

Propriétés physiques et mécaniques des amandes de *Detarium microcarpum* du Nord-Bénin

Adamou GANI ISSA, Jospin Andriano DJOSSOU, Mouaïmine MAZOU, Fidèle Paul TCHOBO*
et Guy Alain ALITONOU

Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée, 01 BP 2009 Recette Principale Cotonou, Bénin

(Reçu le 10 Août 2021 ; Accepté le 19 Octobre 2021)

* Correspondance, courriel : fideletchobo@gmail.com

Résumé

L'objectif du présent travail est de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des amandes de *Detarium microcarpum* du Nord-Bénin. Les amandes des différents échantillons ont été obtenues par décorticage des fruits mûrs cueillis sur les arbres. Les dimensions axiales, la résistance à l'écrasement (ou force de rupture), la masse et le volume de 1000 amandes ont été respectivement mesurées à l'aide d'un pied à coulisse, du dynamomètre AMANDUS KHAL, d'une balance et d'une éprouvette graduée en mL. Les résultats montrent que les valeurs moyennes de longueur, de largeur, d'épaisseur, des diamètres arithmétique, géométrique et équivalent des amandes ont varié respectivement de 18,05 à 25,37 mm, de 16,94 à 22,01 mm, de 7,22 à 10,38 mm, de 14,07 à 18,49 mm, de 12,99 à 17,4 mm et de 13,25 à 15,56 mm. La masse de 1000 amandes est de 1949,88 g, celles volumique réelle de 1160,28 kg/m³ et apparente de 1186,47 kg/m³. Les amandes présentent une porosité de 5,85 % et une aire massique de 0,33 m²/kg. Les résistances à l'écrasement des amandes suivant l'horizontale et la verticale ont varié respectivement de 157,9 N à 10398,6 N et de 351,5 N à 2361,7 N. A l'exception de la porosité, des forces de rupture, de la masse et du volume de 1000 amandes, la variation intercommunale est faible au niveau des dimensions axiales, des propriétés géométriques et gravimétriques.

Mots-clés : *Detarium microcarpum*, amande, caractéristiques physiques, résistance à l'écrasement, équipement.

Abstract

Physical and mechanical properties of *Detarium microcarpum* almonds from North Benin

The objective of this work is to determine the physical and mechanical properties of the almonds of *Detarium microcarpum* from the North of Benin. The almonds from the different samples were obtained by hulling the ripe fruits picked from trees. The axial dimensions, the crushing strength (or the breaking strength), the weight and volume of 1,000 almonds were measured using a caliper, an AMANDUS KHAL dynamometer, a balance and a mL graduate test-tube respectively. The obtained results show that the average values of length, width, thickness, arithmetic, geometric and equivalent diameters of the almonds have varied respectively from 18.05 to 25.37 mm, from 16.94 to 22.01 mm, from 7.22 to 10.38 mm, from 14.07 to

18,49 mm, from 12.99 to 17.4 mm and from 13.25 to 15.56 mm. The weight of 1,000 almonds is 1949.88 g, the real density being 1160.28 kg/m³ and the apparent density being 1186.47 kg/m³. The almonds have a porosity of 5.85 % and a mass area of 0.33 m²/kg. The crushing strengths of the almonds along the horizontal and vertical axes have respectively varied from 157.9 N to 10398.6 N and 351.5 N to 2361.7 N. Apart from the porosity, the crushing strength, the weight and volume of 1000 almonds, there is little intercommunal variation regarding the axial dimensions, geometric and gravimetric properties.

Keywords : *Detarium microcarpum*, almonds, physical characteristics, crushing strength, equipment.

1. Introduction

Les plantes forestières comestibles contribuent à l'économie des ménages, au renforcement de la sécurité alimentaire, à la conservation de la diversité biologique des ressources forestières [1]. Elles procurent également des plantes médicinales [2]. Le *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae - Caesalpinioideae) fait partie de ces plantes et est connu sous le nom commun de détar sucré ou petit détar [3]. Les fruits sucrés du *Detarium microcarpum*, consommés à maturité [3], sont utilisés pour traiter la méningite [4], les vertiges, l'hypertension, l'hémorroïde, la dysenterie, la fatigue, la fièvre, les maux d'estomac, les menstruations douloureuses [5], la syphilis et la diarrhée [4, 6]. Les amandes de *Detarium microcarpum* sont utilisées au Nigéria pour préparer des gâteaux, du pain, du couscous, des aliments pour bébés et de la bière locale [7]. Elles contiennent d'éléments nutritifs à savoir les lipides 5-15 % [8], des protéines 13,94-14,93 % [9], des Fibres 3,5 % et des sels minéraux : Ca, Mg, Fe, P, K, Na [10]. Les pourcentages d'acide gras majeurs, acide palmitique (10,99 %), oléique (35,36 %), et linoléique (46,53 %) d'huile de *Detarium microcarpum* sont comparables à ceux de l'huile de *B. aegyptiaca* [11]. Les farines ou les huiles d'amandes sont obtenues à la suite des opérations, notamment Le concassage (broyage) des amandes, la torréfaction et la mouture des broyats, etc., qui sont, la plus part, assez fastidieuses et prennent énormément du temps. Il importe donc de réduire les peines liées aux traitements des amandes de *Detarium microcarpum*. La réduction des peines requière la conception et la mise au point d'équipements performants. Une telle action nécessite la connaissance des propriétés physiques et mécaniques de la matière première [12, 13]; puisque l'efficacité et la performance des équipements en dépendent [14]. Au Nigéria, les propriétés mécaniques et l'effet de l'humidité sur les propriétés physiques des amandes de *Detarium microcarpum* ont été respectivement étudiés par [7, 15]. Cependant, les graines utilisées dans ces travaux sont des graines « tout venant » achetées au marché. De plus, aucune étude ne semble avoir été réalisée sur les propriétés physiques et mécaniques en relation avec la provenance des amandes de *Detarium microcarpum*. L'objectif du présent travail est de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des amandes de *Detarium microcarpum* du Nord-Bénin et d'étudier la variation desdites propriétés en fonction de la provenance des amandes.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est la graine de *Detarium microcarpum* (**Photo 1**). Ces graines provenaient des communes du Nord de la République du Bénin (**Figure 1**). Les fruits mûrissent de décembre à avril [16]. Les fruits mûrs ont été collectés du mois d'Avril au mois de juin et ont été transportés à l'Unité de Recherche en Génie Enzymatique et Alimentaire (URGEA) du Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée (LERCA) de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) pour prétraitement et analyse.



Photo 1 : Amandes de *Detarium microcarpum*

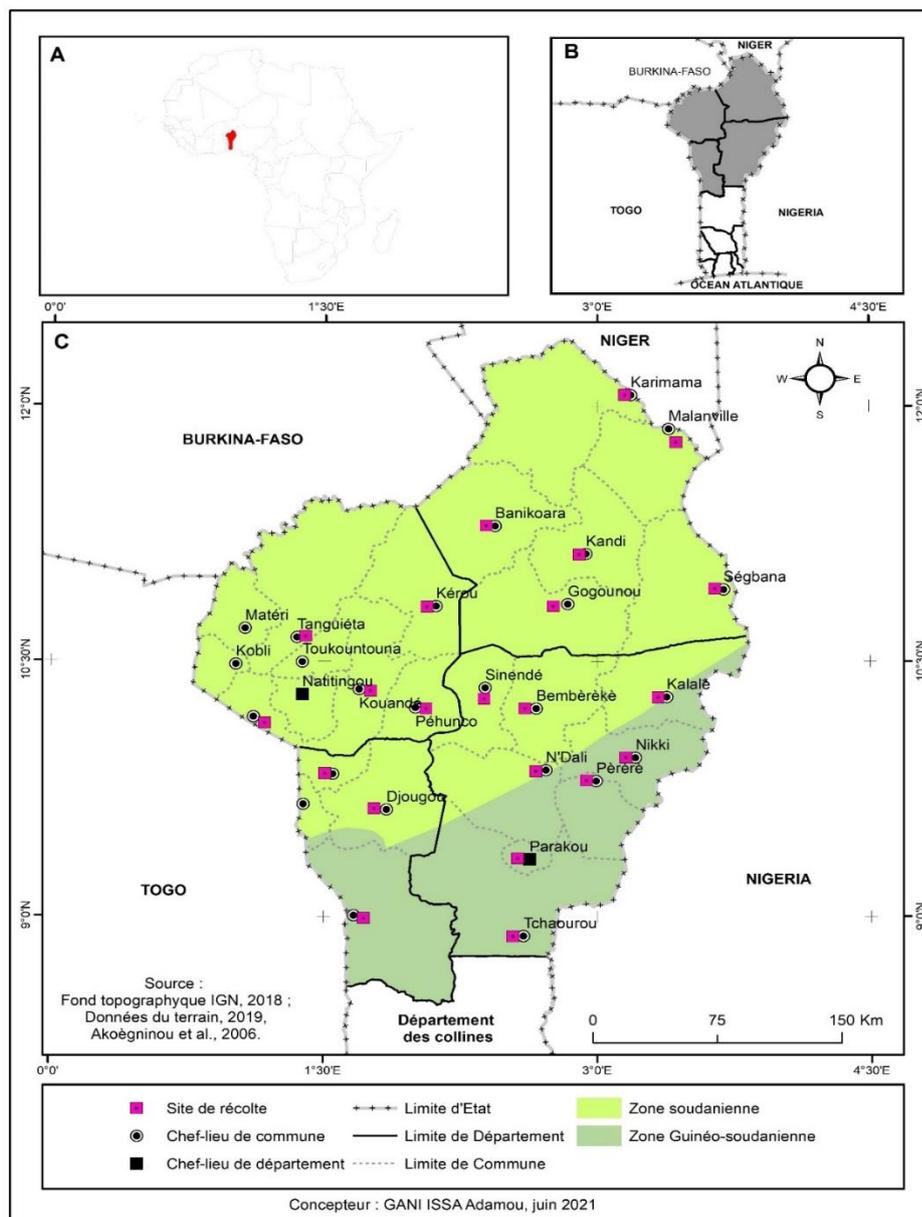


Figure 1 : Carte du Bénin montrant les sites de récoltes des amandes de *Detarium microcarpum*

2-2. Méthodes

Les fruits de *Detarium microcarpum* récoltés ont été décortiqués manuellement à l'aide d'un marteau pour séparer les amandes du péricarpe. Les amandes (**Figure 1**) obtenues sont ensuite utilisées pour les différentes analyses.

2-2-1. Teneur en eau et en matières volatiles des amandes de *Detarium microcarpum*

La teneur en eau et en matières volatiles a été déterminée selon la norme française NF V03-921 de l'Association Française de Normalisation [17]. Elle correspond à la perte de masse subie par l'échantillon après chauffage dans une étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant. La teneur en eau et en matières volatiles (Te) est exprimée en pourcentage selon la **Formule** :

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

Avec, Te : teneur en eau et en matières volatiles, 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.

2-2-2. Paramètres physiques des graines de *Detarium microcarpum*

Les dimensions moyennes (longueur, largeur, épaisseur) des amandes ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse (DIGITAL CALIPER : 0-150 mm) de précision 0,001 suite à l'identification de la position d'équilibre des amandes. La connaissance des dimensions des amandes permet le calcul d'autres paramètres caractéristiques des amandes décrits par les **Équations (2 à 6)** ci-après [18, 19] :

- l'élongation des amandes (E) :

$$E = \frac{L}{l}; \quad (2)$$

- le degré d'aplatissement des amandes (A) :

$$A = \frac{l}{e}; \quad (3)$$

- le diamètre basé sur la moyenne arithmétique des dimensions (Da) :

$$Da = \frac{(L+l+e)}{3} \text{ (mm)}; \quad (4)$$

- le diamètre basé sur la moyenne géométrique des dimensions (Dg) :

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

- la sphéricité des amandes (S):

$$S = L^{-1} \times (L \cdot l \cdot e)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Dans les formules précédentes, « L » représente la longueur, « l » la largeur, et « e » l'épaisseur.

Le volume des amandes a été mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée en mL [20]. Une éprouvette graduée de capacité 250 mL a été remplie d'eau jusqu'à une hauteur équivalente à 150 mL de volume. Cinquante (50) amandes de chaque commune ont été minutieusement introduites dans l'éprouvette graduée. Au bout de 5 secondes, la nouvelle hauteur a été lue. Le volume des 50 amandes est la différence entre la nouvelle hauteur et la hauteur équivalente à 150 mL de volume. C'est le volume réellement déplacé par 1000 amandes qui est ensuite considéré. La masse volumique réelle des amandes a été déterminée par la méthode de [21]. 500 g

d'amandes 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 **l'Équation (7)**:

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

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 calculés à l'aide des **Équations (8 à 10)** ci-dessous [22]:

- 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 amandes sont amoncelées dans un récipient de volume connu et laissant les espaces vides inter granulaires naturels. 500 g d'amandes sont introduites dans une éprouvette graduée. Après avoir tassé les amandes, le volume (V_0) occupé par l'échantillon est lu. La masse volumique apparente (ρ_0) est obtenue dans ces conditions, en remplaçant V par V_0 dans **l'Équation (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 [23] décrite par **l'Équation (11)**:

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

2-2-3. Mesure de la résistance à l'écrasement (ou force de rupture) des amandes de *D. microcarpum*

La mesure de la résistance à l'écrasement a été effectuée à l'aide du dynamomètre AMANDUS KHAL de précision 0,001N sur un lot de 50 amandes choisies au hasard. Chaque amande 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 constante et fixée à 5 mm/mn [24, 25].

2-2-4. Analyses statistiques

Toutes les données ont été collectées en six répétitions. Les moyennes et les écarts types ont été calculés à l'aide du tableur Microsoft Excel 2013. Afin d'estimer la variabilité entre et au sein des communes, le coefficient de variation a été calculé par commune et pour l'ensemble des communes. La variation inter-populations fournit des informations sur la variabilité due au milieu dans l'aire de répartition de l'espèce. Des fourchettes de variation de [26] proposées et testées au moment de l'étude de la biosystématique des provenances ouest-africaines de *P. biglobosa* ont été exploitées : (1) variation faible (CV = 0-10 %); (2) variation moyenne (CV = 10-15 %); (3) variation assez importante (CV = 15-44 %); et (4) variation importante (CV > 44 %).

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques physiques des amandes de *Detarium microcarpum*

Le **Tableau 1** présente la teneur en eau et en matières volatiles et les valeurs massiques des amandes de *Detarium microcarpum* collectées dans les différentes communes. La teneur moyenne en eau et en matières volatiles est de 12,67 %. La plus petite est observée à Ségbana (10,85 %) tandis que la plus grande est de Boukombé (14,68 %). La teneur en eau (12,5 %) déterminée dans les travaux de [10] sur des amandes de *D. microcarpum* du Nigéria est comprise entre les valeurs de la présente étude tandis que les travaux de [7], réalisés sur des dites amandes du Nigéria, ont montré qu'elle est comprise entre 8,2 et 28,5 %. Cette variation de la teneur en eau dans les différentes études serait liée aux facteurs environnementaux et au temps de séchage des échantillons avant analyse [27]. Par ailleurs, les teneurs en eau et en matières volatiles des amandes de *D. microcarpum* obtenues dans la présente étude sont inférieures au 15% requis comme limite de sécurité pour le stockage des aliments végétaux [28]. Par conséquent, les amandes de *D. microcarpum* peuvent être stockées pendant une longue période sans développer de moisissures. Quant à la masse de 1000 amandes, elle donne des indications notamment sur la masse d'une seule amande et le mode d'élaboration du rendement en farine. Elle est de 1949,88 g. Elle varie de 1526,1 g à 2265,87 g observées respectivement à Bassila et Sinendé. La valeur du CV (11,60 %) est comprise entre 10 et 15 %, donc la variation intercommunale est moyenne. La variation intra-communale est faible (CV = 0-9,83 %), sauf qu'elle est moyenne à Sinendé et N'Dali (CV = 11,82-14,26 %), et assez importante (CV = 15,71-16,43 %) à Pèrèrè et Boukombé. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Bassila (CV = 0 %) et Boukombé (CV = 16,43 %). Au Nigéria, elle est comprise entre 3184 et 3737g pour une teneur en eau comprise entre 8,2 % et 28,5 % [7]. Ces variations de la masse de mille amandes entre pays et dans l'espace pourraient être liées à la variabilité des dimensions des amandes observée dans la présente étude et la différence entre les teneurs en eau [29]. Par ailleurs, les amandes de *D. microcarpum* sont plus lourdes que certaines graines oléagineuses, notamment les graines de soja, 171,50-219,04 g [29], les amandes de *Moringa oleifera*, 234 - 246 g [30]. Cependant, les amandes de *vitellaria paradoxa* (Karité), qui ont une masse de 1000 amandes estimée à 4004 g [31], sont plus lourdes que celles de *D. microcarpum*. Pour ce qui est de l'aire massique, elle est de 0,33 m²/kg. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Sinendé (0,30 m²/kg) et à Bassila (0,38 m²/kg) respectivement. La variation intercommunale est faible car le CV (CV = 5,37 %) est compris entre 0 et 10 % ainsi que la variation intra-communale (CV = 0,01-3,63 %). La variation de l'aire massique est faible dans toutes les communes. Un kilogramme d'amandes occupe au moins une surface de 0,30 m² et au plus 0,38 m².

Tableau 1 : Valeurs massiques des amandes de *Detarium microcarpum*

Zones phytogéographiques	Communes	Teneur en eau et en matières volatiles (%)		Masse de 1000 amandes (g)		Aire massique (m ² /kg)	
		Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV
Soudanienne	Banikoara	13,35	1,93	1866,25	0,79	0,33	1,15
	Kandi	12,29	2,97	1618,01	9,81	0,36	3,3
	Malanville	12,28	3,06	2103,61	1,9	0,32	1,55
	Karimama	13,02	0,65	1595,42	5,87	0,35	1,31
	Ségbana	10,85	0,36	2089,32	1,58	0,32	0,16
	Gogounou	12,51	1,15	1947,03	2,5	0,33	0,71
	Kérou	12,31	2,4	2258,23	0,48	0,32	1,08
	Kouandé	12,59	4,08	2001,2	5,7	0,34	0,3
	Péhunco	13,33	4,56	2257,91	0,36	0,31	1,23
	Tanguiéta	11,96	2,13	1954,51	3,53	0,33	1,03
	Boukombé	14,68	2,87	1751,77	16,43	0,34	0,21
	Bembèrèkè	11,73	1,31	1932,41	2,00	0,33	1,08
	Sinendé	12,74	3,95	2265,87	11,82	0,3	2,14
	Djougou	13,88	2,12	1900,72	9,83	0,33	0,40
	Copargo	12,63	0,44	1978,74	0	0,34	3,63
Soudano-guinéenne	N'Dali	12,72	3,16	1538,15	14,26	0,36	3,01
	Parakou	11,93	6,16	1965,26	6,76	0,33	2,56
	Pèrèrè	12,40	3,78	2117,94	15,71	0,33	0,01
	Kalalé	12,84	1,28	2120,59	0,18	0,33	1,00
	Tchaourou	12,74	4,81	1942,69	4,17	0,34	0,55
	Nikki	12,19	3,93	2165,56	1,61	0,33	0,82
	Bassila	13,83	0,27	1526,1	0	0,38	0,93
	Moyenne	12,67	6,43	1949,88	11,6	0,33	5,37

CV : Coefficient de variation ; Moy : moyenne

Les dimensions axiales des amandes analysées par commune sont présentées dans le **Tableau 2**. De ce **Tableau 2**, il ressort que les amandes du Nord-Bénin mesurent en moyenne 21,34 mm de longueur, 18,55 mm de largeur, 8,89 mm d'épaisseur, 16,26 mm de diamètre arithmétique, 15,16 mm de diamètre géométrique et 14,33 mm de diamètre équivalent. Ces paramètres ont varié respectivement de 18,05 mm à 25,37 mm, de 16,94 mm à 22,01 mm, de 7,22 mm à 10,38 mm, de 14,07 mm à 18,49 mm, de 12,99 mm à 17,04 mm et de 13,25 mm à 15,56 mm. Globalement, les amandes issues de Kouandé se distinguent par leur supériorité en comparaison aux autres amandes testées contrairement à celles provenant de Kandi. Par ailleurs le coefficient de variation a révélé des variations intercommunales et intra-communales pour l'ensemble des dimensions axiales étudiées. Les variations intercommunales sont faibles et ceci pour l'ensemble des dimensions axiales car les CV sont compris entre 0 et 10 %. Les amandes récoltées à Banikoara ont présenté une faible variation (CV = 0,65-8 %) de dimensions axiales. Les variations des longueurs, largeurs, épaisseurs et diamètres arithmétiques des amandes issues respectivement de Ségbana, Boukombé, pèrèrè et Parakou sont assez importantes (CV = 15,5-23,06 %). Au Nigéria, la longueur, la largeur l'épaisseur, le diamètre arithmétique, le diamètre géométrique et le diamètre équivalent des amandes de *D. microcarpum* sont respectivement compris entre 29,5 et 32,1 mm, 18,5 et 26,1 mm, 4 et 12,1 mm, 17,3 et 23,4 mm, 13,0 et 21,6 mm, 17,5 et 17,9 mm pour une teneur en eau comprise entre 8,2 % et 28,5 % [7] tandis qu' au Mali, la longueur et l'épaisseur sont respectivement de 18,21 mm et 7,69 mm [32]. Globalement, les dimensions des amandes de karité sont plus élevées que celles de *D. microcarpum*. En effet, les moyennes des longueurs, des largeurs, des épaisseurs et des diamètres arithmétiques des amandes de karité du Bénin sont respectivement égales à 25,6 mm, 15,15 mm, 17,83 mm et 19,53 mm [31]. Par contre, les amandes de *D. microcarpum* ont des dimensions plus élevées que celles des graines de soja.

En effet, la longueur, la largeur, l'épaisseur, le diamètre arithmétique et le diamètre géométrique des graines de soja sont respectivement comprises entre 7,27 à 8,25 mm, 6,48 à 6,97 mm, 5,41 à 5,94 mm, 6,39 à 7,05 mm et 6,34 à 6,98 mm [29]. Les différences observées peuvent s'expliquer notamment par la diversité génétique au sein des graines étudiées. D'ailleurs plusieurs auteurs [33 - 35] ont montré que les propriétés physiques d'une graine varient en fonction de la teneur d'humidité, la variété et le lieu de provenance. Le diamètre géométrique inférieur à la longueur est une indication de la forme non sphérique des amandes, et une confirmation de leur allongement [36]. La notion de diamètre équivalent est définie pour les graines de forme irrégulière en comparaison à celle d'une sphère. Il se définit alors comme étant le diamètre de la sphère ayant le même volume que la graine [37]. La longueur, la largeur et l'épaisseur des graines constituent des paramètres très importants pour la construction des équipements de séparation, de triage et de concassage [12, 38, 39]. En effet, le concassage est réalisé par friction de l'amande entre deux grilles horizontales et parallèles, l'une fixe et l'autre mobile [40]. Mais la variabilité des dimensions, notamment des épaisseurs et largeurs des amandes, pose le problème de réglage du jeu entre les grilles. L'efficacité du concassage dépendra largement de ce réglage. Si le jeu est fixé à 8 mm, toutes les amandes de *Detarium microcarpum* d'épaisseurs supérieures à 8 mm seraient concassées. Cette analyse est faite en se basant sur le **Tableau 2** ci-dessous qui montre que toutes les amandes ont une épaisseur moyenne supérieure à 8 mm, à l'exception de celles de Kandi.

Tableau 2 : Dimensions des amandes de *Detarium microcarpum*

Zones phytogéographiques	communes	Longueur (mm)		Largeur (mm)		Epaisseur (mm)		Diamètre arithmétique (mm)		Diamètre géométrique (mm)		Diamètre équivalent (mm)	
		Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV
Zone Soudanienne	Banikoara	23,47	4,01	20,92	4,97	9,08	8	17,83	3,57	16,45	3,89	14,07	0,65
	Kandi	18,05	10,84	16,94	9,86	7,22	11,31	14,07	8,83	12,99	8,08	13,53	2,18
	Malanville	19,83	14,2	17,12	11,56	8,96	12,05	15,31	11,53	14,46	11,02	14,62	1,15
	Karimama	19,18	9,59	17,13	9,53	8,07	10,19	14,79	8,35	13,82	7,87	13,32	1,52
	Ségbana	21,68	17	18,04	14,42	8,09	8,73	15,94	13,93	14,66	12,47	14,56	0,58
	Gogounou	22,04	8,27	19,54	8,72	8,59	14,98	16,73	6,63	15,41	6,72	14,44	0,6
	Kérou	19,47	12,29	17,2	13,25	8,63	8,88	15,11	10,17	14,21	8,69	15,14	0,52
	Kouandé	25,37	8,04	22,01	6,14	8,1	9,73	18,49	6,51	16,52	6,57	14,65	2
	Péhunco	20,42	9,48	17,86	9,68	9,28	9,49	15,86	7,77	14,98	7,09	15,03	0,53
	Tanguiéta	22,01	8,22	18,5	7,75	8,85	8,38	16,46	5,98	15,31	5,67	14,35	1,52
	Boukombé	21,76	15,32	19,44	17,91	9,31	7,13	16,84	13,99	15,76	12,03	13,74	5,57
	Bembèrèkè	22,16	7,88	19,05	8,25	8,77	8,95	16,66	5,35	15,43	4,43	14,29	0,31
	Sinendé	19,1	6,87	18,28	8,69	10,38	11,73	15,92	7,12	15,34	7,39	15,56	0,6
	Djougou	21,82	10,26	17,99	9,34	9,06	9,35	16,29	8,43	15,24	7,82	14,19	3,15
Soudano-guinéenne	Copargo	21,48	11,39	18,13	11,15	9,5	9,95	16,37	8,92	15,43	8,14	14,44	0,6
	N'Dali	21,06	10,53	18,22	12,56	9,11	16,01	16,14	10,2	15,13	10,61	13,28	5,77
	Parakou	20,99	14,41	18,08	14,53	9,03	13,01	16,04	15,5	15,05	13,41	14,26	3,11
	Pèrèrè	21,75	13,63	17,91	17,77	9,13	23,06	16,27	13,68	15,18	13,58	14,41	2,7
	Kalalé	24,11	11,07	21,54	12,92	9,59	8,16	18,42	9,67	17,04	8,15	14,83	0,28
	Tchaourou	21,15	10,93	18,51	10,42	9,16	9,35	16,27	8,66	15,28	7,69	14,38	1,21
	Nikki	20,49	9,51	17,8	9,96	8,52	12,16	15,61	7,71	14,55	7,06	15,06	0,26
	Bassila	22,04	7,91	17,85	10,37	9,08	11,91	16,33	8,14	15,27	8,47	13,25	0,77
	Moy	21,34	7,88	18,55	7,45	8,89	7,26	16,26	6,42	15,16	5,79	14,33	4,32

CV : Coefficient de variation ; Moy : moyenne

L'évaluation des propriétés géométriques des amandes de *Detarium microcarpum* (**Tableau 3**) a montré que la sphéricité, l'aplatissement, l'élongation et le volume de 1000 amandes ont varié contrairement au volume massique qui est de 0,005 m³/kg. Ils sont compris entre 0,65 et 0,73, 1,78 et 2,73, 1,04 et 1,24, 1220 et 1975 cm³ respectivement. Les variations intercommunales sont faibles (CV = 3,94 - 9,64 %) au sein de ces propriétés géométriques évaluées, à l'exception du volume de 1000 amandes où la variation intercommunale est moyenne (CV = 11,81 %). Les variations intra-communales les plus élevées de la sphéricité, de l'aplatissement, de l'élongation, du volume massique et du volume de 1000 amandes sont observées respectivement à pèrèrè (CV = 8,37 %), Gogounou (CV = 20,83 %), N'Dali (CV = 11,18 %), Copargo (CV = 3,62 %) et N'Dali (CV = 17,25 %). La sphéricité des amandes comprise entre 0,65 et 0,73 (**Tableau 3**) est supérieure à celle des amandes récoltées au Nigéria qui varie de 0,58 à 0,66 pour une teneur en eau comprise entre 8,2 % et 28,5 % [7]. Les amandes de karité et les graines de soja sont plus proches de la forme sphérique que les amandes de *D. microcarpum*. En effet, la sphéricité des amandes de karité est égale à 0,74 [31] et celle des graines de soja est comprise entre 0,85 et 0,87 [29]. La sphéricité est importante dans les opérations de manutention telles que le déchargement et le transport car elle est prise en considération pour concevoir la pente de l'équipement de transfert. En particulier, une sphéricité élevée des graines leur permet de rouler plutôt que de glisser pendant le processus de transport [41]. Par ailleurs, les rapports entre les trois dimensions L/l (élongation) et l/e (aplatissement) étant supérieurs à 1 (**Tableau 3**) alors les graines sont de forme allongée que large et qu'épaisse. Les amandes de *Detarium microcarpum* récoltées au Mali ont une forme ovale [32]. De ce fait, des grilles à perforations allongées pourront mieux trier les amandes que celles à perforations rondes. Le volume moyen de 1000 amandes de *Detarium microcarpum* est égal à 1553,86 cm³. Celui de karité qui est égal à 4025,64 cm³ [31]. Ainsi, le volume d'une amande de karité est deux fois supérieur à celui de *D. microcarpum*.

Tableau 3 : propriétés géométriques et volumiques des amandes de *Detarium microcarpum*

Zones phytogéographiques	Communes	Aplatissement		Elongation		Sphéricité		Volume massique m ³ /kg		Volume de 1000 (cm ³)	
		Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV
soudanienne	Banikoara	2,31	9,71	1,12	4,87	0,7	3,89	0,005	1,15	1460	1,94
	Kandi	2,36	13,82	1,06	4,85	0,72	5,29	0,005	3,3	1300	6,53
	Malanville	1,92	10,44	1,15	6,71	0,73	6,53	0,005	1,55	1460	3,45
	Karimama	2,13	10,96	1,19	4,6	0,72	4,32	0,005	1,31	1240	4,56
	Ségbana	2,22	11,59	1,2	7,28	0,68	6,63	0,005	0,17	1620	1,75
	Gogounou	2,33	20,83	1,13	6,5	0,7	6,62	0,005	0,71	1580	1,79
	Kérou	2	16,53	1,13	5,11	0,73	5,96	0,005	1,08	1820	1,55
	Kouandé	2,73	9,47	1,15	4,84	0,65	4,4	0,005	0,30	1650	6
	Péhunco	1,93	13,5	1,14	5,42	0,73	5,00	0,005	1,23	1780	1,59
	Tanguiéta	2,1	11,7	1,19	8,54	0,69	5,43	0,005	1,03	1550	4,56
	Boukombé	2,08	15,8	1,12	5,07	0,72	4,31	0,005	0,21	1360	16,64
	Bembèrèkè	2,19	14,2	1,16	8,06	0,69	5,53	0,005	1,08	1530	0,92
	Sinendé	1,78	13,01	1,04	4,87	0,8	4,07	0,005	2,14	1975	1,79
	Djougou	1,99	10,66	1,21	4,54	0,7	5,23	0,005	0,4	1500	9,43
	Copargo	1,92	16,09	1,18	7,73	0,72	5,62	0,005	3,62	1580	1,79
Soudano-guinéenne	N'Dali	2,04	19,15	1,16	11,18	0,71	4,92	0,005	3,02	1230	17,25
	Parakou	2,01	12,46	1,15	5,58	0,72	5,91	0,005	2,56	1520	9,3
	Pèrèrè	2,01	20,4	1,22	9,15	0,69	8,37	0,005	0,01	1570	8,11
	Kalalé	2,26	15	1,12	6,09	0,7	5,21	0,005	1	1710	0,83
	Tchaourou	2,03	13,2	1,14	5,52	0,72	5,79	0,005	0,55	1560	3,63
	Nikki	2,12	18,49	1,15	7,02	0,71	4,59	0,005	0,82	1790	0,79
	Bassila	1,97	10,91	1,24	7,74	0,69	5,06	0,005	1,03	1220	2,32
	Moy	2,11	9,64	1,15	4,11	0,71	3,94	0,005	1,98	1553,86	11,81

CV : Coefficient de variation ; Moy : moyenne

Le **Tableau 4** montre la densité, la porosité, la masse volumique réelle et la masse volumique apparente des amandes de *Detarium microcarpum*. Les valeurs moyennes sont respectivement de 1,26, 5,85 %, 1160,28 kg/m³ et 1186,47 kg/m³. Elles se situent dans l'intervalle de 1,21 à 1,29, de 2,38 à 9,00 %, de 1209,77 kg/m³ à 1294,47 kg/m³ et de 1138,13 kg/m³ à 1258,64 kg/m³ respectivement. Ainsi, Les variations intercommunales sont faibles (CV = 1,96 – 2,64 %), à l'exception de la porosité où une variation intercommunale assez importante a été observée. Par ailleurs, les variations intra-communales des propriétés gravimétriques des amandes sont faibles, à l'exception de la porosité qui a une variation moyenne (CV = 10,36-11,61 %) à Péhunco et Copargo, assez importante (CV = 15,71-28,69 %) à Banikoara, Bembèrèkè, Sinendé, N'Dali, Parakou, Kalalé, Djougou et Bassila, et importante (CV = 44,45-70,71 %) à Kérou, Tchaourou, Nikki et Tanguiéta. La porosité, la masse volumique réelle et la masse volumique apparente des amandes de *D. microcarpum* récoltées au Nigéria ont varié respectivement de 35 à 53,1 %, de 1060 à 1316 kg/m³ et de 652,5 à 617,2 kg/m³ pour une teneur en eau comprise entre 8,2 % et 28,5 % [7]. Les propriétés gravimétriques jouent un rôle important dans la conception des équipements liés à l'aération, au séchage, au stockage et au transport. La densité apparente détermine la capacité des systèmes de stockage et de transport, tandis que la densité réelle est utile pour les équipements de séparation; La porosité de la masse de semences détermine la résistance au flux d'air lors de l'aération et du séchage des graines [42]. Les amandes de *Detarium microcarpum* contiennent un degré d'espaces vides moins important (en moyenne 5,85 % de porosité). Ainsi, les amandes résisteront à l'écoulement de l'air à travers la masse des graines. Toutefois, le faible degré d'espaces vides inter-granulaire avantage la transformatrice car elle aura plus d'huile. Les amandes sont légèrement plus denses que l'eau (1 g/mL), dans laquelle elles peuvent donc être immergées. Cette propriété est largement exploitée comme opération unitaire de séparation.

Tableau 4 : Propriétés gravimétriques des amandes de *Detarium microcarpum*

Zones phytogéographiques	communes	Densité		Porosité (%)		Masse volumique réelle (kg/m ³)		Masse volumique apparente (kg/m ³)	
		Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV	Moy	CV
Zone Soudanienne	Banikoara	1,28	1,15	6,38	24,78	1278,39	1,15	1196,93	2,83
	Kandi	1,24	3,3	8,47	5,98	1243,28	3,3	1138,13	3,85
	Malanville	1,28	1,55	2,38	3,37	1283,03	1,55	1252,46	1,47
	Karimama	1,28	1,31	6,07	4,29	1286,24	1,31	1208,24	1,58
	Ségbana	1,28	0,17	2,41	1,70	1289,72	0,17	1258,64	0,13
	Gogounou	1,23	0,71	4,82	1,70	1232,22	0,71	1172,83	0,79
	Kérou	1,24	1,08	3,17	44,45	1240,88	1,08	1201,64	2,53
	Kouandé	1,21	0,30	3,51	5,79	1212,96	0,3	1170,32	0,09
	Péhunco	1,27	1,23	6,81	11,61	1268,61	1,23	1182,17	0,38
	Tanguiéta	1,26	1,03	6,06	70,71	1261,27	1,03	1184,55	3,53
	Boukombé	1,28	0,21	8,06	6,50	1288,28	0,21	1184,42	0,78
	Bembèrèkè	1,26	1,08	4,38	20,20	1262,95	1,08	1207,76	2,00
	Sinendé	1,28	2,14	7,56	28,69	1278,46	2,14	1181,54	0,21
	Djougou	1,27	0,40	6,19	17,95	1266,91	0,40	1188,44	0,78
	Soudano-guinéenne	Copargo	1,24	3,63	6,50	10,36	1236,71	3,63	1156,47
N'Dali		1,25	3,02	9,00	15,71	1253,79	3,02	1140,68	1,47
Parakou		1,29	2,56	5,64	23,47	1294,47	2,56	1221,21	1,15
Pèrèrè		1,27	0,01	7,12	7,53	1271,92	0,01	1181,35	0,56
Kalalé		1,24	1,00	5	15,71	1240,16	1,00	1178,11	0,18
Tchaourou		1,24	0,55	8,06	53,64	1245,19	0,55	1144,74	4,15
Nikki		1,21	0,82	4,24	68,99	1209,77	0,82	1158,56	3,88
Bassila		1,28	1,03	6,88	16,78	1281,06	1,03	1193,04	2,27
	Moy	1,26	1,96	5,85	32,73	1260,28	1,96	1186,47	2,64

CV : Coefficient de variation ; Moy : moyenne

3-2. Caractéristiques mécaniques des amandes de *Detarium microcarpum*

Le **Tableau 5** montre Les résistances à la rupture des amandes suivant l'horizontale et la verticale des différents échantillons. Il en ressort que, la force de rupture moyenne des amandes de *Detarium microcarpum* est de 4329,4 N et 1501,5 N respectivement suivant l'horizontale et la verticale. Elle a varié de 157,9 N à 10398,6 N suivant l'horizontale et de 351,5 N à 2361,7 N suivant la verticale. La variation intercommunale est importante suivant l'horizontale (CV = 51,94 %) et assez importante suivant la verticale (CV = 30,10 %) car les coefficients de variation sont respectivement supérieurs à 44 % et compris entre 15-44 %. La variation intra-communale est importante (CV = 45,31-102,20 %) suivant l'horizontale, à l'exception des échantillons collectés à Djougou où elle est assez importante (CV = 25,93 %). Gogounou présente la valeur du CV la plus petite (CV = 1,79 %) contrairement à celle de Tanguiéta (CV = 74,08 %). Suivant la verticale, la variation intra-communale est assez importante, sauf qu'elle est faible (CV = 2,46-9,58 %) à Bembèrèkè, Ségbana et Djougou, importante (CV = 63,05 %) à Tanguiéta et moyenne (CV = 10,82-14,43 %) à Parakou, Bassila, Banikoara et Nikki. Les amandes issues de Bembèrèkè possèdent le CV le plus faible contrairement à celles de Tanguiéta. Globalement, la force de rupture des amandes de *D. microcarpum* du Bénin (**Tableau 5**) est supérieure à celle du Nigéria. En effet, la force de rupture minimale et maximale des amandes de *D. microcarpum* du Nigéria sont respectivement de $132,5 \pm 21,9$ N et 193 ± 22 N [15]. La résistance moyenne à l'écrasement des amandes de *D. microcarpum* (**Tableau 5**) est élevée comparativement à celle des noix de *Parkia biglobosa* (299,01 N) [43] et des amandes de Karité (399,26N) [44]. Les amandes de *D. microcarpum* résisteront donc aux attaques des rongeurs et auront un meilleur comportement en stockage. Néanmoins, le concassage de ces amandes consommerait plus d'énergie.

Tableau 5 : Résistance à la rupture des amandes de *Detarium microcarpum*

Zones	Communes	Force de rupture suivant			
		Horizontale		verticale	
		Moy (N)	CV	Moy (N)	CV
Soudanienne	Banikoara	10398,6	80,50	1606	12,32
	Kandi	157,9	48,54	1021	29,26
	Malanville	6542,3	61,95	2004,6	20,56
	Karimama	4433		1694	26,55
	Ségbana	5139,3	55,11	1019,6	8,27
	Gogounou	2570		1238	21,25
	Kérou	3199	48,12	1137	16,68
	Kouandé	2256,3	102,20	1601,6	40,62
	Péhunco	3632,3	51,94	1957	18,41
	Tanguiéta	8677		1117	63,05
	Boukombé	4053	77,19	1082,6	32,84
	Bembèrèkè	2010		1525,5	2,46
	Sinendé	2072,3	63,79	2361,7	20,59
	Djougou	3095,3	25,93	2156,7	9,58
	Copargo	4934,3	63,05	1734	24,03
Soudano-guinéenne	N'Dali	4869,7	81,99	1832,7	26,14
	Parakou	7031,3	74,53	1609,6	10,82
	Pèrèrè	4737,7	45,31	1652	26,88
	Kalalé	1529		1253	21,33
	Tchaourou	4241		351,5	31,58
	Nikki	4023,7	66,06	1657	14,43
	Bassila	4224		1420,5	12,29
	Moy	4329,4	51,94	1501,5	30,10

CV : Coefficient de variation ; *Moy* : moyenne

Afin de faire ressortir les éventuelles ressemblances et dissemblances, la classification hiérarchique ascendante (dendrogramme) a été réalisée sur les échantillons de *Detarium microcarpum* (**Figure 3**).

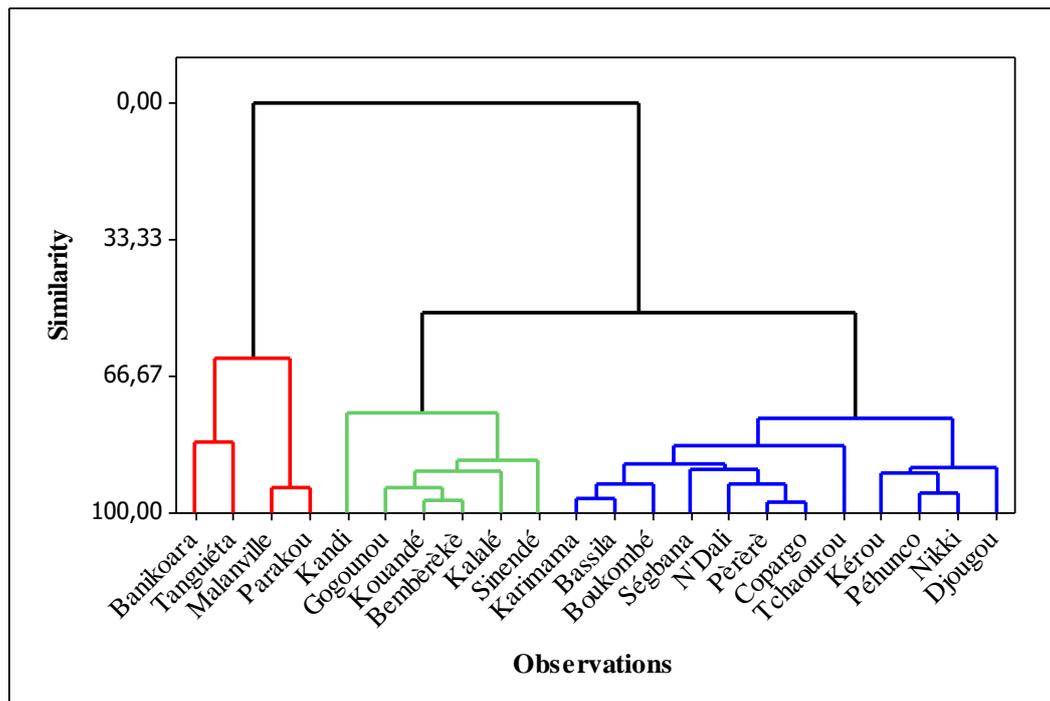


Figure 3 : Classification des individus

En se basant sur la résistance à la rupture, les valeurs massiques, les dimensions, les propriétés géométriques, volumiques et gravimétriques des amandes de *Detarium microcarpum*, l'analyse du dendrogramme a montré l'existence de trois (03) grands groupes. Le groupe 1 qui prend en compte quatre (04) individus (échantillons) : Banikoara, Tanguiéta, Malanville, Parakou, a un taux de similarité de 62,16 %. Il renferme 20 % d'échantillons de la zone soudanienne et 14,29 % de la zone soudano-guinéenne. Le taux de similarité du deuxième groupe qui compte six (06) individus : Kandi, Gogounou, Kouandé, Bembèrèkè, Kalalé et Sinendé, et celui du troisième groupe qui compte douze (12) individus (Karimama, Bassila, Boukombé, Ségbana, N'Dali, Pèrèrè, Copargo, Tchaourou, Kérou, Péhunco, Nikki et Djougou) sont respectivement de 75,47 % et 77,10 %. Ils contiennent respectivement 33,33 % et 46,67 % d'échantillons de la zone soudanienne, 14,29 % et 71,43 % de la zone soudano-guinéenne. Tous les groupes sont donc hétérogènes car chacun d'eux renferme d'échantillons provenant des zones soudaniennes et soudano-guinéennes. Etant donné que tous les échantillons d'une même zone n'ont pas la même similarité, alors il existe une variabilité intra-zonale sur les caractéristiques physiques et mécaniques des amandes de *D. microcarpum*. La disparité entre les échantillons de différentes zones, bien qu'elle existe et ne peut de ce fait être négligée, n'est toutefois pas aussi forte.

4. Conclusion

La présente étude consacrée à la caractérisation physique et mécanique des amandes de *Detarium microcarpum* du Nord-Bénin conduit à la détermination de la résistance à la rupture, des valeurs massiques, des dimensions, des propriétés géométriques, volumiques et gravimétriques. Les résultats obtenus montrent que la longueur, la largeur et l'épaisseur moyenne des amandes étaient respectivement de 21,34 mm, 18,55 mm et 18,55 mm. La masse moyenne de 1000 amandes, la porosité, la masse volumique réelle et apparente sont respectivement de 1949,88 g, 5,85 %, 1260,28 kg/m³ et 1186,47 kg/m³ tandis que la force de rupture moyenne des amandes était de 4329,4 N et 1501,5 N respectivement suivant l'horizontale et la verticale. A l'exception de la porosité, de la force de rupture, de la masse et du volume de 1000 amandes, la variation intercommunale est faible au niveau des dimensions axiales, des propriétés géométriques et gravimétriques. Les investigations consacrées à la caractérisation physique et à la mesure de la force de rupture nous ont permis de fournir des données utiles pour le traitement technologique des graines.

Remerciements

Les auteurs remercient le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique de la République du Bénin par une bourse de doctorat et l'Institut Olga Triballat pour le financement supplémentaire accordé au projet.

Références

- [1] - P. VANTOMME, FAO, Activités relatives aux produits forestiers non ligneux. OIBT, Actualités des Forêts Tropicales 07 (1999) 25 - 33
- [2] - S. C. A. M. DJAGOUN, R. G. KAKAÏ, R KONNON, C. SEWADE, M. KOUTON, W. BONOU, G. GOUWAKINNOU AND B. FANDOHAN, Potentiel des ressources végétales forestières alimentaires et médicinales de la Forêt classée de l'Ouémé Supérieur et N'Dali au Nord Bénin. *Fruits, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 04 (1) (2010) 47 - 54
- [3] - I. R. AGBO, A. A. MISSIHOUN, R. VIHOTOGBE, E. A. ASSOGBADJO, C. AHANHANZO AND C. AGBANGLA, Impacts des usages traditionnels sur la vulnérabilité de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpinioideae) dans le district phytogéographique Zou au Bénin (en Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (2) (2017) 730 - 742
- [4] - A. M. KOUYATE, A. MEYER, P. VAN DAMME, Perceptions paysannes de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. dans le sud du Mali. *Fruits*, 57 (2002) 305 - 312
- [5] - G. H. A. HOUENON, A. J. DJOSSOU, E. Y. KOUHINKPO, K. V. SALAKO, F. P. TCHOBO, A. C. ADOMOU, H. YEDOMONHAN, Parataxonomy, perceived dynamics and diversity of uses of two *Detarium* species in Benin (West Africa). *Genet Resour Crop Evol* (2021) <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01169-6>
- [6] - K. IKHIRI and A. T. ILAGOUMA, Constituants of *Detarium microcarpum*. *Fitoterapia*, 46 (1995) 274 - 274
- [7] - A. A. NDUBISI, M. E. ONAJI, A. L. ABUBAKAR, Moisture-dependent Physical Properties of *Detarium microcarpum* Seeds. *J. of Biosystems Eng.*, 40 (3) (2015) 212 - 223
- [8] - M. I. AKPATA and O. E. MIACHI, Proximate composition and selected functional properties of *Detarium microcarpum*. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 56 (2001) 297 - 302

- [9] - D. P. PETERS and A. A. OLAPADE, Effects of some processing methods on antinutritional, functional and pasting characteristics of *Detarium microcarpum* seed flours. *Annals. Food Science and Technology*, 19(1) (2018) 69 - 78
- [10] - U. N. EMIRI and E. C. CHUKWU, Biochemical Evaluation and Fungi Pathogens Associated with Fresh and Boiled *Detarium microcarpum* (Ofor) in Rivers State, Nigeria. *Journal of Biology and Genetic Research*, 3(2) (2017) 13 - 20
- [11] - N. Y. SVITLANA, H. P. JACQUES, M. ERIC, C. H. N. ROGER, B. C. L. YVONNE, Caractérisation de quelques huiles non conventionnelles du Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, 33 (2012) 67 - 71
- [12] - W. K. SOLOMON and A. D. ZEWDU, Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. *Industrial. Crops. Products.*, 29 (2009) 165 - 170
- [13] - 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
- [14] - 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, Wallingford, UK.* (2008) 438 p.
- [15] - F. A. UZOCHUKWU, C. N. ANYANWU, S. L. EZEHA, Mechanical and Thermal Properties of *Irvingia gabonensis*, *Detarium microcapum*, *Mucuna pruriens* and *Brachystegia eurycoma*. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 6 (1) (2019) 23 - 33
- [16] - H. VAUTIER, M. SANON and M. SACANDE, *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. *Seed Leaflet*, 122 (2007)
- [17] - NF V03-921, Tourteaux de graines oléagineuses. Détermination de la teneur en eau et en matières volatiles (janvier 1967)
- [18] - A. I. ZAVRAJNOV and D. I. NIKOLOV, Mechanization of the preparation and the forage conservation *Moscou*, 3(1990) 336 p.
- [19] - S. ÇALIŞIR, M. OZCAN, H. HACISEFEROGULLARI, AND M. U. YILDIZ, A study on some physico-chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculenta* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 68(1) (2005) 73 - 78
- [20] - H. DJIVOH, Caractérisation physico-chimique des graines de néré et mise au point d'une méthode de fragilisation. Thèse d'Ingénieur Agronome. FSA/UNB. (2009) 60 p.
- [21] - AOAC, Official methods of analysis, 13th edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington D. C. (1980)
- [22] - P. CHASSERAY, Caractéristiques physiques des grains et de leurs dérivés. In : Godon B Willm C éditeur. Les industries de première transformation des céréales. Techniques et Documentations-Lavoisier, Londres- New York, (1991) 694 p.
- [23] - N. N. MOHSENIN, Physical Properties of Plant and Animal Materials, 2nd edition (revised). *Gordon and Breach Science Publishers*, New York (1980)
- [24] - H. AHMADI, K. MOLLAZABER, J. KHORSHIDI, S. S. MOHTASEBI and A. RAJABIPOUR, Some physical and mechanical properties of fennel seed (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Agricultural Science*, 01 (1) (2009) 66 - 75
- [25] - H. AHMADI, H. FATHOLLAHZADEH AND H. MBLI, Postharvest physical and mechanical properties of apricot fruits, pits and kernels (C.V. *Sonnati Salmas*) cultivated in Iran. *Pakistan Journal of Nutrition*, 08 (3) (2009) 264 - 268
- [26] - A. S. OUEDRAOGO, *Parkia biglobosa* (Leguminosae) en Afrique de l'Ouest : Biosystématique et amélioration. Thèse de doctorat de l'Institut de la Recherche Forestière et de la Nature (IBN-DLO) et de l'Univ. agronomique de Wageningen (Pays-Bas). (1995) 205 p.

- [27] - S. T. LOWOR, P. C. ACULEY and M. K. ASSUAH, Analysis of Some Quality Indicators in Cured *Cola nitida* (Vent). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 01(6) (2010) 1206 - 1214
- [28] - L. P. SENA, D. T. VANDERJAGT, C. RIVERA, A. J. TSIN, T. MUHAMADU, O. MOHAMMADA, M. MILLSON, A. PASTUSZYA AND R. H. GLEW., Analysis of nutritional components of eight famine food of the Republic of Niger. *Plant-Foods Human Nutrition*, 52(1) (1998) 17 - 30
- [29] - H. TAVAKOLI, A. RAJABIPOUR AND S. S. MOHTASEBI, "Moisture-Dependent Some Engineering Properties of Soybean Grains". *Agricultural Engineering International : The CIGR Ejournal*. Manuscript 1110. Vol. XI (2009)
- [30] - E. A. AJAV and O. A. FAKAYODE, physical properties of moringa (*moringa oleifera*) seeds in relation to an oil expeller design. *Agrosearch*, 13(1) (2013) 115 - 129
- [31] - R. H. AHOANSOU, E. A. SANYA, G. BAGAN AND A. FOUJNET, Etude de quelques caractéristiques physiques des noix et amandes de karité produites au Bénin. *Science et Technique, Sciences Appliquées et Technologies*, 2 (2008) 29 - 38
- [32] - A. M. KOUYATE, aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali. Thèse de doctorat. Université Gent (Mali) (2005) 177 p.
- [33] - 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) en usage au Nord Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 75 (2014) 6239 - 6249
- [34] - N. A. AVIARA, P. P. POWER AND T. ABBAS, Moisture-dependent physical properties of *Moringa oleifera* seed relevant in bulk handling and mechanical processing. *Industrial Crops and Products*, 42 (2013) 96 - 104
- [35] - E. KARABABA, Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*, 72 (2006) 100 - 107
- [36] - M. TRACHI, Caractérisation physicochimique des amandes amères (*Prunus amygdalus*). Possibilité de valorisation. Thèse de doctorat. Université M'hamed Bougara-Boumerdes. (2015) 104 p.
- [37] - R. A. AHOANSOU, Contribution à la mise au point et à l'optimisation des équipements agroalimentaires au Bénin : cas de la décortiqueuse de néré et de la presse d'afitin. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-calavi (2013) 223 p.
- [38] - M. CETIN, Physical properties of barbania bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed. *Journal of Food Engineering*, 80 (2007) 353 - 358
- [39] - A. I. BAMGBOYE and S. E. ADEBAYO, Seed moisture dependent on physical and mechanical properties of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural Technology*, 8 (1) (2012) 13 - 26
- [40] - N. A. AVIARA, M. A. HAQUE and I. A. IZGE, Physical and frictional properties of sheanuts. *Agro-Science Journal*, 1 (2000) 19 - 34
- [41] - 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
- [42] - S. M. T. GHARIBZAHED, V. ETEMAD, J. MIRARAB-RAZI and M. FOSHAT, Study of some engineering attributes of pine nut (*Pinus pinea*) to design of processing equipment. *Research in Agricultural Engineering*, 56 (3) (2010) 99 - 106
- [43] - R. AHOANSOU, 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*, 8(1) (2006) 131 - 138
- [44] - R. H. AHOANSOU, M. V. AISSI, E. A. SANYA and M. M. SOUMANOU, Propriétés physique et mécanique des graines de *Pentadesma butyracea* produites au Bénin. *Journal of Applied Bioscience*, 50 (2012) 3485 - 3493