

OPTIMISATION DE LA TORRÉFACTION DES AMANDES DE *P. BUTYRACEA* POUR LA PRODUCTION DU BEURRE

E. BADOUSI, Y. E. MADODE*, B. F. AMOUSSOU*, P. AZOKPOTA*, F. P. TCHOBO**, A. P. P. KAYODE*, M. M. SOUMANOU** & D. J. HOUNHOUIGAN**

**Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, E-mail: azokpotap@yahoo.fr - Bénin*

***Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA) Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin.*

RÉSUMÉ

La torréfaction des amandes de *Pentadesma butyracea* au cours de la production du beurre est une opération unitaire qui affecte le rendement de production et la qualité du beurre. Afin de produire un beurre de *P. butyracea* de bonne qualité avec un meilleur taux d'extraction, ce travail vise à déterminer la durée et la température optimales de torréfaction des amandes de *P. butyracea*. A cet effet, les amandes bouillies et séchées de *P. butyracea* ont été torréfiées à des températures variant entre 100 à 180°C pendant une durée allant de 15 à 45 min par l'utilisation de la méthode de réponse de surface. En réponse à ces différents traitements, le taux d'extraction à froid à l'hexane et les caractéristiques physiques des amandes (couleur : Clarté (L*), degré de saturation en rouge (a*) et degré de saturation en jaune (b*)) et physico-chimiques du beurre (couleur : Clarté (L*) et degré de saturation en jaune (b*) ; acidité ; indice de peroxyde) ont été évaluées. Au terme de l'expérimentation, les effets linéaires et/ou quadratiques de la durée et de la température de torréfaction et l'interaction entre ces deux paramètres influencent fortement le taux d'extraction et les caractéristiques physico-chimiques des amandes et du beurre. Ainsi, une torréfaction des amandes à 135°C pendant 45 min permettrait de produire un beurre de *Pentadesma* de premier choix utilisable dans les industries agroalimentaires et de cosmétiques (acidité : 0,31 %, indice de peroxyde : 3,22 méqO₂/Kg, L* : 75,10, b* : 35,02) avec un taux d'extraction avoisinant les 40%.

Mots clés : Beurre de karité, Chocolaterie, Cosmétique, Indice de peroxyde, Bénin.

OPTIMIZATION OF *PENTADESMA BUTYRACEA* KERNELS ROASTING FOR BUTTER PRODUCTION

ABSTRACT

Pentadesma butyracea kernels roasting during butter production is an operation which affects the extraction yield and the quality of butter. In order to produce a good quality of *P. butyracea* butter and improve yield extraction, this work aims to determine the optimal roasting time and temperature. Thus, the dried *P. butyracea* kernels were roasted at temperature from 100 to 180°C during 15 to 45min using Response Surface Method with central composite design. In response to these different treatments, yield of cold extraction with hexane, kernels (color : lightness (L*), redness (a *) and yellowness (b*)) and butter quality (color : lightness (L*) and yellowness (b*) ; acidity ; peroxide index) were assessed. The linear and/or quadratic effect of the duration and the temperature of roasting as well as the interaction between these two factors strongly influenced extraction yield, physical characteristics of the kernels and physicochemical characteristics of the butter. At 135°C for 45 min it is possible to produce *Pentadesma* butter for cosmetic

and food industries uses (acidity : 0.31 % ; peroxide index : 3.22 méq O₂/Kg ; L* : 75.10 ; b* : 35.02) with an extraction yield of about 40 % (39.5 %).

Keywords : Shea butter, Chocolate industry, Cosmetics, Peroxide index, Benin.

INTRODUCTION

Au Bénin, les galeries forestières abritent environ mille espèces de plantes qui représentent approximativement le tiers de la flore nationale (Natta, 2003). Au nombre de ces espèces, *Pentadesma butyracea* occupe une place de choix. Le beurre de *P. butyracea* constitue un substitut appréciable au beurre de karité localement utilisé par les populations aussi bien en agro-alimentaire, en cosmétique que pour certains traitements thérapeutiques (Natta *et al.*, 2010). Ainsi la production du beurre de *P. butyracea* représente une source importante de revenus pour les femmes impliquées dans cette activité. En effet, l'analyse financière de la filière de commercialisation des amandes et du beurre de *P. butyracea* au Nord-Bénin avait révélé que les femmes impliquées dans le commerce des amandes et du beurre récupèrent entre 49 et 80 % du prix payé par le consommateur, selon la qualité du produit et les canaux spécifiques de vente (Avocèvou-Ayisso *et al.*, 2009). En raison des contraintes enregistrées ces dernières années au plan national au niveau de la production de coton (le premier produit d'exportation), le gouvernement béninois a opté pour la diversification des produits agricoles d'exportation (Honfo, 2015). Le beurre de *P. butyracea*, à l'instar du karité (troisième produit d'exportation), pourrait donc jouer un grand rôle dans la diversification des filières agro-forestières au Bénin (Aissi *et al.*, 2011). Cependant, la production du beurre de *P. butyracea* est actuellement traditionnelle et est assurée par des productrices issues de différents groupes socio-culturels du Nord Bénin, pour la plupart non instruites (Badoussi *et al.*, 2014). Après ramassage et dépulpage des fruits, les amandes obtenues sont bouillies et séchées ou fumées au four traditionnel ou simplement séchées. Ensuite, les amandes ainsi prétraitées sont concassées et torréfiées ou frites en entier. Les amandes obtenues après l'une de ces deux traitements sont moulues et subissent un malaxage au feu ou un barattage à eau froide pour donner le beurre après chauffage, décantation et refroidissement. En fonction des choix optionnels 10 méthodes traditionnelles de production du beurre ont été identifiées avec une variation au sein des productrices, d'un groupe socio-culturel à un autre (Badoussi *et al.*, 2014). La méthode la plus utilisée consiste, après cuisson et séchage des amandes, à torréfier les amandes concassées qui après mouture subissent un barattage à eau froide suivi d'un chauffage de la crème obtenue pour donner après décantation et

refroidissement le beurre (Badoussi *et al.*, 2014). La diversité des méthodes conduit à des beurres de différentes qualités qui ne respectent toujours pas les exigences normatives (Aissi *et al.*, 2011). La torréfaction des amandes est l'une des principales opérations unitaires qui affecte le rendement de la production et la qualité du beurre produit (Badoussi *et al.*, 2015a). Après le prétraitement des amandes collectées, 78 % des productrices du beurre de *P. butyracea* les font torréfier avant d'en extraire le beurre (Badoussi *et al.*, 2014). En effet, la torréfaction est nécessaire car elle permet, entre autres, l'extraction aisée du beurre et l'amélioration des caractéristiques sensorielles du beurre (odeur, couleur, texture) (Honfo *et al.*, 2012). Cependant, une torréfaction à faible température peut réduire le rendement d'extraction tout comme une température relativement élevée peut engendrer des composés volatils nuisibles à la qualité du beurre (Krysiak & Motyl-Patelska, 2005 ; Krysiak, 2011). Selon les consommateurs du Bénin, un bon beurre de *P. butyracea* possède un goût légèrement doux et plaisant et une saveur semblable à celle d'huile d'arachide. Cependant selon les productrices, une torréfaction de courte durée peut conférer un goût désagréable au beurre alors qu'une torréfaction trop longue donne un beurre de mauvaise qualité. En outre, la torréfaction affecte l'indice de peroxyde et l'acidité du beurre qui sont les principaux critères conditionnant l'achat du beurre par les industries (Woméni *et al.*, 2006). Eu égard à tout ce qui précède, afin de produire un beurre de bonne qualité, il est nécessaire de connaître les conditions de réalisation d'une torréfaction optimale. Le présent travail vise à déterminer les conditions optimales (durée et température) de torréfaction des amandes de *P. butyracea* par l'approche de réponse de surface. Il a été rapporté que la meilleure méthode d'optimiser une opération technologique serait d'utiliser la méthode de réponse de surface (Bas & Boyacı, 2007). En effet, cette méthode limiterait le nombre d'expérimentations, évaluerait tous les effets (Linéaires, quadratiques, interactions) des paramètres étudiés et permettrait d'établir un modèle mathématique conduisant à l'obtention d'un produit de qualité souhaitée (Myers & Montgomery, 1995 ; Anjum *et al.*, 1997).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

Les fruits mûrs de *P. butyracea* ont été collectés sous les arbres de *P. butyracea* dans la forêt classée de Pénessoulou dans la commune de Bassila au Bénin. Ces fruits ont été dépulpés et les amandes fraîches obtenues ont été stockées dans des sacs de jute pour leurs transports au laboratoire et sont par la suite prétraitées. Le prétraitement utilisé a consisté à faire bouillir les

amandes suivi d'un séchage. Ce prétraitement est le plus utilisé par les productrices du beurre (Badoussi *et al.*, 2014) et donne un beurre plus apprécié par les consommateurs (Aissi *et al.*, 2011, Ayégnon *et al.*, 2015). Les amandes ont été bouillies pendant 110 min (à partir du point d'ébullition) à 100°C et séchées à 55°C pendant 72 h, conditions optimales de prétraitement (Badoussi *et al.*, 2015b). La cuisson a été réalisée sur du gaz à intensité de feu constante dans une marmite hermétiquement fermée alors que le séchage a été réalisé dans un séchoir électrique muni d'un dispositif thermostatique. Les amandes bouillies séchées obtenues ont été utilisées pour la production du beurre suivant un plan expérimental.

Méthodes

Plan expérimental

La méthode de réponse de surface à travers un plan composite centré a été utilisée pour optimiser les paramètres (Durée et température) de torréfaction. La durée et la température de torréfaction ont été respectivement variées de 15 à 45 min et de 100 à 180°C. Le plan expérimental a généré 13 essais (Tableau 1). Un four (VENTICELL ; L SIS-B2V/VC55 Serie : D11 0 812, Allemagne) a été utilisé pour l'expérimentation. Pour chaque essai, le four a été réglé suivant la durée et la température de torréfaction de consigne. Lorsque la température souhaitée est atteinte, 100 g d'amandes bouillies séchées concassées ont été étalées sur un plateau (48 cm × 35 cm) qui est introduit dans le four.

Tableau 1. Paramètres du plan composite centré

Essais	Paramètres codés		Paramètres réels	
	(DT : min)	(TT : °C)	(DT : min)	(TT : °C)
1	0	0,5	30	160
2	-1	-1	15	100
3	1	1	45	180
4	0	0	30	140
5	0	0	30	140
6	0,5	0	37,5	140
7	0	0	30	140
8	1	-1	45	100
9	-0,5	0	22,5	140
10	0	0	30	140
11	0	0	30	140
12	-1	1	15	180
13	0	-0,5	30	120

DT : Durée de Torréfaction ; TT : Température de Torréfaction

La durée est décomptée à partir du moment où la température a atteint la température désirée. La fin de la durée de torréfaction est signalée par un sifflement du four. En réponse à ces différents traitements, la couleur (Y1 : Clarté, Y2 : degré de saturation en rouge, Y3 : degré de saturation en jaune) des amandes torréfiées, le taux d'extraction en beurre (Y4) des amandes et la qualité physico-chimique (Y5 : Clarté, Y6 : degré de saturation en jaune, acidité (Y7), Indice de peroxyde (Y8)) des beurres ont été évalués. Une équation de second degré a été définie à partir des expérimentations pour prédire l'évolution des différentes réponses en fonction des paramètres étudiés (Myers & Montgomery, 1995) suivant la formule ci-après :

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (1)$$

Avec : Y : réponse prédite ; b_0 ; b_1 ; b_2 ; b_{11} et b_{22} : coefficients de l'équation, avec b_0 : constante, b_1 et b_2 : coefficients des termes linéaires, b_{11} et b_{22} : coefficients des termes quadratiques et b_{12} : coefficient d'interaction. x_1 , x_2 : valeurs codées des variables indépendantes de la durée et de la température de torréfaction respectivement. Les valeurs codées ont été obtenues par transformation de valeurs réelles en utilisant la relation suivante :

$$x_i = (X_i - X_{0i})/\Delta X \quad (2) ;$$

Avec X_i : valeur réelle de la variable ; X_{0i} : valeur centrale de la variable et ΔX l'incrément

Caractérisation physico-chimique des amandes et du beurre de P. butyracea après les différents traitements

Caractérisation physico-chimique des amandes

La couleur des amandes a été mesurée comme rapporté précédemment (Badoussi *et al.*, 2015a). Pour l'extraction du beurre, chaque échantillon traité (100 g) a été trempé dans du solvant (n-hexane) à température ambiante (28-29°C) pendant 48 h (Tableau 1). Le ratio solvant/amandes de 2:1 (v/m) a été utilisé comme recommandé par Ismail et Yee (2006). Le mélange beurre-solvant a été séparé par évaporation dans un bain d'eau chaude à 70°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le taux d'extraction a été évalué suivant la formule ci-après :

$$Y4 (\%) = (\text{Masse de beurre de } P. \text{ butyracea obtenue} / \text{Masse des amandes utilisées}) \times 100. \quad (3)$$

Caractérisation physico-chimique du beurre

L'acidité en pourcentage d'acide oléique, l'indice de peroxyde des échantillons de beurre produits ont été déterminés, respectivement, suivant les méthodes normalisées NF T 60-204, et NF T 60-212 (AFNOR, 1993). La couleur des beurres a été mesurée comme rapporté précédemment (Badoussi et al., 2015a).

Analyse statistique

Validation du Modèle

Le coefficient de détermination (r^2) et le pourcentage d'écart absolu moyen (AAD) entre les résultats expérimentaux et les valeurs prédites étaient les deux critères utilisés pour la validation des modèles (Bas & Boyacı, 2007 ; Betiku *et al.*, 2015). Un modèle a été considéré comme valide si $r^2 > 0,7$ et / ou $AAD < 10 \%$ (Nde *et al.*, 2012). Les coefficients de détermination ont été obtenus après une analyse de régression linéaire multiple effectuée sur les résultats avec le logiciel Minitab (Version 14), tandis qu'AAD a été calculé comme suit: $AAD(\%) = \frac{100}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Y_{i,exp} - Y_{i,cal}}{Y_{exp}} \right|$ (4)

Avec $Y_{i,exp}$ et $Y_{i,cal}$: réponses expérimentales et calculées, respectivement, et n : nombre d'essais

Optimisation de la durée et de la température de torréfaction

L'optimisation des paramètres de torréfaction a été réalisée en utilisant l'option "optimiseur de réponse" de MINITAB (version 14) avec la technique de fonction de désirabilité. Les réponses obtenues expérimentalement ont été comparées aux valeurs prédites à partir du modèle optimisé en calculant le pourcentage d'erreur (PE) pour déterminer la validité du modèle. Le pourcentage d'erreur (PE) qui est inférieure à 10 % indique un bon ajustement (Kek *et al.*, 2014).

$$PE(\%) = [(m_{exp} - m_{pre}) / m_{exp}] \times 100 \quad (5),$$

avec m_{exp} : valeur expérimentale et m_{pre} : valeur prédite

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Effet de la durée et de la température de torréfaction sur la couleur des amandes de *P. butyracea*

La couleur des amandes au cours de la torréfaction est un attribut de qualité qui est un indicateur pour les productrices de la fin de la torréfaction. En

effet, selon les productrices à la fin de la torréfaction les amandes doivent être brunes avec apparition d'huile. L'évaluation de l'effet des paramètres de torréfaction des amandes sur la couleur a montré que les composantes de la couleur (L^* : clarté; a^* : degré de saturation en rouge ; b^* : degré de saturation en jaune) sont influencées par différents effets des paramètres étudiés.

Tableau 2. Valeurs expérimentales du plan composite centré

Essais	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
1	35,72	6,81	3,85	38,90	68,68	32,26	0,36	3,32
2	45,93	10,94	8,23	33,05	60,09	28,66	0,28	2,63
3	32,63	3,00	1,17	41,25	72,59	30,01	0,25	3,37
4	39,95	9,82	6,70	35,97	72,87	35,02	0,37	3,15
5	39,55	9,75	6,37	36,84	72,90	35,99	0,37	3,21
6	39,02	9,58	6,18	36,65	72,55	34,58	0,38	3,38
7	39,87	9,90	6,44	36,28	72,40	36,21	0,36	3,27
8	44,44	10,63	7,95	35,75	68,13	33,23	0,33	3,05
9	41,27	9,96	6,99	41,54	73,00	33,09	0,28	2,76
10	39,67	9,75	6,39	35,81	72,04	36,33	0,36	3,05
11	39,76	9,81	6,47	36,42	72,14	35,23	0,36	3,23
12	35,53	6,07	3,71	40,30	71,29	31,81	0,27	3,15
13	43,64	11,01	7,95	36,09	71,05	33,58	0,34	2,87

Y1, Y2 et Y3 : clarté, degré de saturation en rouge et degré de saturation en jaune des amandes ; Y4 (%) : taux d'extraction ; Y5 et Y6 : Clarté et degré de saturation en jaune du beurre ; Y7 (%) : Acidité du beurre ; Y8 (méqO₂/Kg de beurre) : Indice de peroxyde

La clarté (Y1) des amandes varie entre 32,63- 45,93 (Tableau 2) et est influencée par les effets linéaires de la durée et de la température de torréfaction (Tableau3). Par contre le degré de saturation en rouge (Y2) qui varie entre 3 et 11 (Tableau 2) et de celui de la saturation en jaune (1,17-8,23) sont influencés, non seulement, par les effets linéaires de la durée et de la température de torréfaction, mais aussi par l'effet quadratique de la température de torréfaction et l'interaction entre la durée et la température de torréfaction (Tableau 3).

Tableau 3. Coefficient des modèles, coefficient de détermination (r^2) et pourcentage d'écart absolu (ADD%) des réponses étudiées

Coefficients	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
b0	39,8624**	9,7210**	6,4394**	37,0661**	72,214**	34,9929**	0,358061**	3,14631**
b1	-1,0235**	-0,7933**	-0,7167**	0,2678**	2,026*	0,7811	0,017778	0,21111*
b2	-5,8156**	-2,7581**	-2,9667**	3,1456	3,217**	-0,1622**	-0,017778	0,23667*
b11	0,8365	0,6819	0,7797	3,5323	3,702	-0,2708**	-0,078311*	-0,10134
b22	-1,0235	-2,7581**	-1,9603*	-2,8677	-7,938	-3,9308	0,001689*	-0,00134
b12	-0,3525	-0,6900**	-0,5650*	-0,4375	-1,685	-1,5925*	-0,017500	-0,05000
r2(%)	98%	98,9%	98,3	67,0%	85,2	85,1	78,7%	74,7%
ADD(%)	$5,13 \times 10^{-2}$	$7,29 \times 10^{-1}$	$6,10 \times 10^{-1}$	$2,18 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$8,06 \times 10^{-3}$	$5,07 \times 10^{-3}$

*Significatif à $P < 0,05$; ** Significatif à $P < 0,01$

Y1, Y2 et Y3 : clarté, degré de saturation en rouge et degré de saturation en jaune des amandes ; Y4 (%) : taux d'extraction ; Y5 et Y6 : Clarté et degré de saturation en jaune du beurre ; Y7 (%) : Acidité du beurre ; Y8 (méqO₂/Kg de beurre) : Indice de peroxyde ; b₀ ; b₁ ; b₂ ; b₁₁ et b₂₂ : coefficients des équations, avec b₀ : constante, b₁ et b₂ : coefficients des termes linéaires, b₁₁ et b₂₂ : coefficients des termes quadratiques et b₁₂ : coefficient d'interaction.

Les coefficients de détermination de 98 %, 98,9 % et 98,3 % obtenus respectivement pour L*, a* et b* avec des ADD inférieurs à 1 % dénotent de l'efficacité du modèle. On observe une diminution de la clarté, du degré de saturation en rouge et du degré de saturation en jaune des amandes avec l'augmentation de la durée et de la température de torréfaction (Figure 1).

Ce phénomène serait dû à une réaction de brunissement (Ozdemir & Devres, 2000). La possibilité d'un brunissement enzymatique est faible étant donné que les enzymes responsables du brunissement enzymatique seraient dénaturées du fait des températures relativement élevées utilisées pendant la torréfaction des amandes (Troller, 1989 ; Driscoll & Madamba, 1994). La réaction de Maillard qui est un brunissement non enzymatique commence par une réaction entre le groupe carbonyle d'un sucre réducteur avec un groupement libre et un groupement amine d'un acide aminé ou de protéine avec la perte d'une mole d'eau (Ozdemir & Devres, 2000). Les travaux de Tchobo *et al.* (2013) ont montré que l'amande de *P. butyracea* est constituée de 7,5 % de protéines avec 8 acides aminés et 3 sucres réducteurs (le glucose, le fructose et le saccharose). La réaction de Maillard est aussi responsable de la formation de molécules ayant des propriétés antioxydantes et antinutritionnelles (Nicoli *et al.*, 1991) qui peuvent affecter la qualité du beurre. Les faibles valeurs de L*, a* et b* obtenues aux températures de 160 à 180°C dénoteraient d'une carbonisation des amandes. Ces fortes

températures doivent être évitées lors du processus de torréfaction des amandes.

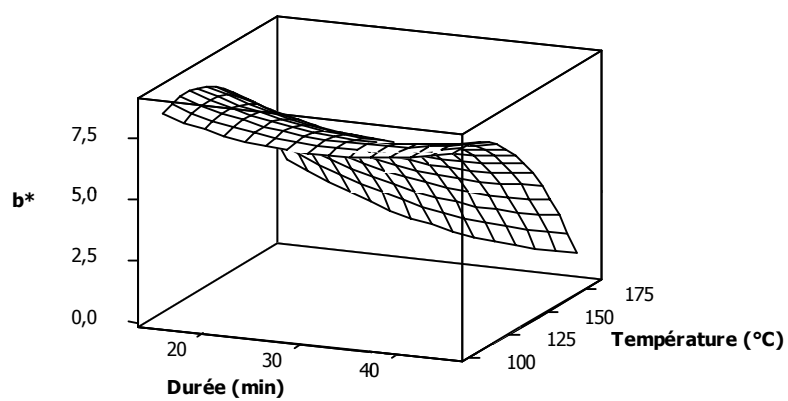
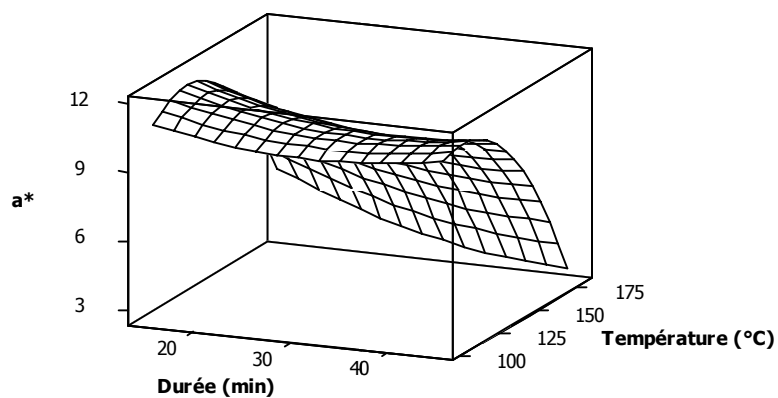
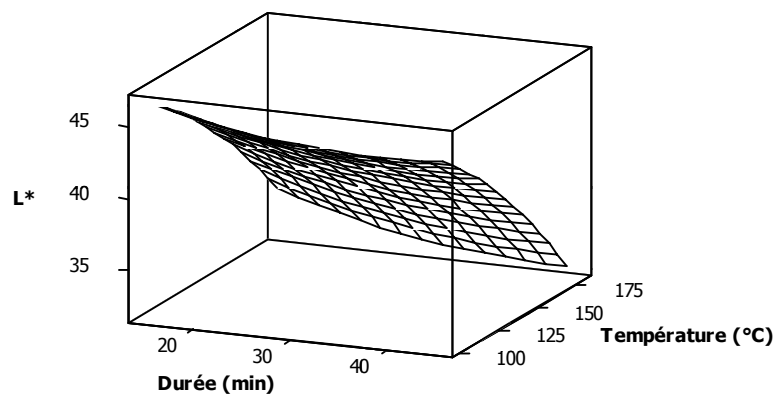


Figure 1. Surface de réponse montrant l'effet de la durée et de la température de torréfaction sur la couleur des amandes de *P. butyracea*.

Effet de la durée et de la température de torréfaction sur la qualité du beurre de P. butyracea

Effet sur l'acidité du beurre

L'acidité (Y7) en pourcentage d'acide oléique du beurre de *P. butyracea* obtenu après la torréfaction des amandes est comprise entre 0,28 et 0,38 % (Tableau 2). Le modèle généré explique 78 % de la variation de l'acidité du beurre au cours de la torréfaction avec un pourcentage d'écart absolu moyen (ADD) entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites de 0,81 % (Tableau 3). Seul l'effet quadratique de la durée et de la température de torréfaction influence significativement l'acidité du beurre. Aux températures inférieures à 140°C, on observe une augmentation de l'acidité du beurre en fonction de la durée de torréfaction (Figure 2).

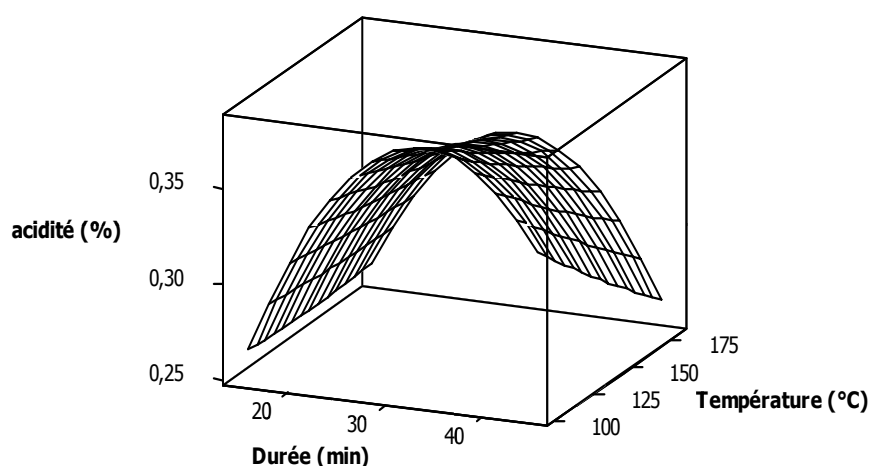


Figure 2. Surface de réponse montrant l'effet de la durée et de la température de torréfaction sur l'acidité du beurre de *P. butyracea*.

Par contre, une diminution de l'acidité du beurre a été observée aux températures supérieures à 140°C contrairement à nos attentes. Normalement, un traitement thermique élevé devrait provoquer une hydrolyse plus accentuée des triglycérides libérant des acides gras libres dans le milieu avec pour conséquence l'augmentation de l'acidité du beurre (Nde et

al., 2015). Ce comportement antithétique de la température pourrait être lié à la composition en acides gras du beurre de *P. butyracea* qui est constitué de 50 % d'acides gras insaturés (Adomako, 1977). Les acides gras insaturés sont thermolabiles parce qu'ils peuvent être facilement oxydés à partir des doubles liaisons en des composés primaires et secondaires d'oxydation tels que des aldéhydes et des cétones (Gunstone, 2004). L'oxydation de ces acides gras peut donc être la cause de la diminution de l'acidité du beurre aux températures élevées de torréfaction. En effet, il a été rapporté un phénomène similaire lors de l'extraction de l'huile de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) par microonde (Nde *et al.*, 2015). Par ailleurs, la stabilité des matières grasses diminue avec l'accroissement de la durée et de la température de torréfaction. Les valeurs de l'acidité des beurres obtenues sont inférieures aux valeurs obtenues par Honfo (2015) qui sont de l'ordre de 0,5 à 3 % lors du processus d'optimisation de la torréfaction des amandes de karité. Cette différence pourrait être due au fait que les amandes de *P. butyracea* ne possèdent pas de coques contrairement aux noix de karité. En effet, il a été rapporté que la présence de coque au niveau des noix de karité ne favorise pas un bon séchage et a pour conséquence l'augmentation de l'acidité du beurre dérivé des amandes (Woméni *et al.*, 2006).

Effet sur l'indice de peroxyde

L'indice de peroxyde (Y8) du beurre de *P. butyracea* au cours de la torréfaction est compris entre 2,63 et 3,38 méq O₂ /Kg de beurre (Tableau 2). Les effets linéaires de la durée et de la température de torréfaction influencent l'indice de peroxyde du beurre. Le modèle généré explique 74,7 % des variations de l'indice de peroxyde avec un ADD égal à $2,18 \times 10^{-2}$ % (Tableau 3). Une augmentation de l'indice de peroxyde est observée en fonction de la durée de torréfaction et de la température de torréfaction (Figure 3). À températures élevées, l'énergie thermique induit des scissions des chaînes d'acyle pour fournir des radicaux libres qui sont à la base de toutes les dégradations moléculaires et initie des chaînes d'autoxydation en présence de l'air (Nawar, 1986 ; Schaich *et al.*, 2013). L'augmentation de l'indice de peroxyde aux températures élevées vient justifier la faible acidité du beurre aux températures supérieures à 150°C. Par ailleurs, la stabilité des matières grasses diminue avec l'accroissement de la durée et de la température de torréfaction (Akinoso & Raji, 2011). Les fortes températures sont donc responsables de la dénaturation des antioxydants qui protègent les matières grasses de l'oxydation. Ainsi, les températures de torréfaction des amandes de *P. butyracea* supérieures à 150°C devront être évitées pour

préserver les antioxydants présents dans le beurre et ralentir les réactions d'autoxydation.

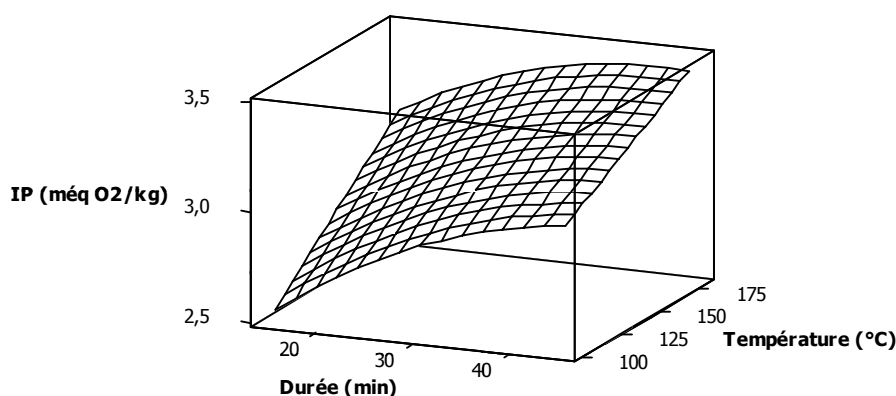


Figure 3. Surface de réponse montrant l'effet de la durée et de la température de torréfaction sur l'indice de peroxyde du beurre de *P. butyracea*

Effet sur la couleur

La couleur est l'un des importants attributs de qualité utilisée pour l'achat du beurre de karité (Honfo, 2015). Selon les consommateurs, un beurre de *P. butyracea* de bonne qualité doit avoir une couleur jaune-brillant et semblable à l'huile d'arachide à l'état liquide (Badoussi et al., 2014). La clarté (L^*) et le degré de saturation en jaune (b^*) sont les paramètres pris en compte pour la couleur du beurre. Le modèle généré explique respectivement 85,2 % et 85,1 % des variations de $L^*(Y5)$ et de $b^*(Y6)$ avec des ADD respectivement de 10^{-3} et de $1,6 \times 10^{-3}$. La valeur de $L^*(Y5)$ varie de 60,9 à 73 (Tableau 2) et est significativement influencée par les effets linéaire et quadratique de la durée et de la température de torréfaction alors que la valeur de b^* varie 28,66 à 36,33 et est significativement influencée par les effets quadratiques et d'interaction entre la durée et la température de torréfaction. A une température constante de 140°C, on observe une augmentation du degré de saturation en jaune en fonction de la durée de torréfaction (Figure 4 A). De similaire observation a été observée pour la clarté du beurre (Figure 4 B). Par contre à une durée de torréfaction constante, on observe une augmentation du degré de saturation en jaune en fonction de la température jusqu'à 150°C ; suivie d'une diminution aux températures supérieures à 150°C. Cependant, à des températures supérieures à 170°C, un phénomène connu sous le nom de blanchiment thermique a lieu et conduit à la décomposition de quelques

colorants notamment les caroténoïdes convertis en composés non colorés (Shahidi, 2013). La couleur jaune étant caractéristique du beurre de *P. butyracea*, la torréfaction à des températures supérieures à 170°C doivent être évitées.

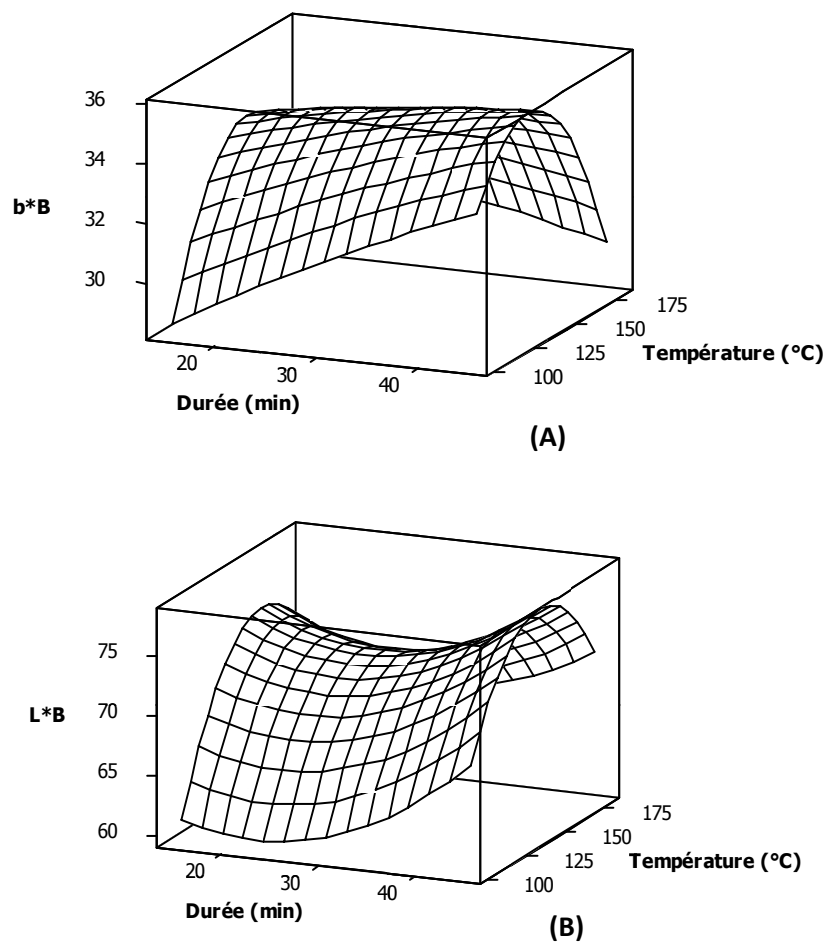


Figure 4. Surface de réponse montrant l'effet de la durée et de la température de torréfaction sur la couleur du beurre de *P. butyracea*

Effet de la durée et de la température de torréfaction sur le taux d'extraction du beurre de P. butyracea

L'extraction à froid du beurre de *P. butyracea* à l'aide du n-hexane à partir des amandes torréfiées a généré un taux d'extraction (Y4) compris entre 33,05

et 41,54 % (Tableau 2). On note un accroissement du taux d'extraction des amandes torréfiées comparativement à celui des amandes non torréfiées qui est de 32 %. La méthode utilisée n'extraît pas la totalité de la matière grasse des amandes. En effet, l'extraction au soxhlet à partir des amandes non torréfiées a donné un rendement d'extraction de l'ordre de 52 %. Cependant, cette méthode n'est pas appropriée pour évaluer l'effet d'un traitement thermique des amandes (Ismail & Yee, 2006 ; Akinoso & Raji, 2011). Le coefficient de détermination du modèle est de 67 % avec un ADD de 0,022 % (Tableau 3). L'effet linéaire de la température de torréfaction influence significativement le taux d'extraction du beurre. En effet, une augmentation de la température de torréfaction engendre une augmentation du rendement d'extraction indépendamment de la durée de torréfaction (Figure 5). Cette observation serait due au fait que l'augmentation de la température a un effet prononcé sur les cellules oléifères et cause leur désorganisation. Le chauffage a la capacité de rompre les membranes des cellules, de diminuer la viscosité de l'huile et d'augmenter la puissance de dissolution du solvant facilitant ainsi le processus d'extraction du beurre (Nde *et al.*, 2015).

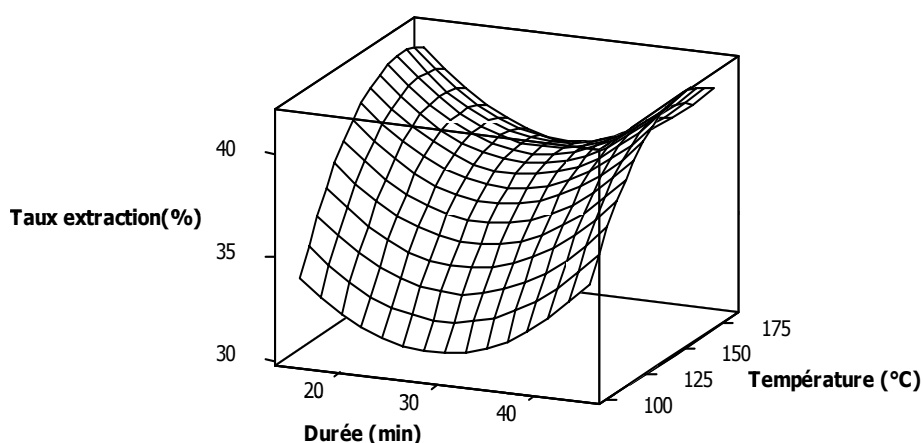


Figure 5. Surface de réponse montrant l'effet de la durée et de la température de torréfaction sur le taux d'extraction du beurre de *P. butyracea*

Conditions Optimales de torréfaction des amandes de P. butyracea

Les conditions optimales de torréfaction ont été déterminées en indiquant l'objectif visé pour chaque réponse. L'objectif visé pour la qualité du beurre est de minimiser l'acidité et l'indice de peroxyde du beurre et de maximiser la clarté et le degré de saturation en jaune du beurre (Tableau 4) en prenant

comme références les critères de qualité du beurre de karité de premier choix (Acidité < 1 % ; IP < 10 meq/Kg ; Couleur : Ivoire-Jaunâtre) (Lovett *et al.*, 2012 ; Defez, 1996). Quant aux amandes torréfiées, l'objectif visé est de maximiser le degré de saturation en jaune et en rouge et la clarté pour éviter la carbonisation des amandes torréfiées et de maximiser le taux d'extraction. La valeur de la désirabilité composite des réponses était de 0,94 pour une durée de torréfaction de 45 min à 136,52°C (Tableau 4). L'aptitude des modèles statistiques à prédire les réponses optimales a été testée à une durée de torréfaction de 45 min à 135°C. Le Tableau 4 montre les résultats de la vérification des modèles. Les pourcentages d'erreurs pour la clarté, le degré de saturation en rouge et le degré de saturation en jaune des amandes, le taux d'extraction et l'acidité, l'indice de peroxyde, la clarté et le degré de saturation en jaune du beurre sont respectivement de 3,23 %, 1 %, 5,67 %, 2,28%, 3,22 %, 0,31 %, 3,35 et 1,83 %. Les valeurs expérimentales trouvées sont dans la gamme des valeurs prédites. Les modèles sont donc valables et peuvent être validés. L'acidité, l'indice de peroxyde et la clarté du beurre issus des amandes torréfiées dans les conditions optimales sont inférieurs à ceux des beurres extraits des amandes torréfiées traditionnellement obtenues par les productrices (Badoussi *et al.*, 2015). Cependant le degré de saturation en jaune des deux types de beurre est identique. Ainsi, la maîtrise des paramètres de torréfaction permet d'obtenir un beurre de *P. butyracea* de premier choix.

Tableau 4. Paramètres de torréfaction, optimisation des réponses, désirabilité, et valeurs expérimentales pour les réponses dans les conditions optimales

Variables	objectif	Valeur inférieure	cible	Valeur supérieure	Valeur prédite	Désirabilité	Valeur expérimentale
Facteur						1	
X1(min)	Dans la gamme	15	à	45	45	1	45
X2(°C)	Dans la gamme	100	à	180	136,50	1	135
Réponse							
Y1 (L*)	maximiser	35	40	40	40,20	1	38,94±0,90
Y2 (a*)	maximiser	7	10	10	10,06	1	9,96±0,62
Y3 (b*)	maximiser	5	7	7	6,91	0,96	6,54±0,04
Y4 (%)	maximiser	39	41	41	40,48	0,74	39,5±0,75
Y5 (L*B)	maximiser		70	74	77,62	1	75,10±0,73
Y6 (b*B)	maximiser		34	36	35,66	0,83	35,02±0,31
Y7 (%)	minimiser		0,3	1	0,3	1	0,31±0,04
Y8(meq/kg)	minimiser	1	1	10	3,23	0,75	3,22±0,08

Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7 et Y8 (Cf. Tableau 3) ; X1 : durée de torréfaction (min) ; X2 : Température de torréfaction (°C)

CONCLUSION

La torréfaction est une opération unitaire qui cause des modifications biochimiques affectant la qualité des amandes torréfiées et du beurre de *P. butyracea* au cours de la production. Ces modifications sont liées à la durée de torréfaction, à la température de torréfaction et à l'effet d'interaction entre ces deux variables. Les meilleures conditions (135°C pendant 45 min) de torréfaction définies ont permis d'obtenir un beurre de qualité de premier choix utilisable dans les industries agroalimentaires et cosmétiques. Des tests en milieu réel auprès des transformatrices des amandes de *Pentadesma* en beurre devraient être effectués afin d'évaluer l'efficacité des barèmes de torréfaction définis.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par la Fondation Internationale pour la Science (IFS, Stockholm, Suède) et le Conseil Scientifique de l'Université d'Abomey-Calavi.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADOMAKO D. 1977. Fatty acid composition and characteristics of *Pentadesma butyracea* fat extracted from Ghana seeds. *J. Sci. Food Agri.*, 28: 384-386.
- AFNOR 1993. Recueil de normes françaises. Corps Gras Graines Oléagineuses Produits Dérivés. 5ème édition, Paris, France.
- AISSI M. V., TCHOBO F. P., NATTA A. K., PIOMBO G., VILLENEUVE P., SOHOUNHLOUE D. C. K. & SOUMANOU M. M. 2011. Effet des prétraitements post-récolte des amandes de *Pentadesma butyracea* (Sabine) sur la technologie d'extraction en milieu réel et la qualité du beurre. *OCL*, 18(6) : 384-392.
- AKINOSO R. & RAJI A. O. 2011. Optimization of oil extraction from locust bean using response surface methodology. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 113 : 245-252.
- ANJUM M. F., TASADDUQ I. & AL-SULTAN K. 1997. Response surface methodology: A neural network approach. *Eur. J. Oper. Res.*, 101 : 65-73.
- AVOCEVOU-AYISSO C., SINSIN B., ADEGBIDI A., DOSSOU G. & VAN DAMME P. 2009. Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin, *Forest Ecol Manag.*, 257: 1930-1938.
- AYEGNON B. P., KAYODÉ A. P. P., TCHOBO F. P., AZOKPOTA P., SOUMANOU M. M. & HOUNHOUIGAN D. J. 2015. Profiling the quality characteristics of the butter of *Pentadesma butyracea* with reference to shea butter. *J Sci Food Agric (wileyonlinelibrary.com)* DOI 10.1002/jsfa.7052.

- BADOUSSE E., AZOKPOTA P., MADODE Y. E., KAYODE A. P. P., DOSSOU A., SOUMANOU M. & HOUNHOUIGAN D. J. 2014 Variations in the traditional processing methods of *Pentadesma butyracea* butter in northern Benin. *Food chain*, 4(3) : 261-274.
- BADOUSSE E., AZOKPOTA P., MADODE Y. E., AMOUSSOU B. F., TCHOBO F. P., KAYODE A. P. P., DOSSOU A., SOUMANOU M. M & HOUNHOUIGAN D. J. 2015. Effet des opérations unitaires d'extraction sur le rendement et la qualité du beurre de *Pentadesma butyracea* produit en milieu traditionnel au Bénin. *J Appl Biosci*, 86 :7976– 7989.
- BADOUSSE E., AZOKPOTA P., MADODE Y. E., TCHOBO F. P., AMOUSSOU B. F., KAYODE A. P. P., DOSSOU A., SOUMANOU M. M & HOUNHOUIGAN D. J. 2015. Cooking and drying processes optimization of *Pentadesma butyracea* kernels during butter production. *Afr. J. Biotechnol.*, 14(39) :2777-2785.
- BAS D. & BOYACI I. H. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *J Food Eng.*, 78(3) :836-845.
- BETIKU E., OKUNSOLAWO S. S., AJALA S. O., ODEDELE O. S. 2015. Performance evaluation of artificial neural network coupled with generic algorithm and response surface methodology in modeling and optimization of biodiesel production process parameters from shea tree (*Vitellaria paradoxa*) nut butter. *Renew Energy*, 76 : 408-417.
- DEFEZ G. 1997. Traitement du beurre de karité. In : Synthèse des techniques connues d'extraction et de conditionnement du beurre de karité au Burkina Faso. Rapport final. Eds. Kassamba B, Projet filière karité du CECI IRSAT, Ouagadougou (*Burkina Faso*).
- DRISCOLL R. H. & MADAMBA P. S. 1994. Modeling the browning kinetics of garlic. *Food Australia*, 46 : 66-71.
- GUNSTONE F. 2004. The Chemistry of Oils and Fats Sources, Composition, Properties and Uses. *Blackwell Publishing Ltd*, Oxford.
- HONFO F. 2015. Quality of traditionally processed shea (*Vitellaria paradoxa*) kernels and shea butter. Ph. D. *Thesis Wageningen University*. 237p.
- HONFO F. G., LINNEMANN A. R., AKISSOE N. H., SOUMANOU M. M. & VAN BOEKEL M. A. J. S. 2012. Indigenous knowledge of shea processing and quality perception of shea products in Benin. *Ecol. Food Nutr.* 51(6): 505–525.
- ISMAIL A. & YEE C. L. 2006. Antioxidative effect of extracts of cocoa shell, roselle seeds, and a combination of both extracts on the susceptibility of cooked beef to lipid oxidation. *J. Food Technol.*, 4, 10–15.
- KEK S. P., CHIN N. L. & YUSOF Y. A. 2014. Simultaneous time-temperature-thickness superposition theoretical and statistical modelling of convective drying of guava. *J Food Sci Technol.*, 51(12) :3609–3622.
- KRYSIK W. & MOTYL-PATELSKA L. 2005. Effects of roasting conditions on the degree of lipid migration from cocoa bean kernel. *Inz. Chem. Process.* 26 (4): 817–829.
- KRYSIK W. 2011. 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.
- LOVETT P. N., MILLER E., MENSAH P., ADAMS V. & KANNENBERG C. 2012. Guide à l'exportation du beurre de karité en Afrique de l'Ouest. Eds. USAID-WATH.
- MYERS R. H. & MONTGOMERY D. C. 1995. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. New York: *John Wiley & Sons, Inc.*

- NATTA A. K. 2003. Ecological assessment of riparian forests in Benin : phytodiversity, phytosociology and spatial distribution of tree species. *Ph. D. Thesis Wageningen University*. 215p.
- NATTA A., SOGBEGNON R. & TCHOBO F. 2010. Connaissances endogènes et importance du *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) pour les populations autochtones au Nord Ouest Bénin. *Fruit Veg Cereal Sci Biotech*, 4 (Special Issue D): 18-25.
- NAWAR W.W. 1986. Lipids. In: Fennema, O.R. (Ed.), *Food Chemistry. Academic Press, New York*, pp. 225-320.
- NDE D. B., ABI C. F., TENIN D., KAPSEU C., TCHIEGANG C. 2012. Optimisation of the cooking process of sheanut kernels (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) using the Doehlert experimental design. *Food Bioprocess Technol.*, 5: 108-117.
- NDE D. B., BOLDOR D., ASTETE C. 2015. Optimization of microwave assisted extraction parameters of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) oil using the Doehlert's experimental design. *Ind Crop Prod.*, 65 : 233-240.
- NICOLI M. C., ELIZALDE B. E., PITOTTI A. & LERICI C. R. 1991. Effect of sugars and maillard reaction products on polyphenol oxidase and peroxidase activity in *Food. J. Food Biochem.*, 15 :169-184.
- OZDEMIR M. & DEVRES O. 2000. Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *J. Food Eng.*, 45 : 17-24.
- SCHAICH K. M., SHAHIDI F., ZHONG Y. & ESKIN N. A. M. 2013. Lipid Oxidation. In : *Biochemistry of Foods. Eds. Elsevier Inc*, pp 419-478.
- SHAHIDI F. 2013. Oilseed Processing and Fat Modification In : *Biochemistry of Foods. Eds. Elsevier Inc*, pp 363-384.
- TCHOBO F. P., ALITONOU G. A., NOUDOGBESSI J. P., LAGUERRE M., BAREA B., GEORGES P., NATTA A. K., VILLENEUVE P., SOUMANOU M. M. & SOUHOUNHLOUE K. C. D. 2013. Evaluation of the chemical composition of *Pentadesma butyracea* butter and defatted kernels. *Int. J. Biosci*, 3(1): 101-108.
- TROLLER L. A. 1989. Water activity and food quality. In T.M. Hardman, *Water and food quality*. London: Elsevier.
- WOMENI H. M., NDJOUENKEU R., KAPSEU C., PARMENTIER M. & FANNI J. 2006. Application du procédé séchage-friture aux amandes de karité : influence sur les indices chimiques de qualité et les propriétés de fusion du beurre. *OCL*, 13 : 297-302.