



Réalisation d'une décortiqueuse à graines de néré «*Parkia Biglobosa*» : optimisation et validation des performances techniques centrées sur les utilisateurs

Roger Houêchéné AHOANSOU^{1,2}, Gontrand Comlan BAGAN^{1,3}, Emile Adjibadé SANYA¹, Antoine VIANOU¹, Djidjoho Joseph HOUNHOUGAN⁴

¹ Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Appliquées (LEMA) – École Polytechnique d'Abomey- Calavi (EPAC) - 01 BP : 2009 COTONOU. Tél. (+229) 95063084.

² Programme Technologies Agricoles Alimentaires (PTAA) – INRAB. BP : 128, Porto-Novo. Bénin.

³ École de Machinisme Agricole et de Construction Mécanique (EMACOM), Université d'Agriculture de Kétou, Tel : +229 96336867.

⁴ Laboratoire des Sciences et des Aliments (LSA), Faculté des Sciences Agronomiques du Bénin (FSA), Université d'Abomey-Calavi : Tel : +229 97141411,

Auteur correspondant : Tel : +229 97986253 ; Email : gnankis@gmail.com

Original submitted in on 5th December 2016. Published online at www.m.elewa.org 31st March 2017
<http://dx.doi.org/104314/jab.v11i1.1>

RESUME

Objectifs : Le décortiquage des graines de néré précuites est une activité pénible pour les femmes productrices d'afitin (encore appelé dawadawa, iru, soumbala). La présente étude vise la mise au point d'une décortiqueuse performante de graines de néré précuites, l'optimisation et la validation de ses performances selon l'approche centrée sur les utilisateurs.

Méthodologie et résultats : L'optimisation est réalisée au moyen d'un plan d'expériences factoriel, les valeurs des variables caractéristiques retenues étant celles du procédé traditionnel de décortiquage, en raison des qualités de son produit final. Les résultats recueillis, dans les conditions optimales de son fonctionnement (vitesse : 666 tr/mn, ouverture de trémie : 116 mm), montrent que les performances fournies satisfont aux critères exigés par les transformatrices de néré pour adopter la machine. A ces conditions optimales, l'équipement présente les performances suivantes : Indice de décortiquage (0,91), Taux de décortiquage (96,27 %), Taux de brisure (1,47%), Rendement au décortiquage (50,35%), et Capacité horaire (773 kg/h).

Conclusion et application des résultats : Les résultats obtenus confirment l'excellente performance délivrée par la décortiqueuse réalisée. Les paramètres de performance affichent des valeurs optimales assez intéressantes et conformes aux aspirations exprimées par les utilisatrices en prélude à son adoption. Ainsi, la valeur optimisée du taux de décortiquage, à la vitesse de la grille de 666 tr/mn et au diamètre de la sortie de la trémie de 116 mm est égale à 96,27%. Ces conditions opératoires conduisent à un taux de brisure des cotylédons de 1,47% inférieur de 70% à celui des conditions de référence. L'une des exigences capitales des transformatrices de graines de néré est satisfaite à ce niveau. Dans la même tendance, on note que la valeur optimale du rendement au décortiquage est de 4,16% supérieure à celle des conditions de référence (48%). Cette étude permet de proposer une décortiqueuse performante aux transformatrices qui à court terme doit être vulgarisée.

Mots Clés : décortiqueuse, afitin, cotylédons, brisure, rendement, indice de décortiquage.

Design, performances optimization and validation centered on users requirements for African locust bean seeds dehusker "*Parkia biglobosa*"

ABSTRACT

Objectives: The dehulling of precooked locust bean seed is a hard work for women producers of afitin (also called dawadawa, iru, soumbala). The aim of this study is to develop a high-performance huller of pre-baked locust bean seeds, optimization and validation of its performance according to the user-centered approach.

Methodology and results: The optimization is carried out by means of a factorial experimental design. The values of the characteristic variables retained being those of the traditional method of dehulling, due to the qualities of its final product. The obtained results, under optimal running conditions (speed: 666 rpm, hopper opening diameter: 116 mm), showed that, apparatus output performances met the established compulsory criteria by African locust bean seeds processors into afitin for dehusker adoption. At these optimum conditions, the equipment has the following performances: dehulling index (0.91), shelling rate (96.27%), breakage rate (1.47%), shelling yield (50.35%), hourly capacity (773 kg/h).

Conclusions and application of the result: The results confirm the excellent performance delivered by the realized dehuller. Performance parameters appear quite interesting and optimum values and in line with the aspirations expressed by the women before its adoption. This equipment, better than the traditional method, significantly improves the quality work of locust bean seeds transformers into afitin. Thus, the optimum value of the husking rate to the grate speed of 666 rpm and the diameter of the hopper 116 mm is equal to 96.27%. These process conditions lead to a breaking rate of cotyledons is 1.47 ; less than 70% that of the reference value. One of the crucial requirements of African locust beans processors is satisfied at this level. In the same trend, it is noted that the optimal value of the hulling yield is 4.16% higher than that of the reference value (48%). This study allows us to offer an efficient dehuller the processors. This equipment must be disseminated.

Keywords : dehuller, afitin, cotyledon, breaking, yield, dehulling index.

INTRODUCTION

Le néré (*Parkia biglobosa*) est l'une des plantes génératrices de Produits Forestiers Non Ligneux (PNFL) les plus importantes au Bénin. La cosse de la gousse est valorisée pour améliorer les caractéristiques physiques des briques de construction (Aguwa & Okafor, 2012). Les graines de néré quant à elles sont largement consommées au Bénin (Koura *et al.*, 2013). Elles sont obtenues à partir de quatre sous-populations dont celle de la région de Kalalé (Nord Bénin) qui donne les valeurs élevées de poids de gousse, de nombre de graines par gousse et de nombre de gousses par infrutescence (Koura *et al.*, 2013). Importante source de protéines (30-40%), d'acides aminés essentiels, d'acides gras, de riboflavine, de thiamine, de niacine, dans la ration alimentaire des familles à bas revenus (Ari and Ayanwalé, 2012 ; Azokpota *et al.*, 2008) ces graines renferment 10 à 15% de lipides, 4% de sels minéraux, de vitamines notamment celles du groupe B et environ 500 kcal pour 100 g de parties comestibles. L'afitin, irou ou sonrou sont vendus généralement dans les emballages de type végétale ayant certaines propriétés physico-chimiques (Onzo *et al.*, 2013 ; Onzo *et al.*, 20014a) et physico-mécaniques (Onzo *et al.*, b, 2014b), apportant ainsi d'importants revenus aux femmes (Adéola, 2015). A l'état cru, les graines sèches de néré font partie de

graines les plus dures (Razzavi *et al.*, 2007) et fastidieuses à décortiquer (Akandé *et al.*, 2010). D'où l'application d'un prétraitement souvent thermique ou hydro-thermique aux graines pour faciliter le décortilage (Bup *et al.*, 2008). Ce prétraitement a une influence significative sur les propriétés physiques et chimiques de la graine (Akinoso. & Ebuloluwa El-alawa; 2013). La chaîne traditionnelle de transformation des graines de néré en afitin (dawadawa au Niger, iru au Nigeria, soumbala au Burkina Faso) comporte plusieurs opérations majoritairement manuelles : le nettoyage, le triage, le lavage, la pré-cuisson, le décortilage des graines séparant la coque des cotylédons, le rinçage, le triage, la cuisson des cotylédons et la fermentation alcaline avec le yanayankou (Agbobatinkpo *et al.*, 2013 ; Azokpota *et al.*, 2011). Le décortilage est la plus pénible de ces opérations et la moins hygiénique (Adisa *et al.*, 2014), la principale étape de contamination de l'afitin par les germes d'altération. Traditionnellement effectué par foulage aux pieds, le décortilage est l'un des facteurs limitant la consommation élargie d'afitin, à en croire les reproches prononcées par certaines couches de la population (Bationo *et al.*, 2004 ; Lingani-Sawadogo *et al.*, 2003). Diverses investigations sont menées afin de lever les contraintes et pénibilité de la conversion des

graines de néré en condiments (Agbobatinkpo *et al.*, 2011). Les travaux antérieurs ont permis d'identifier la décortiqueuse à grilles comme étant la mieux adaptée aux graines crues et sèches de néré et la plus performante (Sanya *et al.*, 2009). Les effets de différents traitements conférés aux graines avant le décortiquage ont été analysés (Ahouansou *et al.*, 2010). Les résultats ont montré que la décortiqueuse proposée fournit sa meilleure efficacité pour les graines cuites de 4 à 6 h, à régime de grille de 535 tr/mn et à ouverture de la trémie de 60 mm, confirmant les résultats des travaux similaires (Adewumi & Igbeka, 1993). Une mauvaise alimentation en graines de la chambre de décortiquage, due à l'écoulement anormal en sortie de trémie, a causé la faible capacité horaire (66 kg/h) et la nécessité de poussées régulières pour obliger les graines à y migrer. Pour ce faire, d'importantes modifications intégrées durant la conception, notamment aux niveaux de la trémie et de la grille active, ont abouti à la réalisation, l'optimisation et la validation des performances de nouvel équipement

MATERIEL ET METHODES

Sites de l'étude : Les expérimentations rapportées sont réalisées de manière collaborative entre les Laboratoires d'Énergétique et de Mécanique Appliquées (LEMA) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), du Programme Technologie Agricole Alimentaire (PTAA) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) et sur le site de production d'afitin au quartier Marché de la commune rurale d'Adjarra au Bénin.

Graines de néré : provenance et conditionnement : Les graines de néré utilisées sont celles de la variété *Parkia biglobosa* de la qualité tout venant. Elles ont été acquises au marché Dantokpa à Cotonou, mais proviennent de la région de N'Dali au Nord du Bénin. Environ 100 kg de graines ont été nettoyées, triées et stockées dans des sacs en polystyrène puis conservées dans les laboratoires à la température de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

objet du présent article. La méthode de plan d'expériences est exploitée dans l'analyse de l'influence des paramètres pertinents (ouverture de trémie et régime de la grille active) sur les variables caractérisant l'efficacité de la décortiqueuse mise au point.

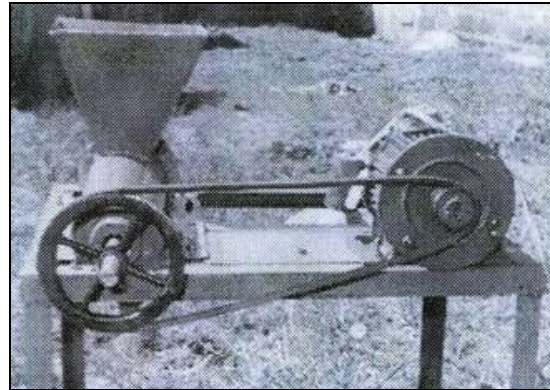


Photo 1 : Décortiqueuse de graines étuvéées (Nigeria)



Photo 2 : Graines de néré

Décortiqueuse de graines : Le matériel principal est la décortiqueuse conçue, réalisée et exploitée pour cette investigation. Il comporte deux parties (Figure 1). La première, thermomécanique, est faite d'un moteur thermique à essence, de puissance 5 cv (3,7 kW), délivrant à l'axe du vilebrequin 4000 tr/min. La seconde partie est celle opérationnelle constituée des organes mécaniques ci-après décrits (Tableau 1).

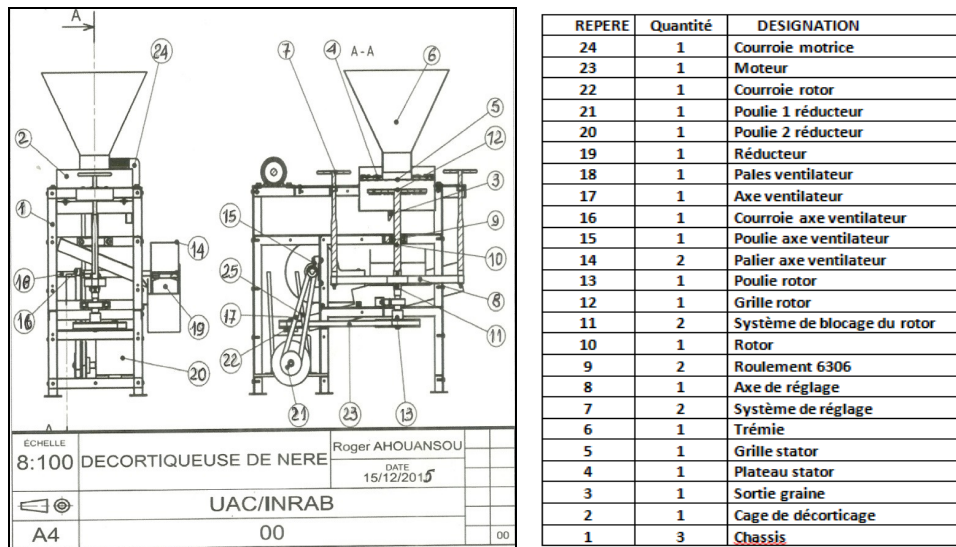


Figure 1 : Décortiqueuse de néré

Méthodes

Procédure de cuisson des graines en eau bouillante : Les graines de néré sont trempées dans l'eau ionisée à la température de 30 °C à raison de 2,5 L d'eau par kilogramme. La température du mélange est portée à environ 100 °C après 15 min et maintenue pendant la durée de cuisson. Dans la procédure, douze (12) lots notés C₁, C₂, ..., à C₁₂ de graines, de 3 kg chacun, sont constitués à partir du stock de graines nettoyées. Chaque lot de graines sert dans les essais à réaliser, en chaque point expérimental défini. Ces graines sont alors cuites pendant 4 h, la durée de la cuisson étant comptée à partir de l'ébullition.

Expérimentations effectuées : Les effets des variables opératoires, notamment la vitesse de rotation de la grille active et l'ouverture (i.e. diamètre) de sortie

de la trémie d'alimentation, sont analysés en procédant à l'enregistrement des données caractérisant les performances techniques de la décortiqueuse alimentée avec les graines de néré précédemment cuites à l'eau bouillante pendant 4 h. Les plages de valeurs des variables opératoires explorées sont respectivement de 60 à 200 mm pour l'ouverture de la trémie et de 535 à 882 tr/min pour le régime de la grille active. Le changement de vitesses est obtenu au moyen des jeux de poulies de différents diamètres calées sur l'axe du moteur d'entraînement. Le calcul du diamètre de la poulie requise pour établir une valeur de vitesse de grille de décortication donnée, est effectué à l'aide de la formule consacrée (Chevalier, 2004):

$$D_m = (N_g D_e D_g) / (N_m R D_s) \quad (1)$$

Dans cette expression, D_m, D_e, D_g, D_s sont les diamètres des poulies fixées sur les axes, respectivement du moteur (23), d'entrée du renvoi d'angle (19), de la grille mobile (12) et de sortie du renvoi d'angle (mm) (Tableau 1), N_g et N_m les régimes des axes du moteur et de la grille mobile (tr/mn) et R le rapport de réduction du renvoi d'angle ici égal à 5,25. La variation du diamètre (d) de l'ouverture inférieure de la trémie, de 60 à 200 mm, s'effectue par substitution de différentes trémies fabriquées pour la mise en œuvre de cette investigation. En définitive, il en découle

un plan d'expériences à douze (12) points répétés chacun en six (6) fois. La prise d'échantillon de graines est de masse m_e égale à 3 kg par essai.

Méthodes d'analyse technique : En chaque point expérimental et ses répétitions, on prélève un échantillon de masse m_p=500 g. L'échantillon est manuellement séparé au laboratoire en quatre (04) fractions pesées chacune afin d'en déterminer les masses respectives, des cotylédons restés entiers ou éclatés en deux (m_c), des graines non décortiquées ou partiellement décortiquées (m_n), des cotylédons brisés

(m_b) et des coques (m_h). Une graine est considérée comme décortiquée, si environ 90% de sa coque est enlevée (Leniges & Beverlov, 1975). L'efficacité de la décortiqueuse est évaluée au moyen des paramètres de performance tels que l'Indice de décortication (I_d), le

Taux de décortication (T_d), le Taux de brisure (T_b), le Rendement au décortication (R_d) et la Capacité horaire (C_h) (Oluwole *et al.*, 2004). Ils ont été respectivement calculés à partir des formules :

$$I_d = [(m_c + m_h) - (m_u + m_b)] / m_s \quad (2)$$

$$T_d = [(m_s - m_u) / m_s] \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$$T_b = [m_b / (m_c + m_b)] \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

$$R_d = [(m_c + m_b) / m_s] \times 100 \quad (\%) \quad (5)$$

$$C_H = M_E / t_h \quad (\text{kg/h}) \quad (6).$$

avec m_s la masse de l'échantillon ; m_c la masse des cotylédons entiers ou éclatés en deux ; m_h la masse de coques ; m_u la masse de graines non décortiquées ou partiellement décortiquées et m_b la masse de cotylédons brisés.

L'indice de décortication est un paramètre permettant d'estimer l'efficacité globale de la machine. Sa valeur théorique est comprise entre -1 et +1. Elle est égale à -1 dans le cas où l'opération s'est soldée par la brisure totale des graines et +1 dans celui où le décortication est parfait sans brisure et sans graines non décortiquées (Okpoku *et al.*, 2003).

Estimation des valeurs référentielles de performance : Les valeurs de références ont été estimées à partir d'un sondage réalisé auprès de trente (30) productrices d'afitin, choisies de façon aléatoire, parmi celles qui ont bien voulu accepter de se prêter à cette investigation. La répartition spatiale des trente productrices retenues se présente de la façon suivante: neuf (09) dans la ville de Porto-Novo, cinq (05) à Avrankou, deux (02) à Banigbé, deux (02) à Sakété, deux (02) à Dangbo et dix (10) à Abomey. Cependant, les critères de base du choix des femmes enquêtées sont l'exercice de l'activité principale : la fabrication et la vente du produit fini (afitin), dans ces six localités du Bénin. La méthode de Ahouansou 2012, est utilisée pour la détermination des valeurs de références du : Taux de décortication ; du Taux de brisure ; de l'Indice de décortication pris en référence ; du rendement au

décortication ; de la Capacité horaire de référence. L'équipement, calé sur les valeurs optimisées du diamètre de la trémie et la vitesse de la grille, a été testée auprès des transmatrices et les indicateurs de performances obtenues sont comparées aux valeurs théoriques.

Analyses statistiques : L'analyse des données est effectuée sous STATGRAPHICS Plus et MINITAB, tous deux, adaptés à ce genre d'analyse. Leurs avantages résident dans le fait qu'ils permettent d'analyser, aussi bien, l'influence isolée des variables étudiées (vitesse et ouverture de trémie), que celle induite par leurs interactions et cela, en un nombre réduit d'essais, donc de coût. Ils génèrent aussi une procédure d'optimisation multi variables fournissant les valeurs optimisées aussi bien, des paramètres opératoires (facteurs d'entrée), que celles des caractéristiques de performance recherchées (réponses). La présentation des résultats des effets provoqués par les interactions entre les variables étudiées (Diamètre de trémie et Vitesse de rotation) sur l'évolution des paramètres d'efficacité de la machine, est faite au moyen de la méthode des surfaces de réponse. Le niveau de confiance retenu est de 95%, valeur classiquement adoptée dans les analyses statistiques des données. Il est indiqué, par la délimitation en trait interrompu, sur les graphiques d'effets standardisés de PARETO (Glèlè Kakai *et al.*, 2005).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Valeurs limites des performances et valeurs de référence : Les données collectées, à l'issue de l'enquête menée auprès des femmes transmatrices des graines de néré en afitin, sont consignées dans le

Tableau 2. L'importance de ces résultats réside dans le fait qu'ils servent de cadrage et de valeurs de références pour les paramètres de performance investis dans la présente étude.

Tableau 2 : Valeurs limites et valeurs de références des paramètres de performance techniques de la décortiqueuse.

Désignation	Valeur minimale admise	Valeur de référence	Valeur maximale admise	Score (%)
Indice de décortilage	0,85	0,93	1	90,04
Taux de décortilage (%)	90	95	100	91
Taux de brisure (%)	0	5	10	89,4
Rendement au décortilage (%)	40	48	60	78,6
Capacité horaire (kg/h)	500	800	1000	75

L'analyse des données recueillies permet de confirmer clairement que la valeur idéale de l'Indice de décortilage est de 1. En effet, lorsque la valeur 1 est attribuée à ce paramètre, alors toutes les graines sont parfaitement décortiquées et aucun cotylédon n'est brisé. Par contre, la valeur minimale de l'Indice de décortilage acceptable est de 0,85. En réalité, la majorité des transformatrices interrogées estiment, au vu de la qualité effective des graines décortiquées exhibées, que si la valeur de l'indice de décortilage est inférieure à 0,85, l'équipement fournissant un tel niveau de performance n'est pas susceptible de lever la pénibilité du décortilage (la valeur de référence 0,93 étant obtenue par elles par le foulage aux pieds). Un équipement pouvant délivrer un Indice de décortilage de valeur très proche de 0,93 et au-delà sera systématiquement adopté. Le Taux de décortilage demeure aussi l'un des paramètres de référence de l'activité de décortilage. La majorité des transformatrices estiment que le décortilage est parfait lorsque la totalité des graines sont décortiquées à 100%. Par contre, la valeur minimale du taux de décortilage admissible est de 90%. C'est la condition, soulignent-elles, pour ne plus accumuler un taux de pertes élevé, mais pouvoir plutôt rentabiliser la production. Le Taux de brisure est également un élément capital caractéristique de l'activité de décortilage. De l'avis des transformatrices enquêtées, sa particularité réside dans le fait qu'il occupe une place de choix parmi les exigences d'une catégorie de consommateurs du produit. En effet soulignent-elles, certains consommateurs sont satisfaits seulement lorsque l'afitin traditionnel est constitué essentiellement de cotylédons entiers. Aussi, estiment-elles que lorsque le taux de brisure est élevé, des pertes élevées sont enregistrées dans le bain de terre de barre, pendant la phase de tri. Elles justifient ces pertes par le fait que les cotylédons brisés restent mélangés à de la boue et à la coque et sont par conséquent très difficiles à récupérer et finalement abandonnés. Par contre, les cotylédons entiers surnagent le bain et sont simplement récupérés

à l'aide d'un panier. Pour la majorité des productrices enquêtées, un taux de brisure compris entre 0 et 10% est jugé recevable, non pas au-delà. La valeur référence de ce paramètre est égale à 5%. Le rendement au décortilage est aussi admis, par la majorité des transformatrices (78,6%), comme fluctuant dans l'intervalle allant de 40 à 60%, fonction de la qualité initiale des graines. Elles estiment que, si les exigences sur les valeurs limites des taux respectifs de décortilage et de brisure sont respectées, il est possible de tenir effectivement dans ces limites. Un décortilage fournissant un rendement inférieur à 40% occasionne assez de manques à gagner aux transformatrices. Elles sont alors plus exigeantes sur ce paramètre, surtout en période de cherté des graines de néré où le sac de 100 kg leur est livré à 90 000 FCFA contre 45 000 FCFA habituellement. La valeur de référence est celle obtenue au décortilage traditionnel, soit 48%. L'introduction d'un équipement destiné à améliorer les performances techniques issues de la méthode traditionnelle vise, entre autres, la réduction de la pénibilité du travail et l'augmentation de la productivité. A l'instar des moulins à maïs et à condiments, une décortiqueuse de graines de néré doit, pour être rentable, être introduite en prestation de service. Elle doit avoir une capacité de production conséquente pour traiter le stock de graines d'un groupement de femmes ou d'un village. Ces considérations ont motivé les personnes interrogées à projeter les valeurs limites de capacité à entre 500 et 1 200 kg/h, soient 12,5 à 30 bassines de 40 kg de graines cuites.

Analyse et optimisation de l'Indice de décortilage :

La figure 2 présente, au moyen de la surface de réponses, les résultats d'optimisation de l'indice de décortilage, suite aux actions conjuguées du diamètre d'ouverture de la trémie et de la rotation de la grille.

L'analyse des interactions, entre l'ouverture de la trémie de 60 à 200 mm et la vitesse de la grille de 535 à 855 tr/mn, montre que leurs effets conjugués entraînent l'évolution de l'indice de décortilage dans

l'intervalle de 0,55 à 0,95. La valeur minimale est obtenue lorsque l'ouverture est de 200 mm et la vitesse de 855 tr/mn, tandis que celle maximale est atteinte à 130 mm et 756 tr/mn. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que, lorsqu'on augmente l'ouverture de la trémie, la surface de décortiquage diminue, réduisant en

conséquence l'efficacité de décortiquage. La valeur optimisée de l'Indice de décortiquage, au détriment des autres paramètres, est de 0,93 pour un diamètre d'ouverture de la trémie de 60 mm à vitesse de 783,8 tr/mn.

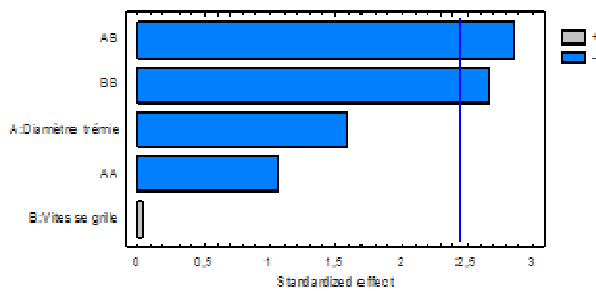


Figure 1 : Graphique standardisé de Paréto pour les influences des variables étudiées sur l'indice d'efficacité de décortiquage.

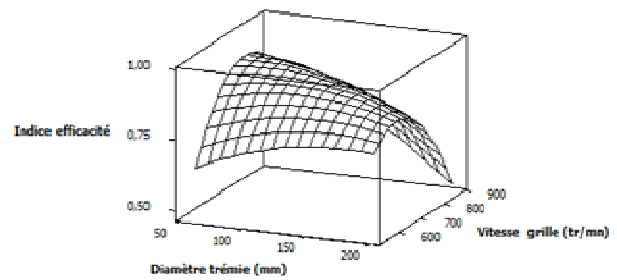


Figure 2 : Surface de réponses des interactions entre la vitesse de grille et l'ouverture de la trémie sur l'indice d'efficacité de décortiquage

L'indice optimal 0,93 ainsi obtenu reste néanmoins relativement proche de celui exprimant le décortiquage parfait (valeur +1). Les résultats des essais effectués (Figure 1) ont montré que l'augmentation de la vitesse de la grille décortiqueuse, quoique n'ayant pas d'effet statistiquement significatif au niveau de confiance de 95%, affecte néanmoins positivement (+) l'indice de décortiquage. L'ouverture de la trémie d'alimentation en graines (A) exerce une influence non négligeable, négative (-) donc réductrice, sur l'indice de décortiquage, bien que ses effets ne soient pas statistiquement significatifs au niveau de confiance retenu (95%). Ceci s'explique par le fait que l'augmentation du diamètre de

la trémie provoque la diminution de la surface active et, par conséquent, celle de l'efficacité du décortiquage. Avec cet équipement, par contre, la variation simultanée de ces deux facteurs (AB) induit des effets assez significatifs au seuil de 5% sur l'indice de décortiquage (Figure 1). Des résultats similaires ont été obtenus sur la décortiqueuse à cylindre (Audu et al., 2004). L'accroissement de la vitesse de rotation du tambour a contribué à une augmentation sensible de l'indice d'efficacité de cette machine. Le modèle de régression fixant adéquatement les valeurs numériques acquises pour ce paramètre a pour expression:

$$I_E = 0.84819 - 0.00055 \cdot d + 0.00001 \cdot N \quad (7)$$

avec N la vitesse de rotation de la grille (tr/mn), d le diamètre de la trémie (mm). Le coefficient de corrélation est égal à $R^2 = 0,98$

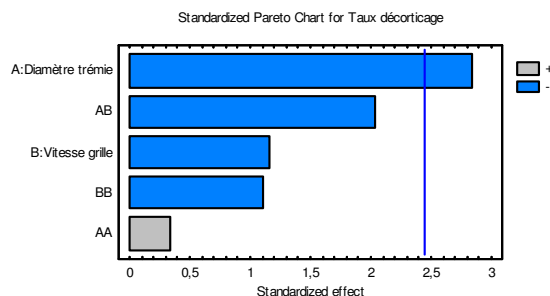


Figure 3 : Graphique standardisé de Paréto traduisant les influences des variables étudiées et de leurs interactions sur le Taux de décortiquage

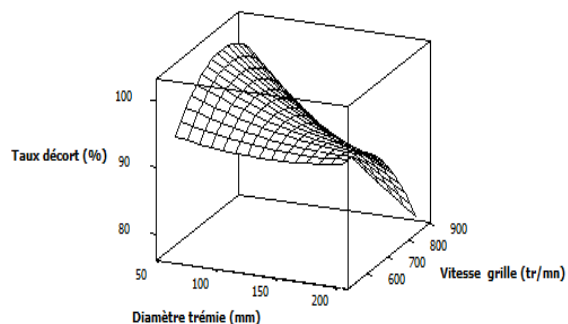


Figure 4 : Surface de réponse des effets d'interactions vitesse de grille et ouverture de la trémie sur le taux de décortiquage

Analyse et optimisation du Taux de décortilage :

La figure 4 affiche les réponses enregistrées pour le taux de décortilage (T_D) soumis aux effets conjugués du diamètre de la trémie (d) et de la vitesse de rotation de la grille active (N). On y observe effectivement que lorsqu'on fait varier le diamètre de la trémie de 60 à 200 mm et la vitesse de rotation de la grille de 535 à 855 tr/mn, le taux de décortilage évolue entre 78,56 et 99,09%. Sa valeur minimale est atteinte au diamètre de 200 mm et à vitesse 855 tr/mn et celle maximale à 200 mm et 534 tr/mn. Celle optimisée, au détriment des autres paramètres, est égale à 95% et correspond au diamètre de la trémie de 130 mm et au régime de 703,5 tr/mn. Le taux optimal (95%) ainsi obtenu n'est pas bien éloigné de la valeur de référence 100% exprimant le décortilage parfait. Soulignons que l'ancêtre de cet équipement, testé en utilisant des graines sèches, avait fourni un taux optimal de décortilage de 70,30% au régime de rotation de 542 tr/mn (Sanya et al., 2009). Les investigations relatives au décortilage des grains de sorgho ont fourni des résultats analogues (Fliedel et al., 1989). Ces auteurs stipulaient alors que les meilleurs taux avaient été obtenus à vitesses de décortilage relativement plus élevées : 600 à 1100

tr/min. Olaoyé (2011) ont obtenu une meilleure valeur du taux de décortilage (98%) sur une petite décortiqueuse à un régime de 350 tr/mn. La capacité de chargement de cette décortiqueuse est de 10 kg pour une durée qui n'est pas précisée par l'auteur, la décortiqueuse travaillant de façon discontinue contrairement à celle de la présente étude. L'analyse du graphique de Pareto (Figure 3) montre que le diamètre de la trémie induit des effets assez significatifs au seuil de 5 % sur le taux de décortilage. Ce dernier diminue lorsque le diamètre de trémie augmente entraînant l'affaissement de la surface de décortilage. La même tendance est observée avec la variation de la vitesse de rotation de la grille. Cependant, les effets de celle-ci ne sont pas significatifs au seuil retenu. Il en est de même des interactions des deux facteurs (AB, figure 3). Soulignons toutefois que l'intensité des effets produits par les interactions fait quasiment le double de celle de la vitesse de la grille sur le taux de décortilage. Le modèle mathématique, fixant adéquatement les données acquises sur le taux de décortilage, en fonction du régime de la grille et le débit de graines, a pour expression :

$$T_D = 111.279 - 0.0069 \cdot d - 0.013 \cdot N \quad (8)$$

avec T_D le Taux de décortilage, N la vitesse de rotation (tr/mn) et d le diamètre de la trémie (mm). Le coefficient de corrélation $R^2 = 0,95$.

Analyse et optimisation du Taux de brisure des cotylédons :

Le taux de brisure des cotylédons est une caractéristique de performance très importante utilisée dans l'appréciation de l'efficacité de la décortiqueuse. Plus sa valeur est faible, meilleure est l'efficacité de la décortiqueuse à délivrer des cotylédons entiers. Cette aptitude de la machine participe à l'amélioration de la qualité du produit final qu'est l'afitin,

notamment sous l'angle de ses modes de présentation. En réalité, dans certaines régions de consommation d'afitin, l'intégrité des cotylédons constitue un critère incontournable de qualité d'acceptabilité du produit. Tout au moins, la présence abondante et nettement dominante de cotylédons entiers dans l'afitin est privilégiée.

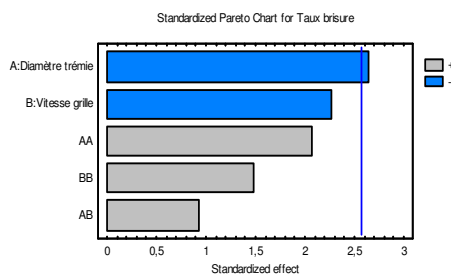


Figure 5 : Graphique standardisé de Pareto traduisant les effets des variables étudiées et de leurs interactions sur le taux de brisure.

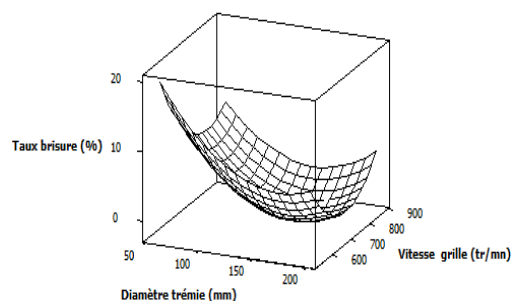


Figure 6 : Surface de réponse des interactions de la vitesse de la grille et du diamètre de la trémie sur le taux de brisure.

La figure 6 présente les résultats obtenus pour le «Taux de brisure», en réponses aux actions conjuguées du diamètre de la trémie et de la rotation de la grille motrice. On peut y noter que, lorsque l'ouverture de la trémie et le régime de la grille varient simultanément, dans les plages de valeurs respectives de 60 à 200 mm et de 535 à 855 tr/mn, le taux de brisure évolue de 0,5 à 19,32%. Sa valeur minimale est atteinte au diamètre de 200 mm et à vitesse de 756 tr/mn et sa valeur maximale à 60 mm et 607 tr/mn. Le taux de brisure optimisé, au détriment des autres paramètres, est de 5%. Cette valeur découle d'un diamètre de la trémie de 104,4 mm et de la vitesse de rotation de 618 tr/mn. Le taux optimal de brisure de 5% ainsi obtenu paraît assez réaliste, quand bien même il n'est pas très proche voire confondu avec celui de référence (0%), la valeur qui

exprime la perfection d'un décortilage mais s'avère expérimentalement impossible à atteindre. L'analyse du graphique de la figure 5 permet de conclure que le diamètre de la trémie imprime des effets significatifs au seuil de 5% sur le taux de brisure des cotylédons. On observe que l'augmentation de l'ouverture inférieure de la trémie entraîne la diminution du Taux de brisure. La même tendance est observée lors de la variation de la vitesse de rotation de la grille, sauf que l'effet provoqué par celle-ci (tendance positive) sur le taux de brisure n'est pas statistiquement significatif au seuil de 5%. Aussi, les interactions entre les deux facteurs n'ont pas d'influence significative sur le taux de brisure des cotylédons ! Le modèle de régression, capable de fixer adéquatement les données obtenues pour le taux de brisure (T_{BR}), peut s'exprimer par l'équation:

$$T_{BR} = 30.161 - 0.064 \cdot d - 0.023 \cdot N \quad (9)$$

Le coefficient de corrélation étant égal à $R^2 = 0,98$

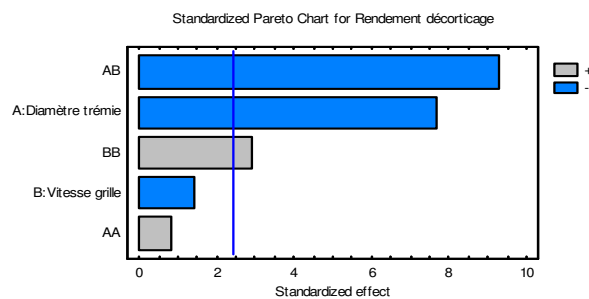


Figure 7 : Graphique standardisé de Paréto pour les influences des variables vitesse et débit et leurs interactions sur le rendement au décortilage

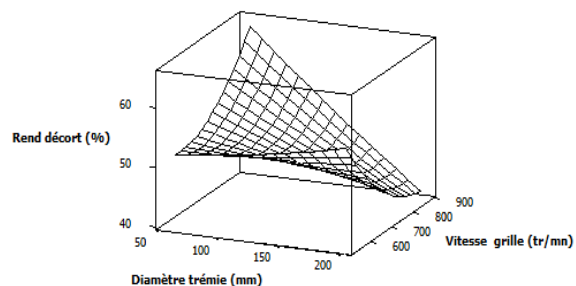


Figure 8 : Surface de réponse des interactions de la vitesse de la grille et du diamètre d'ouverture de la trémie sur le rendement au décortilage

Analyse et optimisation du Rendement au décortilage : Les réponses de la caractéristique «Rendement au décortilage» à la variation simultanée du diamètre (ouverture) de la trémie et de la vitesse de la grille sont illustrées sur la figure 8. On note que lorsque l'ouverture de la trémie et la vitesse de rotation de la grille évoluent simultanément, dans les limites indiquées dans les paragraphes précédents, le rendement au décortilage passe de 40,79% à 65%. Son minimum est obtenu pour une ouverture de 200 mm et à vitesse de 855 tr/mn. Le maximum est atteint à l'ouverture de trémie de 60 mm et à la vitesse de grille de 855 tr/mn. La valeur optimisée du rendement, au détriment des autres paramètres, est de 48% égale à celle de référence i. e. décortilage traditionnel (48%).

Les valeurs du diamètre de la trémie et de la vitesse de rotation correspondantes sont respectivement 199 mm et 652 tr/mn. L'analyse du graphique de PARETO (Figure 7) montre que les effets du diamètre de la trémie sont statistiquement significatifs sur le rendement au décortilage. On doit néanmoins souligner que l'accroissement de l'ouverture de la trémie provoque la réduction dudit rendement. Cela peut s'expliquer par le fait que, l'augmentation de ce facteur conduit à la baisse du diamètre utile de la grille et de la surface de décortilage simultanément avec l'accroissement du débit d'alimentation. Par contre, la vitesse de la grille n'a pas d'effet significatif sur le rendement au décortilage. Le graphique de Paréto indique d'ailleurs que son augmentation devrait en

entraîner la diminution. Quand bien même cette vitesse, à elle seule, n'y exerce pas d'influence notable, ses interactions (AB) avec le diamètre de la trémie induisent des effets très significatifs consistant en la

réduction du rendement au décortiquage. Le modèle de régression linéaire, fixant adéquatement les données du rendement au décortiquage (R_D), peut s'exprimer par l'équation:

$$R_D = 63.81 - 0.06 \cdot d - 0.006 \cdot N \quad (10)$$

Pour une valeur du coefficient de corrélation égale à $R^2 = 0,96$.

Analyse et optimisation de la Capacité horaire : La figure 11 présente les réponses de la capacité horaire aux actions conjuguées du diamètre de la trémie et de la vitesse de rotation de la grille. On peut en retenir que lorsque ces paramètres opératoires varient simultanément dans les plages de leurs valeurs respectives 60 à 200 mm et 535 à 855 tr/mn, la capacité horaire de la décortiqueuse croît de 40 à 1172,6 kg/h. Sa valeur minimale est obtenue lorsque le diamètre est de 60 mm et la vitesse égale à 535 tr/mn et celle maximale à 130 mm et 855 tr/mn. La valeur

optimisée de la Capacité horaire, au détriment des autres paramètres, est de 850 kg/h. Elle est atteinte au diamètre de la trémie de 130 mm et à la vitesse de rotation de 694,7 tr/mn. Le même équipement, testé en utilisant des graines sèches, délivre une valeur optimale de la Capacité horaire égale à 208 kg/h à la vitesse de rotation de 542 tr/mn (Sanya et al., 2009). Les valeurs enregistrées montrent clairement que l'accroissement du régime de rotation de la grille imprime des effets statistiquement significatifs au seuil de 5% sur la capacité horaire (C_H) qui en subit une augmentation.

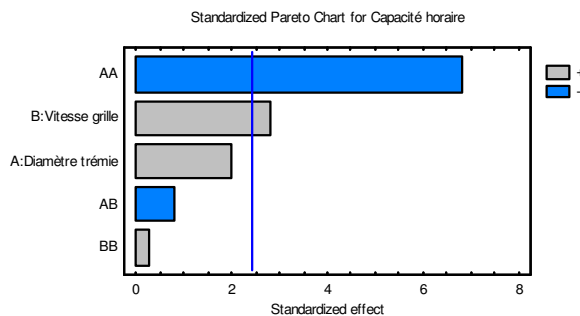


Figure 9 : Graphique standardisé de Paréto pour les effets des variables étudiées et leurs interactions sur la capacité horaire.

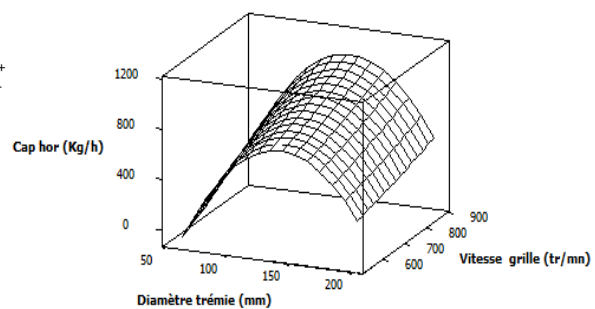


Figure 10 : Surface de réponse des interactions de la vitesse de la grille et du diamètre de la trémie sur la capacité horaire.

Même si ce n'est pas tout à fait le cas pour ce qui concerne l'ouverture de la trémie, son effet reste néanmoins non négligeable. On observe en effet que l'accroissement de cette dernière a aussi tendance à entraîner l'augmentation de la capacité horaire (Figure 9). Ceci peut s'expliquer par le fait que l'augmentation du diamètre de la trémie s'accompagne de la

diminution de la surface de décortiquage entraînant la réduction de la capacité horaire. On peut noter que les interactions des deux facteurs n'ont pas d'effets significatifs sur la capacité horaire. Le modèle de régression compatible avec les données obtenues s'exprime par l'équation:

$$C_H = -425.65 + 1.54 \cdot d + 0.96 \cdot N \quad (11)$$

Pour un coefficient de corrélation égal à $R^2 = 0,94$

Optimisation multiples critères : Le Tableau 3 présente les valeurs optimales, respectivement des facteurs étudiés (colonnes 1 et 2) et des variables réponses (colonnes 3 et 4). La valeur moyenne de référence est de 0,93 obtenue à l'issue du décortiquage

traditionnel par le foulage aux pieds. Lorsque les consignes de fonctionnement sont celles optimales, vitesse de la grille à 666 tr/mn et diamètre de la trémie à 116 mm, on enregistre un indice optimal de décortiquage de 0,91. Bien que ce dernier soit légèrement inférieur à la valeur de référence, il reste

supérieur de 29% à l'indice recueilli sur la décortiqueuse conçue au Nigéria (Audu et al., 2004) et de 28% à celui du CIRAD (Traoré et al., 2004). Les valeurs admises concernant le taux de décortilage des graines de néré sont comprises entre 90 à 100%. Les résultats d'enquête auprès des femmes transformatrices ont révélé qu'un taux de décortilage supérieur ou égal à 95% peut facilement les motiver à adopter une telle machine. La valeur optimisée du taux de décortilage est égale à 96,27% à la vitesse de la

grille de 666 tr/mn et au diamètre sortie de la trémie de 116 mm. Ces conditions opératoires conduisent à un taux de brisure des cotylédons de 1,47%. On remarque que ce taux de brisure est de 70% inférieur à celui de la référence. On peut conclure qu'avec ce taux de brisure, l'une des exigences des transformatrices de graines de néré est satisfaite. Dans la même tendance, on note que la valeur optimale du rendement au décortilage est de 4,16% supérieure à celle de la référence.

Tableau 3 : Performances de la décortiqueuse en milieu réel

Valeur optimale des facteurs étudiés		Variables réponses: paramètres de performance de la décortiqueuse				
Vitesse de grille (tr/mn)	Diamètre de trémie (mm)	Désignation	Valeur de référence	Valeurs optimales	Valeurs expérimentales	Probabilité (p)
666	116	Indice décortilage	0,93	0,91	0,92±0,01	0,144
		Taux décortilage (%)	95	96,27	94,95±1,72	0,120
		Taux brisure (%)	5	1,47	1,58±0,35	0,472
		Capacité horaire (kg/h)	800	773	780,53±23	0,47
		Rendement décortilage (%)	48	50,35	48,45±2,34	0,104

On en conclut que l'optimisation effectuée induit une amélioration sensible du rendement au décortilage et, par conséquent, une certaine augmentation de la quantité du produit final pour la même quantité de matière première. Ces résultats sont favorables pour l'acceptation de l'équipement par les transformatrices des graines de néré en afitin. La capacité horaire optimale est de 773 kg/h de graines cuites représentant environ 17 marmites ou bassines de 40 kg. En raison

de ses performances, la décortiqueuse proposée s'inscrit dans la voie d'une utilisation communautaire. Elle offre une réduction de la pénibilité de décortilage d'une part, et sa capacité actuelle dépasse celle de production moyenne d'une seule transformatrice estimée à deux (02) marmites par jour, d'autre part. Les valeurs des probabilités montrent qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5% entre les valeurs expérimentales et les valeurs optimisées.

CONCLUSION

L'étude ainsi menée a permis de déterminer les valeurs optimales des variables opératoires (vitesse de la grille et diamètre en sortie de la trémie) et des paramètres techniques de performance d'une nouvelle décortiqueuse à graines de néré. Dans les conditions optimales de fonctionnement de cet équipement (vitesse de grille à 666 tr/mn, diamètre en sortie de trémie à 116 mm), les paramètres de performance

affichent les valeurs optimales conformes aux aspirations exprimées par les utilisatrices comme préludes à son adoption. Les tests expérimentaux ont confirmé les valeurs optimales théoriques. Mais à l'efficacité technique, devra être associée l'efficacité économique. Les tests en milieu réel sont nécessaires pour évaluer cette efficacité économique dans les conditions réelles d'utilisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adeola RG, 2015. Farmers' perception of African locust bean tree (*Parkia biglobosa*) as an economic tree in Oyo State, Nigeria. American International Journal of Research in Humanities, Arts and Social Sciences (AIJRHASS); 15 (336); 127 – 130; <http://www.iasir.net>.

Adewumi BA. and Igbeka JC, 1993. The effect of steaming on the physical and dehulling characteristics of locust bean (*Parkia biglobosa*). Tropic. Agric. (Trinidad) 70(3), 380 -382. ISSN 0041-3216; <http://www.unaab.edu.ng>.

- Adisa RS, Ayanshina SO, Olatinwo KB, 2014. Economic analysis and constraints of traditional processing of African Locust Bean in Kwara State, Nigeria. *Kasetsart J. (Soc. Sci)* 35 : 124 – 133. <http://kasetartjournal.ku.ac.th> .
- Aguwa JI. and Okafor JO, 2012. Preliminary investigation in the use of locust bean pod extract as binder for production of laterite blocks for Buildings, *International Journal of Environmental Science, Management and Engineering Research* 1 (2), 57-67. <http://www.ijesmer.com>.
- Agbobatinkpo PB , Thorsen L, Nielsen DS, Azokpota P, Akissoe N, Hounhouigan JD, Jakobsen M, 2013. Biodiversity of aerobic endospore-forming bacterial species occurring in Yanyanku and Ikipuru, fermented seeds of Hibiscus sabdariffa used to produce food condiments in Benin. *Int. Journal of Food Microbiologie*, 163; 231-239. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2013.02.008
- Agbobatinkpo PB , Azokpota P, Akissoe N, Kayodé P, Da Gbadji R, Hounhouigan DJ, 2011. Indigenous perception and characterization of Yanyanku and Ikipuru : two functional additives for the fermentation of African locust bean. *Ecol Food Nutr*, 50(2):101-14. DOI:10.1080/03670244.2011.552369.
- Ahouansou RH. 2012. Mise au point et optimisation des équipements agroalimentaires au Bénin : application au néré. Thèse de doctorat ; Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 282 p.
- Ahouansou RH, Sanya EA, Bagan G, Vianou A., Hounhouigan DJ, 2010. Effects of cooking on some physical characteristics of nere or African locust bean (*Parkia biglobosa*) seeds. *J. Applied Sciences and Technology (JAST)*, 15 (1&2): 97 - 100. ISSN 2277-2502; www.isca.in.
- Akande FB, Adejumo OA, Adamade CA, Bodunde J, 2010. Processing of locust bean fruits: challenges and prospects. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 5(17), 2268-2271. ISSN 1991-637X; <http://www.academicjournals.org>.
- Akinoso R. and Ebinoluwa El-alawa N, 2013; Some engineering and chemical properties of cooked Locust Bean seed (*Parkia biglobosa*); *The West Indian Journal of Engineering* ; 35 (2), 2013, 51- 57. <http://sta.uwi.edu>.
- Ari MM. and Ayanwalé BA, 2012. Nutrient retention and serum profile of broiler fed fermented African locust bean (*Parkia Fillicoede*). *Asian Journal of Agricultural Research*, 1-8. DOI : 10.3923/ajar.2012.129.136
- Audu A, Oloso AO, Umar B, 2004. Development of a concentric cylinder Locust Bean dehuller. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript PM 04 003, Vol.VI. <http://citeseerx.ist.psu.edu>.
- Azokpota P, Hounhouigan JD, Annan NT, Nago MC., Jakobsen M; 2008. Diversity of volatile compounds of afitin, iru and sonru, three fermented food condiments from Benin. *World J Microbiol Biotechnol* (2008) 24: 879. Doi :10.1007/s11274-007-9542-0
- Azokpota P, Houndenoukon MSE, Hounhouigan JD, Nago MC, Jakobsen M. 2011. Evaluation of yanyanku processing, an additive used as starter culture to produce fermented food condiments in Benin. *Journal of Food Processing and Preservation*, (35) 6, 813-821. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2011.00534.x
- Bationo F, Son G, Diawara B, 2004. Presse hydraulique à cubes de soumbala. In: *Diawara, B. & Jakobsen, M. Valorisation technologique et nutritionnelle du néré ou Parkia biglobosa* (Jacq.) benth: une espèce agro forestière. 151 - 154.
- Bup DN, Kapseu C, Tenin D, Kuitche A, Abi CF, Tchiegang C, 2008. Variation of the physical properties of sheanut (*Vitellaria Paradoxa Gaertn.*) kernels during convective drying. *International Journal of Food Engineering*. 4 (7). 1 - 18. DOI: 10.2202/1556-3758.1201
- Chevalier A, 2004. Guide du dessinateur industriel. *Hachette technique*. 335 p.
- Fliedel G, Grenet C, Gontard N, Pons B, 1989. Dureté, caractéristiques physico-chimiques et aptitudes au décortilage des grains de sorgho. Montpellier, France : Laboratoire de technologie des céréales, IRAT-CIRAD. 45-50.
- Glèlè Kakai R, Sodjinou E, Fonton N, 2006. Conditions d'application des méthodes statistiques paramétriques : application sur ordinateur. 94p.
- Koura K, Yéba Mbaide Y, Ganglo JC, 2013. Caractéristiques phénotypique et structurale de la population de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.

- Br. du Nord-Bénin ; Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(6): 2409-2425. DOI: 10.4314/ijbcs.v7i6.19
- Leniges HA. and Beverlov WA, 1975. Food Process Eng. *D. Radel Dordrecht*. 169-188.
- Lingani-Sawadogo H, Diawara B, Ganou L, Gouyahali S, Halm M, Amoa-Awua WK, Jakobsen M, 2003. Effet du décortilage mécanique sur la fermentation des grains de néré (*Parkia biglobosa*) en soumbala. Ann. Sci. Agronomiques du Bénin (5)1, 67-84.
- Oluwole FA, Aviara NA, Haque MA. 2004. Development and performance tests of sheanut cracker. Journal of Food Engineering. 65, 117-123. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.01.004.
- Onzo FC, Azokpota P, Akissoe N, Agbani OP. 2013. Biodiversité des emballages-feuilles végétales utilisées dans l'artisanat agroalimentaire au Sud du Bénin. Journal of Applied Biosciences 72:5810-5821. ISSN 1997-5902. <http://www.ajol.info>. SSN 1997-5902
- Onzo C F, Azokpota P, Pierre Agbani P, Gbaguidi F, Hounhouigan JD, Kossou D. 2014. Caractéristiques physico-chimiques, et toxicité des espèces végétales utilisées comme emballages alimentaires en Afrique de l'Ouest Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(4): 1504-1516, <http://indexmedicus.afro.who.int>. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.13>
- Onzo CF, Toukourou C, Azokpota P, Yandjou HJ, Hounhouigan JD, 2014b. Caractérisation physique et mécanique de *Thalia geniculata* et de *Musa sapientum*, deux espèces de feuilles végétales utilisées comme emballages alimentaires en Afrique de l'Ouest, Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(4): 1543-1556. <http://indexmedicus.afro.who.int>. DOI: 10.4314/ijbcs.v8i4.17
- Opoku A, Tabil L, Sundaram J, Crerar WJ, Park SJ, 2003. Conditioning and dehulling of Pigeons peas and Mung beans. Presentation at the CSAE/SCGR 2003. Meeting Montréal, Québec. 16 p.
- Olaoye JO, 2011. Development of small scale equipment for depulping locust bean seeds. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol: 11 No: 06.145-155. <http://www.ijens.org>.
- Razzavi SMA, Amini MA, Rafe A, Emadzazadeh H, 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Journal of Food Engineering. Vol 81, 226-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.024>
- Sanya EA, Ahouansou HR, Bagan G, Vianou A, 2009. Effets du débit d'alimentation et de la vitesse de grille motrice sur les performances d'une décortiqueuse de graines de néré «*Parkia biglobosa*». J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), Série A, 10(1), 1-11. www.ajol.info. ISSN: 1027-1988.
- Traoré Z, Son G, Diawara B, 2004. Décortilage mécanique des graines de néré. In Valorisation technologique et nutritionnelle du néré ou *Parkia biglobosa* (Jacq.) benth : une espèce agro forestière. Diawara B. et Jakobsen M. (eds.) ISSN0796-6954, DANIDA-KVL-CNRST/IRSAT, 145-150.