

## Propriétés physiques et mécaniques des fruits séchés et amandes de deux morphotypes de *Terminalia catappa* provenant de trois types de sols

Kowiou ABOUDOU<sup>1</sup>, Midimahu Vahid AISSI<sup>1,2</sup>, Fidèle Paul TCHOBO<sup>1</sup>, Miguel ADANKPO<sup>4</sup>,  
Mathieu MEDENOUVO<sup>3</sup> et Mohamed Mansourou SOUMANOU<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Génie de Technologie Alimentaire, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire, 01 BP 2009 Recette Principale Cotonou, Bénin

<sup>2</sup> Université Nationale d'Agriculture, Ecole des Sciences et Techniques de Conservation et de Transformation des Produits Agricoles, BP 144 Sakété, Bénin

<sup>3</sup> Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Essais et Recherches en Génie Civil, BP 526 Cotonou, Bénin

<sup>4</sup> Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Génie Mécanique et Energétique, 01 BP 2009 Recette Principale Cotonou, Bénin

\* Correspondance, courriel : [msoumanoufr@yahoo.fr](mailto:msoumanoufr@yahoo.fr)

### Résumé

Les fruits de *Terminalia catappa* renferment des amandes comestibles desquelles peut être extraite une matière grasse intéressante. L'objectif de ce travail est d'investiguer les propriétés physiques et mécaniques post-récolte des fruits et des amandes de deux morphotypes de *T. catappa* collectés sur trois types de sols afin de fournir des données utiles pour la conception d'équipements pour leur transformation. Les résultats obtenus indiquent que les valeurs moyennes de longueur, de largeur, d'épaisseur, des diamètres arithmétique, géométrique et équivalent des fruits séchés ont varié respectivement de 50,19 à 66,41 mm, de 29,48 à 38,87 mm, de 22,98 à 27,84 mm, de 34,21 à 41,06 mm, de 31,28 à 38,20 mm et de 25,1 à 29 mm. Les amandes variaient de 22,73 à 33,09 mm en longueur, de 7,88 à 10,2 mm en largeur, de 6,06 à 8,07 mm en épaisseur, de 12,28 à 16,06 mm en diamètre arithmétique, de 10,14 à 12,53 mm en diamètre géométrique et de 10,8 à 14,3 mm en diamètre équivalent. A l'exception des propriétés géométriques, du diamètre équivalent et de la force de rupture des fruits séchés, aucune différence significative n'a été observée entre les autres caractéristiques physiques déterminées quel que soit le morphotype, le type de sol et la zone de provenance. La force de résistance à l'écrasement des fruits séchés a été déterminée suivant la verticale, l'horizontale et la hauteur et a oscillé respectivement de 1952,6 à 3293,8 N, de 454,13 à 2654 N et de 600,8 à 2266,9 N.

**Mots-clés :** badamier, fruits, caractéristiques physiques, force de rupture, post-récolte.

### Abstract

**Physical and mechanical properties of dried fruits and almonds of two morphotypes of *Terminalia catappa* from three types of soil**

The *Terminalia catappa* fruits contain edible almonds of which can be extracted an interesting fat. The objective of this work was to investigate the post-harvest physical and mechanical properties of the fruits

and almonds of two morphotypes of *T. catappa* collected from three types of soils in order to provide useful data for the design of equipments for their transformation. The results showed that the average values of the length, the width, the thickness and the arithmetic, geometric and equivalent diameters of dried fruits varied from 50.19 to 66.41 mm, from 29.48 to 38.87 mm, from 22.98 to 27.84 mm, from 34.21 to 41.06 mm, from 31.28 to 38.20 mm and from 25.1 to 29 mm respectively. The almonds ranged from 22.73 to 33.09 mm in length, from 7.88 to 10.2 mm in width, from 6.06 to 8.07 mm in thickness, from 12.28 to 16.06 mm in arithmetical diameter, from 10.14 to 12.53 mm in geometrical diameter and from 10.8 to 14.3 mm in equivalent diameter. Except the geometrical properties, the equivalent diameter and the rupture strength of dried fruits, no significant variation was observed between the other physical properties determined whatever the morphotype, the soil type and the origin. The crushing strength of dried fruits was determined by following the vertical and the horizontal axis and the height and oscillated from 1952.6 to 3293.8 N, from 454.13 to 2654 N, and from 600, 8 to 2266.9 N.

**Keywords :** *almond tree, fruits, physical characteristics, rupture strength, post-harvest.*

## 1. Introduction

Les espèces ligneuses à usages multiples d'Afrique sont utiles pour les communautés humaines en raison de leur contribution à la satisfaction des besoins en alimentation, en santé, en énergie et autres aspects du bien être humain [1]. Au Bénin, certaines de ces espèces sont connues pour leurs fruits qui regorgent d'énormes potentialités recherchées dans bon nombre de domaines tandis que d'autres demeurent marginales. Le badamier (*Terminalia catappa*) se distingue parmi ces dernières du fait de sa productivité non négligeable en fruits quasiment inexploités au Bénin. Originaire de la région Indo-Malaise, il appartient à la famille des combrétacées [2] ; [3] et est largement répandu dans la région subtropicale et les zones tropicales des océans indien et pacifique [4]. Selon [5], le badamier est utilisé comme arbre d'ornement sur le long des artères des voix urbaines ou les places publiques. Ses fruits sont composés d'une couche plus ou moins mince de pulpe enveloppant la coque d'une noix contenant une amande comestible [6]. Cette amande joue un rôle important dans l'alimentation de nombreuses personnes dans le monde en ce sens qu'elle sert à compléter les éléments nutritifs fournis par les céréales et les légumineuses [7] qui font souvent défaut dans le régime alimentaire des pays en développement [8].

Plusieurs études réalisées au Ghana [9], au Nigéria [10] en Côte d'Ivoire [11], et en Thaïlande [4] ont montré qu'elle contient une quantité importante d'éléments nutritifs tels que les lipides (43,36 - 63,65 %), les protéines (18,39 - 40,9 %), les fibres, les sels minéraux (Mg, Ca, Fer, Zinc) et les vitamines (A, B2, E). Selon [12], son huile est riche en acides gras insaturés avec des pourcentages élevés en acides oléique (31,48 %) et linoléique (28,93 %) et contient également des acides palmitique (35,96 %) et stéarique (4,13 %) comme principaux acides gras saturés. [13] a rapporté qu'elle possède aussi des caractéristiques anti-oxydantes et s'utilise dans la cuisson dans certaines régions de l'Amérique [12]. Traditionnellement, l'accès à cette amande passe nécessairement par le séchage des fruits, le concassage manuel des fruits séchés, le décorticage et le triage des amandes [14]. De toutes ces opérations, le décorticage est la plus fastidieuse qui cause d'énormes peines à la population. La pénibilité de cette opération pourrait limiter la valorisation technologique de l'amande malgré ses potentiels nutritionnels. La conception et la construction d'équipements de transformation efficaces, adaptés aux contraintes liées au décorticage, pourraient permettre une meilleure valorisation de ces fruits. Ceci ne pourra être possible sans une connaissance approfondie des propriétés physiques et mécaniques des fruits séchés ; car l'efficacité et la performance des équipements en dépendent [15]. Comme le soulignent [16], les propriétés physiques sont surtout nécessaires à prendre en compte pour

la conception des équipements et divers procédés de traitement (récolte, transport, séchage, etc.) de la matière première [17]. Bien que le fruit de badamier ait fait l'objet de plusieurs travaux scientifiques, aucune investigation ne semble avoir été effectuée sur les propriétés physiques et mécaniques des fruits séchés et des amandes. Par ailleurs, le badamier produit deux morphotypes de fruits (Rouge et Jaune) [18] et se retrouve principalement dans la zone côtière du Bénin et dans le département de l'Ouémé [19]. [20] ont rapporté que les caractéristiques physico-chimiques des noix varient en fonction des espèces, de la situation géographique et de la saison. Afin donc de disposer de données indispensables pour la construction ou l'adaptation de décortiqueuses et autres équipements de manutention et de transformation, le présent travail vise d'une part à évaluer les propriétés physiques et mécaniques des fruits séchés et des amandes de *T. Catappa* et à apprécier l'influence du morphotype, du type de sol et de la zone de provenance sur ces propriétés d'autre part.

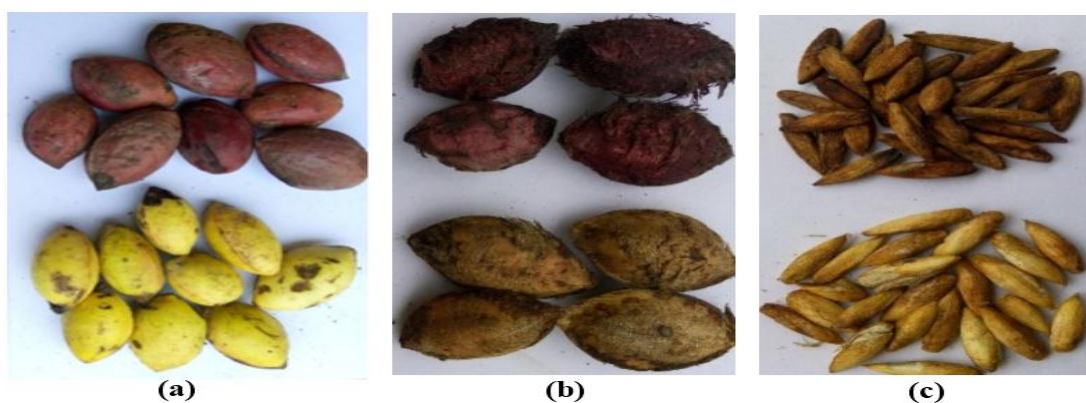
## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Échantillonnage des fruits de badamier

Les sites de présence de *T. catappa* ont été identifiés à travers une prospection générale dans l'aire de répartition de l'espèce au Bénin révélée par [19] notamment la zone côtière du Bénin et le département de l'Ouémé. Lors de la collecte des échantillons sur les sites retenus (Abomey-Calavi, Ouidah et Cotonou dans la zone côtière, Sèmè Podji, Adjarra et Porto-Novodans le département de l'Ouémé), la méthode proposée par [21] et utilisée par [22] pour la sélection des peuplements naturels d'arbres de néré a été utilisée pour le choix des pieds de badamier : arbres non dégradés ou non menacés de disparition; effectif assez élevé en pieds de badamier; possibilité d'observation sur plusieurs années. Les arbres sont ensuite choisis selon les morphotypes (Rouge et Jaune) (*Figure 1*) de badamier et du type de sols à savoir : ferralitiques, sableux et hydromorphes décrits par [23] comme sols majeurs dans l'aire de répartition au Bénin. Au total, 18 arbres (2 morphotypes x 3 types de sols x 3 arbres) ont été pris en compte dans chaque zone. Sur chacun de ces arbres, la collecte de 10 Kg de fruits a été réalisée entre le mois d'Août 2015 et de Janvier 2016 pour constituer le lot de fruits à caractériser.

#### 2-1-1. Préparation des échantillons

Les fruits mûrs (*Figure 1*) collectés ont été séchés au soleil pendant une semaine afin de réduire la teneur en eau et faciliter l'opération de décorticage [14]. Les différents fruits séchés sont divisés en deux lots dont le premier a été conditionné dans des paniers pour les différentes analyses et le deuxième a été décortiqué manuellement à l'aide d'un marteau puis les amandes sont séparées des coques. Les amandes (*Figure 1*) obtenues sont ensuite conditionnées dans des sachets alimentaires pour les différentes analyses.



**Figure 1** : Fruits frais (a), fruits secs (b) et amandes (c) des morphotypes rouge (en haut) et jaune (en bas) de badamier

### 2-1-2. Détermination des caractéristiques physiques des fruits séchés et des amandes

La méthode proposée par [24] modifiée a été utilisée pour la détermination de la teneur en eau des fruits séchés et des amandes. Dans une capsule préalablement séchée et tarée, 5 g d'échantillon sont prélevés et mis à sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Les échantillons sont ensuite refroidis dans le dessiccateur avant chaque pesée. Les opérations de chauffage, de refroidissement et de pesée sont répétées, avec des séjours successifs dans l'étuve de 30 minutes chacun, jusqu'à ce que la perte de masse entre deux pesées successives ne dépasse pas 2 mg. La teneur en eau (Te) est exprimée en pourcentage sur une base humide (bh) selon l'Équation (1):

$$Te = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (1)$$

Te étant la teneur en eau et en matières volatile,  $m_0$ , la masse en gramme du creuset,  $m_1$ , la masse en gramme du creuset et de la prise d'essai avant chauffage et  $m_2$ , la masse en gramme du creuset et de la prise d'essai après chauffage.

Les longueurs, largeurs et épaisseurs des fruits séchés et des amandes ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse (DIGITAL CALIPER : 0-150 mm) de précision 0,01 suite à l'identification de la position d'équilibre des fruits séchés et des amandes. C'est une position qui permet au fruit séché d'être caractérisé dans l'espace par sa partie longitudinale (longueur, L suivant l'axe x), transversale (largeur, l sens y) et sa hauteur (épaisseur, e suivant z) suivant le repère (0, i, j, k). Ladite position est identifiée en laissant tomber le fruit séché ou l'amande d'une hauteur de quelques centimètres. La connaissance de ces dimensions à savoir la longueur (L), la largeur (l) et l'épaisseur (e) a permis de déterminer d'autres paramètres caractéristiques des fruits séchés et des amandes décrits par les Équations (2), (3) et (4), selon [25]:

- le diamètre basé sur la moyenne arithmétique des dimensions mesurées (Da) est calculé par :

$$Da = \frac{L+l+e}{3} (mm) \quad (2)$$

- le diamètre basé sur la moyenne géométrique des dimensions mesurées (Dg) est calculé selon la méthode de [26]:

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

$$\text{et le diamètre équivalent (D}_E\text{): } D_E = 1,24 \sqrt[3]{Vz} (m) \quad (4)$$

L'élongation, le degré d'aplatissement et la sphéricité des fruits séchés et des amandes ont été déterminés par la méthode de [27] selon les Équations (5), (6) et (7) suivantes :

- l'élongation (E):  $E = \frac{L}{l} (mm) \quad (5)$

- le degré d'aplatissement (A):  $A = \frac{l}{e} (mm) \quad (6)$

- la sphéricité (S):  $S = L^{-1} \times L \times l \times e)^{\frac{1}{3}} (mm) \quad (7)$

Le volume réel de 1000 fruits séchés a été déterminé à l'aide d'une éprouvette graduée en mL (maximum 1000 mL). Il permet de déduire le volume moyen d'un fruit sec (Vz) par prises d'essai de 50 fruits séchés. La partie inférieure du pycnomètre est remplie de xylène jusqu'à la graduation zéro. Les 50 fruits

séchés sont versés dans le liquide et le volume (V) du liquide déplacé est lu. C'est le volume réellement déplacé par 1000 fruits séchés qui est ensuite considéré. La masse volumique réelle ( $\rho$ ) des fruits séchés a été également déterminée par la méthode de la Norme [28]. 50 g de fruits séchés 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 réelle ( $\rho$ ) est calculée à l'aide de ***l'Équation (8)*** :

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (8)$$

Le volume des 1000 fruits séchés permet de déduire le volume moyen d'un fruit séché ( $V_z$ ) qui, couplé avec la masse volumique ( $\rho$ ), permettent de calculer les paramètres massiques des fruits séchés d'après la méthode des [25, 29] et les ***Équations (9) et (10)*** à savoir :

- l'aire massique ( $S_m$ ) :  $S_m = 6 \times (\rho \times D_E)^{-1} (m^2/kg)$  (9)

- le volume massique (S) :  $S = 6 \times \rho^{-1} (m^3/kg)$  (10)

Les masses de mille (1000) fruits séchés et de 1000 amandes sont déterminées suivant la norme ISO520 à l'aide d'une balance électronique de précision 0,001g. La densité (d) des fruits séchés et des amandes de badamier est calculée par le rapport de la masse de 1000 fruits séchés ( $m'$ ) sur le volume réelle de 1000 fruits séchés ( $v'$ ) (***Équation (11)***). La masse volumique apparente ( $\rho$  apparente) des fruits séchés est celle mesurée lorsque les fruits séchés sont entassées dans un récipient de volume connu et laissant les espaces vides inter granulaires naturels. On prélève un échantillon de masse ( $m_o$ ) que l'on verse dans une éprouvette graduée. Après avoir amoncelé les fruits séchés, on lit le volume ( $V_o$ ) occupé par l'échantillon. Cette masse a été calculée à l'aide de ***l'Équation (12)***. La porosité (P) en (%), est le degré d'espaces vides contenus dans le produit lorsque celui-ci n'est soumis à aucune pression effective extérieure. Elle est déterminée par ***l'Équation (13)*** de [29].

-  $d = \frac{m'}{v'}$  (11)

-  $\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \text{ (kg/m}^3\text{)}$  (12)

-  $P = 100 \times (\rho - \rho_o) / \rho_o \text{ (%)}$  (13)

### ***2-1-3. Détermination des propriétés mécaniques des fruits séchés***

La force de résistance à la rupture des fruits séchés a été mesurée en évaluant leur résistance à la compression avec une presse IMPACT 50 KN multi-vitesse sur un lot de 50 fruits séchés choisis au hasard selon le morphotype et le type de sols pour les deux zones étudiées. C'est une presse munie d'un comparateur à cadran gradué en mm de 0 à 100. Elle a été calculée par ***l'Équation (14)*** suivante :

$$F = (20,957 X + 0,1293) \times 1000 \quad (14)$$

où, F est la Force de résistance à la rupture en N et X, la valeur lue sur le cadran du comparateur.

Chaque fruit séché a été individuellement pincé entre les deux plateaux de l'appareil, suivant la longueur, la largeur et 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 a été constante et fixée à 5 mm / min [30].

### 2-1-4. Analyses statistiques

Toutes les données ont été collectées en six répétitions et les analyses statistiques descriptives effectuées en utilisant le tableur Microsoft Excel 2013. Une analyse de variance suivie du test de Student-Newman-Keuls (SNK) a été réalisée pour comparer les fruits séchés provenant des différents morphotypes, des différents types de sols et des différentes zones.

## 3. Résultats et discussion

### 3-1. Caractéristiques physiques des fruits séchés et des amandes de badamier

La teneur en eau des fruits séchés et des amandes de deux morphotypes de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols et de deux zones de l'aire de répartition de l'espèce au Bénin a varié respectivement de 12,14 à 34,35 % et de 6,80 à 15,69 % (**Tableau 1**). La teneur en eau des fruits séchés était plus élevée que celles des amandes. Toutefois, toutes les teneurs en eau déterminées étaient supérieures à celle recommandée par [31] (7-8 %). Cela révèle qu'un séchage complémentaire des échantillons analysés est nécessaire notamment si les lots de fruits ou d'amandes doivent être conservés longtemps [32]. La longueur, la largeur et l'épaisseur constituent des paramètres très importants pour la construction des équipements de concassage, de broyage et d'extraction des huiles [33]. Ces paramètres ont varié respectivement de 50,19 à 66,41 mm, de 29,48 à 38,87 mm et de 22,98 à 27,84 mm pour les fruits séchés (**Tableau 2**) puis oscillaient respectivement entre 22,73 et 33,09 mm, 7,88 et 10,2 mm et entre 6,06 et 8,07 mm pour les amandes (**Tableau 3**). Les fruits séchés et amandes des deux morphotypes de badamier provenant de la zone côtière du Bénin présentaient des longueurs, des largeurs et des épaisseurs plus grandes que celles provenant du département de l'Ouémé. En outre, quel que soit le morphotype et le type de sols, les fruits séchés les plus étendus avaient leurs amandes moins longues, moins larges et moins épaisses. Les valeurs moyennes de longueur, de largeur et d'épaisseurs des amandes n'ont pas varié significativement ( $P \geq 0,05$ ) suivant le morphotype. Les différentes longueurs des fruits séchés obtenues (50,19 à 66,41 mm) sont largement supérieures à celles trouvées par [26] (19,09 à 32,40 mm) lors l'étude des propriétés physiques des noix et des amandes d'*Amygdalus communis*. Les différentes largeurs et épaisseurs des fruits séchés obtenues lors de cette étude sont également supérieures à celles trouvées par [34] (15,66 mm) (13,70 mm) sur les noix de ginkgo. Des résultats très similaires ont été rapportés par [33, 35] respectivement sur les noix de *Jatropha curcas* et les noix de *Ricinus communis*.

**Tableau 1** : Teneur en eau des fruits séchés et des amandes de deux morphotypes de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols

Zones	Sols	Morphotypes	Teneur en eau des fruits séchés (% base humide)	Teneur en eau des amandes (%base humide)
Côtière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	14,07a	7,19a
		Rouge	14,36a	8,77b
	Sablonneux	Jaune	12,14a	6,80a
		Rouge	13,42b	6,97a
	Hydromorphe	Jaune	33,46b	15,69d
		Rouge	34,35d	15,28d
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	16,63c	8,49b
		Rouge	16,63c	7,92b
	Sablonneux	Jaune	14,58a	8,23b
		Rouge	15,16a	8,18b
	Hydromorphe	Jaune	33,85d	11,84c
		Rouge	33,70c	11,65c

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5%.

Quant aux amandes, les longueurs et les épaisseurs obtenues sont respectivement similaires à celles trouvées par [26] soit (15,21 à 29,70 mm) et (3,95 à 8,35mm) sur les amandes d'*Amygdaluscommunis*. Par contre, les différentes valeurs obtenues à partir des amandes larges des deux morphotypes provenant des trois types de sols sont comparables à celles rapportées par [26] (22,61 mm) sur les amandes d'*Amygdalus communis* L. La variabilité observée entre les épaisseurs des différents fruits séchés signifie qu'un problème de réglage du jeu se posera entre les rouleaux du concasseur car une bonne performance de l'équipement passe toujours par un bon réglage du jeu situé entre ces rouleaux. Les diamètres arithmétique, géométrique et équivalent des fruits séchés ont présenté des valeurs variant de 34,21 à 42,41 mm, de 31,28 à 38,20 mm et de 25,1 à 29 mm respectivement (**Tableau 2**). Ceux des différentes amandes oscillaient respectivement de 12,28 à 16,06 mm, de 10,14 à 12,53 mm et de 10,8 à 14,3 mm (**Tableau 3**). A l'exception du diamètre équivalent des fruits séchés, aucune différence significative ( $P \geq 0,05$ ) n'a été observée entre les diamètres arithmétiques et géométriques des fruits séchés des deux morphotypes provenant des trois types de sols pour les deux zones étudiées. En revanche, des différences significatives ( $P \leq 0,05$ ) ont été révélées au sein des diamètres arithmétiques et équivalents déterminés sur les différents échantillons d'amandes. Il apparaît que les fruits séchés à grands diamètres arithmétiques, géométriques et équivalents renferment également des amandes de diamètres élevés. Des résultats similaires ont été rapportés par [36] sur les noix et amandes de *Jatropha curcas*. Les différences observées au sein des dimensions moyennes des fruits séchés et des amandes pourraient être liées aux caractéristiques génétiques et aux conditions environnementales des morphotypes de badamier. Toutefois, grâce au jeu de réglage les produits des deux morphotypes de badamier pourront être concassés par le même type d'équipements.

**Tableau 2** : Dimensions des fruits séchés de deux morphotypes de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols

Zones	Sols	Morphotypes	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Diamètre arithmétique (mm)	Diamètre géométrique (mm)	Diamètre Equivalent (mm)
Côtère du Bénin	Ferrallitique	Jaune	66,41 ± 3,33b	36,82 ± 4,62a	26,51 ± 2,62a	42,41 ± 3,53a	38,20 ± 3,51a	26,7 ± 0,01b
		Rouge	62,91 ± 5,47ab	36,40 ± 3,87a	26,28 ± 1,5a	40,49 ± 3,61a	36,91 ± 3,12a	25,1 ± 0,005a
	Sablonneux	Jaune	59,98 ± 1,47ab	37,93 ± 0,50a	27,01 ± 0,23a	41,64 ± 0,59a	38,04 ± 0,39a	25,1 ± 0,005a
		Rouge	56,44 ± 4,86ab	35,61 ± 3,37a	25,29 ± 2,46a	39,12 ± 3,56a	35,73 ± 3,28a	26,7 ± 0,01b
	Hydromorphe	Jaune	59,21 ± 2,61ab	35,46 ± 1,38a	26,41 ± 0,94a	40,36 ± 2,46a	36,77 ± 1,44a	29 ± 0,005d
		Rouge	60,01 ± 4,23ab	37,85 ± 2,5a	27,322 ± 0,71a	41,72 ± 2,15a	38,15 ± 1,82a	29 ± 0,005d
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	57,68 ± 2,9 ab	35,55 ± 1,39a	26,52 ± 2,26a	39,63 ± 1,31a	36,31 ± 1,33a	26,7 ± 0,005b
		Rouge	50,19 ± 1,12a	29,48 ± 0,23a	22,98 ± 0,3 a	34,21 ± 7,43a	31,28 ± 0,28a	29 ± 0,006d
	Sablonneux	Jaune	56,40 ± 1,51ab	34,36 ± 2,26a	25,07 ± 0,28a	38,78 ± 0,77a	35,28 ± 0,72a	28,1 ± 0,01c
		Rouge	56,48 ± 0,92ab	38,87 ± 0,21a	27,84 ± 0,48a	41,06 ± 8,37a	37,96 ± 0,01a	28,1 ± 0,005c
	Hydromorphe	Jaune	54,75 ± 0,39ab	33,96 ± 0,8a	23,69 ± 1,26a	37,52 ± 0,58a	34,10 ± 0,65a	26,7 ± 0,004b
		Rouge	54,76 ± 0,68ab	34,37 ± 1,69a	24,51 ± 1,22a	37,88 ± 8,11a	34,59 ± 1,27a	25,1 ± 0,01a

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

**Tableau 3 :** Dimensions des amandes de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols

Zones	Sols	Morphotypes	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Diamètre arithmétique (mm)	Diamètre géométrique (mm)	Diamètre Equivalent (mm)
Côteière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	30,95 ± 3,44b	8,76 ± 0,65ab	7,14 ± 0,97ab	15,89 ± 1,26b	12,21 ± 1,06a	14,3 ± 0,005d
		Rouge	24,6 ± 0,93a	8,28 ± 0,74a	6,78 ± 0,41ab	13,04 ± 0,66ab	10,79 ± 0,63a	14,3 ± 0,005d
	Sablonneux	Jaune	26,76 ± 1,64ab	8,08 ± 0,61a	7,24 ± 0,34ab	14,03 ± 0,79ab	11,32 ± 0,59a	10,8 ± 0,005a
		Rouge	22,73 ± 0,82a	7,88 ± 0,6a	6,25 ± 0,46ab	12,28 ± 0,62a	10,14 ± 0,62a	11,6 ± 0,01b
	Hydromorphe	Jaune	33,09 ± 2,64b	8,65 ± 0,43ab	7,74 ± 0,32ab	16,06 ± 1,13b	12,53 ± 0,72a	12,4 ± 0,005c
		Rouge	28,21 ± 1,84ab	8,86 ± 0,4ab	7,53 ± 0,75ab	14,87 ± 0,99ab	12,03 ± 0,83a	10,8 ± 0,005a
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	25,12 ± 1,86a	9,34 ± 0,22ab	6,97 ± 1,8ab	13,41 ± 0,75ab	11,30 ± 0,47a	12,4 ± 0,005c
		Rouge	27,28 ± 1,05ab	8,71 ± 0,1ab	6,73 ± 0,18ab	14,02 ± 0,42ab	11,32 ± 0,26a	11,6 ± 0,005b
	Sablonneux	Jaune	25,91 ± 1,54a	7,95 ± 0,39a	6,33 ± 0,51ab	13,08 ± 0,76ab	10,53 ± 0,6a	10,8 ± 0,005a
		Rouge	23,89 ± 0,78a	9,66 ± 0,56ab	6,06 ± 0,3a	13,01 ± 0,49ab	10,82 ± 0,41a	10,8 ± 0,005a
	Hydromorphe	Jaune	25,45 ± 1,04a	9,4 ± 0,19ab	7,19 ± 0,14ab	13,75 ± 0,40ab	11,56 ± 0,28a	10,8 ± 0,005a
		Rouge	24,88 ± 0,38a	10,2 ± 0,16b	8,07 ± 0,11b	14,29 ± 0,16ab	12,33 ± 0,1a	12,4 ± 0,005c

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Les propriétés géométriques des fruits séchés (**Tableau 4**) et des amandes (**Tableau 5**) des deux morphotypes de badamier provenant de trois types de sols ont varié. Les aplatissements, élongations et les sphéricités des fruits séchés oscillaient respectivement de 1,28 à 1,411, de 1,45 à 1,76 et de 0,59 à 0,67 tandis que ceux des amandes variaient de 1,12 à 1,6, de 2,41 à 3,7 et de 0,39 à 0,50 respectivement. Ainsi, à l'exception de l'aplatissement et de l'élongation des fruits séchés, des différences significatives ( $P \leq 0,05$ ) ont été observées au sein des aplatissements et des élongations des amandes puis des sphéricités des fruits séchés et des amandes des différents échantillons étudiés. Les valeurs des élongations révèlent que les longueurs des fruits séchés et des amandes de badamier sont respectivement 1,76 et 3,65 fois supérieures à leurs largeurs. Les différents fruits séchés sont plus bombés que les noix d'*Amygdalus communis* [caractérisées par [26] avec des valeurs de 0,52 à 0,76] et plus allongés que les noix de *Jatropha curcas* qui avaient une élongation de 1,57 [24]. L'aplatissement des fruits séchés ne différait pas de manière significative à celui des amandes. Par contre, l'élongation et la sphéricité des fruits séchés ont été supérieures à celles des amandes. La sphéricité est importante dans la conception du dispositif de transport, des distributeurs et d'autres équipements de stockage [37, 39]. Ainsi donc, les dispositifs associés à la manutention et au stockage des fruits doivent être plus grands que ceux des amandes. Les fruits séchés étudiés sont moins sphériques que les noix de *Washingtonia robusta* et les noix de palme dont la sphéricité variait respectivement entre 0,83 et 0,86 [17] et entre 0,52 et 0,76 [1]. Des résultats similaires ont été rapportés par [40] sur les noix (0,64) de *Jatropha curcas*. Par ailleurs, les volumes de 1000 fruits séchés de badamier ont varié significativement ( $P \leq 0,05$ ) de 8333,3 à 13333,3 cm<sup>3</sup> d'un morphotype à un autre et d'un type de sols à un autre pour les deux zones étudiées. Cette variation pourrait être expliquée par la différence observée entre les dimensions moyennes des différents fruits séchés. Ces résultats sont largement supérieurs aux volumes de 1000 noix de néré qui avaient un volume de 183,25 cm<sup>3</sup> [41]. Par contre, les volumes massiques des fruits séchés sont très inférieurs à ceux rapportés par [41] soit 0,05 m<sup>3</sup>/kg pour les noix de néré (*Parkia biglobosa*).

**Tableau 4 : Propriétés géométriques des fruits séchés de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols**

Zones	Sols	Morphotypes	Aplatissement	Elongation	Sphéricité	Aire massique (m <sup>2</sup> / kg)	Volume massique (m <sup>3</sup> / kg)	Volume de 1000 fruits séchés (cm <sup>3</sup> )
Côteière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	1,39 ± 0,04a	1,76 ± 1,77a	0,59 ± 0,03a	0,37 ± 0,00a	0,01 ± 0,00a	10000 ± 333,3a
		Rouge	1,38 ± 0,13a	1,62 ± 1,62a	0,63 ± 0,01ab	0,38 ± 0,00a	0,009 ± 0,00a	8333,3 ± 0,00a
	Sablonneux	Jaune	1,40 ± 0,03a	1,58 ± 1,58a	0,62 ± 0,009ab	0,40 ± 0,00a	0,01 ± 0,00a	8333,3 ± 333,3a
		Rouge	1,411 ± 0,03a	1,59 ± 1,59a	0,64 ± 0,01ab	0,33 ± 0,00a	0,009 ± 0,00a	10000 ± 333,3a
	Hydromorphe	Jaune	1,34 ± 0,006a	1,67 ± 1,66a	0,63 ± 0,003ab	0,29 ± 0,00a	0,008 ± 0,00a	13333,3 ± 0,00c
		Rouge	1,38 ± 0,06a	1,58 ± 1,59a	0,63 ± 0,06ab	0,36 ± 0,00a	0,01 ± 0,00a	13333,3 ± 0,00c
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	1,35 ± 0,06a	1,60 ± 1,60a	0,64 ± 0,04ab	0,37 ± 0,00a	0,01 ± 0,00a	10000 ± 666,7a
		Rouge	1,28 ± 0,04a	1,70 ± 1,70a	0,63 ± 0,01ab	0,26 ± 0,00a	0,0075 ± 0,00a	13333,3 ± 333,3c
	Sablonneux	Jaune	1,37 ± 0,1a	1,67 ± 1,67a	0,62 ± 0,02ab	0,37 ± 0,00a	0,01 ± 0,00a	11666,6 ± 0,00b
		Rouge	1,40 ± 0,05a	1,45 ± 1,45a	0,63 ± 0,01b	0,31 ± 0,00a	0,009 ± 0,00a	11666,6 ± 333,3b
	Hydromorphe	Jaune	1,44 ± 0,08a	1,62 ± 1,62a	0,62 ± 0,01ab	0,56 ± 0,00	0,015 ± 0,00	10000 ± 0,00a
		Rouge	1,40 ± 0,002a	1,60 ± 1,6a	0,67 ± 0,02ab	0,36 ± 0,00	0,009 ± 0,00	8333,3 ± 666,7a

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

**Tableau 5 : Propriétés géométriques des amandes de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols**

Zones	Sols	Morphotypes	Aplatissement	Elongation	Sphéricité	Aire massique (m <sup>2</sup> / kg)	Volume massique (m <sup>3</sup> / kg)	Volume de 1000 amandes (cm <sup>3</sup> )
Côteière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	1,24 ± 0,09ab	3,65 ± 0,43d	0,39 ± 0,04a	0,51 ± 0,00b	0,007 ± 0,00cd	1333,33 ± 1d
		Rouge	1,22 ± 0,04ab	2,92 ± 0,19abc	0,45 ± 0,01bc	0,44 ± 0,00a	0,006 ± 0,00b	1333,33 ± 2d
	Sablonneux	Jaune	1,12 ± 0,04a	3,33 ± 0,27cd	0,42 ± 0,02abc	0,73 ± 0,00de	0,008 ± 0,00de	666,67 ± 1a
		Rouge	1,26 ± 0,011ab	2,9 ± 0,11abc	0,45 ± 0,01bc	0,51 ± 0,00b	0,006 ± 0,00a	833,33 ± 0,5b
	Hydromorphe	Jaune	1,12 ± 0,04a	3,7 ± 0,11d	0,4 ± 0,01ab	0,59 ± 0,00c	0,007 ± 0,00cd	1000 ± 3c
		Rouge	1,19 ± 0,09ab	3,2 ± 0,07bcd	0,43 ± 0,006abc	0,62 ± 0,00c	0,007 ± 0,00bc	666,66 ± 1,5a
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	1,34 ± 0,01b	2,56 ± 0,14ab	0,47 ± 0,07cd	0,63 ± 0,00c	0,008 ± 0,00de	1000 ± 2c
		Rouge	1,3 ± 0,93ab	3,11 ± 0,08abcd	0,43 ± 0,01abc	0,79 ± 0,00e	0,009 ± 0,00f	833,33 ± 4b
	Sablonneux	Jaune	1,26 ± 0,06ab	3,1 ± 0,09bcd	0,42 ± 0,003abc	0,72 ± 0,00d	0,008 ± 0,00de	666,67 ± 1,5a
		Rouge	1,6 ± 0,11c	2,37 ± 0,09a	0,46 ± 0,003cd	1,01 ± 0,00f	0,01 ± 0,001g	666,67 ± 2,5a
	Hydromorphe	Jaune	1,31 ± 0,02ab	2,62 ± 0,08ab	0,47 ± 0,012cd	0,76 ± 0,00de	0,008 ± 0,00e	666,67 ± 1a
		Rouge	1,26 ± 0,04ab	2,41 ± 0,003a	0,50 ± 0,005d	0,63 ± 0,00c	0,008 ± 0,00de	1000 ± 2c

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

La masse de 1000 fruits séchés (**Tableau 6**) et de 1000 amandes (**Tableau 7**) des différents échantillons étudiés a varié significativement et respectivement de 4282,05 à 10780 g et de 590 à 943,33 g d'un morphotype à un autre et d'un type de sol à un autre. La masse moyenne des fruits séchés (10780 g) était environ 11 fois plus élevée que celle des amandes (943,33 g), ce qui indique qu'environ 91 % de la masse totale des fruits séchés entiers est constituée des coques. Ainsi, le décorticage de ces fruits séchés permettra de réduire les frais de transport. Par ailleurs, compte tenu de ces observations et de la nature ligno-cellulosique des fruits séchés, les coques sont susceptibles de constituer des déchets intéressants à valoriser pour la production de charbon actif par exemple [38]. Ces valeurs restent largement supérieures à celles rapportées par [22, 42] respectivement sur les noix de néré et les noix de palme mais comparables à celles trouvées par [29] (8000 g) pour les noix de karité du Nigeria. La densité des fruits séchés est fonction de la proportion d'amande et de coque, de leur compacité et de leur texture. Elle détermine la capacité de stockage et peut affecter le système de conditionnement des fruits séchés [43]. Elle variait de manière significative de 0,4 à 1,29 pour les fruits séchés (**Tableau 6**) et de 0,44 à 1,28 pour les amandes (**Tableau 7**). Comme le souligne [44], la densité dépend de la teneur en eau de la noix [45], ce qui signifie que les différences observées seraient dues à la variation de cette dernière.

Ces valeurs sont similaires à celles rapportées par [46] (0,5 à 0,97) pour les noix de *Jatropha curcas* de Malaisie. Quelle que soit la nature des échantillons étudiés, il ressort que la porosité des fruits séchés a varié significativement de 70,26 à 82,41 % (**Tableau 6**) et celle des amandes de 50,47 à 70,43 % (**Tableau 7**). L'analyse des résultats obtenus montre que les fruits séchés de badamier sont plus poreux que les noix de *Prunus amygdalus* de porosité variant de 42,156 à 45,706 % [37] et les noix de *Parkia speciosa* dont la porosité est rapportée par [47]. La porosité des noix est importante car elle montre la résistance de la noix à l'écoulement de l'air pendant le processus de séchage [48]. Elle est comparable à celle trouvée par [49] sur les noix de Canavalia de Sud-ouest de l'Inde. La masse volumique apparente et réelle des fruits séchés a varié respectivement de 118,95 à 163,78 et de 400 à 800 kg/m<sup>3</sup> tandis que celle des amandes oscillaient entre 235,5 et 628,08 et entre 657 et 1012,4 kg / m<sup>3</sup>. Selon [43], ces deux paramètres sont très importants respectivement dans la conception des séchoirs et des équipements de concassage. Les plus fortes masses observées au sein des fruits séchés ont été rapportées par [40] et sont similaires aux valeurs trouvées par [36] sur les noix et amandes de *Jatropha curcas* L. Le ratio massique (amandes / fruits séchés) du badamier (**Tableau 7**) oscillait de 5,47 à 19,2 %. Il est très inférieur aux 62,77 % obtenus par [50] pour les noix de néré. Ce faible ratio pourrait être expliqué par le taux élevé d'espace vide qui apparaît dans la noix une fois qu'elle devient sèche [25].

**Tableau 6 : Propriétés gravimétriques des fruits séchés de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols**

Zones	Sols	Morphotypes	Masse de 1000 fruits séchés (g)	Densité	Porosité (%)	Masse volumique apparente (kg / m <sup>3</sup> )	Masse volumique réelle (kg / m <sup>3</sup> )
Côteière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	7895 ± 1216,67ab	0,79 ± 0,03cd	77,49 ± 0,01f	135,04 ± 10,55ab	600 ± 1,33bc
		Rouge	10780 ± 3133,33b	1,29 ± 0,00g	79,28 ± 0,005i	130,22 ± 11,46ab	628,57 ± 5,33c
	Sablonneux	Jaune	9108,33 ± 945,5ab	1,09 ± 0,04f	77,89 ± 0,01g	132,64 ± 1,28ab	600 ± 1,33bc
		Rouge	8205,55 ± 2043,7ab	0,82 ± 0,03cde	78,8 ± 0,1h	144,31 ± 3,04ab	680 ± 2,67d
	Hydromorphe	Jaune	9635 ± 30ab	0,72 ± 0,00bcd	81,31 ± 0,01j	133,5 ± 0,41ab	714,28 ± 2e
		Rouge	9450 ± 1766,67ab	0,71 ± 0,00bc	74,13 ± 0,03d	147,85 ± 1,28ab	571,42 ± 1,33b
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	8633,33 ± 844,44ab	0,87 ± 0,06de	73,15 ± 0,055c	161,11 ± 6,88b	600 ± 33,33bc
		Rouge	5340 ± 140ab	0,4 ± 0,01a	82,41 ± 0,01k	140,69 ± 8,75ab	800 ± 1,33f
	Sablonneux	Jaune	9303,33 ± 1222,2ab	0,79 ± 0,00cd	71,53 ± 0,015b	163,69 ± 9,39b	575 ± 1,33b
		Rouge	7145 ± 1483,33ab	0,61 ± 0,02b	75,91 ± 0,01e	163,78 ± 6,39b	680 ± 1,77d
	Hydromorphe	Jaune	4282,05 ± 628,03a	0,44 ± 0,00a	70,26 ± 0,01a	118,95 ± 2,42a	400 ± 1,33a
		Rouge	7780 ± 1573,33ab	0,94 ± 0,075e	78,79 ± 0,02h	139,38 ± 6,45ab	657,14 ± 1,33d

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

**Tableau 7 : Propriétés gravimétriques des amandes de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols**

Zones	Sols	Morphotypes	Masse de 1000 amandes (g)	Densité	Porosité (%)	Masse volumique apparente (kg / m <sup>3</sup> )	Masse volumique réelle (kg / m <sup>3</sup> )	Ratio massique (amande / fruits séchés) (%)
Côteière du Bénin	Ferrallitique	Jaune	840 ± 6,67e	0,63 ± 0,001b	63,31 ± 005g	301,5 ± 0,4g	822 ± 0,81f	10,64i
		Rouge	590 ± 1,33a	0,44 ± 0,002a	68,56 ± 005k	296,59 ± 2f	943,67 ± 1,33h	5,47a
	Sablonneux	Jaune	662,33 ± 0,67b	0,99 ± 0,0015h	64,28 ± 005h	270,35 ± 0,02c	757 ± 1,33d	7,27b
		Rouge	740 ± 1,77c	0,88 ± 0,002e	70,43 ± 005l	299,33 ± 0,01g	1012,4 ± 2,22i	9,02g
	Hydromorphe	Jaune	795 ± 6,67d	0,79 ± 0,002d	66,7 ± 005i	273,72 ± 0,02d	822 ± 0,67f	8,25c
		Rouge	790 ± 16,67d	1,18 ± 0,0015i	55,02 ± 005d	400,5 ± 1j	890,3 ± 0,81g	5,47d
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	943,33 ± 35,55f	0,94 ± 0,002g	50,47 ± 005b	379,16 ± 0,02i	765,66 ± 0,004e	10,92j
		Rouge	788,33 ± 7,78d	0,94 ± 0,002g	51,58 ± 005c	318,08 ± 0,01h	657 ± 2b	14,76k
	Sablonneux	Jaune	616,33 ± 13,33e	1,28 ± 0,0015k	66,92 ± 005j	254,85 ± 3b	770,5 ± 0,67e	9,20h
		Rouge	856 ± 12,22a	0,92 ± 0,001f	56,86 ± 005e	235,5 ± 2a	546 ± 2a	8,63e
	Hydromorphe	Jaune	841,33 ± 4,22e	1,26 ± 0,003j	60,49 ± 005f	288,41 ± 0,1e	730 ± 3,33c	19,2l
		Rouge	691 ± 7,33b	0,69 ± 0,003c	17,71 ± 0015a	628,08 ± 0,1k	763,33 ± 0,67de	8,88f

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

### 3-2. Caractéristiques mécaniques des fruits séchés et des amandes de deux morphotypes de badamier (*Terminalia catappa*) provenant de trois types de sols

Les résistances à la rupture des fruits séchés suivant la verticale (Longueur X), l'horizontale (largeur Y) et la hauteur (Épaisseur Z) des différents échantillons sont présentées dans le **Tableau 8**. Il faut en moyenne une charge maximale de 2266,9 N, de 3293,8 N et de 2654,62 N pour casser un fruit séché de badamier respectivement suivant la largeur, la longueur et l'épaisseur. Par ailleurs, des différences significatives ( $P \leq 0,05$ ) ont été enregistrées entre les différentes forces déterminées suivant la longueur, la largeur et l'épaisseur pour la majorité des échantillons étudiés. Cela signifie que la charge maximale qu'il faut pour rompre le fruit séché suivant la longueur, la largeur et l'épaisseur varie quel que soit le morphotype et le type de sols. Ces valeurs sont largement supérieures à celles des noix de néré [41] (299,01 N) mais similaires à celles des noix de palme de la variété Dura [1] (2516,1 à 3327,1 N). Les différentes valeurs élevées obtenues pourraient conférer à ces fruits séchés une plus grande résistance aux attaques des rongeurs et un meilleur comportement en stockage [45]. Néanmoins, le concassage de ces noix consommerait plus d'énergie. Le fruit séché de badamier peut se rompre plus facilement dans le sens de sa largeur (axe y) que celui de l'épaisseur (axe z) et de la longueur (axe x). [51] ont rapporté que ces paramètres sont importants dans la construction des équipements adaptés au concassage des noix car ils fournissent l'énergie nécessaire pour casser ces derniers [12].

**Tableau 8 :** Résistance à la rupture des fruits séchés de deux morphotypes types de badamier (*T. Catappa*) provenant de trois types de sols

Zones	Sols	Morphotypes	Résistance à la rupture suivant		
			Horizontale (Largeur Y) en N	Verticale (Longueur X) en N	Hauteur (Épaisseur Z) en N
Côte du Bénin	Ferrallitique	Jaune	1355,3 ± 31,4ab	2172,6 ± 471,5ab	1680,1 ± 733,5ab
		Rouge	1376,2 ± 115,3ab	3052,8 ± 429,6bcd	527,5 ± 20,9a
	Sablonneux	Jaune	852,3 ± 31,4ab	1994,5 ± 20,9a	1491,5 ± 104,8ab
		Rouge	1711,6 ± 94,31ab	2874,7 ± 20,9abc	2162,1 ± 104,8b
	Hydromorphe	Jaune	2266,9 ± 209,6b	3293,8 ± 209,6cd	1596,3 ± 544,9ab
		Rouge	1596,3 ± 922,2ab	3744,4 ± 10,5d	1439 ± 345,8ab
Ouémé	Ferrallitique	Jaune	600,8 ± 52,39a	1952,6 ± 20,9a	454,13 ± 31,43a
		Rouge	852,3 ± 157,2ab	2560,3 ± 104,8abc	1889,7 ± 62,9ab
	Sablonneux	Jaune	1156,2 ± 83,9ab	2822,3 ± 115,3abc	1837,3 ± 115,3ab
		Rouge	737,1 ± 104,8ab	2528,9 ± 31,4abc	2654,62 ± 115,3b
	Hydromorphe	Jaune	789,4 ± 115,3ab	2099,3 ± 20,9ab	1481,03 ± 52,4ab
		Rouge	716,1 ± 41,9ab	2790,8 ± 20,9abc	1742,9 ± 83,83ab

Les valeurs portant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %.

## 4. Conclusion

Dans la présente étude, les caractéristiques physiques et mécaniques des fruits séchés et des amandes de différents morphotypes de badamier sont déterminées et leurs applications pour la conception d'équipements présentées. Les résultats obtenus révèlent qu'à l'exception des propriétés géométriques, du diamètre équivalent et de la résistance à la rupture, qu'il n'existe pas de différence significative ( $P \leq 0,05$ ) entre les autres caractéristiques physiques des fruits séchés quel que soit le morphotype, le type de sol et la zone de provenance. L'intensité du séchage des fruits doit être augmentée en fonction des teneurs en eau à atteindre

notamment si les lots de fruits séchés ou d'amandes doivent être conservés longtemps. D'après les dimensions moyennes déterminées, il apparaît que les fruits séchés les plus étendus ont des amandes les moins longues, moins larges et moins épaisses. Ceci permet de prévoir le calibre des amandes à partir de celui des fruits. Les équipements à concevoir pour décortiquer les fruits doivent assurer une charge comprise entre 2266,9 et 3293,8 N pour rompre les fruits séchés et libérer les amandes. La force de rupture est respectivement minimale et maximale pour fendre les fruits suivant la largeur et la longueur. Les données obtenues constituent des informations utiles pour optimiser ou développer des équipements adaptés à la transformation des fruits séchés et des amandes de badamier afin de faciliter les différentes opérations qui y sont associées.

### Remerciements

*Les auteurs remercient le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique de la République du Bénin et l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine pour le soutien financier accordé au premier auteur.*

### Références

- [1] - R. AKINOSO and A.O. RAJI, Physical properties of fruit, nut and kernel of oil palm. *Int. Agrophys.*, 25 (2011) 85 - 88
- [2] - O. V. DOS SANTOS, N. D. LORENZO and S. C. DA SILVA LANNES, Chemical, morphological, and thermogravimetric of *Terminalia catappa* Linn. *Food Science and Technology*, 36 (1) (2016) 151 - 158
- [3] - F. G. EDWARD and G. W. DENNIS, *Terminalia catappa* : Tropical-Almond, Environmental Horticulture, UF/IFAS Extension, (2016) 784 p.
- [4] - J. SUPATCHA, H. CHI-TANG, C. VISITH, P. MIN-HSIUNG, C. SASIVIMON, R. KHANITTA and W. MONTHANA, Physicochemical properties of *Terminalia catappa* seed oil as a novel dietary lipid source. *Journal of Food and analysis*, 23 (2015) 201 - 209
- [5] - I. C. F. DOS SANTOS, S. H. V. DE CARVALHO, J. I. SOLLETTI, W. FERREIRA DE LA SALLES, K. TEIXEIRA DA SILVA DE LA SALLES and S. M. P. MENEGHETTI, Studies of *Terminalia catappa* L. oil : Characterization and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 99 (2008) 6545 - 6549
- [6] - L. MATOS, J. M. NZIKOU, A. KIMBONGUILA, C. B. NDANGUI, N. P.G. PAMBOU-TOBI, A. A. ABENA, T. H. SILOU, J. SCHER and S. DESOBRY, Composition and Nutritional Properties of Seeds and Oil From *Terminalia catappa* L. *Journal of Food Science and Technology.*, 01 (1) (2009) 72 - 77
- [7] - C. AGATEMOR and E. U. MARK, Nutritional Potential of the Nut of Tropical Almond (*Terminalia catappa* L.). *Pakistan Journal of Nutrition*, 05 (4) (2006) 334 - 336
- [8] - L. A. J. THOMSON and B. EVANS, *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, [Online], (2006), <http://www.traditionaltree.org.pdf>, p20.
- [9] - V. Y. ATSU BARKU, H. D. NYARKO and P. DORDUNU. Studies on the physico-chemical characteristics, microbial load and storage stability of oil from, Indian almond nut (*Terminalia catappa* L.). *Food Science and Quality Management*, <http://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/3019/0>, 08 (2012) 10 p.
- [10] - I. R. U, JUSTINA and I. B MICHAEL, Evaluation of the chemical composition, nutritive value and antinutrients of *Terminalia catappa* L. fruit (tropical almond). *International Journal of Engineering and Technical Research*, 03 (9) (2015) 4 p.
- [11] - G. H. M. BIEGO, G. K. AMOIN, E. D. TOGBA and L. P. KOUADIO, Physicochemical Quality of Kernels from *Terminalia catappa* L. and Sensory Evaluation of the Concocted Kernels. *Sustainable Agriculture Research*, 01 (2) (2012) 0512 - 0518

- [12] - O. B. ADU, M. OMOJUFEHINSI, M. O ESANBORO, D. A ABE, A. O SHOFOLAHAN, E UZODINMA, K. BADMUS and O. MARTINS, Effect of processing on the quality, composition and Antioxidant properties of *Terminalia catappa* (Indian almond) Seed oil. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 13 (3) (2013) 17 p.
- [13] - S. ZILLER, *Food Fats and Oils*. 7<sup>th</sup>Ed. Institute of Shortening and Edible Oils, 1750 New York Avenue, NW, Washington, DC, (1994) 46 p.
- [14] - B. O. MBAH, P. E. EME and C. N. EZE., Nutrient potential of Almond seed (*Terminalia catappa*) sourced from three states of Eastern Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 08 (7) (2013) 629 - 633
- [15] - F. K. AKINNIFESI, R. R. B. LEAKEY, O. C. AJAYI, G. SILESHI, Z. TCHOUNDJEU, P. MATAKALA and F. R. KWESIGA, Indigenous fruit trees in the tropics : Domestication, Utilization and Commercialization. *Ebooks on agriculture and the applied life sciences from CAB International*, London, UK., (2008) 464 p.
- [16] - W. K. SOLOMON and A. D. ZEWEDU, Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. *Ind. Crop. Prod.*, 29 (2009) 165 - 170
- [17] - Y. COSKUNER and A. GÖKBUDAK, Dimensional specific physical properties of fan palm fruits, seeds and seed coats (*Washingtonia robusta*). *International Agrophysics*, 30 (2016) 301 - 309
- [18] - D. LEPOFSKY, Arboriculture in the Mussau Islands, Bismark Archipelago. *Economic Botany*, 46 (2) (1992) 193 - 211
- [19] - A. AKOËGNINOU, W. J. VAN DER BOURG and L. J. G. VAN DER MARGEN, Flore analytique du Bénin. *Backhuys publishers*, (2006) 1063 p.
- [20] - A. WALTER and C. SAM, A variety Collection of Nut Trees and Fruit Trees in Vanuatu. *Note Technique No.15 (Unpublished)*. Port-Vila, Vanuatu, (1993) 79 p.
- [21] - A. S. OUEDRAOGO, *Parkia biglobosa* (Leguminosae) en Afrique de l'Ouest : biosystématique et amélioration. Thèse de Doctorat. Université Agronomique de Wageningen, (1995) 205 p.
- [22] - K. KOURA, P. I. G. OUIDOH, P. AZOKPOTA, J. C. GANGLO and D. J. HOUNHOUGAN, Caractérisation physique et composition chimique des graines de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. en usage au Nord-Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 75 (2014) 6239 - 6249
- [23] - H. A. AZONTONDE, Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin, Centre National d'Agro-Pédologie, Cotonou, Bénin, Soil Water Balance in the Sudano Sahelian Zone. *Proceedings of the Niamey Workshop*, IAHS Publ., 199 (1991) 4 - 10
- [24] - H. R. AHOUANSOU, E. A. SANYA, G. BAGAN and M. ANJORIN, Etude des caractéristiques physico-mécaniques des graines de *Jatropha curcas* produites au Bénin. *Sciences et Médecine, Rev. CAMES, Série A*, 11 (2010) 10 p.
- [25] - A. I. ZAVRAJNOV and D. I. NIKOLOW, Mécanisation de la préparation et de la conservation des fourrages. *Agropromizdat* Edition, Moscou, Vol. 3, (1990) 336 p.
- [26] - H. M. AMIR, K. JAVAD, R. C. GHOLAM and G. OMID, Some physical properties of almond nut and kernel (*Amygdalus Communis L*) and modeling dimensional properties. *Agric Eng Int : CIGR Journal*, 15 (2) (2013) 256 - 265
- [27] - P. CHASSERAY, Caractéristiques physiques des grains et de leurs dérivés. Les Industries de premières transformations de céréales. *Techniques & Documentations Editions Lavoisier*, Paris, (1991) 105 - 144
- [28] - AOAC, Association of Official Analytical Chemist, Official methods of analysis, 13<sup>th</sup> Edition, Washington D. C., (1980)
- [29] - N. A. AVIARA, F. A. OLUWOLE and M. A. HAQUE, Effect of moisture content on some physical properties of sheanut (*Butyrospermum paradoxum*). *International Agrophysics*, 19 (2005) 193 - 198
- [30] - H. AHMADI, H. FATHOLLAHZADEH, and H. MBLI, Postharvest physical and mechanical properties of apricot fruits, pits and kernels (*Sonnati Salmas*) cultivated in Iran. *Pakistan Journal of Nutrition*, 08 (3) (2009) 264 - 268
- [31] - B. O. DIALLO, D. MCKEY, M. H. CHEVALLIER, H. I. JOLY and M. HOSSAERT-MCKEY, Breeding system and pollination biology of the semi-domesticated fruit tree, *Tamarindus indica* L. (Leguminosae :

- Caesalpinioideae) : Implications for fruit production, selective breeding, and conservation of genetic resources. *African Journal of Biotechnology*, 07 (2008) 4068 - 4075
- [32] - A. SUMA, K. SREENIVASAN, A. K. SINGH AND J. RADHAMANI, Role of Relative Humidity in Processing and storage of seeds and assessment of variability in storage behaviour in Brassica spp. and *Eruca sativa*, *The Scientific World Journal*, (2013) 9 p.
- [33] - A. I. BAMGBOYE and S. E. ADEBAYO Seed moisture dependent on physical and mechanical properties of *Jatropha curcas*, *Journal of Agricultural Technology*, 08 (1) (2012) 13 - 26
- [34] - P. E. CH'NG, M. H. R. O. ABDULLAH, E. J. MATHAI and N. A. YUNUS, Some physical properties of ginkgo nuts and kernels. *International Agrophysics*, 27 (2013) 485 - 489
- [35] - A. N. LORESTANI, F. JALILANTABAR and R. GHOLAMI, Physical and mechanical properties of castor seed, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 04 (2012) 29 - 32
- [36] - S. KARAJ and J. MÜLLER, Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas L.* *Industrial Crops and Products*, 32 (2010) 129 - 138
- [37] - M. TRACHI, Caractérisation physico-chimique des amandes amères (*Prunus amygdalus*). Possibilité de valorisation. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université M'Hamed BOUGARA-BOUMERDES, (2015) 14 p.
- [38] - S. M. MPOTOKWANE, E. GADITLHATLHELWE, A. SEBAKA and V. A. JIDEANI, Physical properties of Bambara groundnuts from Botswana. *J. Food Eng.*, 89 (2008) 93 - 98
- [39] - Y. M. BANDE, N. M. ADAM, B. O. JAMEREI and Y. AZIMI, Physical and Mechanical properties of Egusi (*Citullus colocynthis lanatus var. lanatus*) Fruit, *International Journal of Agricultural Research*, 07 (10) (2012) 489 - 499
- [40] - P. SIRISOMBOON, P. KITCHAIYA, T. PHOLPHO and W. MAHUTTANYAVANITCH, Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas L.* fruits, nuts and kernels. *Biosyst. Eng.*, 97 (2007) 201 - 207
- [41] - R. AHOUANSOU, E. A. SANYA, and G. BAGAN, Caractérisation physique et mécanique de la graine de néré (*Parkia biglobosa*). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, série A, 08 (1) (2006) 131 - 138
- [42] - R. M. DAVIES, Physical and mechanical properties of palm, fruit, kernel and nut. *Journal of Agricultural Technology*, 08 (2012) 2147 - 2156
- [43] - C. A. SOLOGUBIK, L. A. CAMPANONE, A. M. PAGANO and M. C. GELY, Effet of moisture content on some physical properties of barley. *Ind. Crop Prod.*, 43 (2013) 762 - 767
- [44] - B. GODON and C. WILLIAM, Les industries de première transformation des céréales : *Techniques & Documentations*, Edition Lavoisier Paris, (1991) 679 p.
- [45] - R. H. AHOUANSOU, M. V. AISSI, E. A. SANYA, M. M. SOUMANOU, *Propriétés physique et mécanique des graines de Pentadesma butyracea produites au Bénin.* *Journal of Applied Bioscience*, 50 (2012) 3485 - 3493
- [46] - A. YAHYA, K. HAMDAN, T. A. ISCHOLA and D. H. SURYANTO, Physical and mechanical of *Jatropha curcas L.* Fruits from different planting densities, *Journal of Applied Sciences*, 13 (7) (2013) 1004 - 1012
- [47] - M. H. R. O. ABDULLAH, P. E. CH'NG and T. H. LIM, Some Physical Properties of *Parkia speciosa* seeds. *International Conference on Food Engineering and Biotechnology*, 09 (2011) 5 p.
- [48] - R. K. VISHWAKARMA, U. S. SHIVHARE and S. K. NANDA, Physical properties of guar seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 05 (2012) 1364 - 1371
- [49] - V. R. NIVEDITHA, K. R. SRIDHAR and D. BALASUBRAMANIAN, Physical and mechanical properties of seeds and kernels of *Canavalia* of coastal sand dunes. *International Food Research Journal*, 20 (4) (2013) 1547 - 1554
- [50] - R. AHOUANSOU, Optimisation des performances des équipements agroalimentaires : application à la décortiqueuse de néré. Mémoire de DEA-SPI, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (2005) 58 p.
- [51] - M. O. SUNMONU, M. O. IYANDA, M. M. ODEWOLE and A. N. MOSHOOD, Determination of Some Mechanical properties of almond seed related to design of food processing machines, *Nigerian Journal of Technological Development*, 12 (2015) 1 - 5