

Intitulé : « Valorisation Multifonctionnelle De L'huile De Noyau De Mangue « Hiesy » : Matière Première Prometteuse Pour Les Compléments Alimentaires, Les Matériaux Biodégradables Et Les Carburants Alternatifs ». Cas De La Ville De Mahajanga, Madagascar

[Multifunctional Valorization Of Mango Kernel Oil "Hiesy": A Promising Raw Material For Food Supplements, Biodegradable Materials And Alternative Fuels". The Case Of Mahajanga, Madagascar]

Eliana LEHIMENA¹, Achille RAVONINJATOVO², Emilienne RASOANANDRASANA³

¹Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation (EDGVM)

E-mail : eliana2663@yahoo.fr

²Ecole Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation (EDSTII)

E-mail : achillegc@yahoo.fr

³Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation (EDGVM)

E-mail : rasoanandrasana@yahoo.fr

Auteur correspondant : Eliana LEHIMENA. E-mail : eliana2663@yahoo.fr



Resumé : La mangue (*Mangifera indica* L.) est l'un des fruits tropicaux les plus produits et consommés dans le monde. À Madagascar, et particulièrement dans la région de Boeny, la ville de Mahajanga constitue une zone importante de production et de commercialisation de la mangue en l'occurrence la mangue *Hiesy*.

Ces noyaux de mangue sont généralement abandonnés dans l'environnement ou éliminés sans traitement approprié, contribuant ainsi à des nuisances environnementales, sanitaires et paysagères. Ce travail de recherche informe la richesse en huile des noyaux de mangue et son efficacité dans les domaines : nutritionnel, énergétique et pharmacologique. Les résultats d'analyse nutritionnelle réalisée à partir de la poudre du noyau de mangue sont probants avec une teneur respectueuse en lipide de 8,9522%, de protéine à 6,9506% et du glucide à 75,8337%. Sa valeur énergétique est de 411,7046kcal pour 100g de poudre.

L'analyse chromatographique en phase gazeuse de l'huile végétale du noyau de mangue a montré ses différentes composantes telles que : l'acide stéarique, l'acide palmitique, l'acide palmitoléique, l'acide oléique, l'acide gadoléique et l'acide arachidique.

Parmi ces six acides, ce sont l'Acide Stéarique et l'Acide Oléique qui ont les constituants majoritaires avec une teneur respectueuse de 38,97% et 42,87%. Les caractères physico chimiques de l'huile ont une densité relative moyenne de 0,903 selon la norme NFT 75-11 et un indice de réfraction moyenne de 1,4626 pour trois températures différentes : 26°C, 27°C et 28°C. Deux variétés d'huile à base du

noyau de mangue ont été obtenues après extraction et évaporation, ce sont l'huile claire et l'huile trouble. Leur teneur respective par rapport à l'huile totale est de 75% à 80% pour la première et 20% à 25% pour la seconde.

Mots clés : mangue *hiesy*, noyau, extraction par soxhlet, huiles à forte valeur, nouvelle matière première.

Abstract: The mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most widely produced and consumed tropical fruits in the world.

In Madagascar, and particularly in the Boeny region, the town of Mahajanga is a major production and marketing area for mango, in this case *Hiesy* mango.

These mango pits are generally abandoned in the environment or disposed of without appropriate treatment, thus contributing to environmental, health and landscape nuisances. This research work informs the oil richness of mango kernels and its effectiveness in the fields: nutritional, energetic and pharmacological. The results of the nutritional analysis carried out on mango kernel powder are conclusive, with a lipid content of 8.9522%, a protein content of 6.9506% and a carbohydrate content of 75.8337%. Its energy value is 411.7046kcal per 100g of powder.

Gas chromatographic analysis of mango kernel vegetable oil revealed its various components: stearic acid, palmitic acid, palmitoleic acid, oleic acid, gadoleic acid and arachidic acid.

Of these six acids, stearic acid and oleic acid are the main constituents, accounting for 38.97% and 42.87% respectively. The physico-chemical characteristics of the oil have an average relative density of 0.903 according to standard NFT 75-11 and an average refractive index of 1.4626 for three different temperatures: 26°C, 27°C and 28°C. After extraction and evaporation, two types of oil are obtained from the mango kernel: clear oil and cloudy oil. Their respective content in relation to the total oil is 75% to 80% for the former and 20% to 25% for the latter.

Keywords: *hiesy* mango, kernel, soxhlet extraction, high-value oils, new raw material.

1. Introduction

La pollution de l'environnement reste un sujet d'actualité. Face à ce problème, de nombreuses industries ont adopté des procédés sur le couple produits/procédés verts pour produire beaucoup plus et mieux en consommant beaucoup moins, avec des technologies innovantes conduisant à une meilleure utilisation des matières premières et de l'énergie.

D'autre part, la mangue est le cinquième fruit tropical le plus consommé dans le monde, en raison de ses qualités organoleptiques, nutritionnelles et de sa large adaptation agro-climatique avec une production avoisinant les 61 millions de tonnes en 2023 [1]. Cependant, ce fruit n'est consommé qu'en partie car la pelure fibreuse, le noyau, et la graine, sont souvent jetés après que la chair ait été consommée ou transformée. De ce fait, ces déchets très peu valorisés constituent une menace pour le bien de la population et de l'environnement. C'est dans cette optique que le présent travail de recherche s'est focalisé sur la recherche de nouvelle formule de crème déshydratante à base d'huile de noyaux de mangue pour l'utilisation dans le domaine du cosmétique.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'application des nouvelles technologies émergentes dites « Vertes » et cible un double objectif car elle contribue non seulement à la valorisation des déchets mais également à la résolution du problème de gestion de déchets urbain et évidemment à l'amélioration des conditions de vie humaine.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Localisation

La commune Urbaine de Mahajanga se trouve sur la côte Nord-Ouest de Madagascar, limitée :

- à l'Ouest par le Canal de Mozambique ;
- au Sud par la Baie de Bombetoka à l'embouchure du fleuve Betsiboka ;
- au Nord et à l'Est par des savanes arbustives peu habitées.

Ses coordonnées géographiques sont comme suit :

- Coordonnées GPS : 15°43'0''Sud, 45°19'0''Est

- Voici ses coordonnées Laborde :

Xmax = 395387m Ymax = 1161855m

Xmin = 385299m Ymin = 1150746m

La ville s'étend sur près de 51 km² à 571 km d'Antananarivo, elle est reliée par la RN4 avec la capitale.

2.1.2. Situation géographique

La commune urbaine de Mahajanga est située au centre Ouest de la Province sur la rive droite de la baie de Bombetoka, s'ouvre sur le canal de Mozambique et s'étale sur une superficie de 53 Km³. Elle renferme une importante zone d'agglomération et limitée par les cinq districts savoir :

- Mahajanga II au Nord ;
- SOALALA à l'extrême Sud-Ouest ;
- MITSINJO à l'Ouest ;
- MAROVOAY au centre-Sud ;
- AMBATO-BOENY à l'Est.



Figure 1 : Carte de la situation géographique de la CUM. [1]

La commune urbaine Mahajanga (CUM) compte de 26 Fokontany regroupées en deux circonscriptions bien distinctes.

Tableau 1 : Répartition des fokontany par circonscription dans la commune urbaine de Mahajanga.

Source : [1]

1 ^{ère} circonscription		2 ^{ème} circonscription	
Manga	Ambovoalanana	Amborovy	Tsararano Ambany
Tsaramandroso Ambany	Aranta	Anosikely tsararano	Ambohimandamina
Tsaramandroso Ambony	Majunga-Be	Fiofio	Ambondrona
Mangarivotra	Antanambao Ambalavato	Ambalavola	Antanambao sotema
Mahavoky Avaratra	Manjarisoa	Morafeno	Anatanimalandy
Mahavoky Atsimo	Marovato Abattoir	Tsararano Ambony	Mahatsinjo
	Mahabibokely		Antanimasaja

Ce tableau montre les différentes répartitions des fokontany par circonscription dans la commune urbaine de Mahajanga.

2.1.2.1. Climat

Le climat local est de type tropical sec à saison contrastée. Il est fortement influencé par la mousson, une alternance de 7 mois de saison sèche d'avril à octobre et 5 mois de saison pluvieuse qui s'étale d'octobre à avril. Le climat est caractérisé par une température moyenne annuelle est de 31°C.

2.1.2.2. Reliefs

Située au pied des hautes-terres Malgaches et ouverte sur le Canal de Mozambique, la configuration topographique de la région se calque sur la disposition en bandes concentriques des unités géologiques qui développent des vastes étendues planes à moins de 800 m d'altitude en moyenne.

2.1.3. Contexte environnemental

Le paysage environnemental de la ville de Mahajanga a été détruit par l'usage des manguiers pour la production de charbon de bois (mangue). Il en est de même pour cause de la déforestation et de la disparition des mangroves.

A Mahajanga, les mangroves procurent des bénéfices aux populations en termes de sécurité alimentaire et de stocks de carbone mais actuellement la dégradation de ces ressources ne sécurise plus les zones côtières contre les risques de catastrophe naturelle qui sont en lien avec les impacts du changement climatique.

2.2. Matières

2.2.1. Les variétés de mangue

Beaucoup considèrent les mangues comme le type de fruit tropical le plus cultivé au monde. Pour cette raison, il n'est pas surprenant qu'il existe littéralement des centaines de variétés de mangues [2]. Les variétés de mangue peuvent varier en goût et en apparence. Mais la plupart des types de mangues ont un goût sucré, une pulpe fibreuse juteuse et une peau épaisse et cireuse.



Photo 1 : Variétés de fruit de manguier [2]

2.2.2. Etude botanique

a) Espèces

Le manguier ou *Mangifera indica L* appartient à la famille des anacardiées. Cette famille contient 75 genres. Parmi ces genres, le genre *Mangifera* comprend 69 espèces et la majorité des fruits consommés appartient à l'espèce *Mangifera indica* [3]. Dans le genre de *Mangifera*, plus de 46 variétés de mangue ont été recensées à Madagascar à savoir *le zanzibar*, *le Hiesy*, *l'Antongombato*, *le Vato*, *le Rano*, *le Diego*, etc....

b) Position systématique

Le manguiers ou *Mangifera indica L.*, appartient à la famille des Anacardiaceae [4]. Cette famille contient 75 genres. Parmi ces genres, le genre *Mangifera* comprend 69 espèces et la majorité des fruits consommés appartient à l'espèce *Mangifera indica*. C'est un arbre fruitier mesurant de 10 à 40m de hauteur [5]. Ces feuilles mesurent en moyenne de 15 cm à 40 cm de long. La largeur varie entre 1,5 cm et 4 cm selon les variétés. Ses fleurs sont jaunâtres avec une forte odeur. Selon les variétés, les fruits charnus avec un noyau au centre pèsent entre 50 et 2 kg. Ils peuvent avoir des formes très diverses : oblongue, réniforme, elliptique, ovoïde, cordiformes ou aplatie.

2.3. Démarche méthodologique d'extraction d'huile végétale

L'atteinte de l'objectif initial fixé est de trouver une nouvelle formulation de crème déshydratant à base d'huile végétale de mangue de variété « *hiesy* » dans la Commune Urbaine de Mahajanga, région Boeny. Avant de l'atteindre, il faut passer à travers l'ordre chronologique de trois phases différentes et où à chaque phase correspond différentes activités à réaliser.

- 1^{ère} phase : Analyse des éléments nutritionnels dans la poudre de noyau de mangue. Les activités correspondantes à cette 1^{ère} phase sont : la détermination de la teneur respective de l'humidité, de la cendre brute, du lipide, de la protéine, du glucide ainsi que de sa valeur énergétique ;
- 2^{ème} phase : Extraction de l'huile végétale dans le noyau de mangue. Les activités à entreprendre dans cette seconde phase comprennent respectivement :
 - o primo, la détermination des caractères physico chimiques de l'huile de poudre de mangue ;
 - o Secundo, la détermination par chromatographie en phase gazeuse (CPG) des différents composés chimiques dans l'huile telles que : l'acide stéarique, l'acide palmitique, l'acide palmitoléique, l'acide oléique, l'acide gadoléique et l'acide arachidique ;
 - o Tertio, la réalisation du Test de l'activité anti oxydante et anti microbienne de l'huile de poudre de mangue.
- 3^{ème} phase : la production de carburant alternatif à base d'huile végétale de mangue de variété « *hiesy* » par transestérification. Détermination des caractères physico chimiques du carburant alternatif.

Avant d'entamer cette analyse des éléments nutritionnels dans les noyaux de mangue, il faut passer par les opérations de prétraitement comprenant : la Préparation des noyaux de mangue, son pesage, son séchage dans le séchoir solaire indirect, la détermination de la teneur en Matière sèche de l'échantillon et enfin le broyage et le tamisage.

2.3.1. Phase Préparatoire : Opération de prétraitement

a) Préparation des noyaux de mangue

Avant l'obtention des noyaux de mangue, il faut entreprendre les activités suivantes : lavage de mangue, séparation de son écorce, de sa pulpe et de sa coque. L'objectif est de récupérer le noyau de la mangue à l'intérieur de sa coque. Après avoir obtenu le noyau de mangue, il faut laver de nouveau le noyau obtenu et le laisser se reposer pendant 2 jours afin d'éliminer toute trace d'eau. Enfin, il faut passer au pesage de l'échantillon de noyaux de mangue.

b) Pesage des noyaux de mangue.

Après ces différentes opérations, le poids final des noyaux de mangue est de : 8 kg.

c) Séchage des noyaux de mangue

Pour s'assurer d'une faible teneur en humidité de notre matière première, il faut passer par une opération de prétraitement des noyaux de mangue c'est-à-dire : le séchage en faisant passer les noyaux dans un séchoir solaire au niveau du laboratoire énergétique du Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) sis à Fiadanana Tsimbazaza Antananarivo. Parmi les trois types de séchage solaire existant : séchage nature ou au soleil, séchage solaire direct et séchage solaire indirect, c'est ce dernier qui est le plus intéressant car il présente les avantages suivants : le produit à sécher est parfaitement protégé et non dégradé, le séchage est assez rapide avec un coût et complexité plus importants.

d) Détermination de la teneur en Matière Sèche (%MS) après 4 jours de séchage

Après avoir suivi le séchage de l'échantillon de noyaux de mangue dans le séchoir solaire indirect, on a pu obtenir la teneur en Matière sèche de l'échantillon.

e) Broyage et tamisage

Une fois que l'échantillon de noyau de mangue est sec, il faut passer au broyage et tamisage pour réduire en poudre les noyaux de mangue. L'objectif de ces deux opérations de prétraitement (broyage, tamisage) est de transformer les noyaux de mangue en poudre fine.



Photo 2 : Broyeur manuel



Photo 3 : Tamis

2.3.2. 1^{ère} Phase : Analyse des éléments nutritionnels dans la poudre de noyau de mangue

Les éléments nutritionnels à analyser dans la poudre de noyaux de mangue sont : l'humidité, la teneur en cendre brute, la teneur en lipide, la teneur en protéine, la teneur en glucide et la valeur énergétique.

2.3.2.1. Teneur en humidité

L'objectif est de déterminer la teneur en eau dans la poudre de mangue.

• Matériels

Les matériels utilisés comprennent : la capsule en inox, une balance de précision, un dessiccateur et une étuve.

2.3.2.2. Teneur en Cendre

L'objectif est de déterminer la teneur en cendre brute dans la poudre de noyau de la mangue.

2.3.2.3. Teneur en Lipide

L'objectif principal dans cette analyse est de chercher la teneur en matière grasse que contient la poudre du noyau de la mangue.

Les lipides alimentaires, encore appelés matières grasses, corps gras, huiles ou graisses, représentent l'une des trois grandes classes de macronutriments de notre alimentation. Les lipides, les protéines et les glucides constituent les principaux composants structuraux des aliments[6].

La formule permettant de calculer le pourcentage de lipide s'écrit comme suit :

$$L(\%) = \frac{M3 - M1}{M2}$$

M1 : Masse du ballon vide

M2 : Masse de la prise d'essai

M3 : Masse du ballon + prise d'essai après étuvage

2.3.2.4. Teneur en Protéine

Les protéines sont d'importants éléments constitutifs de l'organisme. On les trouve dans la plupart des denrées alimentaires, qu'elles soient d'origine animale ou végétale. Mais la quantité, la qualité et la digestibilité de ces protéines varient selon les aliments[7].

Pour déterminer la teneur en Protéine dans un aliment, il faut d'abord déterminer la teneur en Azote dans l'aliment par méthode Kedjal et après on multiplie cette teneur en Azote par un coefficient de conversion de l'Azote qui est : 6,25.

$$\text{Ainsi, } P (\%) = N (\%) \times 6,25$$

2.3.2.5. Mode de calcul de la teneur en Glucide

Pour connaître la teneur en glucide d'un aliment, il faut connaître respectivement : la teneur en eau, en protéine, en lipide et en cendre. On peut calculer directement la teneur en glucide par la relation suivante :

$$G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)]$$

Avec G(%) : Teneur en glucide, L(%) : Teneur en lipide ; P(%) : Teneur en protéine ; H(%) : Teneur en eau et C(%) : Teneur en cendre

2.3.2.6. Mesure de la valeur énergétique dans la poudre de noyau de mangue

La valeur énergétique d'un aliment provient de l'énergie libérée par ses nutriments au cours de leur métabolisme. D'après les travaux d'Atwater [8], on admet que l'énergie libérée par le métabolisme est de 4 kcal/g pour les glucides et les protéines, 9 kcal/g pour les lipides et 7 kcal/g pour l'alcool.

Les compilateurs de tables de composition ont pendant longtemps affecté aux teneurs d'un aliment en glucides, protéines, lipides et alcool ces fameux coefficients et calculé la somme des résultats pour obtenir sa valeur énergétique. Le tableau 2 informe les coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme.

Tableau 2 : Coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme.

	kcal/g	kJ/g
Protéines	4,00	17,0
Lipides	9,00	37,0
Glucides disponibles	3,75	16,0
Ethanol	7,00	29,0
Acide acétique	3,50	15,0
Acide citrique	2,50	10,0
Acide lactique	3,60	15,0
Acide malique	2,40	10,0

Source : [8]

En appliquant la relation suivante :

Valeur Energétique (VE) dans poudre de noyau de mangue = G(%) x 4 + L(%) x 9 + P(%) x 4 et en tenant compte de la valeur de la teneur en glucide, en lipide et en protéine dans les noyaux de mangue.

2.3.3. 2^{ème} phase : Extraction d'huile végétale à partir des poudres du noyau de mangue

Avant d'extraire l'huile dans la poudre des noyaux de mangue, il faut passer par une opération préliminaire

a) **Opération préliminaire : Vérification pureté du solvant**

Il faut vérifier la pureté du solvant (hexane) car le solvant dans les boutiques n'est pas pur. Parfois, il est accompagné d'autre produit qui peut gêner la réalisation.

Pour éviter cette situation, il faut passer à la distillation pour séparer l'hexane pur et non pur.

b) **Distillation de l'hexane**

L'objectif de cette distillation est de séparer et de récupérer l'hexane pure (vrai hexane). dans l'hexane acheté dans la boutique.

• **Méthode**

-Lavage des matériels utilisés

-Rinçage ces matériels sur l'eau distille et puis avec l'alcool

- Séchage de ces matériels à l'aide de la sèche à cheveux ou de l'étuve

- On verse l'hexane et la pierre ponce dans le ballon

-Contrôle d'entrée et sortie d'eau sur le réfrigérant

- Démarrage de la régulateur chauffe ballon, on met sur volume 1 à gauche et sur 4 à droite (volume spécifique pour l'hexane)

• **Contrôle de température**

-La température spécifique pour l'hexane est de 59 à 62°C, l'hexane qui sort à cet intervalle de température est le vrai hexane et récupérons en bouteille verre.

-L'hexane qui sort en bas de la température de 59°C est un hexane tête (mauvais hexane) et récupérons sur la bouteille en plastique.

-L'hexane qui sort à la température à plus de 62° est un hexane queue (mauvais hexane) et on le récupère aussi en bouteille plastique. Mais l'hexane tête et queue peuvent être redistillé.

2.3.3.1. Extraction proprement dite d'huile végétale à partir des poudres du noyau de mangue

L'objectif de cette opération est d'extraire l'huile végétale dans la poudre de noyau de la mangue obtenu.

• **Mécanisme de l'extraction**

Grace au chauffage de la régulateur (Horts et chauffe ballon de 1,7), l'hexane se transforme en vapeur. Quand ce vapeur arrive auprès du réfrigérant, il se condense et puis il tombe au contact de la matière première pour attirer l'huile. Et après, il traverse le siphon du soxhlet. Quand le siphon est rempli, il descend automatiquement vers le ballon. Ce phénomène de descendance s'appelle la siphonation.

Tableau 3 : Bilan de l'extraction

Totalité du chargement d'extraction	Totalité Poudre de mangue utilisée (g)	Volume total Hexane utilisé (ml)	Durée totale de l'extraction (h)
9	2076	6038	157

Ce tableau montre que pour 9 chargements d'extraction d'huile effectuée, la totalité de poudre de mangue utilisée est de 2076 g soit 2,076 kg pour un volume total d'hexane de 6038 ml soit 6,038 l. La durée totale de l'extraction est de 157 h.

On a pu constater que le régulateur chauffe ballon est plus lente par rapport à HORTS.

a) Evaporation

L'objectif de l'évaporation est de séparer le mélange liquide (huile + hexane) obtenu lors de l'extraction de l'huile dans la poudre du noyau de mangue, pour récupérer l'huile pure sans solvant. Ce procédé permet de dégager tout solvant dans l'huile.

- Quand la séparation de ces deux phases d'huile se produit, on récupère l'huile claire dans un flacon et l'huile trouble dans l'autre flacon à l'aide d'une pipette pasteur. L'huile trouble est plus concentrée que l'huile claire et il se situe au fond du ballon.



Photo 4 : huile trouble



Photo 5 : huile claire

b) Mécanisme de l'évaporation sur le rotavapor

Le ballon qui contient le mélange est en contact direct sur le bain marie. Par la suite, le solvant s'évapore mais l'huile reste dans ce ballon. Quand le gaz arrive sur le réfrigérant il se condense. Il descend enfin sur le ballon réceptacle.

2.3.3.2. Caractérisation physico chimique de l'huile des poudres du noyau de mangue

2.3.3.2.1. Indice de réfraction de l'huile

L'objectif est de déterminer le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réflexion d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, passant de l'air dans l'huile maintenue à une température constante.

○ Formules pour le calcul de l'indice de réfraction en fonction de la température

La formule pour déterminer l'indice de réfraction est de :

$n = n_t + 0,0004(t' - 20)$ où n = Indice de réfraction à la température t'

2.3.3.2.2. Densité Relative

L'objectif du calcul de la densité relative est de déterminer la masse d'un certain volume de l'échantillon d'huile et la masse d'un égal volume d'eau distillée à la température : t . Le rapport de ces masses s'appelle la densité relative.

○ Calcul de la densité relative :

- Formule :

$$D = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} + 0,0007 (t - 20)$$

- M_0 : Masse du pycnomètre vide
- M_1 : Masse du pycnomètre + eau distillé
- M_2 : Masse du pycnomètre + huile

2.3.4. 3^{ème} phase : Analyse chromatographique de l'huile de poudre de noyau de mangue

L'objectif principal de cette analyse chromatographique de l'huile de poudre de noyau de mangue est de déterminer les substances chimiques présentes dans l'huile y compris leur formule et spécificité ou utilisation respective.

2.3.5. 4^{ème} phase : Production de carburant alternatif (biodiesel) à base d'huile végétale de mangue de variété « hiesy » par transestérification. Détermination des caractères physico chimiques du carburant alternatif (Biodiesel)

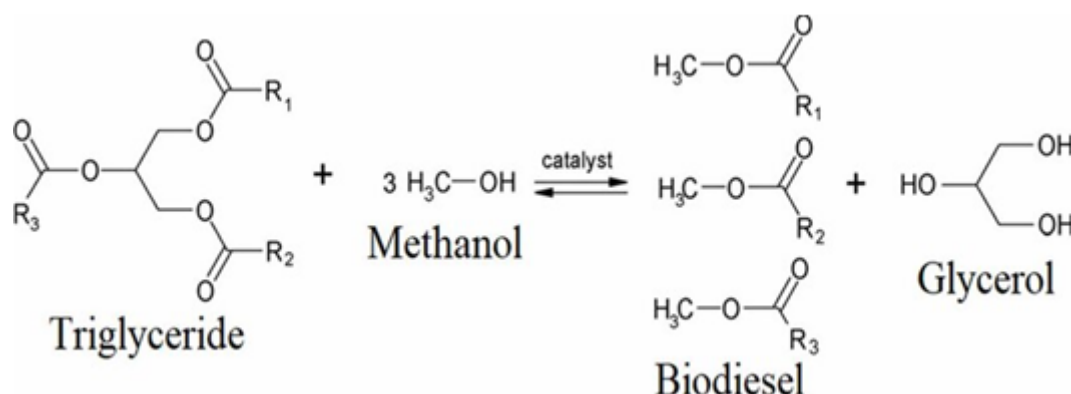
-Principe : Réaction entre lipide et alcool pour obtenir du biodiesel et de glycerine en utilisant un catalyseur KOH

-Matières : Noyau de mangue = 19,750 kg ; Poudre de noyau de mangue = 7,143 kg

Huile de noyau de mangue : 0,500 kg

Densité huile = 0,903

Comme l'huile de poudre de noyau de mangue contient 6 composés lipidiques qui sont tous des acides gras. On peut les utiliser pour avoir de carburant alternatif qui est le biodiesel. La réaction de transestérification se présente comme suit :



Le triglycéride utilisé est l'huile végétale de poudre de noyau de mangue qui contient respectivement de deux types d'acide : acide gras mono insaturé et acide gras saturé. Pour l'acide gras mono insaturé, il y a l'acide oléique, l'acide gadoléique et l'acide palmitoléique. Pour l'acide gras saturé, il y a l'acide arachidique, l'acide stéarique et l'acide palmitique.

Tableau 3 : Réaction huile de poudre de noyau de mangue avec le méthanol

Désignation	Nom	Quantité
catalyseur	KOH	2,5 g
Alcool	Méthanol (ml)	125
Huile de noyau de mangue	Huile (ml)	500

3. Résultats

Les résultats des essais d'expérimentation sont récapitulés dans cette partie.

3.1. Résultat des opérations de prétraitement des noyaux de mangue

Tableau 4 : Rendement massique des noyaux de mangue après séchage et broyage et tamisage

Paramètres	Poids initial (kg)	Poids (kg) après séchage solaire indirect	Poids (kg) après broyage et tamisage
Noyaux de mangue	8	3,7	2,9
Rendement massique par rapport au poids initial (%)		46,25	36,25
Rendement massique par rapport au séchage solaire indirect (%)			78,37

Ce tableau montre la diminution du poids des noyaux de mangue après séchage solaire indirect et après broyage et tamisage pour la production de poudre de noyaux de mangue.

3.2. Résultat de la détermination de la teneur en Matière Sèche (MS) des noyaux de mangue

Après passage au séchage solaire indirect, les noyaux de mangue secs, on a calculé la teneur en Matière Sèche (MS).

$$MS (\%) = 46,2$$

3.3. Résultats d'analyse des éléments nutritionnels dans la poudre de noyau de mangue

Les éléments nutritionnels analysés dans la poudre de noyau de mangue sont : l'humidité mettant en évidence la teneur en Matière sèche, la teneur en cendre, la teneur en lipide, la teneur en protéine, la teneur en glucide et la valeur énergétique dans la poudre de noyau de mangue.

3.3.1. Résultat de la détermination de la teneur en humidité

Deux essais d'expérimentation ont été réalisés pour déterminer l'humidité des deux échantillons et évidemment la teneur en Matière sèche (MS)

Tableau 5 : Résultat de la teneur en Matière sèche (MS)

Capsule	MS(%)
1	6,12
2	6,14
Moyenne	6,13

Les deux prises d'essai de cette analyse montrent que la teneur en matière sèche de la poudre de noyau de la mangue est environ 6,13%.

3.3.2. Résultat de la détermination de la teneur en cendre dans la poudre de noyau de mangue

- Calcul de la teneur en cendre C(%) :

$$C(\%) = \frac{C3 - C1}{C2} \times 100$$

C1 : Masse de la capsule vide en g

C2 : Masse de l'échantillon en g

C3 : Masse de la capsule + échantillons après étuvage en g

Tableau 6 : Résultat de la teneur en cendre des deux échantillons incinérés

Echantillon	C(%)
1	2,1321
2	2,135
Moyenne	2,13355

D'après ces procédés, on trouve que la teneur en cendre brute de la poudre du noyau de la mangue est 2,1335%.

3.3.3. Résultat de la détermination de la teneur en lipide dans la poudre de noyau de mangue

Après pesage à vide et pesage avec échantillon dans la capsule

Tableau 7 : Résultat de mesure ballon vide et prise d'essai

	Masse (en g)
Ballon vide	11,7635
Prise d'essai	5,3037

On pèse ce ballon après étuvage. On trouve **112,2383g** (ballon + après étuvage)

Calcul du pourcentage du lipide :

$$L (\%) = \frac{M3 - M1}{M2} \times 100$$

M1 : Masse du ballon vide

M2 : Masse de la prise d'essai

M3 : Masse du ballon + prise d'essai après étuvage

Ainsi, la teneur en matière grasse (lipide) contenue dans la poudre du noyau de mangue est de 8,9522%.

3.3.4. Résultat de la détermination de la teneur en Protéine dans la poudre de noyau de mangue

L'objectif de cette analyse est de chercher la teneur en protéine contenu dans la poudre de noyau de mangue. Pour savoir la teneur en protéine, il faut d'abord chercher la teneur en azote N dans la poudre par la méthode Keidjall et après on multiplie par le coefficient de conversion de l'azote qui est : 6,25.

Lecture de la burette : Détermination du volume de la solution utilisée durant la période de la titration (Volume de la chute de burette)

Tableau 8 : Résultat du volume de chute de burette

Echantillon	Volume de la chute de burette (ml)
1	3,7
2	4

On applique la relation suivante :

$$N(\%) = \frac{V \times M \times 100 \times 0.001 \times n}{m}$$

Avec : N(%) : Teneur en azote

V : Volume de la chute de burette
M : Masse molaire de l'azote
n : Normalité de la solution d'acide sulfurique (0,109N)
m : Masse de la prise d'essai

Tableau 9 : Résultat de la teneur en Azote

Echantillon	N(%)
1	1,1087
2	1,1155
Moyenne	1,1121

Alors, la moyenne de la teneur en azote est 1,1121%

Donc, on peut calculer la teneur en protéine par la relation suivante :

$$P(\%) = N(\%) \times 6,25 = 6,9506\%$$

P(%) : Teneur en protéine

6,25: C'est le coefficient de conversion de l'azote

3.3.5. Résultat de la détermination de la teneur en Glucide dans la poudre de noyau de mangue

Une fois qu'on connaît la teneur en lipide, en protéine, en eau et en cendre, la teneur en glucide est connue en appliquant la relation suivante :

$$\text{Formule : } G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)]$$

Après calcul, la teneur en glucide est de :

$$G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)] = 75,8337\%$$

La teneur en glucide contenu dans la poudre de noyau de mangue est 75,8331%

3.3.6. Détermination de la valeur énergétique dans la poudre de noyaux de mangue

En tenant compte que les valeurs calorifiques des lipides, des protéines et des glucides sont connus à partir des travaux d' Atwater à travers les coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme suivants :

- 1g de lipide = 9 Kcal
- 1g de protéine = 4 Kcal
- 1g de glucide = 4 Kcal

Ainsi, on a : (VE) = 411,7046/100 g. Ce qui signifie que la valeur énergétique dans la poudre de noyaux de mangue est de 441,7046 kcals dans 100 g de poudre du noyau de mangue.

3.4. Extraction d'huile végétale à partir de la poudre de noyau de mangue

Avant d'entamer l'extraction d'huile, il faut tester la pureté de l'hexane acheté dans les boutiques car ces produits ne sont pas purs et cette situation entrave le déroulement de la procédure d'extraction d'huile. De ce fait, il faut distiller l'hexane acheté dans les boutiques.

3.4.1. Mesure de la distillation de l'hexane

A cause de l'impureté de l'hexane vendu dans les boutiques, il faut passer à leur distillation pour avoir le vrai hexane. Après distillation d'échantillon d'hexane, on a obtenu 3 types d'hexane : un vrai hexane (Hexane pure), un hexane tête et un hexane queue (hexane composé par d'autres éléments chimiques) .

3.4.2. Extraction proprement dite d'huile végétale à partir des poudres du noyau de mangue

Après cette extraction par soxhlet, on a obtenu un mélange liquide (Huile + hexane) qu'il faut les séparer



Photo 6 : Mélange liquide (Huile + hexane)

- **Evaporation**

Afin de séparer ce mélange liquide (Huile + hexane), il faut passer à l'évaporation de ce mélange.

A la fin de cette opération, l'hexane et l'huile sont bien séparés. On obtient 02 variétés d'huile :

- L'huile claire qui représente 75 à 80% d'huile totale
- L'huile trouble qui représente 20 à 25% d'huile totale

Ainsi, le rendement d'huile totale varie entre 7 à 9% avec les caractéristiques suivantes :

- Couleur : Jaune pale
- Odeur : Légèrement forte
- Aspect : Très visqueux

3.4.3. Caractérisation physico chimique de l'huile des poudres des noyaux de mangue

La caractérisation physico chimique de l'huile des poudres des noyaux de mangue dans ce travail est focalisée à la détermination de l'indice de réfraction et la détermination de la densité relative.

3.4.3.1. Indice de réfraction

Après des essais d'expérimentation, les résultats sont récapitulés dans le tableau 10 après avoir appliqué la relation suivante :

$$n = nt' + 0,0004(t' - 20)$$

Tableau 10 : Résultat des essais de calcul des indices de réfraction

Essais	Indice de réfraction (n)	Température (°C)
1	1,4622	28°C
2	1,4628	26°C
3	1,4629	27°C
Moyenne	1,4626	

Après ces opérations, on a obtenu 3 résultats plus ou moins semblables de l'indice de réfraction avec une moyenne de 1,4626 pour une température de 26°C à 28°C.

3.4.3.2. Densité relative (NFT 75-11)

En appliquant la relation permettant de calculer la densité, on a :

$$d = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} + 0,0007 (t-20)$$

Mo : Masse du pycnomètre vide

M1 : Masse du pycnomètre + eau distillée

M2 : Masse du pycnomètre + huile

Tableau 11 : Résultats des essais d'expérimentation

	Poids (en g)	Température (en °C)
Pycnomètre vide	4,7925	28
Pycnomètre + eau distillée	6,1608	27
Pycnomètre + huile 1	6,0286	27
Pycnomètre + huile 1	6,0248	28
Pycnomètre + huile 3	6,0242	28

3.5. Analyse chromatographie de l'huile de la poudre des noyaux de mangue

3.5.1. Les résultats d'analyse chromatographique

3.5.1.1. Eléments majoritaires : LINOLEATE DE METHYLE ET PALMITATE DE METHYLE

Sur le graphe, on trouve les deux éléments majeurs tels que :

a. LINOLEATE DE METHYLE ou ester méthylique de l'acide linoléique (C₁₉H₃₄O₂) représente l'élément majoritaire (65,65%).

- Entrée # : 1 : 156578 Bibliothèque spectrale : NIST20-1.lib
- SI : 94 Formule moléculaire : C₁₉H₃₄O₂ CAS : 112-63-0 Masse molaire : 294 Indice de rétention : 2093
- 组分名称 : 9,12-Acide octadécadiénoïque (Z,Z)-, ester méthylique \$\$ Acide linoléique, ester méthylique \$\$ Méthyl cis,cis-9

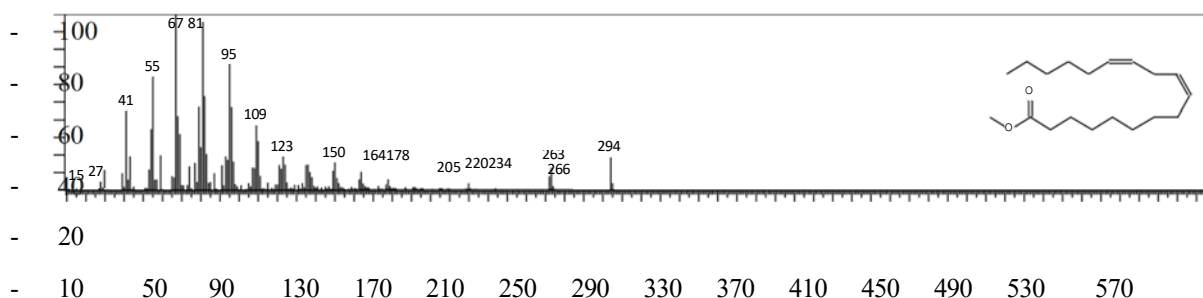


Figure 2 : Résultat de l'analyse chromatographique sur le 1^{er} élément majeur dans l'huile de noyau de mangue *hiesy*.

b.PALMITATE DE METHYLE : 2^{ème} composant majeur de l'extrait : 24,33%.

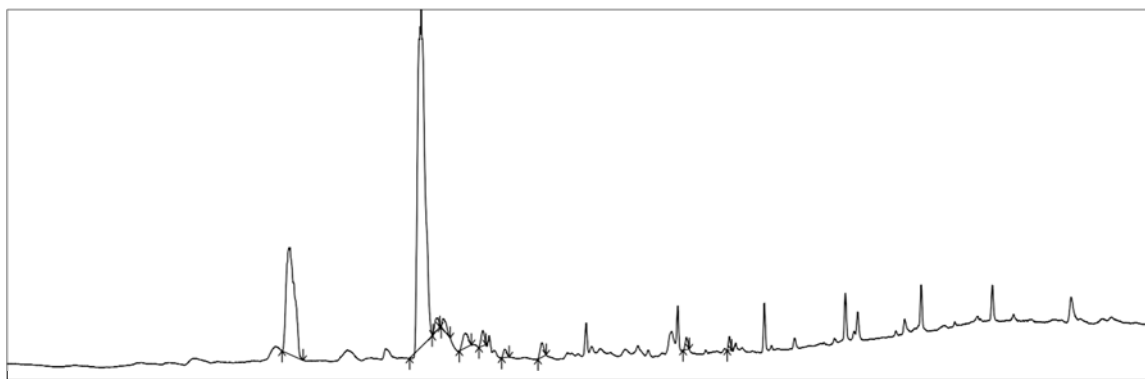


Figure 3 : Résultat de l'analyse chromatographique sur le 2nd élément majeur dans l'huile de noyau de mangue *hiesy*.

Le tableau 12 montre le résultat de l'analyse chromatographique effectuée sur l'huile obtenue à partir de poudre de noyau de mangue. Ce tableau montre les 10 pics dans ce graphe ainsi que les pics et le pourcentage de surface de pointe pour les deux composants majeurs en l'occurrence : le linoleate de methyle et le palmitate de methyle.

Tableau 12 : Résultat de l'analyse chromatographique

Nombre de pic	Temps de conservation	Zone de pointe	Pourcentage de surface de pointe
1	9.656	28887206	24.33
2	12.740	77958719	65.65
3	13.095	1524631	1.28
4	13.259	1561404	1.31
5	13.771	2678388	2.26
6	14.191	1606176	1.35
7	14.706	931276	0.78
8	15.571	1710168	1.44
9	18.971	990712	0.83
10	19.978	902178	0.76
		118750858	100.00

3.5.1.2. ACIDE ARACHIDIQUE (C₂₀H₄₀O₂)

- Formule développée**

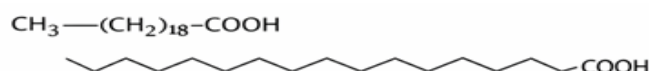


Figure 4 : Formule développée de l'Acide Arachidique

- L'acide arachidique, acide gras saturé à longue chaîne (C20:0), intervient principalement dans la structuration de la matrice lipidique. Sa contribution, bien que limitée quantitativement, favorise l'augmentation du point de fusion et la rigidité partielle de l'huile. Cette propriété est particulièrement recherchée dans les applications industrielles nécessitant des matières grasses stables, telles que la formulation de beurres végétaux, de cires cosmétiques ou de produits semi-solides.
- Résultat analyse chromatographique**

Résultat # : 5 Entrée : 178125 Bibliothèque spectrale : NIST20-1.lib

SI : 87 Formule moléculaire : C₂₀H₄₀O₂ CAS : 1731-94-8 Masse molaire : 312 Indice de rétention : 2177

组分名称 : Acide non adécanoïque, ester méthyl \$\$ Méthyl nonadécanoate \$\$ n-Ester méthyl d'acide non adécanoïque

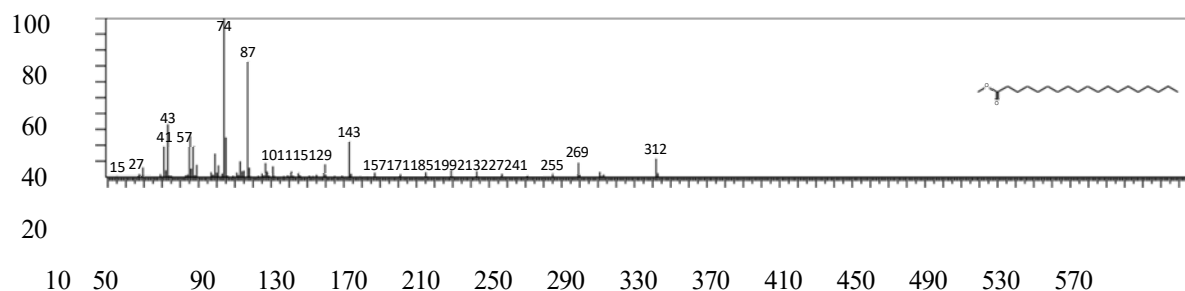


Figure 5 : Résultat d'analyse chromatographique de l'acide arachidique

3.5.1.3. ACIDE PALMITIQUE (C₁₆H₃₂O₂)

• **Formule développée :** CH₃-(CH₂)₁₄-COOH

• **Caractéristiques**

- Acide gras naturellement présente dans de nombreux aliments (huile de palme, produits laitiers, viande, beurre, huile de noyau de mangue).
- Favorise l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E et K).
- Participe au développement cellulaire, notamment chez le nourrisson (présent dans le lait maternel).

• **Résultat analyse chromatographique**

Résultat # : 4 Entrée : 112136 Bibliothèque Spectrum : NIST20-1.lib

SI : 92 Formule : C₁₆H₃₂O₂ CAS : 7132-64-1 Masse molaire : 256 Indice de rétention : 1779

组分名称 : Acide pentadécanoïque, ester méthyl \$\$ Méthyl n-pentadécanoate \$\$ Méthyl pentadécanoate \$\$ n-Pentade

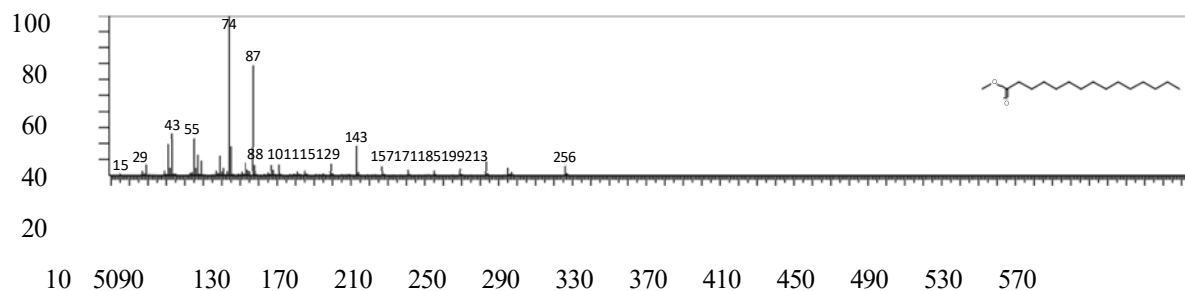


Figure 6 : Résultat d'analyse chromatographique de l'acide Palmitique

3.5.1.4. ACIDE GADOLEIQUE (C₂₀H₃₈O₂)

• **Formule semi-développée :** CH₃-(CH₂)₉-CH=CH-(CH₂)₇-COOH

• **Caractéristiques**

- L'acide gadoléique, acide gras mono-insaturé à longue chaîne (C₂₀:1), se distingue par une structure intermédiaire entre les acides gras mono-insaturés classiques (C₁₈:1) et les acides gras à très longue chaîne.
- Sa présence contribue à la fluidité de la phase lipidique tout en maintenant une bonne résistance à l'oxydation.

4. Résultat sur la Production de carburant alternatif (biodiesel) à base d'huile végétale de mangue de variété « hiesy » par transestérification

Les résultats des essais d'expérimentation ont montré la meilleure composition en huile de poudre de noyau de mangue, en méthanol et en catalyseur ainsi que le pourcentage en biodiesel et en glycérine obtenu.

Tableau 13 : Résultat en composition huile, Alcool, catalyseur et en produits obtenus (biodiesel, glycérine)

Désignation	Nom	Quantité
catalyseur	KOH	2,5 g
Alcool	Méthanol (ml)	125
Huile de noyau de mangue	Huile (ml)	500
Produits	Biodiesel (%)	90
	Glycérine (%)	10

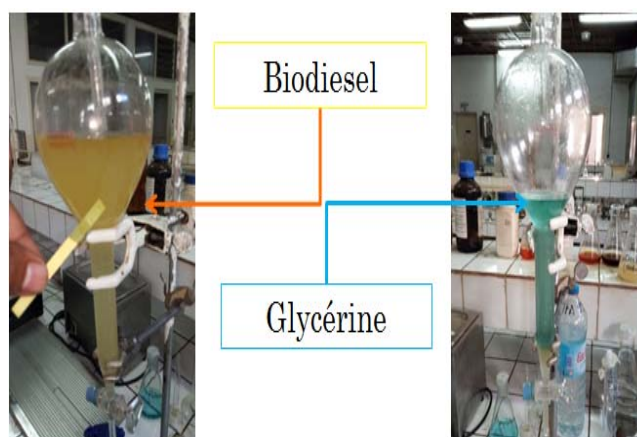


Photo 7 : Pourcentage de biodiesel (90%)

photo 8 : Pourcentage de glycérine (10%)

4. Discussion

Compte tenu de la richesse de l'huile de poudre de noyau de mangue en acide gras saturé et mono insaturé, est ce qu'il est possible de connaître le profil en acides gras et potentiel de valorisation de l'huile de noyau de mangue par rapport aux huiles végétales les plus couramment utilisées. Le tableau 14 récapitule la proportion en Acide oléique, en Acide gras saturé et en Acide gras polysaturé.

Tableau 14 : Récapitulatif en pourcentage en Acide oléique, en Acide gras saturé et en Acide gras polyinsaturé.

Huile végétale	Acide oléique (%)	Acides gras saturés (%)	Acides gras polyinsaturés (%)	Source
Huile de noyau de mangue	35 – 50	40 – 55	5 – 15	Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). <i>Mango: Post-harvest operations</i> . FAO.
Huile d'olive	55 – 75	12 – 20	8 – 15	<u>Boskou, D. (2015). <i>Olive oil: Chemistry and technology</i> (2nd ed.). AOCS Press</u>
Huile d'arachide	40 – 55	15 – 25	20 – 35	<u>Codex Alimentarius Commission. (2019). <i>Standard for named vegetable oils (CXS 210-1999)</i>. FAO/WHO.</u>
Huile de palme	35 – 45	45 – 55	5 – 10	<u>Gunstone, F. D. (2004). <i>The chemistry of oils and fats</i>. CRC Press.</u>

Conclusion

Ce travail de recherche met en évidence la richesse en acide gras saturé, en monoinsaturé ou en polyinsaturé de l'huile de poudre de noyau de mangue *hiesy*. La présence, à l'état majoritaire (acide linoléique) et même à l'état minoritaire, de l'acide gadoléique et de l'acide arachidique enrichit le profil lipidique de l'huile de noyau de mangue. Ces acides gras :

- témoignent de la diversité structurale des lipides,
- renforcent la stabilité oxydative et thermique de l'huile,
- augmentent son potentiel de valorisation dans les secteurs pharmaceutique et agroalimentaire spécialisé.

De plus, la présence de ce profil lipidique classe cette huile comme un élément intéressant pour la production de carburant alternatif.

Références

- [1] Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- [2] Innis, S. M. (2011). Dietary triacylglycerol structure and its role in infant nutrition. *Advances in Nutrition*, 2(3), 275–283.
- [3] Karupaiah, T., & Sundram, K. (2007). Effects of dietary fatty acids on lipids and lipoproteins: A critical review. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(4), 300–308.
- [4] Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., et al. (2021). *Molecular cell biology* (9th ed.). W.H. Freeman and Company.
- [5] O'Brien, R. D. (2009). *Fats and oils: Formulating and processing for applications* (3rd ed.). CRC Press.
- [6] Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). *Mango: Post-harvest operations*. FAO.
- [8] Codex Alimentarius Commission. (2019). *Standard for olive oils and olive pomace oils (CXS 33-1981)*. FAO/WHO.
- [9] Codex Alimentarius Commission. (2019). *Standard for named vegetable oils (CXS 210-1999)*. FAO/WHO
- [10] Gunstone, F. D. (2004). *The chemistry of oils and fats*. CRC Press.