

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES COQUES D'ANACARDE BRUTES, CARBONISEES ET TORREFIEES ET DU BAUME DERIVÉ DE LA COQUE D'ANACARDE

OUEDRAOGO Bénéwindé Edwige 2^{ème} Jumelle*^{1,2}, HAROUNA Gado Ibrahim³, VAN DE STEENE Laurent⁴, DAHO Tizane², SANOGO Oumar¹, BÉRÉ Antoine²

¹Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Centre National de la Recherche scientifique et Technologique (CNRST), Ouagadougou Burkina Faso

²Laboratoire de physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou Burkina Faso

³Faculté des Sciences et Technique, Université Dan Dankoulodo de Maradi, Maradi Niger

⁴Unité de formation BioWooEB, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, France

*benewindedwige@gmail.com

RESUME

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 03 septembre 2023

Reçu en format révisé le : 12 septembre 2023

Accepté le : 24 décembre 2023

Mots-Clés : coques anacardes ; torréfaction ; carbonisation ; baume

Keywords : cashew shells; roasting; carbonization; balsam

Ce travail présente une caractérisation des coques d'anacarde traitées par torréfaction et par carbonisation pour la production d'un gaz de qualité par gazéification. Cette étude a été réalisée avec un four métallique rotatif, supporté par un foyer construit en briques. Le prétraitement à l'aide du four métallique artisanal, vise à améliorer le rendement massique et énergétique des coques tout en réduisant la teneur en baume. Les paramètres sont le profil de température, les rendements massique et énergétique de la torréfaction et de la carbonisation. Les caractéristiques suivantes de la biomasse ont été préalablement établies : teneur en humidité, taux de matière volatile, taux de carbone fixe, taux de cendre, taux de baume et PCI. L'analyse physico-chimique réalisée par la méthode d'extraction du baume à l'hexane a permis d'évaluer la teneur en baume sur les coques brutes et traitées par torréfaction et par carbonisation. Le prétraitement a permis la réduction du baume de 10,11% pour la torréfaction et 47,21% pour la carbonisation. Par ailleurs la mesure des contenus énergétiques de ces ressources à l'aide d'une bombe calorimétrique, a montré que le PCI des coques est amélioré à travers le procédé de torréfaction et de carbonisation. En effet, les PCI sont respectivement de 25,39MJ.kg⁻¹ et de 26,02MJ.kg⁻¹ pour les coques torréfiées et carbonisées, contre 24,84MJ.kg⁻¹ pour les coques brutes. Les rendements massiques des opérations de carbonisation et de torréfaction sont respectivement de 51,45% et de 76,61%.

I. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'anacarde est un produit à fort potentiel économique. Sa production est estimée à 105 000 tonnes pour la campagne 2021/2022 (UNPA/BF, 2022). Dans les unités de transformation des produits agricoles tels que l'anacarde, la demande énergétique est importante (M. Sawadogo et al., 2018). Les besoins en énergie sont couverts par le réseau électrique national, l'utilisation du bois, du charbon de bois et le gaz butane. Ces facteurs sont les raisons pour lesquelles le prix du produit fini est onéreux, et peu concurrentiel sur le marché (B. Ouedraogo, 2022). Aussi la transformation de la noix d'anacarde en amandes commercialisables génère d'importantes quantités de déchets sous forme de coques difficiles à valoriser. De plus, les coques peuvent servir à produire de l'énergie notamment sous forme de chaleur et d'électricité, et participer ainsi à améliorer le processus de transformation ainsi que l'accès à l'électricité en zone rurale. Dans la littérature, des études sur la valorisation énergétique des coques de cajou par voie thermique ont été menées (R. N. Singh et al., 2006), (J. S. Brar et al., 2012), (Uamusse, Persson, and Tsamba, 2014), (IDRISSA,

Oumoul-kairou Karidio, 2019). Cependant, la combustion des coques de cajou dans les fours, fosses semi-ouvertes, et d'autres applications de technologie, qui ne disposent pas de traitement de fumée sont nocives (Plaza et al., 2019), (Sanger et al., 2011). Et cela en raison du faible rendement et des émissions élevées de fumée provoquées par la présence de baume dans les coques (Singh et al., 2006). Un traitement préalable des coques de cajou devrait être envisagée en lieu et place de la combustion directe. Des études de gazéification sur des déchets agricoles ont montré une aptitude à produire de l'électricité, à partir de l'injection du gaz produit dans un moteur à combustion (L. Van De Steene et al., 2018). En effet le gaz de synthèse obtenu à travers la gazéification des coques d'anacardes, est utilisable dans les moteurs à combustion pour la production d'électricité. Cependant, des études ont montré que la gazéification des coques se heurte à un problème de technologie lié à leur teneur en baume dont la teneur élevée en acidité est assez corrosive pour les matériaux métalliques (W.S. D Kaboré, 2012). Une étude menée par Ramanan et al. (2008) (M V. Ramanan et al., 2008) a montré que le baume, lors de la gazéification des coques

d'anacardes, a provoqué l'obstruction de la gorge du gazogène ainsi que les équipements en aval. Cela a rendu la gazéification des coques inefficace et a causé la défaillance prématurée du dispositif expérimental. Le baume de cajou ou (CNSL) représente environ 25% à 30% de la masse de la coque selon *P. Gedam et al.* cité par Ettien (Ettien, 2010). Le baume est très visqueux avec un PCI élevé proche des combustibles liquides conventionnels (J.A. De Sancho, 2022). Afin de remédier au problème dû au baume, la technique de torréfaction et de carbonisation a été employée pour l'éliminer, avant de reprendre la gazéification (J.-P. Tagutchou and Naquin, 2012). Des études ont montré qu'il est indispensable, pour faciliter l'utilisation des coques brutes, de séparer la partie liquide (CNSL) et la partie solide (les tourteaux). Pour réduire la teneur en baume, il est possible de procéder au prétraitement des coques par torréfaction et par carbonisation à l'aide de four de carbonisation et d'un torréfacteur. En effet, cela permet de séparer la coque d'anacarde en une fraction solide (char), liquide (huile ou fraction condensable des gaz) et gazeux (gaz incondensable). *Tagutchou et al.*, 2012 ont montré que la torréfaction des coques d'anacardes à 250°C produit 48,5% de char, 13,75% d'huile et 37,75% de gaz incondensable. Pendant que la pyrolyse à 450°C produit 17% de char, 47,5% d'huile et 35,5% de gaz incondensable (J.-P. Tagutchou et al., 2012). Du point de vue énergétique, il est montré que 21%, 75%, 4% d'énergie se retrouvent respectivement dans le char, les huiles et les gaz incondensables lorsque les coques sont traitées par pyrolyse à 450°C. Dans le cas de la torréfaction, la majeure partie de l'énergie reste dans le char (59%) tandis que l'énergie dans les huiles est estimée à 20% de l'énergie initiale des coques d'anacardes (J.-P. Tagutchou and Naquin, 2012). *Sanger et al.* 2011 ont étudié la carbonisation des coques de cajou, à l'aide de foyers cylindriques ouverts et fermés avec une petite ouverture pour laisser échapper les matières volatiles. Le pourcentage de baume au départ était d'environ 25%, la carbonisation par la méthode directe a permis d'obtenir 21,1% de baume et 23,8% par la méthode indirecte (Sanger et al., 2011). La carbonisation des coques d'anacarde à une température de 350°C, a permis de réduire de 20% du baume des coques brutes (M. Sawadogo et al. 2018). En abondant dans le même sens, des études sur le comportement de dégradation thermique des coques d'anacarde par analyse thermogravimétrique (ATG) ont révélé que le baume de cajou est libéré à partir de 219,1°C (Lomonaco et al., 2012). Généralement, les études qui traitent de la réduction du baume par le procédé de torréfaction et de carbonisation sont réalisées en laboratoire. Au Burkina Faso, les fours utilisés sont pour la plupart des fours artisanaux métalliques. Les rendements massiques provenant des études de carbonisation à 350°C des coques d'anacardes sont d'environ 30% (*Sawadogo et al.* 2018). Il est indispensable d'évaluer les performances énergétiques des équipements et de s'assurer que les méthodes de torréfaction et de carbonisation que nous employons sont acceptables comparativement aux techniques conventionnelles. Il est

aussi important de mesurer le rendement massique et énergétique des coques au travers des méthodes de torréfaction et carbonisation artisanaux.

Cette étude vise à prétraiter les coques d'anacardes par torréfaction et carbonisation afin de réduire le baume tout en améliorant les rendements énergétiques. Pour cela, il s'agira de caractériser complètement les coques d'anacardes brutes et prétraitées à partir de la méthode d'extraction du baume à l'hexane, l'analyse ultime et élémentaire.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Types de déchets agricoles

Dans le cadre de ces travaux, les coques d'anacarde, ont été collectées auprès de l'Entreprise Wool à Bérégaou (Région sud du Burkina Faso). Les coques d'anacarde, de nom scientifique *Anacardium occidentale* est un arbre originaire de Brésil. Le fruit de l'anacardier est subdivisé en deux parties, la pomme appelée aussi faux fruit et la noix de cajou ou l'amande. La coque représente environ 75% de la quantité massique de la noix brute et l'amande représente 25% de la noix brute. Dans la coque, environ 25% de la teneur massique constitue le baume de cajou ou CNSL (*L. Patil et al* 2016). La figure 1 présente l'ensemble des éléments qui composent l'anacarde.

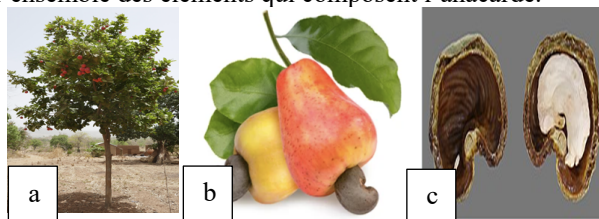


Fig.1: a) anacardier ; b) anacarde ; c) noix de l'anacarde

2.1.2. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé pour le prétraitement est un four rotatif représenté par la figure 2. Il est de hauteur 78 cm et de 53 cm de diamètre et disposant d'un axe central de 90 cm de long, qui sert à homogénéiser la température des coques à l'intérieur du four. Il est supporté par un foyer construit en briques de forme rectangulaire et a une largeur de 114 cm et une longueur de 86 cm et une hauteur de 70 cm. Le foyer est alimenté avec les coques de cajou comme combustible. Deux thermocouples ont été placés, un au centre du foyer et un autre au point central à l'intérieur du four. Un thermocouple supplémentaire a été placé à l'extérieur du dispositif pour mesurer la température ambiante. Les caractérisations physico-chimiques ainsi que le comportement de dégradation massique des coques ont été réalisés à l'aide de l'extracteur de soxhlet de volume 500 ml. La balance de précision CITIZON de modèle Cx 265 de portée 220 g et de précision 0,1 mg a servi pour la mesure de la masse des échantillons de coques d'anacarde. Un four MEMMERT UN 55 a été utilisé pour mesurer la teneur en humidité après séchage des échantillons coques d'anacardes à 105°C Le four à moufle électrique Nabertherm a servi à mesurer la teneur en cendre et en

matières volatiles respectivement à des températures de 550°C et 900°C. Le calorimètre PARR 6200 a permis de déterminer le PCI.

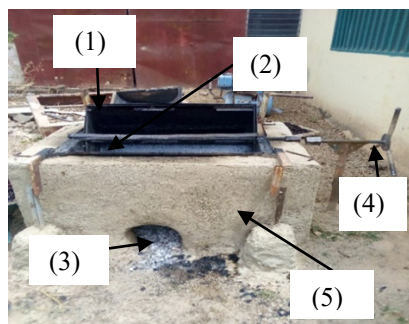


Fig. 2: Four rotatif pour pyrolyse

(1)Couvercle ; (2) Intérieur du four

(3) Entrée du foyer ; (4)Agitateur ; (5) Foyer

2.1. Méthodes

2.1.1. Méthode de prétraitement des coques

La méthode de carbonisation de torréfaction a consisté à peser une masse de 15kg de coques d'anacarde, et verser à l'intérieur du four. Le foyer est régulièrement alimenté par les coques d'anacardes pesées au préalable environ 10kg, qui servent de combustible de sorte à obtenir la température de torréfaction (250°C) ou de carbonisation (350°C) souhaitée. Pour cela, deux thermocouples de types K connectés à un data logger GRAPHITEC Midi LOGGER GL 840, ont permis de suivre l'évolution de la température à l'intérieur du four et la température de combustion du foyer. Toutes les 5min l'axe central rotatif est actionné afin d'homogénéiser la température des coques à l'intérieur du four. A la fin de la carbonisation ou de la torréfaction, la masse des coques traitées ainsi que la masse restante des coques du foyer est mesurée. Les essais ont été répétés trois fois pour chaque cas de prétraitement. Pour extraire le baume, le soxhlet a été monté dans un ballon de connu et la cartouche a été immergée avec de l'hexane. L'extraction a été faite à chaud un temps donné. Le solvant a été ensuite évaporé par distillation à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le ballon contenant la matière grasse a été ensuite séché à l'étuve pendant un moment pour l'évaporation complète de l'hexane. Il a ensuite été refroidi au dessiccateur puis pesé de nouveau et le poids final (Pf) a été noté. La teneur en baume des échantillons a été déterminée par la méthode SOXHLET, selon la norme internationale « ISO-659, 1998 » (Internationale & Preview, 1998). Les essais ont été répétés trois fois pour chaque échantillon. L'extraction au soxhlet a donné une huile visqueuse de couleur noire pour les coques brutes et prétraitées.

1.1. Performance énergétique du prétraitement

Dans cette partie de l'étude, les équations utilisées pour calculer les rendements énergétiques des coques torréfiées et carbonisées, ainsi que la caractérisation des coques sont mentionnées ci-dessous.

a) . Teneur en humidité

Elle est déterminée suivant la norme NF EN ISO 18134-3. Le taux d'humidité (M) s'exprime en pourcentage (%).

b) Teneur en cendre

La norme utilisée pour la caractérisation de la teneur en cendre est NF EN ISO 18122.

c) Teneur en matière volatile

La norme utilisée dans ce cas est NF EN ISO 18123.

d) Teneur en carbone fixe

La teneur en carbone fixe est déterminée suivant les normes : NF EN ISO 18134-3, NF EN ISO 18122, NF EN ISO 18123 .

e) Le pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le pouvoir calorifique inférieur se détermine à partir de la norme NF EN ISO 18125.

f) Le rendement énergétique

Le rendement énergétique des procédés est obtenu à partir de l'équation (1).

$$\eta_e = \left[\frac{(PCI_{coques\ traitées} * m_i)}{PCI_{coques\ brutes} * m_f} \right] * 100 \quad (1)$$

$PCI_{coques\ traitées}$: Pouvoir calorifique inférieur de l'échantillon traité (torréfaction ou carbonisation) en kJ.kg⁻¹

$PCI_{coques\ brutes}$: Pouvoir calorifique inférieur de l'échantillon brut en kJ.kg⁻¹

m_i : Masse initiale des coques d'anacardes traitées (torréfaction ou carbonisation) en kg

m_f : Masse finale des coques d'anacardes traitées (torréfaction ou carbonisation) en kg.

g) Teneur en matières grasses

La norme utilisée pour l'extraction du baume à l'hexane est l'ISO 659 (1998).

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette section, nous présentons les résultats de notre étude, l'interprétation ainsi que la discussion.

3.1. Profil de température

Les coques d'anacardes ont été torréfiées à la température de 250°C et carbonisées à 300°C. Les figures 3.a et 3.b, présentent l'évolution des températures à l'intérieur du four et du foyer. Sur la figure 3.a nos observons que, la température qui indique la fin de l'essai pour la carbonisation est de 265°C, car l'arrêt du processus de torréfaction n'est pas systématique. Il a fallu arrêter la combustion du foyer, avant l'ouverture du four. En ce qui concerne l'essai de carbonisation, figure 3.b, les coques ont été carbonisées à 300,9°C. Dans les deux (2) cas de

figure, l'augmentation de la température de combustion du foyer entraîne systématiquement une augmentation de la température à l'intérieur du four. Aussi, la température de combustion au point central du foyer est nettement au-dessus de celle à l'intérieur du four. L'écart moyen de température entre le four et le foyer est de 364,9°C et 372,1 respectivement pour carbonisation et la torréfaction. En moyenne la torréfaction a duré 28mn, et la carbonisation 38 mn. Les coques ont été torréfiées et carbonisées respectivement à 250°C et 300°C car la libération du baume dans la littérature est de 219,1°C dans la littérature (Lomonaco et al. 2012). Il fallait tout en réduisant le baume, améliorer le rendement énergétique et massique des coques. Le temps de carbonisation est plus élevé que celui de la torréfaction (Ibrahim et al., 2018). En effet, la carbonisation des coques dure plus que la torréfaction, car l'évolution de la température est ralentie dans le cas de la carbonisation. Par contre la torréfaction se produit rapidement car la montée en température se fait plus rapidement.

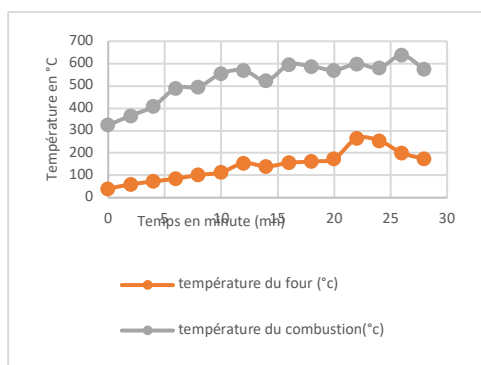


Fig. 3.a: La torréfaction

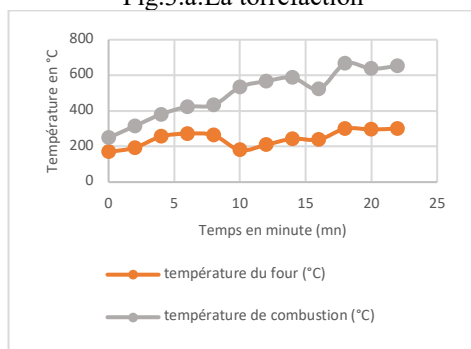


Figure 3.b: La carbonisation

3.2. Caractérisation coques d'anacarde brutes et prétraitées

Les résultats de l'analyse proximale des coques d'anacardes sont présentés dans la figure 4. La caractérisation proximale des coques brutes et prétraitées indique que le PCI des coques s'est amélioré faiblement avec le prétraitement. Les PCI sont de 24,838 MJ.kg⁻¹, 25,39 MJ.kg⁻¹ et 26,06 MJ.kg⁻¹ respectivement pour les coques brutes, torréfiées et carbonisées. Aussi la torréfaction et la carbonisation des coques ont permis d'améliorer la teneur en carbone fixe qui est passée de 19,21% à 20,14% et 28,32% respectivement des coques

torréfiées et carbonisées. L'augmentation du carbone fixe est due probablement à la température de traitement des coques. Les résultats sont cohérents avec ceux trouvés dans la littérature *Schenkel et al.* 1998 cité par (Harouna et al. 2015). Le prétraitement a entraîné une faible augmentation du taux de cendre des coques, qui est passé de 2,07% à 2,41% et 2,89% respectivement pour les coques torréfiées et carbonisées. Les augmentations de la teneur en carbone fixe et du pouvoir calorifique sont des facteurs indispensables à l'acquisition d'un gaz à fort potentiel énergétique. Cependant, le prétraitement des coques a causé une diminution des teneurs en matières volatiles et en humidité. En effet les teneurs en humidité des coques brutes, torréfiées et carbonisées sont respectivement 7,99% ; 5,5% et 4,31%. Elle est plus faible pour les coques carbonisées que pour les coques torréfiées, le séchage est renforcé au fur et à mesure que les coques sont exposées à des températures plus élevées. Et les teneurs en matière volatiles sont respectivement de 78,72% ; 77,45% et 68,79% pour les coques brutes, torréfiées et carbonisées. Les résultats de l'analyse ultime des coques brutes et prétraitées sont presque similaires à ceux de la littérature, (Ibrahim et al. 2018). L'analyse ultime des plaques forestières cependant montre que la teneur en cendre des coques d'anacarde est plus élevée par rapport à celle des plaques forestières. Dans cette étude elle est de 2,07%, contrairement à celle des plaques forestière qui est de 0,17% (TAGUTCHOU 2008).

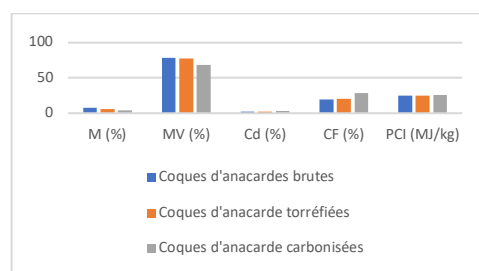


Fig. 3: Analyse proximale des coques d'anacardes

L'analyse élémentaire des coques d'anacardes montre que le prétraitement des coques a entraîné une amélioration de la teneur en carbone qui est passée de 56,44% à 57,08% pour les coques torréfiées et à 60,54% pour les coques carbonisées. La torréfaction à 250°C n'a pas favorisé une variation de la teneur en hydrogène. Cependant la carbonisation a réduit la teneur en hydrogène. La teneur en azote n'a presque pas varié. La teneur en oxygène a diminué considérablement à l'issue du prétraitement des coques brutes et est passée de 36,39% à 35,13% et 32,32% respectivement pour les coques torréfiées et carbonisées. Le prétraitement des coques densifie la teneur en carbone et réduit les teneurs en oxygène et en hydrogène. Cela pourrait être expliqué par l'effet de combustion qui fait intervenir le carbone et l'oxygène. La teneur en azote ne varie presque pas avec de prétraitement, car celui-ci n'intervient pas dans les réactions thermiques. Nous constatons par ailleurs que la teneur en carbone et hydrogène (56,44% et 6,78%) des coques d'anacarde est beaucoup plus élevée que dans le cas de la biomasse

forestière (45% et 5,7% (Sanger et al., 2011). L'analyse élémentaire des coques brutes indiquée dans le tableau 1, a montré une similitude à l'étude de Muthu Dineshkumar (M. Dineshkumar et al 2021)

Tableau 1: Analyse élémentaire

	C(%)	H(%)	O(%)	N(%)
Coques brutes	56,44	6,78	36,39	0,38
Coques torréfiées	57,08	7,4	35,13	0,39
Coques carbonisées	60,54	6,75	32,32	0,39

C (%) : teneur en carbone ; H (%) : teneur en hydrogène ; O(%) : teneur en oxygène ; N(%) : teneur en azote

3.3. Performance énergétique des coques d'anacardes

Le tableau 2 présente des rendements énergétiques des coques torréfiées et carbonisées, qui sont respectivement de 78,32% et 53,97. Les rendements massiques des coques torréfiées et carbonisées sont respectivement de 76,61% et 78.32%. Le tableau 2 montre que le rendement énergétique des coques d'anacardes torréfiées est nettement plus élevé que celui des coques carbonisées, soit un écart de 12,16 points de pourcentage. Le prétraitement des coques d'anacardes a permis d'améliorer l'énergie des résidus de coques qui est passée de 51,42% à 53,97%, pour la torréfaction et de 76,61% à 78,32% pour la carbonisation. Ibrahim et al sont arrivés à la même conclusion (H.G IBRAHIM et al 2015). En effet le contrôle de la température ainsi que le système d'homogénéisation de la température à l'intérieur du four ont favorisé l'amélioration des rendements massiques et énergétiques des coques de cajou.

Tableau 2: Rendement massique et Énergétique des coques prétraitées

Désignat ion	Mas se brut e (kg)	Masse Post- traitem ent (kg)	Tem ps (mn)	PCI (MJ/k g)	Rendem ent massiqu e (%)	Rendem ent énergi que (%)
Coques torréfiée s	14,9 3	11,42	28	25,39	76,61	78,32
Coques carbonis ées	14,9 9	7,71	38	26,06	51,45	53,97

3.4 Analyse physico-chimique des coques d'anacardes brutes et prétraitées

Les résultats mentionnés dans le tableau 3, montrent une réduction de la teneur en baume avec le prétraitement des coques. Les teneurs en baume des coques brutes, torréfiées et carbonisées sont de 31,75% ; 28,54% ; 16,76%. La teneur en baume obtenue par la méthode au SOXHLET, avec comme solvant l'hexane est de 33,2% selon l'étude de L C Herinirina (Herinirina, 2022), donc proche de de nos résultats. Le traitement thermique des coques d'anacardes a favorisé une réduction de la teneur en baume. Car les coques d'anacardes libèrent le baume lorsqu'elles sont soumises à une température élevée. Cela

provoque une séparation de la matière grasse et de la matière boisée des coques d'anacardes. En effet selon Lomonaco, le baume contenu dans les coques est libéré à partir de la température de 219,1°C (Lomonaco et al., 2012). Nous avons torréfié à 250°C, et carbonisé à 300°C les coques. Cela a provoqué une faible réduction du baume au cours de la torréfaction (10,11%) et une réduction remarquable à la suite de la carbonisation (47,21%) (voir tableau 3). Ainsi, il convient de dire que la libération du baume des coques d'anacardes dépend de la teneur en humidité des coques et de la température à laquelle les coques sont soumises. En effet la température appliquée aux coques d'anacardes brutes définit le taux de libération du baume (HASSANA, 2016).

Tableau 3: Taux de réduction du baume après prétraitement des coques

	Coques brutes	Coques torréfiées	Coques carbonisées
Teneur en baume (%)	31,75	28,54	16,76
Taux de réduction (%)	-	10,11	47,21

Le prétraitement des coques a permis une faible amélioration du pouvoir calorifique des coques brutes comme l'indique la figure 6. En effet dans la littérature, le PCI du baume des coques brutes est de l'ordre de 36MJ/kg avoisinant le PCI du pétrole. Une étude menée par Tagutchou a montré que pour la torréfaction à 250°C, l'énergie initiale des coques est répartie entre les chars et le baume, respectivement de 59% et 20% (J.-P. Tagutchou et al., 2012). Ces résultats avoisinent ceux obtenus expérimentalement. La réduction de la teneur en baume entraîne une augmentation des tourteaux de coques prétraitées. Le PCI des tourteaux de coques brutes a été évalué à 13,56 MJ.Nm⁻³ mais suite au traitement thermique, il a atteint 15,14MJ.Nm⁻³ en ce qui concerne les tourteaux de coques torréfiées et 20,03 MJ.Nm⁻³ pour les coques carbonisées. Nous constatons une faible augmentation du PCI des coques torréfiées et carbonisées. La réduction de la teneur en baume entraîne une faible augmentation du pouvoir calorifique des coques. En effet la présence de baume dans les coques justifie le PCI élevé des coques brutes et qui est proche de la biomasse carbonisée. Ainsi lorsque le baume diminue dans les coques par extraction, le PCI des coques traitées varie faiblement (voir figure 6).

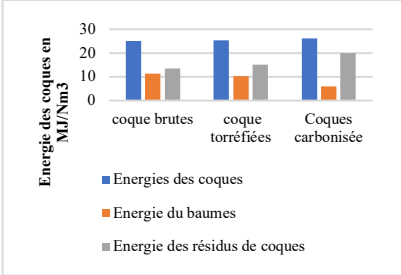


Fig. 4: Variation du PCI des coques

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Dans cette étude, la faisabilité de la valorisation énergétique des coques d'anacarde par voie thermique a été étudiée. Les différentes analyses physico chimiques réalisées par la méthode d'extraction du baume à l'hexane, a permis de savoir que le taux de baume mesuré est de 37,75% pour les coques brutes, 28,54 % pour les coques torréfiées et 16,76% pour les coques carbonisées. Aussi que les PCI sont respectivement de 25,39MJ/kg⁻¹ et de 26,02MJ.kg⁻¹ pour les coques torréfiées et carbonisées, contre 24,84 MJ.kg⁻¹ pour les coques brutes. Les rendements massiques des opérations de carbonisation et de torréfaction sont respectivement de 51,45% et de 76,61%. Ce qui a permis de déduire un rendement énergétique des opérations de 53,97% et 78,32%. Les coques de cajou sont un excellent combustible susceptible d'être valorisé énergétiquement par voie de combustion. Dans les travaux futurs, il est envisagé d'étudier la qualité énergétique du gaz de synthèse, ainsi que la limitation des problèmes technologiques lors de la gazéification consécutivement à la réduction de la teneur en baume comparativement aux coques brutes.

REMERCIEMENT

Merci à Organization for Women in Science for the Developing World (OWSD) pour l'appui et le soutien financier dont nous avons bénéficié.

REFERENCES

- Brar, J. S., K. Singh, J. Wang, and S. Kumar. 2012. "Cogasification of Coal and Biomass: A Review." *International Journal of Forestry Research* 2012: 1–10.
- W Serge Dimitri, Kabore. 2012. Etude et Optimisation d'un Gazifieur à Coques d'anacarde.
- Etien, Auguste. 2010. "Pre-Etude De Valorisation Energetique De Coques D'Anacarde." : 55.
- Harouna, Ibrahim G. et al. 2015. "Determination of Processes Suitable for Cotton Stalk Carbonization and Torrefaction by Partial Combustion Using a Metal Kiln." *Energy for Sustainable Development* 24: 50–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2014.12.003>.
- Hassana, Doba Patrice. 2016. Valorisation Des Coques d'anacarde et Détermination Des Conditions de Rentabilité d'une Unité de Production de CNSL.
- Herinirina, Lydia Clarisse. 2022. "Optimisation de La Méthode d'Extraction Du CNSL et Des Produits Polaires ; Séparation de l'Acide Gallique Optimisation de La Méthode d'Extraction Du CNSL et Des Produits Polaires ; Séparation de l'Acide Gallique." : 2019–20.
- Ibrahim, Harouna Gado et al. 2018. "Impact of Pre-Treatment by Torrefaction and Carbonization on Temperature Field , Energy Efficiency and Tar Content during the Gasification of Cotton Stalks." 10(May): 7–18.
- Idrissa, Daouda, Oumoul-kairou Karidio, and 2019. 2019. Développement d'Une Chaîne de Fabrication de Charbon de Coques d'Anacarde.
- Lomonaco, Diego, Francisco Jonas N Maia, Claudenilson S Clemente, João Paulo F Mota, Antonio E Costa Junior, et al. 2012. "Thermal Studies of New Biodiesel Antioxidants Synthesized from a Natural Occurring Phenolic Lipid." *Fuel* 97: 552–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.01.059>.
- Muthu Dineshkumar, R., K.M. Meera Sheriffa Begum, and Anand Ramanathan. 2021. "Comprehensive Characterization of Cashew Nutshell for Biomass Gasification." *Materials Today: Proceedings* 46(xxxx): 9837–43. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.932>.
- Ouédraogo, Boureïma 2022. 2022. "Boureïma OUEDRAOGO JPPA BF 2022."
- Plaza, Daniel et al. 2019. "Design and Operation of a Small-Scale Carbonization Kiln for Cashew Nutshell Valorization in Burkina Faso." *Energy for Sustainable Development* 53: 71–80.
- Ramanan, M Venkata. 2008. "Mathematical Modeling and Experimental Analysis of Cashew Nut Shell Char Gasification Using Free Energy Minimization." 9: 21–32.
- Sanger, S H et al. 2011. "Study of Carbonization for Cashew Nut Shell." *Research Journal of Chemical Sciences* 1(2): 43–55.
- Sawadogo, M. et al. 2018. "Sawadogo, M. Tchini Tanoh, S. Sidibé, S. Kpai, N. Tankoano, I. Cleaner Production in Burkina Faso: Case Study of Fuel Briquettes Made from Cashew Industry Waste." *Journal of Cleaner Production* 195: 1047–56.
- Singh, R. N., U. Jena, J. B. Patel, and A. M. Sharma. 2006. "Feasibility Study of Cashew Nut Shells as an Open Core Gasifier Feedstock." *Renewable Energy* 31(4): 481–87.
- Steene, L Van De et al. 2018. "Gasification of Woodchip Particles : Experimental and Numerical Study of Char – H2O , Char – CO2 , and Char – O2 Reactions To Cite This Version : HAL Id : Hal-01801197."
- Tagutchou, Jean-Philippe, and Pascale Naquin. 2012. "Caractérisation et Traitement Thermochimique Des Coques d'anacarde En Vue de Leur Valorisation Énergétique Dans Les Procédés de Transformation Artisanale de Noix de Cajou." *Déchets, sciences et techniques* (62): 21–24.
- TAGUTCHOU, Jean Philippe. 2008. "Gazéification Du Charbon de Plaquettes Forestières : Particule Isolée et Lit Fixe Continu."
- Uamusse, Miguel M., Kenneth M. Persson, and Alberto J. Tsamba. 2014. "Gasification of Cashew Nut Shell Using Gasifier Stovein Mozambique." *Journal of Power and Energy Engineering* 02(07): 11–18.
- UNPA/BF. 2022. "Etat Des Lieux de La Production d'anacarde Au Burkina Faso."