



Valorisation énergétique des peaux de banane plantain et des résidus d'usinage du riz en briquettes combustibles à Kinshasa (RDC)

Joël Mvaka Luzolo^{1*}, Léa Mulundo Bilari¹, Philippe Mambanzulua Ngoma², Daniel- Bienvenu Sifa Kwa Mungu¹

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Chimie et industries agricoles BP. 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : joelmvakalu@gmail.com

⁽²⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Pharmaceutiques. BP. 212 Kinshasa XI (RDC).

Reçu le 23 juillet 2026, accepté le 20 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.34>

RESUME

Description du sujet. A Kinshasa, la gestion des déchets et la déforestation liée au bois-énergie posent des défis environnementaux majeurs. Cette recherche évalue la production de briquettes combustibles (charbon écologique) à base de résidus lignocellulosiques comme alternative durable au charbon de bois.

Objectif. L'étude vise à valoriser les peaux de banane plantain (*Musa paradisiaca*) et les résidus d'usinage du riz (*Oryza sativa*) en briquettes combustibles, tout en analysant leur pouvoir calorifique par rapport au charbon de bois traditionnel afin d'identifier la source énergétique la plus performante.

Méthodes. Après la collecte des matières premières, les briquettes ont été fabriquées puis soumises à un test d'ébullition (500 g de combustible pour 200 ml d'eau). Les paramètres mesurés incluent le temps d'ébullition, la durée totale de combustion et la quantité d'eau évaporée.

Résultats. Le charbon de bois atteint l'ébullition le plus rapidement (16 min), suivi des résidus de riz (22 min), puis des peaux de banane et du mélange à parts égales (26 min). En revanche, les briquettes issues du mélange affichent la plus grande longévité (110 min), contre seulement 70 min pour le charbon de bois. Ce dernier reste plus performant en termes de puissance brute, ayant évaporé la plus grande quantité d'eau (1100 ml contre 425±25 ml pour les briquettes).

Conclusion. Les briquettes écologiques, particulièrement celles issues du mélange de déchets, présentent une excellente autonomie de combustion. Bien que leur pouvoir calorifique reste inférieur à celui du charbon de bois, leur moindre impact environnemental sur les forêts en fait une alternative énergétique durable, dont l'efficacité mérite d'être optimisée.

Mots-clés : Briquettes, déchets lignocellulosiques, banane plantain, bois-énergie, Kinshasa.

ABSTRACT

Energy valorization of plantain peels and rice processing residues into fuel briquettes in Kinshasa (DRC)

Description of the subject. In Kinshasa, waste management and deforestation driven by woodfuel consumption pose major environmental challenges. This research evaluates the production of fuel briquettes (eco-charcoal) from lignocellulosic residues as a sustainable alternative to charcoal.

Objective. The study aims to valorize plantain peels (*Musa paradisiaca*) and rice processing residues (*Oryza sativa*) into fuel briquettes, while analyzing their calorific value compared to traditional charcoal to identify the most efficient energy source.

Methods. Following the collection of raw materials, the briquettes were manufactured and subjected to a water boiling test (500 g of fuel for 200 ml of water). The measured parameters included boiling time, total combustion duration, and the amount of evaporated water.

Results. Charcoal reached boiling point the fastest (16 min), followed by rice residues (22 min), and then plantain peels and the equal-proportion mixture (26 min). Conversely, briquettes made from the residue mixture showed the longest burning duration (110 min), compared to only 70 min for charcoal. Traditional charcoal remained more efficient in terms of raw power, evaporating the largest amount of water (1100 ml versus 425 ± 25 ml for the briquettes).

Conclusion. Eco-briquettes, particularly those produced from the agri-industrial waste mixture, exhibit excellent combustion longevity. Although their calorific value remains lower than that of charcoal, their minimal

environmental impact on forests makes them a sustainable alternative energy source whose efficiency warrants further optimization.

Keywords: Briquettes, lignocellulosic waste, plantain peel, rice residues, woodfuel, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

L'énergie joue un rôle essentiel dans le développement économique et l'amélioration des conditions de vie des populations. Dans les pays en voie d'industrialisation, l'accès à une énergie fiable demeure limité, ce qui entraîne une forte dépendance au bois-énergie, notamment le charbon de bois et bois de chauffage (Tunguhole et al., 2026).

La République Démocratique du Congo (RDC) accuse une dépendance au charbon de bois particulièrement préoccupante. A Kinshasa, plus de 2,4 millions de personnes dépendent du bois comme principale source d'énergie domestique, ce qui constitue un moteur majeur de la déforestation et contribue aux changements climatiques aux niveaux local et global (FAO, 2017). Cette situation entraîne une pression croissante sur les écosystèmes forestiers de cette ville et de ses périphéries, avec pour conséquence une perte de biodiversité et une augmentation des émissions de gaz à effet de serre liées à la destruction des puits à carbones naturels (GIEC, 2021).

Parallèlement, la ville de Kinshasa est confrontée à un autre défi environnemental majeur : la mauvaise gestion des déchets de toute nature. En effet, cette mégapole produit plus de 10.000 tonnes de déchets par jour, dont plus de 50 % sont des composés organiques putrescibles et environ 20 % des matières plastiques (Mangenda, 2020). Faute d'un système efficace de tri et de valorisation, ces déchets sont majoritairement abandonnés à ciel ouvert, générant des nuisances environnementales et des risques sanitaires importants (Lukamba et al., 2024).

La gestion des déchets, particulièrement celle de la fraction solide, constitue l'un des défis de la plupart des collectivités territoriales de la RDC, surtout pour les moyennes et grandes villes où la croissance démographique et la diversité des activités socioéconomiques sont à l'origine de la dégradation de l'environnement. Aussi la pénurie actuelle des énergies traditionnelles à Kinshasa (bois et charbon du bois) entraîne un sérieux problème de déboisement et donc d'érosion et d'appauvrissement des sols.

Ainsi, les peaux de banane plantain et les résidus de l'usinage du riz (balles et pailles de riz) sont des résidus lignocellulosiques qui font partie des déchets d'origine agricole et agroindustrielle largement présents dans les lieux de production et

de transformation des produits agricoles à Kinshasa (Bangala, 2016).

Dans un souci de préservation des écosystèmes forestiers, plusieurs travaux de recherche ont proposé l'usage de la biomasse lignocellulosique d'origine agricole et agroindustrielle comme moyen alternatif à l'usage du charbon de bois et du bois de chauffage. C'est dans ce contexte que Rasoanaivo et al. (2021) ont produit des briquettes combustibles à partir des pailles et des balles de riz au Madagascar, tandis que Bot (2022) a tenté de valoriser un certain nombre de résidus agroindustriels par la production de briquettes combustibles au Cameroun.

En RDC, en dépit du problème persistant de ravitaillement énergétique des ménages, de différentes réflexions et travaux effectués sur les sources énergétiques alternative au charbon de bois et au bois de chauffage (Belani et al., 2023 ; Bosanza & Mapuku, 2025), les résidus lignocellulosiques générés par la manipulation des denrées alimentaires continuent d'encombrer divers espaces publics, les marchés et ménages. Les potentialités de ces déchets comme source énergétique alternative au bois-énergie semblent encore méconnues par une large partie de la population congolaise en général, et kinoise en particulier. C'est dans ce contexte que ce travail de recherche vient valoriser ce type de déchets.

Il a pour objectif général la valorisation énergétique des sous-produits de la transformation agricole, en l'occurrence les peaux de banane plantain et les résidus de riz (balles et pailles), afin de proposer une source d'énergie alternative au charbon de bois.

Spécifiquement, cette recherche vise à produire des briquettes combustibles à partir de peaux de banane plantain et de résidus de riz (balles et pailles), à analyser les propriétés énergétiques (durée de combustion, performance thermique) des briquettes produites, et enfin à comparer leurs performances à celles du charbon de bois, l'un des combustibles les plus utilisés à Kinshasa.

Le choix de ce sujet se justifie par la dynamique de la lutte contre le changement climatique, en réduisant la dépendance à l'utilisation du charbon de bois, qui est l'une des principales causes de la déforestation en RDC. En produisant des charbons écologiques à partir de déchets lignocellulosiques, cette recherche permet également une gestion plus efficace de ces déchets, contribuant ainsi à la

réduction de la pollution environnementale à Kinshasa.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude a été réalisée à l'Université de Kinshasa se trouvant dans la commune de Lemba, une des vingt-quatre communes de la ville de Kinshasa. C'est précisément dans le jardin expérimental dénommé "KOPIA/UNIKIN" et appartenant à la Faculté des Sciences Agronomiques et

Environnement de l'Université de Kinshasa. Les coordonnées géographiques de ce jardin expérimental sont les suivantes : Latitude sud : 4°25'44.67'' et Longitude Est : 15°18'36.71''.

Le climat qui prédomine dans toute la ville province de Kinshasa est du type Aw4 selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide, caractérisé par des températures relativement constantes tout au long de l'année (environ 25 à 27 °C) et des précipitations avec une moyenne annuelle de 1190,5 mm, réparties sur deux saisons (8 mois pluvieux et 4 mois secs).

2.2. Matériel

Déchets agricoles lignocellulosiques

Les peaux de banane plantain (Figure 1) ont été récoltées au site dénommé "Village Kinduku" situé au sein de l'Université de Kinshasa dans sa partie Sud-Est, en date du 16 décembre 2025 ; les résidus de l'usinage de riz paddy, balles et pailles de riz (Figure 2) ont été collectés au sein de la concession du Programme National Riz (PNR), localisé au quartier 1 de la commune de Ndjili/Kinshasa, en date du 10 décembre 2025. Le charbon de bois utilisé dans le cadre de cette recherche a été acquis au marché localisé près du site de KOPIA/UNIKIN. Il a été assimilé à la matière première parce qu'utilisé comme témoin.



Figure 1. Peau de banane plantain (PBP)



Figure 2. Balles et Pailles de riz (RUR)

Liant

Le liant utilisé était constitué de la farine de manioc empesé. Son rôle était d'assurer la cohésion et la compacité des briquettes. Il facilite le moulage, renforce la résistance mécanique, améliore la combustion et contribue à la durabilité du produit fini.

Matériel technique

Des sacs en polypropylène (couramment appelés sacs "bandes vertes") ont été utilisés pour le ramassage des déchets ; un four ou carbonisateur constitué par un fût métallique de 200 litres de capacité (Figure 3, à gauche) a

servi pour la carbonisation des déchets traités dans cette étude (peaux de banane et balle et paille de riz) ; les moules à briquettes (Figure 3, à droite) ont été utilisés pour donner la forme souhaitée aux briquettes fabriquées ; une balance portable a servi au pesage de divers constituants de la briquette ; un tamis dont les mailles étaient d'environ 2 mm de diamètre a permis de séparer la fraction grossière du résidu carbonisé et retenir la plus fine ; une marmite en inox (Figure 4), de 4 l (pour la préparation du liant) ; un brasero (Figure 5) pour la cuisson du liant et pour le test d'ébullition.



Figure 3. Carbonisateur et moules à briquettes



Figure 4. Marmite utilisée



Figure 5. Brasero de l'expérience

Matériel de laboratoire

Les matériels qui ont servi durant les analyses de laboratoire sont : une balance analytique de marque OHAUS pour les pesages de précision (notamment les déterminations de masses sèches et de teneurs en cendres) ; une étuve de marque Memmert qui a servi au séchage des échantillons ; un dessiccateur à silicagel pour éviter la variation de l'humidité des échantillons après étuvage ; un four à moufle de marque Nabertherm GmbH pour la calcination des échantillons ; des creusets en porcelaine servant à contenir les échantillons à calciner ; un pied gradué de 1 l pour le prélèvement des volumes déterminés des échantillons .

2.3. Collecte et conservation de la matière première

La collecte de la matière première utilisée dans le cadre de cette recherche s'était déroulée comme décrite ci-dessus (déchets agricoles lignocellulosiques). Après avoir été récoltés, les deux types de résidus (PBP et RUR) ont été placés dans des sacs en polypropylène et transportés sur le site KOPIA/UNIKIN pour la fabrication des briquettes.

Fabrication des briquettes combustibles

Les briquettes ont été fabriquées selon une méthode inspirée de Laval (2014), avec quelques adaptations propres à cette étude. L'opération a débuté par la collecte, le pesage et le séchage des matières premières (PBP et RUR).

Ensuite, la carbonisation de ces résidus a été réalisée en les soumettant à une incinération pendant 24 heures dans un fût métallique (Figure 3) afin d'obtenir la matière carbonée. Le produit obtenu a été broyé puis tamisé pour obtenir une poudre fine.

Pour la préparation du liant, de la farine de manioc, dont la masse représentait 25 % de celle de la matière carbonée obtenue à l'étape précédente, a été mélangée à de l'eau distillée. Le mélange a été porté à ébullition à l'aide d'un brasero jusqu'à l'obtention d'une pâte de manioc homogène. Le liant ainsi préparé a été incorporé progressivement au biochar (résidus carbonisés) jusqu'à l'homogénéisation complète.

La pâte obtenue a été moulée sous pression manuelle pour former des briquettes, qui ont ensuite été séchées au soleil pendant 7 jours. À la fin de cette période de séchage, les briquettes ont été conditionnées dans des sacs en polyéthylène et conservées dans un endroit sec. Il convient de noter que des échantillons de briquettes ont été prélevés pour les analyses physico-chimiques (teneur en cendres et masse sèche). Le schéma de fabrication des briquettes combustibles par la méthode de carbonisation est illustré à la figure 6.

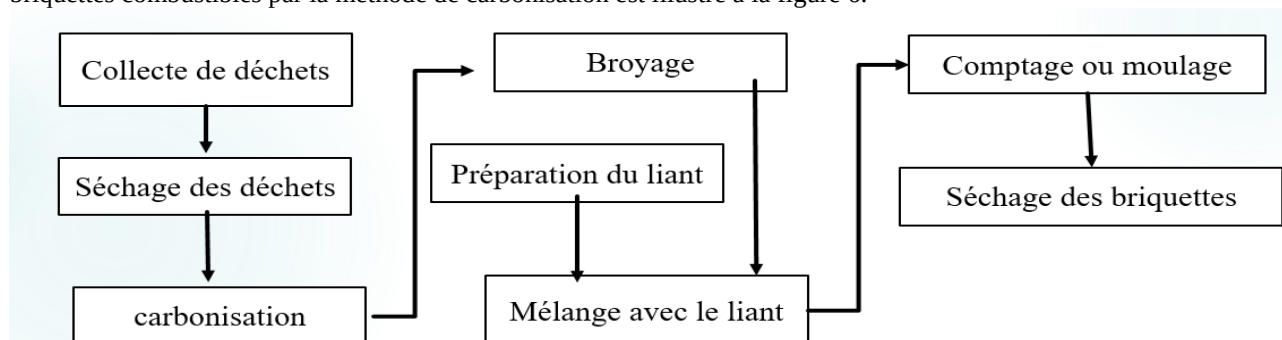


Figure 6. Schéma de production des briquettes combustibles

Quantités et proportions de matériels utilisés dans la formulation des différents types de briquettes

Trois (3) différents types de briquettes ont été préparées à partir de deux types de matières premières, peaux de banane plantain ou PBP et résidus de l'usinage du riz ou RUR (pailles et balles de riz). Pour la formation de ces briquettes, les quantités et proportions de matières ont été appliquées selon le plant expérimental de mélange du type simplex centroïde. Le domaine d'étude est représenté par une droite (figure 7).

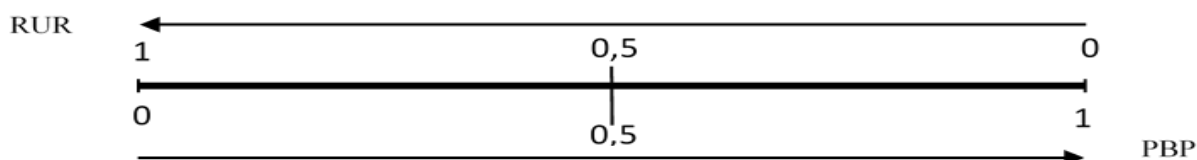


Figure 7. Domaine d'étude

Les différentes formulations des briquettes sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Différentes formulations des briquettes combustibles

Traitement	Matière première (gMF)		Matière première (%)		Total en (g) + 25 % du liant
	PBP	RUR	PBP	RUR	
T1	1500	0	100	0	1875
T2	0	1500	0	100	1875
T3	750	750	50	50	1875

Légende : PBP : Peaux de Banane plantain ; RUR : Résidus de l'usinage du riz (Balle et paille de riz) ; T1 : 100% Balle et Paille de riz ; T2 : 100% peau de banane plantain ; T3 : 50 % Balle et Paille de riz et 50% Peau de banane plantain.

Chaque échantillon pesait au total 1 850 g, comprenant 1 500 g de résidus carbonisés et 375 g d'amidon (soit 320 g en masse sèche pour une humidité de 15 %). Cette quantité de liant équivaut à 25 % du poids frais de la matière première.

3.4. Analyse des paramètres physico-chimiques

Après la fabrication et le séchage des briquettes, les analyses physico-chimiques ont été effectuées afin d'évaluer leurs caractéristiques physiques et propriétés énergétiques.

Détermination du taux d'humidité

La détermination du taux d'humidité des briquettes combustibles a été réalisée par la méthode de dessiccation décrit par ISO 18134-1 : 2022

Principe : Cette méthode consistait à faire sécher l'échantillon à l'étuve à 105°C pendant 24h et déduire la teneur en eau en faisant la différence de masse avant et après séchage.

Mode opératoire : Peser le récipient vide (m_1) ; Peser la prise d'essai ± 5 g (m_2) ; placer le récipient avec la prise d'essai dans l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures ; refroidir après séchage l'échantillon dans un dessiccateur ; retirer le récipient contenant la prise d'essai de l'étuve et le mettre dessiccateur pour son refroidissement puis peser m_3

Expression des résultats : Le taux d'humidité est exprimé en pourcentage

$$Ho (\%) = \frac{(m_1 + m_2) - m_3}{m_2} \times 100$$

Où m_1 : masse (g) du récipient vide ; m_2 : masse (g) de la prise d'essai ; m_3 : masse (g) du récipient contenant la prise d'essai après séchage

Détermination de la matière sèche

La détermination de la matière sèche est faite selon le modèle de CIRAD (2003). Elle est obtenue après élimination de l'eau par séchage, et le pourcentage de matière sèche est égal à 100 – le pourcentage d'humidité.

Détermination de la teneur en cendres

La détermination du taux de cendres des biocombustibles est effectuée selon la norme de ISO 181122 (2022).

Principe : Porter l'échantillon à une température très élevée (± 550 °C) dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une poudre blanche

Mode opératoire : Peser le creuset vide (m_1) ; peser la prise d'essai dans le creuset (m_2) ; placer le creuset avec la prise d'essai dans le four à moufle à une température de 400 à 600 °C jusqu'à l'obtention de la poudre blanche ; refroidir le creuset contenant l'échantillon après combustion dans un dessiccateur ; peser le creuset avec l'échantillon après combustion (m_3) ; la masse de cendre est déduite en soustrayant la masse du creuset du résultat précédent. Le résultat est exprimé en pourcentage

Expression des résultats :

$$\%C = \frac{(m_3 - m_1)}{m_2} \times 100$$

Où : m_1 : masse du creuset vide, m_2 : masse du creuset avec la prise d'essai avant combustion, m_3 : masse du creuset avec la cendre après combustion

Test d'ébullition d'eau

Dans le but de juger l'efficacité de charbon écologique, le test d'ébullition de l'eau a été réalisé en utilisant le charbon de bois comme témoin.

Principe : La comparaison des combustibles solides s'est fait dans des conditions normalisées, avec des quantités identiques de combustible et d'eau, cette dernière correspondant à la moitié du volume du récipient standard utilisé (Bailis *et al.*, 2007). Il sied de souligner que le récipient standard utilisé pour le teste d'ébullition dans ce travail est une marmite en inox de 4 L (Figure 4).

Mode opératoire : Remplir la moitié de la marmite avec de l'eau (2 L) ; Placer 500 g de combustible sur le foyer de cuisson ; Allumer le feu ; Une fois que les combustibles ont suffisamment pris du feu (environ 10 minutes après l'allumage), poser la marmite sur le foyer ; Observer attentivement le processus de chauffage de l'eau ; A l'aide d'un chronomètre, noter le temps nécessaire pour que l'eau atteigne son point d'ébullition depuis le moment où la marmite avait été posée sur le foyer ; Laisser l'eau bouillir jusqu'à l'épuisement des briquettes ; Quantifier la quantité d'eau restant pour déduire la quantité d'eau évaporé.

3.5. Analyses statistiques des données

Les données obtenues ont permis de calculer les moyennes, les écart-types et d'effectuer des analyses de la variance.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des briquettes

Au cours de ce travail de recherche, des résidus provenant de la transformation des bananes plantains (PBP) ainsi que ceux de l'usinage de riz (RUR), pailles et balles, ont été transformés en briquettes combustibles ou charbons écologiques (Figure 8).



Figure 8. Briquettes combustibles préparées

Les briquettes produites ont subi des analyses physicochimiques pour la détermination de leurs teneurs en cendres et de leurs masses sèches. Les résultats obtenus ont été comparés au témoin constitué par le charbon de bois (T0). Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des paramètres physicochimiques analysés pour 3 (trois) répétitions.

Tableau 2. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques (%)

Combustibles	Humidité	Cendre	Matières sèches
T0	10,10±0,16 ^B	24,00±0,81 ^B	90,10±0,32 ^C
T1	4,39±0,06 ^C	35,36±2,28 ^A	95,53±0,04 ^A
T2	16,36±1,41 ^A	37,20±2,35 ^A	82,66±0,32 ^D
T3	8,46±0,24 ^B	35,36±0,44 ^A	91,53±0,24 ^B
PPDS	1,67	3,92	0,61
CV	9,05	6,31	0,36

Légende : T0 : charbon de bois ; T1 : 100 % balle et paille de riz ; T2 : 100 % peau de banane ; T3 : 50 % peau de banane et 50 % balle de riz ; A, B, C : lettres indiquant des différences significatives entre traitements ($p < 0,05$) ; CV : coefficient de variation ; PPDS : plus petite différence significative

Les résultats du tableau 2 montrent des différences concernant l'humidité. Les briquettes de PBP présentent la valeur la plus élevée (16,36 %), les briquettes des RUR affichent la plus faible humidité (4,39 %) et les briquettes issues du mélange ont donné une humidité similaire au charbon soit 8,46 et 10,1 %.

Concernant les teneurs en cendres, toutes les briquettes fabriquées présentent des valeurs statistiquement similaires comprises entre 35,36 à 37,20 %. En revanche, le témoin ($24,00 \pm 0,81$ %) présente une teneur en cendres significativement plus faible que les briquettes.

S'agissant de la matière sèche, tous les combustibles présentent des valeurs significativement différentes avec les briquettes de RUR ayant la teneur la plus élevée de 95,53 % et le charbon de PBP la teneur la plus faible de 82,66%.

3.2. Caractéristiques du potentiel énergétique des briquettes

Les paramètres ayant permis de déterminer les potentiels énergétiques des briquettes produites sont le test d'ébullition et le temps de combustion. Les résultats obtenus après le test d'ébullition sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Paramètres des performances thermiques des briquettes

Combustibles	Point d'ébullition (minute)	Durée totale de (minute)	Volume d'eau évaporé (ml)
T0	16±2,0 ^A	70±2,65 ^A	1100±18,0 ^A
T1	22±1,0 ^B	90±2,0 ^B	425±8,66 ^B
T2	26.3±1,15 ^C	95±1,0 ^B	445±5,0 ^B
T3	23±1,0 ^{BC}	110±3,0 ^C	450±5,0 ^B

Légende : T0 : charbon de bois ; T1 : 100 % balle et paille de riz ; T2 : 100 % peau de banane ; T3 : 50 % peau de banane et 50 % balle de riz ; A, B, C : lettres indiquant des différences significatives entre traitements ($p < 0,05$).

Les résultats du tableau 3 montrent que le charbon ordinaire permet de bouillir l'eau en moins de temps par rapports aux autres briquettes (en 16 minutes) et le mélange des déchets donne une brique ayant donné un résultat qui est presque la moyenne des briquettes issus du PBP et RUR. Les briquettes en base de PBP ont été moins efficaces que toutes les autres en dépensant 26 minutes pour porter l'eau à ébullition.

Cependant, les briquettes issues du mélange des déchets ont duré plus longtemps pendant la combustion par rapport à tous les autres combustibles, atteignant jusqu'à 110 minutes avant de s'épuiser. En outre, les briquettes en base de PBP ou de RUR ont accusé des durées comparables entre elles, inférieures au mélange mais supérieures au charbon de bois ordinaire. Le volume d'eau évaporé par le charbon de bois a été plus du double de ceux obtenus avec les briquettes fabriquées. Ces dernières ont évaporé un volume d'eau statistiquement similaire.

3.3. Rendement de la carbonisation

Le tableau 4 présente le rendement de la carbonisation des deux types de produits utilisés, c'est-à-dire, les peaux de banane plantain et les résidus de l'usinage de riz (pailles et balles de riz).

Tableau 4. Rendement de la carbonisation

Matière première	Poids sec initiale (kg)	Humidité de la matière première séchée (kg)	Poids après carbonisation (kg)	Rendement massique (kg)
Pailles et balles de riz	15,00	12 %	6,19	41,30 %
Peau de banane plantain	15,00	16 %	3,00	20,00 %

Les résultats obtenus montrent que le rendement de la carbonisation des RUR est le double de celui des PBP.

4. DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence l'influence significative de la nature des matières premières sur les propriétés physicochimiques et les performances thermiques des briquettes combustibles fabriquées. Ces observations confirment les travaux d'Issa *et al.*, (2021) qui ont montré que les résidus agricoles, notamment les déchets rizicoles, constituent une ressource énergétique importante pouvant être valorisée sous forme de briquettes combustibles ou charbons écologiques.

En ce qui concerne le taux d'humidité, les briquettes à base de PBP présentent une humidité significativement plus élevée (16,36 %) que les autres traitements, tandis que les briquettes à base de balle de riz (T1) affichent la valeur la plus faible (4,39 %). Ceci s'explique par la formation d'une structure poreuse au cours de la carbonisation de la PBP (Jiang, 2023) et sa richesse en potassium qui, lors de la combustion, forme du carbonate de potassium, un composé hygroscopique permettant de réabsorber l'humidité et retarder le séchage (Vassilev, 2010 ; Shen, 2015). Par contre la richesse des RUR en silice 18 à 22% confère aux briquettes une structure hydrophobe et solide en obstruant les pores (Chandrasekhar, 2003 ; Kumar, 2016). Le mélange de ces deux déchets génère des briquettes ayant une humidité intermédiaire (8,46 %), inférieure à celle du charbon de bois (10,10 %) mais idéale pour un combustible. Ces

résultats corroborent les observations de Kaliyan et Morey (2009), qui ont démontré que les caractéristiques physiques des matières premières influencent fortement l'humidité des briquettes et, par conséquent, leur efficacité énergétique. Ainsi, la faible humidité observée dans le traitement des briquettes obtenues par mélange des résidus (T3) constitue un avantage notable, car elle favorise une meilleure combustion. Ce résultat est également en accord avec les travaux de Ba *et al.* (2023), qui soulignent que la qualité des briquettes dépend en grande partie de leur teneur en eau.

Les briquettes à base de RUR présentent la valeur la plus élevée en masse sèche (95,53 %). Elles sont suivies par les briquettes issues du mélange des résidus (91,53 %), tandis que les briquettes à base de peau de banane affichent la valeur la plus faible (82,66 %). Ces résultats expliqueraient le potentiel énergétique élevée des briquettes T1 comparativement aux T2 et T3. Cette observation corrobore avec les observations d'Oladeji (2010), qui a démontré que les matières premières à forte teneur en matière sèche présentent un meilleur rendement énergétique. Par ailleurs, le bon niveau de matière sèche du mélange démontre l'intérêt de combiner différentes biomasses afin d'optimiser les performances des briquettes.

Le taux élevé en cendres de ces briquettes (de 35,36 à 37,20 %) permet une combustion plus lente

favorisant une cuisson longue jusqu'à 110 min (briquettes issues du mélange), en évitant des pertes de chaleur par rayonnement contrairement au charbon de bois qui a une teneur en cendre inférieure aux brusquettes (24 %) et un temps de combustion significativement faible (70 minutes) comme le démontre Onchieku *et al.* (2012). Ce résultat est conforme aux observations de Obame *et al.* (2020), qui ont montré que les briquettes issues de résidus lignocellulosiques présentent généralement une teneur en cendres plus élevée en raison de leur composition minérale. De même, Grover et Mishra (1996) ont indiqué que certains déchets agricoles, notamment les balles de riz, sont riches en silices, ce qui explique l'augmentation des cendres après combustion. Bien que ce paramètre constitue un inconvénient en termes de résidus, il n'affecte pas nécessairement la viabilité énergétique des briquettes.

Les résultats du test d'ébullition montrent que le charbon de bois atteint plus rapidement le point d'ébullition (16 minutes), contrairement aux briquettes qui nécessitent entre 22 et 26 minutes. Ce constat rejoint les observations de Onchieku *et al.* (2012), qui ont démontré que le charbon de bois possède généralement une vitesse de combustion plus rapide que les briquettes de biomasse.

Par ailleurs, la quantité d'eau évaporée est plus élevée pour le charbon de bois (1100 ml) que pour les briquettes (425 à 450 ml), ce qui traduit une combustion plus intense. Cependant, cette intensité s'accompagne d'une consommation plus rapide du combustible, tandis que les briquettes offrent une combustion plus progressive. Ces observations rejoignent les observations de Olorunnisola (2007), selon lesquelles les briquettes de biomasse présentent une meilleure efficacité d'utilisation à long terme, malgré une puissance thermique initiale plus faible.

Les briquettes issues du mélange des déchets (T3) se distinguent particulièrement par leurs performances thermiques équilibrées, avec un temps de combustion de 110 minutes, supérieur à celui des autres traitements. Ces résultats sont similaires aux travaux de Duangkham *et al.* (2023), qui ont montré que le mélange de différentes biomasses permet d'améliorer les propriétés énergétiques des briquettes grâce à une complémentarité des caractéristiques physico-chimiques. Ces briquettes ont évaporé l'eau aux volumes comparable que les briques de RUP et PBP avec un point d'ébullition intermédiaire à ces briquettes.

Au-delà des performances énergétiques, cette étude met en évidence l'importance de la valorisation des déchets organiques. Les peaux de banane et les balles de riz, souvent considérées comme des déchets sans valeur, peuvent être transformés en

combustibles utiles. Cette approche rejoint les travaux de Lubwama, *et al.* (2024), qui soulignent le rôle de la biomasse dans la transition énergétique des pays en développement.

Dans un contexte urbain comme Kinshasa, caractérisé par une gestion insuffisante des déchets, la production de briquettes constitue une solution pertinente pour réduire la pollution environnementale. En outre, elle contribue à diminuer la dépendance au charbon de bois, principale source d'énergie domestique en République Démocratique du Congo, et donc à limiter la déforestation. Ces résultats confirment ainsi que les briquettes issues du mélange de balle de riz et de peau de banane plantain représentent une alternative énergétique durable et adaptée au contexte local.

5. CONCLUSION

L'étude a permis d'évaluer le potentiel énergétique des briquettes fabriquées à partir de déchets organiques, en particulier les peaux de banane plantain et les résidus de l'usinage de riz (pailles et balles de riz), comparativement au charbon de bois et de déterminer le traitement le plus performant. Les résultats obtenus montrent que la nature des matières premières influence de manière significative les propriétés physicochimiques et les performances thermiques des briquettes fabriquées.

Le charbon de bois a présenté une capacité calorifique plus importante en ce qu'elle a permis d'évaporer plus du double de la quantité d'eau soumise au test que les briquettes, tandis que ces dernières ont présenté une durée de combustion plus élevée, pour la même quantité de combustible. La valorisation des résidus végétaux par la production des charbons écologiques est une piste intéressante pour la réduction de la pression anthropique exercée sur les écosystèmes forestiers par la recherche du bois-énergie, mais aussi pour la préservation de l'environnement grâce à la possibilité de la résorption de la fraction lignocellulosique des déchets qui polluent les grandes villes de la RDC. Il importe que les recherches continuent dans le sens de l'amélioration des capacités calorifiques des briquettes obtenues.

Références

- Ba K., Ndiaye F., Ousmane A. & Faye M., 2023. Optimisation des conditions opératoires de formulation d'un charbon vert. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 52, 23-31.
- Bailis R., Berrueta V., Chengappa C., Dutta K., Edwards R., Masera O., Still D. & Smith KR., 2007. Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the Household Energy and Health Project. *Energy for Sustainable Development*, 11 (2), 57-70.

- Bangala MD-B., 2016. *Etudes des résidus lignocellulosiques à Kinshasa : Identification, quantification et valorisation par les white-rot fungi (champignons de pourriture blanche)*. Thèse de doctorat : Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, RDC, 169 p.
- Belani MJ., Mpanzu BP., Ngonde NH. & Kinkela SC., 2023. État des lieux de l'utilisation des énergies de cuisson dans les ménages de Kinshasa : analyse de la substitution du bois-énergie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 355(1), 35-46. DOI : 10.19182/bft2023.355a36853
- Bosanza BD. & Mapuku MP., 2025. Valorisation de la biomasse épluchures sur la production de l'énergie utilisable dans les ménages, sous forme de briquettes. *Revue-IRS*, 3(5), 5480-5491. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenode.17303816>
- Bot BV., 2022. *Étude et caractérisation du charbon écologique produit à partir des déchets agricoles en vue de son utilisation dans les ménages au Cameroun*. Thèse de doctorat : Université de Douala, Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales et Appliquées, Cameroun, 185 p.
- Chandrasekhar S., Satyanarayana KC., Pramada PN., Raghavan P. & Gupta TN., 2003. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk an overview. *Journal of Materials Science*, 38(15), 3159-3168.
- Duangkham W., Phanpheng P. & Srichua P., 2023. Développement de briquettes à base de balle de riz et de peaux de banane : propriétés physiques et de combustion. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135–147. DOI : [10.1016/j.heliyon.2023.e16305](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16305)
- FAO, 2017. *Évaluation du lien énergie et sécurité alimentaire : Égypte*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2021. *Changement climatique 2021 : Les bases physiques. Contribution du groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis : Cambridge University Press, 2391 p.
- ISO 18134-1 : 2022. *Biocombustibles solides-Dosage de la teneur en humidité. Partie 1 : Méthode de référence*. Organisation Internationale de Normalisation. Genève, Suisse, 5 p.
- ISO 1928 : 2015. *Combustibles minéraux solides : Détermination du pouvoir calorifique supérieur par la méthode de la bombe calorimétrique*. Organisation Internationale de Normalisation. Genève, Suisse, 61 p.
- Issa A., Rasoanaivo JL., Rakotoson R., Ravoninjatovo A. & Andrianaivo L., 2021. Le charbon de bambou, source d'énergie alternative convaincante et appropriée au contexte malgache : efficacités énergétique et écologique par rapport au bois énergie et aux briquettes à base de sciures de bois de modèles cylindrique et extrudé. *IJPSA*, 29 (1), 368-391.
- Jiang Y., Li C., Zhang L., Fan M., Zhang S., Gao W., Li B., Wang S. & Hu X., 2023. Pyrolysis of banana peel with microwave and furnace as the heating sources: The distinct impacts on evolution of the pyrolytic products. *Process Safety and Environmental Protection*, 173, 373-383.
- Kaliyan N. & Morey RV., 2010. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 101, 1082–1090. DOI : 10.1016/j.biortech.2009.08.064
- Khan MJ., Iqbal MT. & Rahman S., 2022. Les briquettes de biomasse comme carburant alternatif durable : revue des caractéristiques physiques, chimiques et de combustion. *Renewable Energy*, 188, 102–119.
- Kumar A. & Mohanty K., 2026. Rice husk ash as a hydrophobic filler in bio-composites. *Industrial Crops and Products*, 89, 110-118.
- Laval M., 2014. *Le charbon vert, espoirs et réalités d'une alternative énergétique séduisante*. Étude commandée par la guilde européenne du Raid.
- Lubwama M., Birungi A., Nuwamanya A. & Yiga V., 2024. Characteristics of rice husk biochar briquettes with municipal solid waste cassava, sweet potato and matooke peelings as binders. *Mater Renew Sustain Energy* 13, 243–254. DOI : 10.1007/s40243-024-00262-x
- Lukamba B., Kimpembe H., Masudi L. & Tembea L., 2024. *Gestion des déchets solides ménagers au regard des risques sanitaires et environnementaux : étude transversale dans la zone de santé de Kindu*. PAMJ-One Health, 11 p. DOI: 10.11604/pamj-oh.2025.18.1.45536
- Mangenda H., Mulaba P. & Kiawutua A., 2020. Gestion des déchets ménagers dans la ville de Kinshasa : Enquête sur la perception des habitants et propositions. *Environnement, Ingénierie & Développement*, 83, 19-26.
- Mishra SK., 1996. *Biomass briquetting technology and practices*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia.
- Obame JAE., Ango SBE., Pitti RM. & Mounongo JBM., 2020. Fabrication de briquelette combustible à base de la sciure du bois. 9èmes journées scientifiques du GDR 3544 "Sciences du bois", Grenoble, France, pp.154-157.
- Oladeji JT., 2010. Fuel characterization of briquettes produced from corncob and rice husk residues. *Pacific Journal of Science and Technology*, 11(1), 101–106.
- Olorunnisola AO., 2007. Production of fuel briquettes from waste paper and coconut husk admixtures. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 9, 1–11.
- Onchieku JM., Chikamai BN. & Rao MS., 2012. Optimum parameters for the formulation of charcoal briquettes using bagasse and clay as binder. *European Journal of Sustainable Development*, 1(3), 477–492.
- Rosoanaivo JL., Issa A., Rakotoson R., Ravoninjatovo A. & Andrianaivo L., 2021. Potentialités en déchets riziocoles : Gage de l'électrification et du développement durable. Cas de la Commune rurale d'Ambohijanahary, District d'Amparafaravola, Région Alaotra Mangoro, Madagascar. *IJPSAT*, 29(1), 392-419.
- Shen D., 2025. Effect of potassium salts on the hygroscopicity of biochar derived from fruit peels. *Energy & Fuels*; 29(11), 7278-7285.

Tunguhole J., Uckert G., Gebre G., Robischon M. & Sieber S., 2026. Forecating effects of traditional cooking energy consumption on deforestation an carbon dioxide

emissions in Sub-Saharan Africa.
DOI:10.1016/j.tfp.2026.10122