

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN EQUIPEMENT DE VANNAGE DE GRAINES DE *JATROPHA CURCAS*

Djeumako, B.

Nzie, W.

Samon, J. B.

Département de Génie Mécanique, Ecole Nationale Supérieure Des Sciences
Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Kinfack, R.-A.

Candidat au PhD, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-
Industrielles, Université de Ngaoundéré, Cameroun

Abstract

Jatropha curcas L. is a plant resistant to drought, versatile with many attributes and considerable potentials. The most valuable part of the plant is the oil content of the seed kernel. For optimum oil extraction, the seeds must be peeled almonds and separate the hulls. The separation of hulls almond is generally done manually which requires hard work and very time consuming. Also, use non cracked seeds produced low oil recovery. Hence the need to develop an equipment capable of mechanically carry out the separation of hulls and almonds. This work therefore aims to scale winnowing equipment for mechanical separation of the shells and kernels of seeds of *Jatropha curcas*. To carry out this work, we conducted a theoretical study of the physical properties related to the size and the terminal velocity of kernels and shells of *Jatropha curcas* and we made a design methodology application linked to the functional analysis to design the winnower. The main results obtained following this approach were: the sizing of the mechanical elements in this case, the design of a perforated plate (sieve) with holes of 6 mm diameter, serving as a support on which the seeds are deposited for mechanical sorting by flow of air (fluidized) and the sizing of the centrifugal fan with its drive motor, which allowed us to perform first choice components.

Keywords: Properties of *Jatropha curcas* seeds, winnowing, design, sizing

Résumé

Le *Jatropha curcas* L. est une plante résistante à la sécheresse, polyvalente, ayant de nombreux attributs et d'énormes potentialités. L'aspect le plus important de la plante est la teneur en huile de l'amande de la graine. Pour une extraction optimale de l'huile, les graines doivent être décortiquées et les amandes séparées des coques. La séparation des coques des amandes est généralement effectuée manuellement ce qui implique un travail pénible et énormément de temps. Aussi, utiliser des graines non fissurées produit une faible récupération d'huile. D'où la nécessité de concevoir un équipement capable d'effectuer mécaniquement la séparation des coques des amandes. Ce travail a donc pour objectif de dimensionner un équipement de vannage pour la séparation mécanique des coques des amandes des graines de *Jatropha curcas*. Pour mener à bien ce travail, nous avons effectué une étude théorique des propriétés physiques liées aux dimensions et à la vitesse terminale des amandes et coques de *Jatropha curcas* et nous avons fait une application de la méthodologie de conception liée à l'analyse fonctionnelle afin de concevoir la vanneuse. Les principaux résultats obtenus à la suite de cette démarche ont été: le dimensionnement des éléments mécaniques en l'occurrence, la conception d'une plaque perforée (tamis) avec des trous de ϕ de diamètre, servant de support sur lequel les graines décortiquées sont déposées pour un tri mécanique par flux d'air (fluidisation) et le dimensionnement du ventilateur centrifuge avec son moteur d'entraînement, ce qui nous a permis d'effectuer le choix des composants.

Mots-clés: Propriétés des graines *Jatropha curcas*, vanneuse, conception, dimensionnement

Introduction

Les biocarburants liquides comme source d'énergie renouvelable reçoivent une attention croissante dans le monde entier. L'intérêt de ceux-ci est en plein essor, il est principalement influencé par la quête mondiale visant la réduction de la dépendance aux énergies fossiles et les émissions de CO₂ (Hedegaard *et al.*, 2008). En outre, il est bien connu qu'actuellement il n'y ait aucune solution de rechange techniquement réalisable aux biocarburants liquides en tant que sources d'énergie renouvelable. D'où l'attention croissante consacrée au *Jatropha curcas*, une plante d'un grand intérêt grâce à son potentiel biocarburant liquide.

Au Cameroun, et même dans le monde, la grande majorité de la chaîne de production d'huile de *jatropha curcas* est mécanisée. Cependant, un "maillon faible" subsiste: la séparation ou le tri des amandes et des coques des graines lors du décorticage. Si des décortiqueuses manuelles ou motorisées existent, elles ne permettent pas d'effectuer mécaniquement ce tri.

Les coques sont alors séparées des amandes manuellement. Cette tâche est à la fois pénible, onéreuse en main d'œuvre et en temps. D'où la nécessité de développer un mécanisme nécessaire pour la séparation mécanique des amandes des coques en vue d'une extraction industrielle de l'huile de *Jatropha curcas*.

Dans cette optique, ce travail a pour objectif principal de dimensionner un équipement de vannage optimal pour la séparation mécanique des coques et amandes de graines de *Jatropha curcas*. Plus spécifiquement nous aurons à déterminer les propriétés physiques des graines et amandes nécessaires pour la conception du canal de vannage, dimensionner les différents éléments du canal de vannage, modéliser le processus de la machine de vannage de *Jatropha curcas*.

Revue de la littérature

Le *Jatropha curcas* L. communément appelé pourghère est une plante résistante appartenant à la tribu de *Joannesieae* dans la famille des *Euphorbiacées*. Il est cultivé dans de nombreux pays des régions tropicales et subtropicales du globe, dont le Cameroun. Il pousse très bien, même sur des terres marginales, qui sont des zones où les conditions sont impropres à la production agricole en raison de la mauvaise qualité du sol et les contraintes climatiques (Jongschaap *et al.*, 2007). La plante peut être cultivée avec succès à la fois dans des conditions irriguées et pluviales. C'est une plante à usages multiples dont toutes les parties sont utiles pour un large éventail de produits tel que décrit par Sirisomboon *et al.*, (2007), Kumar et Sharma (2008).

Séché, le fruit de *Jatropha curcas* contient environ 37,5% de coquille et 62,5% de graine et la graine contient environ 42% de coque et 58% d'amandes (Singh *et al.*, 2008). L'amande de la graine contient environ 40 à 60% d'huile (Kumar et Sharma, 2008). Afin de séparer les amandes des graines pour l'extraction de l'huile, les fruits, après qu'ils aient été séchés, ont besoin d'être déulpés pour obtenir les graines après quoi les coques peuvent être séparées des graines, on obtient donc l'amande de la graine, qui contient l'huile. Les coques de graines sont parfois supprimées manuellement en utilisant des outils simples comme des pinces, des pierres et des bâtons (Sirisomboon *et al.*, 2007) ou non retirées totalement. Quand cela est fait manuellement, l'opération nécessite énormément de temps et une main-d'œuvre livrée à un travail pénible. Aussi, lorsque la coque de graine n'est pas enlevée, elle implique la perte d'énergie sous forme d'huile retenue dans le gâteau de graines ce qui diminue considérablement le rendement d'extraction de la presse (Jongschaap *et al.*, 2007).

Actuellement, il n'existe aucun moyen mécanique connu de tri ou de séparation des coques et amandes des graines de *Jatropha curcas*. Un moyen

mécanique de séparation des coques et amandes des graines de *Jatropha curcas* pour le secteur de la production de biocarburants est nécessaire pour augmenter la production de masse de l'huile à un rythme plus rapide et plus facile avec un pourcentage de recouvrement plus élevé. Selon Shukla (2006), l'extraction mécanique d'huile à partir de graines entières (non fissuré), forme un gâteau déshuilé qui retient encore 9 à 10% de l'huile et si le tégument est retiré même de 50%, la récupération de l'huile augmentera de 4 à 5%. Par conséquent, des décortiqueuses-vanneuses appropriées doivent être développées.

Cette séparation des coques et amandes met également à disposition les coques des graines, qui sont une très bonne source d'énergie pour une utilisation domestique et industrielle. Les coques des graines tel que rapporté par Singh *et al.*, (2008) peuvent être utilisées dans un gazéificateur ou sous forme de briquettes, car ils possèdent des propriétés thermiques (cendres, matières volatiles, carbone fixé et le pouvoir calorifique) comparables à ceux du bois. Actuellement, les producteurs sont incapables d'atteindre les avantages économiques optimaux de la plante, en particulier pour ses diverses utilisations (Kumar et Sharma, 2008) et la coque est l'une des parties valorisantes. En outre, la valeur énergétique de la portion restante du fruit de *Jatropha curcas* qui comprend l'enveloppe est le double de celle du biocarburant (Singh *et al.*, 2008).

Matériel et méthodes

Matériel

Le matériel végétal

La variété de graines de *Jatropha curcas* choisie pour l'étude est originaire des régions cotonnières du Nord Cameroun plus précisément de la ville de Garoua.

Matériel expérimental

- Un pied à coulisse avec un vernier au 1/100^e ;
- Une balance numérique (Denver instrument, modèle APX-3202) avec une précision de lecture de 0,01 g ;
- Une étuve (Heraeus-Kendro laboratory products, modèle D-63450).

Méthodes

Mesures des propriétés physiques des graines et amandes

Trois échantillons des graines et amandes sont choisis aléatoirement et séparés manuellement. La méthode de mesure de la teneur en eau pour les arachides d'après la norme ASAE S410.1 DEC1982 (C2008) (ASABE, 2008) a été adaptée pour la détermination de la teneur en eau du *Jatropha curcas* (Blahovec, 2008):

Des échantillons de 100 graines ont été prélevés au hasard. Pour chaque graine on a mesuré leurs dimensions physiques à l'aide d'un pied à coulisse avec un vernier au 1/100° de mm : la longueur (a), le diamètre équatorial (b) et la largeur (c), comme illustré à la Figure 1.

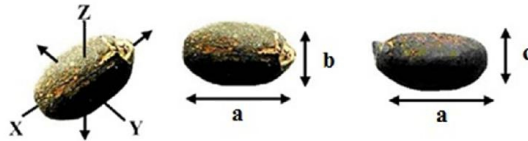


Figure 1 : Mesure des dimensions de graines/amandes de *Jatropha curcas*.

Le diamètre arithmétique moyen (\tilde{N}_r) des graines et des amandes a été déterminé d'après Sirisomboon *et al.*, (2007) et Pradhan *et al.*, (2009) par l'équation (1).

$$\tilde{N}_r = \frac{\sum_{i=1}^q \tilde{N}_i}{q} \quad (1)$$

Le diamètre géométrique moyen (\tilde{N}_g) a également été déterminé à partir des dimensions physiques (longueur (a), le diamètre équatorial (b) et la largeur (c)) des graines et amandes. Il a été obtenu à partir de la relation (2) (Sirisomboon *et al.*, 2007 ; Pradhan *et al.*, 2009.).

$$\tilde{N}_g = \sqrt[3]{\frac{abc}{\pi}} \quad (2)$$

La sphéricité des graines et amandes a été déterminée à partir de l'équation (3) donnée ci-dessous qui a été utilisée par plusieurs chercheurs (Sirisomboon *et al.*, 2007; Pradhan *et al.*, 2009).

$$S = \frac{4\pi \tilde{N}_g^3}{abc} \quad (3)$$

La surface des amandes et des graines a été calculée en utilisant les équations suivantes (Bart-Plange et Baryeh, 2003):

$$L = \frac{4\pi \tilde{N}_g^2}{\beta} \quad (4)$$

Où $\beta = \frac{4\pi \tilde{N}_g^3}{abc}$

L'angle de repos est la caractéristique de la matière en vrac qui indique la cohésion entre les unités individuelles de la matière (Sirisomboon *et al.*, 2007). Plus la cohésion est élevée, plus l'angle de repos est élevé. Il a été déterminé en utilisant deux méthodes ; celles de remplissage et de vidage (Bart-Plange et Baryeh, 2003):

$$\alpha = \arctan \left(\frac{L}{X} \right) \quad (5)$$

Vitesse terminale des amandes de *Jatropha curcas*

La vitesse terminale d'une particule (v_k) est obtenue lorsqu'une particule est suspendue dans l'air grâce à un flux d'air vertical (fluidisation), ainsi donc la force de résistance à l'avancement équilibre le poids des particules (Mohsenin, 1986). Elle s'exprime par:

$$i_k r = 10^{\frac{u_{TM} - TM_k}{\frac{1}{4} TM_{\text{ref}} - TM_0}} P_{\text{ref}} \quad (6)$$

L'analyse statistique de la vitesse terminale (i_k) des graines de *Jatropha curcas* faite par Karaj et Müller, (2010) révèle une large corrélation ($R^2=0,989$ à $p \leq 0,01$) entre la masse de la graine et sa vitesse terminale qui peut être exprimée par la fonction exponentielle:

$$i_k r = 11,88 TM_{\text{ref}}^{ePS} TM_{\text{ref}}^{ePS} i_{\text{a'mB}} \quad (7)$$

Dimensionnement du ventilateur et du moteur

Un ventilateur est une turbomachine, susceptible de créer une différence de pression permettant l'écoulement de l'air entre l'amont et l'aval. Ainsi, il crée un courant d'air continu par action aérodynamique en transformant l'énergie mécanique qu'il reçoit en énergie cinétique. Il fournit un certain débit d'air sous une certaine pression. Pour une vitesse de rotation donnée, les ventilateurs sont caractérisés par une courbe débit-pression appelée «courbe caractéristique du ventilateur» (Schauberger, 2014).

Cette courbe indique la pression obtenue en pascal (Pa) en fonction du débit fourni.

Le débit d'air est donné par:

$$V = i_k TM_{\text{ref}} - m_{\text{ref}} TM_{\text{ref}} \quad (8)$$

$$\text{Où } m_{\text{ref}} = \rho_{\text{ref}} \quad (9)$$

La pression totale λ_V est la somme de deux pressions partielles: la pression dynamique λ_{\geq} et la pression statique λ_F .

La pression dynamique exprime la force vive de l'air, elle est proportionnelle au carré de la vitesse de l'air et s'exprime par la formule simplifiée:

$$\lambda_{\geq} = \rho \frac{1}{2} i_k^2 \quad (10)$$

La pression statique, C'est la pression qui s'exerce sur les parois des conduites et qui permet de vaincre tous les obstacles au déplacement de l'air (pertes de charges singulières).

Ainsi, on rencontre dans le canal les pertes de charge suivantes:

Les pertes de charges singulières se produisant quand il y a perturbation de l'écoulement normal, elles s'expriment par la relation :

$$\langle \lambda_F = K \frac{\rho}{2} i_k^2 \quad (11)$$

La perte de pression linéaire appliquée au conduit rectangulaire est tirée de la Formule de Darcy-Weisbach.

$$\langle \lambda_L = f \frac{\rho}{2} \frac{u^2 L}{D_h} \quad (12)$$

$$\text{Pour } f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad \text{et } Re = \frac{\rho u D_h}{\mu}$$

Le dimensionnement de cette plaque perforée est un des facteurs les plus délicats pour la réalisation d'un lit fluidisé. La perte de pression λ peut être reliée à la vitesse du gaz dans les orifices par l'équation (13) découlant de l'équation de Bernoulli (Bossart, 2006):

$$\lambda = k \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{d^5} \cdot \frac{1}{u^5} \quad (13)$$

Puissance du ventilateur

En pratique, pour le choix du ventilateur il n'est tenu compte que de la pression statique qu'il fournit sur la courbe pression-débit. Sur le diagramme de la courbe pression-débit, sont également indiqués le rendement et la puissance absorbée. La relation entre puissance absorbée, rendement, débit et pression s'exprime sous la forme:

$$\lambda = k \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{d^5} \cdot \frac{1}{u^5} \quad (14)$$

Puissance du moteur d'entraînement

La puissance utile du moteur d'entraînement est fonction du pourcentage de perte due à la transmission en fonction de la puissance à l'arbre:

$$\lambda = k \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{d^5} \cdot \frac{1}{u^5} \quad (15)$$

Nomenclatures

<p>(a) est la longueur, (b) est le diamètre équatorial et (c) est la largeur de la graine ; C_d: Coefficient d'orifice, déterminé graphiquement ; ΔP_L: Perte de pression linéaire, q ΔP_{pl}: Perte de pression du plateau perforée, q : Perte de pression singulière, q : Pression totale, q : Diamètre hydraulique du conduit, q P_d: Pression dynamique, q P_{mot}: Puissance du moteur, q : Puissance absorbée, KW ; : Aire de la section d'écoulement d'air, a q : Vitesse moyenne de l'air, q : Rendement total du ventilateur ; η_{tr}: Pourcentage de perte due à la transmission ;</p>	<p>g = Masse volumique de l'air, 1,204 ε q est la hauteur du cône ou de tas formé ; m: masse de particules, q A: surface de la particule soumise à dépression de l'air, a q L: Longueur de la section, ; : Débit d'air, ; Re: Nombre de Reynolds ; : Accélération de la gravité ; l: largeur de la section, ; ε: Coefficient de rugosité ; : Coefficient de perte de pression singulière ; : Coefficient de frottement de Darcy ; ν: viscosité cinématique de l'air t P ti 4 a .</p>
---	--

Résultats

Propriétés physiques des graines de *Jatropha curcas*

Les propriétés physiques des graines et amandes ont été déterminées pour une teneur en eau en base sèche respectivement 9,43% et 7,61% et le résumé de l'analyse de variance ANOVA présentés dans le tableau 1.

Les dimensions physiques étant la longueur, le diamètre équatorial et la largeur des graines et amandes ont donné les résultats présentés dans le tableau 1. Ces dimensions sont importantes dans le dimensionnement de la plaque perforée qui va accueillir les graines décortiquées pour être soumises à la fluidisation (Omobuwajo *et al.*, 1999).

La longueur, le diamètre équatorial et la largeur des graines sont respectivement de 20,3%, 26,7 % et 21,1% supérieures à celles des amandes. Sirisomboon *et al.*, (2007) ont rapporté des différences entre les graines et les amandes respectivement de 36%, 29% et 17% pour la longueur, le diamètre équatorial et la largeur. Les différences entre les deux résultats peuvent être dues à des différences dans les variétés de *Jatropha curcas*. Les résultats concernant la sphéricité ont indiqué que les graines sont de 2% de plus que les amandes sphériques. Les graines et amandes de *Jatropha curcas* ne peuvent pas être considérés comme sphériques car leurs valeurs de sphéricité sont inférieures à 0,7 (Pradhan *et al.*, 2009).

Tableau 1 : Propriétés physiques des graines et amandes de *Jatropha curcas*.

Propriétés	n	Graines	Amandes
Longueur, mm	100	18,08 ($\pm 0,87$)	14,95 ($\pm 0,74$)
Diamètre équatorial, mm	100	11,46 ($\pm 0,50$)	9,03 ($\pm 0,63$)
Largeur, mm	100	8,89 ($\pm 0,42$)	7,34 ($\pm 0,46$)
Diamètre arithmétique moyen,	100	12,81 ($\pm 0,47$)	10,44 ($\pm 0,47$)
Diamètre géométrique moyen,	100	12,25 ($\pm 0,43$)	9,96 ($\pm 0,47$)
Sphéricité	100	0,68 ($\pm 0,02$)	0,67 ($\pm 0,03$)
Surface, mm ²	100	397,86	263,18
Masse de 1000 unités, g	3	541,33 ($\pm 0,49$)	402,00 ($\pm 0,26$)

n = nombres d'échantillons.

L'angle de repos statique des amandes varie entre 38,64° et 42,38° (Tableau 2), pour un écoulement par gravitation, nous inclinerons donc le plateau de séparation qui sera soumis à une dépression suivant une pente de 40° par rapport à l'horizontal.

Tableau 2 : Angles de repos des amandes de *Jatropha curcas* par les méthodes de remplissage et de vidage.

Echantillon N°	Méthode de Remplissage			Méthode de Vidage		
	Hauteur du cône h (mm)	h/r	Angle	Hauteur du cône h (mm)	h/r	Angle
1	88	0,88	41,35	85	0,85	40,36
2	97	0,97	44,13	78	0,78	37,95
3	89	0,89	41,67	77	0,77	37,6
Moyenne	91,33 (±4,93)	0,91 (±0,05)	42,38 (±1,52)	80 (±4,36)	0,8 (±0,04)	38,64 (±1,51)

Vitesse terminale des amandes de *Jatropha curcas*

Les propriétés aérodynamiques des amandes ont été déterminées grâce aux valeurs moyennes des propriétés physiques et les relations (7) et (8).

Tableau 3 : Caractéristiques aérodynamiques des amandes

Vitesse terminale (m/s)	Coefficient de traînée
8,16	0,25

Ce s physiques et les relations (7) et (8).

Tableau 3 tableau 3 présente la vitesse terminale moyenne d'air requise pour séparer une fraction spécifique des amandes par fluidification.

Aussi, pour séparer une fraction d'amandes de 0,35 g il est nécessaire d'appliquer une vitesse de 8,1 m/s ; pour une amande de 0,52 g il est nécessaire d'appliquer une vitesse de 9,2 m/s et pour séparer des graines avec la masse 0,69 g il est nécessaire d'appliquer une vitesse de 10,8 m/s. Des résultats expérimentaux similaires ont été obtenus par Sirisomboon *et al.*, (2007) et Karaj et Müller, (2010) malgré la différence de propriétés physiques des graines et amandes de *Jatropha curcas* car le coefficient de traîné des amandes est invariant pour des fractions de graines données.

Dimensionnement Ventilateur

Nous nous référons à la littérature quant au choix de la section d'écoulement du fluide (air) de l'équipement. Soit donc: $\lambda = \frac{f}{Re} = \frac{8 \mu}{\rho v d}$ et $\lambda = \frac{K}{Re} = \frac{K \mu}{\rho v d}$. D'après les équations présentées en méthodes, nous obtenons:

Tableau 4: Résultats du dimensionnement des composants mécaniques

Section de vannage	Débit du ventilateur	Pertes de pressions			Puissance du ventilateur
		ΔP_{1-2}	ΔP_{2-3}	ΔP_{3-4}	
$r = 1$	$Q = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	$\Delta P_{1-2} = 1,5 \text{ Pa}$	$\Delta P_{2-3} = 1,5 \text{ Pa}$	$\Delta P_{3-4} = 1,5 \text{ Pa}$	$P = 0,001 \text{ W}$

On peut choisir à présent le point de fonctionnement réel de $(\rho \lambda_k r J m m \lambda \pm, ' r - m m m \lambda ^ q \textcircled{R})$. Avec ce point de fonctionnement, le ventilateur choisi est bien adapté au circuit et vaincra les pertes de charges dans ce dernier.

Moteur électrique

La puissance du moteur d'entraînement (puissance utile sur son arbre) avec $k_U r B C$ est déterminée grâce à la relation (15).

$$\lambda_2 \rho_k r h m a t ' t 8 \lambda r a ' n a \lambda \psi \zeta$$

La fréquence de rotation du moteur de la vanneuse doit être variable puisque nous voulons régler le débit d'air produit par le ventilateur centrifuge, nous aurons donc besoin d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone alimenté en 220V.

Conception de la vanneuse

Basée sur l'étude des données physiques des graines de *Jatropha curcas* et toutes les autres informations de la littérature, la vanneuse de graines a été conçue en appliquant l'analyse fonctionnelle comme méthode de conception (Kinfaek R. A. 2014), les composants de la machine ont été dimensionnés et assemblés selon le schéma d'ensemble représenté sur la figure 2.

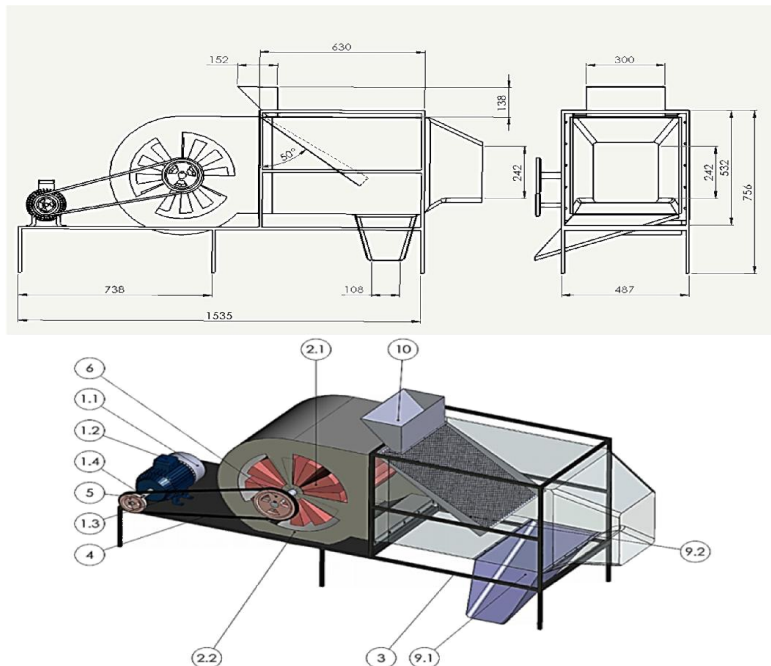


Figure 2: Dessin d'ensemble de la vanneuse de graines de *Jatropha curcas*, vue 3D.
 (1) Moteur Electrique, (1.1) Couverture arriere du Moteur, (1.2) Cache Couverture, (1.3) Couverture avant du Moteur, (1.4) Rotor du moteur, (1.5) Stator du moteur, (2) Ventilateur

Centrifuge, (2.1) Pales de ventilateur, (2.2) Socle du ventilateur, (3) Squelette, (4) Courroie SPA, (5) Poulie moteur, (6) Poulie ventilateur, (7) Clavette, (8) Plaque perforée (tamis), (9) Canalisation et orifice de réception, (9.1) Orifice de réception, (9.2) Conduite, (10) Trémie.

Le principe de fonctionnement de cette vanneuse est simple, lorsque le ventilateur centrifuge (2), mis en mouvement par un moteur électrique (1) alimenté en 220V, à travers un système poulie courroie (5 et 6), crée le flux d'air de vitesse suffisante dans le canal (9) mis en place et permet ainsi le transport des coques de graines. Les amandes plus lourdes vont descendre vers l'orifice de réception (9.1) des amandes de *Jatropha curcas*.

Conclusion

Au vu des travaux menés, il ressort que les principaux résultats obtenus peuvent être résumés comme suit : Les propriétés physiques des amandes des graines ont été à la base de la conception de la plaque perforée de trous de \varnothing de diamètre ayant pour rôle de distribuer les gaz de façon à assurer une séparation par fluidisation des coques des graines de *Jatropha curcas* au sein du canal de vannage ; L'angle de repos des amandes a été déterminé pour les méthodes de remplissage et de vidage soit respectivement $38,64^\circ$ et $42,38^\circ$. Celui-ci a été nécessaire pour la conception de la trémie et l'angle d'inclinaison de la plaque perforée ; La vitesse terminale et le coefficient de traînée de l'amande ont été évalués respectivement à $0,8$ et $0,25$. Ceux-ci ont servi au dimensionnement de la vitesse maximale d'écoulement de l'air dans le canal que doit produire le ventilateur pour vaincre les différentes pertes de charges du circuit de vannage. Il en découle qu'une très bonne connaissance de ces propriétés physiques est nécessaire dans la conception d'un équipement de vannage.

References:

- ASABE. Moisture measurement-peanut. ASAE S410.1 DEC 1982 (R2008), ASABE Standards 2008. ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI 49085-9659, USA. pp. 1-3, 2008.
- Bart-Plange, A. and Baryeh, E. A.. The Physical Properties of Category B Cocoa Beans. Journal of Food engineering 60. pp. 219-227, 2003.
- Blahovec J.. Agromaterials-Study Guide. Prague, Czech University of Life Sciences Prague: pp. 7–8, 2008.
- Bossart, L.. Contribution à l'optimisation du séchage en lit fluidisé, Thèse de Doctorat en sciences appliquées, Université Libre de Bruxelles. Brussels, 2006.
- Hedegaard, K., Thyř, K.A., Wenzel, H.. Life cycle assessment of an advanced bioethanol technology in the perspective of constrained biomass availability. Environmental Science & Technology 42, pp. 7992-7999, 2008.

- Jongschaap, R. E. E., Corre, W. J., Bindraban, P. S. and Brandenburg, W. A. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. – Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International B. V., Wageningen, Netherlands, 2007.
- Karaj, S. and Müller, J.. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. Industrial Crops and Products 32: pp. 129–138, 2010.
- Kinfack, R. A.. Conception et dimensionnement d'un équipement de vannage de *Jatropha curcas*. *Memoires de Master en science et technologie, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun*, 2014.
- Kumar, A. and Sharma, S.. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Industrial crops and products 28: pp. 1-10, 2008.
- Mohsenin, N. N. Physical Properties of Plant and Animal Materials (2nd edn.). Gordon and Breach Science Publishers, New York, USA, 1986.
- Omobuwajo, T. O., Akande, E. A. and Sanni, L. A. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties of African breadfruit (*Treculia africana*) seeds. Journal of Food Engineering 40: pp. 241–244, 1999.
- Pradhan, R. C., Naik, S. N., Bhatnagar, N. and Vijay, V. K. Design, development and testing of hand-operated decorticator for *Jatropha* fruit. Applied Energy 87: pp. 762–768, 2010.
- Schauberger, V. Turbine motrice à dépression. Accès en ligne le 13 janvier 2014, http://magpowersystem.free.fr/0-reverse_engineering_schaubergerl.html, 2014.
- Shukla, A. *Jatropha* (Physic Nut) in Research Frame at Pantnagar. In: Singh, B., Swaminathan, R. and Ponraj, V. (eds.), Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on *Jatropha*, Rashtrapati Nilayam, Bolaram, Hyderabad, India, 9th – 10th June, pp. 268 – 281, 2006.
- Singh, R. N., Vyas, D. K., Srivastava, N. S. L. and Madhuri Narra. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. Renewable Energy 33: pp. 1868-1873, 2008.
- Sirisomboon, P., Kitchaiya, P., Pholpho T. and Mahuttanyavanitch W. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. Biosystems Engineering 97: pp. 201-207, 2007.