UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Étude de quelques paramètres de qualité des huiles de palme vendues dans les marchés de Bujumbura

Kamara Karamagi, Fred; Sous la direction de : Pr. Sindayikengera Séverin; Pr. Nahimana David

2025
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1867

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITÉ DU BURUNDI

FACULTÉ DES SCIENCES

Département de Chimie

Étude de quelques paramètres de qualité des huiles de palme vendues dans les marchés de Bujumbura.

Par

KAMARA KARAMAGI Fred

MÉMOIRE

présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Chimiques

Spécialité : Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de :

Pr. SINDAYIKENGERA Séverin

Pr. NAHIMANA David

Bujumbura, Février 2025

Membres du jury

Président	: Pr. Steve De CLIFF
Directeur	: Pr. Séverin SINDAYIKENGERA
Co-Directeur	: Pr. David NAHIMANA
Secrétaire	: Dr. Léopold HAVYARIMANA

Dédicace

A mes très chers parents, Charles CHEDYA-VISO et Margueritte BUMA, en témoignage de l'amour, du respect et de la profonde et éternelle gratitude pour ce cadeau du ciel que vous êtes pour moi et mes frères ;

A mes frères et sœurs.

Remerciements

Il est difficile de finaliser une recherche scientifique sans remercier une multitude de gens dont les interventions et les contributions ont été considérables.

Avant tout, permettez-moi de rendre grâce à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la volonté et le courage durant ces deux années d'études et d'efforts pour l'accomplissement de ce travail.

Je voudrais remercier chaleureusement Messieurs les Professeurs, Séverin SINDAYIKENGERA et David NAHIMANA, respectivement directeur et co-directeur de ce mémoire pour leur disponibilité, leur encadrement, leurs conseils éclairés et leur orientation.

Je voudrais remercier particulièrement, Madame Professeure Vestine NTAKARUTIMANA, responsable du programme de Master en sciences chimiques pour l'encadrement et la bonne collaboration durant ces deux années d'études au Burundi.

Je remercie également, Docteur Jean NSABIMANA, enseignant au département de géographie à l'université du Burundi pour la conception de la carte de la ville de Bujumbura insérée dans ce mémoire.

Au terme de ce modeste travail, je ressens aussi bien la joie et le devoir de remercier ma famille qui a toujours été un puissant soutien pour moi durant tout le parcours académique. Que mes frères, mes sœurs, mes tantes et oncles se sentent honorés par ce fruit. Je fais une mention spéciale à mes grands frères David KISEMBO et Benjamin MUZORA pour leur soutien indéfectible durant ce parcours.

Je tiens également à remercier les amis du CELAB avec qui nous avons passé un moment de fraternité et de convivialité aux travers nos discussions et échanges. Je ne peux pas passer sous silence la présence et l'encouragement de mes camarades de l'auditoire qui sont devenus ma famille dans mon second pays. Je voudrais que les amis comme, Emilien LORANU, Belden VYALIRENDI et Antoine NGABO trouvent par ces lignes également le sentiment de notre profonde gratitude.

Résumé

La population de la ville de Bujumbura et ses environs consomme largement l'huile de palme, généralement sous deux formes (brute et raffinée). Cependant, celles-ci sont exposées par les revendeurs aux divers facteurs de détérioration (rayons solaires, bouteilles malpropres, chauffage,...) des lipides dans des marchés les rendant non conformes.

Pour pallier à ce problème, vingt (20) échantillons d'huile de palme ont été collectés dans cinq (5) grands marchés de la ville de Bujumbura en vue d'une analyse de leur qualité. Les paramètres physicochimiques et les caroténoïdes totaux ont été déterminés par les méthodes physiques, chimiques et spectroscopiques (UV-visible). A l'issue de cette étude, les résultats obtenus pour les huiles de palme raffinée et brute ont montré que la densité relative (DR) a été de $0,892 \pm 0,001$ et $0,887 \pm 0,001$. L'indice de réfraction (IR) a été de $1,463 \pm 0,001$ et $1,462 \pm 0,001$. Les matières volatiles et humidité relative (MVH) ont été de $0,974 \pm 0,527$ et $2,429 \pm 2,196\%$. La teneur en impuretés insolubles (TII) a été de $4,642 \pm 1,228$ et $9,468 \pm 1,703$ %. L'indice d'acide (IA) a été de $4,581 \pm 0,591$ et $37,190 \pm 1,789$ mg de KOH/g. L'indice d'iode (II) a été de $50,252 \pm 7,179$ et $54,3 \pm 10,531$ g de $I_2/100g$. L'indice de peroxyde (IP) a été de $5,8 \pm 2,263$ et $5,3 \pm 2,970$ mEq O_2/kg. L'indice de saponification (IS) a été de $200,371 \pm 3,834$ et $195,384 \pm 4,540$ mg de KOH/g. Puis, les valeurs des caroténoïdes totaux (CT) ont été de $10,574 \pm 3,801$ et $738,913 \pm 81,467$ ppm.

En outre, le test *t de student* couplé au test *U de Mann-Whitney* a révélé qu'il y a une différence significative entre les huiles brutes et raffinées pour quatre paramètres (la densité relative, la teneur en impuretés insolubles, l'indice d'acide et les caroténoïdes totaux) au degré de probabilité de 5%. Les analyses en composante principale (ACP) réalisées pour les deux catégories d'huile ont montré que les marchés sont homogènes.

Cependant, les taux élevés d'acidité (IA) et d'impuretés insolubles (TII) dans les huiles brutes montrent que celles-ci sont de moindres qualités. C'est pourquoi, un effort reste à consentir par l'autorité, unités ou industries de production et les revendeurs pour préserver la qualité des huiles livrées aux consommateurs.

Mots-clés : *Étude, paramètres, qualités, huiles de palme, marchés, Bujumbura.*

Abstract

The population of Bujumbura town and the surrounding area consumes a lot of palm oil, generally in two forms (crude and refined). However, these are exposed by resellers to various factors of deterioration (sunlight, unclean bottles, heating, etc.) of lipids in markets making them non-compliant.

To overcome this problem, twenty (20) palm oil samples were collected from five (5) major markets in Bujumbura for quality analysis. Physicochemical parameters and total carotenoids were determined by physical, chemical and spectroscopic (UV-visible) methods. At the end of this study, the results obtained for refined and crude palm oils showed that the relative density (DR) was 0.892 ± 0.001 and 0.887 ± 0.001. The refractive index (IR) was 1.463 ± 0.001 and 1.462 ± 0.001. Volatile matter and relative humidity (MVH) were 0.974 ± 0.527 and 2.429 ± 2.196%. Insoluble impurities (TII) were $4,642 \pm 1,228$ and $9,468 \pm 1,703\%$. Acid value (IA) was 4.581 ± 0.591 and 37.190 ± 1.789 mg KOH/g. Iodine value (II) was 50.252 ± 7.179 and 54.3 ± 10.531 g of $I_2/100g$. The peroxide value (IP) was 5.8 ± 2.263 and 5.3 ± 2.970 mEq O_2/kg. The saponification index (IS) was 200.371 ± 3.834 and 195.384 ± 4.540 mg KOH/g. Total carotenoids (CT) were $10,574 \pm 3,801$ and $738,913 \pm 81,467$ ppm.

In addition, the *Student's t-test* coupled with the *Mann-Whitney U-test* revealed that there is a significant difference between crude and refined oils for four parameters (relative density, insoluble impurities content, acid value and total carotenoids) at the 5% probability level. Principal component analyses (PCA) carried out for the two oil categories showed that the markets are homogeneous.

However, the high levels of acidity (IA) and insoluble impurities (TII) in crude oils show that they are of lower quality. This is why the authorities, production units or industries and retailers still need to make an effort to preserve the quality of oils delivered to consumers.

Key words : *Study, parameters, qualities, palm oils, markets, Bujumbura.*

Table des matières

Membres du jury . . . . . **i**

Dédicace . . . . . **ii**

Remerciements . . . . . **iii**

Résumé . . . . . **iv**

Abstract . . . . . **v**

Table des matières . . . . . **vi**

Liste des tableaux . . . . . **ix**

Liste des figures . . . . . **x**

Liste des sigles et abréviations . . . . . **xi**

Avant-propos . . . . . **xiii**

Introduction générale **1**

1. Contexte et problématique 1
2. Hypothèses 3
3. Choix et intérêt du travail 3
4. Objectifs 4
   - 4.1. Objectif général 4
   - 4.2. Objectifs spécifiques 4
5. Objectifs 4

Chapitre I Généralités sur les huiles de palme **5**

I.1 Historique et description du palmier à huile 5
- I.1.1 Systématique 5
- I.1.2 Variétés de l'espèce *Elaeis guineensis* Jacq. 6

I.2 Structure des fruits 6

I.3 Huile de palme 6

I.4 Production de l'huile de palme . . . 7
I.4.1 Démucilagination . . . 8
I.4.2 Neutralisation . . . 9
I.4.3 Décoloration des huiles végétales . . . 9
I.4.4 Désodorisation . . . 9
I.5 Composition biochimique de l'huile de palme . . . 9
I.5.1 Éléments majeurs . . . 10
I.5.2 Éléments mineurs . . . 11
I.6 Production de l'huile de palme au Burundi . . . 11
I.6.1 Régions éco-climatiques du Burundi . . . 11
I.6.2 Conditions climatiques du palmier à huile au Burundi . . . 12
I.6.3 Conditions édaphiques du palmier à huile . . . 13
I.6.4 Localisation de la culture du palmier à huile . . . 13
I.6.5 Production d'huile de palme au Burundi . . . 13
I.7 Utilisation et importance . . . 14
I.8 Qualité des huiles végétales (palme) . . . 15
I.9 Altération des huiles végétales (palme) . . . 15
I.10 Stabilité oxydative des huiles végétales (palme) . . . 17
I.11 Exigences requises pour des huiles végétales (palme) . . . 18

Chapitre II Matériel et méthodes . . . 20
II.1 Matériel . . . 20
II.1.1 Présentation de la zone d'étude . . . 20
II.1.2 Matériel d'étude . . . 21
II.1.3 Réactifs, solvants et équipements . . . 21
II.2 Méthodes . . . 21
II.2.1 Méthode d'échantillonnage . . . 21
II.2.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques . . . 22
II.2.2.1 Indice de réfraction (IR) . . . 22
II.2.2.2 Densité relative (DR) . . . 23
II.2.2.3 Matières volatiles et humidité relative (MVH) . . . 23
II.2.2.4 Teneur en impuretés insolubles (TII) . . . 24
II.2.2.5 Indice d'iode (II) . . . 24
II.2.2.6 Indice d'acide (IA) . . . 25
II.2.2.7 Indice de peroxyde (IP) . . . 26
II.2.2.8 Indice de saponification (IS) . . . 26
II.2.3 Méthode de détermination des caroténoïdes totaux (CT) . . . 27
II.2.4 Méthodes d'analyses statistiques et traitement des données . . . 28

Chapitre IIIPrésentation et discussion des résultats . . . 29

III.1 Paramètres physico-chimiques 29
III.1.1 Indice réfraction (IR) 29
III.1.2 Densité relative (DR) 30
III.1.3 Matières volatiles et l'humidité relative (MVH) 30
III.1.4 Teneur en impuretés insolubles (TII) 31
III.1.5 Indice d'acide (IA) 32
III.1.6 Indice d'iode (II) 33
III.1.7 Indice de peroxyde (IP) 33
III.1.8 Indice de saponification (IS) 34
III.2 Caroténoïdes totaux (CT) 36
III.3 Comparaison entre les caractéristiques physicochimiques et la teneur en caroténoïdes totaux des huiles de palme brutes et raffinées 38
III.4 Analyse en composante principale (ACP) des échantillons d'huiles brutes et raffinées de palme sur les paramètres physicochimiques et en caroténoïdes totaux 39
III.4.1 Analyse en composante principale (ACP) des huiles brutes de palme pour les différents marchés 40
III.4.2 Analyse en composante principale (ACP) des huiles raffinées de palme pour les différents marchés 40

Conclusion **44**

Bibliographie **45**

Annexes **52**

Liste des tableaux

I.1 Composition générale d'huile de palme brute (HPB). 10
I.2 Teneur (%) en acides gras de l'huile de palme standard 10
I.3 Exigence compositionnelle de l'huile de palme. 19

II.1 Matériel de laboratoire utilisé. 21
II.2 Répartition des échantillons d'huiles de palme par marchés. 22

III.1 Paramètres physiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés 29
III.2 Paramètres chimiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés (1) 31
III.3 Paramètres chimiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés (2) 33
III.4 Teneur en CT dans les huiles de palme brutes et raffinées de différents marchés. 37
III.5 Paramètres physico-chimiques et teneur en caroténoïdes totaux moyens des échantillons d'huiles de palme brutes et raffinées. 39
6 Paramètres physico-chimiques détaillés. 54
7 Valeurs des caroténoïdes totaux. 55

Liste des figures

I.1 Coupe de fruit des différents types de Elaeis guineensis Jacq 6
I.2 Coupe transversale d'un fruit du palmier à huile. 7
I.3 Étapes de production de l'huile de palme rouge 8
I.4 Régions éco-climatiques du Burundi 12
I.5 Oxydation des acides gras 17

II.1 Carte géographique de la ville de Bujumbura et ses grands marchés. 20
II.2 Échantillons d'huiles de palme étudiés. 21

III.1Paramètres physicochimiques des échantillons d'huiles de palme de différents marchés. 36
III.2Variation de la teneur en caroténoïdes totaux dans les huiles de palme brutes et raffinées au sein des échantillons. 38
III.3Écarts entre les paramètres analysés pour les huiles de palme brutes (HPB) et raffinées (HPR). 40
III.4Nuages des individus (Marchés de la ville de Bujumbura) (HPB). 41
III.5Nuages des variables (paramètres physicochimiques) et teneur en caroténoïdes totaux (HPB). 41
III.6Nuages des individus (Marchés de la ville de Bujumbura) (HPR). 42
III.7Nuages des variables (paramètres physicochimiques) et teneur en caroténoïdes totaux (HPR). 42

Liste des sigles et abréviations

ACP	:	Analyse en Composante Principale
AG	:	Acide Gras
AGI	:	Acide Gras Insaturé
AGS	:	Acide Gras Saturé
BBN	:	Bureau Burundais de Normalisation et Contrôle de la Qualité
CELAB	:	Centre de l'Enseignement des Langues au Burundi
CT	:	Caroténoïdes totaux
DR	:	Densité Relative
DAG	:	Di-acylglycérols
HPB	:	Huile de Palme Brute
HPR	:	Huile de Palme Raffinée
IA	:	Indice d'Acide
II	:	Indice d'Iode
IP	:	Indice de Peroxyde
IR	:	Indice de Réfraction
IS	:	Indice de Saponification
ISO	:	Organisation Internationale des Normes
KEBS	:	Kenya Bureau of standards
mEq 0_2/kg	:	Milliéquivalent de dioxygène par kilogramme
MVH	:	Matières Volatiles et Humidité Relative
MAE	:	Ministère d'Agriculture et Élevage
MAG	:	Monoacylglycérols
NB EAS	:	Normes Burundaises issues de (East African Standard).
OCC	:	Office Congolais de Contrôle
PKO	:	Palm Kernel Oil
ppm	:	Partie par million
RSB	:	Rwanda Standards Board
RPO	:	Red Palm Oil
SAVONOR	:	Savon d'Or (Usine de savons, cosmétiques, des huiles et margarines).

SDR	:	Société Régionale de Développement
SON	:	Standard Organization of Nigeria
SSBS	:	South Soudan Bureau of Standards
TBS	:	Tanzania Bureau of Standards
TII	:	Teneur en Matières Insolubles
TAG	:	Tri-acylglycérols
UATH	:	Unité Artisanale de Traitement de l'Huile de palme
UNBS	:	Uganda National Bureau of Standards

Avant-propos

Le présent mémoire est réalisé dans le cadre d'obtention du diplôme de Master en Sciences Chimiques, option Contrôle et Analyses Chimiques. Il étudie la qualité des huiles de palme raffinées et brutes commercialisées dans les marchés de Bujumbura. L'idée du présent mémoire de recherche est venue du constat que les huiles de palme sont très préférées au Burundi, plus précisément à Bujumbura. La population lui accorde une grande importance du fait de son goût et sa saveur.

Cependant, ces huiles sont vendues dans des conditions très précaires dans les différents marchés de la ville de Bujumbura. Elles sont vendues dans des bouteilles en plastique de fois malpropres, exposées aux rayons solaires et en plus certaines d'entre elles présentent un rancissement caractéristique d'une huile détériorée du fait qu'elles sont stockées longuement dans des boutiques ou lieux de vente.

Cette étude se veut une contribution permettant de vérifier la conformité des huiles de palme commercialisées en mairie de Bujumbura aux normes burundaises (NB EAS) et du Codex Alimentarius en rapport avec les huiles de palme. Les résultats pourront également servir aux autorités de l'hygiène et de la santé publique pour le contrôle, le traitement ou le suivi permanent en vue de garantir la sécurité alimentaire de la population.

Par ailleurs, elle permettra aussi aux consommateurs de bien orienter leur choix lors de l'achat de celles-ci aux différents marchés.

Introduction générale

1. Contexte et problématique

L'huile de palme constitue depuis une vingtaine d'années un élément essentiel du marché mondial des corps gras au niveau de la production, et plus encore au niveau des échanges internationaux (Dronne, 2005). C'est un produit qui a fait preuve d'un très grand dynamisme à l'intérieur des marchés des huiles végétales où la demande est en très forte croissance sous l'effet combiné de l'accroissement de la population mondiale et de l'augmentation des consommations par tête due à la croissance des revenus par habitant dans de nombreuses zones (Kapseu, 2009).

Elle est consommée sous deux formes au Burundi : brute également appelée *huile rouge* qui est la plus consommée et raffinée correspondant à l'oléine de palme (N'guessan Jean Claude et al., 2018). Les huiles, grâce aux acides gras, fournissent la plus forte valeur énergétique sous un faible volume (9 Kcal/g soit 37 KJ/g) comparées aux protéines, aux glucides et aux tocophérols qui sont des antioxydants (M'Baye et al., 2011). L'huile de palme contient environ 50% d'acides gras saturés (AGS) et 50% d'acides gras insaturés (AGI) (Lecerf, 2013). A l'état brut, elle contient de la vitamine E ou tocophérol (864 - 1124 μg/g), substance fort recherchée ; des caroténoïdes (832 - 3575 μg/g) qui possèdent en fait les seules vraies propriétés nutritives d'une huile dont la plus intéressante est leur activité pro-vitamique et les polyphénols (64,42-130,23 mg d'équivalent d'acide gallique) (N'guessan Jean Claude et al., 2018).

Toutefois, elle demeure une denrée de grande consommation du fait de son prix accessible à tous même aux moins nanti (Rebena et al., 2019). Traditionnellement employée comme huile de cuisson, l'huile brute de palme ou l'huile rouge est aujourd'hui utilisée à travers de très nombreux dérivés et se retrouve dans des milliers de produits. La consommation locale d'huile de palme comme aliment, se fait parfois sans aucune forme de transformation avec un taux de consommation d'environ 99 % et le reste réservé à d'autres usages (Aké Aké et al., 2015).

Le raffinage est l'ensemble des opérations chimiques ou physicochimiques destinées à donner à un produit certaines qualités propres à le *rendre marchand*. Il se fait généralement par neutralisation, décoloration et désodorisation : l'huile acquiert ainsi une coloration jaune-clair (Pages et al., 2010). Malheureusement, les composés dotés d'activités antioxydantes dans l'huile de palme brute sont éliminés en partie au cours du raffinage, rendant ainsi l'oléine de palme (produit du raffinage) pauvre en composés antioxydants (carotènes, tocophérols, etc.) (N'guessan Jean Claude et al., 2018).

Au Burundi, elle est la principale source de lipide. Son rendement en huile peut dépasser cinq tonnes par hectare, contrairement aux autres plantes oléagineuses comme l'arachide, le coton, le soja et le tournesol qui possèdent des rendements plus faibles (MAE, 2008) . La principale

région palméicole au Burundi reste Rumonge et Nyanza-Lac, qui, elle seule, fournit plus de 85% de l'huile de palme burundaise (Ngiye, 2015) . La grande quantité d'huile de palme produite au Burundi est achetée par deux grandes sociétés, à savoir : Savonor et Lite. Celles-ci vont par après raffiner cette huile et la transformer en d'autres produits comme le savon, les produits de beauté, en huile bien raffinée qu'on appelle *Cooki* vendu dans différentes alimentations de la capitale économique Bujumbura et aux différents chefs-lieux des provinces. Aujourd'hui, celle-ci fait partie intégrante de l'alimentation courante des ménages burundais (Rédactions, 2022).

Selon la population de la ville de Bujumbura et ses environs la couleur marquée et le goût spécifique de l'huile rouge en font un condiment particulier qui ne peut être remplacée par d'autres huiles dans la préparation de certaines *sauces feuilles* comme *le pondu* ou *sombé* (Sagna, 2023). En outre, elle consomme aussi l'huile de palme raffinée qui est, en fait, de l'huile doublement raffinée selon les indications sur la boite d'emballage. La population urbaine et locale accorde à l'huile de palme raffinée une grande valeur d'usage. Ainsi, pour la plupart des restaurants et ménages interrogés, elle sert à préparer de la nourriture aux visiteurs de marque, elle est également recherchée pour des usages culinaires spécifiques (les fritures : pommes de terre frites, banane plantain frite et les grillades : viandes, poissons, œufs,...). Toutefois, l'huile raffinée n'a pas complètement remplacée l'huile rouge, elle s'est tout simplement substituée à l'huile rouge dans certaines préparations (Cheyns et al., 2003).

L'huile obtenue grâce aux procédés artisanaux pourrait renfermer des facteurs de risque qui pourraient favoriser la prolifération des levures et moisissures (Ollivon et al., 1992 ; Ribier & Rouzière, 1995). De même, l'hydrolyse enzymatique des triacylglycérols (lipolyse) par l'activité des levures et moisissures, conduit à une accumulation dans l'huile d'acides gras libres, de mono et diglycérides. Ces composés peuvent être à l'origine d'une altération des qualités organoleptiques de l'huile et de ses produits dérivés (Fournier et al., 2001).

En outre, des problèmes cardiovasculaires et obésités sont suggérés chez certains consommateurs de cette huile végétale à cause de sa composition en acides gras essentiels, notamment en oméga-6 (9,2 %) et en oméga-3 ($< 0,5$ %) qui reste à désirer (Lecerf, 2013). Ce défaut s'explique par sa forte teneur (45 à 55 %) en acides gras saturés, constitués essentiellement d'acides gras à chaine moyenne tels que l'acide mystérique, laurique et palmitique qui sont cependant les plus hypocholestérolémiant (Bamba et al., 2024). Ce qui fait qu'elle est l'objet de polémiques nutritionnelles au-delà des polémiques environnementales (destruction des forêts tropicales, menace de la biodiversité,...) et sociaux (conditions de travail précaires des ouvriers agricoles, déplacement des populations,...) (Ngiye, 2015).

L'huile de palme brute vendue sur les différents marchés de Bujumbura est généralement préparée de façon artisanale puis évacuée sur différents lieux de stockage et de vente. D'après le Ministère ayant dans ses attributions l'Agriculture et Élevage, les UATH traitent plus de 85% des régimes produits mais fournissent une huile brute de qualité douteuse, obtenue avec un

taux d'extraction très faible (MAE, 2008). Puis, elle échappe au contrôle de qualité par le service spécialisé. Par contre, la qualité de l'huile raffinée, livrée à la consommation, est contrôlée d'abord au niveau de l'industrie avant sa commercialisation, puis par le BBN, sur le marché local ou urbain où elle est vendue.

Ces huiles (raffinées et brutes) sont exposées par les revendeurs aux divers facteurs de détérioration des lipides. En effet, elles sont généralement placées dans des récipients ouverts parfois malpropres (hygiène précaire), exposées aux rayons solaires qui sont les sources d'oxydation et soumises à des pratiques de chauffages répétitifs dans le but de faciliter le mesurage (M'Baye et al., 2011). En outre, les unités de production ou industries de la place semblent ne pas accorder plus d'importance aux trois (3) points critiques (le traitement, le transport et le stockage) dans la production de celles-ci. Or la non maitrise de ces points est la cause de l'acidité et d'humidité importante dans l'échantillon (Olorunfemi et al., 2014). De surcroît, certaines d'entre-elles présentent même l'odeur de rancissement, caractéristique d'une huile détériorée (Tay et al., 2020).

2. Hypothèses

Vu les conditions de leur conservation et de leur vente qui paraissent insatisfaisantes sur le marché :

- Ces huiles seraient sujettes à des détériorations d'origine microbiologique et physicochimique, et ne conserveraient pas leur bonne qualité ;
- L'exposition prolongée aux rayons solaires induirait également une perte des caroténoïdes totaux. De surcroît, les huiles raffinées seraient significativement différentes des huiles brutes ;
- Les caractéristiques physico-chimiques et les caroténoïdes totaux varieraient de manière identique au sein de différents marchés.

3. Choix et intérêt du travail

La population de la ville de Bujumbura n'est pas tellement informée sur la caractéristique physicochimique des huiles de palme (raffinée et brute) qu'elle consomme. Les critères de qualité recherchés par elle, autrement dit ce qui fait qu'un produit soit jugé crédible par les consommateurs sont : la couleur, le goût, l'odeur, la limpidité, la fluidité et l'homogénéité constatés au travers des bouteilles commercialisées sur les marchés et surtout, le comportement de l'huile au moment de son utilisation voire même l'origine géographique de l'huile (Cheyns et al., 2003). Cependant, ceux-ci sont insuffisants pour qualifier un produit crédible. C'est pourquoi, le contrôle devient alors une absolue nécessité pour garantir la sécurité alimentaire et protéger les consommateurs aux risques liés à une éventuelle contamination ou fraude. Ceci doit se faire normalement tout au long de la manipulation, du transport et du stockage par le service spécialisé en vue de préserver la santé de la population (M'Baye et al., 2011).

Le présent travail constitue une contribution pour vérifier la conformité des huiles de palme aux normes burundaises (NB EAS) et du Codex Alimentarius en rapport avec les huiles de palme. Les résultats pourront servir les autorités de l'hygiène et de la santé publique pour le contrôle, le traitement ou faire de suivi permanent en vue de garantir la sécurité alimentaire de la population.

4. Objectifs

4.1. Objectif général

L'objectif général de cette étude est d'analyser la qualité des huiles de palme vendues dans les marchés de Bujumbura.

4.2. Objectifs spécifiques

Cependant, cette étude envisage la réalisation des objectifs spécifiques suivants :

- Évaluer les propriétés physicochimiques en vue d'une appréciation sur la qualité intrinsèque des huiles livrées sur les marchés de la mairie de Bujumbura avec des normes y afférentes ;
- Déterminer la teneur en caroténoïdes totaux dans ces huiles en vue de la vérification de la conformité aux normes burundaises et du Codex Alimentarius ;
- Mener une comparaison entre les caractéristiques des huiles de palme brutes et raffinées commercialisées en mairie de Bujumbura ;
- Repartir les marchés où les huiles de palme ont été achetées en groupe homogène et hétérogène.

5. Subdivision du travail

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre dresse les généralités sur les huiles de palme ;
- Le second chapitre présente le matériel et les analyses faites ;
- Le dernier chapitre rapporte les résultats obtenus et la discussion.

Chapitre I

Généralités sur les huiles de palme

I.1 Historique et description du palmier à huile

L'origine africaine du palmier à huile remonte à l'éocène (plus de 20 millions d'années). Des pollens ont été retrouvés dans des sédiments de Guinée, du Sénégal et du Nigeria sur une bande côtière longeant l'Océan Atlantique, cette zone que les spécialistes appellent *oil palm belt* s'étirant du Sénégal à l'Angola (Sagna, 2023).

Cependant, l'espèce *Elaeis guineensis*, originaire d'Afrique tropicale humide est un lointain parent du cocotier (Rakotomalala, 2008). Elle doit son nom au botaniste Jacquin depuis 1963 et sa culture s'étendait du Sénégal jusqu'à l'Angola (Jacquemard & Baudouin, 1987). Il existe trois variétés de cette espèce mais le matériel actuellement planté est un hybride appelé *Tenera* qui a un rendement moyen de 20 tonnes de régimes à l'hectare (Durand-Gasselin et al., 2010).

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) est une palmacée monocotylédone qui pousse surtout sur les sols sableux le long des côtes. Bien que des variétés naines et semi-naines existent pour cette espèce, leur taille peut atteindre 15 à 30 m de hauteur. Le palmier est cultivé à l'échelle industrielle. Sur le plan structural, leurs fruits présentent des différences. L'huile de palme provient de la pulpe des noix alors que l'huile de palmiste provient de l'amande séchée (palmiste) (Kapseu, 2009).

I.1.1 Systématique

La position systématique du palmier produisant l'huile brute de palme et l'huile de palmiste est donnée ci-dessous :

- Super règne : *plantae*
- Classe : *Equisetopsida*
- Ordre : *Arecales*
- Famille : *Arecaceae*
- Genre : *Elaeis*
- Espèce : *guineensis*

I.1.2 Variétés de l'espèce *Elaeis guineensis* Jacq.

Les trois variétés (*dura, tenera et pisifera*) connues pour cette espèce comportent presque les mêmes organes que sont l'amande (albumen) donnant l'huile de palmiste et un embryon, la coque (endocarpe) qui entoure l'amande et la pulpe (mésocarpe), d'où on extrait l'huile de palme. Ces variétés *dura*, *tenera* et *pisifera* sont caractérisées respectivement par une coque épaisse, une coque mince et une coque quasi-absent (Kouadio, 2022). La figure I.1 présente ces variétés. Au Burundi, l'introduction d'une nouvelle variété de palmier à huile appelée *tenera* qui remplaça l'ancienne variété *dura* a été accompagnée de nouvelles techniques de cultures qui ont incontestablement permis de produire plus d'huile de palme et générer plus de revenus dans la région (Ngiye, 2015).



Figure I.1 : *Coupe de fruit des différents types de Elaeis guineensis Jacq (*Gret, *2018).*

I.2 Structure des fruits

Le fruit du palmier à huile ou noix de palme, est une drupe charnue, de forme ovoïde, sessile groupée en régimes. Un régime peut porter jusqu'à 1500 drupes et peut peser jusqu'à 25 kg (De Berchoux et al., 1986). Cet organe de la plante est structuré comme suit : la pulpe, de couleur jaune-orangé est à la base de l'huile de palme, il renferme un noyau très dur ou coque à l'intérieur duquel on trouve la graine ou amande appelée palmiste qui fournit l'huile de palmiste (Kouadio, 2022). Cette structure est représentée sur la figure I.1.

I.3 Huile de palme

Le terme *huile de palme* associe souvent les deux grands types de produits (huile RPO et huile PKO) issus du palmier à huile. L'huile de palme brute (RPO) est obtenue à partir du mésocarpe fibreux (pulpe) et l'huile de palmiste brute (PKO) obtenue à partir de l'amande du noyau (le palmiste). Ce dernier type (PKO) a une composition plus proche de l'huile de coco (O'Keefe et al., 2000).

Cependant, l'huile de palme brute (RPO) est le plus souvent vendue et consommée raffinée, c'est-à-dire ayant subi l'ensemble des étapes de raffinage, notamment décoloration et désodorisation. Son point de fusion, c'est-à-dire la température à laquelle un corps gras passe de la consistance solide à la consistance liquide, est naturellement élevé (36°C) (Lecerf, 2013). La figure I.2 décrit les parties utilisées pour obtenir de l'huile ainsi que le type d'huile obtenu.

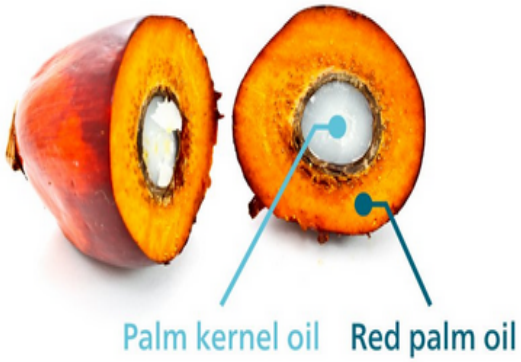


Figure I.2 : *Coupe transversale d'un fruit du palmier à huile.*

I.4 Production de l'huile de palme

L'extraction de l'huile *rouge* est entièrement artisanale. Il s'agit de l'ensemble des opérations conduisant à l'obtention de l'huile *rouge*. Ce processus de transformation est recommandé au maximum 48 heures après la récolte (Poku, 2002). Il comporte 7 principales étapes comme le montre la figure I.3.

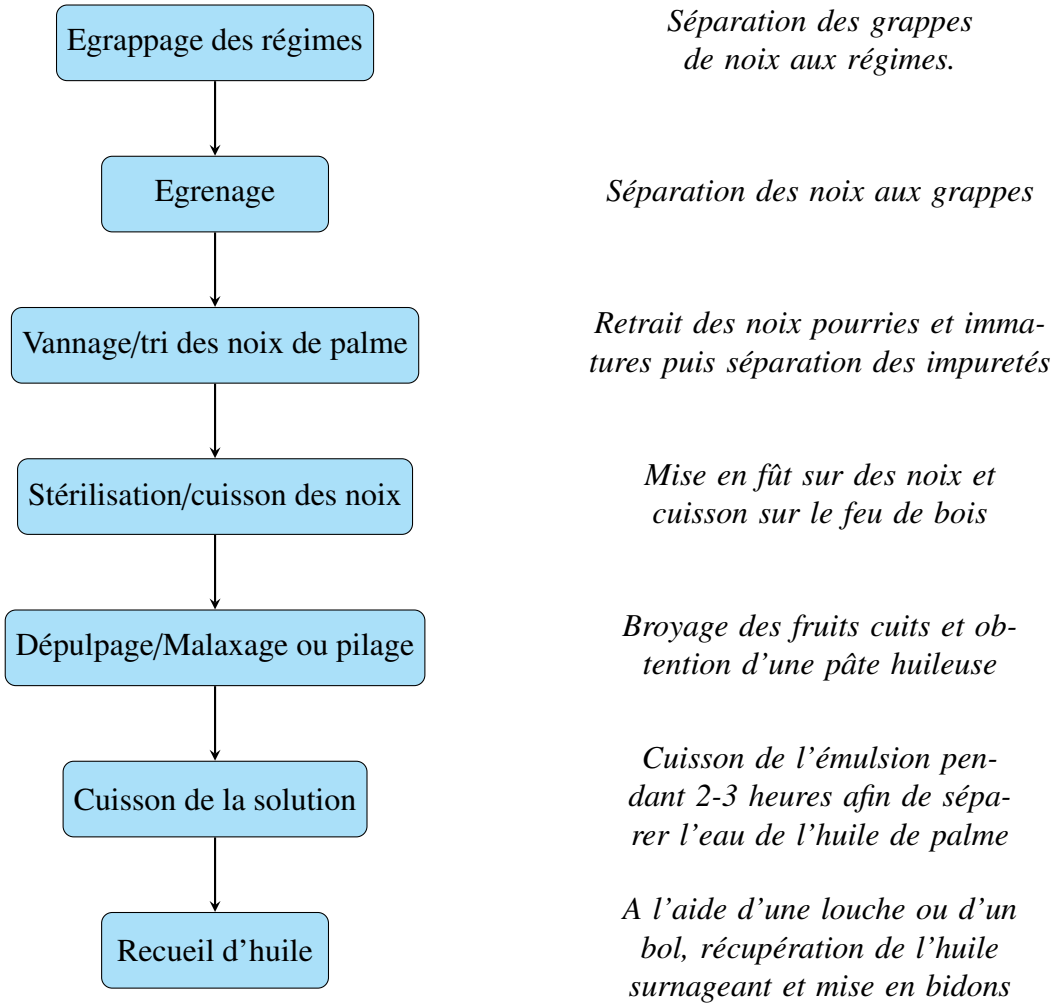


Figure I.3 : *Étapes de production de l'huile de palme rouge (*Gret, *2018).*

En outre, pour l'huile de palme raffinée, les étapes suivantes sont ajoutées : la démucilagination, la neutralisation, la décoloration ou le blanchissement et la désodorisation (Jahouache, 2002) :

I.4.1 Démucilagination

Les mucilages sont les phospholipides, les protéines et les autres impuretés colloïdales présents dans l'huile brute. Cette étape consiste à éliminer la partie majeure des phospholipides.

Il est exclu de neutraliser en présence de ces composés car ils causent en présence d'eau des émulsions pouvant provoquer des colmatages au niveau des filtres des installations industrielles. Par ailleurs ces produits inhibent la désodorisation ultérieure de l'huile neutralisée.

I.4.2 Neutralisation

La neutralisation ou la désacidification consiste à éliminer les acides gras libres de l'huile démucilaginée. Les techniques de neutralisation des huiles végétales les plus utilisées sont : *la neutralisation chimique ou alcaline* (par la soude ou par la chaux) et *la neutralisation physique* (par distillation).

Outre l'élimination des acides gras libres, la neutralisation permet d'éliminer la totalité des phospholipides, les traces de métaux et les produits dégradés par oxydation.

I.4.3 Décoloration des huiles végétales

La décoloration succède à l'étape de neutralisation au cours du raffinage. C'est une opération qui vise à éliminer les pigments colorés que la neutralisation n'a que partiellement détruits. Elle fait intervenir un phénomène physique : *l'adsorption sur des terres décolorantes*, *du charbon actif*, *des silices spéciales ou des combinaisons de ces substances*.

I.4.4 Désodorisation

Ce traitement est destiné à éliminer les substances odorantes (essentiellement les composés soufrés) de l'huile décolorée. Cette opération est réalisée sous vide à haute température. Il s'agit, en effet, d'un entraînement à la vapeur d'eau sous vide de ces composés qui résultent de la dégradation de l'huile.

À la suite de ces étapes, les huiles de palme et de palmiste sont obtenues (Lecerf, 2013).

I.5 Composition biochimique de l'huile de palme

L'huile de palme brute est naturellement rouge jaunâtre en raison de sa teneur élevée en bêta-carotène. Li et al. (2012) ont indiqué que la teneur en carotène de l'huile de palme brute est comprise entre 700 et 800 ppm ; et 90 % sont des $\beta-$ et α-carotènes (Li et al., 2012). C'est une huile végétale à haute teneur en graisses saturées ; par conséquent, elle est semi-solide à température ambiante tropicale. La composition d'huile de palme brute peut être repartie dans cinq (5) groupes chimiques principaux, comme le montre le tableau I.1 (Adamu, 2023) :

En outre, elle a une composition biochimique assez grande et importante qui se résume de 90 à 95 % en composés majeurs à savoir les acides gras et 1 à 5 % en composés mineurs (Morin & Pagès-Xatart-Parès, 2012).

Tableau I.1 : *Composition générale d'huile de palme brute (HPB).*

Groupe	Composantes du groupe
Huiles	TAG, DAG, MAG, phospholipides glycolipides, lipoprotéines, acides gras libres.
Produits d'oxydation	Peroxydes, aldéhydes, cétones. furfures (à partir du sucre).
Terpéniques (huiles solubles	Carotène, tocophérols squalène, stérols.
Impuretés	Particules métalliques, ions métalliques complexes métalliques.
Éléments solubles dans l'eau	Eau (humidité), glycérol, pigments des chlorophylles phénols, sucres (glucides)

I.5.1 Éléments majeurs

Les acides gras constituent les éléments majeurs d'huile de la pulpe des graines de palme. L'huile de palme est composée à 50% d'acides gras saturés (AGS) et 50% d'acides gras insaturés (AGI) (Monde et al., 2009). Les principaux acides gras (AG) de l'huile de palme sont les acides myristique (C14 :0), palmitique (C16 :0), stéarique (C18 :0), oléique (C18 :1) et linoléique (C18 :2). Ils forment des fractions glycériques comme les autres corps gras d'origine végétale renfermant des triglycérides (les acides gras estérifiant) (Lecerf, 2013). Le tableau I.2 résume la proportion des éléments majeurs (acides gras) en pourcentage.

Tableau I.2 : *Teneur (%) en acides gras de l'huile de palme standard*

Acides gras	Teneur en %
Acides gras à chaîne courte	**ND**
Acides gras saturés	**45-55**
Acide laurique C12 :0	*< 0,5*
Acide myristique C14 :0	*0,5-2*
Acide palmitique C16 :0	*39,5-47,5*
Acide stéarique C18 :0	*3,5-6*
Acides gras mono-insaturés	**38-45**
Acide oléique C18 :1n-9	*36-44*
Acides gras polyinsaturés	**9-12**
Acide linoléique C18 :2n-6	*9-12*
Acide α – linolnique C18 :3n-3	*<0,5*

Avec Légende. **ND** : non détectable (Lecerf, 2013).

I.5.2 Éléments mineurs

A côté des constituants majeurs triglycériques, l'huile de palme, comme toute huile végétale, contient des composés *mineurs* comprenant de la vitamine E, des caroténoïdes, des phytostérols, des composés phénoliques (Lecerf, 2013).

– *Cérides* : Ils sont des esters d'acides gras et de mono (éventuellement di) alcools de masse moléculaire suffisamment élevée pour que ces alcools soient insolubles dans l'eau. Parmi eux, on compte : les cires naturelles (esters d'acides gras et mono alcools aliphatiques), les stérides (esters de stérols, de méthyl-stérols ou d'alcools triterpéniques), les caroténo-cérides (esters d'acides gras et d'hydroxy-caroténoïdes ou xanthophylles) (Kouadio, 2022).
– *Phospholipides* : Les phospholipides ou phosphatides présents dans les corps gras végétaux bruts (jusqu'à 2 % de certaines huiles), sont essentiellement des phosphoglycérides (c'est-à-dire des dérivés du phosphoryl-3-glycérol), des sphingolipides (dérivés de la phytosphingosine) et des phospholipides comportant en outre des motifs glucidiques (glycolipides) (Kouadio, 2022).

I.6 Production de l'huile de palme au Burundi

Depuis longtemps, l'économie burundaise dépend de l'agriculture. Celle-ci fournit la majorité des exportations du pays (café, thé, le coton,...) qui fournissent la grande partie des devises extérieures du pays. Depuis la colonisation et après l'indépendance, tous les gouvernements au pouvoir se sont intéressés à ces trois cultures. Le palmier à huile est connu au Burundi depuis très longtemps. Au 19^{e} siècle, les palmeraies de l'Imbo ont frappé les explorateurs et missionnaires européens (Ngiye, 2015).

I.6.1 Régions éco-climatiques du Burundi

Avant de détailler les régions burundaises favorables à la culture du palmier à huile, il est important de parler très brièvement de certains aspects du milieu physique burundais.

Le Burundi est subdivisé en 5 régions éco-climatiques (Figure I.4). De l'Ouest à l'Est, on distingue : les terres basses de l'Imbo correspondant au fossé d'effondrement du Rift Valley, la région escarpée des Mirwa, la zone montagneuse (la Crête Congo-Nil), les plateaux centraux et enfin les dépressions de Kumoso et de Bugesera. L'altitude varie de 775 m au bord du lac Tanganyika jusqu'à 2670 m sur les massifs montagneux pour diminuer progressivement à travers les plateaux centraux (1500m) jusqu'à 1200 m à l'Est du pays.

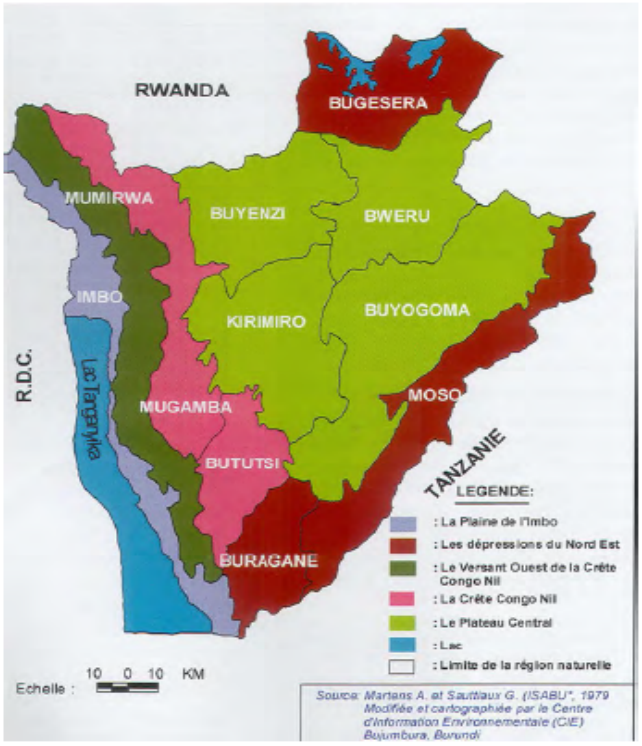


Figure I.4 : *Régions éco-climatiques du Burundi (*Ngiye, *2015).*

I.6.2 Conditions climatiques du palmier à huile au Burundi

Le palmier à huile est une plante de milieu tropical humide, c'est une plante de soleil et d'eau à croissance continue, qui réclame des conditions climatiques aussi constantes que possible tout au long de l'année. Elle nécessite un sol profond, meuble, perméable à bon pouvoir de rétention en eau, riche en humus et éléments minéraux. Tout écart par rapport aux conditions optimales engendre un stress pour la plante, provoquant une baisse de production. Sa croissance et ses rendements sont très influencés par les facteurs climatiques et les conditions du sol. Le palmier à huile a besoin :

– d'une pluviométrie de 1800 mm bien répartie sans déficit hydrique ;
– d'un ensoleillement de plus de 1500 hectare par an (h/an) ;
– d'une hygrométrie moyenne de l'air supérieure à 75 % ;
– d'une température moyenne de 26° C avec des minima moyens toujours supérieurs à 18° C ;
– de sols profonds, bien drainés, à bonnes caractéristiques physiques et chimiques.

Lorsque toutes ces conditions sont réunies, on peut espérer obtenir jusqu'à 9 tonnes d'huile par hectare et par an (Berger, 1989).

Au Burundi, seuls, la plaine de l'Imbo (altitude variant de 775 à 1000 m), les premiers contreforts de l'escarpement des Mirwa (1000 à 1200 m d'altitude) et les dépressions de Kumoso et de Bugesera (1100 à 1400 m d'altitude) présentent des températures favorables à cette culture,

car ils atteignent partout une moyenne annuelle supérieure à 20°C.

Cependant, si les températures sont suffisamment proches de l'optimum, les quantités de précipitations disponibles sont de loin inférieures à celles exigées, car elles sont toujours inférieures à 1400 mm dans les zones précitées.

I.6.3 Conditions édaphiques du palmier à huile

Le palmier à huile est une culture assez plastique du point de vue des sols et plus exigeant sur leur qualité physique que sur leur richesse en matières minérales. Il préfère des sols profonds, meubles, perméables, à bon pouvoir de rétention en eau : il s'accommode fort mal d'un horizon compact (cuirasse, lit gravillonnaire ou argileux) à faible profondeur.

A Rumonge, par exemple, cette culture s'érige sur les alluvions fluviales déposées le long des rivières par les crues. Cette culture se calque souvent sur le tracé des rivières qui traversent la plaine de l'Imbo. Nous remarquons les palmeraies le long des rivières Ruzibazi, Dama, Murembwe et Nyengwe. De même qu'au nord de Bujumbura dans la plaine de la Rusizi, les palmeraies s'installent le long des rivières Gikoma, Musenyi, Mpanda etc. Ce qui est, en d'autres termes, un avantage pour l'irrigation des palmeraies (Ngiye, 2015).

I.6.4 Localisation de la culture du palmier à huile

1. **La zone pionnière : une zone presque saturée** : cette zone est constituée principalement par Rumonge et Nyanza-Lac ; le palmier y règne en maître. La densité est très élevée presque partout : aucun recoin n'est exempté de cet arbre. Depuis les années 80, cette localité a été la cible principale de tous les programmes de développement de la filière.
2. **La zone intermédiaire : une zone à densité moyenne** : cette catégorie est dominée par la basse plaine de la Rusizi et une petite partie de la moyenne plaine de la Rusizi. Après le succès connu à Rumonge, les habitants de Muzinda, Rugazi, Mpanda ont eux aussi introduit le palmier dans leurs exploitations. Seulement, le palmier n'a pas fait l'objet d'un encadrement sérieux d'un projet spécifique comme il l'a été à Rumonge et à Nyanza-Lac.
3. **La zone à récente extension du palmier à huile** : la zone à récente extension a la particularité d'être à l'extrême du Burundi. Elle est localisée dans la dépression de l'est et nord-est du Burundi. Précisément à Nyabigogo, Kirundo, Ruyigi (Nyabigogo), Rutana (Bukemba) et Cankuzo (Mishiha).

I.6.5 Production d'huile de palme au Burundi

Au Burundi, comme dans la plupart des pays africains palméiculteurs, deux modes de transformation de l'huile de palme rivalisent. Il s'agit de la transformation artisanale et industrielle.

Cependant, au fur et à mesure du temps, il s'est glissé entre les deux une troisième forme d'extraction qu'on appelle *semi industrielle*.

1. **Méthode artisanale** : La transformation artisanale des fruits de palme au Burundi est très ancienne. Elle est de toute façon antérieure au démarrage du projet palmier à Rumonge. C'est une technique qui remonte de l'introduction de la culture au Burundi. Signalons que celle-ci a connu beaucoup d'évolutions au fur du temps : de l'usage du *mortier* à la technique évoluée appelée au pays *Mahweniya*.
2. **Méthode semi-industrielle** : Dans les unités de transformation semi industrielles, certaines opérations du procédé d'extraction de l'huile de palme sont mécanisées tandis que d'autres restent toujours manuelles. Ainsi par exemple, les étapes de stérilisation et d'égrappage se font de la même manière que dans les techniques artisanales. L'égrappage est manuel et la cuisson des fruits se fait à l'eau et dans les fûts de 200 litres.
   Cependant, les opérations de malaxage et de pressage se font mécaniquement grâce à un dispositif entraîné par un petit moteur électrique. C'est une méthode qui est ni artisanale ni industrielle, elle est entre les deux. Cette méthode réduit quand même la pénibilité du travail, car le malaxage et la presse sont les étapes les plus pénibles dans la fabrication ou production de l'huile de palme.
3. **Méthode industrielle** : La transformation industrielle est très récente au Burundi, elle a été instaurée par le projet palmier à huile de Rumonge. En effet, trois ans après le démarrage du projet, c'est-à-dire en 1986, une usine moderne de transformation industrielle a été installée à Murembwe (à 3 km de la ville de Rumonge) dans le but de transformer tous les régimes qui seraient produits dans les périmètres de la SRD Rumonge et dans les environs.
   Cependant, après son installation, malgré sa capacité de transformation très élevée, elle n'a jamais opéré à sa capacité maximale, car elle a été sérieusement mis à mal par une concurrence des artisans. C'est d'ailleurs une des raisons qui a motivé le SAVONOR à chercher ses propres plantations pour alimenter au maximum son entreprise.
   En 2012, une autre mini huilerie a été installée au nord de Bujumbura, plus précisément dans la zone Musenyi (à 20 km au nord de Bujumbura), elle est destinée à transformer les régimes de palmiers récoltés dans les plantations d'Itenga et de Musenyi. Cette usine comme celle de Rumonge appartiennent à la société SAVONOR (Ngiye, 2015).

I.7 Utilisation et importance

L'huile de palme est utilisée à des fins alimentaires et non alimentaires (Kapseu, 2009) :

– **Sur le plan alimentaire**, cette huile entre dans les recettes culinaires (koki, sauce jaune, eru, kwem,...). L'huile de palme occupe une place importante dans les rituels (culte). En Afrique, l'huile de palme est utilisée dans le culte des ancêtres, partagée lors des cérémonies de naissance, s'offre comme élément de dot lors des mariages et est mélangée aux potions médicamenteuses pour soulager les coliques.

– **Sur le plan non alimentaire**, l'huile de palme entre dans la fabrication du savon à l'échelle artisanale et industrielle. Elle sert aujourd'hui de matière première pour la fabrication des biocarburants.
– **Sur le plan thérapeutique (fabrication des médicaments)**, l'huile de palmiste est sollicitée dans la prévention et le traitement des coliques infantiles. Elle est utilisée contre les maladies de la peau comme *les érythèmes fessiers*, *la gale*, *la teigne*, *l'acné* et *les démangeaisons*. Elle est aussi utilisée pour le massage du corps des nourrissons.
– **Sur le plan cosmétique**, les femmes âgées en usent habituellement pour entretenir leur peau et soulager leur rhumatisme.

I.8 Qualité des huiles végétales (palme)

La qualité est le résultat d'un ensemble de propriétés particulières qui conditionnent son acceptabilité. On peut considérer la qualité intrinsèque qui correspond à des critères de composition et de valeur nutritive, la qualité hygiénique basée sur des critères de protection de la santé du consommateur et la qualité organoleptique englobant les aspects de la couleur, de la saveur et de texture (Azzaz et al., 2020). En voici ces qualités :

– **Qualité nutritionnelle** : Les critères de contrôle de la qualité nutritionnelle d'une huile incluent le profil en acides gras, la teneur en composés antioxydants (type tocophérols et polyphénols) ainsi que les marqueurs d'altération de l'huile (Azzaz et al., 2020).
– **Qualité organoleptique** : Les critères les plus importants du point de vue du consommateur sont les critères sensoriels notamment la couleur, l'odeur, la flaveur ou la texture (Regost, 2001). L'objectif est de rechercher si l'huile est neutre de goût ou s'il reste des flaveurs agréables ou désagréables perceptibles. En fonction de ce critère, on classe l'huile en *acceptable*, *limite*, *non acceptable* (Vigneron et al., 2002).
– **Qualité hygiénique** : Cet aspect de la qualité qui relève de la non-toxicité reflète la sécurité chimique et bactériologique. Elle est *normalisable* où la réglementation fixe en général les seuils limites à ne pas dépasser pour les principales contaminations toxiques (Chiaradia-Bousquet, 1994).

I.9 Altération des huiles végétales (palme)

Les huiles végétales ont certes des propriétés nutritionnelles et thérapeutiques remarquables de par leur composition chimique, mais les mauvaises conditions de production, de transport, de conservation et d'utilisation peuvent altérer leur qualité en augmentant l'acidité et en influençant la stabilité de celles-ci à l'oxydation (Gulla & Waghray, 2011). L'oxydation des huiles est une cause majeure de leur dégradation lors de leur fabrication et de leur conservation.

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'oxydation des lipides. Ils peuvent être classés en :

– **Facteurs intrinsèques** : composition en acides gras des lipides, présence d'espèces prooxydantes (ions métalliques, enzymes) ou d'antioxydants naturels (tocophérols) ;
– **Facteurs extrinsèques** : température, lumière, pression partielle en oxygène, présence de pro-oxydants exogènes.

Ce phénomène est avant tout un phénomène chimique. Il est généré par des radicaux libres, espèces chimiques neutres ou chargées, instables qui cherchent à récupérer un électron dans leur environnement pour retrouver un état plus stable. Ces deux propriétés font que les réactions d'oxydation sont très rapides et se propagent en cascade (Césaire et al., 2019).

Ce phénomène peut résulter de plusieurs voies réactionnelles en fonction du milieu et des agents initiateurs :

– **L'oxydation enzymatique** initiée par la lipoxygénase et la cyclooxygénase a surtout lieu dans les fruits crus, avant la transformation industrielle (récolte, transport, séchage, et entreposage). L'enzyme principalement impliquée est la lipoxygénase. La lipoxygénase catalyse l'insertion d'une molécule d'oxygène sur un acide gras insaturé selon une réaction stéréospécifique, et aboutit à la formation d'hydroperoxydes. Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés. Son activité est souvent couplée avec celle des lipases et phospholipases (Drici Adil, 2019) ;
– **La photo-oxydation** due à la lumière visible ou ultraviolette en présence de photosensibilisateurs. La photo-oxydation est une voie de peroxydation lipidique initiée par des substances photo sensibilisatrices. Elle correspond à la dégradation oxydative des lipides en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photo-sensibilisateurs. Dans ce mécanisme, les pigments et les colorants alimentaires : (chlorophylle, certains colorants, certaines vitamines), peuvent agir comme photosensibilisateur grâce à leur capacité à absorber la lumière. En présence d'un photo-sensibilisateur, l'énergie lumineuse convertit l'oxygène triplet ($^3O_2$) en oxygène singulet ($^1O_2$), qui peut réagir directement sur les doubles liaisons insaturées des chaînes grasses.

  En effet, dans son état fondamental, la molécule d'oxygène sous son état triplet est stable et incapable de réagir avec les acides gras insaturés (Drici Adil, 2019) ;
– **L'auto oxydation** catalysée par la température (température élevée du milieu) ; les ions métalliques ou les radicaux libres correspondants à des lipides déjà oxydés (Césaire et al., 2019). L'auto-oxydation des lipides est une réaction radicalaire en chaîne auto-catalytique. L'auto-oxydation semble donc être un mécanisme principal dans l'oxydation de lipide. Elle produit principalement les hydro-peroxydes et les composés volatils, généralement par un processus triphasé (initiation, propagation, terminaison). La figure I.5, présente le phénomène d'oxydation des acides gras (Drici Adil, 2019).

Sur la figure I.5, on peut constater que les produits formés au cours de l'oxydation des lipides sont primaires et secondaires (Drici Adil, 2019).

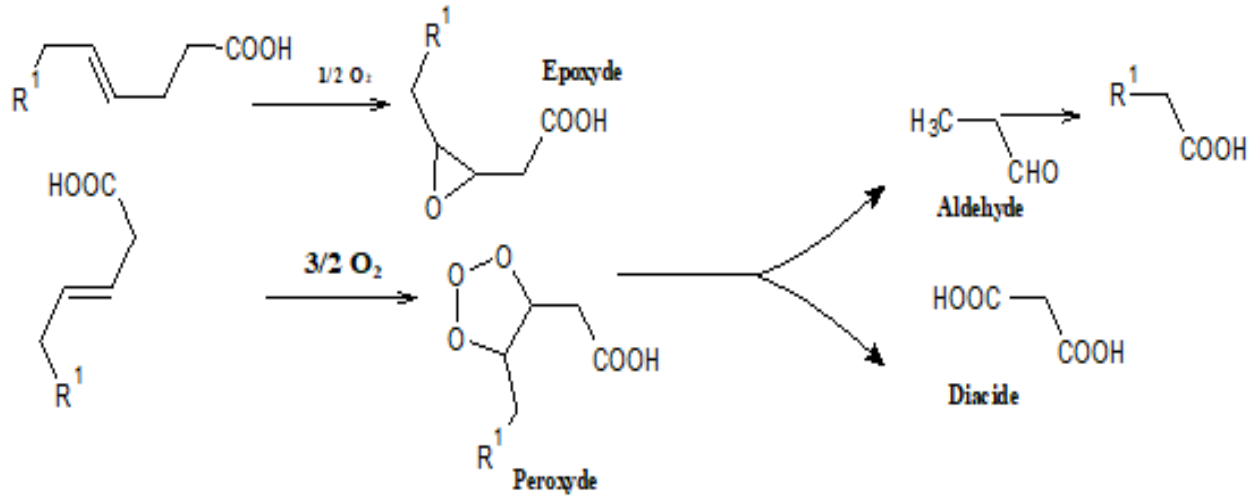


Figure I.5 : *Oxydation des acides gras (*Acd/Chemskech, *2022).*

– **Les produits primaires** de l'oxydation des huiles se composent essentiellement d'hydroperoxydes variés : radicaux libres, dienes conjugués ;
– **Les produits secondaires** se composent essentiellement des aldéhydes, des alcools, des cétones et les composés volatils car les hydro-peroxydes, produits primaires de la réaction, sont des molécules instables. Ils se décomposent sous l'effet de la chaleur ou des métaux en donnant naissance à ceux-ci. Ces derniers volatils sont à l'origine de la modification de l'odeur des produits oxydés.

En outre, ces phénomènes entraînent toujours une perte importante de qualité de l'huile tant sur le plan sensoriel (rancidité) que nutritionnel (perte d'acides gras polyinsaturés et de vitamine E) (Aissoun & Bennour, 2022).

Cependant, les principaux facteurs impliqués dans l'oxydation de l'huile de palme au cours de stockage sont : la température, la lumière, la pression partielle en oxygène et la composition chimique de l'huile de palme notamment en traces métalliques. Le contrôle ou l'inhibition de l'oxydation des lipides est basé sur la maîtrise et le contrôle de ces facteurs (Drici Adil, 2019).

I.10 Stabilité oxydative des huiles végétales (palme)

La stabilité oxydative d'une huile est due, non seulement à sa grande proportion en acides gras mono insaturés par rapport aux polyinsaturés, mais aussi à la présence de certains composés mineurs qui ont une activité anti oxydante importante (Gómez-Alonso et al., 2004).

La stabilité oxydative d'une huile est directement liée à sa composition en phénols (Guillén & Cabo, 2002) qui jouent un rôle protecteur en bloquant la phase de propagation de l'auto-oxydation des acides gras insaturés (Deiana et al., 2002) en piégeant les radicaux libres et en chélatant les métaux (Chimi et al., 1991). L'hydroxytyrosol (3,4-dihydroxyphenylethanol) s'est révélé être l'antioxydant le plus efficace (Papadopoulos & Boskou, 1991 ; Tsimidou et al., 1992).

D'autres composés mineurs jouent aussi un rôle protecteur non négligeable dans la stabilité des huiles de palme. L'effet du β-carotène diminue progressivement car les caroténoïdes sont dégradés par la lumière et la température. En présence de chlorophylles, qui sont des photosensibilisateurs transformant, sous l'effet de la lumière, l'oxygène atmosphérique en oxygène singulet très réactif, les carotènes et tocophérols sont détruits plus rapidement car ils désactivent l'oxygène singulet (Deiana et al., 2002).

De manière générale, les effets de ces différents composés mineurs sur la stabilité d'une huile sont nettement moins significatifs à l'obscurité qu'à la lumière (Psomiadou & Tsimidou, 2002).

Caponio et al. (2005) suggèrent qu'à la lumière, l'huile est protégée principalement par les tocophérols et les caroténoïdes alors que les substances phénoliques ont alors un rôle secondaire. À l'obscurité, ce sont les phénols qui se révèlent être les composés les plus impliqués pour protéger l'huile de son auto-oxydation (Caponio et al., 2005).

I.11 Exigences requises pour des huiles végétales (palme)

Les paramètres à considérer dans l'évaluation de la qualité des huiles alimentaires sont nombreux et dépendent de l'utilisation qui en est faite, du mode de production et de la spécificité des huiles (Wolf, 1982). Cependant pour toutes les huiles alimentaires, il existe des paramètres d'appréciation communs. Une huile de palme de bonne qualité doit obéir aux exigences spécifiées dans le tableau I.3 (Eas, 2022).

Le Burundi recours aux normes de l'EAC pour l'évaluation de la qualité des aliments. L'élaboration des normes de l'EAC a été rendue nécessaire par le besoin d'harmoniser les exigences régissant la qualité des produits et des services dans la Communauté de l'Afrique de l'Est. Cette harmonisation de la normalisation devrait permettre d'éliminer les barrières commerciales rencontrées lors de l'échange de biens et de services au sein de la Communauté.

Pour atteindre cet objectif, la Communauté a créé un Comité de Normalisation Est-Africain chargé d'élaborer et de publier des Normes Est-Africaines (EAS). Le comité est composé de représentants des organismes nationaux de normalisation (BBN, KEBS, UNBS, RBS, TBS, SSBS et OCC), des États partenaires, ainsi que de représentants du secteur privé et d'organisations de consommateurs.

La présente norme burundaise, NB EAS 301 :2022, *Edible palm oil - Specification*, est identique à une Norme Est-africaine, EAS 301 :2013, et a été reproduite à partir de celle-ci et adoptée en tant que norme burundaise (Eas, 2022).

Tableau I.3 : *Exigence compositionnelle de l'huile de palme.*

Paramètres	**NB EAS**	**Codex Alimentarius**
Humidité et matières volatiles à 105°C, % m/m, max. % m/m, max.	0,2	0,2
Matières insolubles, % m/m, max	0,05	0,05
Densité relative (50°C/ 20°C dans l'eau)	0,891 -0,899	0,891 -0,899
Indice de réfraction à 50°C	1,454-1,456	1,454-1,456
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	190 -209	190-209
Indice d'iode (Wij's), min.	45	50-55
Indice d'acide (mg KOH/g d'huile), max.	0,6 (HPR) et 10 (HPB)	10
Indice de peroxyde (mEq de peroxyde d'oxygène/kg d'huile), max.	10	10
Caroténoïdes totaux dans l'huile rouge, (ppm de β-carotène)	500-2000	500-2000

Chapitre II

Matériel et méthodes

II.1 Matériel

II.1.1 Présentation de la zone d'étude

Cette étude est menée dans la ville de Bujumbura capitale économique du Burundi. La figure II.1 présente cette ville ainsi que les différents grands marchés.

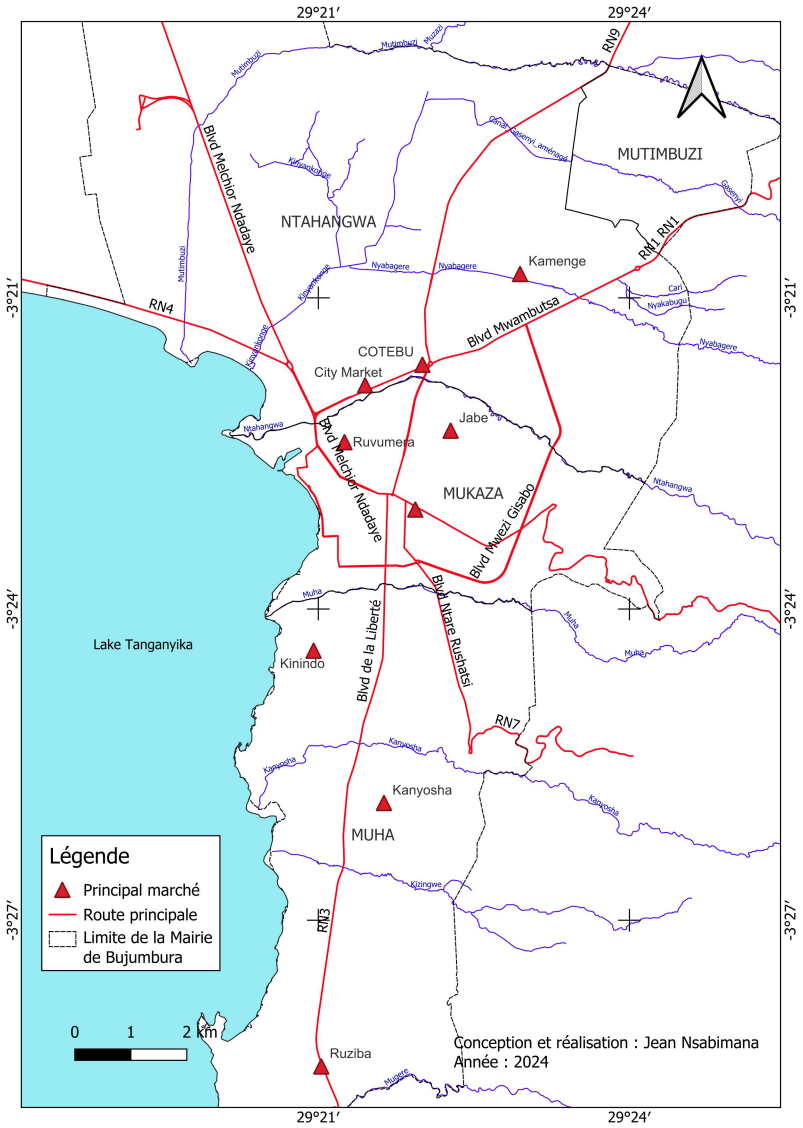


Figure II.1 : *Carte géographique de la ville de Bujumbura et ses grands marchés.*

II.1.2 Matériel d'étude

Le matériel utilisé pour la réalisation de ce travail est les huiles de palme (brutes et raffinées) issues des grands marchés de la ville de Bujumbura (Ruvumera, Jabe, Siyoni ou City market, Cotebu et Kamenge). La figure II.2 présente les échantillons des huiles de palme utilisés pour la présente étude.



Figure II.2 : *Échantillons d'huiles de palme étudiés.*

II.1.3 Réactifs, solvants et équipements

La liste des verreries, des solvants, des réactifs, d'appareillage et d'autres équipements sont mentionnés dans le tableau II.1.

Tableau II.1 : *Matériel de laboratoire utilisé.*

Produits chimiques	Appareillage	Verreries
Éthanol, Hexane, Acétone	Étuve,	Béchers
Cyclohexane, Acide acétique	Spectrophotomètre	Erlenmeyer
Chloroforme, Éther diéthylique	Agitateur magnétique	Fioles, Éprouvette
Acide chlorhydrique	Pycnomètre	Réfrigérant, Ballons
Éther de pétrole	Balance analytique	Tubes à essais,
Thiosulfate de sodium	Réfrigérateur	Mortier, Entonnoir
Iodure de potassium	Bain-marie bouillant	Pipettes graduées
Empois d'Amidon	Centrifugeuse	Burette, dessiccateur
Phénolphtaléine	Refractomètre,	Flacons, cuve en quartz
KOH, Réactif de Wij's	Chauffe ballon	Portoir, Micropipettes

II.2 Méthodes

II.2.1 Méthode d'échantillonnage

Les échantillons analysés ont été achetés dans cinq grands marchés précités de la ville aux dates des 12, 13 et 14 Octobre 2024. Le choix porte sur ceux-ci puisqu'ils approvisionnent d'autres

petits marchés et commerçants des différents quartiers de la ville de Bujumbura. L'achat a été effectué de façon aléatoire au sein de ceux-ci.

Les analyses ont été effectuées sur 20 échantillons d'huiles de palme raffinées et brutes dont 10 échantillons d'huiles raffinées de palme et 10 échantillons d'huiles brutes de palme. Les échantillons ont été conservés dans des bouteilles en plastique de 600 ml de marque « Kinju » (cfr figure II.2), puis étiquetés (type d'huile et marché) et disposés dans des cartons puis placés dans l'armoire du laboratoire, à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Ces conditions permettent de conserver les échantillons à bon état avant les analyses. Les analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie de la faculté des sciences de l'université du Burundi. Le tableau II.2 montre la répartition des échantillons par marchés précités.

Tableau II.2 : *Répartition des échantillons d'huiles de palme par marchés.*

Marché	Nombre échantillons	Code
Ruvumera	4	HPB : A_1 et A_2 HPR : A_3 et A_4
Jabe	4	HPB : B_1 et B_2 HPR : B_3 et B_4
Siyoni	4	HPB : C_1 et C_2 HPR : C_3 et C_4
Cotebu	4	HPB : D_1 et D_2 HPR : D_3 et D_4
Kamenge	4	HPB : E_1 et E_2 HPR : E_3 et E_4

II.2.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques

Dans cette étude huit paramètres physicochimiques ont été analysés : l'indice de réfraction (IR), la densité relative (DR), les matières volatiles et humidité relative (MVH), la teneur en impuretés insolubles (TII), l'indice d'iode (II), l'indice d'acide (IA), l'indice de peroxyde (IP) et l'indice de saponification (IS).

II.2.2.1 Indice de réfraction (IR)

L'indice de réfraction a été déterminé suivant la norme ISO 6320 (Eas, 2022). Le refractomètre utilisé était du type *Abbe Novex 98.490*. Pour cette détermination, les étapes suivantes ont été prises en considération :

- Après avoir calibré et nettoyé correctement l'appareil avec de l'éthanol ;
- Une quantité d'huile a été introduite dans l'appareil ;
- Puis, la valeur a été lue sur l'écran de l'appareil.

II.2.2.2 Densité relative (DR)

La méthode suivie est celle décrite dans la norme ISO 6883 (Eas, 2022). Le matériel utilisé pour la mesure de la densité est le pycnomètre. Pour y arriver, les étapes suivantes ont été prises en considération :

- Le pycnomètre a été pesé vide pour avoir sa masse (m_0) ;
- Puis, il a été pesé rempli d'eau distillée (20°C) pour avoir la masse de l'eau (m_1). Le thermomètre et le réfrigérateur ont été utilisés, l'un pour déterminer la température et l'autre pour la rabaisser ;
- Par suite, le pycnomètre rempli d'échantillon d'huile de palme (50°C) a été pesé pour avoir la masse de l'échantillon (m_2). Pour avoir cette température, les huiles ont été préalablement chauffées dans le bain-marie ;
- La formule II.1, nous a permis de déterminer la densité de chaque type d'huile :

$$DR = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \qquad (\text{II.1})$$

Avec : m_0 la masse du pycnomètre vide, m_1 : la masse du pycnomètre rempli d'eau distillée et m_2 : la masse du pycnomètre rempli de l'échantillon d'huile de palme.

II.2.2.3 Matières volatiles et humidité relative (MVH)

Les matières volatiles et l'humidité relative (MVH) des corps gras sont déterminées par la perte de masse mesurée dans les conditions d'essai précisées dans la norme ISO 662 (Eas, 2022). Le processus s'est déroulé de la manière suivante :

- Deux boites de pétri ont été pesées pour obtenir la masse de la boite vide (m_0) ;
- Dans deux boites de pétri, les échantillons d'huile ont été ajoutés à raison de deux (2) grammes dans chacune des boites ;
- Ces boiîtes ont été ramenées dans l'étuve (105°C) pendant une heure ;
- Puis, elles ont été mises dans le dessiccateur pendant 30 min avant d'être pesées ;
- L'humidité relative a été déterminée par la formule II.2 :

$$MVH(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \qquad (\text{II.2})$$

Avec m_0 : la masse de la boite de pétri vide, m_1 : masse de la boite et l'échantillon avant l'étuvage et m_2 : masse de la boite de pétri et l'échantillon après l'étuvage.

II.2.2.4 Teneur en impuretés insolubles (TII)

La teneur en impuretés insolubles (TII) a été déterminée dans les conditions d'essai précisées dans la norme ISO 663, de la manière suivante (ISO, 2017) :

- Après avoir bien agité le mélange, la masse de 5 g l'échantillon a été pesée à 0,001 g près dans une fiole conique ;
- Par la suite, le papier filtre et la boîte de pétri ont été séchés dans l'étuve à 105°C pendant 10 min, puis refroidis dans le dessiccateur avant d'être pesés ;
- Puis, 50 ml de *n*-hexane ou à défaut l'éther de pétrole ont été ajoutés dans la fiole conique contenant l'échantillon. Le mélange s'est reposé pendant 30 min à une température de 20°C avant la filtration ;
- Par la suite, il a été filtré à travers le papier-filtre placé dans un entonnoir approprié en utilisant une aspiration. Le rinçage de la fiole avec le solvant a permis de s'assurer que toutes les impuretés présentes ont été entraînées sur le papier-filtre ;
- Ce papier filtre a été lavé en y versant de petites quantités du même solvant que celui utilisé, mais pas plus que nécessaire pour que le dernier filtrat soit exempt de matières grasses ;
- Au cas où l'échantillon contenait beaucoup de matières grasses (huile brute de palme), le solvant a été réchauffé, à une température maximale de 60°C de manière à dissoudre toutes les matières grasses solidifiées retenues sur le filtre ;
- Le papier filtre a été retiré de l'entonnoir et placé dans la boite de pétri. Puis, la majeur partie du solvant a été évaporé à l'air libre et enfin, l'évaporation s'est terminée dans l'étuve réglée à 105°C pendant 1 heure ;
- Après le retrait de l'étuve, le papier et la boîte de pétri ont été refroidis dans le dessiccateur pendant 30 min ;
- Enfin, l'échantillon a été pesé. La teneur en impuretés insolubles a été déterminée par la formule II.3 :

$$TII(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100 \qquad (\text{II.3})$$

où m_0 : est la masse de la prise d'essai, en grammes ; m_1 : est la masse de la boîte de pétri et du papier-filtre et m_2 : est la masse de la boite de pétri et du papier-filtre contenant le résidu sec, en grammes.

II.2.2.5 Indice d'iode (II)

L'indice d'iode (II) est déterminé suivant la méthode de Wij's dans les conditions d'essai précisées dans la norme ISO 3961, de la manière suivante (Eas, 2022) :

- La masse de 0,2 g de l'échantillon d'huile de palme a été pesée dans un erlenmeyer de 500 ml ;

– Puis, les volumes de 20 ml de solvant (v/v de cyclohexane et acide acétique glacial) et 25 ml de réactif de Wij's ont été ajoutés dans l'erlenmeyer contenant l'échantillon et l'erlenmeyer utilisé comme témoin. Cela se fait sous la hotte par mesure de protection ;
– Les deux erlenmeyers précédents à savoir : l'un contenant l'échantillon et l'autre utilisé comme témoin, ont été placés dans l'obscurité pendant une heure ;
– Après une heure de repos, les volumes de 20 ml d'iodure de potassium (KI 10 %) et 150 ml d'eau distillée ont été ajoutés dans chacun des erlenmeyers ;
– Ces solutions ont été titrées avec le thiosulfate de sodium anhydre $Na_2S_2O_3$ 0,1 M jusqu'à ce que la solution devienne jaune-claire ;
– Par suite, quelques gouttes d'amidon ont été ajoutées et le titrage a continué jusqu'à la disparition de la couleur ;
– La formule II.4 a été utilisée pour la détermination de l'indice d'iode (g de I_2/100g) :

$$II = \frac{12,69 \times C(V_1 - V_0)}{m} \quad (\text{II.4})$$

Avec m : masse en gramme (g) de la prise d'essai, C : concentration de la solution de $Na_2S_2O_3$, V_0 : volume de $Na_2S_2O_3$ utilisé pour titrer le blanc et V_1 : volume de $Na_2S_2O_3$ utilisé pour titrer l'échantillon.

II.2.2.6 Indice d'acide (IA)

La méthode utilisée pour la détermination d'indice d'acide (IA) est celle décrite par la norme ISO 660 (Eas, 2022). L'indice d'acidité a été déterminé de manière suivante :

– La masse de 5 g de l'échantillon d'huile de palme a été pesée dans l'erlenmeyer de 500 ml ;
– Puis, les volumes de 50 ml (d'éthanol et éther diéthylique dans la proportion 1 :1) fraichement bouillant et 1 ml de phénolphtaléine ont été ajoutés dans l'erlenmeyer contenant l'échantillon ;
– Cet erlenmeyer a été porté à l'ébullition pendant 5 minutes ;
– Après l'ébullition, cette solution a été immédiatement titrée avec l'hydroxyde de potassium (KOH) 0,1 N ;
– L'acidité en mg de KOH/g a été déterminée par la formule II.5 :

$$IA = \frac{N_{\text{KOH}} \times 56,1 \times V_{\text{KOH}}}{\text{Masse d'huile}} \quad (\text{II.5})$$

– Puis, l'acidité libre a ensuite été exprimée en pourcentage d'acide oléique libre selon la formule II.6 :

$$IA(\%) = \frac{28,2 \times V_{\text{KOH}} \times N_{\text{KOH}}}{\text{Masse d'huile}} \quad (\text{II.6})$$

Avec V_{KOH} : Volume de KOH au point d'équivalence et N_{KOH} : Normalité de KOH.

II.2.2.7 Indice de peroxyde (IP)

La méthode utilisée pour la détermination d'indice de peroxyde (IP) est celle décrite par ISO 3960 (EAS, 2022). Celui-ci a été déterminé de la manière suivante :

- La masse de 5g de l'échantillon d'huile de palme a été pesée dans l'erlenmeyer de 500 ml ;
- Puis, 30 ml d'acide acétique et chlorooforme dans la proportion 3 :2 ont été ajoutés dans l'erlenmeyer suivi de l'homogénéisation ;
- Par la suite, 0,5 ml d'iodure de potassium (KI) saturé a été ajouté ;
- Après ces ajouts, l'erlenmeyer a été placé dans l'obscurité pendant une minute ;
- Après une minute dans l'obscurité, le volume de 30 ml d'eau distillée a également été ajouté dans l'erlenmeyer ;
- Puis, le titrage est intervenu avec $Na_2S_2O_3$ 0,01 N jusqu'à la disparition de la coloration jaune ;
- Après cette disparition, 0,5 ml d'amidon a été ajouté et la titration a continué jusqu'à la disparition de la coloration bleue ;
- La formule II.7 a été utilisée pour déterminer la valeur de peroxyde ou indice de peroxyde (I.P) en mEq de peroxyde d'oxygène/kg :

$$IP = \frac{(V_0 - V_1) \times C \times 1000}{\text{m}} \qquad (\text{II.7})$$

Avec V_1 : volume de thiosulfate de sodium utilisé jusqu'au point d'équivalence, V_0 : volume du thiosulfate pour l'essai à blanc, C : concentration de thiosulfate du sodium et m : masse de l'échantillon d'huile.

II.2.2.8 Indice de saponification (IS)

L'indice de saponification (IS) est déterminé suivant la norme ISO 3657 de la manière suivante (EAS, 2022) :

- La masse de 2 g d'échantillon d'huile de palme a été pesée dans l'erlenmeyer de 500 ml à l'aide d'une micropipette ;
- Puis, 25 ml de KOH éthanoïque a été ajouté dans l'erlenmeyer ;
- Ce mélange a été chauffé en utilisant le réfrigérant ;
- Après chaque 5 min, il a été agité (jusqu'à une heure) ;
- Par suite quelques gouttes de phénolphtaléine ont été ajoutées dans cette solution avant le titrage ;

– Puis, elle a été titrée avec le HCl 0,5 N contenu dans la burette ;
– Le même essai a été fait aussi avec le blanc (le KOH éthanoïque seulement) ;
– La formule II.8, nous a permis de déterminer l'indice de saponification (mg de KOH/g d'huile) :

$$IS = \frac{b-a}{g} \times 28,05 \qquad (\text{II.8})$$

Avec b : le titre du blanc, a : le titre de l'échantillon et g : la masse en gramme de l'échantillon.

II.2.3 Méthode de détermination des caroténoïdes totaux (CT)

La méthode de dosage est basée sur l'existence d'une bande d'absorption des caroténoïdes totaux dans la spectroscopie UV-visible (Van den Berg et al., 2000). Le principe consiste en la mesure de l'absorbance à 661,6 et 664,8 nm et 470 nm pour les caroténoïdes et les chlorophylles d'un échantillon d'huile en solution dans l'acétone pure (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

Dans un extrait de matière végétale ou fruit contenant des caroténoïdes totaux (x+c =xanthophylles et carotènes) et de chlorophylles totales, à la longueur d'onde 470 nm, la région des caroténoïdes est déterminée comme la somme des absorbances pour la chlorophylle a, la chlorophylle b et les caroténoïdes totaux. La concentration des caroténoïdes totaux peut être calculée à l'aide de la formule simplifiée de Mackiney prenant en compte toutes les considérations (concentration des chlorophylles totales), où les concentrations sont données en (μg/ml) de solution d'extrait (ISO, 2011 ; Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

C'est ainsi que :

– L'échantillon d'huile de palme a été fondu entre 60°C et 70°C et bien homogénéisé avant de prélever une prise d'essai ;
– Par la suite, il a été filtré sur un papier filtre (Whatman) afin d'éliminer les impuretés ;
– Dans une fiole jaugée de 25 ml, la masse de 0,1 g de l'échantillon a été pesée de façon à pouvoir obtenir des valeurs d'absorbance inférieures à 0,95 ;
– La prise d'essai a été dissoute dans quelques millilitres d'acétone à 100% à température ambiante, puis compléter avec le même solvant jusqu'au trait de jauge. Bien mélanger ;
– La cuve en quartz a été rincée à trois reprises avec la solution de l'acétone pure ;
– Par la suite, la première cuve a été remplie avec la solution de l'acétone pure (servant de témoin) et la deuxième par la solution à analyser ;
– La mesure a été réalisée par rapport au solvant au moyen du spectrophotomètre UV-Visible de la marque *spectrophotometer Shimadzu Neo-Tech* à 470 ; 644,8 et 661,6 nm
– Enfin, les valeurs ont été notées pour le calcul. Les formules II.9 et II.10 ont servi pour déterminer les caroténoïdes totaux.

Dans l'acétone à 100% :

$$C_{(\text{x+c})} = \frac{(1000 \times A_{470}) + (243,2 \times A_{661,6}) - (1267,1 \times A_{664,8})}{214} \quad (\text{II.9})$$

où $C_{(\text{x+c})}$: concentration des carotenoïdes totaux (xanthophylles et carotènes).

$$CT\ (\text{ppm}) = \frac{C_{(\text{x + c})} \times 25\ \text{ml}}{m} \quad (\text{II.10})$$

Où CT : caroténoïdes totaux, m : masse de l'échantillon

II.2.4 Méthodes d'analyses statistiques et traitement des données

Les expériences ont été effectuées deux fois pour chaque paramètre. Les résultats obtenus ont été exprimés sous forme de moyennes et écart-types, puis consignés dans les tableaux des résultats. Les moyennes et écart-types ont été calculés par le logiciel MS Excel 2013. Ces moyennes ont été ensuite soumises au test paramétrique d'hypothèse *t de Student* (distribution normale) pour deux variables indépendantes (huiles brutes et raffinées) en vue d'une comparaison au seuil de probabilité de 5% ($p \leq 0,05$). Ce test a été complété par le test *U de Mann-Whitney* (distribution qui ne suit pas la loi normale de gauss) pour établir une comparaison entre les huiles brutes et raffinées. La vérification de la distribution a été faite par le test de normalité de Skewness/Kurtosis.

Dans le but de chercher des groupes homogènes entre les différents marchés où les huiles ont été échantillonnées, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur les résultats des paramètres physico-chimiques et les caroténoïdes totaux à l'aide des logiciels Past et Stata 15 pour vérifier s'il y a la variabilité de ceux-ci entre ces différents marchés.

Les graphiques ont été tracés par le logiciel MS Excel 2013 et OriginPro 8.5. ChemSketch a servi à représenter les structures des molécules. Enfin, le logiciel Zotero a été utilisé pour référencer les documents consultés.

Chapitre III

Présentation et discussion des résultats

III.1 Paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques réalisées à partir des échantillons d'huile de palme brute et raffinée achetés dans différents marchés (Ruvumera, Jabe, Siyoni, Cotebu et Kamenge) de la ville de Bujumbura ont permis d'évaluer l'indice de réfraction (IR), la densité relative (DR), l'humidité relative et matières volatiles (MVH), la teneur en impuretés insolubles (TII), l'indice d'acidité (IA), l'indice d'iode (II), l'indice de peroxyde (IP) et l'indice de saponification (IS). Les résultats sont consignés dans les tableaux III.1, III.2 et III.3.

Tableau III.1 : *Paramètres physiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés*

Marché	IR		DR		MVH (%)	
	HPB	HPR	HPB	HPR	HPB	HPR
Ruvumera	$1,463 \pm 0,001$	$1,463 \pm 0,002$	$0,890 \pm 0,001$	$0,895 \pm 0,002$	$4,649 \pm 5,027$	$1,940 \pm 0,292$
Jabe	$1,462 \pm 0,001$	$1,464 \pm 0,001$	$0,885 \pm 0,001$	$0,892 \pm 0,003$	$4,446 \pm 4,676$	$1,180 \pm 1,601$
Siyoni	$1,463 \pm 0,001$	$1,462 \pm 0,001$	$0,890 \pm 0,002$	$0,894 \pm 0,000$	$0,948 \pm 0,180$	$1,384 \pm 0,629$
Cotebu	$1,462 \pm 0,001$	$1,463 \pm 0,001$	$0,886 \pm 0,002$	$0,891 \pm 0,002$	$1,908 \pm 1,092$	$0,341 \pm 0,077$
Kamenge	$1,461 \pm 0,001$	$1,462 \pm 0,001$	$0,886 \pm 0,003$	$0,891 \pm 0,000$	$0,196 \pm 0,003$	$0,025 \pm 0,035$
Moyenne	$1,462 \pm 0,001$	$1,463 \pm 0,001$	$0,887 \pm 0,001$	$0,892 \pm 0,001$	$2,429 \pm 2,196$	$0,974 \pm 0,527$

III.1.1 Indice réfraction (IR)

En analysant le tableau III.1, on peut s'apercevoir que les valeurs de l'IR varient faiblement dans les différents marchés pour les deux catégories d'huiles de palme.

Cependant, ces valeurs sont toutes presque égales à 1,462 et 1,463 pour les huiles brutes et raffinées respectivement. Elles dépassent la valeur maximale fixée simultanément par la norme burundaise (NB EAS) et du Codex Alimentarius qui fixent une valeur comprise entre 1,454 à 1,456 spécifiquement pour les huiles de palme (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Donc, 100% d'échantillons analysés ne sont pas conformes à ce paramètre. L'indice de réfraction est considéré comme un critère de pureté d'une huile (Novidzro et al., 2019). Il dépend de la composition chimique d'huile et la température. Lorsque les huiles ne sont pas soumises à des bonnes conditions de conservation, la qualité peut être perdue suite à l'oxydation ou l'hydrolyse (Diakite et al., 2022). Ces valeurs élevées d'indice de réfraction seraient dues à l'exposition des huiles de palme à l'air libre dans des différents marchés. De surcroît, celles-ci sont stockées dans des

bouteilles en plastique qui favorisent et accélèrent l'oxydation catalysée par la lumière (Drici Adil, 2019 ; Tay et al., 2020). Cependant, ces valeurs concordent avec celles de Kouassi pour les huiles de palme rouge produites dans le district des Montagnes « *Man* » en Côte d'Ivoire (Kouassi et al., 2017).

III.1.2 Densité relative (DR)

Du tableau III.1, il ressort que la DR présente également des variations quasi faibles dans les différents marchés pour les deux catégories d'huiles.

Néanmoins, toutes les valeurs de la DR des huiles de palme brutes sont inférieures ou égales à 0,891. Par contre, les huiles raffinées ont une valeur comprise entre 0,889 à 0,896. Seule, la valeur moyenne de la DR des huiles de palme raffinées se situe dans la fourchette de la norme burundaise (NB EAS) et du Codex Alimentarius qui prévoient une valeur se situant entre 0,891 à 0,899 pour les huiles de palme (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Cette différence entre la densité de ces deux types d'huile s'expliquerait d'abord par l'ajout des ingrédients lors du raffinage dans les huiles de palme raffinées (Budju, 2012). Cependant, la détermination de la densité relative donne des renseignements également sur la pureté des huiles (Diakite et al., 2022). Les huiles de palme brutes pourraient contenir probablement beaucoup d'autres éléments gênants suite aux techniques d'obtention qui demeurent encore rudimentaires et aussi la commercialisation qui fait défaut (conditions hygiéniques). La valeur moyenne de la densité relative pour l'huile brute de palme est inférieure à celle de Kouassi pour les huiles de district des Montagnes « *Man* » en Côte d'Ivoire (Kouassi et al., 2017).

III.1.3 Matières volatiles et l'humidité relative (MVH)

Le tableau III.1 montre que les échantillons de Ruvumera présentent des valeurs élevées des MVH soit 4,649% pour les HPB et 1,940% pour les HPR.

Les valeurs des MVH varient entre 0 et 8,203%. Cependant, les valeurs moyennes pour ces deux types d'huile sont 0,974 et 2,429% pour l'huile de palme raffinée et brute respectivement. Toutes ces valeurs moyennes ne sont pas conformes aux normes Burundaise (NB EAS) et Codex Alimentarius pour un maximum de 0,2% (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Dans les huiles de palme, il s'observe une moyenne élevée et un écart important entre les valeurs de ce paramètre pour les échantillons analysés. Pour l'huile brute, l'humidité peut résulter de l'étape d'extraction où les huiles ne sont pas bien séparées de l'eau (Karleskind, 1992). Par contre, un mauvais séchage ou une désodorisation insuffisante peut être la cause d'humidité d'huile de palme raffinée. Le taux d'humidité influence l'étape de désodorisation qui, lorsqu'elle est maîtrisée, favorise la stabilité et la conservation de l'huile raffinée (Echioda et al., 2018). Ce qui suppose que l'opération

de raffinage pour les huiles raffinées n'a pas été bien faite car elle devrait mettre l'accent sur l'élimination de l'eau résiduelle au sein des échantillons.

Il sied de souligner aussi qu'un taux d'humidité élevé dans un corps gras constitue un support de développement microbien, d'actions enzymatiques contribuant aux phénomènes d'hydrolyse et d'oxydation des corps gras et une durée de conservation plus réduite car une activité de l'eau > 0,3% favorise l'oxydation enzymatique de l'huile (Ollivon et al., 1992 ; Ribier & Rouzière, 1995). Les valeurs des matières volatiles et l'humidité relative obtenues pour les échantillons d'huile de palme semble être supérieures non seulement à cause des conditions évoquées ci-dessus mais aussi à cause de l'hygiène des récipients (des bouteilles en plastique malpropres rejetées dans la nature) où les huiles sont stockées contiennent parfois des traces d'eau. La vapeur d'eau atmosphérique et l'eau de pluie peuvent en être aussi d'autres causes (Novidzro et al., 2019). Une meilleure conservation des huiles implique la déshydratation avant de les conserver à l'abri de la chaleur et de la lumière (Karleskind, 1992).

Tableau III.2 : *Paramètres chimiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés (1)*

Marché	TII(%)		IA (mg KOH/g)		IA (%)	
	HPB	HPR	HPB	HPR	HPB	HPR
Ruvumera	$11,3 \pm 0,113$	$2,890 \pm 0,269$	$49,992 \pm 2,135$	$2,925 \pm 1,403$	$25,016 \pm 0,914$	$1,47 \pm 0,705$
Jabe	$14,78 \pm 3,055$	$4,58 \pm 1,075$	$22,850 \pm 5,223$	$5,397 \pm 0,007$	$11,486 \pm 2,625$	$2,712 \pm 0,003$
Siyoni	$6,16 \pm 1,188$	$4,65 \pm 2,645$	$34,442 \pm 0,496$	$6,039 \pm 1,187$	$17,313 \pm 0,249$	$2,348 \pm 1,570$
Cotebu	$12,62 \pm 3,762$	$4,12 \pm 1,357$	$43,776 \pm 0,517$	$4,992 \pm 0,007$	$22,005 \pm 0,260$	$2,509 \pm 0,003$
Kamenge	$2,48 \pm 0,396$	$6,97 \pm 1,796$	$34,889 \pm 0,576$	$3,552 \pm 0,351$	$17,537 \pm 0,290$	$1,785 \pm 0,177$
Moyenne	$9,468 \pm 1,703$	$4,642 \pm 1,228$	$37,190 \pm 1,789$	$4,581 \pm 0,591$	$18,671 \pm 0,867$	$2,165 \pm 0,492$

III.1.4 Teneur en impuretés insolubles (TII)

Les données du tableau III.2, nous montre que la TII varient significativement dans les différents marchés allant jusqu'à un maximum de 14,78 % au marché de Jabe (HPB) et 6,97% au marché de Kamenge (HPR).

Toute fois, ces valeurs sont toutes supérieures à 2,2 % pour toutes les catégories des deux huiles de palme. Ces valeurs sont toutes supérieures aux normes de qualité du Burundi (NB EAS) et du Codex Alimentarius qui fixent une valeur seuil de 0,05 % (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Dans les huiles brutes, celles-ci sont importantes avec des variabilités aussi considérables entre les échantillons. L'origine de ces impuretés peut être de façon générale due à la mauvaise exposition des huiles lors de la commercialisation comme évoquée précédemment. Cependant, l'échantillonnage étant fait pendant la saison sèche (presque vers la fin), il pouvait s'observer des poussières de partout dans la ville même au marché sur des étalages. De manière spécifique, l'ensemble d'impuretés dans l'huile de palme viennent des résidus de la matière première (Tarnagda, 2016). C'est ce qui justifie la présence abondante de celles-ci dans les huiles de palme brutes. Lors de la filtration au laboratoire des huiles de palme brutes, ces impuretés étaient nettement visibles

sur le papier filtre. La quantité élevée des impuretés insolubles dans l'huile augmente aussi l'oxydation des acides gras libres et des hydrates de carbone (sucres) qui la rendent impropre à la consommation (Liyansan et al., 2022). Ces valeurs concordent à celles de Liyansan et al. variant entre 0,145 et 15,618 % pour les huiles de palme achetées dans les marchés de Lagos au Nigeria (Liyansan et al., 2022).

III.1.5 Indice d'acide (IA)

L'analyse du tableau III.2 révèle que les HPB de Ruvumera sont trop acides (49,992 mg de KOH/g ou 25,016%). Par contre, les HPR présentent un IA faible (2,925 mg KOH/g).

Les huiles de palme raffinées doivent avoir une valeur maximale d'IA de 0,6 mg de KOH/g et les huiles brutes ou vierges un maximum de 10 mg de KOH/g selon les normes burundaises et du Codex Alimentarius (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Au regard des valeurs obtenues, toutes les catégories d'huiles de palme ont une moyenne de 4,581 mg de KOH/g soit 2,165% et 37,190 mg de KOH/g soit 18,671% pour les huiles de palme raffinées et brutes respectivement. Cependant, elles présentent une non-conformité par rapport à ce paramètre puisque ces valeurs sont loin de celles recommandées. Le caractère acide des huiles de palme brutes se justifierait par la présence des acides gras libres (acides organiques : acide citrique, acide malique, acide malonique, acide oxalique,...) y contenus dans une proportion importante (M'Baye et al., 2011). Par contre, au cours de raffinage précisément aux étapes de la neutralisation et de la désodorisation, une bonne partie de ces acides gras libres sont neutralisés (Jahouache, 2002). Il s'observe que les huiles de palme vendues à Bujumbura sont trop acides et le raffinage de celles-ci ne conduit pas à une neutralisation totale des acides gras libres. Cet indice joue un rôle important d'abord dans la conduite des opérations de raffinage mais surtout une faible acidité caractérise la pureté et la stabilité à température ambiante (Eze et al., 2021). De surcroit, l'acidité limite également les applications industrielles et une huile trop acide ne doit pas intervenir dans l'alimentation humaine (Japir et al., 2017). Plus l'huile est acide, faible est sa qualité (Abdulkadir & Jimoh, 2013).

Toutefois, les huiles raffinées ont toutes une valeur d'acidité inférieure à 3% telle que recommandent Onyeike et Acheru, pour l'huile alimentaire (Onyeike & Acheru, 2002). Par contre, les huiles brutes peuvent être considérées comme étant dure puisque leurs acidités excèdent 5% (Hyman, 1990). En outre, le long séjour des huiles dans le magasin de stockage ou de marchés peut occasionner également l'augmentation d'indice d'acidité car les matières grasses altérées par vieillissement donnent naissance, par hydrolyse enzymatique, à des acides gras libres qui à leurs tours sont des produits primaires de l'oxydation des huiles avec les peroxydes, les aldéhydes et les cétones (Drici Adil, 2019 ; Tay et al., 2020). Nos valeurs moyennes sont supérieures à celles de N'guessan, qui a trouvé une valeur de 1,11 mg de KOH/g pour les huiles raffinées de palme produites en Côte d'Ivoire, de Onyekwere et Obahiagbon qui ont trouvé une valeur

moyenne 6,49 mg de KOH/g pour les huiles brutes produites au Nigeria (Eze et al., 2021 ; N'guessan Jean Claude et al., 2018 ; Obahiagbon, 2013) . Par contre, elles concordent avec celles de Olorunfemi variant entre 12,1 à 19,8% pour les huiles brutes de palme vendues au marché d'Ibadan au Nigeria (Olorunfemi et al., 2014).

Tableau III.3 : *Paramètres chimiques des huiles de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) de différents marchés (2)*

Marché	II (g I_2/100 g)		IP (mEq O_2/kg)		IS (mg KOH/g)	
	HPB	HPR	HPB	HPR	HPB	HPR
Ruvumera	54, 567 ± 5, 384	46, 952 ± 1, 796	5, 5 ± 6, 364	6, 5 ± 0, 707	199, 155 ± 3, 967	190, 039 ± 2, 976
Jabe	55, 836 ± 25, 125	41, 877 ± 8, 973	9 ± 2, 828	5, 5 ± 2, 121	190, 74 ± 0, 00	197, 752 ± 1, 983
Siyoni	55, 836 ± 7, 179	58, 374 ± 10, 768	6 ± 4, 242	5 ± 0, 00	197, 752 ± 5, 950	199, 155 ± 11, 900
Cotebu	43, 776 ± 0, 517	44, 415 ± 5, 384	1, 5 ± 0, 707	4, 5 ± 2, 121	198, 999 ± 8, 154	207, 57 ± 0, 00
Kamenge	45, 618 ± 14, 450	59, 643 ± 8, 973	4, 5 ± 0, 707	7, 5 ± 6, 364	190, 272 ± 4, 628	207, 336 ± 2, 313
Moyenne	54, 3 ± 10, 531	50, 252 ± 7, 179	5, 3 ± 2, 970	5, 8 ± 2, 263	195, 384 ± 4, 540	200, 371 ± 3, 834

III.1.6 Indice d'iode (II)

Du tableau III.3, il ressort qu'il y a un écart important d'II entre les échantillons pour les HPB. En outre, les HPR de Kamenge présentent des valeurs moyennes supérieures des indices d'iode (II) (59,643 g I_2/100 g).

Les valeurs moyennes d'II pour les deux catégories d'huiles de palme sont 50,252 et 54,3 g de I_2/100 g respectivement pour les huiles de palme raffinées et brutes. Ces valeurs présentent une conformité aux normes burundaises (NB EAS) qui prévoit un minimum de 45 g de I_2/100 g et du Codex Alimentarius variant entre 50 à 55 g de I_2/100 g (Codex, 2023 ; Eas, 2022). L'II donne une indication sur la teneur de la graisse examinée en acides gras non saturés. Plus l'II est faible, plus la molécule est saturée et vice versa (Césaire et al., 2019). De surcroit, c'est sur cet indice que l'on peut se baser pour évaluer la facilité de l'huile à rancir, étant donné que plus elle contiendra d'insaturations, plus elle sera sensible à l'oxygène (Kouadio, 2022). Au regard des valeurs trouvées, nous pouvons affirmer que ces huiles de palme vendue à Bujumbura peuvent présenter une résistance à l'oxydation car elles contiennent moins d'insaturation. Ces valeurs sont en accords avec celles de Konan, de N'guessan et de Muhammad qui ont trouvé une valeur moyenne de cet indice variant entre 50 à 55 g de I_2/100 g pour les huiles de palme produites en Côte d'Ivoire et au Nigeria (Adamu, 2023 ; Konan et al., 2018 ; N'guessan Jean Claude et al., 2018).

III.1.7 Indice de peroxyde (IP)

Le tableau III.3, nous montre que les HPB de Cotebu présentent un IP très faible (1,5 mEq O_2/kg). Cependant, les HPR de Kamenge présentent un IP supérieur (7,5 mEq O_2/kg).

Les résultats obtenus montrent que dans tous les marchés les moyennes obtenues de l'IP sont inférieures à 10 mEq de O_2/kg. Cependant, les valeurs moyennes oscillent entre 5,3 et 5,8 mEq de O_2/kg pour les huiles de palme brutes et raffinées respectivement. Celles-ci sont conformes aux normes burundaises (NB EAS) et du Codex Alimentarius pour un maximum de 10 mEq de O_2/kg (Codex, 2023 ; Eas, 2022).

L'IP donne une évaluation sur la quantité de peroxydes présents dans un corps. C'est ce qui indique en fait, la quantité d'acides gras déjà rances (Novidzro et al., 2019). Il donne une information sur l'état actuel ou ultérieur de l'huile et non sur son passé (Olorunfemi et al., 2014). Les échantillons d'huiles de palme analysés n'ont pas subi d'oxydation puisqu'ils s'écoulent plus ou moins vite parce que tous les grossistes, les revendeurs et la population de la ville viennent s'approvisionner dans ces grands marchés. Ce qui fait que les huiles ne trainent pas beaucoup. De surcroit, les huiles produites artisanalement ou localement sont déversées dans des grands marchés pour être commercialisées.

En outre, il sied de rappeler aussi qu'il est possible de trouver un II élevé sur une matière grasse qui ne présente pas encore de signes évidents de rancissement, comme l'odeur rance, plutôt attribuable aux composés aldéhydiques volatils. Inversement, un indice de peroxyde peu élevé ne signifie pas qu'une matière grasse n'est pas altérée : le processus d'oxydation a pu évoluer vers la formation de composés aldéhydiques (Tarnagda, 2016). Ces résultats peuvent nous amener à affirmer que les échantillons d'huile de palme contiennent moins d'insaturation, ce qui ne leur permet pas de s'oxyder ou de fixer facilement l'oxygène comme on l'a rapporté au paragraphe précédent (indice d'iode). Enfin, ces échantillons semblent être riches en pigments qui assurent le pouvoir antioxydant. Ces résultats corroborent ceux reportés par Lecerf qui au cours de ses études sur l'huile de palme aurait confirmé que celle-ci présenterait une faible oxydabilité, et donc une bonne stabilité (Lecerf, 2013). Cependant, ils se rapprochent également de celui de Muhammad qui a trouvé une valeur moyenne de 3,82 mEq de O_2/kg pour les huiles produites au Nigeria (Adamu, 2023).

III.1.8 Indice de saponification (IS)

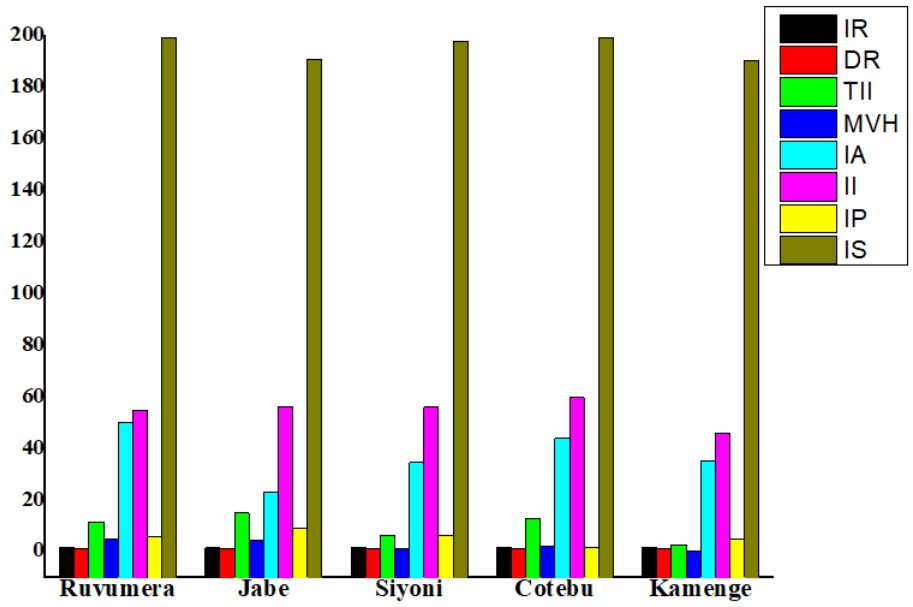
Les informations suivantes peuvent être tirées du tableau III.3, les HPB de Ruvumera présentent un indice de saponification (IS) supérieur (199,155 mg KOH/g). Par contre, les HPR sont faibles (190 mg KOH/g).

La connaissance de l'IS d'un corps gras nous renseigne sur la longueur de la chaîne carbonée des acides constituant ce corps gras. L'IS d'un corps gras est d'autant plus élevé que la chaine carbonée des acides gras est courte ou faible en poids moléculaire (M'Baye et al., 2011). Les valeurs moyennes d'IS obtenues pour ces huiles, 195,384 et 200,371 mg de KOH/g pour les huiles brutes et raffinées respectivement se trouvent dans la fourchette des normes burundaises

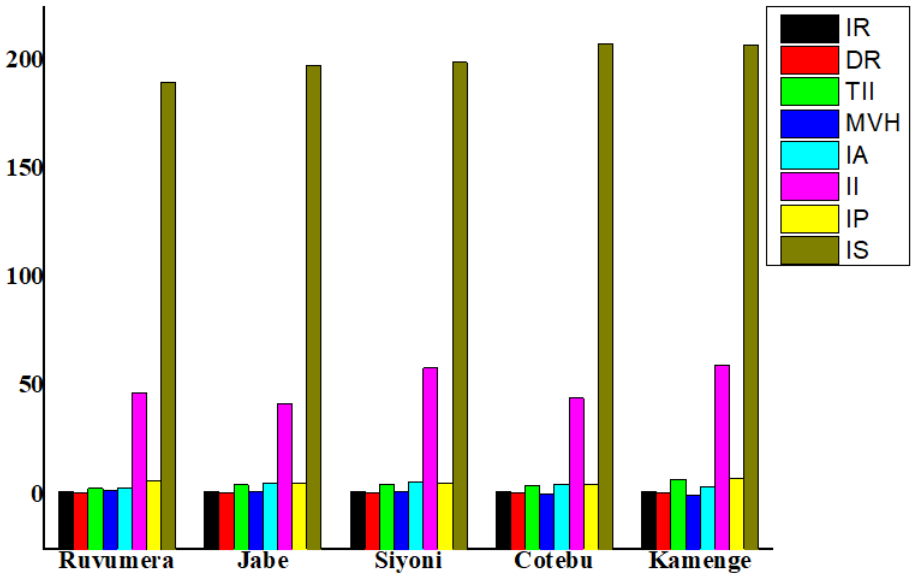
(NB EAS) et Codex Alimentarius fixant une valeur allant de 190 à 209 mg de KOH/g (Codex, 2023 ; Eas, 2022).

Les résultats de l'IS ont montré que la majorité des acides gras contenus dans les échantillons d'huile raffinée est constituée par de courtes chaines ou de faibles poids moléculaires. Ce faible poids moléculaire se justifierait par la perte de certaines macromolécules telles que les caroténoïdes, lors du raffinage (Budju, 2012). Les valeurs obtenues au cours de cette étude concordent avec celles de N'guessan, Kenmogne Simo, Onyekwere, Obihuzor et Muhammad variant entre 190 à 215 mg de KOH/g pour les huiles de palme produites en Côte d'Ivoire, au Cameroun et au Nigeria (Adamu, 2023 ; Césaire et al., 2019 ; Eze et al., 2021 ; N'guessan Jean Claude et al., 2018).

La figure III.1, présente le graphique des variations des paramètres physicochimiques des huiles de palme brutes et raffinées au sein des différents marchés de la ville de Bujumbura. En comparant ces deux figures, on s'aperçoit que l'indice de réfraction (IR), l'indice d'iode (II), l'indice de peroxyde (IP) et l'indice de saponification (IS) ne varient presque pas entre les deux catégories d'huiles de palme au sein des différents marchés.



(a) *Paramètres physicochimiques des échantillons d'HPB de différents marchés.*



(b) *Paramètres physicochimiques des échantillons d'HPR de différents marchés.*

Figure III.1 : *Paramètres physicochimiques des échantillons d'huiles de palme de différents marchés.*

III.2 Caroténoïdes totaux (CT)

A part les paramètres physicochimiques, la teneur en CT a été également déterminée à partir des échantillons achetés dans les différents marchés (Ruvumera, Jabe, Siyoni, Cotebu et Kamenge). Les résultats sont consignés dans le tableau III.4.

De ce tableau III.4, il ressort que les valeurs de CT dans les huiles de palme raffinées sont quasi faibles et identiques dans tous les marchés excepté le marché Cotebu (18,081 ppm) où

Tableau III.4 : *Teneur en CT dans les huiles de palme brutes et raffinées de différents marchés.*

Marché	HPB	HPR
	CT (ppm)	CT (ppm)
Ruvumera	851, 360 ± 84, 892	9, 388 ± 0, 580
Jabe	594, 179 ± 45, 604	9, 928 ± 0, 343
Siyoni	725, 801 ± 71, 285	8, 351 ± 2, 070
Cotebu	819, 926 ± 195, 628	18, 081 ± 10, 362
Kamenge	703, 301 ± 9, 926	7, 124 ± 5, 650
Moyenne	738, 913 ± 81, 467	10, 574 ± 3, 801

cette valeur semble être supérieure aux autres. Les échantillons d'huiles de palme brutes de Ruvumera contiennent plus de caroténoïdes (851,360 ppm) que d'autres. Cependant, il s'observe beaucoup d'écart entre les échantillons de Cotebu (195,628).

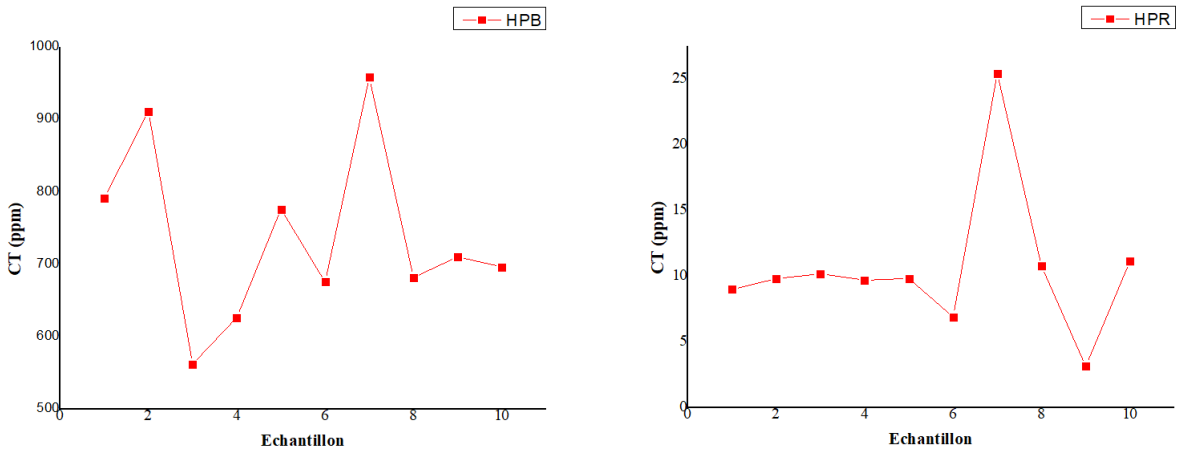
Après l'analyse de 20 échantillons d'huiles de palme brutes et raffinées, la teneur moyenne en caroténoïdes totaux (CT) dans ces échantillons varie entre 10,574 et 738,913 ppm pour les huiles de palme raffinées et brutes respectivement. Pour l'huile brute ou rouge, cette valeur moyenne se trouve dans la fourchette des normes burundaises (NB EAS), Nigérienne (SON) et Codex Alimentarius qui prévoient une valeur se situant dans l'intervalle de 500 à 2000 ppm (Codex, 2023 ; Eas, 2022). Cependant, la teneur en caroténoïdes totaux peut varier entre 500 et 1000 ppm dans l'huile rouge (Adamu, 2023) . Cette moyenne pour l'huile rouge concorde avec celle de Obibuzor et al, qui ont trouvé une valeur moyenne de 701,85 ppm dans l'huile brute ou rouge de la variété *tenera* produite au Nigérian lors d'une étude comparative entre diverses variétés (Obibuzor et al., 2017). Par contre, elle est de loin supérieure à celle de Olorunfemi et al, qui ont trouvé des valeurs variant entre 26,9 et 35,5 ppm pour les huiles brutes ou rouges vendues au marché d'Ibadan au Nigeria (Olorunfemi et al., 2014).

L'huile de palme est une riche source de caroténoïdes, ils sont largement connus sous le nom de provitamines A. Le bêta-carotène alimentaire et d'autres caroténoïdes de provitamines A tels que l'α-carotène et la cryptoxanthine peuvent être obtenus à partir d'un certain nombre d'aliments, tels que les fruits et légumes (Mangels et al., 1993).
Chez les plantes supérieures ou les angiospermes, la lutéine et la xanthophylle sont les caroténoïdes les plus disponibles dont la présence dans la ration alimentaire d'un individu joue un rôle prépondérant (Zielińska et al., 2017). Cependant, ils jouent plusieurs rôles prépondérants dans la prévention de beaucoup des maladies comme antioxydant dans la prévention de certains types de cancer, cognitif, antiinflammatoire, neuro-protecteur. Ils interviennent en outre, dans la prévention des problèmes oculaires, du cœur et joue un rôle important dans le développement de la grossesse (Roomi et al., 2018 ; Zhou et al., 2018).

Il sied de rappeler qu'au cours de raffinage, les caroténoïdes et les éléments mineurs sont éliminés presque totalement de l'huile de palme précisément au cours de l'étape de désodorisation

puisque leur présence limite les applications industrielles de l'huile (Mattea et al., 2009). C'est pourquoi, la teneur en caroténoïdes dans l'huile raffinée est très faible (Tay et al., 2020). Au cours de cette étude, le constat était que celle-ci serait en moyenne soixante-seize (76) fois supérieure dans l'huile rouge par rapport à l'huile raffinée. C'est ainsi qu'il n'y a pas une valeur standard pour les huiles raffinées puisqu'elles sont très pauvres en caroténoïdes. Les études de Bamba et al, ont montré qu'on peut arriver à enrichir l'huile de palme raffinée ou l'oléine de palme par des antioxydants comme l'huile d'hévéa riche en antioxydants étant donné que les huiles de palme raffinées sont pauvres en ceux-ci pour faire face aux maladies cancérigènes et cardiovasculaires auxquelles sont exposés les consommateurs de cette huile en Côte d'Ivoire (Bamba et al., 2024).

La figure III.2 montre la variation de la teneur en caroténoïdes totaux dans les différents échantillons, on s'aperçoit qu'elle varie plus dans les huiles de brutes (HPB) III.2. Par contre, dans les huiles raffinées (HPR), elle varie moins. Les échantillons d'huile brute de Jabe (3 et 4) présentent des faibles teneurs en caroténoïdes totaux.



(a) *Variation des caroténoïdes dans les HPB* (b) *Variation des caroténoïdes dans les HPR*

Figure III.2 : *Variation de la teneur en caroténoïdes totaux dans les huiles de palme brutes et raffinées au sein des échantillons.*

III.3 Comparaison entre les caractéristiques physicochimiques et la teneur en caroténoïdes totaux des huiles de palme brutes et raffinées

Les résultats moyens de vingt (20) échantillons d'huiles de palme brutes et raffinées sont consignés dans le tableau III.5. Cette comparaison entre les deux catégories d'huile est faite à l'aide de test de *t de student* couplé avec le test *U de Man Whitney* au cas où la distribution ne suit pas la loi normale de gauss au seuil de probabilité de 5% ($p \leq 0,05$). Celle-ci a été vérifiée à l'aide

de test de Skewness/Kurtosis pour la normalité.

Tableau III.5 : *Paramètres physico-chimiques et teneur en caroténoïdes totaux moyens des échantillons d'huiles de palme brutes et raffinées.*

Paramètre	HPB	HPR	p-value
IR	$1,462 \pm 0,001^{a}$	$1,463 \pm 0,001^{a}$	0,4299
DR	$0,887 \pm 0,001^{b}$	$0,892 \pm 0,001^{c}$	0,0001
MVH (%)	$2,429 \pm 2,196^{ca}$	$0,974 \pm 0,527^{ca}$	0,273
TII (%)	$9,468 \pm 1,703^{ab}$	$4,642 \pm 1,228^{cb}$	0,0107
IA (mg KOH/g)	$37,190 \pm 1,789^{ac}$	$4,581 \pm 0,591^{bc}$	0,0000
IA (%)	$18,671 \pm 0,867^{dc}$	$2,165 \pm 0,492^{dd}$	0,0000
II (g I_2/100 g)	$54,3 \pm 10,531^{c}$	$50,252 \pm 7,179^{c}$	0,4284
IP (mEq O_2/kg)	$5,3 \pm 2,970^{bb}$	$5,8 \pm 2,263^{bb}$	0,5967
IS (mg KOH/g)	$195,384 \pm 4,540^{d}$	$200,371 \pm 3,834^{d}$	0,1304
CT (ppm)	$738,913 \pm 81,467^{cc}$	$10,574 \pm 3,801^{aa}$	0,0002

N.B. Les valeurs d'une ligne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

L'analyse du tableau III.5 révèle que quatre (4) paramètres varient significativement entre les deux catégories d'huiles de palme. Il s'agit de la densité relative (DR), la teneur en impuretés insolubles (TII), l'indice d'acide (IA) et la teneur en caroténoïdes totaux (CT). Cependant, d'autres variations entre certains paramètres ne sont pas statistiquement significatives.

La figure III.3, illustre les variations entre les paramètres physicochimiques et la teneur en caroténoïdes totaux. Ces variations ont été présentées en échelle logarithmique en vue de mieux visualiser les écarts qu'il y a entre ceux-ci. Les huiles raffinées sont représentées en rouge et les huiles brutes en noir. La figure présente deux lignes (rouge et noire), rouge continue et noire discontinue. Les paramètres suivants ne présentent pas d'écart, la densité relative (DR), l'indice de réfraction (IR), l'indice de peroxyde (IP) et l'indice de saponification (IS). Par contre, l'humidité relative et matières volatiles (MVH), la teneur en impuretés insolubles (TII), l'indice d'acide (IA) et les caroténoïdes totaux (CT) présentent des écarts.

III.4 Analyse en composante principale (ACP) des échantillons d'huiles brutes et raffinées de palme sur les paramètres physicochimiques et en caroténoïdes totaux

L'Analyse en composante principale (ACP) des huiles de palme brute et raffinée a permis de repartir les différents marchés (Ruvumera, Jabe, Siyoni, Cotebu et Kamenge) en groupe homogène et hétérogène.

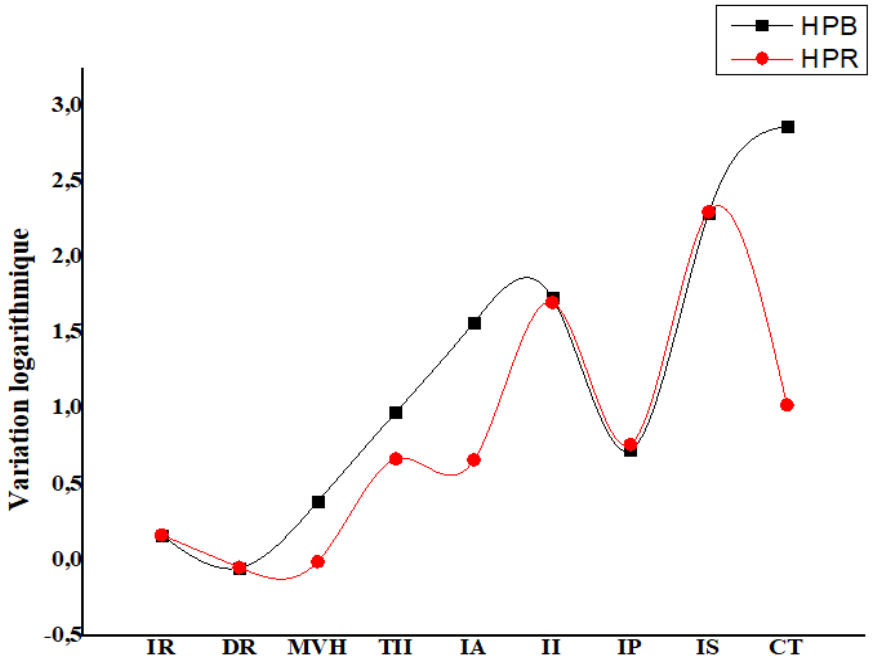


Figure III.3 : *Écarts entre les paramètres analysés pour les huiles de palme brutes (HPB) et raffinées (HPR).*

III.4.1 Analyse en composante principale (ACP) des huiles brutes de palme pour les différents marchés

L'Analyse en composante principale (ACP) réalisée sur les paramètres physico-chimiques et la teneur en caroténoïdes totaux des échantillons d'huiles de palme brutes des différents marchés de la ville de Bujumbura a permis de déterminer un nuage de point des échantillons d'huiles sur deux axes factoriels. Cette représentation permet d'expliquer (Axe 1=45,746% et Axe 2=31,414%) 77,16% de l'inertie globale (Figure III.4 et III.5). Les échantillons des marchés de Siyoni, Cotebu et Ruvumera partagent les mêmes caractéristiques (homogènes) car ils présentent des valeurs élevées de tous les paramètres excepté l'indice de peroxyde. Par contre, les échantillons de Jabe présentent un indice de peroxyde (IP) élevée. De surcroît, les échantillons de Kamenge (hétérogène) présentent des valeurs plus ou moins faibles des paramètres physicochimiques et la teneur en caroténoïdes totaux (CT).

III.4.2 Analyse en composante principale (ACP) des huiles raffinées de palme pour les différents marchés

Afin de comprendre les variations de différents paramètres entre les marchés, une ACP a été également réalisée pour les huiles de palme raffinées. Les paramètres physico-chimiques, les caroténoïdes totaux des différents marchés de la ville de Bujumbura ont été projetés dans un même plan factoriel (1×2) (Figure 14 et 15). Toutes les variables ne sont pas bien représentées

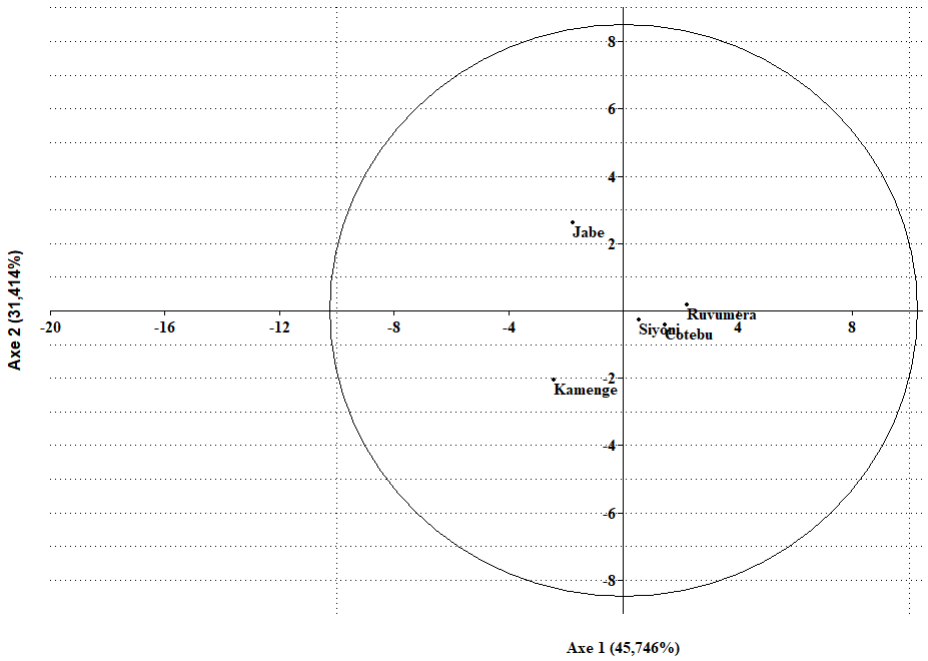


Figure III.4 : *Nuages des individus (Marchés de la ville de Bujumbura) (HPB).*

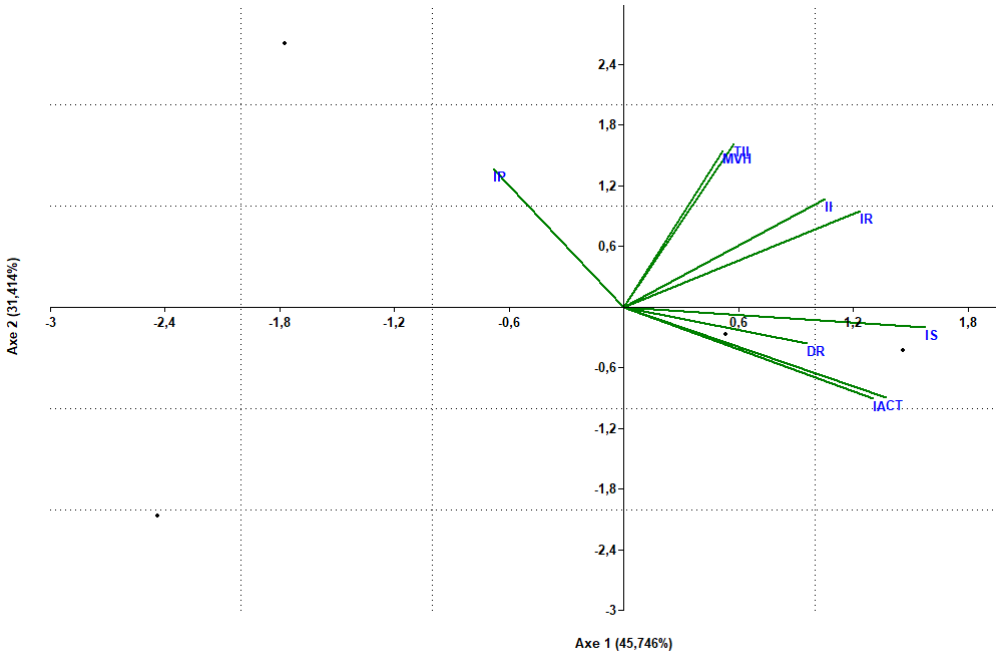


Figure III.5 : *Nuages des variables (paramètres physicochimiques) et teneur en caroténoïdes totaux (HPB).*

sur le cercle de corrélation. Ainsi, sur les axes 1 et 2 dont la contribution est de 76,276 %, les figures III.6 et III.7 montrent que les marchés de Kamenge, Cotebu et Jabe semblent partager plusieurs caractéristiques ensemble, ils sont donc homogènes. Dans ceux-ci, l'indice de saponification (IS), la teneur en impuretés insolubles (TII), l'indice d'iode (II) et l'indice de peroxyde (IP) sont élevés tandis que l'humidité relative et matières volatiles (MVH) ainsi que la densité relative (DR) sont faibles. Par contre, le marché de Ruvumera (hétérogène) semble être

aux antipodes des autres en ayant de faibles valeurs de l'humidité relative et matières volatiles (MVH) ainsi que la densité relative (DR). De surcroît, le marché de Siyoni semble avoir la meilleure projection sur l'axe, c'est pourquoi, il possède des caractéristiques intermédiaires presque pour tous les paramètres excepté l'indice d'acide (IA).

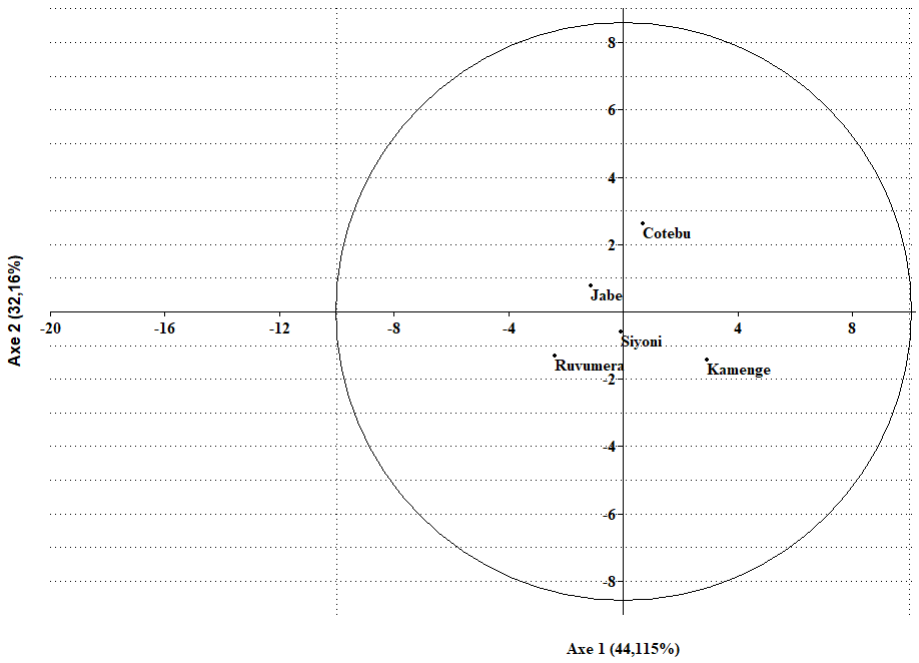


Figure III.6 : *Nuages des individus (Marchés de la ville de Bujumbura) (HPR).*

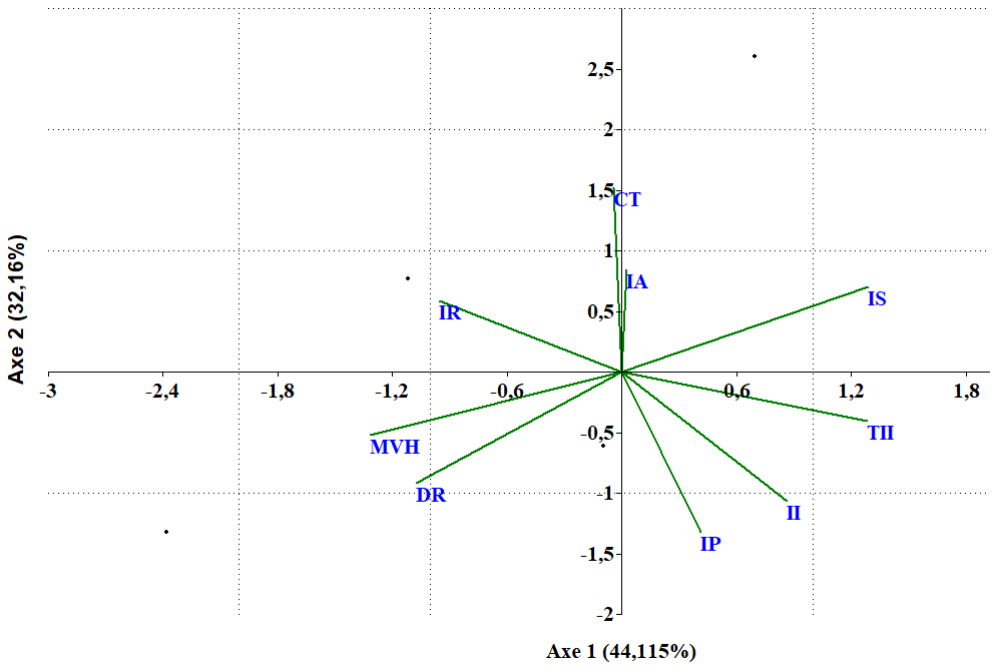


Figure III.7 : *Nuages des variables (paramètres physicochimiques) et teneur en caroténoïdes totaux (HPR).*

Bref, tous ces marchés (Ruvumera, Jabe, Siyoni, Cotebu et Kamenge) partagent plusieurs caractéristiques communes entre eux et sont tous presque homogènes. Cela s'explique par le fait qu'à Bujumbura (Burundi) tous les marchés sont construits presque de la même manière, couvert au-dessus.

Conclusion générale et recommandations

La présente étude a permis d'analyser la qualité des huiles de palme brutes et raffinées vendues dans les marchés de Bujumbura. Elle a commencé par l'analyse des propriétés physicochimiques (l'IR, la DR, les MVH, la TII, l'IA, l'II, l'IP et l'IS) et s'est clôturée par la détermination des CT par la spectroscopie UV-visible. Ces analyses ont porté sur vingt (20) échantillons dont dix (10) des huiles brutes et dix (10) autres des huiles raffinées.

Les résultats des analyses physicochimiques ont révélé que seulement quatre (3) paramètres sont conformes à la norme burundaise (NB EAS) et du Codex Alimentarius des bonnes pratiques de qualité. Pour les huiles de palme raffinées et brutes, il s'agit de l'II ($50,252 \pm 7,179$ et $54,3 \pm 10,531$ g I_2/100 g), l'IP ($5,8 \pm 2,263$ et $5,3 \pm 2,970$ mEq O_2/kg) et l'IS ($200,371 \pm 3,834$ et $195,384 \pm 4,540$ mg de KOH/g). Par contre, la DR ($0,892 \pm 0,001$) est conforme uniquement pour les huiles de palme raffinées. En outre, les CT ($738,913 \pm 81,467$ ppm) contenus dans les huiles de palme brutes sont également conformes à ces normes.

Cependant, tous les paramètres physicochimiques et les caroténoïdes totaux diffèrent entre les deux catégories d'huiles. Le test statistique *t de student* a révélé que quatre (4) paramètres (la DR, la TII, l'IA et les CT) diffèrent significativement. Ce qui fait que ces deux catégories d'huiles sont très différentes sur le plan nutritionnel et de la qualité. De surcroit, les analyses en composante principale (ACP) ont montré encore que tous les marchés où celles-ci ont été échantillonnées sont presque homogènes car ils partagent presque les mêmes caractéristiques (les paramètres varient presque mêmement) de façon générale.

Les faibles valeurs des II et IP confirment que les huiles de palme vendues dans les grands marchés sont issues directement des unités de production et industries de la place ; et son écoulement est rapide à cause du nombre des personnes qui s'en procurent. Les résultats ont révélé que l'acidité ($37,190 \pm 1,789$ mg de KOH/g) et la teneur en impuretés insolubles ($9,468 \pm 1,703$ %) dans les huiles brutes sont importantes, ce qui impacte négativement sur sa qualité (qualité médiocre). Les huiles de palme raffinées sont très pauvres en caroténoïdes ($10,574 \pm 3,801$ ppm). Il s'observe également de grandes variabilités entre les échantillons d'huile de palme brute pour plusieurs paramètres physicochimiques et caroténoïdes totaux.

Les résultats de cette étude montrent que les précautions doivent être prises dans la consommation des huiles de palme brutes à cause de l'acidité et les impuretés élevées. En outre, les huiles de palme raffinées doivent être enrichies en composés antioxydantes étant donné qu'elles sont pauvres en caroténoïdes. D'où, les unités de fabrications ou les industries de la place et les commerçants doivent améliorer les techniques de traitement, de transport, de stockage et de vente (conditions hygiéniques) des huiles de palme en vue de livrer aux consommateurs les produits de qualité requise.

Des études complémentaires pourraient être nécessaires en vue de connaître la qualité des huiles de palme brutes et raffinées issues directement des unités de production (huiles de palme brutes) ou des industries de fabrication (huiles raffinées). De façon spécifique, nous invitons d'autres chercheurs à déterminer les paramètres physicochimiques, le profil des acides gras et les types de caroténoïdes contenus dans les huiles de palme produites au Burundi.

Bibliographie

Abdulkadir, A. G., & Jimoh, W. L. O. (2013). Comparative analysis of physico-chemical properties of extracted and collected palm oil and tallow. *ChemSearch Journal*, *4*(2), 44-54. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.ajol.info/index.php/csj/article/view/114917

Acd/Chemskech. (2022). Advanced Chemistry Development. Récupérée septembre 25, 2024, à partir de www.acdlabs.com

Adamu, M. A. (2023). Liquid-liquid extraction of carotenoids from palm oil (Elaeis guineensis) [Publisher : Universidade Federal de Viçosa]. https://doi.org/https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.371

Aissoun, K., & Bennour, L. (2022). Effet de l'exposition au soleil sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile de soja raffinée «elio». *Université Mouloud Mammeri*. Récupérée septembre 26, 2024, à partir de https://dspace.ummto.dz/items/62bd11b8-cb4c-41b1-b2b5-b3ac491c4e9e

Aké Aké, A., Mondé, A. A., Yapo, A. P., Akpolé, K. J., Bléyéré, N. M., & Camara-Cissé, M. (2015). Etude des paramètres anthropométriques d'une population rurale consommatrice d'huile de palme en Côte d'Ivoire. *Cahier de santé publique*, *10*, 140-149.

Azzaz, R. A., Siabdelhadi, B., & Smaine, A. (2020). Extraction et caractérisation physico-chimique de l'huile de tournesol cultivé en Algérie. *université ibn khaldoun-tiaret*. Récupérée septembre 26, 2024, à partir de http://dspace.univ-tiaret.dz/handle/123456789/4987

Bamba, S., Diomande, G. G. D., Sanou, S. F., & Adima, A. A. (2024). Enrichissement en Oméga-3 de l'huile de palme raffinée à base d'huile d'hévéa (Hevea brasiliensis) détoxifiée. *Afrique SCIENCE*, *24*(3), 17-32. http://www.afriquescience.net

Berger, K. G. (1989). Nutritional properties of palm oil. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://agris.fao.org/search/en/providers/122465/records/6471e95c2a40512c710e9dc5

Budju, R. (2012). Analyse comparative des caractéristiques physico-chimiques de l'huile de palme brute et de l'huile raffinée "Rina" consommées à Bunia. *UJUVI, ISP/BUNIA*, *1*(19), 12.

Caponio, F., Bilancia, M. T., Pasqualone, A., Sikorska, E., & Gomes, T. (2005). Influence of the exposure to light on extra virgin olive oil quality during storage. *Eur Food Res Technol*, *221*(1-2), 92-98. https://doi.org/10.1007/s00217-004-1126-8

Césaire, K. S. T., Albert, D.-M. J., Sastile, M. N., Godswill, N.-N., Georgeb, N. E., & Emmanuel, M. M. (2019). Etude de l'Origine et de L'Identité de quelques Types d'Huiles Végétales Raffinées Commercialisées à Douala/Cameroun. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, *15*(1). https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v15i1.3

Cheyns, E., Bricas, N., & Aka, A. (2003). Des circuits courts et des réseaux sociaux : la proximité pour qualifier un produit territorial, l'huile de palme rouge en Côte d'Ivoire. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://agritrop.cirad.fr/514166/1/document_514166.pdf

Chiaradia-Bousquet, J.-P. (1994). Régime juridique du contrôle et de la certification de la qualité des denrées alimentaires : puissance publique et producteurs. *Food & Agriculture Org.*, *54*.

Chimi, H., Cillard, J., Cillard, P., & Rahmani, M. (1991). Peroxyl and hydroxyl radical scavenging activity of some natural phenolic antioxidants. *J Americ Oil Chem Soc*, *68*(5), 307-312. https://doi.org/10.1007/BF02657682

Codex. (2023). Norme sur les huiles végétales portant un nom spécifique CXS 210-1999. www.codexalimentarius.org

De Berchoux, C., Jacquemard, J., Kovane, M., & Lecoustre, R. (1986). Croissance et développement du palmier à huile. Chapitre III. Morphologie de la croissance et du développement des différents organes du palmier à huile en plantation, 151.

Deiana, M., Rosa, A., Cao, C. F., Pirisi, F. M., Bandino, G., & Dessì, M. A. (2002). Novel Approach to Study Oxidative Stability of Extra Virgin Olive Oils : Importance of alpha-Tocopherol Concentration. *J. Agric. Food Chem.*, *50*(15), 4342-4346. https://doi.org/10.1021/jf020033t

Diakite, K., Diagouraga, S., Diawara, M., & Fane, M. (2022). Etude des paramètres physico-chimiques des huiles de graine de coton produites en zone CMDT au Mali : Study of the physicochemical parameters of cottonseed oils produced in the CMDT zone in Mali. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *16*(3), 1320-1330. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i3.33

Drici Adil, D. E. (2019). Etude de qualité de l'huile d'olive algérienne : effet des conditions de stockage. Récupérée septembre 27, 2024, à partir de https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/4566

Dronne, Y. (2005). L'huile de palme dans le marché mondial : productions et échanges [Publisher : John Libbey Eurotext]. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *12*(2), 98-106. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2005.0098

Durand-Gasselin, T., Blangy, L., Picasso, C., De Franqueville, H., Breton, F., Amblard, P., Cochard, B., Louise, C., & Nouy, B. (2010). Sélection du palmier à huile pour une huile de palme durable et responsabilité sociale. Récupérée septembre 26, 2024, à partir de https://agritrop.cirad.fr/558645

Eas. (2022). Edible palm oil-specification.

Echioda, S. S. S., Usaman, Y. B., Yusuf, I. d., & Hadiza, R. s. (2018). Comparative studies on the quality of palm oil samples collected from different markets (Galadima, Sabon Gari and Singa) of Kano State, Nigeria West Africa. *International Journal of Chemistry and Chemical Processe*, *4*(2).

Eze, S. O., Orji, J. N., Okechukwu, V. U., Omokpariola, D. O., Umeh, T. C., & Oze, N. R. (2021). Effect of processing method on carotenoid profiles of oils from three varieties of Nigerian palm oil (elaise guinensis). *Journal of Biophysical Chemistry*, *12*(03), 23-31. https://doi.org/10.4236/jbpc.2021.123003

Fournier, S., Ay, P., Jannot, C., Okounlola Biaou, A., & Pédé, E. (2001). *La transformation artisanale de l'huile de palme au Bénin et au Nigeria*. Cirad. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://agritrop.cirad.fr/483940

Gómez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Desamparados Salvador, M., & Fregapane, G. (2004). Oxidation kinetics in olive oil triacylglycerols under accelerated shelf-life testing (25–75 °C). *Euro J Lipid Sci & Tech*, *106*(6), 369-375. https://doi.org/10.1002/ejlt.200300921

Gret, M. (2018, juillet). Guide de bonnes pratiques de production d'une huile de palme « rouge » artisanale de qualité en Guinée. Récupérée septembre 26, 2024, à partir de http://www.palmoilmillplant.com/palm-oil-intro.html

Guillén, M. D., & Cabo, N. (2002). Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils [Publisher : Elsevier]. *Food chemistry*, *77*(4), 503-510. Récupérée septembre 27, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814601003715

Gulla, S., & Waghray, K. (2011). Effect of Storage on Physico-chemical Characteristics and Fatty Acid Composition of Selected Oil Blends. *Journal of Life Sciences*, *3*(1), 35-46. https://doi.org/10.1080/09751270.2011.11885167

Hyman, E. L. (1990). An economic analysis of small-scale technologies for palm oil extraction in Central and West Africa [Publisher : Elsevier]. *World development*, *18*(3), 455-476. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305750X9090130P

ISO. (2011, septembre). Huile de palme — Détermination de la détérioration de l'indice de blanchiment (DOBI) et de la teneur en carotène. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/668a4510-1622-4e28-9f35-%209bbf5e03e1f3/iso-17932-2011

ISO. (2017). Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination de la teneur en impuretés insolubles. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ddc7755d-4879-443e-baaa-%2029efe90ca181/iso-663-2017

Jacquemard, J. C., & Baudouin, L. (1987). Contribution to the study of oil palm vertical growth. *Oleagineux (France)*, *42*(10). Récupérée septembre 26, 2024, à partir de https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/6471cb5277fd37171a6f7fd0

Jahouache, W. (2002). *Décoloration des Huiles végétalesSur des Argiles : Etude de la stabilité Physico-chimiquedes huiles décolorées* [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat, Université de Sfax.

Japir, A. A.-W., Salimon, J., Derawi, D., Bahadi, M., Al-Shuja'a, S., & Yusop, M. R. (2017). Physicochemical characteristics of high free fatty acid crude palm oil [Publisher : EDP

Sciences]. *Ocl*, *24*(5), D506. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.ocl-journal.org/en/articles/ocl/full_html/2017/05/ocl170016/ocl170016.html

Kapseu, C. (2009). Production, analyse et applications des huiles végétales en Afrique [Publisher : John Libbey Eurotext]. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, *16*(4-5-6), 215-229. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2009.0280

Karleskind, A. (1992). *Manuel des corps gras*. Technique et Documentation-Lavoisier.

Konan, J.-N., Diabate, S., N'goran, B., Gouai, A., & Konan, E. K. (2018). Prospection et caractérisation physico-chimique de quelques spécimens traditionnels de palmier à huile de Man, ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, *38*(3), 6283-6291. http://www.m.elewa.org/JAPS

Kouadio, K. F. (2022). Facteurs de risque de détérioration de la qualité de l'huile brute de palme produite et vendue à Daloa (Haut-Sassandra, Côte d'Ivoire. *Jean Lorougnon Guede*.

Kouassi, K. A., Ahongo, D. Y., Jean, P., & Adima, A. A. (2017). Indication géographique de l'huile de palme de "Man"(District des Montagnes-Côte d'Ivoire) : Une analyse comparative des propriétés physico-chimiques et profils en acides gras de quelques huiles de palme rouge artisanales ivoiriennes. *European Scientific Journal*, *13*, 373-385. https://doi.org/0.19044/esj.2017.v13n18p373

Lecerf, J.-M. (2013). L'huile de palme : aspects nutritionnels et métaboliques. Rôle sur le risque cardiovasculaire [Publisher : John Libbey Eurotext]. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *20*(3), 147-159. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2013.0507

Li, R., Xia, Q., Tang, M., Zhao, S., Chen, W., Lei, X., & Bai, X. (2012). Chemical composition of Chinese palm fruit and chemical properties of the oil extracts. *African Journal of Biotechnology*, *11*(39), 9377-9382. https://doi.org/10.5897/AJB11.3604

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://portlandpress.com/biochemsoctrans/article-abstract/11/5/591/57549

Liyansan, S. M., Fatunsin, O. T., & Olayinka, K. O. (2022). Evaluation of Physicochemical Parameters of Unbranded Palm Oil Samples Purchased from Important Markets in Lagos, Nigeria. *Sule Lamido University Journal of Science and Technology (SLUJST)*, *Vol. 3*(No. 1&2), pp. 101-112.

MAE. (2008, juillet). *Stratégie Agricole Nationale 2008-2015*. Bujumbura.

Mangels, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. R., Forman, M. R., & Lanza, E. (1993). Carotenoid content of fruits and vegetables : an evaluation of analytic data [Publisher : Elsevier]. *Journal of the American Dietetic Association*, *93*(3), 284-296. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002822393915533

Mattea, F., Martín, Á., & Cocero, M. J. (2009). Carotenoid processing with supercritical fluids [Publisher : Elsevier]. *Journal of Food Engineering*, *93*(3), 255-265. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409000405

M'Baye, B. K., Alouemine, S. O., Lô, B. B., & Bassene, E. (2011). Etude physico-chimique des huiles consommées en Mauritanie. *ScienceLib Editions Mersenne*, *4*(120101), 9.

Monde, A. A., Michel, F., Carbonneau, M.-A., Tiahou, G., Vernet, M.-H., Eymard-Duvernay, S., Badiou, S., Adon, B., Konan, E., Sess, D., & Cristol, J. P. (2009). Comparative study of fatty acid composition, vitamin E and carotenoid contents of palm oils from four varieties of oil palm from Côte d'Ivoire. *J Sci Food Agric*, *89*(15), 2535-2540. https://doi.org/10.1002/jsfa.3740

Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012). Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel [Publisher : John Libbey Eurotext]. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *19*(2), 63-75. https://doi.org/10.1684/ocl.2012.0446

Ngiye, É. (2015). *La filière palmier à huile au Burundi : acteurs et territoires* [PhD Thesis]. Université Toulouse le Mirail-Toulouse II. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://theses.hal.science/tel-01498159/

N'guessan Jean Claude, Y. A. O., Adima, A. A., Niamke, B. F., Kouakou, D.-V., N'da, K. P., & Adje, A. F. (2018). Activité Antioxydante, propriétés physico-chimiques et composition en rétinol et alpha-tocophérol de l'huile de palme raffinée et des huiles issues de six plantes oléagineuses de Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, *14*(2), 15-27. http://www.afriquescience.info

Novidzro, K. M., Wokpor, K., Fagla, B. A., Koudouvo, K., Dotse, K., Osseyi, E., & Koumaglo, K. H. (2019). Etude de quelques paramètres physicochimiques et analyse des éléments minéraux, des pigments chlorophylliens et caroténoïdes de l'huile de graines de *Griffonia simplicifolia*. *Int. J. Bio. Chem. Sci*, *13*(4), 2360. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i4.38

Obahiagbon, F. I. (2013). Total carotenoids, tocopherols and free fatty acids levels of palm oils produced from small scale Mills in Ovia-north east local government area of Edo state-Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, *6*(1), 132-135. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/bajopas.v6i1.26

Obibuzor, J. U., Asiriuwa, N. U., Onyia, D. C., Okogbenin, E. A., Okunwaye, T., & Odewale, J. O. (2017). A comparative study of the carotene contents of Nigerian oil palm fruit forms and types and its implication in industry. *ChemTech*, *12*, 51-56.

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

Ollivon, M., Perron, R., & Karleskind, A. (1992). Propriétés physiques des corps gras. *Manuel des corps gras. Paris : Lavoisier*, 433-442.

Olorunfemi, M. F., Oyebanji, A. O., Awoite, T. M., Agboola, A. A., Oyelakin, M. O., Alimi, J. P., Ikotun, I. O., Olagbaju, R. A., & Oyedele, A. O. (2014). Quality assessment of palm oil on sale in major markets of Ibadan, Nigeria. *International Journal of Food Research*, *1*, 8-15. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.academia.edu/download/34420400/Olorunfemi_et_al.pdf

Onyeike, E. N., & Acheru, G. N. (2002). Chemical composition of selected Nigerian oil seeds and physicochemical properties of the oil extracts [Publisher : Elsevier]. *Food chemistry*, *77*(4), 431-437. Récupérée novembre 25, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814601003776

Pages, X., Morin, O., Birot, C., Gaud, M., Fazeuilh, S., & Gouband, M. (2010). Raffinage des huiles et des corps gras et élimination des contaminants. *OCL*, *17*(2). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2010.0302

Papadopoulos, G., & Boskou, D. (1991). Antioxidant effect of natural phenols on olive oil. *J Americ Oil Chem Soc*, *68*(9), 669-671. https://doi.org/10.1007/BF02662292

Poku, K. (2002). *Small-scale palm oil processing in Africa*. Food & Agriculture Org.

Psomiadou, E., & Tsimidou, M. (2002). Stability of Virgin Olive Oil. 1. Autoxidation Studies. *J. Agric. Food Chem.*, *50*(4), 716-721. https://doi.org/10.1021/jf0108462

Rakotomalala. (2008). *Contribution à l'étude de valorisation de noyau de palme ; valorisation des amandes palmistes et utilisation des coques comme matériaux de construction* [Memoire Master]. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

Rebena, A., Rafflegeau, S., Kansci, G., Nanda, D., & Genot, C. (2019). Surveys on the consumption, perception and use of red palm oil among housewives and restaurant owners in Yaoundé, Cameroon. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20203073728

Rédactions, I. (2022). Burundi :Les petits exploitants du palmier à l'huile méritent un accompagnement – Ibihe. Récupérée septembre 21, 2024, à partir de https://www.ibihe.org/burundiles-petits-exploitants-du-palmier-a-lhuile-meritent-un-accompagnement/

Regost, C. (2001). Effets des lipides sur la qualité nutritionnelle, physique et organoleptique de la chair de la truite fario (Salmo trutta) et du turbot (Psetta maxima). *Université de Rennes 1*. Récupérée septembre 26, 2024, à partir de https://archimer.ifremer.fr/doc/00034/14565/

Ribier, D., & Rouzière, A. (1995). *La transformation artisanale des plantes à huile : expériences et procédés*. GRET. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://agritrop.cirad.fr/312908/1/GP-07_Transformation-artisanale-des-plantes-a-huile.pdf

Roomi, M. W., Niedzwiecki, A., & Rath, M. (2018). Scientific evaluation of dietary factors in cancer. *J Nutri Med Diet Care*, *4*(029), 1-13. https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510029

Sagna, N. G. (2023). Diagnostic de la chaine de valeur de l'huile de palme (Elaeis guineensis Jacq.) de la Casamance : perception de la population locale. Récupérée septembre 20, 2024, à partir de https://rivieresdusud.uasz.sn/handle/123456789/1783

Tarnagda, I. (2016). Contrôle de la qualité physico-chimique et sanitaire des huiles alimentaires commercialisées dans la ville de Ouagadougou. *Mémoire de fin de cycle en licence professionnel genie biologie option : Agroalimentaire, 33p.*

Tay, B. Y. P., Anishas, C. I., & Zulina, A. M. (2020). Oxidative Stability of Refined Red Palm Olein under two Malaysian Storage Conditions. *Journal of Oleo Science*, *69*(10). https://doi.org/doi:10.5650/jos.ess20045

Tsimidou, M., Papadopoulos, G., & Boskou, D. (1992). Phenolic compounds and stability of virgin olive oil—Part I [Publisher : Elsevier]. *Food Chemistry*, *45*(2), 141-144. Récupérée septembre 27, 2024, à partir de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030881469290025W

Van den Berg, H., Faulks, R., Granado, H. F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., & Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects [Publisher : Wiley Online Library]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(7), 880-912. Récupérée octobre 3, 2024, à partir de https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7%5C%3C880::AID-JSFA646%5C%3E3.0.CO;2-1

Vigneron, P.-Y., Vanhemelrijck, J., Stoclin, B., & Caigniez, J. (2002). Evaluation de la neutralité organoleptique des huiles raffinées à l'aide d'un nez électronique [Publisher : John Libbey Eurotext]. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, *9*(4), 264-269. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2002.0264

Wolf, J. P. (1982). Manuel d'analyse des corps gras d'origine marocaine. *Éditions Azoulay*, *3311*.

Zhou, X., Wang, H., Wang, C., Zhao, C., Peng, Q., Zhang, T., & Zhao, C. (2018). Stability and in vitro digestibility of beta-carotene in nanoemulsions fabricated with different carrier oils. *Food Science & Nutrition*, *6*(8), 2537-2544. https://doi.org/10.1002/fsn3.862

Zielińska, M. A., Wesołowska, A., Pawlus, B., & Hamułka, J. (2017). Health effects of carotenoids during pregnancy and lactation [Publisher : MDPI]. *Nutrients*, *9*(8), 838. https://doi.org/10.3390/nu9080838

Annexes

Type d'huile	Code	IR	DR	MVH (%)	TII (%)	IA (mg KOH/g)	IA (%)	II (g I_2 /100 g)	IP (mEq O_2/kg)	IS (mg KOH/g)
HPB	A_1	1,463	0,889	1,094	11,22	48,482	24,370	50,76	1	201,96
	A_2	1,464	0,890	8,203	11,38	51,502	25,662	58,374	10	196,35
HPR	A_3	1,462	0,893	1,734	3,08	1,932	0,971	48,222	6	192,143
	A_4	1,465	0,896	2,147	2,7	3,917	1,969	45,682	7	187,935
HPB	B_1	1,462	0,886	1,139	16,94	26,543	13,342	38,07	11	190,74
	B_2	1,463	0,884	7,752	12,62	19,156	9,629	73,602	7	190,74
HPR	B_3	1,465	0,895	2,312	3,82	5,392	2,710	35,532	4	196,35
	B_4	1,464	0,890	0,048	5,34	5,402	2,715	48,222	7	199,155
HPB	C_1	1,463	0,888	1,075	5,32	34,793	17,489	60,912	9	201,96
	C_2	1,464	0,891	0,821	7	34,091	17,137	50,76	3	193,545
HPR	C_3	1,461	0,894	0,939	6,52	5,199	1,238	50,76	5	190,74
	C_4	1,463	0,894	1,829	2,78	6,878	3,458	65,988	5	207,57
HPB	D_1	1,463	0,884	1,136	15,28	44,141	22,189	48,222	2	204,765
	D_2	1,462	0,887	2,680	9,96	43,410	21,821	71,064	1	193,233
HPR	D_3	1,462	0,892	0,286	3,16	4,997	2,512	40,608	6	207,57
	D_4	1,464	0,889	0,395	5,08	4,987	2,507	48,222	3	207,57
HPB	E_1	1,461	0,886	0,194	2,2	35,296	17,742	35,4	4	193,545
	E_2	1,460	0,886	0,198	2,76	34,481	17,332	55,836	5	187
HPR	E_3	1,461	0,891	0	5,7	3,303	1,660	65,988	3	205,7
	E_4	1,463	0,891	0,050	8,24	3,800	1,910	53,298	12	208,972

Tableau 6 : *Paramètres physico-chimiques détaillés.*

Tableau 7 : *Valeurs des caroténoïdes totaux.*

Type d'huile	**Code**	**masse (en g)**	$A_{644,8}$	$A_{661,6}$	A_{470}	**CT (ppm)**
HPB	A_1	0,112	0,119	0,117	0,881	791,3319201
	A_2	0,134	0,015	0,014	1,061	911,3874193
HPR	A_3	0,144	0,039	0,039	0,051	8,978020833
	A_4	0,106	0,078	0,077	0,089	9,797803077
HPB	B_1	0,103	0,065	0,065	0,562	561,9322725
	B_2	0,124	0,077	0,076	0,744	626,4264266
HPR	B_3	0,103	0,033	0,032	0,043	10,17042079
	B_4	0,202	0,032	0,03	0,05	9,685728926
HPB	C_1	0,128	0,127	0,125	0,981	776,2068173
	C_2	0,095	0,127	0,124	0,68	675,3948414
HPR	C_3	0,115	0,004	0,003	0,014	9,814174116
	C_4	0,121	0,078	0,078	0,087	6,887054144
HPB	D_1	0,166	0,068	0,065	1,432	958,2557211
	D_2	0,119	0,071	0,071	0,767	681,5959087
HPR	D_3	0,114	0,082	0,081	0,109	25,40827205
	D_4	0,104	0,028	0,029	0,038	10,75341009
HPB	E_1	0,108	0,035	0,033	0,693	710,3193069
	E_2	0,102	0,076	0,075	0,686	696,2822954
HPR	E_3	0,103	0,018	0,027	0,019	3,128160557
	E_4	0,122	0,058	0,058	0,071	11,11916577