

INFLUENCE DE SECHAGE SOLAIRE ET MICRO- ONDE SUR LE PROFIL EN ACIDES GRAS DES EXTRAITS DE BEURRE DE CACAO (THÉOBROMA CACAO L.).

Abouo N'guessan Verdier

Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de l'Environnement et des
Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB BP 1093 Yamoussoukro
Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Transformation des Produits
Tropicaux (LBATPT), UNA 02 BP 801 Abidjan 02

Kassi Amian Brise

Laboratoire de Chimie Organique Structurale (LCOS), UFHB 22 BP 582
Abidjan 22

Soro Doudjo

Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de l'Environnement et des
Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB BP 1093 Yamoussoukro

Assidjo Nogbou Emmanuel

Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de l'Environnement et des
Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB BP 1093 Yamoussoukro

Amani N'guessan Georges

Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Transformation des Produits
Tropicaux (LBATPT), UNA 02 BP 801 Abidjan 02

Yao Kouassi Benjamin

Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses de
l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), INPHB BP 1093
Yamoussoukro

Abstract

The present works is interested in the study of the fatty acid composition of cocoa butter extracted from dried beans from a solar device (experimental tray) and a microwave oven (MO) at three power levels (2400W, 2800W and 3200W). The results showed that the cocoa butter is essentially composed of three fatty acids close to 90%. These are palmitic acid, stearic acid and oleic acid respectively for the extracts from the tray ($24.41 \pm 0.01\%$, 31.89 ± 0.02 and $32.22 \pm 0.02\%$), the MO 2400W ($23.64 \pm 0.01\%$, 32.21 ± 0.02 and $32.31\% \pm 0.02\%$), the MO 2800W ($24.87 \pm 0.00\%$, $33.96 \pm 0.01\%$ and $33.18 \pm 0.03\%$) and MO 3200W (22.38 ± 0.10 , $33.00 \pm$

0.06% and $32.42 \pm 0.05\%$). The variance analysis did not identify any significant difference in the effect of the two devices on the composition of major methyl esters constituent fatty acids ($P \geq 0.05$).

Keywords: Fatty acid, methyl esters, cocoa, microwave

Résumé

Le présent travail s'est intéressé à l'étude de la composition en acide gras du beurre de cacao extrait des fèves séchées sur claie expérimentale et dans un four à micro-onde (M.O) à trois niveaux de puissance (2400W, 2800W et 3200W). Les résultats ont montrés que le beurre de cacao est essentiellement constitué de trois acides gras à près de 90 %. Ce sont : l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique respectivement pour les extraits issus de la claie ($24,41 \pm 0,01$ % ; $31,89 \pm 0,02$ et $32,22 \pm 0,02$ %), au M.O 2400W ($23,64 \pm 0,01$ % ; $32,21 \pm 0,02$ % et $32,31 \pm 0,02$ %), au M.O 2800W ($24,87 \pm 0,00$ % ; $33,96 \pm 0,01$ % et $33,18 \pm 0,03$ %) et au M.O 3200W ($22,38 \pm 0,10$; $33,00 \pm 0,06$ % et $32,42 \pm 0,05$ %). L'analyse de variance réalisée n'a mentionné aucune différence significative de l'effet des deux dispositifs sur la composition en esters méthyliques d'acides gras majeurs constitutifs ($P \geq 0,05$).

Mots clés : Acides gras, esters méthyliques, cacao, micro-onde

Introduction

Les lipides constituent la matière grasse des êtres vivants et sont des composés produits par les plantes et les animaux (Hölzl *et al.*, 2007). Ils ont une forte activité biologique et présentent parfois des effets secondaires. Ils intéressent à ce titre les domaines de la pharmacie, de la cosmétique et de l'alimentation humaine. Ils possèdent diverses propriétés tels que : de réserve énergétique, de constitution des membranes cellulaires, de messenger inter et intracellulaire, de substrat métabolique etc ... (Ivanova *et al.*, 2007; Subramaniam *et al.*, 2011). Les lipides dérivent de deux types de composés jouant le rôle de briques élémentaires, les groupes cétoacyles d'une part et les unités isoprènes d'autre part. De ce point de vue, les lipides peuvent être classés en huit différentes groupes : les acides gras, les acylglycérols, les phosphoglycérides, les sphingolipides, les glycolipides et les polycétides, qui résultent de la condensation de groupes cétoacyle, auxquels s'ajoutent les stérols et les pré-nols (unité isoprène) (Fahy *et al.*, 2008). Les acides gras se classent en deux grands groupes : les saturés et les insaturés. Les acides gras insaturés en particulier l'acide oléique et l'acide linoléique jouent un rôle essentiel sur le plan nutritionnel. Ils exercent une action préventive sur les maladies

cardiovasculaires en diminuant le taux de cholestérol ce qui n'ait pas le cas pour certains acides gras saturé (Siri-Tarino *et al.*, 2010). Le beurre de cacao est une matière grasse végétale (Afoakwa, 2008). Il est principalement constitué de triglycérides à plus de 98% (Calvignac, 2009). Sa composition peut varier selon l'origine (Chasirie et Dimick, 1989), le type de traitement post-recolte (Afoakwa *et al.*, 2008; Guehi *et al.*, 2010) et influe sur les propriétés physiques, caractéristiques de son comportement thermodynamique (Foubert *et al.*, 2003 ; Foubert *et al.*, 2005 ; Krysiak, 2011). Il est obtenu par extraction à l'aide de solvant organique (généralement l'hexane) ou par action mécanique après le séchage et broyage des fèves qui s'effectue de façon naturelle (à l'aide du soleil, Akmel *et al.*, 2008) ou artificiel à l'aide d'air chaud ou tout autre source induisant la production de chaleur (Hii *et al.*, 2006; Hii *et al.*, 2008 ; Guehi *et al.*, 2010 ; Sorour et El-Mesery, 2014). Au niveau du séchage artificiel, de plus en plus d'études s'opèrent en environnement électromagnétique. Cette technologie est en plein essor car permettant d'obtenir des résultats satisfaisants. A titre d'exemples, les travaux menés par Derya et Mehmet (2010) ont montré que la cinétique de séchage de l'oignon au moyen d'ondes électromagnétiques présente des caractéristiques meilleures que celles obtenues par les modes de séchage solaire (par entraînement) et au four (convection). En effet, les concentrations en minéraux (K^+ , Ca^{2+}) et les teneurs en composés phénoliques sont plus élevés. Enfin, les valeurs des coordonnées rectangulaires (L, a^* , b^*) sont bien meilleurs. Les travaux de Lucchesi et al., 2004 ont montré que le temps d'extraction d'huile végétale assisté par chauffage micro-onde peut être réduit d'un facteur 9. Ces travaux ont fait l'objet de Brevet d'étude en Europe et aux Etats Unis. La technologie micro-onde présente de façon générale beaucoup d'avantages tels que : la rapidité, l'homogénéité du matériel séché et l'efficacité en termes de transfert d'énergie comparer à la convection et l'infrarouge (Sorour et El-Mesery, 2014). En effet, elle accélère la perte en humidité de l'intérieur vers l'extérieur du matériel (Wang *et al.*, 2006). Elle est diversement adoptée soit pour un séchage unique des produits agricoles et ou comme traitement d'appoint aux autres modes de séchage en industrie (Krysiak, 2011 ; Harish *et al.*, 2014). L'objectif de cette étude est de comparer l'impact de deux modes de séchage sur le profil en acides gras (A.G) des extraits de beurre de cacao issus des fèves séchées au soleil (sur claie) et au four à micro-onde (M.O).

Matériel et Méthodes

Procédure de séchage et d'extraction du beurre de cacao

Trente (30) kilogramme de fèves de cacao ont été achetées au mois d'octobre 2013 auprès des planteurs (3) de Yamoussoukro (ville située au

centre de la Côte d'Ivoire, en Afrique de l'ouest) et mises en fermentation pendant six jours sous feuilles de bananier. Ensuite les fèves fermentées ont été débarrassées des déchets avant le séchage. Deux dispositifs ont été employés : une claie expérimentale d'un mètre carré de dimension surélevée d'un mètre du sol et un four à micro-onde (M.O Guangzhou LTD 510630) à trois niveaux de puissances : 2400W; 2800W et 3200W. Sur la claie, 30 échantillons de 200 g chacun ont été répandus en couche mince (3 à 4 centimètres d'épaisseur). Pour le séchage au four à micro-onde, trois séries constituées de 30 échantillons de 200 g ont été mis à sécher au trois puissances citées plus haut. La perte de masse a été enregistrée de façon régulière (chaque heure pour le séchage solaire et par intervalle d'une minute d'application au four à M.O). Elle a été notée à l'aide d'une balance (Sartorius A200S, $\pm 0,001$ g) jusqu'à ce que la différence de masse entre trois pesées successives n'excède pas 0,01g (Belahmidi *et al.*, 1993 ; Akmel *et al.*, 2009). Durant trente-cinq (35) heures d'ensoleillement cumulées qu'a duré le séchage solaire, l'humidité relative journalière a fluctué de 52-74 %. La température a évolué entre 27,4-36,2°C. Les températures et humidités ont été enregistrées à l'aide du thermo-hygromètre de marque Auriol IAN 71010. Pour le séchage micro-onde, l'évolution des températures des fèves ont été relevées à l'aide du thermomètre portatif (HANNA, HI 935005). Les températures enregistrées par niveaux de puissances ont oscillées de 30 à 80,2°C pour le dispositif M.O 2400W avec une température moyenne de séchage de $65,42 \pm 12,48$ °C. Au niveau du dispositif M.O 2800W, il a été noté une valeur moyenne de $67,49 \pm 12,53$ °C et une valeur maximale atteinte de 84,40°C. Enfin, la valeur moyenne obtenue pour le dispositif M.O 3200W était de $79,55 \pm 20,42$ °C avec une valeur maximale de 98,5°C. Les fèves sèches ont été débarrassées de leur coque puis broyées (broyeur IKA Universalmu M20). De la poudre obtenue, il a été extrait le beurre (matière grasse) à l'aide de l'hexane par la méthode au soxlhet (IOCCC, 1996). Les différents extraits de beurre ont fait l'objet d'hydrolyse, de méthylation suivie de caractérisation selon la méthode développée par Siaka *et al.*, 2006.

Réaction d'hydrolyse des triglycérides

L'hydrolyse de la matière grasse est basée sur la transformation des triglycérides en acide gras. Dans un ballon tri col à fond rond, ont successivement été introduits 2 g de beurre, 10 mL d'éthanol à 95% et 5 mL d'une solution d'hydroxyde de potassium (3M). Le mélange réactionnel a été chauffé à reflux et suivi par CCM jusqu'à la disparition totale des triglycérides (éluant : Acétate d'éthyle/dichlorométhane : 4/1). Après environ une heure de réaction, le chauffage a été interrompu et le milieu réactionnel laissé au repos jusqu'à refroidissement. De l'eau (30mL) a été ajoutée et le contenu du ballon transvasé dans une ampoule à décanter de 100 mL. La

phase aqueuse a été extraite avec l'hexane (50 mL) pour récupérer la glycérine et les insaponifiables, acidifiée à pH=3 avec une solution d'acide chlorhydrique 6 M. Les acides gras précipitent lors du refroidissement de la phase organique dans un bain thermostaté (20°C) pendant 15 mn. Ils sont alors obtenus sous forme de cristaux après filtration sous vide.

Réaction de méthylation des acides gras

La réaction d'estérification des acides gras libres s'est faite avec le méthanol en présence d'un acide fort (H₂SO₄). Dans un ballon tri col à fond rond, ont successivement été introduits 2 g d'acides gras et 50mL d'une solution de 1% d'acide sulfurique dans le méthanol. Le mélange a été chauffé au reflux et suivi par CCM (éluant : dichlorométhane). Après 30 minutes, la CCM indique que tous les acides gras ont été estérifiés. Le chauffage a été interrompu et 12mL d'eau a été ajouté. L'ensemble a été refroidi à température ambiante. Le contenu du ballon a été transvasé dans une ampoule à décanter de 100 mL. Les esters méthyliques sont extraits après filtration et élimination du solvant, puis séchés sur sulfate de magnésium anhydre. A la suite des deux premières réactions, est intervenue la troisième qui a consisté à analyser les différents extraits par GC/MS.

Caractérisation des esters méthyliques par GC-MS

L'analyse quantitative des esters méthyliques d'acides gras (E.M.A.G) a été réalisée sur un chromatographe Shimadzu QP2010SE équipé d'un détecteur spectrophotomètre de masse quadripôle de type Agilent 5973. La colonne utilisée est une Zebron ZB-5ms de 20 mm de longueur : 0,32 mm de diamètre interne et 0,18 µm d'épaisseur. Le gaz vecteur utilisé est l'Hélium avec un débit de 0.7 mL/min. La température de l'injecteur est de 250°C et celle du détecteur de 300°C. La programmation de la température consiste en une élévation de 45 à 250°C, à 8°C/min, puis un palier de 40 min à 250°C. L'injection se fait en mode division avec un rapport de 1/20. Les spectres de masse ont été réalisés par impact électronique à 70eV, la température de la source d'ionisation est maintenue à 250 °C et l'analyseur de masse est de type EBE. La gamme de masse (m/z): de 0 à 1000. Les spectres de masse obtenus sont comparés à deux bases de données : NIST et WILEY.

Analyses statistiques

La méthode de comparaison de l'effet des deux modes de séchage sur le profil en acide gras s'est faite en réalisant une ANOVA au seuil de 5% à l'aide du logiciel Statistica 7.1 (Feinberg, 1996).

Résultats

L'analyse chromatographique en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse est utilisée pour déterminer la composition en esters méthyliques d'acides gras contenus dans les différents extraits de beurre de cacao analysés. Le tableau I ci-dessous présente l'ensemble des molécules identifiées.

Tableau I : Molécules identifiées dans les extraits de beurre issus des fèves séchées par les deux dispositifs

NOM	C : D	Fragments (m/z)	claire (%)	M.O 2400 W (%)	M.O 2800 W (%)	M.O 3200 W (%)
Méthyl tétradécanoate	C15:0	30, 41, 57, 74, 87, 125, 143, 199	0,26a ±0,02	0,27a±0,01	0,22b±0,07	0,25a±0,05
Palmitique	C16:0	30, 41, 43, 57, 74, 87, 143, 227, 255	24,41a±0,01	23,64a±0,01	24,87a±0,00	22,38a±0,10
Heptadécanoïque	C17:0	43, 57, 74, 87, 101, 129, 143, 157, 185, 241	5,44a±0,11	6,17b±0,06	4,21c±0,14	6,32b±0,00
Stéarique	C18:0	30, 41, 43, 57, 74, 87, 143, 298	31,89a±0,02	32,21a±0,02	33,96a±0,01	33,00a±0,06
Oléique	C18:1	30, 41, 55, 69, 83, 97, 123, 180, 222, 264	32,22a±0,02	32,31a±0,02	33,18a±0,03	32,42a±0,05
Linoléique	C18:2	30, 41, 55, 67, 81, 95, 109, 123, 150, 178, 262	1,81a±0,03	0,82b±0,04	0,83b±0,02	1,14c±0,07
Méthyl 18-nonadécanoate	C19:0	30, 41, 43, 57, 74, 87, 143, 326	0,34a±0,01	0,31a±0,04	0,34a±0,03	0,27b±0,01
Eicosanoïque	C20:0	30, 41, 43, 57, 70, 88, 101, 157, 326	2,27a±0,15	2,83b±0,23	1,41c±0,17	2,64b±0,43
Docosanoïque	C22:0	30,41, 43, 57, 74, 87, 143, 354	1,36a±0,06	1,43a,c±0,11	1,05b±0,12	1,58c±0,08

Nb : Les valeurs moyennes d'une molécule ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Le résultat de l'analyse des extraits par chromatographie en phase gazeuse (Fig.1) couplée à la spectroscopie de masse (Fig.2) est donné dans le tableau I. Les molécules identifiées sont : les méthyl tétradécanoate et nonadécanoate puis les acides palmitique, heptadécanoïque, stéarique, oléique, linoléique, eicosanoïque et docosanoïque. Toutes les molécules citées sont présentes dans chaque extrait de beurre de cacao issu des deux types de dispositifs de séchage. Leurs proportions diffèrent d'un extrait à l'autre. Cependant, certaines sont de proportions relativement plus importantes. Elles sont appelées molécules prépondérantes ou encore dites majoritaires. Pour chaque groupe de résultats, les molécules prépondérantes sont : l'acide palmitique, stéarique et oléique.

Au niveau des fèves séchées sur claire : les acides gras majoritaires sont l'acide palmitique ($24,41 \pm 0,01$ %), l'acide stéarique ($31,89 \pm 0,02$ %) et l'acide oléique ($32,22 \pm 0,02$ %). Ce qui représente 88,52 % de la teneur totale en acide gras présent dans le beurre de cacao.

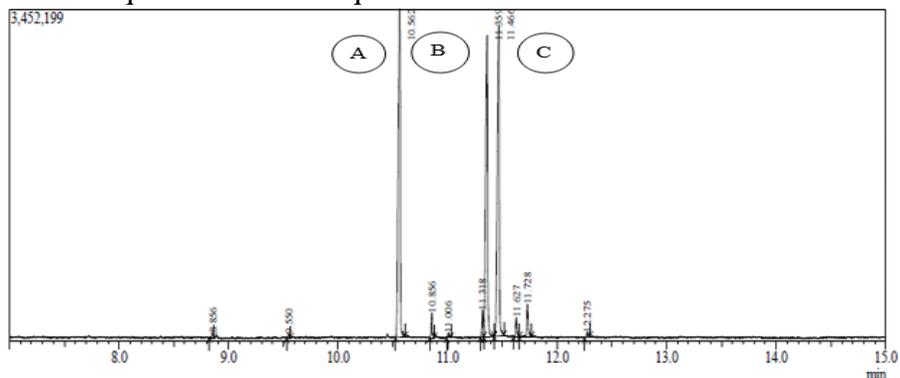
Pour le séchage à M.O 2400 W, les acides gras prépondérants sont l'acide palmitique à $23,64 \pm 0,01$ %, l'acide stéarique à $32,21 \pm 0,02$ % et

l'acide oléique ($32,31 \pm 0,02 \%$). Soit un total de $88,16 \%$ de la teneur totale en acide gras du beurre de cacao.

La majorité (en quantité) des acides gras constitutifs des extraits de beurre des fèves séchées à M.O 2800 W sont : l'acide palmitique ($24,87 \pm 0,00 \%$), l'acide stéarique ($33,96 \pm 0,01 \%$) et l'acide oléique ($33,18 \pm 0,03 \%$). Cela fait $92,01 \%$ de la teneur totale en acide gras.

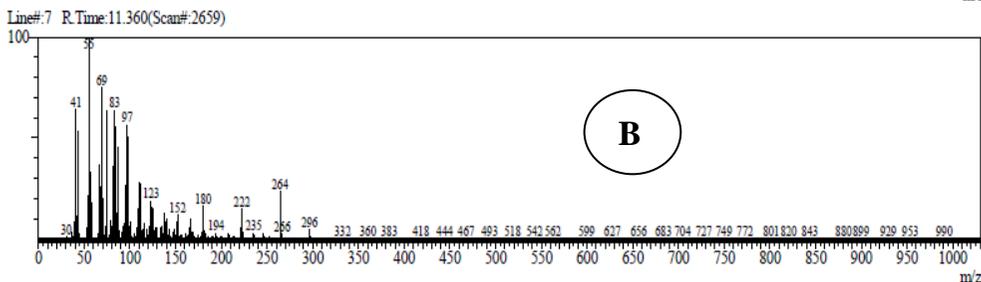
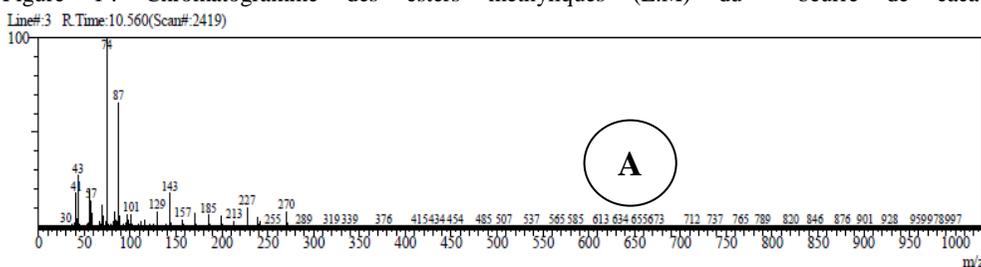
Pour le dispositif M.O 3200W, les principaux acides gras retrouvés sont : l'acide palmitique ($22,38 \pm 0,10 \%$), l'acide stéarique ($33,00 \pm 0,06 \%$) et l'acide oléique ($32,42 \pm 0,05 \%$). Ce sont les plus abondants. Ce qui représente $87,80\%$ de la teneur totale en acide gras présent dans les extraits de beurre.

L'analyse de variance réalisée pour chacune des constituantes des extraits de beurre révèle l'existence de différence significative. Ce qui n'est pas le cas pour les acides gras majoritaires que sont : l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique.



A : E.M d'acide palmitique B : E.M d'acide oléique C : E.M d'acide stéarique

Figure 1 : Chromatogramme des esters méthyliques (E.M) du beurre de cacao



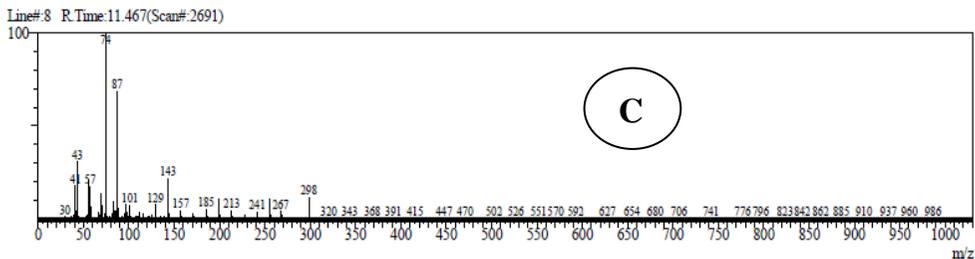


Figure 2 : Spectre de masse des E.M.A.G majeurs contenue dans le beurre de cacao

Discussion

L'analyse du tableau I récapitulatif des molécules identifiées dans les différents extraits de beurre montre des similarités de constitution en esters méthyliques d'acides gras et ceux à des proportions relativement peu différentes selon le mode de séchage et le niveau de la puissance au four à micro-onde. En effet, les différents extraits de beurre de cacao sont constitués d'acides gras saturés et insaturés. Pour les acides gras saturés, nous enregistrons la présence des acides : palmitique, heptadécanoïque, stéarique, eicosanoïque et docosanoïque.

Les acides oléique et linoléique sont les principaux acides gras insaturés retrouvés dans les différents échantillons de beurre. Les quatre grands groupes d'extraits (claire, M.O 2400W, M.O 2800W et M.O 3200 W) ont pour acides gras prépondérants : le palmitique, le stéarique et l'oléique respectivement à : 88,52% ; 88,16% ; 92,01% et 87,80% de la teneur totale en acide gras. Par ordre croissant de poids moléculaire et par type de dispositifs, les valeurs suivantes : pour le séchage sur claire ($24,41 \pm 0,01$ % ; $31,89 \pm 0,02$ et $32,22 \pm 0,02$ %) ; au M.O 2400W ($23,64 \pm 0,01$ % ; $32,21 \pm 0,02$ % et $32,31 \pm 0,02$ %) ; au M.O 2800W ($24,87 \pm 0,00$ % ; $33,96 \pm 0,01$ % et $33,18 \pm 0,03$ %) et au M.O 3200W ($22,38 \pm 0,10$; $33,00 \pm 0,06$ % ; $32,42 \pm 0,05$ %).

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux menés par Chasiric et Dimick (1989) (Calvignac, 2009). Leur étude a révélé à plus de 85 % de proportion, des constitutions analogues en triacylglycérol. Notamment : le 1,3-palmitoyl-2-oléoylglycérol (POP), le 1-palmitoyl-2-oléoyl-3-stéaroylglycérol (POS) et le 1,3-stéaroyl-2-oléoylglycérol (SOS). Ces triacylglycérols mises en évidence sont essentiellement constitués des trois principaux acides gras : palmitique, stéarique et oléique qui sont principalement les acides gras retrouvés dans la présente étude.

Mieux, les résultats obtenus sont confortés par les études de divers autres auteurs. Notamment, Krysiak (2011) qui a obtenu des valeurs moyennes oscillant pour le palmitique (23,13-24,59 %), stéarique (33,51-34,04%) et oléique (32,31-33,50%) dans le beurre de cacao extrait des fèves séchées artificiellement par le mode de convection (135-140°C) suivi d'un

traitement d'appoint en environnement électromagnétique (700 W). Ces résultats obtenus sont très proches des nôtres.

Hanumm et Erdman (2000) ont obtenus des résultats allant dans le même sens que la présente étude. En effet, ils ont obtenus en moyenne : 25%, 34%, 34% ; respectivement pour les acides gras prépondérants : palmitique, stéarique et oléique dans des extraits de beurre de cacao. Egalement, l'analyse des différentes fractions massiques, donnent des fragments de masses assez distinctifs de la fragmentation des acides gras obtenus. Ainsi, il est obtenu des fragments m/z de : 29 (C₂H₅), 43 (C₃H₇), 57 (C₄H₉), 71 (C₅H₁₁), 85 (C₆H₁₃), 99 (C₇H₁₅) ... etc. De plus, l'analyse de variance réalisée pour chacune des molécules d'acides gras constitutifs prépondérants (palmitique, stéarique et oléique) n'a révélé aucune différence significative de proportion.

Conclusion

Le beurre extrait des fèves de cacao ayant été séchées au soleil (en 35 heures d'ensoleillement cumulé) et au four à micro-onde (en 16 min au M.O 2400W, 12 min au M.O 2800W et 8 min au M.O 3200W) est majoritairement constitué des acides gras palmitique, stéarique et oléique à plus de 85-90%. L'analyse de variance réalisée n'a montré aucune différence significative de proportion de ces acides gras. Le dispositif de séchage au four à micro-onde n'a de ce fait pas modifié la constitution en acides gras (majoritaires) des extraits des fèves sèches de cacao, constitution responsable de ses caractéristiques rhéologiques.

References:

- Afoakwa, E. Kongor, J. Takrama, J. & Budu, A. Changes and nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cocoa*) beans. *International Food Research Journal*, 20 (4): 1843-1853, 2013
- Afoakwa, E. Cocoa and chocolate consumption- Are there aphrodisiac and other benefits for human health? *South Africa Journal Clinical Nutrition*. 21 (3):107-113, 2008
- Afoakwa, E. Paterson, A. Fowler, M. & Ryan, A. Flavor formation and character in cocoa and chocolate. *Critical Review in Food Sciences and Nutrition*. 48: 840-857, 2008
- Akmel, D. Assidjo, N. Yao, B & Kouame, P. Mathematical Modelling of Sun Drying Kinetics of Thin Layer Cocoa (*Theobroma Cacao*) Beans, *Journal of Applied Sciences Research*, 5(9): 1110-1116, 2009
- Akmel, D. Assidjo, N. & Yao, B. Effet des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ, *Revue Ivoire Sciences Technologies*, 11 :45-58, 2008

- Belahmidi, M. Belghit, A. Mrani, A. Mir, A. & Kaoua, M. Approche expérimentale de la cinétique de séchage des produits agro-alimentaires. *Revue Générale de Thermique*, 380 : 444-453, 1993
- Calvignac, B. Mise au point de méthodes de caractérisation de binaires en milieu CO₂ supercritique et modélisation des propriétés physiques et thermodynamique mesurées. Université Mine Paris Tech, thèse de Doctorat, n°432, p 297, 2009
- Chaiseri, S. Dimick, P. Lipids and hardness characteristics of cocoa butters from different geographic regions, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 66 (11) : p 1771, 1989
- Chekroune, M. & Benamara, S. 2009. Colour change during Hot Air and Microwave Complementary Dehydration of Naturally Dried Date (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits, *World Journal of Dairy & Food Sciences*. 4 (1): 08-13, 2009
- Chekroune, M. Etude comparative de deux types de séchage (convection et microonde) par application des plans d'expériences : Cas des fruits de datte, Master, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, Algérie, p127, 2009
- Derya, A. & Mehmet, Ö. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices, *Food sciences and technology*, 43: 1121-1127, 2010
- Fahy, E. Subramaniam, S. Murphy, R. Nishijima, M. Raetz, C. Shimizu, T. Spener, F. Meer, G. Wakelam, M. & Dennis, E. *The Lipid maps comprehensive classification system for lipids*, *Journal of Lipid Research*, 50: 9-14, 2008
- Feinberg, M. *Validation des méthodes d'analyses, une approche chimiométrique de l'assurance qualité au laboratoire*. Masson, pp 206-266, 1996
- Foubert, I. Dewettinck, K. & Vanrolleghem, P. Insight in model parameters by studying temperature influence on isothermal cocoa butter crystallization. *European Journal Lipid Sciences Technologie*. 107: 660-672, 2005
- Foubert, I. Vanrolleghem, A. & Dewettinck, K. A differential scanning calorimetry method to determine the isothermal crystallization kinetics of cocoa butter: *Thermochim Acta.*, 400:131-142, 2003
- Guehi, T. Zaouli, I. Ban-Koffi, L. Fae, M. & Nemlin, J. Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Sciences and Technology*. 45:564-1571, 2010
- Guehi, T. Dingkuhn, M. Cros, E. Fourny, G. Ratomahenina, R. Moulin, G. & Vidal, A. Impact of cocoa processing technologies in free fatty acids formation in stored raw cocoa beans, *African Journal of Agricultural Research*. 3 (3):174-179, 2008

- Hannum, S. & Erdman, J. Emerging health benefits from cocoa and chocolate. *Journal of Medicinal Food*. 3 (2): 73-75, 2000
- Harish, A. Rashmi, M. Krishna, M. Blessy, B. & Ananda, S. Mathematical modeling of thin layer microwave drying kinetics of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*). *International Food Research Journal*. 21 (3): 1081-1087, 2014
- Hayma, J. Le stockage des produits agricoles tropicaux, Digigrafi, the Netherlands, Fondation Agrimisa, Wageningen, pp80, 2004
- Hii, C. Rahman, R. Jinap, S. & Man, Y. Quality of cocoa beans dried using direct solar dryer at different loadings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 1237-1243, 2006
- Hii, C. Law, C. & Cloke, M. Modelling of thin layer drying kinetics of cocoa beans during artificial and natural drying. *Journal of Engineering Sciences and Technology*, 3 (1): 1-10, 2008
- Hözl, G. *Structure and function of glycolipids in plants and bacteria*. *Progress in Lipid Research*. 46 (5):225-243, 2007
- IOCCC: International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confection. Determination of free fatty acids (FFA) content of cocoa fat as a measure of cocoa nib acidity. Analytical Method no 42-1993, 1996
- Ivanova, P. Milne, S. Byrne, M. Xiang, Y. & Brown, H. *Glycerophospholipid Identification and Quantitation by Electrospray Ionization Mass Spectrometry, Methods in Enzymology*, 432: 21-57, 2007
- Krysiak W. Effects of convective and microwave roasting on the physicochemical properties of cocoa beans and cocoa butter extracted from this material. *Grasas y aceites*. 62 (4): 467-478, 2011
- Lucchesi, M. Chemat, F. & Smadja, J. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043: 323-327, 2004
- Siaka, S. Soro, Y. Adiman, A. Lemee, L. & Ambles A. Wild tropical forest soil characteristics and composition of directly extractable soil lipid fraction. *Journal of Applied Sciences*. 6 (15): 3110-3115, 2006
- Siri-Tarino, P. Sun, Q. & Krauss, R. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition*. 91: 535-546, 2010
- Sorour, H. & El-Mesery, H. Effect of microwave and infrared radiation on drying of onion slices. *International Journal of Research in Applied*, 2 (5): 119-130, 2014
- Subramaniam, S. Fahy, E. Gupta, S. Manish, S. Byrnes, R. Cotter, D. Dinasarapu, A. & Maurya, M. *Bioinformatics and Systems Biology of the Lipidome, Chemical Reviews*, 111 (10): 6452-6490, 2011
- Wang, J. & Sheng, K. Far infrared and microwave drying of peach. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie*, 39: 247-255, 2006