

## Densification et analyse des propriétés physiques de biocharbon produit à partir des coques déchets d'anacarde au Bénin

### [ Densification and analysis of the physical properties of bio-coal produced from the pyrolysis cashew nut shells in Benin ]

*Thierry Godjo*<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup>Département de Génie Industriel et Mécanique,  
Institut Universitaire de Technologie de Lokossa, B.P. 133, Lokossa, Bénin

<sup>2</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA), EPAC, Abomey-Calavi, Bénin

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** To overcome the problem of access to energy in Benin, some researches have been carried out on the production of energy from cashew shells. Thus, two pyrolysis plants on the basis of a reactor designed by CEFREPADE and RONGEAD have been constructed in Benin. Those reactors have been used in Benin for energy recovery from cashew nut shells. Although the pyrolysis products reduce the waste deposit and provide the energy needed for combustion, the exploitation of biochars remains incomplete: they are bulky and difficult to transport because of their low density. To help operators to better manage and facilitate the transport of biocharbons, new research was conducted to densify these biochars. A manual lever press with at lower pressure of 1.80 bar has been developed. Analysis of physical and mechanical properties showed that degree of densification, impact resistance of briquettes and resistance to water penetration were respectively 81%, 90% and 0.94. Also, the effect pressure on density of briquettes and the influence of the drying time on the masses of briquettes were determined. The high rate of densification make that the biocharbons of cashew shells were less bulky and more portable.

**KEYWORDS:** Densification, Biomass, cashew shell, biochar, Lever press, Briquettes, Benin

**RESUME:** Pour pallier le problème d'accès à l'énergie au Bénin, des recherches ont été menées sur la production d'énergie à partir des coques d'anacarde. Ainsi, deux installations de pyrolyse sur la base du modèle de réacteur conçu par CEFREPADE et RONGEAD ont été construites et permettent aujourd'hui la valorisation des coques déchets d'anacarde en gaz et biocharbon. Si les produits de pyrolyse permettent de réduire le gisement de déchets, de fournir l'énergie nécessaire pour la combustion et d'améliorer l'empreinte environnementale, l'exploitation des biocharbons reste cependant incomplète : ils sont encombrants et difficiles à transporter à cause de leur faible densité. Pour aider les opérateurs à mieux gérer et faciliter le transport des biocharbons, une nouvelle recherche a été menée afin de densifier ces biocharbons. Une presse manuelle à levier ayant une pression de 1,80 bar a pu être mise au point. Les résultats des analyses des propriétés physiques et mécaniques des briquettes ont montré que le taux moyen de densification est 81 %, la résistance au choc 90 % et la résistance à la pénétration d'eau 85%. La densité optimale de la briquette est 0,94. Ces analyses ont par ailleurs montré l'influence de la variation de la pression sur la densité des briquettes et celle de la durée de séchage sur les masses des briquettes. Le taux élevé de densification fait des biocharbons moins encombrants et mieux transportable.

**MOTS-CLEFS:** Densification, Biomasse, Coque d'anacarde, Biocharbon, Presse à levier, Briquette, Bénin

## 1 INTRODUCTION

L'énergie est un facteur déterminant pour la production de la richesse et le développement économique d'un pays. Au Bénin, le secteur de l'énergie connaît des crises importantes dues à des pénuries de gaz, de pétrole et d'électricité qui affectent les activités socio-économiques du pays. Sur le plan industriel, ces pénuries freinent l'évolution qui à long terme pourraient avoir des conséquences négatives pour les usines. Par exemple, dans les usines de transformation des noix d'anacarde, face aux difficultés d'accès à l'énergie, les coques déchets stockées dans les usines sont directement utilisées comme combustibles, brûlées dans les chaudières ou dans des fours pour fournir l'énergie indispensable pour la production de la chaleur nécessaire à la fragilisation des noix, l'étuvage et le séchage des amandes [1]. Or, ceci génère d'importantes nuisances car le CNSL (Cashew Nut Shell Liquid), composé à base de molécules phénoliques qui imbibe les coques, produit d'une part des fumées abondantes, âcres et irritantes pour les yeux lors de leur combustion [2], et d'autre part constitue une source d'émissions de gaz qui pollue l'environnement. Par ailleurs, le charbon de bois utilisé dans les ménages et dans certaines usines pour la combustion devient de plus en plus cher et rare parce que des mesures sont prises par le gouvernement pour lutter contre la déforestation afin de mieux protéger l'environnement.

Pour pallier ce problème d'accès à l'énergie, plusieurs recherches ont été menées sur l'exploitation bénéfique de l'énergie des coques d'anacarde. C'est le cas du four de pyrolyse mis au point par CEFREPADE et RONGEAD [3], transféré au Bénin et adapté au contexte sociotechnique par l'Institut Universitaire de Technologie (IUT) de Lokossa [4]. Il s'agit d'une technologie qui permet de valoriser les coques d'anacarde à l'aide d'un procédé peu coûteux, adapté aux ateliers de transformation et permettant de réduire la facture énergétique tout en résolvant le problème d'élimination des coques (Figure 1).



**Fig. 1. Four de pyrolyse produisant les biocharbons de coques d'anacarde au Bénin**

Ce four de pyrolyse permet de valoriser sous forme de gaz environ 82% de la masse de coque traitées et produit environ 18% de charbon. Par ailleurs du point de vue énergétique, les gaz valorisés correspondent à 74% de l'énergie des coques traitées, tandis que les 18% de charbon obtenu correspondent à 26% de l'énergie totale [1]. Les gaz dégagés sont brûlés dans une post combustion, permettant ainsi de les traiter tout en produisant de l'énergie directement utilisable. Un autre intérêt de cette valorisation des coques est l'obtention en sous-produit de biocharbon de coques pouvant se substituer dans certains contextes au charbon de bois. L'exploitation des biocharbons de coques d'anacarde reste, cependant, toujours incomplète car laissés en l'état ; ils sont difficiles à transporter. Leur évacuation des unités de transformation devient ainsi un souci majeur pour les opérateurs alors qu'ils encombrer les unités de productions, comme c'est le cas à l'unité de production de Nad & Co industry au Bénin. Pour remédier au frein lié à la technologie de valorisation énergétique des coques d'anacarde, une technologie simple a été mise au point par l'IUT de Lokossa afin de permettre la densification des biocharbons.

L'objectif de cet article est de présenter les résultats des essais de densification des biocharbons produits à partir des coques déchets d'anacarde au Bénin en vue de la résolution des problèmes énergétiques et environnementaux.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 2.1 MATÉRIELS

#### 2.1.1 MATÉRIELS VÉGÉTAUX : BIOCHARBONS DE COQUES D'ANACARDE ET AMIDON DE MANIOC



*Fig. 2. Biocharbons issus de la pyrolyse des coques d'anacarde au Bénin*

Les biocharbons utilisés (Figure 2) sont issues de la pyrolyse des coques d'anacarde et proviennent du décorticage des noix dans les usines de transformation de Kake-5 Industry à Savalou (Centre du Bénin) et Nad & Co Industry à Tachourou (Nord du Bénin). Dans ces deux usines, comme dans les autres usines de transformations des noix d'anacarde, le gisement de coques est important parce que depuis la création de ces usines jusqu'en 2015, il n'existait aucun procédé de valorisation appropriée des coques. Aussi, les coques représentent 73% de la masse des noix. Les analyses immédiates réalisées sur les biocharbons [1] ont révélé un taux d'humidité de 9%, un indice de matières volatiles avoisinant 10%, un taux de carbone fixe d'environ 80% et un PCI de 28,5 MJ/kg ce qui est caractéristique d'une meilleure valeur énergétique et donc d'un bon charbon.

Le liant utilisé afin de faciliter le compactage est l'amidon de manioc. En effet, l'amidon de manioc a été retenu parce que par rapport aux autres types de liants (beurre de karité, mélasse, épluchure de manioc) il permet une meilleure solidité et évite moins la friabilité des briquettes ([5] [6]).

#### 2.1.2 TECHNOLOGIE DE DENSIFICATION : LA PRESSE A LEVIER EN BOIS

L'équipement utilisé pour réaliser la densification des biocharbons (Figure 3) présente des résultats intéressants en matière de briquetage manuel de la biomasse. Il a été retenu à l'issue d'une étude comparative réalisée à l'IUT de Lokossa sur les technologies existantes susceptibles d'être utilisées pour briqueter les biocharbons de pyrolyse de coques d'anacarde. L'équipement a été dimensionné par rapport aux propriétés physiques et mécaniques du biochars de pyrolyse de coques d'anacarde.



*Fig. 3. Presse à levier en bois dimensionnée et fabriquée à l'IUT de Lokossa*

La presse est munie de deux moules métalliques cylindriques creux de longueur 65 mm, de diamètre interne  $\varnothing$  50 mm et de diamètre externe  $\varnothing$  52 mm. Un axe central de diamètre  $\varnothing$  20 mm permet la réalisation du creux de la briquette.

## 2.2 MÉTHODES

### 2.2.1 DENSIFICATION DES BIOCHARBONS

La méthode utilisée pour densifier les biocharbons est la suivante. Les biocharbons (Figure 2) sont broyés afin de réduire la taille du charbon, d'améliorer sa structure et de lui conférer une granulométrie adéquate pour être agglomérer. Un broyeur au moulin entraîné par un moteur électrique de 2,64 kW et dont la capacité horaire est de 125 kg/h a été utilisé. Un mélange de la poudre avec 30% d'eau et 10% d'amidon de manioc permet d'obtenir une formulation. Le mélange est ensuite pressé avec la presse pour la réalisation des briquettes. Après leur fabrication, les briquettes sont séchées au soleil.

### 2.2.2 RÉSISTANCE AUX CHOCS

La résistance aux chocs [7] est utilisée pour déterminer la dureté des briquettes. La briquette (dont le poids et la longueur sont connus) est abandonnée sur le sol à une hauteur d'un mètre. La résistance aux chocs des briquettes est calculée en utilisant la formule suivante [8] :

$$\% \text{ de masse perdue} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

Où

$w_1$  = masse initiale de la briquettes,

$w_2$  = masse finale de la briquettes

% de résistance aux chocs = 100 - % de masse perdue

### 2.2.3 RESISTANCE A LA PENETRATION D'EAU DANS LES BIOCHARBONS

La résistance à la pénétration de l'eau est mesurée en pourcentage d'eau absorbée par une briquette lorsqu'elle est immergée dans l'eau. Chaque briquette est immergée dans 25 mm<sup>3</sup> d'eau pendant 30 secondes à 27° C. Le pourcentage d'eau pénétrée est calculé en utilisant la formule suivante [7] :

$$\% \text{ d'eau pénétrée par briquette} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

Où

$w_1$  = masse initiale de la briquette,

$w_2$  = masse finale de la briquette

% Résistance à la pénétration de l'eau = 100 - % d'eau pénétrée

### 2.2.4 TAUX DE DENSIFICATION DES BIOCHARBONS

Le taux de densification [8] est défini comme suit :

$$\text{Taux de densification} = \frac{\text{Densité de briquette} - \text{Densité du biochar}}{\text{Densité du biochar}} \times 100$$

### 3 RÉSULTATS

#### 3.1 PERFORMANCE DE LA TECHNOLOGIES DE DENSIFICATION DES BIOCHARBONS DE COQUES D'ANACARDE

Les performances de la technologie de densification des biocharbons sont présentées dans le tableau 1 suivant et les biocharbons densifiés sont présentés dans la figure 4.

**Tableau 1. Performances de la presse à briqueter**

<b>Matériau</b>	Bois d'ébène
<b>Liant utilisé</b>	Amidon
<b>Poids (kg)</b>	56
<b>Capacité horaire (kg/h)</b>	10
<b>Débit de production (brique/h)</b>	70
<b>Pression moy. exercée sur les biocharbons (Bar)</b>	1,8
<b>Rendement</b>	89%



**Fig. 4. Briquettes de biocharbons fabriquées**

#### 3.2 ANALYSE DES PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES BRIQUETTES DE BIOCHARBONS D'ANACARDE

Après la densification des biocharbons, l'encombrement, le volume et le poids moyens des briquettes ont été déterminés. Par la suite, des tests ont été réalisés. Ces tests ont permis d'une part d'évaluer la résistance aux chocs, la résistance à la pénétration d'eau et le taux de densification et d'autre part de déterminer l'influence de la pression sur la densité des briquettes et la variation des masses des briquettes en fonction de la durée de séchage.

##### 3.2.1 CARACTERISTIQUES DES BRIQUETTES DE BIOCHARBONS D'ANACARDE

Dans le tableau 2 sont présentées les caractéristiques des briquettes de biocharbons après 21 jours de séchage au soleil.

Tableau 2. Caractéristiques des briquettes de biocharbons

<b>Forme des briquettes</b>	<b>Cylindrique creux</b>
<b>Dimensions des briquettes</b>	<b>Ø 50 mm x 65 mm</b>
<b>Poids moyen (g)</b>	<b>156</b>
<b>Volume moyen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>166</b>
<b>Densité moyenne</b>	<b>0,94</b>
<b>Résistance aux chocs (%)</b>	<b>90</b>
<b>Résistance à la pénétration d'eau (%)</b>	<b>85</b>
<b>Taux de densification (%)</b>	<b>81</b>

Les briquettes sont de forme cylindrique creuse ce qui donne un meilleur design par comparaison au charbon de bois de forme irrégulière. Le diamètre total est 50 mm et le diamètre du creux est 20 mm. Tous les biocharbons ont le même diamètre. Cependant, quelques disparités sont notées au niveau des longueurs. Ceci est simplement dû à la pression exercée qui n'est pas toujours la même parce que le système n'est pas encore automatisé. Des réflexions sont en cours pour motoriser l'équipement afin de corriger cette différence de longueur de biocharbons.

Le procédé de densification a présenté des performances attractives. En effet, la densité des biocharbons non briqueté est 0,5. Celle du charbon de bois est 0,6. La densité du biocharbon briqueté est 0,94. Ceci fait que les biocharbons densifiés contribuent à résoudre le problème d'encombrement qui rendait difficile leur stockage et leur transport.

Enfin, les tests de résistances aux chocs et à la pénétration d'eau, respectivement 90% et 85% ont été satisfaisants par rapport à ceux du charbon de bois qui sont respectivement 89% et 80%.

### 3.2.2 INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LA DENSITE DES BRIQUETTES

La figure 4 montre que la pression a un effet sur la densité des briquettes. Plus la pression appliquée est importante, plus la briquette est dense.

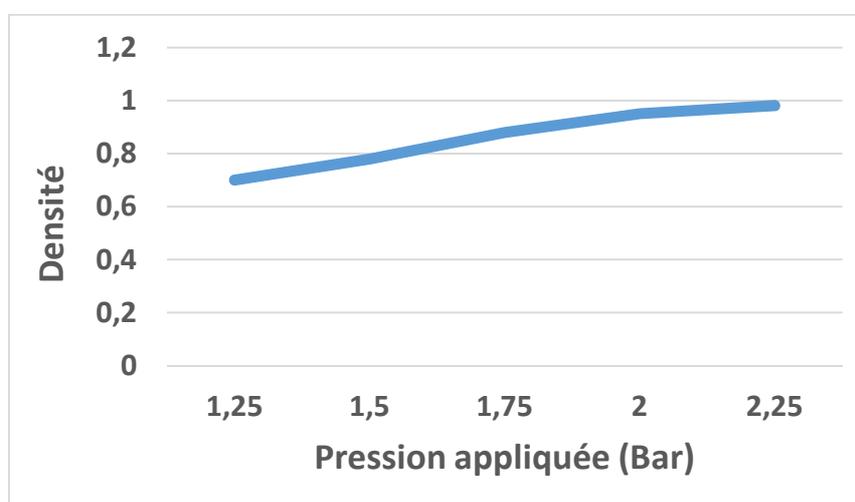


Fig. 5. Influence de la pression appliquée sur la densité des briquettes

Ce résultat confirme les mêmes expériences faites par Saikia et al. [9] à la seule différence que les pressions appliquées (10 Bar) ont dépassé le seuil que nous avons retenu. En effet, comme indiqué en 3.1, la pression moyenne appliquée pour obtenir des briquettes de performances présentées en 3.2 est 1.8 bar.

### 3.2.3 VARIATION DES MASSES DES BRIQUETTES EN FONCTION DE LA DUREE DE SECHAGE

La figure 5 illustre la variation des masses des briquettes en fonction de la durée de séchage. La masse des briquettes ne varie plus à partir de 20 jours. Nous avons donc retenu 21 jours comme durée moyenne de séchage.

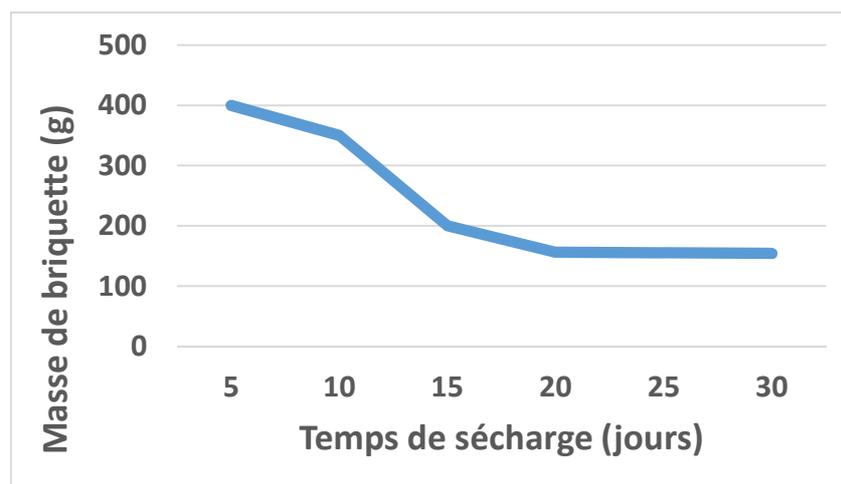


Fig. 6. Variation des masses des briquettes en fonction de la durée de séchage

#### 4 CONCLUSIONS

La recherche menée a permis de mettre au point une presse à levier manuel. Cette presse permet de densifier les biocharbons à un taux de 81%. Ce résultat a montré que la technologie est techniquement performante. Cette performance permet ainsi de réduire la pénibilité liée à l'encombrement et au transport des biocharbons. Les propriétés physiques et mécaniques des biocharbons densifiés ont été évaluées et ont montrés que le biocharbon densifié présente des avantages notamment au niveau de la densité, la résistance aux chocs et la résistance à la pénétration d'eau. Face au gisement de coques d'anacarde polluant et nuisible pour la santé et l'environnement, la production des biocharbons et leur exploitation contribuent à la réduction de ce gisement. Enfin, les biocharbons de coques d'anacarde constituent une nouvelle valeur pouvant remplacer le charbon de bois controversé parce que participant à la déforestation.

#### REFERENCES

- [1] T. Godjo, J.-P. Tagutchou, P. Naquin, and R. Gourdon, "Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Benin," *Rev. Déchets Sci. Tech.*, vol. 70, 2015.
- [2] J.-P. Tagutchou and P. Naquin, "Caractérisation et traitement thermochimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou," *Rev. Déchets Sci. Tech.*, vol. 62, pp. 28–35, 2012.
- [3] P. Naquin, J.-P. Tagutchou, R. Peyrache, M. Jaulin, and E. Perrier, "Valoriser les coques d'anacarde en charbon," *Bioénergie Int.*, vol. 25, 2013.
- [4] T. Godjo, "Production et densification de biocharbon à partir des coques déchets d'anacarde au Bénin," in *Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, 7 – 11 mars 2016, Lomé, Togo*, 2016.
- [5] N. Kaliyan and R. Vance Morey, "Factors affecting strength and durability of densified biomass products," *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, no. 3, pp. 337–359, 2009.
- [6] X. Zhang, D. Xu, Z. Xu, and Q. Cheng, "The effect of different treatment conditions on biomass binder preparation for lignite briquette," *Fuel Process. Technol.*, vol. 73, no. 3, pp. 185–196, 2001.
- [7] S. H. Sengar, A. G. Mohod, Y. P. Khandetod, S. S. Patil, and A. D. Chendake, "Performance of Briquetting Machine for Briquette Fuel," *Int. J. Energy Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2012.
- [8] A. P. Ghorpade, S.S.Moule, "Performance Evaluation of Deoiled Cashew Shell Waste for Fuel Properties in Bri-quetted Form. B.Tech. Thesis (unpub.), Dapoli, 15," 2006.
- [9] M. Saikia and D. Baruah, "Analysis of Physical Properties of Biomass Briquettes Prepared by wet briquetting method," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 6, no. 5, pp. 12–14, 2013.