0,18	2,45 ± 0,11	4,67 ± 0,08	4,95 ± 0,15	4,82 ± 0,04	4,34 ± 0,15
		T2	2,40 ± 0,10	2,60 ± 0,10	2,95 ± 0,12	3,60 ± 0,10	4,78 ± 0,05	5,38 ± 0,05	5,00 ± 0,09	4,50 ± 0,15
		T3	2,07 ± 0,03	2,65 ± 0,10	3,04 ± 0,21	4,07 ± 0,13	4,93 ± 0,10	5,59 ± 0,10	5,30 ± 0,10	5,08 ± 0,17
		T4	2,09 ± 0,05	2,76 ± 0,12	3,25 ± 0,05	4,19 ± 0,18	5,00 ± 0,17	6,08 ± 0,14	5,67 ± 0,10	5,40 ± 0,08
	Indice Totox	T0	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30	7,65 ± 0,30
		T1	8,31 ± 0,10	8,52 ± 0,34 *	8,80 ± 0,18	10,45 ± 0,18 *	10,67 ± 0,15	13,93 ± 0,18	22,80 ± 0,20	31,34 ± 0,18
		T2	9,40 ± 0,40	10,6 ± 0,18	13,95 ± 0,10	16,6 ± 0,20	12,78 ± 0,18	14,38 ± 0,30	23,00 ± 0,30	34,50 ± 0,30
		T3	9,07 ± 0,30	10,65 ± 0,22	16,04 ± 0,18	19,07 ± 0,18	15,93 ± 0,18	13,59 ± 0,25	24,3 ± 0,30	37,06 ± 0,18
		T4	9,09 ± 0,15	10,76 ± 0,28	17,25 ± 0,34	19,49 ± 0,3	16,60 ± 0,20	14,14 ± 0,18	25,45 ± 0,18	38,10 ± 0,22

Les valeurs sont la moyenne ± SD (n=3); Les données ont été mesurées par une analyse de variance à un facteur (ANOVA) avec le test NIH NIAID Stats Calc. Les différents signes "\*" indiquent des différences significatives (p<0,05) entre les deux types d'huiles au même moment dans les mêmes conditions de stockage.

Les huiles conservées à 24°C et exposés à la lumière se dégradent plus rapidement que celle des huiles stockées à basse température (8°C) et gardés à l'abri de la lumière. Contrairement à l'Indice de Peroxyde, les conditions de stockage ont montré un effet minimal sur l'Indice d'Anisidine de l'huile de palme brute même après 3 mois de stockage. La valeur TOTOX est mesurée pour déterminer la corrélation entre oxydation primaire (IP) et oxydation secondaire (IA).

Le TOTOX a affiché une tendance similaire à celle de l'Indice de Peroxyde, ce qui reflète que l'oxydation primaire est prédominante sur l'oxydation secondaire.

### 3.3 Résultats de l'exposition aux températures de chauffage

#### Indice de peroxyde

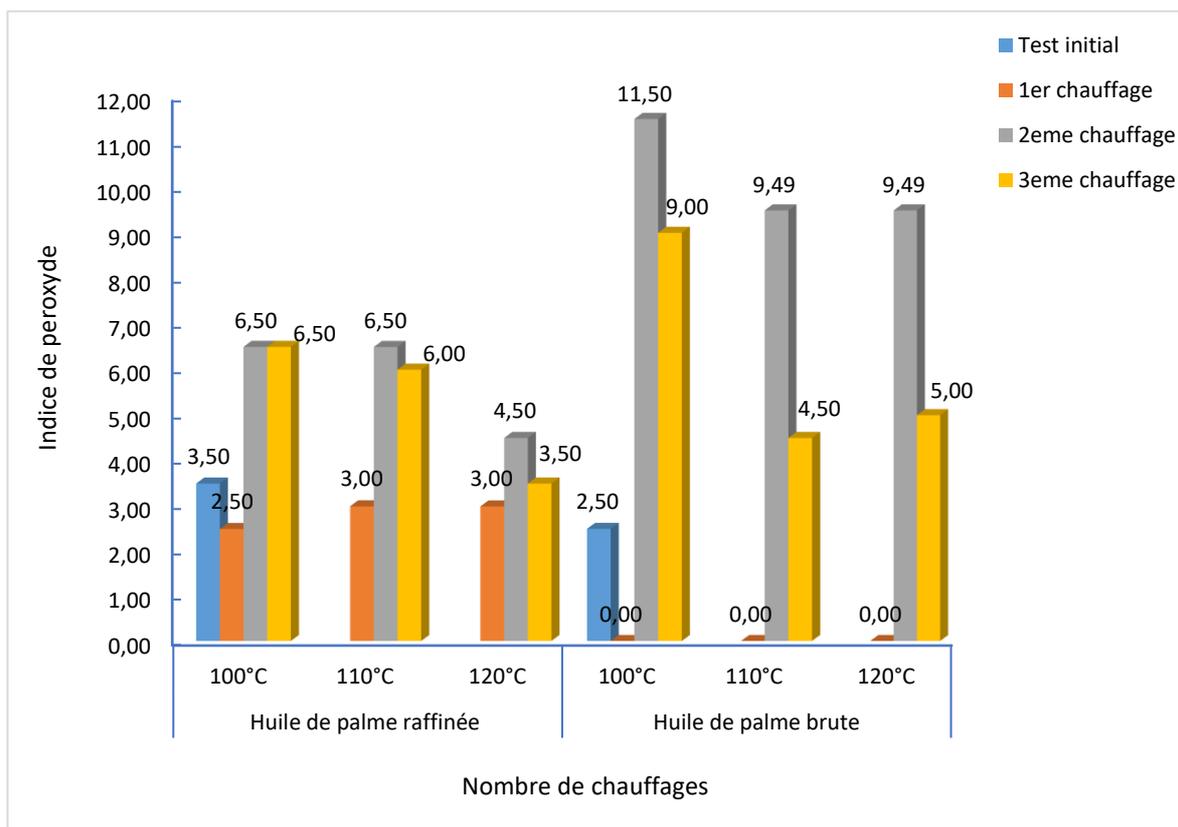


Figure 13: Evolution de l'indice de peroxyde dans les huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages

Les différents signes "\*" indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les deux types d'huiles à la même température et au même nombre de chauffage.

La température est un des principaux facteurs favorisant l'oxydation de l'huile, l'indice de peroxyde permet de déterminer les produits de l'oxydation primaire. Les chauffages à 100°C de l'huile de palme brute montrent une évolution supérieure aux autres températures de chauffage.

## Indice d'Anisidine

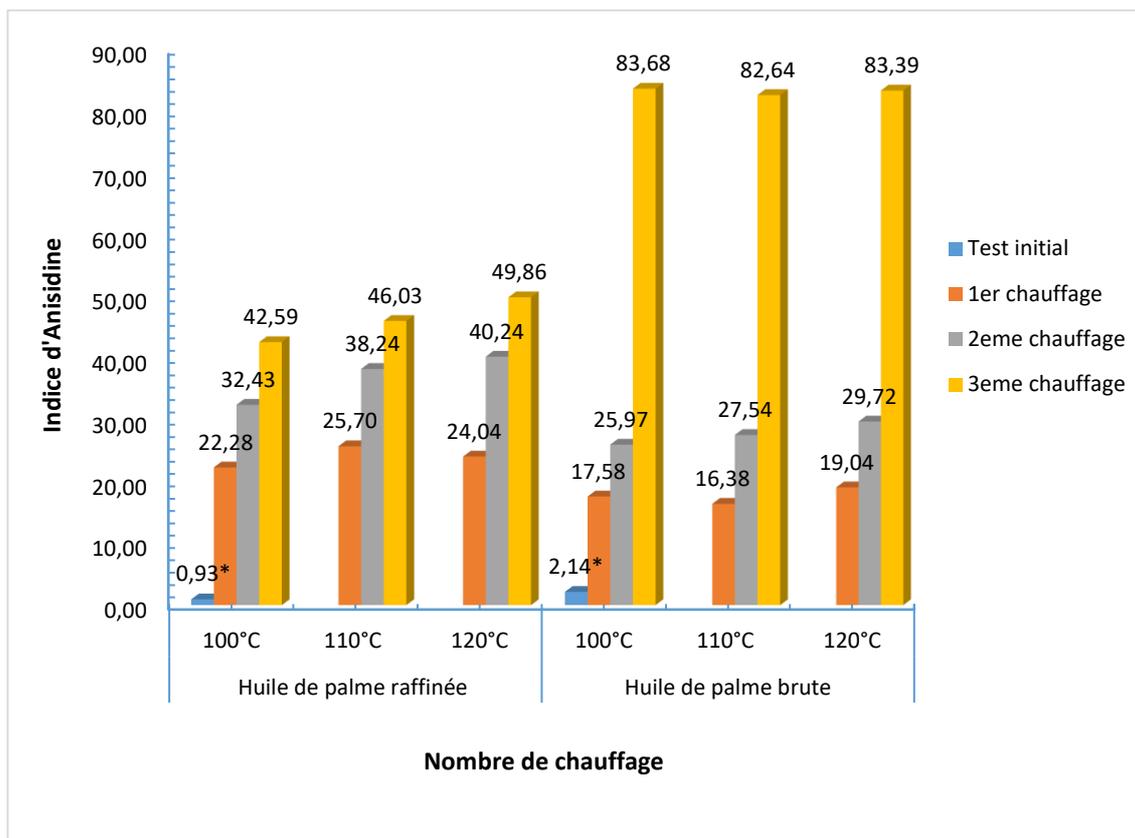


Figure 14: Evolution de l'indice d'anisidine dans les huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages

Les différents signes "\*" indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les deux types d'huiles à la même température et au même nombre de chauffage.

L'Indice d'Anisidine permet de déterminer les aldéhydes, produit de dégradation des peroxydes (phase secondaire de l'oxydation). Le dosage de l'Indice d'Anisidine après les chauffages montre une évolution croissante entre les différents chauffages et les différentes températures de chauffage.

**L'Indice de l'oxydation total (Totox)**

Tableau 6: Indice d'oxydation total des huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages

Température	Huile de palme raffinée			Huile de palme brute		
	100°C	110°C	120°C	100°C	110°C	120°C
<b>Test initial</b>	7,93 ± 0,31	7,93 ± 0,31	7,93 ± 0,31	7,14 ± 0,28	7,14 ± 0,28	7,14 ± 0,28
<b>1er chauffage</b>	27,27 ± 0,17	31,70 ± 0,17	30,03 ± 0,18	17,58 ± 0,19	16,38 ± 0,15	19,04 ± 0,21
<b>2eme chauffage</b>	45,43 ± 0,15	49,27 ± 0,34	49,23 ± 0,28*	57,62 ± 0,28	46,53 ± 0,31	48,70 ± 0,25*
<b>3eme chauffage</b>	55,59 ± 0,28	58,03 ± 0,25	56,85 ± 0,30	101,68 ± 0,20	91,64 ± 0,25	93,38 ± 0,11

*Les valeurs sont la moyenne ± SD (n=3); Les données ont été mesurées par une analyse de variance à un facteur (ANOVA) avec le test NIH NIAID Stats Calc. Les différents signes "\*" indiquent des différences significatives (p<0,05) entre les deux types d'huiles à la même température et au même nombre de chauffage.*

La valeur du Totox a évolué au même rythme que l'indice d'anisidine, ce qui traduit que l'oxydation secondaire est prédominante sur l'oxydation primaire.

## 4 Discussion

### 4.1 Qualité initiale des huiles

La teneur en humidité des huiles déterminée à leur réception varie de 0,18 à 0,46. Cette teneur est sensiblement égale à celle obtenue par Negash et al. (2019) qui ont trouvé une teneur en humidité variant entre 0,05 et 0,3. Ceci montre que le rancissement est susceptible de se produire surtout pour les huiles de palme brute car la teneur maximale en humidité autorisée dans les huiles alimentaires est de 0,2 % (AUSTRALIAN 2020).

La teneur en humidité plus élevée observée pour les huiles de palme brute pourrait être due au mauvais processus de traitement, car l'huile brute est produite par de petites huileries à faible moyen exerçant parfois dans l'informel. Au contraire, les huiles raffinées en Côte d'Ivoire sont produites par de grandes sociétés dotées de grands moyens financiers et d'une technologie de pointe pour assurer la fabrication de produits de bonne qualité. Les valeurs des indices étaient conformes aux normes CODEX et FAO-WHO 1999.

### 4.2 Exposition à la température à l'air et à la lumière

Les Indices de Peroxyde et d'Anisidine ont été affectés par la présence d'oxygène, ils ont augmenté au fil du temps dans les bouteilles ouvertes pour les deux huiles.

Les bouteilles d'huile de palme raffinée scellées ont montré une meilleure conservation aux deux températures (8°C et 24°C). Les bouteilles d'huile de palme brutes scellées étaient stables aux deux températures. Toutefois, elles étaient plus stables à l'oxydation secondaire à 8 ° C dans l'obscurité.

Des résultats similaires ont été obtenus par Bukola et al (2015) lors de leur étude sur la stabilité à l'oxydation de six huiles végétales et graisses animales stockées dans une armoire, une étagère et un réfrigérateur pendant 6 semaines de stockage, où la détérioration était plus élevée sur une étagère contrairement au réfrigérateur (plus faible détérioration) (Bukola, Francis, et Patience 2015).

Almeida et Al. (2018) ont évalué la stabilité au stockage de l'huile de palme brute, l'huile de palme raffinée, l'oléine de palme raffinée et la stéarine de palme raffinée lorsqu'elle est soumise à 3 conditions de stockage différentes, c'est-à-dire conservé dans l'obscurité à 20-25°C, au réfrigérateur (4-8°C) et à température de (26-32°C) exposé à la lumière naturelle. À l'instar des résultats actuels, les auteurs ont signalé que les huiles sont mieux conservées au réfrigérateur et la stabilité à l'oxydation a été affectée par la lumière à température ambiante (Almeida et al. 2018) .

D'autres auteurs ont découvert que les composés antioxydants intrinsèques inhibent le processus d'oxydation (Merrill et al. 2008). En effet, les antioxydants sont parfois ajoutés

intentionnellement pour améliorer la stabilité à l'oxydation des huiles (Merrill et al. 2008; Ahmad Tarmizi, Niranjana, et Gordon 2013). Les tocophérols et les tocotriénols agissent en synergie avec les carotènes comme antioxydant puissant (Schroeder, Becker, et Skibsted 2006).

Les bouteilles ouvertes avaient une qualité faible au fil du temps pendant les 3 mois de stockage à 8°C et à 24°C pour l'huile de palme raffinée et l'huile de palme brute.

Ce résultat est contraire à ceux trouvés par Loganathan et al. (2020) dans leur étude sur l'évaluation de la stabilité au stockage de l'oléine de palme brute par rapport à l'oléine de palme raffinée. Ils ont trouvé que l'oléine de palme raffinée avait une bonne qualité jusqu'à 3 mois de stockage tandis que l'oléine de palme brute a montré une durée de conservation plus longue (4 mois). Ceci en raison de la présence de carotènes qui est absent dans l'huile raffinée et de la vitamine E.

Les bouteilles ouvertes d'huile de palme raffinée et d'huile de palme brute étaient mieux stockées à 8 °C dans l'obscurité pour préserver la fraîcheur des huiles et donc garantir une durée de conservation plus longue.

Les bouteilles ouvertes d'huile de palme raffinée conservées à température ambiante (24°C) avaient une mauvaise stabilité au stockage autant que celles d'huile de palme brute. Par conséquent, les bouteilles ouvertes doivent être évitées pendant le stockage des huiles afin de garantir une durée de conservation plus longue et une fraîcheur de l'huile.

Ce résultat est en accord avec les conclusions de Boyer et McKinney qui ont observé que les bouteilles ouvertes d'huiles végétales conservent leur stabilité pendant un à trois mois de stockage (Boyer et McKinney 2018)

### **4.3 Exposition aux températures de chauffage**

Après le premier chauffage, les indices de peroxyde de l'huile de palme raffinée avaient sensiblement diminué par rapport à l'indice initiale de l'huile qui était à  $3,5 \pm 0,14$  meq O<sub>2</sub>/kg et est passé à  $2,5 \pm 0,10$  meq O<sub>2</sub>/kg,  $3,00 \pm 0,18$  meq O<sub>2</sub>/kg et  $3,00 \pm 0,17$  meq O<sub>2</sub>/kg respectivement à 100°C, 110°C et 120°C. Quant à l'huile de palme brute à cette étape, on a obtenu pour les trois températures de chauffage un indice de peroxyde nul.

Après le deuxième et le troisième chauffage, on constate une augmentation de l'Indice de Peroxyde pour les deux huiles aux différentes températures.

Nos résultats montrent que l'indice de peroxyde a évolué plus à 100°C qu'à 110°C et 120°C, ce qui est contraire aux résultats de Asnaashari et al. (2015) dans leur étude Huile de coque kolkhoung (*Pistacia khinjuk*) et huile de noyau en tant qu'huiles végétales anti oxydantes à haute stabilité oxydative et valeur nutritionnelle où ils ont trouvé que l'Indice de Peroxyde augmente avec l'augmentation de la température (Asnaashari et al. 2015).

Après chauffage aux différentes températures, les indices de peroxyde de l'huile de palme raffinée étaient inférieurs à 7 meq O<sub>2</sub>/kg donc respectant la norme des huiles raffinée définie par le Codex Alimentarius qui est de 10 meq O<sub>2</sub>/kg. Les résultats identiques ont été trouvés par Q. Zhou et al. dans leur étude menée sur l'évaluation de la qualité de l'huile de colza en Chine où l'indice de peroxyde était inférieur à 6 mmol/kg, qui est aussi dans la plage de la norme recommandée pour l'huile (Q et al. 2019).

Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que l'huile de palme raffinée est une huile qui a été soumise à de très hautes températures pendant son raffinage et c'est ce qui lui confère une très grande résistance et une adaptation facile aux différents types de cuisson.

L'indice de peroxyde de l'huile de palme brute quant à lui a été nul après le premier chauffage et a augmenté jusqu'à 9 après le troisième chauffage. Bien que l'indice de peroxyde ait augmenté, il est toujours dans les normes des huiles vierges ou pressées à froid qui est de 15 meq O<sub>2</sub>/kg.

La valeur de l'Indice d'Anisidine est plus grande entre les différents chauffages qu'entre les différentes températures pour les deux huiles. L'évolution de l'Indice d'Anisidine est plus croissante dans l'huile de palme brute que dans l'huile de palme raffinée.

Après le troisième chauffage de l'huile de palme brute, l'évolution de l'indice d'anisidine a flambé et à presque atteint 100 (83,68, 82,64 et 83,39 respectivement pour 100°C, 110°C et 120°C). L'indice d'Anisidine évolue avec l'augmentation de la température ce qui est conforme aux résultats de Asnaashari et al. (2015) où la formation d'aldéhydes volatils (l'Indice d'Anisidine) à une température plus élevée (120 °C) était plus importante que les températures plus basses (100 et 110 °C).

L'indice d'anisidine après les chauffages a considérablement augmenté pour les deux types d'huiles ce qui traduit que le chauffage de l'huile raffinée comme brute, accélère la deuxième phase de l'oxydation avec une production très élevée d'aldéhyde plus prononcée encore pour l'huile de palme brute.

La valeur de l'oxydation totale évolue ici au même rythme que l'indice d'anisidine.

#### **4.4 Limite de l'étude**

Cette étude s'est faite avec quelques difficultés et limites qu'il convient de relever.

- **Un manque de financement qui a limité les paramètres explorés**

Une telle étude ne peut se faire sans un apport financier car il s'agit d'une étude de laboratoire qui fait intervenir des produits et matériels très onéreux.

Certains paramètres très importants pour cette étude n'ont pu être explorés. Il s'agit de

- La détermination de l'indice d'iode pour apprécier l'évolution la saturation des acides gras des huiles ;
- La détermination des acides gras présents dans l'huile à son origine et apprécier leur évolution après expositions ;
- La variation des teneurs en vitamines A et E dans les huiles pendant leur stockage.

- **Un échantillonnage insuffisant**

Seulement quelques huiles de palme produites localement ont constitué notre échantillon. Il aurait été plus avantageux d'étendre cette étude aux autres huiles végétales, à d'autres huiles produites localement et aux huiles importées.

## 5 Conclusion

La consommation des huiles végétales comestibles oxydées est une question de santé publique car elle entraîne de nombreuses maladies entre autres les cancers.

Cette étude est d'une importance capitale pour aider les populations à l'utilisation sécurisée des huiles dans les ménages.

Au terme de notre étude, nous pouvons dire que les conditions d'utilisation des huiles comestibles dans les ménages ont une influence sur leur stabilité à l'oxydation et sur leur durée de vie.

Les Bouteilles bien fermée des deux huiles sont mieux stockées à 8 °C et protégées de la lumière pour une durée de conservation plus longue. L'huile de palme brute a montré une qualité à l'oxydation moindre que l'huile de palme raffinée, ce qui n'est pas normal vu sa richesse en caroténoïde et en Vitamine E qui lui servent d'antioxydant naturel. L'huile de palme brute en Côte d'Ivoire est produite de façon informelle et traditionnelle, ce qui ne lui garantit pas une excellente qualité.

Concernant la réutilisation des huiles de friture, pratique très courante, elle doit être proscrite car l'étude nous a montré une évolution croissante des produits de l'oxydation (peroxyde et aldéhyde) au fur à mesure que l'huile est réutilisée quel que soit la température (100°C, 110°C et 120°C).

## **Recommandations**

### **Aux gouvernants (ministères de tutelle en charge du contrôle)**

- Garantir la qualité des aliments produits et vendus sur le territoire Ivoirien.
- Lutter contre les contrefaçons et les produits non conforme présents sur le marché Ivoirien et réprimer énergiquement les contrevenants.
- Doter les laboratoires étatiques de moyens capables d'assurer le contrôle des aliments.

### **Aux sociétés et industries alimentaires en Côte d'Ivoire**

- S'assurer de mettre sur le marché des aliments de bonnes qualités physico-chimiques, nutritionnelles, microbiologiques ...
- Les PMI et PME devraient faire tester obligatoirement leur production (aliments, médicaments ...) au Laboratoire National de la Santé Publique (LNSP) qui dispose de moyens nécessaires pour les accompagner dans la certification de leurs produits par l'Institut Nationale d'Hygiène publique (INHP) avant la mise sur le marché de leur production.
- Bien renseigner les étiquettes sur les produits alimentaires afin d'informer les consommateurs sur les conditions de stockage.
- Préconiser les emballages teintés pour les grands volumes d'huiles afin d'assurer leur qualité après de longues périodes de stockage.

### **A la population et aux ménages**

- Veiller à conserver les huiles comestibles selon les recommandations des fabricants
- Eviter l'exposition de l'huile à la lumière et à l'air pour garantir la qualité de l'huile pendant son utilisation.
- Privilégier la conservation des huiles à stocker plus longtemps (au-delà de 2 mois) à une température plus basse à l'abri de la lumière et de l'oxygène
- Eviter la réutilisation d'huile après chauffage car dangereux pour la santé.

## Références bibliographiques

- Ahmad Tarmizi, Azmil Haizam, Keshavan Niranjana, et Michael Gordon. 2013. « Physico-Chemical Changes Occurring in Oil When Atmospheric Frying Is Combined with Post-Frying Vacuum Application ». *Food Chemistry* 136 (2): 902-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.001>.
- Almeida, Deusdélia Teixeira de, Thaís Vieira Viana, Mariana Melo Costa, Cintia de Santana Silva, et Sabrina Feitosa. 2018. « Effects of Different Storage Conditions on the Oxidative Stability of Crude and Refined Palm Oil, Olein and Stearin (*Elaeis Guineensis*) ». *Food Science and Technology* 39 (juillet): 211-17. <https://doi.org/10.1590/fst.43317>.
- Armelle, Judde. 2004. « Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications ? » 11 (6): 5.
- Asnaashari, Maryam, Seyed Mohammad Bagher Hashemi, Hamed Mahdavian Mehr, et Seyed Hossein Asadi Yousefabad. 2015. « Kolkhoung (Pistacia khinjuk) Hull Oil and Kernel Oil as Antioxidative Vegetable Oils with High Oxidative Stability and Nutritional Value ». *Food Technology and Biotechnology* 53 (1): 81-86. <https://doi.org/10.17113/ftb.53.01.15.3719>.
- Auffret, M. Alexandre. 2019. *Comment vivre en bonne santé au 21e siècle ? : La Méthode des 5 piliers : Alimentation Saine, Activité Physique Adaptée, Relaxation Anti Stress, Épanouissement Personnel, Bien Dormir*. Aix-les-Bains: AFNIL.
- AUSTRALIAN, OILSEEDS FEDERATION. 2020. « Section 1: Quality Standards, Technical Information & Typical Analysis 2020/21 ». [http://www.australianoilseeds.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0018/18432/2020-21\\_AOF\\_Standards\\_V19\\_1\\_August\\_2020\\_FINAL.pdf](http://www.australianoilseeds.com/__data/assets/pdf_file/0018/18432/2020-21_AOF_Standards_V19_1_August_2020_FINAL.pdf).
- Boateng, Laurene, Richard Ansong, William B Owusu, et Matilda Steiner-Asiedu. 2016. « Coconut oil and palm oil's role in nutrition, health and national development: A review ». *Ghana Medical Journal* 50 (3): 189-96.
- Bonnewyn, S, C Rousseau, et P Nies. 2013. « HUILE DE PALME Difficile ». *test santé* 112 décembre 2012/janvier 2013, n° 112 (janvier): 10-15.
- Bouhadjra, Kahina. 2011. « Etude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge ». Thesis, UMMTO. <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/1288>.
- Boyer, Renee R., et Julie Michelle McKinney. 2018. « Food Storage Guidelines For Consumers », mars. <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/84264>.
- Bukola, Akinola O., G. Francis, et Alaje Patience. 2015. « Effects of Different Storage Temperature on the Physicochemical Properties of Cooking Oils Available in Nigeria Markets ». *undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effects-of-Different-Storage-Temperature-on-the-of-Bukola-Francis/2c58067f5c74e60f356009a5ab4958d99ade0f8d>.
- Chong, Y. H., et T. K. Ng. 1991. « Effects of Palm Oil on Cardiovascular Risk ». *The Medical Journal of Malaysia* 46 (1): 41-50.
- CNUCED. 2016. « HUILE DE PALME- ». [unctad.org/commodities](http://unctad.org/commodities).
- COMMODAFRICA, DOSSIER. 2018. « Huile de palme L'effet boomerang de la décision européenne », 1 avril 2018.

- [https://www.commodafrica.com/sites/commodafrica.com/files/dossiers-mois/huile\\_de\\_palmev5-fr.pdf](https://www.commodafrica.com/sites/commodafrica.com/files/dossiers-mois/huile_de_palmev5-fr.pdf).
- Cuvelier, Marie-Elisabeth, et Marie-Noëlle Maillard. 2012. « Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 19 (2): 125-32. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0440>.
- Djohan, Youzan Ferdinand. 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 », novembre, 312.
- Dridi, Wafa. 2016. « Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau-dans-huile ». *25 juin 2016*, octobre, 205.
- Dunford, Nurhan Turgut. 2012. « Advancements in Oil and Oilseed Processing ». In *Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing*, 115-43. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119946083.ch4>.
- « FAOSTAT ». 2021. 28 février 2021. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QD>.
- Fernando, W. M. a. D. B., Ian J. Martins, K. G. Goozee, Charles S. Brennan, V. Jayasena, et R. N. Martins. 2015. « The role of dietary coconut for the prevention and treatment of Alzheimer's disease: potential mechanisms of action ». *British Journal of Nutrition* 114 (1): 1-14. <https://doi.org/10.1017/S0007114515001452>.
- FONDS, FRANÇAIS. 2012. « L'HUILE DE PALME : ASPECTS NUTRITIONNELS, SOCIAUX ET ENVIRONNEMENTAUX Etat des lieux du Fonds français pour l'alimentation et la santé ». [http://alimentation-sante.org/wp-content/uploads/2012/12/Etatdeslieux\\_HdP\\_1112.pdf](http://alimentation-sante.org/wp-content/uploads/2012/12/Etatdeslieux_HdP_1112.pdf).
- Futura, Santé. 2021. « Definition Acide gras ». Futura. 2021. <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-acide-gras-9/>.
- Jacquemard, Jean-Charles. 2011. *Le palmier à huile*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-1679-6>.
- Jeuge, Sabine, Martine Carlier, Jean-Luc Vendevre, et Gilles Nassy. 2012. « L'oxydation des produits carnés : Méthodes de mesure et moyens de maîtrise », août, 46.
- Koohikamali, Sara, et Mohammad S. Alam. 2019. « Improvement in Nutritional Quality and Thermal Stability of Palm Olein Blended with Macadamia Oil for Deep-Fat Frying Application ». *Journal of Food Science and Technology* 56 (11): 5063-73. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03979-0>.
- Lecerf, Jean-Michel. 2013. « L'huile de palme : aspects nutritionnels et métaboliques. Rôle sur le risque cardiovasculaire ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 20 (3): 147-59. <https://doi.org/10.1051/ocl.2013.0507>.
- Loganathan, Radhika, Azmil Haizam Ahmad Tarmizi, Shireene Ratna Vethakkan, et Kim-Tiu Teng. 2020. « Retention of Carotenes and Vitamin E, and Physico-Chemical Changes Occurring upon Heating Red Palm Olein Using Deep-Fat Fryer, Microwave Oven and Conventional Oven ». *Journal of Oleo Science* 69 (3): 167-83. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19209>.
- Marchand, Valerie. 2010. « Les gras trans : Ce que les médecins devraient savoir ». *Paediatrics & Child Health* 15 (6): 376-78.
- Maszewska, Magdalena, Anna Florowska, Elżbieta Dłużewska, Małgorzata Wroniak, Katarzyna Marciniak-Lukasiak, et Anna Żbikowska. 2018. « Oxidative Stability of Selected Edible Oils ». *Molecules : A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry* 23 (7). <https://doi.org/10.3390/molecules23071746>.

- Mba, Ogan I., Marie-Josée Dumont, et Michael Ngadi. 2015. « Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in the Food Industry – A Review ». *Food Bioscience* 10 (juin): 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.003>.
- Merrill, Lilon, Oscar Pike, Lynn Ogden, et Michael Dunn. 2008. « Oxidative Stability of Conventional and High-Oleic Vegetable Oils with Added Antioxidants ». *J Am Oil Chem Soc* 85 (août): 771-76. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1256-4>.
- Negash, Yonnas Adugna, Dagnachew Eyachew Amare, Bikes Destaw Bitew, et Henok Dagne. 2019. « Assessment of quality of edible vegetable oils accessed in Gondar City, Northwest Ethiopia ». *BMC Research Notes* 12 (décembre). <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4831-x>.
- Nizam, Ainul Farhani Ahmad, et Mohd Sabri Mahmud. 2021. « Food Quality Assurance of Crude Palm Oil: A Review on Toxic Ester Feedstock ». *OCL* 28: 23. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021011>.
- Oguntibeju, O. O., A. J. Esterhuysen, et E. J. Truter. 2009. « Red Palm Oil: Nutritional, Physiological and Therapeutic Roles in Improving Human Wellbeing and Quality of Life ». *British Journal of Biomedical Science* 66 (4): 216-22. <https://doi.org/10.1080/09674845.2009.11730279>.
- OLLIVIER, Véronique, Jacques ARTAUD, et Denis OLLIVIER. 2015. « Analyse des lipides - Constituants mineurs, qualité et authenticité ». Text. Ref : TIP630WEB - « Techniques d'analyse ». Editions T.I. | Techniques de l'Ingénieur. 2015. 10 décembre 2015. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/analyse-des-macromolecules-biologiques-42380210/analyse-des-lipides-p3327/>.
- OMS. 2018. « Plan de l'OMS pour éliminer de l'alimentation les acides gras trans produits industriellement ». 14 mai 2018. <https://www.who.int/fr/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-global-food-supply>.
- OMS, Organisation mondiale de la. 2020. *REPLACE trans fat : programme d'action pour éliminer les acides gras trans produits industriellement : module 5 : create (sensibiliser) : guide pour sensibiliser aux acides gras trans*. Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336203>.
- Pristouri, G., A. Badeka, et M. G. Kontominas. 2010. « Effect of Packaging Material Headspace, Oxygen and Light Transmission, Temperature and Storage Time on Quality Characteristics of Extra Virgin Olive Oil ». *Food Control* 21 (4): 412-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.06.019>.
- Q, Zhou, Jia X, Deng Q, Chen H, Tang H, et Huang F. 2019. « Quality evaluation of rapeseed oil in Chinese traditional stir-frying ». *Food science & nutrition*. *Food Sci Nutr*. 16 octobre 2019. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1232>.
- Radhika, Loganathan, Haizam Azmil, Tarmizi Ahmad, Ratna Shireene, et Vethakkan 2, Kim-Tiu Teng. 2020. « Évaluation de la stabilité au stockage de l'oléine de palme rouge par rapport à l'oléine de palme - PubMed ». 10 septembre 2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32908089/>.
- Rafiee, Z., S. M. Jafari, M. Alami, et M. Khomeiri. 2012. « Antioxidant Effect of Microwave-Assisted Extracts of Olive Leaves on Sunflower Oil ». *Journal of Agricultural Science and Technology* 14 (7): 1497-1509.
- Rival, Alain. 2020. « Huile de palme - Défis renouvelés de la durabilité », 17.
- Roman, Olesea. 2012. « Mesure et prédiction de la réactivité des lipides au cours du chauffage d'huiles végétales à haute température ». Paris, France: Institut des Sciences et

- industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTeTech). <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00806186/document>.
- Schroeder, Maria T., Eleonora Miquel Becker, et Leif H. Skibsted. 2006. « Molecular Mechanism of Antioxidant Synergism of Tocotrienols and Carotenoids in Palm Oil ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (9): 3445-53. <https://doi.org/10.1021/jf053141z>.
- Statista. 2019. « Huiles végétales : consommation mondiale 2017 ». Statista. 28 octobre 2019. <https://fr.statista.com/statistiques/565109/huiles-vegetales-consommation-mondiale-par-type-d-huile/>.
- Sundram, Kalyana, Ravigadevi Sambanthamurthi, et Yew-Ai Tan. 2003. « Palm Fruit Chemistry and Nutrition ». *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 12 (3): 355-62.
- Taghvaei, Mostafa, et Seid Mahdi Jafari. 2015. « Application and Stability of Natural Antioxidants in Edible Oils in Order to Substitute Synthetic Additives ». *Journal of Food Science and Technology* 52 (3): 1272-82. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1080-1>.
- Tano, Ekra Kouamé, Jean-Noël Konan, Oulo Alla N'nan, René Akanvou, Assanvo Simon-Pierre Nguetta, et Eugène Kouakou Konan. 2019. « Etude Des Performances Génétiques Des Descendances Parentales Issues de Deux Systèmes de Reproduction de Géniteurs Utilisés En Production de Semences Sélectionnées de Palmier à Huile (Elaeis Guineensis Jacq.) ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (3): 1800-1816. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3>.
- Tarmizi, Azmil Haizam Ahmad, et Siew Wai Lin. 2008. « Quality Assessment of Palm Products upon Prolonged Heat Treatment ». *Journal of Oleo Science* 57 (12): 639-48. <https://doi.org/10.5650/jos.57.639>.
- Tavakoli, Hamid Reza, Mehdi Naderi, Seid Mahdi Jafari, et Mohammad Hossein Naeli. 2019. « Postmarketing surveillance of the oxidative stability for cooking oils, frying oils, and vanaspati supplied in the retail market ». *Food Science & Nutrition* 7 (4): 1455-65. <https://doi.org/10.1002/fsn3.982>.
- USDA. 2021. « Explorateur d'huile de palme ». 2021. [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel\\_year=2020&rankby=Production](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel_year=2020&rankby=Production).
- Vrbíková, L., Š Schmidt, F. Kreps, L. Tmáková, M. Čertík, et S. Sekretár. 2014. « Degradation of selected nutrients in sunflower oils during long-term storage ». *Czech Journal of Food Sciences* 32 (2014) (No. 6): 595-600. <https://doi.org/10.17221/176/2014-CJFS>.
- Walravens, Eric. 2006. « acides gras ». 8 avril 2006. <https://www.afblum.be/bioafb/acidgras/acidgras.htm>.
- Wattanapenpaiboon, Naiyana, et Mark W. Wahlqvist. 2003. « Phytonutrient Deficiency: The Place of Palm Fruit ». *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 12 (3): 363-68.
- Zagré, N M, H Delisle, A Tarini, et Francis Delpéuch. 2003. « Evolution des apports en vitamine A à la suite de la promotion d'huile de palme rouge chez les enfants et les femmes au Burkina Faso », décembre, 7.
- Zarazir, Carla, Mohamad Rajab, Houssam Obeid, Joumana Toufaily, Imad Toufeili, et Tayssir Hamieh. 2019. « Impact of Plastic Packaging Materials and Storage Time on the Quality Parameters of Lebanese Extra Virgin Olive Oil under Real-Time Storage Conditions ». *American Journal of Analytical Chemistry* 10 (12): 647-65. <https://doi.org/10.4236/ajac.2019.1012046>.
- Zhang, Yuying, Chunmao Lyu, Xianjun Meng, Wenxuan Dong, Hai Guo, Chunmin Su, et Xinmeng Zhang. 2019. « Effect of Storage Condition on Oil Oxidation of Flat-European

Hybrid Hazelnut ». *Journal of Oleo Science* 68 (10): 939-50.  
<https://doi.org/10.5650/jos.ess19120>.

## Liste des illustrations

Figure 1: Formation d'un triglycéride à partir d'un glycérol et de 3 acides gras (Futura 2021)	5
Figure 2: un acide gras (Futura 2021) .....	5
Figure 3: Acides gras saturé, mono insaturé et poly insaturé (Walravens 2006) .....	5
Figure 4: Acides gras trans et cis (Walravens 2006).....	6
Figure 5: Fruits de palmier à huile (Djohan 2017).....	8
Figure 6: Répartition de la production mondiale d'huile de palme en 2020 (USDA 2021) .....	9
Figure 7: Répartition de la consommation mondiale d'huile de palme (Rival 2020) .....	10
Figure 8: Évolution comparée de la population mondiale et de la demande en corps gras alimentaires (Rival 2020).....	11
Figure 9: Production mondiale d'huiles végétales en 2017 (USDA, 2017) .....	11
Figure 10: Principales utilisations de l'huile de palme (Djohan 2017).....	14
Figure 11: Schéma des réactions d'oxydation des lipides (d'après Berset et Cuvelier, 1996)	18
Figure 12: Cinétique des marqueurs de l'oxydation des lipides (Dridi 2016, Labuza, 1971)...	20
Figure 13: Evolution de l'indice de peroxyde dans les huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages .....	32
Figure 14: Evolution de l'indice d'anisidine dans les huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages .....	33

## Liste des tableaux

Tableau 1: Les constituants mineurs d'une huile de palme brute (Djohan 2017).....	13
Tableau 2: Méthodes d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles (Cuvelier et Maillard 2012; Dridi 2016).....	21
Tableau 3: Conditions d'exposition des échantillons à la température, à l'air et à la lumière	25
Tableau 4: Résultat des tests initiaux des échantillons soumis à notre étude .....	29
Tableau 5: Indices de peroxyde, d'anisidine et Totox des huiles de palme raffinée et brute après exposition à l'air à la température et à la lumière pendant 3 mois.....	30
Tableau 6: Indice d'oxydation total des huiles de palme raffinée et brute après trois chauffages .....	34