

Enrichissement en Oméga-3 de l'huile de palme raffinée à base d'huile d'hévéa (*Hevea brasiliensis*) détoxifiée

Soualiho BAMBA^{1*}, Gbe Gondo Didier DIOMANDE², Sibiri Ferdinand SANOU¹
et Amissa Augustin ADIMA¹

¹ Institut National Polytechnique Felix HOUPHOUËT-BOIGNY-INPHB, École Doctorale Polytechnique des Sciences et Techniques de l'Ingénieur (EDP-STI), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), BP 1093, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

² Université Felix HOUPHOUËT-BOIGNY-UFHB, Faculté des Sciences des Structures de la Matière et de Technologie, Département de chimie, Laboratoire de Constitution et Réactions de la Matière (LCRM), 01 BP V34, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

(Reçu le 16 Février 2024 ; Accepté le 19 Mars 2024)

* Correspondance, courriel : Soualihobamba81@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est de proposer une formulation d'huile de palme raffinée riche en oméga-3, afin d'apporter une contribution face aux risques cardiovasculaires et d'obésités constatés chez certains consommateurs d'oléine de palme. A cet effet, les graines d'hévéa ont été choisies comme source d'oméga-3, vue qu'elles sont accessibles en Côte d'Ivoire. Après leur détoxification en cyanures, l'huile d'hévéa a été extraite puis caractérisée. Ensuite cette huile détoxifiée d'hévéa et l'huile de palme ont été combiné à différentes proportions, au vu du profil intéressant que celle-ci présentait après analyse effectuée par HPLC, en acides gras essentiels, notamment en oméga-6 (30,9 %) et oméga-3 (6,2 %) contre 9,2 % d'oméga-6 et 0,3 % d'oméga-3 de l'huile de palme raffinée. La caractérisation et l'évaluation du profil en acides gras des échantillons montrent que les huiles HPCHD (4/6), HPCHD (7/3) et HPCHD (5/5) sont les formulations, qui ont les ratio oméga-6/oméga-3 satisfaisants au regard des normes. Les résultats d'analyse nutritionnelle et de l'évaluation des propriétés chimiques ont permis de savoir à quels fins utiles, ces huiles peuvent servir, et de mettre en exergue leurs différents domaines d'applications, ainsi que leur mode conservation et de stockage. Cette étude montre que la graine d'hévéa peut être valorisé par son huile en alimentation ainsi qu'en cosmétique.

Mots-clés : *huile de palme, maladies cardiovasculaires, acides gras oméga-3, Huile d'hévéa, détoxification cyanogène.*

Abstract

Omega-3 enrichment of refined palm oil based on detoxified Hevea oil (*Hevea brasiliensis*)

The aim of this study is to propose a formulation of refined palm oil rich in omega-3, in order to make a contribution to the cardiovascular and obesity risks observed in some consumers of palm olein. Hevea seeds were chosen as the source of omega-3, as they are accessible in Côte d'Ivoire. After cyanide detoxification, the Hevea oil was extracted and characterised. This detoxified rubber tree oil and palm oil were then combined in different proportions, in view of the interesting essential fatty acid profile that the latter presented after

analysis by HPLC, in particular omega-6 (30.9 %) and omega-3 (6.2 %) compared with 9.2 % omega-6 and 0.3 % omega-3 in refined palm oil. The characterisation and evaluation of the fatty acid profile of the samples show that HPCHD (4/6), HPCHD (7/3) and HPCHD (5/5) oils are the formulations with the most satisfactory omega-6/omega-3 ratio with regard to standards. The results of the nutritional analysis and the evaluation of the chemical properties have enabled us to determine the useful uses of these oils, and to highlight their different areas of application, as well as their conservation and storage methods. This study shows that the oil from Hevea seeds can be used in food and cosmetics.

Keywords : *palm oil, cardiovascular disease, omega-3 fatty acids, rubber tree oil, cyanogenic detoxification.*

1. Introduction

L'huile de palme raffinée est une denrée de grande consommation du fait de son prix accessible à tous même aux moins nantis [1]. Sa production en grande quantité par nos industriels est relative à ses propriétés chimiques et physiques, qui lui garantissent une bonne résistivité à l'oxydation, pour sa commercialisation [2, 3]. Cependant sa composition en acides gras essentiels, notamment en oméga-6 (9,2 %) et en oméga-3 (<0,5 %) reste à désirer [4]. Alors que les effets biologiques d'une huile alimentaire peuvent s'évaluer sur les détails de ces acides gras polyinsaturés, dont l'organisme ne peut synthétiser [5]. Les normes recommandent un ratio oméga-6/oméga-3 compris entre (4/1 et 5/1) pour avoir une alimentation équilibrée [6]. Cette carence en oméga-3 de l'oléine de palme est l'une des causes, des risques cardiovasculaires qui émane de sa consommation [7]. En effet des problèmes cardiovasculaires sont suggérés chez certains consommateurs de cette huile végétale. Ce qui fait qu'elle est l'objet de polémiques nutritionnelles au-delà des polémiques environnementales dont elle est sujet [8]. Cette insuffisance d'acide gras oméga-3 pourrait constituer un problème de santé public si elle n'est pas corrigée, surtout par la présence sans cesse de cette matière grasse dans la cuisson de nos aliments et du fait qu'elle demeure un intrant principal au niveau culinaire, en raison de certaines qualités nutritionnelles et de son accessibilité [9]. Les défauts nutritionnels constatés à son égard, peuvent s'expliquer par sa forte teneur (45 à 55 %) en acides gras saturés, constitués essentiellement d'acides gras à chaîne moyenne tels que l'acide myristique, laurique et palmitique qui sont cependant les plus hypocholestérolémiant [10, 11]. Ainsi, cette huile est impliquée dans les pathologies cardiovasculaires [12, 13]. Selon des données cliniques, un taux de cholestérol total supérieur à 2 g/L constituerait un facteur de risque cardiovasculaire [14]. Son enrichissement s'avère donc nécessaire pour protéger les consommateurs contre ces risques cardiovasculaires, surtout que sa production agricole dégage un aspect économique intéressant [3]. Dans ce travail les graines d'hévéa sont choisies comme sources d'oméga-3 à cause de leur accessibilité en Côte d'Ivoire, 3^{ème} producteur mondial de caoutchouc naturel et le 1^{er} au niveau Africain [15]. Ce qui permettrait de valoriser ces produits agricoles qui jusque-là restent sous exploités. Les statistiques révèlent une production annuelle d'environ 75000 à 1000000 tonnes de graines d'hévéa à valoriser en Côte d'Ivoire [16]. Ce pays devrait donc se sentir concerné, sur les problématiques environnementales concernant l'hévéaculture, surtout sur la question de valorisation des graines d'hévéa afin de rendre son économie circulaire [16, 17]. Il est donc salutaire de renchérir la chaîne de valeur de cette agriculture, surtout à l'ère de l'économie circulaire désormais prônée par nos dirigeants et au vu des intérêts de l'activité hévéicole du pays [18, 19]. Cependant ces graines sont cyanogènes [20]. Elles doivent donc être détoxifiées au préalable. Les travaux entrepris dans ce sens ont été basés sur la réduction du taux de cyanures de l'amande, de 2712,3 à 0,38 mg/kg d'HCN par des procédés innovants de transformation des graines. L'optimisation de l'hydrolyse biochimique des glycosides cyanogènes a été réalisée à cet effet [21, 22]. Par β -glycosidase, ces hétérosides sont séquentiellement dégradés, libérant ainsi deux molécules de glucose et les cyanures à l'état d'acide cyanhydrique [23]. Après la détoxification de l'huile d'hévéa à partir de l'amande, sa formulation avec l'huile de palme raffinée fut réalisée afin d'enrichissement de l'oléine de palme en oméga-3. L'objectif de ce travail est de proposer des formulations d'huiles à base d'huile de palme et d'hévéa, répondant aux exigences nutritionnelles.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Matériel végétal

Le matériel végétal est essentiellement constitué des graines d'hévéa (*Hevea brasiliensis*) de clone PB*260, (**Figure 1-a**), et d'huile végétale (oléine de palme). Les graines collectées proviennent des différentes plantations du Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Man en Côte d'Ivoire. Et l'huile végétale, en occurrence l'huile de palme raffinée (**Figure 1-b**) est fournie par la société sania basée à Abidjan, Côte d'Ivoire. Cette société a été sollicitée à cause de la qualité des huiles qu'elle met sur nos différents marchés. En effet, la zone de Man, est l'une des trois zones d'expansion de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire. Les deux autres zones d'expansion sont Yamoussoukro et Bondoukou. Parmi ces zones, Man est pressenti être la plus grande zone avec le temps, à cause de la pluviométrie relativement bonne dans cette localité. De plus la zone abrite des plantations relativement jeunes. Sur les 55 lots hévéicoles attribués par le FIRCA (Le Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles) aux opérateurs du caoutchouc, cette zone est détenue par le plus grand opérateur SAPH (Société Africaine de Plantations d'Hévéa), qui prétend y développer cette agriculture [8]. Ce qui voudrait dire que, cette zone abriterait un grand poids de graines d'hévéa. Le clone PB*260 a été utilisé dans cette zone à cause de son rendement potentiel à l'hectare, donc majoritairement cultivé à Man [16]. Ces graines ont été séchées au soleil sur des claies, pendant environ 2 semaines. Elles ont ensuite été décortiquées, puis séchées à l'étuve à 105 °C pendant 24 h, puis broyées. Le taux d'humidité résiduelle était ainsi considérablement réduit (THR < 6 %), pour assurer une bonne conservation des échantillons. Ces travaux de prétraitement des amandes sont d'intérêt à épargner les échantillons des effets de dégradation liés aux moisissures et autres activités enzymatiques indésirés. Ces travaux ont été réalisés aux Laboratoire LAPISEN (Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et des Energies Nouvelles) de l'Institut National Polytechnique Félix HOUPOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro.

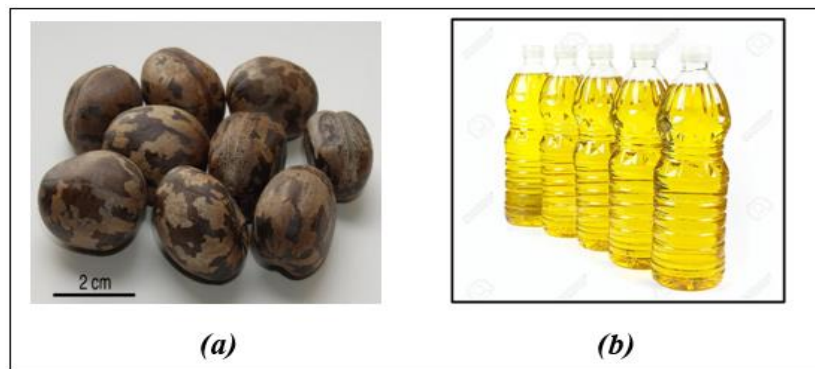


Figure 1 : Image des graines d'hévéa (a) et de l'huile de palme raffinée (b)

2-1-2. Matériel biologique

Le matériel animal (ou biologique) est constitué des rats de Laboratoire de souche Wistar (**Figure 2**). Ces rats ont servi à évaluer la toxicité, ainsi que la valeur nutritionnelle de l'huile d'hévéa, et des huiles formulées à base d'huile d'hévéa. Ces animaux ont donc permis de faire la lumière non seulement sur les intérêts de la consommation d'huile d'hévéa, des huiles enrichies en acides gras essentiels, mais aussi à connaître les effets biologiques des extraits tels que l'huile et le tourteau détoxifiés en cyanures. Ces Rats ont été fournis par l'animalerie de l'UFR (Unité de Formation et de Recherche), Pharmacie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Les analyses biologiques ont été effectuées sur différents échantillons biologiques obtenus à partir de ces rats de laboratoire. Pour l'analyse, le matériel biologique était composé de fluides tels le sang, le sérum et l'urine, et d'organes tels que les reins, le foie et le cœur.



Figure 2 : Rat Wistar

2-1-3. Réactifs et Solvants

Les réactifs et solvants utilisés sont divers, mais sont essentiellement composés de : hexane, hydroxyde de sodium, hydroxyde de potassium, éthanol, le chlorure de méthylène, oxyde d'éther, phénolphtaléine, acide chlorhydrique, acide sulfurique, le phénol, l'acide borique, l'acétate de sodium, chlorure de fer III, rouge de méthyle, vert de bromocrésol, acétate d'éthyle, dimethylsulfoxyde, dichloroéthane, méthanol, éther de pétrole, l'acétone, Ammoniaque pure, solution d'iodure de potassium, Nitrate d'argent, dichlorométhane, tétrahydrofurane, acétonitrile, chlorure de méthyle, le sélénium, acide acétique, palmitate de rétinol, α -tocophérol, acide gallique, diiode, trichlorure d'iode, tétrachlorure de carbone, les kits enzymatiques de cholestérol, les réactifs de Wijs et de Folin Ciocalteu, acide oxalique, l'acétique glacial, le glucose, empois d'amidon, acide picrique solution 0,9-11% (Alcalimétrique), carbonate de sodium, iodure de potassium, cyanure de potassium, thiosulfate de sodium, acide phosphorique, Chloroforme (trichlorométhane HCCl_3), Sulfate double de Fer III et d'ammonium. Tous les réactifs et solvants listés sont produits par ACROS Organics, sauf l'acide picrique solution 0,9-11 % qui est fourni par Sigma-ALDRICH[®], et le kit enzymatique de cholestérol est de marque (FISHER Chemical, Invitrogen[™] A12216). L'acide acétique glacial et le glucose sont de marque (sigma-Chemical Co, USA). Les réactifs utilisés pour les analyses biologiques tels le phosphate dissodique, le dodecyl sulfate de sodium, le salicylate de sodium, le nitroprussiate de sodium et l'hypochlorite de sodium sont tous de BIOLABO SAS (France).

2-1-4. Équipements utilisés

Les équipements utilisés pour la réalisation de ce projet sont divers, et sont essentiellement composés de : extracteur de type Soxhlet (FISHER Scientific), balances de précision (SARTORIUS), broyeur mécanique (Retsh, M6951) séchoir solaire, évaporateur rotatif (Büchi), Appareil photo numérique (HUAWEI, Chine), viscosimètre (IKA ROTAVISC lo-vi made by IKA), réfractomètre à infrarouge de type d'ABBE (Carl Zeiss, Chine), mixeur (Blender Bruon, H-999A), agitateur magnétique (IKAMAG, RCT), étuve de type Memmert-Germany, réfrigérant, analyseur HPLC (Chromatographie Liquide Haute performance) de type WATERS ALLIANCE EMPOWER 3 (États-Unis) et, ordinateur portable (HP CORE i5, vPro), thermomètre digital SPENGLER, pH-mètre (HANNA, HI5221), spectrophotomètre (JASCO V-530, Japon), pipettes (macro, micro, pro) tous de marque PROLABO, Microscope Electronique à Balayage couplé à un spectromètre à fluorescence X (MEB-EDX) de type SH-4000M, distillateur Kjeldahl (BKN-983, Chine), Réfrigérateur (Nasco, NASD2-200K), sonde Salem de nutrition (Tro-Nutricath), sonde gastrique de gavage (Vygon, CH5), Seringue 5ml à aiguille (Paraderm, Maroc). Parmi ces équipements techniques énumérés, figurent le papier chromatographique « Watchman » 3MM CHR (1 cm × 5 cm) de marque Grosseron 0,34mm d'épaisseur et de vitesse d'absorption (130 mm / 30 min), et le papier allure de marque Sanitex

2-2. Méthodes

2-2-1. Méthode d'extraction d'huile

L'huile d'hévéa a été extraite par soxhlets après détoxification préalable des amandes d'hévéa. L'hexane a été utilisé comme le solvant d'extraction. Une prise d'essais est introduite dans la cartouche de type Wattman et le solvant (l'hexane) est placé dans le ballon d'extraction. Le ratio broyat/hexane était de 1 :10 (g/v). L'ensemble est connecté à un robinet d'eau ouvert pour alimenter les réfrigérants. Après 8 heures d'extraction, le ballon d'extraction est retiré de l'appareil soxhlets et le solvant (l'hexane) est évaporé avec un évaporateur rotatif. Le rendement de l'extraction est calculé par rapport à la teneur en lipides du matériel végétale.

2-2-2. Détermination du profil en acides gras

La composition chimique en acides gras saturés et insaturés de l'huiles d'hévéa a été déterminés, après son extraction sur le broyat détoxifié en cyanures. L'analyse par HPLC des échantillons a été effectuée à cet effet. Avant l'analyse HPLC, les extraits d'huiles ont été placés dans de l'eau chaude à une température comprise entre 40°C et 60°C jusqu'à ce que l'huile devienne homogène, limpide. Un prélèvement de cet extrait a été réalisé avec ajout d'acétate d'éthyle pour la dilution. Un aliquote de cette dilution a été extrait avec addition de l'étalon interne, suivi d'évaporation à sec sous azote. Dans le résidu sec obtenu, le méthanol est ajouté en vue d'avoir l'échantillon pour l'analyse par HPLC en phase reverse couplée à un détecteur électrochimique, connecté à un intégrateur. La pompe HPLC est connectée à une colonne C18 de type Spherisorb ODS-2 (4,6mm x 2502 mm, Waters, USA). Le solvant d'éluion de la phase mobile était constitué d'un mélange méthanol : eau (50/ 50 V/V) et un débit constant de 1,2 mL/min, la longueur d'onde est 262nm. Un volume de 20 µL de l'extrait à doser est injecté dans la colonne C18, Vial : 25. Les composés étaient mesurés par la différence de potentiel entre l'électrode et la solution contenant les paramètres à analyser. A cet effet, une masse de 10 mg du Témoin est dissout dans une fiole de 20ml avec du méthanol. Pour l'essai, 1g est dissout dans une fiole de 20ml avec du méthanol également.

2-2-3. Méthodes d'enrichissement en oméga-3

L'enrichissement en acides gras essentiels de l'huile de palme raffinée a été fait en la formulant avec l'huile d'hévéa détoxifiée. La technique consiste mélanger deux ou plusieurs corps gras possédant des caractéristiques physiques et chimique différentes dans le but d'améliorer la qualité nutritionnelle, les propriétés fonctionnelles, la stabilité oxydative de l'huile combinée. Les effets de la combinaison de l'huile sont appréciés en évaluant les propriétés physiques, chimiques et nutritionnelles du produit final. La formulation a été fait selon le mélange binaire de l'huile d'hévéa et de l'huile de palme raffinée. Les ratios de mélange pendant la formulation sont de : 100 % oléine de palme (ou huile d'hévéa détoxifiée) ; huile de palme raffinée/huile détoxifiée d'hévéa (v/v), respectivement (9/1) ; (8/2) ; (7/3) ; (6/4) ; (5/5) ; (4/6) ; (3/7) ; (2/8) et (1/9). Les différents échantillons ont fait l'objet de plusieurs tests, tels que l'évaluation de leur différents paramètres chimiques, notamment les indices. Ceux-ci ont fait l'objet de suivi à la température de friture relativement comprise entre 170-190°C pendant 70 minutes. Cette évaluation des différentes huiles combinées a été faite selon les méthodes AFNOR T-60-212, AFNOR T-60-204, AFNOR T-60-220, AFNOR T-60-203 de 1984 respectivement selon [24 - 27]. A cet effet ces différents paramètres chimiques des échantillons formulés par assemblage sont étudiés afin d'apprécier leur stabilité à l'oxydation, l'objectif étant d'étudier l'influence des traitements thermiques sur les comportements, et de savoir à quelles fins ces différentes huiles formulés peuvent être utiles [28]. Toutes les 10 minutes les échantillons sont prélevés afin de déterminer leurs différents indices. De facto le profil en acides gras des différents échantillons sont déterminés. Et leur ration en oméga6/oméga3 sont évalués par comparaison avec les ratios 1/1 ; 5/1 ; 4/1 en

suivant la méthode décrite par [12]. Cette démarche s'inscrit dans le but de déterminer dans quelles proportions (v/v) les huiles peuvent être combinées pour une application dans un domaine quelconque, ce qui exige l'évaluation du profil de leur composition chimique en éléments essentiels.

2-2-4. Méthode d'analyse nutritionnelle des huiles formulées

À l'issue de la phase d'acclimatation tous les rats sont pesés afin de déterminer le poids corporel initial avant l'étude. Au total 42 rats des deux sexes (mâle et femelle) sont répartis en sept (07) lots de six (06) pour évaluer l'effet de l'huile détoxifiée d'hévéa sur les paramètres nutritionnels. Les extraits sont administrés par gavage. Chaque lot a reçu une formulation de la combinaison d'huile de palme raffinée et d'un d'hévéa détoxifiée. Le lot 1 a été pris comme lot témoin. Dans ce lot 1, les rats ont reçu le régime alimentaire supplémenté d'huile de Palme Raffinée 100 % (HPR (100 %)). Dans les autres lots, les rats ont reçu le régime alimentaire supplémenté de l'huile de Palme et d'Hévéa avec une combinaison donc le ratio (huile de palme/huile d'hévéa) était de (7/3 ; 5/5 ; 4/6 et (100 %) d'huile d'hévéa). Les différentes formulations ont été codifiées (HPCHD : Huile de Palme Combinée avec huile d'Hévéa Détoxifiée). Le régime alimentaire était composé de Caséine (13,30), Farine de maïzena (62,00), Huile (7,20), protéine (4 g/100g MS), Cellulose (8,80), Complément minéral (4,80) et de Complément vitaminique (2,10). À la fin, pour ces différents lots constitués l'effet des échantillons d'huiles ont été évalués grâce aux différents régimes alimentaires exposés.

➤ Conduite de l'expérience et mesures affectées

Les mets sont distribués une fois par jour (les matins à l'heure fixée) sous la forme lyophilisée. L'eau est servie à volonté et renouvelée à intervalle de deux jours. Les animaux sont pesés au démarrage de l'expérience puis à intervalle de deux jours. La dernière pesée a eu lieu à la fin de l'expérience. La croissance est déterminée par la différence entre le poids initial et le poids final. La différence entre les quantités d'aliment servis et le reste y compris les pertes, rapportée à la matière sèche permet de déterminer la quantité consommée. Après les 21 jours d'expérience, tous les rats sont mis à jeun pendant douze heures au bout desquelles ils sont pesés et anesthésiés à l'éther. Leur sang est prélevé par ponction de la veine du sinus rétro-orbital à l'aide d'un tube capillaire. Le sang de chaque rat est recueilli dans un tube à hémolyse pour l'exploration des paramètres biochimiques. Le dosage est fait sur le sérum recueilli après centrifugation du sang. Les prélèvements sont directement envoyés au laboratoire pour les analyses. L'analyse des données recueillies s'est faite à l'aide du logiciel STATISTICA 6.0. La comparaison des moyennes a été faite grâce au test de NEWMANN-KEULS avec un seuil de signification fixé à 5 %.

➤ Expression des paramètres d'études de la valeur nutritionnelle des mets servis aux rats

- **Matière sèche totale ingérée (MSTI)** : La MSTI en (g/j) est la somme des quantités de matière sèche d'aliment ingérée pendant la période de l'expérimentation par le nombre de jour.
- **Lipides totaux ingérés (LTI)** : La LTI en (g/j) est la somme des quantités de la matière sèche totale ingérée * le pourcentage des lipides dans le régime.

Le Gain de poids en gramme par jour (GP) des organes est donnée par **l'Équation 1** :

$$(GP) = \frac{\text{Poids final} - \text{poids initial}}{\text{Nombre de jour}} \quad (1)$$

Le Coefficient d'efficacité alimentaire (CEA) est obtenu à partir de **l'Équation 2** :

$$(CEA) = \frac{\text{Gain de poids en } \left(\frac{g}{j}\right)}{\text{Matière sèche totale ingérée en } \left(\frac{g}{j}\right)} \quad (2)$$

Le Coefficient d'efficacité lipidique (CEL) a été déterminé à partir de ***l'Équation 3***:

$$(CEL) = \frac{\text{Gain de poids en } \left(\frac{g}{j}\right)_{CEP}}{\text{Lipides totales ingérées du mets } \left(\frac{g}{j}\right)} \quad (3)$$

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats de l'évaluation des propriétés biologiques de l'huile d'hévéa

L'étude toxicologique de l'huile d'hévéa extraite sur des amandes détoxifiées a permis de savoir l'effet de sa consommation à court et à long terme. L'administration unique par voie orale de l'huile d'hévéa à la dose de 2000 mg/kg de PC et à 5000 mg/kg de PC n'a révélé aucun signe clinique de toxicité, durant les 24 heures d'observation et même pendant les deux semaines d'observation. Il a été observé des variations non significatives ($p\text{-value} > 0,05$) entre les gains de poids des rats traités avec les différentes huiles et les rats témoins. Les différents échantillons évalués sont respectivement HHD (huile d'hévéa détoxifiée), HPR (huile de palme raffinée) et HPCHD (7/3) (formulation d'huile de palme raffinée avec l'huile d'hévéa détoxifiée dont le ratio, (huile de palme/huile d'hévéa) est 7/3). A niveau de la toxicité subaiguë, l'administration de l'huile d'hévéa produite et de l'huile HPCHD (7/3), n'a induit aucune variation significative des concentrations d'urée et de créatine des lots traités par rapport aux témoins [29]. En somme, l'analyse des paramètres biochimiques n'a révélé la présence de substances toxiques qui contribueraient à bouleverser l'intégrité tissulaire hépatique [30]. L'évaluation du poids relatif des organes les plus ciblés tels que le foie, les reins, le cœur et la rate n'a révélé aucune différence significative ($p > 0.05$), poids relatif entre le groupe témoin et les groupes traités par les différentes huiles. Par conséquent l'huile d'hévéa ne constituerait pas un danger pour la fonction rénal [30, 31]. Par ailleurs l'activité biologique et les effets nutritionnels sont conceptuellement liés par l'étude des comportements des substances et leurs interactions avec notre corps en cas de consommation, même s'ils se distinguent dans leur signification et leurs implications. Ces deux concepts sont concordants à l'échelle systémique [32]. Par conséquent l'impact des échantillons d'huiles de palme raffinée enrichie en oméga-3 à base d'huile détoxifiée d'hévéa peut être évalué au niveau nutritionnel sur le métabolisme ou le fonctionnement des organes vitaux, tels que le rein, le foie, le cœur, etc [32]. Car de la manière dont une substance agit biologiquement peut engendrer des conséquences sur la santé et la nutrition ce qui englobe l'état sain ou malade de ces organes cités.

3-2. Résultats de l'enrichissement en oméga-3 de l'huile de palme raffinée

Le profil en acide gras (***Figure 3***), des échantillons révèle que l'huile d'hévéa détoxifiée (HHD) présente un ratio ($\omega 6/\omega 3$) de 4,98 soit (5/1). Celui de l'huile de palme raffinée est 30,67, soit 9,2% d'oméga-6 pour 0,3 % d'acides gras oméga-3, alors que les recommandations nutritionnelles exigent que ce ratio oméga6/oméga3 soit (4/1) ou (1/1) ou bien proche de (5/1). C'est à dire cinq (05) acides linoléiques pour 1 acide linoléique dans une bonne alimentation équilibrée en acides gras essentiels [12, 13]. Les formulations HPCHD (7/3), HPCHD (5/5), HPCHD (4/6) présentent respectivement les ratios ($\omega 6/\omega 3$) de (5/1), ($4,97 \approx 5/1$) et ($0,97 \approx 1/1$), là où celui de l'huile de palme raffinée vaut ($30,67 \approx 31/1$). Cet écart énorme entre les acides gras oméga-6 et oméga-3 constituerait un risque cardiovasculaire dans le domaine alimentaire [33]. Ce crible de ratio ($\omega 6/\omega 3$) qualifierait l'huile d'hévéa en alimentation [33]. Et révèle que La combinaison composée de (50% en huile de palme avec 50% huile d'hévéa détoxifiée) est la meilleure des formulations, car elle présente aussi une proportion élevée d'acides gras saturés. Ce qui est un atout pour lui assurer une bonne résistivité à

l'oxydation [34]. En générale les huiles riches en acides gras saturés sont utilisées pour la cuisson des aliments [35]. Les autres ayant une teneur moins grande en acides saturés sont beaucoup sollicitées pour être utilisées à froids dans les pays développés. Dans le sens de l'enrichissement de l'oléine de palme, la meilleure formulation reste HPCHD (7/3) car la proportion d'huile de palme raffinée, devra logiquement être la plus élevée ou en partie égale à celle de l'huile d'hévéa.

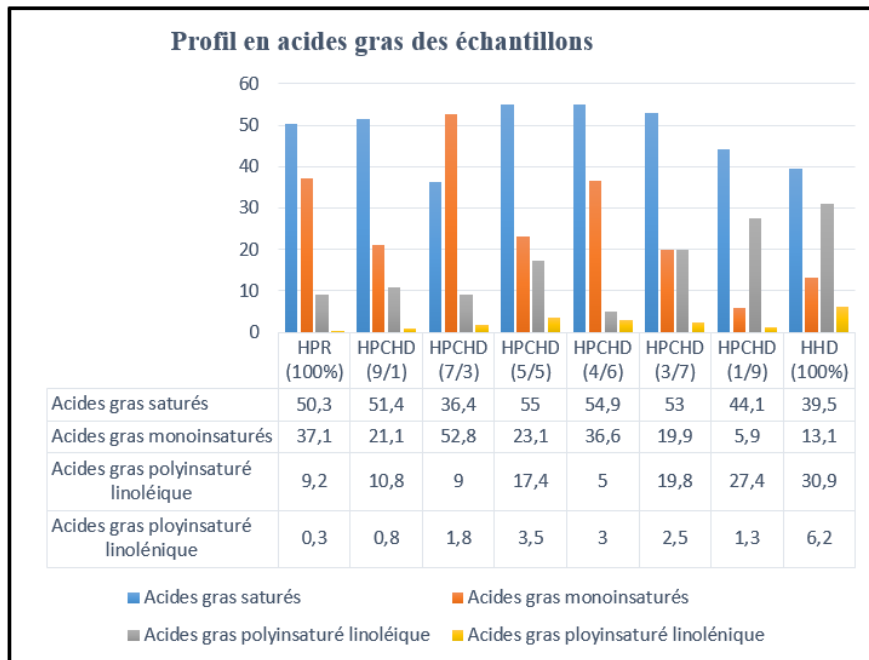


Figure 3 : Le profil en acides gras des échantillons d'huiles formulées lors de l'enrichissement en oméga-3

3-3. Évaluation nutritionnelle des huiles enrichies en oméga-3

Dans ce travail, les paramètres nutritionnels tels que : la matière sèche ingérée (MSI), les Lipides totaux ingérés (LTI), le gain de poids, le coefficient d'efficacité alimentaire (CEA) et le Coefficient d'efficacité lipidique (CEL), présentés par le **Tableau 1**, ont été déterminés pour évaluer les valeurs nutritionnelles des échantillons. La matière sèche ingérée (M.S.I.) s'élève à $5,19 \pm 0,02$ g/jour (i) pour le régime témoin 100 % huile de palme raffinée (HPR (100%)). Elle est inférieure aux valeurs obtenues avec les régimes supplémentés d'huile d'hévéa comprises entre $5,55 \pm 0,01$ et $6,69 \pm 0,58$ g/j. La M.S.I. des régimes supplémentés d'huile d'hévéa à 60 % et 100 % est significativement supérieure à celle de régimes supplémentés d'huile de palme à 100 %. Cependant ces régimes correspondant aux formules HPCHD (4/6) et HDD (100 %), ont des ratios en ($\omega 6/\omega 3$) sensiblement égale à (1/1) pour celui supplémenté d'huile d'hévéa 60 % et 5/1 pour l'autre dont le supplément est de 100 % d'huile d'hévéa, alors que le régime témoin (huile de palme 100 %) a une ration $\omega 6/\omega 3$ d'environ (13,5/1) [12]. Ce qui voudrait dire que l'huile d'hévéa attire plus d'appétit que l'huile de palme. Ce qui proviendrait de sa qualité à dégager, une saveur d'arôme qui lui est propre, surtout quand elle n'est pas toxique. Les lipides totaux ingérés (LTI), s'élèvent à $0,62 \pm 0,02$ g/jour (i) pour le régime témoin HPR (100 %). La LTI des régimes supplémentés d'huile d'hévéa détoxifiée sont comprises entre $0,55 \pm 0,02$ et $0,80 \pm 0,04$ g/j. Il a été observé une différence significative de la LTI des rats soumis à des régimes supplémentés d'huile d'hévéa à 60 % et 100 % par rapport à celle des témoins ayant reçu HPR (100 %). Un gain de poids (GP) des sujets a été constaté. Le G.P des rats nourris au régime supplémenté d'huile de palme raffinée (témoin) s'élève à $7,031 \pm 0,09$ g. Les G.P. des régimes supplémentés d'huile d'hévéa détoxifiée se situent entre $8,059 \pm 0,11$ g et $10,64 \pm 0,2$ g. Les rats ayant les croissances les plus fortes sont ceux soumis

aux régimes supplémentés d'huile d'hévéa aux pourcentages de 50 %, 60 % et 100 % d'huile d'hévéa détoxifiée. Pour le coefficient d'efficacité alimentaire (CEA), l'analyse des données révèle un C.E.A de $(1,354 \pm 0,02)$ pour le régime témoin. Ce qui est inférieur à ceux des régimes supplémentés d'huile d'hévéa $(1,45 \pm 0,01- 1,590 \pm 0,05)$. Pour les régimes tests, le régime le plus efficace est le régime supplémenté d'huile d'hévéa au pourcentage de 100 % $(1,590 \pm 0,05)$. Le CEL régime témoin (huile palme) s'élève à $11,289 \pm 2$ par rapport à ceux des régimes tests et ceux des régimes supplémentés d'huile d'hévéa sont supérieurs à celui du régime témoin $(12,101 \pm 0,01-13,25 \pm 0,04)$. Il a été observé une différence significative de CEL du régime supplémenté d'huile d'hévéa au pourcentage de 100 % $(13,25 \pm 0,04)$. Le **Tableau 2**, présente l'effet des régimes alimentaires sur les organes évalués. Le **Tableau 3** indique les résultats des différents paramètres lipidiques. Leur analyse révèle une augmentation significative ($p > 0,05$) pour le cholestérol HDL, de cholestérol total et de triglycérides chez les rats traités avec les régimes des lots HPCHD (4/6) correspondant à la formulation (40 % Huile de palme et 60 % Huile d'hévéa détoxifiée) et HHD (100 %) composée uniquement d'huile d'hévéa détoxifiée par rapport au lot témoin HPR (100 %). Par contre la valeur de cholestérol LDL des lots HPCHD (4/6) et HHD (100 %) est significativement basse que celle des témoins ($p < 0,05$). Pour les lots HPCHD (7/3) et HPCHD (5/5), aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les résultats des moyennes des lots de rats nourris aux mélanges d'huiles hévéa et huile de palme n'a été observée. L'analyse des différents résultats montre que les rats nourris avec le régime supplémenté à plus de 50 % d'huile d'hévéa présentent un poids corporel plus élevé que ceux nourris avec les régimes supplémentés à l'huile de palme et ceux supplémenté moins de 50% d'huile d'hévéa. Cette croissance pourrait indiquer un développement régulier du métabolisme cellulaire avec une synthèse efficace de la matière propre des rats [36]. Mais peut être attribué aux facteurs caractéristiques tels quel l'arôme, la saveur et la composition chimique de l'huile d'hévéa. L'analyse des paramètres lipidiques révèle que l'huile d'hévéa provoque une augmentation des HDL (cholestérol transporté par des lipoprotéines haute densité, couramment appelé bon cholestérol par abus de langage) ne contient pas de cholestérol (CH), ce qui est un atout pour cette huile hévéa [37]. En fait, une augmentation du taux de cholestérol HDL aurait pour conséquence une induction de la baisse du risque de formation de caillots sanguins dans les artères coronaires responsables de l'infarctus cardiaque [38]. Ce qui voudrait dire que la consommation d'huile d'hévéa serait plus bénéfique pour la santé comparativement à l'huile raffinée de palme. L'augmentation du taux de cholestérol HDL est donc un facteur de protection du muscle cardiaque et a un effet bénéfique contre les complications cardiovasculaires notamment l'athérosclérose [39]. Cette qualité de l'huile d'hévéa lui confèrerait dans ce cas, une amabilité par les usagers, en tant qu'une huile de table, surtout dans le contexte avec la pénurie d'huile après la crise pandémique de la COVID-19, et aussi avec les différentes crises que connait le monde. Il ressort que l'huile d'hévéa détoxifiée n'induit pas le risque d'accumulation du cholestérol LDL dans les tissus, donc serait une alternative pour résoudre le problème dont l'huile de palme est le sujet du plusieurs critique, surtout quant à sa composition en élevée en AGS qui entraîne l'augmentation du cholestérol LDL [40, 41].

Tableau 1 : Paramètres nutritionnels de l'huile d'hévéa détoxifiée

Paramètre	HPR (100 %)	HPCHD (7/3)	HPCHD (5/5)	HPCHD (4/6)	HHD (100 %)
MST	$5,190 \pm 0,02$	$5,549 \pm 01$	$6,158 \pm 0,06$	$6,593 \pm 0,09^*$	$6,689 \pm 0,08^*$
LTI	$0,622 \pm 0,02$	$0,665 \pm 0,02$	$0,739 \pm 0,1$	$0,791 \pm 0,12^*$	$0,802 \pm 0,04^*$
GP	$7,031 \pm 0,09$	$8,059 \pm 0,11$	$9,350 \pm 0,2^*$	$10,038 \pm 0,19^{**}$	$10,64 \pm 0,2^{**}$
CEA	$1,354 \pm 0,02$	$1,45 \pm 0,01$	$1,518 \pm 0,02$	$1,522 \pm 0,02$	$1,590 \pm 0,05$
CEL	$11,289 \pm 2$	$12,101 \pm 0,01$	$12,651 \pm 0,05$	$12,685 \pm 0,9$	$13,25 \pm 0,04^*$

Les valeurs moyennes sont les moyennes des paramètres nutritionnels de l'huile détoxifiée d'hévéa, n = 5 ;

** : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 : significative par rapport au lot témoin (100%huile de palme).*

Tableau 2 : Effet des régimes alimentaires sur le foie, le cœur et les reins

LOTS	CŒUR	POUMON	FOIE	RATE	PANCREAS	REIN	GRAISSE
HPR (100 %)	0,36 ± 0,05	0,90 ± 0,06	5,42 ± 0,7	0,38 ± 0,007	0,26 ± 0,08	0,70 ± 0,19	0,91 ± 0,05
HPCHD (7/3)	0,36 ± 0,1	0,89 ± 0,20	5,53 ± 0,9	0,40 ± 0,1	0,2 ± 0,04	0,70 ± 0,13	0,90 ± 0,07
HPCHD (5/5)	0,36 ± 0,0	0,87 ± 0,02	5,31 ± 0,6	0,38 ± 0,8	0,25 ± 0,18	0,69 ± 0,04	0,94 ± 0,00
HPCHD (4/6)	0,37 ± 0,19	0,86 ± 0,16	5,53 ± 0,4	0,36 ± 0,6	0,25 ± 0,024	0,70 ± 0,1	0,96 ± 0,06
HHD (100 %)	0,36 ± 0,08	0,89 ± 0,029	5,42 ± 0,5	0,36 ± 0,2	0,29 ± 0,07	0,71 ± 0,15	1,21 ± 0,09*

Les valeurs moyennes sont les moyennes de poids relatif des organes, $n = 5$; *: $p < 0, 05$: significative par rapport au lot; témoin (100 % huile de palme).

Tableau 3 : Paramètres lipidiques des régimes

PARAMETRES	HPR (100%)	HPCHD (7/3)	HPCHD (5/5)	HPCHD (4/6)	HHD (100%)
CH	0,35 ± 0,06	0,40 ± 0,02	0,48 ± 0,0	0,59 ± 0,02*	0,57 ± 0,06*
TG	0,52 ± 0,01	0,58 ± 0,02	0,69 ± 0,01	0,73 ± 0,06*	0,69 ± 0,05*
HDL	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,2 ± 0,03	0,26 ± 0,03*	0,30 ± 0,02*
LDL	0,07 ± 0,01	0,097 ± 0,04	0,10 ± 0,02	0,13 ± 0,01*	0,16 ± 0,3*

Les valeurs moyennes sont les moyennes des paramètres lipidiques de l'huile détoxifiée d'hévéa, $n = 5$; *: $p < 0, 05$: significative; par rapport au lot témoin (100 % huile de palme).

3-4. Évaluation des caractéristiques chimiques des huiles enrichies en oméga-3

Cette étude de stabilité thermique des échantillons enrichies en oméga-3, à la température de friture (180°C) permet de savoir leurs domaines d'applications. Les **Figures 4, 5, 6 et 7** présentent les évolutions des indices d'acides, des indices d'iodes, des indices de peroxydes et des indices de réfractions. L'analyse révèle une augmentation de l'indice de réfraction avec les proportions en acides gras essentiels (**Figure 4**). Cet indice évolue avec la même tendance pour toutes huiles combinées tous comme celui de l'oléine de palme. Pendant le chauffage à 180°C, l'indice de HPR (100 %) augmente de 1,4531 à 1,4562. Celui de HPCHD (4/6) augmente de 1,4593 à 1,4626. Pour la formule HPCHD (5/5), l'augmentation est de 1,4603 à 1,4636. Pour HHD (100 %), l'augmentation va de 1,4635 à 1,4661. Et l'indice de HPCHD (7/3) a évolué de 1,4569 à 1,4603. Les indices des différentes combinaisons sont relativement proches de celui de l'huile de palme raffinées. De plus l'évolution des courbes est presque stationnaire est constatée, surtout après 30min de chauffage, qui traduit leur résistivité à l'effet de dégradation. Cette variation non significative, ou encore modérée des valeurs de l'indice de réfraction montre que le traitement thermique affecte très peu les formules HPCHD (5/5), HPCHD (7/3) et HPCHD (4/6). Ce qui voudrait dire que, ces huiles combinées qui sont enrichies en oméga-3, tous comme l'huile de palme raffinée, présentent les mêmes qualités culinaires (friture). Car l'indice de réfraction est un indice qui permet de tester la pureté d'une huile. Cela émane du fait que l'altération des composés de l'huile est traduite par la variation de cet indice. Cependant, la résistance de l'huile de palme raffinée au traitement thermique à 180°C est révélé, en dépit de sa faible teneur en oméga-3. La **Figure 5** présente l'évolution de l'indice d'acide des échantillons. L'analyse de la **Figure 5**, qui montre une augmentation est graduelle (faible) et quasiment presque d'une à deux unités évolution des indices d'acides de toutes ces huiles, sauf pour la formule HPCHD (4/6), qui augmente plus rapidement que les autres. Cette croissance faible traduit, la présence en très faible quantité des AGL dans ces différentes huiles, qui pourrait provenir de l'hydrolyse des liaisons des triglycériques grâce au chauffage [41]. Au regard des résultats, les huiles HPCHD (7/3) et HPCHD (5/5)

confirment leur stabilité tout comme l'huile de palme dans les conditions de friture. Au niveau de l'indice de peroxyde (**Figure 6**) les courbes présentent différentes allures, en générale dominées par une décroissance après 30min de chauffage à 180°C et une phase croissante pour tous les échantillons, qui correspondrait à la phase d'initiation (apparition des radicaux libres). La phase de décroissant traduirait la phase d'oxydation (peroxydation et réaction radicalaire dû aux radicaux libres) [41]. Ce qui impliquerait la présence des AGI dans les huiles. L'analyse des montres que les échantillons HPCHD (7/3) et HHD (100 %) sont les moins résistantes à l'oxydation par rapport aux huiles HPCHD (5/5) et HPCHD (4/6) qui résistent plus à l'oxydation parmi les huiles enrichies en oméga-3 [42]. Ces résultats permettent distinguer ces deux types d'huiles enrichies en oméga-3, notamment les huiles à oxydation rapides HPCHD (7/3), HHD (100 %) et les huiles à oxydation retardée (HPCHD (5/5) et HPCHD (4/6)). Ce qui voudrait dire que les huiles HPCHD (7/3) et HHD (100 %) pourront être utilisées comme des huiles d'assaisonnement au même titre que l'huile d'olive, et les huiles HPCHD (5/5) et HPCHD (4/6) comme des huiles de friture au même titre que l'huile de palme raffinée HPR (100 %) [43, 44]. L'évaluation des indices d'iode (**Figure 6**) montre des allures semblables (même tendance). Les allures présentent toutes une décroissance de 0 à la 70^{ème} minutes, correspondant à une diminution progressive du nombre d'insaturation des différentes huiles, qui est relative à la diminution des acides gras insaturés de l'huile [45]. Cette analyse fait également ressortir la variation de l'indice de peroxyde engendrée par la présence des AGI. Et soutient que, de toute ces huiles enrichies en oméga-3, l'huile HPCHD (5/5) présente une bonne stabilité par rapport aux autres [46]. En effet, après 70 min de chauffage à 180°C, une baisse de 15 unités a été observée à son égard tandis que, l'oléine de palme, l'huile brute d'hévéa, l'huile HPCHD (7/3) et l'huile HPCHD (4/6) enregistrent respectivement des baisses de 17 ; 22 ; 23 et 16 unités. Par conséquent ces huiles pourraient se décliner en différentes classes suivantes : (i) Huile HPCHD (5/5) ; (ii) HPCHD (4/6) ; (iii) Huile de palme raffiné ; (iv) Huile brute d'hévéa et (v) HPCHD (7/3) [45, 46, 47]. Cependant l'huile HPCHD (7/3) présente le plus grand potentiel en AGI.

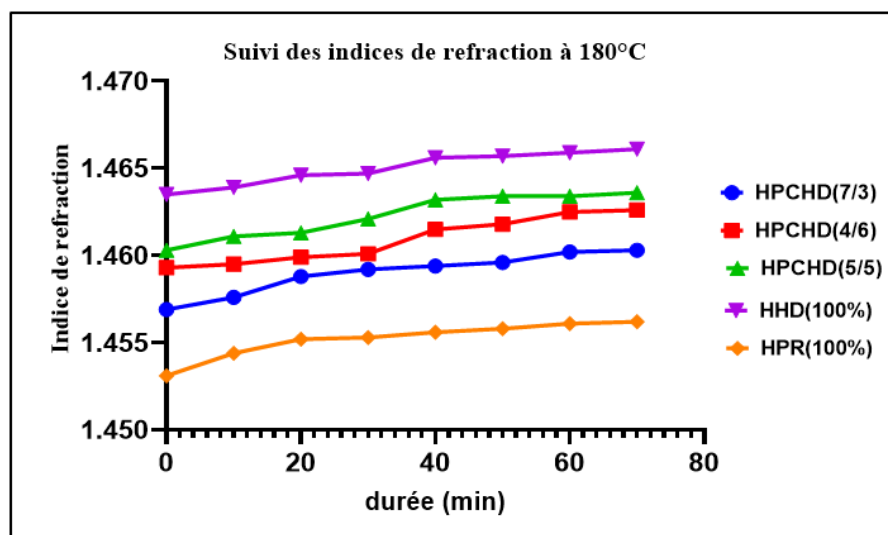


Figure 4 : Évolution de l'indice de réfraction des échantillons d'huiles formulées à la température de friture (180°C)

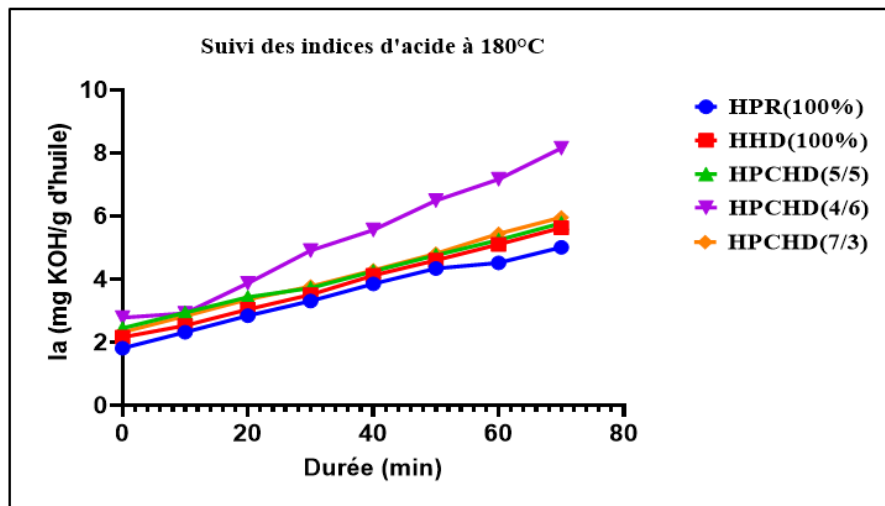


Figure 5 : Évolution de l'indice d'acide des échantillons d'huiles formulées à la température de friture (180°C)

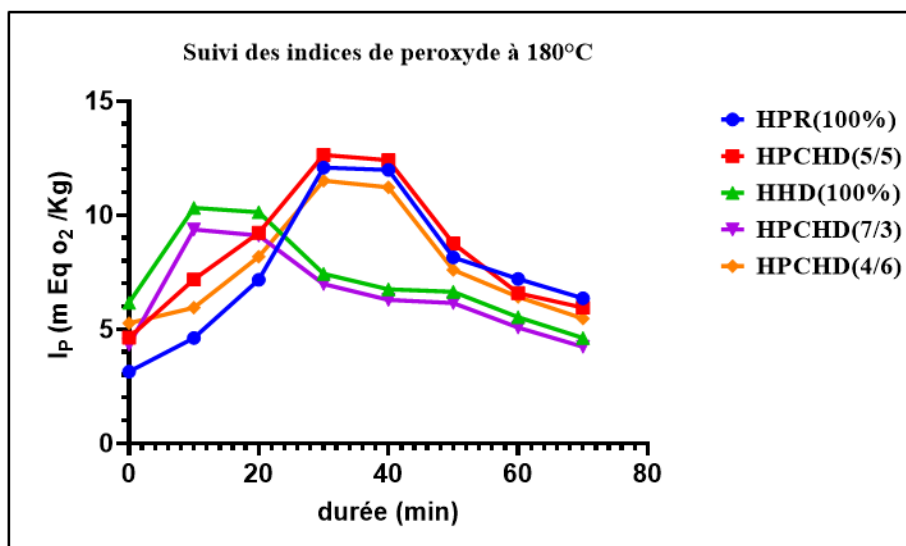


Figure 6 : Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huiles formulées à la température de friture (180°C)

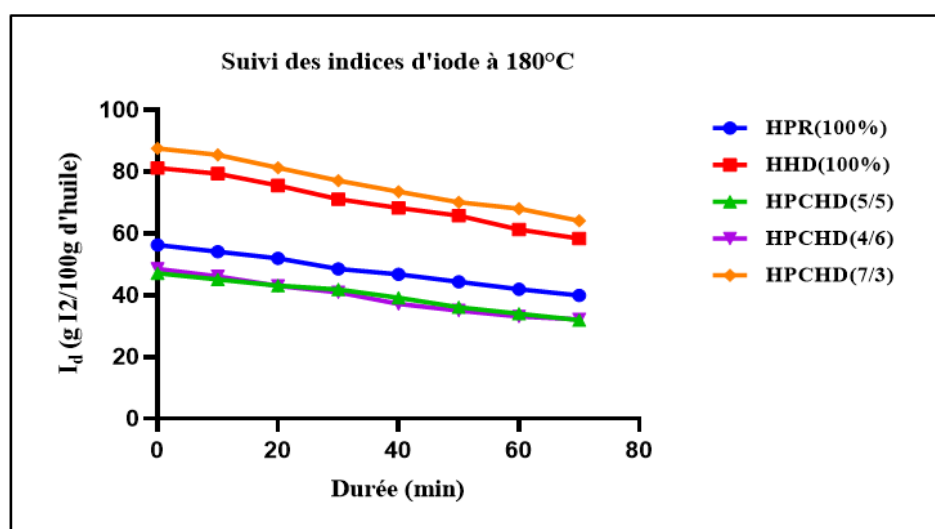


Figure 7 : Évolution de l'indice d'iode des échantillons d'huiles formulées à la température de friture (180°C)

4. Conclusion

La transformation de la graine d'hévéa constitue un levier essentiel de développement, surtout par son effet sur la transformation circulaire de l'économie du secteur de l'hévéa. Les propriétés physiques, chimiques et biologique de l'huile d'hévéa détoxifiée révèlent que les graines d'hévéa peuvent servir par leur huile dans l'alimentation et dans le cosmétique. La formulation de l'huile de palme raffinée avec l'huile d'hévéa détoxifiée a donné les huiles enrichies en oméga-3 telles que l'huile HPCHD (5/5), HPCHD (7/3) et HPCHD (4/6), qui présentent des caractéristiques intéressantes pour faire faces aux risques cardiovasculaires qui émaneraient de l'huile de palme raffinée. Cette application de l'huile d'hévéa motivée, par sa teneur en acides gras essentiels, les oméga-3 (6,2 %) et les oméga-6 (30,9 %), est soutenue par les avantages sur la santé cardiovasculaire, la réduction de l'inflammation, le développement cérébral et autres, par ces acides gras polyinsaturés. A l'issue de ces travaux, nous prévoyons faire des tests organoleptiques et d'innocuités de ces huiles proposées et de l'huile détoxifiée d'hévéa.

Remerciement

Les auteurs remercient vivement les responsables du laboratoire LAPISEN de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny à Yamoussoukro, en Côte d'Ivoire, et remercient tout particulièrement M. Obley, le technicien de laboratoire, pour son engagement et pour sa bonne collaboration. Les auteurs remercient également le Dr King du Laboratoire de Pharmacie (Sipharm Abidjan), Côte d'Ivoire, pour l'analyse HPLC.

Références

- [1] - A. REBENA, S. RAFFLEGEAU, G. KANSCI, D. NANDA, C. GENOT, "Enquêtes sur la consommation, la perception et les utilisations de l'huile de palme rouge chez les ménagères et restauratrices de Yaoundé", *Cah. Agric*, Cameroun, (28) (2019) 1 - 27. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019027>
- [2] - J.-M. LECERF, L'huile de palme. *Médecine Mal. Métaboliques*, 11 (2017) 347 - 352, [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(17\)30079-2](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(17)30079-2)
- [3] - C. BESSOU, B. DUBOS, Filière Palmier à Huile en Côte d'Ivoire Analyse fonctionnelle et diagnostic agronomique. Rapport d'étude Cirad n° 2912 pour le FIRCA et L'AIPH, 42 (2020) 1 - 42
- [4] - B. A. YOBOUE, K. DIALLO, I. DIOMANDE, G. G. TIAHOU, N. E. ASSIDJO, "Evaluation of the Nutritional Quality of Red and Refined Palm Oils Marketed in Yamoussoukro", *Food Nutr. Sci*, Cote d'Ivoire, 13 (2022) 97 - 107, <https://doi.org/10.4236/fns.2022.132010>
- [5] - I. BONILHA, E. HAJDUCH, B. LUCHIARI, W. NADRUZ, W. LE GOFF, A. C. SPOSITO, "The Reciprocal Relationship between LDL Metabolism and Type 2 Diabetes Mellitus", *Metabolites*, 11 (2021) 807 - 813, <https://doi.org/10.3390/metabo11120807>
- [6] - O. ZIEGLER, "Variabilité de la triglycéridémie : impact métabolique. De la dysfonction du tissu adipeux à l'adiposité viscérale et à la stéatopathie métabolique, les chemins de l'insulino-résistance", *Médecine Mal. Métaboliques*, 16 (2022) 54 - 68, <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2021.12.007>
- [7] - J. ZHU, P.-C. XUN, M. KOLENICK, K.-F. YANG, A. D. FLY, K. KAHE, "Do B Vitamins Enhance the Effect of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Cardiovascular Diseases? A Systematic Review of Clinical Trials", *Nutrients*, 14 (2022) 1608 - 1612, <https://doi.org/10.3390/nu14081608>

- [8] - ALAIN RIVAL, Huile de palme - Défis renouvelés de la durabilité. Agroalimentaire, Techniques de l'ingénieur, Vol. 1, (2020) 1 - 17, <https://doi.org/10.51257/a-v2-f6075>
- [9] - I. LEVENTAL, E. LYMAN, "Regulation of membrane protein structure and function by their lipid nano-environment". *Nat. Rev. Mol. Cell Biol*, 24 (2023) 107 - 122, <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00524-4>
- [10] - J.-M. LECERF, "Acides gras saturés et risque cardio-métabolique", *Médecine Mal. Métaboliques*, 10 (2016) 421 - 429, [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(16\)30141-9](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(16)30141-9)
- [11] - A. P. SIMOPOULOS, "An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity", *Nutrients*, 8 (2016) 112 - 128. <https://doi.org/10.3390/nu8030128>
- [12] - S. D'ANGELO, M. MOTTI, R. MECCARIELLO, " ω -3 and ω -6 Polyunsaturated Fatty Acids, Obesity and Cancer", *Nutrients*, 12, 2751 (2020) 1 - 22, <https://doi.org/10.3390/nu12092751>
- [13] - B. ELSHANI, V. KOTORI, A. DACI, "Role of omega-3 polyunsaturated fatty acids in gestational diabetes, maternal and fetal insights: current use and future directions", *Int. Soc. Perinat. Obstet.*, 34 (2021) 124 - 136, <https://doi.org/10.1080/14767058.2019.1593361>
- [14] - K. WASKEIWICZ, OTH OTH, N. KOCHAN, L. EVRARD, "Facteur de risqué généralement négligés en chirurgie buccale et en implantologie : l'hypercholestérolémie LDL et le taux insuffisant de vitamin D", *Révérend Med Brux*, 39 (2) (2018) 70 - 77
- [15] - Atlasocio.com, Classement des États du monde par production de caoutchouc naturel, *Rev. Atlasocio.com*, (2022), (5 mai 2023)
- [16] - G. F. KOUASSI, G. A. KONÉ, M. GOOD, N. E. ASSIDJO, M. KOUBA, "Effect of Hevea brasiliensis seed meal or Euphorbia heterophylla seed supplemented diets on performance, physicochemical and sensory properties of eggs, and egg yolk fatty acid profile in guinea fowl (*Numida meleagris*)", *Poult. Sci.*, 99 (2020) 342 - 349, <https://doi.org/10.3382/ps/pez500>
- [17] - G. A. KONÉ, M. GOOD, M. KOUBA, "Performance of guinea fowl fed hevea seed meal or cashew nut meal as a partial substitute for soya bean meal", *Animal*, 14 (2020) 206 - 214. <https://doi.org/10.1017/S175173111900185X>
- [18] - GNINGNINI ALAIN KONE, "Effet de l'incorporation de tourteaux de graines d'hévéa (*Hevea brasiliensis*) ou de tourteaux d'anacarde (*Anacardium occidentale*) sur les performances de pintades (*Numida meleagris*) en Côte d'Ivoire", Thèse unique N° : 2019-14, Université Bretagne Loire, *Agrocampus Ouest*, (2019) 2 - 235
- [19] - N. D. V. KOUAKOU, C. E. M. ANGBO-KOUAKOU, G. A. KONE, K. B. KOUAME, F. D. P. YEBOUE, M. KOUBA, "Valorisation des tourteaux d'amandes d'hévéa et d'anacarde chez le porc en postsevrage et en croissance", *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop*, 71 (2022) 81 - 85, <https://doi.org/10.19182/remvt.31256>
- [20] - K. SONE, N. WATANABE, M. TAKASE, T. HOSAKA, K. GYOKUSEN, "Carbon Sequestration, Tree Biomass Growth and Rubber Yield of PB260 Clone of Rubber Tree (*Hevea brasiliensis*) in North Sumatra", *J. Rubber Res*, 17 (2014) 115 - 127
- [21] - LIEBIG-DENIGÈS, "Liebig—Denigès Method of Cyanide Determination: A Comparative Study of Two Approaches", *Journal de chimie des solutions*, 41 (1971) 1 - 7, <https://doi.org/DOI : 10.1007/s10953-012-9864-x>
- [22] - CHOUALI NADIA, "Intoxication par les plantes cyanogènes", Thèse N° d'ordre : 207, Université de Monastir, Tunisie, (2013) 117 p.
- [23] - S. E. TOKPOHOZIN, S. FISCHER, B. SACHER, T. BECKER, " β -d-Glucosidase as "key enzyme" for sorghum cyanogenic glucoside (dhurrin) removal and beer bioflavouring". *Food Chem. Toxicol*, 97 (2016) 217 - 223, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.09.015>

- [24] - AFNOR NF T60-214, 1984, Normes AFNOR NF T60 pour la détermination de la densité (ou masse volumique) des huiles alimentaires, et essentiels, huiles d'origine végétale, (25 Avril 2023)
- [25] - AFNOR NF T60-212, 1984, Normes AFNOR NT 60 : Mesures d'indice de réfraction des huiles d'origine végétales, huiles essentiels et alimentaires, (25 Avril 2023)
- [26] - AFNOR NF T60-203, 1984, Normes AFNOR NT60 : secteur agroalimentaire, caractérisation des huiles végétales, détermination de l'indice d'acide, (25 Avril 2023)
- [27] - AFNOR NF T60-220, 1984, Normes AFNOR NT 60 : Méthodes de l'indice d'acide et de l'acidité des huiles alimentaires d'origine végétale ou animale, (25 Avril 2023)
- [28] - O. ROMAN, "Mesure et prédiction de la réactivité des lipides au cours du chauffage d'huiles végétales à haute température, HAL Open Sci, *AgroParisTech*, 173 (2013) 168 - 173
- [29] - L. R. P. DÉBORA, S. S. C. MARIA, M. F. F. SONIA, O. R. B. MARILENE et al., " Acute and sub-chronic pre-clinical toxicological study of *Averrhoa carambola* L. (Oxalidaceae)," *African Journal of Biotechnology*, 12 (40) (2013) 5917 - 5925
- [30] - F. FALLONE, R. DEUDON, C. MULLER, C. VAYSSE, "Breast cancer, obesity and adipose tissue: a high-risk combination", *Med. Sci. MS*, 34 (2018) 1079 - 1086, <https://doi.org/10.1051/medsci/2018298>
- [31] - S. ZHAO, L. HE, M. ZHANG, X. LIU, G. JIN, "Effect of salt promote the muscle triglyceride hydrolysis during dry-salting by inducing the phosphorylation of adipose tissue triglyceride lipase (ATGL) and hormone-sensitive lipase (HSL) and lipid droplets splitting", *Food Chem*, 327 (2020) 127061
- [32] - A. SEPTEMBRE-MALATERRE, F. LE SAGE., S. HATIA, A. CATAN et al., "Curcuma longa polyphenols improve insulin-mediated lipid accumulation and attenuate proinflammatory response of 3T3-L1 adipose cells during oxidative stress through regulation of key adipokines and antioxidant enzymes", *BioFactors Oxf. Engl.*, 42 (2016) 418 - 430, <https://doi.org/10.1002/biof.1288>
- [33] - J.-L. SCHLIENGER, L. MONNIER, " Acides gras oméga 3 : une trop belle histoire encore en quête de preuves", *Médecine Mal. Métaboliques*, 14 (2020) 567 - 575, <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2020.04.006>
- [34] - C. AHOUANNOU, F. TCHOBO, C. TOUKOUROU, F. KOUGBADI, M. SOUMANOU, "Influence des opérations thermiques impliquées dans les procédés traditionnels d'extraction du beurre de karité au Bénin", *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 7 (2014) 2151, <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.31>
- [35] - J.-L. SCHLIENGER, L. MONNIER, " Acides gras oméga 3 : une trop belle histoire encore en quête de preuves", *Médecine Mal. Métaboliques*, 14 (2020) 567 - 575, <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2020.04.006>
- [36] - N. BLONDEAU, S. M. SCHNEIDER, "Les acides gras essentiels de la famille des oméga-3 et la santé de la mère et de l'enfant", *Nutr. Clin. Métabolisme*, 20 (2006) 68 - 72, <https://doi.org/10.1016/j.nupar.2006.04.008>
- [37] - - EM. ABRAMS, K. J. HILDEBRAND, E. S. CHAN, "L'évaluation et la prise en charge des allergies alimentaires non induites par les IgE", *Pédiatre Santé de l'enfant*, 26 (3) (2021) 173 - 181, DOI :10.1093/pch/pxaa132
- [38] - JEAN BASTIN, FATIMA DJOUADI, "Dysfonctionnement de la β -oxydation des acides gras mitochondriaux dans les maladies rares et courantes", *Med Sci (Paris)*, 35 (10) (2019) 779 - 786, doi :10.1051/med sci/2019156
- [39] - E. GIGANTE, V. PARADIS, M. RONOT, F. CAUCHY, O. SOUBRANE, N. GANNE-CARRIÉ, J.-C. NAULT, "New insights into the pathophysiology and clinical care of rare primary liver cancers", *JHEP Rep. Innov. Hepatol*, 3 (2021) 100174, <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2020.100174>

- [40] - L. MONNIER, C. COLETTE, D. ROCHD, M. BELFATMI, "Les graisses alimentaires : amicales ou inimicales ?", *Médecine Mal. Métaboliques*, 14 (2020) 114 - 125, <https://doi.org/10.1016/j.mmm.2019.12.020>
- [41] - X. ZHAO, I. A. HENDRIKS, S. LE GRAS, T. YE et al., "Waves of sumoylation support transcription dynamics during adipocyte differentiation", *Nucleic Acids Rev*, 50 (3) (2022) 1351 - 1369, doi :10.1093/nar/gkac027
- [42] - Codex Alimentarius, NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS, (5 Mars 23), (2015)
- [43] - A. H. DE MELLO, R. B. SCHRAIDER, M. P. S. GOLDIM, K. MATHIAS et al., "les acides gras polyinsaturés oméga-3 ont des effets bénéfiques sur la graisse viscérale dans le modèle d'obésité induite par l'alimentation", *Biochim cell Biol*, 97 (6) (2019) 693 - 701, doi :10.1139/bcb-2018-0361
- [44] - F. S. SCHANUEL, B. O. SAGUIE, A. MONTE-ALTO-COSTA, "L'huile d'olive favorise la cicatrisation des plaies de pression chez la souris grâce à NOS-2 et Nrf2 ", *Appl physiol. Nutr. Metab*, 44 (11) (2019) 1199 - 1208, doi :10.1139/apnm-2018-0845
- [45] - R. C. PEARSON, A. A. OLENICK, E. S. GREEN, N. T. JENKINS, "Effet aigu de l'exercice sur l'oxydation postprandiale des graisses : méta-analyse et revue systématiques ", *Appl physiol. Nutr. Metab*, 45 (10) (2020) 1081 - 1091, doi:10.1139/apnm-2019-0917
- [46] - M. DEMASHKIEH, R. DALAN, S. F. BURNS, "Condition cardiorespiratoire et oxidation des graisses pendant l'exercice chez les hommes chinois, indiens et malais ayant un indice de masse corporelle élevé", *Appl Physiol. Nutr Metab*, 47 (8) (2022) 888 - 892, doi:10.1139/apnm-2022-0106
- [47] - F.-M. DU., H.-Y. KUANG, B.-H. DUAN, D.-N. LIU et al., "Effects of thyroid hormone and depression on common components of central obesity", *J. Int. Med. Res*, 47 (2019) 3040 - 3049, <https://doi.org/10.1177/0300060519851624>