



Propriétés physique et mécanique des graines de *Pentadesma butyracea* produites au Bénin

Roger H. Ahouansou^{1,3}, M. Vahid Aïssi², Emile A. Sanya³, Mohamed M. Soumanou^{2*}

¹Programme Technologies Agricoles Alimentaires, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 128, Porto-Novo, Bénin ;

²Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

³Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Appliquées, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin ;

*Auteur correspondant : Email : msoumanoufr@yahoo.fr

Originally Submitted on 23rd September 2011. Published online at www.m.elewa.org on February 27, 2012.

RESUME

Objectif : Les graines de *Pentadesma butyracea* (arbre à beurre) fournissent un beurre semblable au beurre de karité (*Vitellaria paradoxa*). Pour réduire les peines liées aux opérations traditionnelles d'extraction du beurre, il est nécessaire de concevoir des équipements de transformation performants. Ceci requiert d'abord l'étude des propriétés physique et mécanique des graines.

Méthodologie et Résultats : Avant d'être transformées en beurre, les graines sont soit bouillies et séchées au soleil soit torréfiées au four traditionnel. Ces graines ainsi traitées ont été collectées à Natitingou au nord ouestnord-ouest du Bénin puis analysées. Les résultats montrent que les dimensions, les valeurs massiques, la forme, les paramètres volumiques et mécaniques des graines sont variables. Les moyennes de masse et de volume de 1000 graines et la résistance minimale à l'écrasement moyenne sont respectivement de 6400 et 6797 g, de 6252 et 7100 cm³ et de 611,84 et 582 N pour les graines bouillies et séchées et les graines torréfiées.

Conclusion et application : Les caractéristiques physiques et mécaniques des graines de *Pentadesma butyracea* sont significativement différentes de celles des amandes de karité. Les graines de *Pentadesma butyracea* pèsent plus que les amandes de karité et ont une résistance à l'écrasement plus élevée. La valeur élevée de la résistance minimale à l'écrasement et de la densité pourraient conférer aux graines de *Pentadesma butyracea* particulièrement aux graines bouillies séchées une plus grande résistance aux attaques des rongeurs et un meilleur comportement en stockage. Toutefois, le concassage de ces graines consommerait plus d'énergie. Ces résultats constituent des données utiles pour la conception et l'optimisation d'équipements destinés à la transformation de ces graines ; ce qui permettrait de contrôler les conditions de prétraitements, d'améliorer le rendement d'extraction et la qualité du beurre.

Mots clés : *Pentadesma butyracea*, graines, propriétés physiques, force de rupture.

Physical and mechanical properties of *Pentadesma butyracea* seeds from Benin

ABSTRACT

Objectives: The *Pentadesma butyracea* (butter tree) seeds provide a similar butter to the Shea butter (*Vitellaria paradoxa*). To reduce the problems related to the traditional operations of butter extraction, it is

necessary to design high - performance processing equipment. This requires initially, the study of the physical and mechanical properties of the seeds.

Methodology and Results: Before being transformed into butter, the seeds are either boiled, sun dried or roasted in a traditional furnace. These heat-treated seeds were collected from Natitingou in the western north of Benin Republic and analyzed. The results showed that the dimensions, mass values, form, volume and mechanical parameters of seeds varied. The averages for a thousand seeds mass, thousand seeds volume and the rupture strength were respectively 6400 and 6797 g, 6252 and 7100 cm³, 611.84 and 582 N for boiled sun-dried and roasted seeds.

Conclusion and application of findings: The physical and mechanical properties of *Pentadesma butyracea* seeds and shea kernels were significantly different. The *Pentadesma butyracea* seeds were heavier than the shea kernels and have a higher rupture strength. The high rupture strength and density could particularly confer to the boiled and sun-dried *Pentadesma butyracea* seeds a greater resistance to the rodents attacks and a better storage. However, the crushing of these seeds would require more energy. These results provide useful data for design and optimization of the intended equipment for transformation of these seeds in order to control the conditions of pretreatments and to improve the extraction output and quality of butter.

Key Words: *Pentadesma butyracea*, seeds, physical properties, rupture strength.

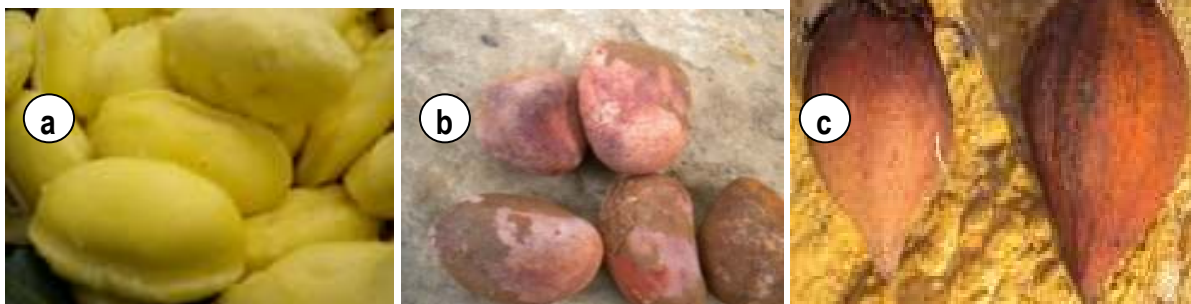
INTRODUCTION

Les espèces forestières alimentaires sont abondantes dans les écosystèmes forestiers africains et elles contribuent à l'économie des ménages, au renforcement de la sécurité alimentaire et à la conservation de la diversité biologique des ressources forestières (Vantomme, 1999). Au Bénin, dix (10) espèces ligneuses alimentaires sont classées prioritaires à cause de leur importance économique, de la menace pour leur extinction et de l'existence ou non d'un programme de recherche ou de gestion au profit de ces espèces (Dah-Dovonon, 2000). Parmi elles, *Pentadesma butyracea* occupe une place de choix à cause non seulement de la teneur en matières grasses de ses graines mais également de sa capacité/aptitude à donner d'autres types d'aliments. En effet, *Pentadesma butyracea* communément appelé arbre à beurre est un arbre à buts multiples dont le principal produit est le beurre. Le fruit de cet arbre est une baie conique contenant des graines riches en graisses (Dah-Dovonon, 2000). Les graisses (beurre) sont extraites par les productrices rurales par un procédé artisanal identique à celui des amandes de karité (Natta *et al.*, 2010). Le beurre de *Pentadesma butyracea* est souvent substitué au beurre de karité en cas de déficit de ce dernier ou lorsque l'on veut éviter l'odeur caractéristique du

beurre de karité. Il est utilisé pour certaines préparations culinaires traditionnelles et aussi pour certains traitements thérapeutiques (Sinsin & Sinadouwirou, 2003). Le beurre de *Pentadesma butyracea* est d'une excellente et meilleure qualité organoleptique que celle du karité (N'Klo, 2001). Outre l'utilisation du beurre dans l'alimentation, l'espèce offre plusieurs autres produits de pharmacopée (maux de côtes, toux chez les enfants, etc.), des produits cosmétiques, du bois de chauffe (Sinsin & Sinadouwirou, 2003), du bois dur utilisé pour les poteaux, mortier et pilon. Ses feuilles seraient de bons légumes lactogènes pour les nourrices. Malheureusement, son potentiel de production est en diminution d'une génération à une autre. Il importe de valoriser le *Pentadesma butyracea* avec des mesures telles que la protection de la régénération des plants et des tiges d'avenir, la mise au point de méthodes de culture de l'espèce, l'amélioration de la technique de transformation des graines et l'organisation de la filière.

Traditionnellement, le beurre (Photo a) survient à la suite des opérations de broyage (concassage) de la graine (Photo b) prétraitée, elle-même extraite de la pulpe du fruit (Photo c), de la torréfaction, de la mouture, du barattage et du chauffage du beurre sale. Ces opérations sont

réalisées par les femmes qui se plaignent de la pénibilité et de la faible productivité des opérations manuelles.



Photos : Beurre (a), graines (b) et fruits (c) de *Pentadesma butyracea*

La conception et la réalisation d'équipements de transformation efficaces ne sont possibles sans une connaissance approfondie des propriétés physiques et mécaniques des graines, car d'elles dépendent leurs efficacités et performance. Deux types de graines prétraitées sont transformés en beurre : les graines bouillies et séchées au soleil et

les graines torréfiées dans un four traditionnel. La présente étude a pour objet, l'évaluation des propriétés physiques et mécaniques des graines de *Pentadesma butyracea* du Bénin, indispensable à la mise au point de tout équipement approprié à leur transformation.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé est la graine de *Pentadesma butyracea*. Ces graines provenaient de la commune de Natitingou au Nord-ouest de la République du Bénin. Deux types de graines ont été collectées près des transformatrices : les graines bouillies et séchées et les graines torréfiées. Pour les premières, les graines ont été bouillies à l'eau (94 - 98 °C) pendant 60 min dans une marmite puis séchées au soleil durant une semaine. Pour les secondes, les graines ont été torréfiées pendant 240 min en deux étapes : feu fort (220 - 270 °C) puis feux doux (100 - 125 °C) dans un grand four

traditionnel spécial fait en terre cuite ayant à sa partie supérieure une grille réalisée à l'aide de branches d'arbre. L'ébouillantage des graines de *Pentadesma butyracea* est pratiqué par les ethnies Waama, Batombu, Yom, et Natimba tandis que la torréfaction est pratiquée par les Otamari.

Détermination des caractéristiques physiques : La teneur en eau des graines a été déterminée suivant la norme ISO-662-1998. 100 graines sont moulues à l'aide d'un moulin et 5 g de moulure sont séchés à 105°C durant 08 heures. La teneur en eau en base sèche (bs) est calculée selon la formule :

$$B_{(bs)} = \frac{(m_0 - m)}{m} * 100 \text{ (\%)} \quad (1)$$

Où m_0 et m sont respectivement la masse initiale de l'échantillon humide et la masse de l'échantillon après évaporation (en g). Les dimensions moyennes (longueur, largeur, épaisseur) des graines sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse de précision

0,01 mm. La connaissance des dimensions permet de déterminer d'autres paramètres caractéristiques des graines à l'aide des relations ci-après (Zavrjajnov & Nikolow, 1990) :

- l'élongation des graines (E) : $E = L / l \quad (2)$

- le degré d'aplatissement des graines (A) : $A = l / e$ (3)

- le diamètre basé sur la moyenne arithmétique des dimensions (D_a) donné par :

$$D_a = (L + l + e) / 3 \text{ (mm)} \quad (4)$$

- le diamètre basé sur la moyenne géométrique des dimensions (D_g) calculé à l'aide de la formule ci-après (Mohsenin, 1980 ; Çalişir et al., 2005) :

$$D_g = (L \times l \times e)^{1/3} \text{ (mm)} \quad (5)$$

- la sphéricité des graines (S): $S = L^{-1} \times (L \cdot l \cdot e)^{1/3}$ (6)

Où L , l et e représentent respectivement la longueur, la largeur et l'épaisseur de la graine en mm.

La masse de 1000 graines a été déterminée suivant la norme ISO-520. Le volume réel de 1000 graines a été obtenu à l'aide du pycnomètre de Brückner sur des prises d'essai de 100 graines. La partie inférieure du pycnomètre est remplie de xylène jusqu'à la graduation 0. Les 100 graines sont versées dans le liquide et le volume (V) du liquide déplacé est lu. Le volume réellement déplacé par les 1000 graines est ensuite

$$\rho = m / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (7)$$

Le volume des 1000 graines permet de déduire le volume moyen d'une graine (V_z) qui, couplé avec la masse volumique (ρ), fournissent les paramètres massiques des graines suivant (Chasseray, 1991):

- le diamètre équivalent (D_E): $D_E = 1,24 \sqrt[3]{V_z}$ (m) (8)

- l'aire massique (S_m): $S_m = 6 \times (\rho \times D_E)^{-1}$ (m²/kg) (9)

- le volume massique (S): $S = 6 \times \rho^{-1}$ (m³/kg) (10)

La masse volumique apparente (ρ_0) des graines est celle mesurée lorsque les graines sont amoncelées dans un récipient de volume connu et laissant les espaces vides inter granulaires naturels. 500 g de graines sont introduits dans une éprouvette graduée. Après avoir tassé les graines, le volume (V_0) occupé par l'échantillon est lu. La masse volumique apparente

considéré. La masse volumique réelle des graines a été déterminée par la méthode (AOAC, 1980). 500 g de graines sont introduits dans le pycnomètre contenant du xylène jusqu'à la graduation 0. Le volume V du liquide déplacé est lu sur le col gradué de l'appareil. La masse volumique (ρ) est calculée à l'aide de la formule :

(ρ_0) est obtenue dans ces conditions, en remplaçant V par V_0 dans la relation (7).

La porosité (P) ou degré d'espaces vides contenus dans le produit en pourcentage, lorsque celui-ci n'est soumis à aucune pression effective extérieure, est donnée par la relation de Mohsenin (1980):

$$P = 100 \times (\rho - \rho_0) / \rho_0 \text{ (%)} \quad (11)$$

Détermination des paramètres de friction et mécaniques : Le coefficient de frottement statique de la graine a été déterminé à partir de son angle maximal au repos. La méthode du plan incliné (Dutta et al., 1988 ; Mohsenin, 1980) dont le principe est décrit ci-après a été utilisée pour mesurer l'angle maximal au repos de la graine. L'appareil utilisé, de type table de mesure ANDILOG Technologies, est constitué d'un cadre métallique de longueur 70 mm et de largeur 35 mm mobile autour d'un axe passant par sa largeur inférieure. Un dispositif de relevage permet de lui imprimer progressivement ce mouvement d'inclinaison.

Le cadre métallique mobile peut porter différentes surfaces (tôle noire, tôle inox, grille.) sur laquelle le produit peut mouvoir. Une boîte creuse de plexiglas mesurant 150 mm de longueur, 100 mm de largeur et 40 mm d'épaisseur est posée sur la surface (dont on veut déterminer le coefficient de frottement) portée par le cadre mobile. La boîte remplie de graines est soulevée légèrement sur une hauteur variant de 5 à 10 mm, de manière à ce que ses bords inférieurs ne touchent plus la surface et qu'ils reposent sur les graines. Les graines portant le cadre étant posées sur la surface, le cadre métallique est relevé à l'aide du

dispositif de relevage. La surface est relevée lentement jusqu'au moment où la boîte creuse commence à se déplacer vers le bas. L'angle θ du cadre métallique

$$\mu_s = \tan \theta \tag{12}$$

L'angle statique au repos est l'angle, par rapport à l'horizontal, à partir duquel les graines seront en équilibre lorsqu'elles sont entassées. Il est déterminé à l'aide d'un cylindre, de diamètre 15 cm et de hauteur 25 cm, ouvert par le haut et le bas, placé au centre d'une plaque de diamètre 35 cm. Une fois le cylindre rempli

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right) \tag{13}$$

Mesure de la résistance à l'écrasement : La mesure de la résistance à l'écrasement a été effectuée à l'aide du dynamomètre AMANDUS KHAL de précision 0,001 N sur un lot de 50 graines choisies au hasard. Chaque graine est individuellement pincée entre les deux plateaux de l'appareil, dans la direction de l'épaisseur jusqu'à son écrasement. La force appliquée pour l'écraser détermine alors la résistance à l'écrasement. La vitesse de la compression de l'amande est

avec l'horizontal est déterminé par lecture directe et le coefficient de frottement statique μ est calculé par la formule :

de graines, il est relevé lentement jusqu'à ce que les graines forment un cône sur la plaque circulaire. La hauteur du cône est mesurée de même que son diamètre. L'angle statique au repos est calculé par la relation (Razavi *et al.*, 2007 ; Orguven, & Kubilay, 2004) :

constante et fixée à 5 mm/mn (Ahmadi *et al.*, 2009a ; Ahmadi *et al.* 2009b).

Analyses statistiques : Toutes les données ont été collectées en six répétitions. Les moyennes et les écarts types ont été calculés à l'aide du logiciel MINITAB 14 pour Windows. Les moyennes ont été comparées à l'aide du Test-t pour échantillons indépendants. Une probabilité inférieure à 0,05 fut considérée comme étant significative.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 présente la teneur en eau et les valeurs massiques moyennes des graines de *Pentadesma butyracea* collectées à Natitingou. Les résultats obtenus montrent que la masse moyenne de 1000 graines sont de 6400 pour les graines bouillies séchées et de 6797 g pour les graines torréfiées. La différence de teneur en eau pourrait expliquer cette variation de même que la différence de 0,006 m²/kg observée entre les aires massiques moyennes des deux types de graines. Les graines du *Pentadesma butyracea* sont

plus lourdes que les amandes de karité. En effet, la masse moyenne de 1000 amandes de karité collectées au Bénin, à teneur en eau de 8,69 % (bs) est 4004 g (Ahouansou *et al.*, 2008). Elle varie entre 1170 g et 5320 g avec une valeur moyenne de 2490 g pour les amandes du Burkina Faso à une teneur en eau de 3,7 % (Yé & Destain, 2004). La masse de 1000 graines déduite des travaux de Aviara au Nigeria est estimée à 8000 g à une teneur en eau de 5,66 % (bh) (Aviara *et al.*, 2000).

Tableau 1 : Valeurs massiques des graines de *Pentadesma butyracea*.

Paramètres	Graines bouillies séchées	Graines torréfiées fumées
Teneur en eau (% bs)	5,64 ± 0,08a	6,41 ± 0,06b
Masse de 1000 – graines (g)	6400 ± 221a	6797 ± 260b
Aire massique (m ² /kg)	0,256 ± 0,01a	0,262 ± 0,01a

Les valeurs moyennes sur la même ligne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Les dimensions des graines de *Pentadesma butyracea* sont présentées dans le tableau 2. De l'analyse de ces résultats, il ressort que les valeurs moyennes des dimensions :longueur, largeur et épaisseur des graines

de *Pentadesma butyracea* collectées à Natitingou sont respectivement de 26,89 ± 3,51 mm ; 22,41 ± 2,91 mm et 17,78 ± 2,61mm pour les graines bouillies séchées et de 30,21±4,26 mm ; 24,14±3,39 mm et 17,47±3,07 mm pour les graines torréfiées. Les différences

enregistrées entre les dimensions ne sont pas significatives et pourraient être dues à la différence de teneurs en eau ou à celle du mode de traitement, car la torréfaction fait perdre aussi bien de l'eau que des arômes contrairement à l'ébouillantage. En effet, Aviara

et al. (2005) ont noté une augmentation des dimensions des amandes de karité en fonction de la teneur en eau. Une étude combinée sur les effets de la teneur en eau et du mode de traitement permettrait d'approfondir ces résultats.

Tableau 2 : Dimensions des graines de *Pentadesma butyracea*

Paramètres	Graines bouillies séchées	Graines torréfiées
Longueur (mm)	26,89±3,51a	30,21 ± 4,36a
Largeur (mm)	22,14 ± 2,91a	24,14 ± 3,39a
Épaisseur (mm)	17,78 ± 2,61a	17,47 ± 3,07a
Moyenne arithmétique du diamètre (mm)	22,27 ± 2,48a	23,97 ± 2,82a
Moyenne géométrique du diamètre (mm)	21,88 ± 2,46a	23,24 ± 0,86a
Diamètre équivalent (mm)	22,84 ± 0,07a	23,82 ± 0,46b

Les valeurs moyennes sur la même ligne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Les écart-types témoignent de la variabilité de la taille des graines. Globalement, les graines du *Pentadesma butyracea* sont plus grosses que les amandes de karité obtenues au Bénin et au Burkina-Faso. En effet, les dimensions moyennes, à savoir longueur, largeur et épaisseur des amandes de karité collectées au Bénin sont respectivement de : 25,6 ± 1,4 mm ; 15,15 ± 0,60 mm et 17,83 ± 0,81 mm (Ahouansou et al., 2008). Les dimensions des amandes de karité collectées à Bobo-Dioulasso au Burkina Faso sont respectivement de 21,91 mm, 15,86 mm et 13,08 mm pour la longueur, la largeur et l'épaisseur (Yé & Destain, 2004). Par contre, les dimensions des graines

de *Pentadesma butyracea* analysées sont proches de celles des amandes de karité collectées au Nigeria dans la région de Adamawa ayant respectivement pour longueur 29,62 mm ; largeur 20,30 mm et épaisseur 18,20 mm (Aviara et al., 2000). Les diamètres basés sur les moyennes arithmétiques et géométriques des graines sont relativement proches des diamètres équivalents et suivent les mêmes tendances que les dimensions. Olajide et al. (2000) rapportent un diamètre géométrique de 25,2 mm sur les amandes de karité étudiées au Nigeria. Le tableau 3 présente les valeurs des paramètres volumiques des graines du *Pentadesma*.

Tableau 3 : Paramètres volumiques des graines de *Pentadesma butyracea*

Paramètres	Graines bouillies séchées	Graines torréfiées
Volume de 1000 graines (cm ³)	6252 ± 59a	7100 ± 413b
Volumique massique (m ³ /kg)	0,0059 ± 0,00a	0,0063 ± 0,00a
Masse volumique réelle (kg/m ³)	1023,81 ± 41a	958,33 ± 36b
Masse volumique apparente (kg/m ³)	592,3 ± 13a	543,30 ± 30a
Densité	1,02 ± 0,01a	0,95 ± 0,03b
Porosité (%)	42,76 ± 1,07a	43,33 ± 1,32a

Les valeurs moyennes sur la même ligne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Il ressort de ces résultats que le volume de 1000 graines torréfiées est supérieur de 13,56 % à celui des graines bouillies séchées. Ces variations s'expliqueraient par la différence entre les dimensions des deux types de graines. Le volume de 1000 graines de *Pentadesma butyracea* est supérieur à celui des amandes de karité (4025 cm³), par contre les volumes massiques sont assez proches. Les amandes de karité présentent un volume massique égal à 0,0059 m³/kg (Ahouansou et al., 2008). A volume égal, les graines

bouillies séchées ont une masse plus élevée que les graines torréfiées en dépit de leur faible teneur en eau. Sur le marché local où la vente se fait au volume, il est plus intéressant, à la transformatrice, d'acheter les graines bouillies séchées. Elle pourra alors obtenir plus de beurre. Les graines de *Pentadesma butyracea* bouillies séchées ont une densité supérieure à celle des graines torréfiées. La densité des graines bouillies séchées est proche de celle des amandes de karité qui est de 1,10 au Burkina Faso (Yé & Destain, 2004) et de

1,11 au Nigeria (Aviara *et al.*, 2000). La densité d'une graine est généralement fonction de sa compacité et de sa texture. Elle dépend en outre de la teneur en eau. Les graines torréfiées sont plus poreuses entre elles que les graines bouillies séchées. Ceci confirme que, dans le contexte béninois de commercialisation de ces graines qui est le même que celui des amandes de karité, il n'est pas intéressant pour la transformatrice d'acheter les graines torréfiées. A volume égal, elle a moins de graines et plus de vide.

Les données du tableau 4 présentent les valeurs moyennes des paramètres de forme des graines de *Pentadesma butyracea*. Il en ressort que les graines bouillies séchées sont plus aplaties et moins allongées que les graines torréfiées. La différence entre les teneurs en eau des graines pourraient expliquer cette variation. Les amandes de karité présentent un

aplatissement égal à 0,85 et une elongation de 1,68 (Ahouansou, 2008). Ces amandes sont plus bombées et plus allongées que les graines de *Pentadesma butyracea*. Par contre, les amandes de karité étudiées au Bénin sont moins sphériques que les graines de *Pentadesma butyracea*. En effet, la sphéricité de ces amandes est égale à 0,74 selon Ahouansou *et al.* (2008), contre 0,77 à 0,82 pour les graines de *Pentadesma butyracea*. La sphéricité des amandes de karité collectées au Cameroun augmente de 0,70 à 0,84 lorsque la teneur en eau passe de 15 à 100%. (Bup *et al.*, 2008). Aviara *et al.* (2000) rapportent que la sphéricité des amandes collectées à Michika varie entre 0,68 et 0,75 tandis que Olajide *et al.* (2000) indiquent une valeur moyenne de 0,80 sur les amandes de karité de la région d'Ogbomosho.

Tableau 4 : Paramètres de forme des graines de *Pentadesma butyracea*

Paramètres	Graines bouillies séchées	Graines torréfiées
Aplatissement	1,26 ± 0,19a	1,41 ± 0,23a
Elongation	1,22 ± 0,15a	1,26 ± 0,17a
Sphéricité	0,82 ± 0,06a	0,77 ± 0,07a

Les valeurs moyennes sur la même ligne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Les paramètres de friction et mécaniques des graines de *Pentadesma butyracea* sont regroupés dans le tableau 5. Les valeurs caractéristiques de friction des graines bouillies sont supérieures à celles des graines torréfiées. Cette différence pourrait s'expliquer par l'état de rugosité de la surface des graines. En effet, les graines torréfiées sont lisses alors que les graines bouillies séchées ont leur surface portant des fissures, facteurs d'adhérence. Aussi, les graines bouillies sont-elles plus denses que les graines torréfiées. L'angle statique au repos des amandes de karité, à teneur en eau de 4,35% (bs) est égal à 34° et le coefficient de frottement statique sur la tôle galvanisée est égal à 0,52 (Olajide *et al.* 2000). L'angle statique au repos des graines de *Pentadesma butyracea* est donc inférieur à celui des amandes de karité analysées par ces auteurs. Cependant, les coefficients de frottement statique sont

similaires, bien que les tôles utilisées soient différentes. La résistance minimale à la rupture des graines bouillies est supérieure de 5,15% à celle des graines torréfiées. Cet écart s'expliquerait par la forte densité des graines bouillies séchées et éventuellement par leur faible teneur en eau. La résistance minimale des amandes de karité du Burkina est estimée à 365 ± 147 N (Yé & Destain, 2004). La mesure de la force minimale à la rupture des amandes de karité collectées dans la zone d'étude indique une valeur moyenne de 399,26 ± 115 N. Les valeurs élevées de la force de rupture et de la densité pourraient conférer aux graines de *Pentadesma butyracea* bouillies séchées une plus grande résistance aux attaques des rongeurs et un meilleur comportement en stockage. Toutefois, le concassage de ces graines consommerait plus d'énergie.

Tableau 5 : Paramètres de friction et mécanique des graines de *Pentadesma butyracea*

Paramètres	Graines bouillies séchées	Graines torréfiées
Angle statique au repos (°)	30,21 ± 4,3 a	24,3 ± 4,1a
Coefficient de frottement statique sur tôle noire	0,52 ± 0,19a	0,50 ± 0,06a
Coefficient de frottement statique sur tôle inoxydable	0,50 ± 0,03a	0,45 ± 0,09a
Résistance minimale à la rupture (N)	611,84 ± 302a	582 ± 247a

Les valeurs moyennes sur la même ligne avec la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

CONCLUSION

L'étude présentée a permis la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des graines de *Pentadesma butyracea* produites au Bénin. Cette caractérisation a porté sur les graines bouillies séchées d'une part et les graines torrifiées d'autre part. Les valeurs moyennes des teneurs en eau des graines collectées étaient de 5,64 % et 6,41% respectivement pour les graines bouillies et les graines torrifiées. A ces teneurs en eau, les dimensions moyennes de graines torrifiées (longueur et largeur) sont supérieures à celles des graines bouillies respectivement de 5 et 12 % avec un diamètre équivalent égal à 23,82 mm et 22,84 mm et des sphéricités respectives de 0,77 et 0,82. La masse et le

volume réels de 1000-graines de *Pentadesma butyracea* bouillies et torrifiées sont respectivement 6400 g et 6797 g puis 6252 cm³ et 7100 cm³ fournissant les densités respectives de 0,95 et 1,02. Une charge minimale de 582 N suffit pour rompre les graines torrifiées et de 611,84 N pour celles bouillies séchées aux teneurs en eau sus indiquées. Ces différents paramètres fournissent des indications indispensables pour la conception et l'optimisation d'équipements destinés à la transformation de ces graines ; ce qui permettrait de contrôler les conditions de prétraitements et d'améliorer le rendement d'extraction et la qualité du beurre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahouansou RH, Sanya EA, Bagan G, Foudjet A, 2008. Etude de quelques caractéristiques physiques des noix et amandes de karité produites au Bénin. Science et Technique, Sciences Appliquées et Technologies 2 : 29-38.
- Ahmadi H, Mollazaber K, Khorshidi J, Mohtasebi SS, Rajabipour A, 2009a. Some physical and mechanical properties of fennel seed (*Foeniculum vulgare*). Journal of Agricultural Science 1 (1): 66-75.
- Ahmadi, H., Fathollahzadeh, H., Mbli, H. 2009b. Post-harvest physical and mechanical properties of apricot fruits, pits and kernels (C.V. *Sonnati Salmas*) cultivated in Iran. Pakistan Journal of Nutrition 8 (3) : 264-268.
- AOAC, 1980. Official methods of analysis. 13th edition. Association of Official Analytical Chemist. Washington D. C.
- Aviara NA, Oluwole FA, Haque MA, 2005. Effect of moisture content on some physical properties of sheanuts (*Butyrospermum paradoxum*). International Agrophysics, 19 : 193 – 198.
- Aviara NA, Haque MA, Izge IA, 2000. Physical and frictional properties of sheanuts. Agro-Science Journal 1 : 19-34.
- Bup Nde D, Kapseu C, Tenin D, Kuitche A, Abi Fon C, Tchiegang C, 2008. Variation of physical properties of sheanut (*Vitellaria Paradoxa* Gaertn) kernels during convective drying. International Journal of Food Engineering 4 (7) Article 7. www.bepress.com/ijfe/vol4/iss7/art7
- Çalışır S, Marakakoğlu T, Öztürk Ö, Öğüt H, 2005. Some physical properties of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.). Ziraat Fakültesi Dergisi 19 (36) : 87-92.
- Chasseray P, 1991. Caractéristiques physiques des grains et de leurs dérivés In Les industries de première transformation des céréales : Technique et documentation – Lavoisier, pp 105 - 144.
- Dah-Dovonon JZ, 2000. Espèces Ligneuses Alimentaires au Bénin in Réseau « Espèces Ligneuses Alimentaires » Compte rendu de la première réunion du Réseau, 11-13 décembre 2000, CNSF Ouagadougou, Burkina Faso. www.biodiversityinternational.org/fileadmin/b...
- Dutta SK, Nema VK, Bhardwaj RK, 1988. Physical properties of gram. Journal of Agricultural Engineering Research 39 : 259-268.
- International Standard Organisation, ISO-520, Geneva, Switzerland, 1998.
- International Standard Organisation, ISO-662, Geneva, Switzzland, 1998.
- Mohsenin, NN, 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd edition (revised). Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- Natta A, Sogbégnon R, Tchobo F, 2010. Connaissances endogènes et importance du *Pentadesma butyracea* (*Clusiaceae*) pour les populations autochtones au Nord-Ouest Bénin. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology 4 : 18-25.

- N'Klo O, 2001. Situation des ressources génétiques forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de Savanes). Service de la mise en valeur des ressources forestières, Division des ressources forestières. FAO, Rome. 17-20.
- Olajide JO, Ade Omowaye BIO, Otunola ET, 2000. Some physical properties of shea kernel. Journal of Agricultural Engineering Research 76 (2) : 419-421.
- Orguven F, Kubilay V, 2004. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*). Journal of Food Engineering 68 : 191-196
- Razavi SMA, Mohammad Amini A, Rafe A, Emadzadeh B, 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part III: Frictional properties. Journal of Food Engineering 81 (1) : 226-235.
- Sinsin B, Sinadouwirou TA, 2003. Valorisation socio-économique et pérennité du *Pentadesma butyracea* Sabine en galeries forestières au Bénin. Cahiers d'études et de recherches francophones/Agriculture 12 : 75-79.
- Vantomme P, 1999. FAO. Activités relatives aux produits forestiers non ligneux. OIBT, Actualités des Forêts Tropicales 7 : 25 - 33.
- Yé GS, & Destain MF, 2004. Etude d'une presse à huile : Caractérisation technique des presses manuelles à karité existant au Burkina Faso et détermination de l'effort de concassage de l'amande de karité. Mémoire DEA. Sciences Agronomiques et Ingénierie biologique. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 75p.
- Zavrjajnov AI, Nikolow DI, 1990. Mécanisation de la préparation et de la conservation des fourrages. ISBN-5-10-000761-3. 336p.