

Effet de différents écotypes d'amandes de *Pentadesma butyracea* sur le rendement d'extraction et la qualité du beurre dérivé

Marius Eric BADOUSI^{1,2*}, Balbine FAGLA AMOUSSOU², Yann E. MADODE²,
Ezéchiél AKAKPO², A. P. Polycarpe KAYODE², Paulin AZOKPOTA², Corneille AHANHANZO³,
Mohamed M. SOUMANOU⁴ et D. Joseph HOUNHOUIGAN²

¹ Ecole Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées (ENSBBA), Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), BP 14 Dassa-Zoumé, Bénin

² Laboratoire de Sciences des Aliments (LSA), Ecole de Nutrition et de Sciences et Technologies Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

³ Laboratoire de Génétique et des Biotechnologies, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Calavi, Bénin

⁴ Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA), Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin

* Correspondance, courriel : eric.badoussi@gmail.com

Résumé

L'amélioration du rendement d'extraction et la qualité du beurre de *Pentadesma butyracea* est une majeure préoccupation des productrices traditionnelles du beurre au Bénin. Le présent travail vise à optimiser le procédé de barattage et évaluer l'effet de différents écotypes d'amandes sur le rendement d'extraction et la qualité du beurre dérivé. La méthodologie de réponse de surface a été utilisée afin de déterminer les paramètres optimaux de barattage pour un meilleur rendement d'extraction du beurre de *Pentadesma*. Le procédé de barattage optimisé a été testé sur trois écotypes (Ecotypes I, II et III) d'amandes collectés au Nord du Bénin pour produire du beurre. Les principales caractéristiques physico-chimiques du beurre extrait de chaque écototype ont été évaluées avec des méthodes normalisées. Un effet significativement positif ($P < 0,05$) de la durée du barattage sur le rendement d'extraction a été observé. Un barattage motorisé réalisé pendant 75 min avec de l'eau chaude à 60°C aboutit à un rendement d'extraction du beurre de l'ordre de 36 %. L'indice d'iode des beurres extraits des amandes d'écotype III est significativement différent ($P < 0,05$) des indices d'iode des beurres extraits des amandes des écotypes I et II. Par contre, aucun effet n'est établi entre le rendement d'extraction (34,13 %), l'indice de peroxyde (1,9 méq O₂/Kg) l'acidité (0,35 %) et la teneur en eau (0,032 %) des beurres extraits, respectivement des trois groupes d'écotypes d'amandes. Ces différents beurres peuvent être utilisés dans les industries agroalimentaires et cosmétiques. Les caractéristiques génétiques des écotypes testés sont nécessaires pour la sélection des arbres de *P. butyracea* susceptibles d'être domestiqués.

Mots-clés : District phytogéographique, optimisation, domestication, *Pentadesma butyracea*, beurre de karité, écotypes, barattage, Nord-Bénin.

Abstract

Effect of different ecotypes of *Pentadesma butyracea* kernels on the extraction yield and quality of derived butter

Quantitative and qualitative assessment of *Pentadesma butyracea* butter processing is very important for the traditional butter processors in Benin. This work aims to optimize the churning process and evaluate the effect of *Pentadesma* kernels ecotypes on the extraction yield and the quality of the extracted butter. The Response Surface Method (RSM) was used to determine the optimal parameters for churning of butter. The optimized parameters have been performed during butter processing from different *Pentadesma* kernels ecotypes (Ecotypes I, II and III), collected in the Northern Benin. The main physicochemical characteristics of extracted butter have been evaluated using standard methods. A significantly positive effect ($P < 0.05$) of churning duration on the extraction yield was observed. Churning carrying out for 75 min using hot water (obtaining at 60°C) leads to an extraction yield of butter of about 36.0 %. The iodine value of butter extracted from *Pentadesma* kernels of Ecotype III was significantly different ($P < 0.05$) of that of butter extracted from kernels of ecotypes I and II. No effect was observed between the extraction yield (34.13 %), the peroxide value (1.9 méq O₂/Kg), free fatty acid (0.35 %) and moisture content (0.032 %) of butter extracted from the *Pentadesma* of the three ecotypes groups. The quality of the investigated butter can be used in food and cosmetics industries. The genetic characteristics of the investigated *Pentadesma* ecotypes are needed for the selection of *P. butyracea* trees to be domesticated.

Keywords : *phytogeographical district, churning process of butter, optimization, domestication, Pentadesma butyracea, shea butters, ecotypes, Northern Benin.*

1. Introduction

De nombreuses espèces végétales tropicales procurent des bénéfices aussi bien écologiques qu'économiques, comprenant la production de ressources de valeur ou d'importantes fonctions associées à la biodiversité tropicale et à la conservation [1]. *Pentadesma butyracea*, un arbre à but multiple, fournit à plusieurs populations locales une diversité de produits forestiers non ligneux au Bénin [2 - 4]. L'usage de son beurre, produit à partir de ses amandes comme produit d'exportation en substitut au beurre de cacao ou de karité dans les industries agroalimentaires et cosmétiques devient de plus en plus envisageable [5, 6]. Actuellement, le beurre de *Pentadesma* est produit avec des méthodes traditionnelles qui n'aboutissent toujours pas à un bon rendement avec un beurre de qualité qui reste à améliorer [7]. Ainsi, des efforts doivent être fournis pour améliorer la qualité du beurre produit par les productrices traditionnelles du beurre [7]. Pour améliorer le rendement d'extraction et la qualité du beurre, l'optimisation de certaines opérations unitaires critiques pour la production du beurre telles que les opérations de cuisson suivie du séchage et la torréfaction a été déjà effectuée [8, 9]. Cependant, le procédé de barattage qui est l'ultime et la principale opération déterminant le rendement d'extraction mérite d'être amélioré. Le barattage traditionnel consiste à malaxer à la main la pâte obtenue après mouture des amandes torréfiées avec ajout d'eau froide ou tiède à intervalle de temps jusqu'à l'apparition de la crème [5]. Il a été rapporté que la température et la quantité d'eau ajoutée au cours du barattage influencent significativement sur le rendement d'extraction pour ce qui concerne le beurre de karité [10]. Par ailleurs, en plus des paramètres technologiques qui peuvent influencer les caractéristiques physicochimiques et le rendement de production du beurre de *P. butyracea*, les caractéristiques intrinsèques des amandes utilisées pourraient avoir un effet significatif sur la qualité des beurres. En effet, il a été rapporté que la variété, le climat et les différences régionales influencent sur les caractéristiques physicochimiques du beurre de karité [11 - 15]. Par ailleurs, une variation de la composition

biochimique des graines, de la pulpe et des feuilles de baobab (*Adansonia digitata*) a été observée en fonction du type du sol et de la zone de provenance de l'arbre [16]. Au Bénin, *P. butyracea* est présent dans quatre districts phytogéographiques (Bassila, Borgou sud, Chaîne de l'Atacora et Borgou-nord) répartis en fonction du type du sol et du climat [17]. Le district de Bassila est caractérisé par un sol ferrallitique avec un climat soudano-guinéen contrairement au district phytogéographique Borgou nord qui est caractérisé par un sol ferrugineux avec un climat soudanien. Quant au district phytogéographique du Borgou sud, il est caractérisé par un sol ferrugineux avec un climat soudano-guinéen [17]. Ces différences pourraient donc affecter le rendement d'extraction et la qualité du beurre. Le présent travail vise à optimiser le procédé de barattage au cours de la production du beurre de *Pentadesma* et établir la relation entre la qualité du beurre obtenu et les différents écotypes d'amandes de *Pentadesma* collectées dans différentes zones géographiques au Nord du Bénin.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Des échantillons de trois différents écotypes d'amandes de *Pentadesma butyracea* ont été collectés dans trois différents districts phytogéographiques au Nord du Bénin, principalement à Bassila (Ecotype I), Borgou-sud, dans la commune de Tchaourou (Ecotype II) et à Borgou-nord dans la commune de Kandi (Ecotype III) (**Figure 1**). Ces différents districts phytogéographiques ont été constitués en fonction des conditions climatiques, de la pédologie et du type de végétation [17]. Les amandes collectées, obtenues après dépulpage des fruits, ont été utilisées pour produire du beurre de *Pentadesma butyracea* dont l'extraction a été réalisée avec un procédé optimisé de barattage. Avant la production du beurre les amandes ont subi un prétraitement conformément aux pratiques traditionnelles.

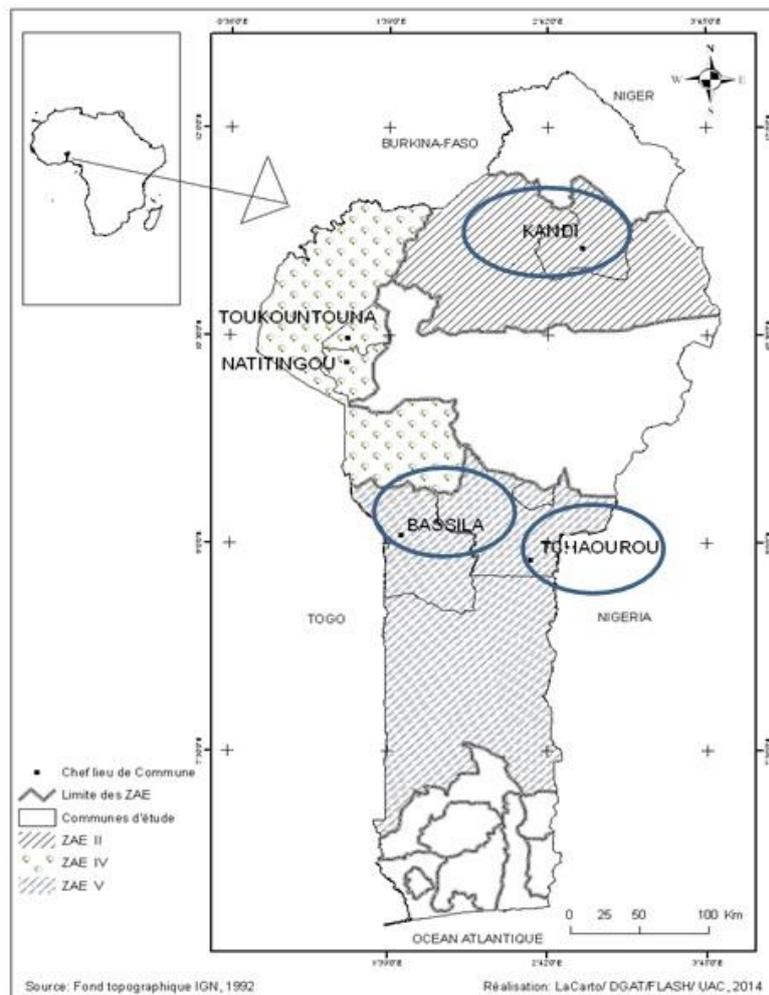


Figure 1 : Carte du Bénin montrant les différentes zones de collecte des échantillons d'amandes de *Pentadesma butyracea*

2-2. Méthodes

2-2-1. Prétraitement des amandes de *Pentadesma*

Les différents échantillons d'amandes collectés ont subi une cuisson à 100°C pendant 110 min, suivie d'un séchage à 55°C pendant 72 heures conformément aux conditions optimales de cuisson et de séchage définies [8]. Avant d'être utilisées pour l'extraction du beurre, les amandes de *Pentadesma* ainsi traitées et concassées ont été par la suite torréfiées au four à 135°C pendant 45 min, conditions optimales de torréfaction [9].

2-2-2. Optimisation du barattage pour la production du beurre

Le stock d'échantillons utilisé pour l'optimisation du barattage est constitué du mélange des trois écotypes d'amandes. Le barattage a été optimisé en utilisant la méthodologie de réponse de surface « Response Surface Methodology » (RSM). Avec cette méthode, la durée de barattage et la température de l'eau (utilisée pour réaliser la pâte à battre) ont été variées de 15 à 75 min et de 30 à 70°C, respectivement. Un plan composite centré de RSM a été conçu à l'aide du logiciel MINITAB 14 et a généré 13 essais (**Tableau 1**) qui ont été effectués pour produire du beurre avec les amandes de *Pentadesma butyracea* obtenues dans les conditions décrites au point 2.1 et 2.2.1. Le barattage a été effectué en utilisant une batteuse Kenwood (SILVER KM 283) réglé à 5tours/seconde.

Tableau 1 : Plan composite centré avec les 13 essais

Essais	Paramètres codés		Paramètres réels	
	(DB : min)	(TE : °C)	(DB : (min))	(TE : °C)
1	0	0,5	45	60
2	-1	-1	15	30
3	1	1	75	70
4	0	0	45	50
5	0	0	45	50
6	0,5	0	60	50
7	0	0	45	50
8	1	-1	75	30
9	-0.5	0	30	50
10	0	0	45	50
11	0	0	45	50
12	-1	1	15	70
13	0	-0,5	45	40

DB : Durée de barattage ; TE : Température de l'eau

Le rapport eau/farine d'amandes (v/m) utilisée est de 1,2, l'eau étant ajoutée trois fois à intervalles de temps régulier en fonction de la durée de barattage. Par exemple pour un barattage de 45 min, le tiers de la quantité totale d'eau à utiliser est à chaque fois ajouté à 0, 15 et 30 min. Cette fréquence a été choisie sur la base des expérimentations préalables à l'optimisation. Ainsi, à 250 g d'amandes torréfiées, 300 ml d'eau ont été ajoutées. Après le barattage, on obtient du beurre sale qui est d'abord lavé et chauffé jusqu'à la déshydratation complète. En réponse aux traitements d'optimisation, le rendement d'extraction du beurre a été évalué. Le rendement a été calculé à partir de la **Formule** ci-après :

$$R (\%) = [Quantité\ de\ beurre\ obtenue(g)/Quantité\ d'amandes\ utilisées\ (g)] \times 100$$

Une **Équation** du second degré (**Équation 1**) a été proposée pour exprimer l'évolution du rendement d'extraction en fonction de la durée de barattage et de la température de l'eau utilisée.

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

avec, Y : le rendement d'extraction 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 de barattage et de la température de l'eau, respectivement. Les valeurs codées ont été obtenues par transformation de valeurs réelles en utilisant la relation suivante :

$$xi = \frac{Xi - Xoi}{\Delta X} \tag{2}$$

avec, Xi : valeur réelle de la variable ; Xoi : valeur centrale de la variable et ΔX l'incrément.

2-2-3. Évaluation de l'aptitude des différents écotypes d'amandes de *Pentadesma* à la production du beurre

2-2-3-1. Évaluation du rendement de production.

Le rendement d'extraction des différents écotypes a été évalué en utilisant les paramètres optimaux de barattage définis pour l'extraction du beurre.

2-2-3-2. Évaluation de la qualité des beurres issus des différents écotypes

Préalable aux analyses, le beurre de *Pentadesma* a été produit à partir des différents groupes d'amandes en utilisant le procédé de barattage optimisé mis au point. La teneur en eau, l'acidité, l'indice de peroxyde et l'indice d'iode ont été déterminés, respectivement, suivant les méthodes normalisées NF 60-201, NF T 60-204, NF T 60-212 et NF ISO 3961 [18].

2-3. Analyse statistique

Pour la validation du modèle utilisé, le coefficient de détermination (r^2) et le pourcentage d'écart absolu moyen « Absolute Average Deviation » (AAD) entre les résultats expérimentaux et les valeurs prédites sont les deux critères utilisés, conformément à la méthode décrite par [19, 20]. Un modèle est considéré comme valide si $r^2 > 0,7$ et /ou $AAD < 10 \%$ [21]. 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 [20] :

$$ADD(\%) = \frac{100}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Y_{i,exp} - Y_{i,cal}}{Y_{exp}} \right|$$

avec, Y_i, exp et Y_i, cal : réponses expérimentales et calculées ou prédite, respectivement, et n : nombre d'essais. Les conditions optimales ont été définies en utilisant l'option "optimiseur de réponse" du logiciel MINITAB 14, logiciel de conception du plan d'expérience en fixant comme objectif la maximisation du rendement d'extraction.

L'analyse de variance au seuil de significativité de 5 % a été réalisée pour évaluer l'effet des différents écotypes d'amandes sur le rendement d'extraction et la qualité du beurre.

3. Résultats et discussion

3-1. Effet du barattage optimisé sur le rendement d'extraction du beurre

L'évaluation de l'effet de la durée de barattage et de la température de l'eau utilisée lors du barattage sur le rendement d'extraction a généré l'Équation suivante :

$$Y = 26,42 + 12,71x_1 + 0,36x_2 - 21,87x_1^2 + 13,13x_2^2 + 6,10x_1x_2$$

où, Y est le rendement d'extraction, x_1 : La valeur codée de la durée de barattage et x_2 la valeur codée de la température de l'eau.

Le rendement d'extraction varie de 2,40 à 36 % (Tableau 2).

Tableau 2 : Différents rendements obtenus en fonction des essais d'optimisation du barattage

Nombre d'essais	Paramètres codés		Paramètres réels		Rendement d'extraction (%)
	(DB : min)	(TE : °C)	(DB : (min))	(TE : °C)	
1	0	0,5	45	60	22,6
2	-1	-1	15	30	12
3	1	1	75	70	36
4	0	0	45	50	28,3
5	0	0	45	50	27,6
6	0,5	0	60	50	33,5

7	0	0	45	50	27,0
8	1	-1	75	30	21,2
9	-0,5	0	30	50	4,7
10	0	0	45	50	28,5
11	0	0	45	50	27,0
12	-1	1	15	70	2,4
13	0	-0,5	45	40	31,5

DB et TE (Cf. Tableau 1)

Le coefficient de détermination r^2 est de 85,1 % avec un ADD de 4,25 %. La durée de barattage influence significativement le rendement d'extraction du beurre. A 15 minutes de barattage, on observe une diminution du rendement d'extraction en fonction de la température de l'eau utilisée. Par contre, à la même température de l'eau, une augmentation du rendement d'extraction est observée après 75 min de barattage (**Figure 1**). Par ailleurs, quelle que soit la température de l'eau utilisée pour le barattage, on observe une augmentation du rendement d'extraction en fonction de la durée du barattage. La diminution du rendement d'extraction observée aux courtes durées de barattage à la suite de l'augmentation de la température de l'eau (de 30 à 70°C), serait due à la fusion du beurre sous l'effet de la température. En effet, le beurre sale obtenu à la fin du barattage devrait être semi solide [22] or la température de l'eau est au-delà du point de fusion du beurre obtenu à la température variant entre 20,4 et 39,3°C [23, 24]. La température relativement élevée permet la fragilisation des cellules oléifères qui libèrent leur contenu (l'huile) dans le milieu [25, 26]. Cependant, il faut un temps relativement long pour permettre au beurre libéré sous forme liquide de se solidifier de nouveau. Cette opération serait favorisée par la longue durée de barattage, ce qui justifierait l'augmentation du rendement d'extraction. Il a été rapporté que les courtes durées de barattage conduisent à de faible rendement de production, du fait de la présence de déchets dans le beurre [7]. La fréquence d'ajout de l'eau n'a pas été prise en compte lors du présent travail. Cependant, il a été rapporté que la fréquence de l'eau pourrait influencer le besoin d'ajout d'eau et la durée de barattage du beurre de karité [10]. Un barattage effectué pendant 75 min avec de l'eau chauffée à 60°C conduit à un rendement de l'ordre de 36 %.

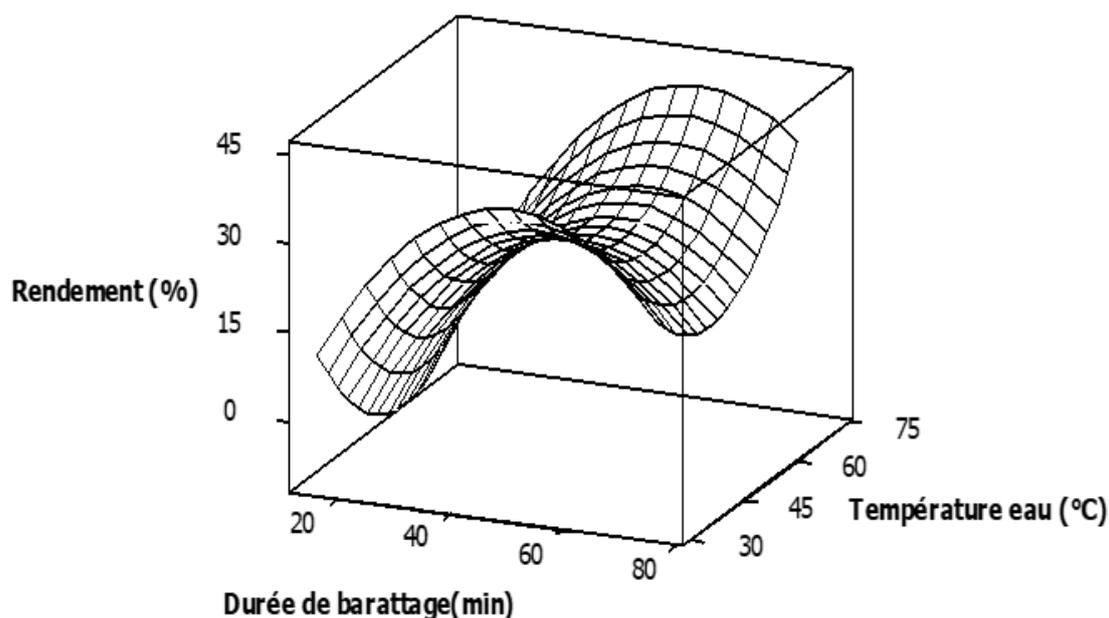


Figure 2 : Effet de la durée de barattage et de la température de l'eau utilisée sur le rendement d'extraction du beurre de *P. butyracea*

3-2. Effet des différents écotypes d'amandes de *Pentadesma* sur le rendement d'extraction du beurre

Le rendement d'extraction du beurre à partir des différents écotypes d'amandes ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$) (**Tableau 3**). Les différents rendements d'extraction obtenus sont supérieurs aux rendements d'extraction du beurre obtenu avec les méthodes traditionnelles à partir des amandes tout venant [7, 27]. En effet, les méthodes traditionnelles de production du beurre sont caractérisées par la non maîtrise des paramètres technologiques qui varient d'une productrice à une autre, ce qui a pour corolaire, la variabilité du rendement d'extraction et de la qualité du beurre [5, 7]. Au regard des résultats obtenus, l'amélioration du rendement d'extraction passe par la maîtrise des paramètres technologiques lors du processus d'extraction du beurre, notamment avec des amandes de *Pentadesma* de caractéristiques connues.

Tableau 3 : Rendement d'extraction des beurres issus des différents écotypes d'amandes, obtenus par le procédé optimisé de barattage

Écotypes	Districts phytogéographiques	Rendement d'extraction (%)
I	Bassila	36,1 ± 2,24a
II	Borgou-sud	31,9 ± 1,49a
III	Borgou-nord	34,4 ± 0,88a

Les nombres portant les mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ($P > 0,05$)

3-3. Effet des différents écotypes d'amandes de *Pentadesma* sur les caractéristiques physico-chimiques du beurre

Les caractéristiques physicochimiques des beurres produits à partir des différents écotypes d'amandes constitués sur la base de leur provenance géographique (**Tableau 4**) respectent les critères de qualité du beurre de premier choix par rapport à l'acidité, l'indice de peroxyde et la teneur en eau et en matières volatiles [28]. Ces différents beurres peuvent être donc utilisés dans les industries agroalimentaire et cosmétique, contrairement au beurre extrait des méthodes traditionnelles qui donnent un beurre de troisième choix [7].

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des beurres issus des différents écotypes d'amandes obtenus par le procédé optimisé de barattage

Écotypes	Districts phytogéographique	Indice de peroxyde (mégO ₂ / Kg beurre)	Acidité (%)	Indice d'iode	Teneur en eau(%)
I	Bassila	1,55 ± 0,23a	0,28 ± 0,18a	40,41 ± 1,19a	0,032 ± 0,008a
II	Borgou sud	2,17 ± 0,36a	0,25 ± 0,00a	41,15 ± 0,26a	0,026 ± 0,015a
III	Borgou nord	1,98 ± 0,11a	0,51 ± 0,03a	45,33 ± 0,44b	0,038 ± 0,005a

Les nombres portant les mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ($P > 0,05$)

En définitive, la méthode optimisée permet d'obtenir un beurre de qualité avec un rendement relativement élevé. Cependant, cette méthode optimisée fait appel à l'usage d'équipements modernes, contrairement aux matériels rudimentaires de production utilisés par les productrices en milieu traditionnel [5]. Par ailleurs, une différence significative ($P < 0,05$) est observée entre l'indice d'iode du beurre extrait des amandes d'écotype III par rapport aux indices d'iode des beurres extraits des amandes des écotypes I et II. Il a été rapporté que la composition en acides gras des huiles provenant de différentes sources est fonction de la provenance, des

facteurs génétiques, du degré de mûrissement des fruits, des conditions climatiques et de l'interaction entre des génotypes spécifiques et l'environnement [29 - 31]. La différence observée au niveau des indices d'iode pourrait être due à la composition en acide gras qui varie selon la qualité des beurres. En effet, l'indice diode est un critère distinctif qui permet de déterminer les liaisons éthyliques des acides gras insaturés présents dans un corps gras. Un regroupement éco morphologique des arbres de *P. butyracea* a montré que les arbres, les fruits et les amandes de *P. butyracea* situés dans les districts phytogéographiques de Bassila (Ecotype I) et de Borgou-sud (Ecotype II) avaient des caractéristiques différentes de ceux de Borgou-nord (Ecotype III) [32]. Par ailleurs, il a été établi une corrélation entre la composition en acide gras du beurre de karité et la provenance des amandes [12, 33]. Aussi, la composition en matières insaponifiables du beurre de karité sont-ils influencés par l'origine des arbres [13]. Au regard des résultats obtenus et de l'analyse des informations rapportées pour compléter ce travail, il est indispensable de déterminer la composition en acide gras et en matières insaponifiables des beurres issus des différents groupes d'amandes. Cette caractérisation doit être corrélée avec les caractéristiques génétiques de ces différents groupes.

4. Conclusion

Le travail a permis d'avoir quelques informations sur la traçabilité des beurres de *Pentadesma*. En effet, les différents écotypes d'amandes de *Pentadesma* de différente provenance géographique n'influencent pas le rendement d'extraction, l'indice de peroxyde et l'acidité du beurre. Par contre, une différence est observée au niveau de l'indice d'iode des beurres issus des différents écotypes. Cette différence laisse supposer une probable différence au niveau de la composition en acide gras de ces beurres. Par ailleurs, l'optimisation de l'opération de barattage a permis d'améliorer le rendement d'extraction. L'effet du procédé optimisé du barattage sur la qualité du beurre reste à établir de même que les caractéristiques génétiques des différents écotypes d'amandes de *Pentadesma*.

Remerciements

*Les auteurs remercient la Fondation Internationale pour la Science (IFS) et le Conseil Scientifique de l'Université d'Abomey-Calavi pour leur appui financier. Nous exprimons notre profonde gratitude aux productrices de beurre de *Pentadesma* du Bénin.*

Références

- [1] - J. A. HOLM, C. J. MILLER and JR. W. P. CROPPER, "Population Dynamics of the Dioecious Amazonian Palm *Mauritia flexuosa*: Simulation Analysis of Sustainable Harvesting," *Biotropica*, 40 (5) (2008) 550 - 558
- [2] - B. SINSIN and T. A. SINADOUWIROU, "Valorisation socio-économique et pérennité du *Pentadesma butyracea* Sabine en galeries forestières au Bénin," *Cahiers Agriculture*, 12 (2) (2003) 75 - 79
- [3] - A. NATTA, R. SOGBEGNON and F. TCHOBO, "Connaissances endogènes et importance du *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) pour les populations autochtones au Nord Ouest Bénin," *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 4 (2010) 18 - 25
- [4] - C. AVOCÈVOU-AYISSO, T. H. AVOHOU, M. OUMOROU, G. DOSSOU and B. SINSIN, "Ethnobotany of *Pentadesma butyracea* in Benin : A quantitative approach," *Ethnobotanic Research and Applications*, 9 (2011) 151 - 166

- [5] - E. BADOUSI, P. AZOKPOTA, Y. E. MADODÉ, A. P. P. KAYODÉ, A. DOSSOU, M. SOUMANOU and D. J. HOUNHOIGAN, "Variations in the traditional processing methods of *Pentadesma butyracea* butter in northern Benin," *Food chain*, 4 (3) (2014) 261 - 274
- [6] - B. P. AYEONON, A. P. P. KAYODÉ, F. P. TCHOBO, P. AZOKPOTA, M. M. SOUMANOU and D. J. HOUNHOIGAN, "Profiling the quality characteristics of the butter of *Pentadesma butyracea* with reference to shea butter," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (15) (2015) 137 - 3143, (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.7052
- [7] - E. BADOUSI, P. AZOKPOTA, Y. E. MADODE, B. F. AMOUSSOU, F. P. TCHOBO, A. P. P. KAYODE, A DOSSOU, M. M. SOUMANOU, and D. J. HOUNHOIGAN, "Effet des opérations unitaires d'extraction sur le rendement et la qualité du beurre de *Pentadesma butyracea* produit en milieu traditionnel au Bénin," *Journal of Applied Bioscience*, 86 (2015) 7976 - 7989
- [8] - E. BADOUSI, P. AZOKPOTA, Y. E. MADODÉ, B. F. AMOUSSOU, F. P. TCHOBO, A. P. P. KAYODÉ, M. M. SOUMANOU, and D. J. HOUNHOIGAN, "Cooking and drying processes optimization of *Pentadesma butyracea* kernels during butter production," *African Journal of Biotechnology*, 14 (39) (2015) 2777 - 2785
- [9] - E. BADOUSI, P. AZOKPOTA, Y. E. MADODE, F. P. TCHOBO, A. P. P. KAYODE, M. M. SOUMANOU, and D. J. HOUNHOIGAN, "Optimisation de la torrification des amandes de *P. butyracea* pour la production du beurre," *Annales des Sciences Agronomiques*, 20 (2) (2016) 105 - 122
- [10] - G. SON, S. G. YE and A. KABORE, "Besoins et pratiques du dosage de l'eau du procédé d'extraction du beurre de karité par barattage," *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 14 (2013) 45 - 52
- [11] - S. MARANZ and Z. WIESMAN, "Influence of climate on the tocopherol content of shea butter," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (10) (2004) 2934 - 2937
- [12] - S. MARANZ, Z. WIESMAN, J. BISGAARD, and G. BIANCHI, "Germplasm resources of *Vitellaria paradoxa* based on variations in fat composition across the species distribution range," *Agroforestry Systems*, 60 (1) (2004) 71 - 76
- [13] - D. DI VINCENZO, S. MARANZ, A. SERRAIOCCO, R. VITO, Z. WIESMAN and G. BIANCHI, "Regional variation in shea butter lipid and triterpene composition in four African countries," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (19) (2005) 7473 - 7479
- [14] - H. SANOU, N. PICARD, P. N. LOVETT, M. DEMBELE, A. KORBO, D. DIARISSO and J. M. BOUVET, "Phenotypic variation of agromorphological traits of the Shea Tree, *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., in Mali," *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53 (2006) 145 - 161
- [15] - S. BAIL, S. KRIST, E. MASTERS, H. UNTERWEGER and G. BUCHBAUER, "Volatile compounds of shea butter samples made under different production conditions in western, central and eastern Africa," *Journal of Food Composition and Analysis*, 22 (2009) 738 - 744
- [16] - A. E. ASSOGBADJO, F. J. CHADARE, R. GLELE KAKAÏ, B. FANDOHAN and J. J. BAIDU-FORSON, "Variation in biochemical composition of baobab (*Adansonia digitata*) pulp, leaves and seeds in relation to soil types and tree provenances," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 157 (2012) 94 - 99
- [17] - A. C. ADOMOU, Vegetation patterns and environnemental and conservation gradient in Bénin : implication for biogeography and conservation, Ph D thesis, Wageningen University, (2005) 136 p.
- [18] - AFNOR (Association Française de Normalisation), Recueil de normes françaises. Corps Gras Graines Oléagineuses Produits Dérivés," 5e édition, Paris, (1993)
- [19] - D. BAS and I. H. BOYACI, "Modeling and optimization I : Usability of response surface methodology," *Journal of Food Engineering*, 78 (3) (2007) 836 - 845
- [20] - E. BETIKU, S. S. OKUNSOLAWO, S. O. AJALA and O. S. ODEDELE, "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," *Renewable Energy*, 76 (2015) 408 - 417
- [21] - D. B. NDE, C. F. ABI, D. TENIN, C. KAPSEU and C. TCHIEGANG, "Optimisation of the cooking process of sheanut kernels (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) using the Doehlert experimental design," *Food and Bioprocess Technology*, 5 (2012) 108 - 117
- [22] - M. V. AISSI, F. P. TCHOBO, A. K. NATTA, G. PIOMBO, P. VILLENEUVE, D. C. K. SOHOUNHLOUE and M. M. SOUMANOU, "Effet des prétraitements post-récolte des amandes de *Pentadesma butyracea* (Sabine) sur la technologie d'extraction en milieu réel et la qualité du beurre," *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 18 (6) (2011) 384 - 392
- [23] - D. ADOMAKO, "Fatty acid composition and characteristics of *Pentadesma butyracea* fat extracted from Ghana seeds," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28 (1977) 384 - 386
- [24] - F. P. TCHOBO, G. A. ALITONOU, J. P. NOUDOGBESSI, M. LAGUERRE, B. BAREA, P. GEORGES, A. K. NATTA, P. VILLENEUVE, M. M. SOUMANOU and K. C. D. SOUHOUNHLOUE, "Evaluation of the chemical composition of *Pentadesma butyracea* butter and defatted kernels," *International Journal of Biosciences*, 3 (1) (2013) 101 - 108
- [25] - F. A. NORRIS, Extraction of fats and oils. In : Bailey's industrial oils and fats products 2, (Eds) Swern, Wiley, NewYork (USA), (1982) 175 - 252
- [26] - D. B. NDE, D. BOLDOR and C. ASTETE, "Optimization of microwave assisted extraction parameters of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) oil using the Doehlert's experimental design," *Industrial Crops and Products*, 65 (2015) 233 - 240
- [27] - A. C. HOUNGÉDJI, "Etude phytotechnique, écologique et des technologies de transformation de *Pentadesma butyracea*, espèce des galeries forestières de la région de Bassila," Mémoire de DAT, Bénin : Lycée Agricole Médji de Sékou, (1997) 59 p.
- [28] - P. N. LOVETT, E. MILLER, P. MENSAH, V. ADAMS and C. KANNENBERG, "Guide à l'exportation du beurre de karité en Afrique de l'Ouest," Eds. USAID-WATH, (2012)
- [29] - G. HOU, G. ABLETT, K. PAULS and I. RAJCAN, "Environmental effects on fatty acid levels in soybean seed oil," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83 (2006) 759 - 763
- [30] - G. BOSCHIN, A. D'AGOSTINA, P. ANNICCHIARICO, and A. ARNOLDI, "Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed," *Food Chemistry*, 108 (2) (2008) 600 - 606
- [31] - A. G. GHEBRETINSAE, S. A. GRAHAM, G. R. CAMILO and J. C. BARBER, "Natural infraspecific variation in fatty acid composition of *Cuphea* (*Lythraceae*) seed oils," *Industrial Crops and Products*, 27 (2008) 279 - 287
- [32] - E. B. K. EWÉDJÈ, I. PARMENTIER, A. NATTA, A. AHANCHÉDÉ and O. J. HARDY, "Morphological variability of the tallow tree, *Pentadesma butyracea* Sabine (Clusiaceae), in Benin," *Genetic Resources and Crops Evolution*, 59 (4) (2012) 625 - 633
- [33] - T. AKIHISA, N. KOJIMA, N. KATOH, Y. ICHIMURA, H. SUZUKI, M. FUKATSU, S. MARANZ and E. T. MASTERS, "Triterpene alcohol and fatty acid composition of shea nuts from seven African countries," *Journal of Oleo Science*, 59 (7) (2010) 351 - 360