

Caractérisation thermique de combustible à base de sciure de bois : influence de l'empois d'amidon de manioc sur l'efficacité énergétique des biocharbons à base de sciure de bois

Souleymane OUATTARA¹, Ovo Sandrine Flora AUGOU^{1*}, Al Hasane FOFANA²,
Conand Honoré KOUAKOU¹ et Edjikémé EMERUWA¹

¹ Université Félix Houphouët Boigny, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géomatériaux, Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët Boigny, UFR Sciences des Structures de la Matière et de Technologie, Abidjan, 01 BP V 34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : sandrineaugou@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'élaboration de biocharbon à partir des déchets de bois produit par les scieries et l'amidon de manioc. A la suite d'une étude sur le choix des meilleures formulations, le mélange des deux matières se fait suivant les rapports empois d'amidon (EA)- sciure de bois (Sb) égale à 0,87 et 1. Une masse de 600 grammes de chaque combustible (biocharbons et charbon de bois) est soumise à l'essai d'ébullition de 1 litre d'eau afin de déterminer leur efficacité énergétique. Les résultats obtenus montrent que les biocharbons ont une efficacité énergétique plus élevée que celle du charbon de bois. L'utilisation des biocharbons permet une ébullition rapide et durable de l'eau, soit 18 à 21 min respectivement pour les rapports 0,87 et 1 de durée allant de 90 à 100 min. Par contre l'utilisation du charbon de bois permet de faire bouillir l'eau en 25 min pendant 50 min. Par conséquent, les biocharbons peuvent substituer le charbon de bois pour les activités domestiques.

Mots-clés : *caractérisation, thermique, efficacité énergétique, biocharbons.*

Abstract

Thermal characterization of wood science-based fuel : influence of the case of cassava starch on the energy efficiency of wood science-based biocharbons

This work focuses on the development of biocharcoal from sawmill wood waste and cassava starch. Following a study on the choice of the best formulations, the two materials are mixed according to starch (EA) - sawdust (Sb) ratios equal to 0.87 and 1. 600 grams of each fuel (biochar and charcoal) are subjected to a boiling test of 1 litre of water to determine their energy efficiency. The results show that biochar has a higher energy efficiency than charcoal. The use of biocharcoal allows a rapid and lasting boiling of water, 18 to 21 min respectively for the 0.87 and 1 ratios ranging from 90 to 100 min. On the other hand, the use of charcoal allows to boil water in 25 min for 50 min. Therefore, biochar can substitute charcoal for domestic activities.

Keywords : *characterization, thermal, energy efficiency, biochar.*

1. Introduction

L'efficacité énergétique se définit comme une consommation énergétique moindre pour le même service rendu [1]. Elle désigne le fait d'utiliser moins d'énergie pour fournir des services énergétiques équivalents. Le combustible le plus utilisé en Afrique et en Côte d'Ivoire est le charbon de bois [2]. De façon générale, la qualité du charbon de bois est fonction de l'origine du bois utilisé. Lorsque le charbon de bois est destiné à l'usage domestique, le marché est moins exigeant sur sa qualité. Tandis que, lorsqu'il est destiné à la sidérurgie, il doit avoir une qualité variant de bon à excellent [3]. En outre, quelque soit la qualité du charbon de bois, l'efficacité énergétique est liée à l'allumage. La plupart du temps dans le domaine domestique où le charbon est le plus utilisé, il sert à chauffer de l'eau soit pour la cuisson des aliments, soit pour avoir de l'eau chaude pour le lavage. Ainsi, l'élaboration et l'utilisation du charbon de bois entraînent de nombreuses conséquences à savoir la déforestation, la désertification, la perturbation climatique, etc. [4, 5]. De plus, l'exploitation du bois par les scieries produit beaucoup de sciure de bois nuisible à l'environnement [6]. Pour remédier à ce problème, Il est nécessaire de diversifier les sources d'énergie domestique afin de diminuer la pression exercée sur les ressources forestières. Ainsi, les déchets de bois provenant des scieries seront utilisés pour confectionner des biocharbons. L'efficacité énergétique des combustibles est très importante lors de la combustion. Il convient d'étudier l'efficacité énergétique du charbon de bois et des biocharbons, afin de les évaluer et voir s'il est possible de substituer le charbon de bois par les biocharbons. De ce fait, l'étude portera sur la détermination du pouvoir calorifique supérieur (PCS), la détermination de la facilité d'allumage, la détermination de la durée de combustion, puis de l'efficacité énergétique.

2 Matériel et méthodes

2-1. Présentation, traitement et caractéristiques des matières premières

La sciure de bois de l'Iroko (*Chlorophora excelsa*) et l'amidon de manioc (*Manihot exculenta*) sont les matières premières utilisées pour confectionner les biocharbons. Le choix a porté sur ces matières à cause de leur disponibilité et les dégâts environnementaux causés par la sciure de bois. Elles font l'objet d'un traitement avant d'être utilisées. La sciure de bois est carbonisée pour donner le charbon de sciure de bois de PCS égal à 6686 cal/g et l'amidon de manioc est transformé en empois de PCS égal à 3950 cal/g. Le taux de matières volatiles est respectivement égal à 36 % et 99 % pour la sciure de bois calcinée et l'empois d'amidon.

2-2. Méthode d'élaboration des échantillons

Pour élaborer les biocharbons, une masse de sciure de bois (Sb) est mélangée à une masse d'empois d'amidon (EA) suivant les rapports EA/Sb égale à 0,87 et 1. La pression de compactage des combustibles est 500 KPa. Une étude antérieure sur les biocharbons a montré que les rapports 0,87 et 1 sont les meilleures formulations. Ils ont une qualité inférieure selon la classe du charbon fossile de taux de carbone fixe respectivement égal à 42,43 % et 41,66 %. Leur teneur en matières volatiles est de 46 %. Le charbon de bois utilisé dans cette étude comme combustible témoin est acheté auprès des vendeurs locaux de la ville d'Abidjan en Côte d'Ivoire. Il a une qualité moyenne avec un taux de carbone égal à 65 % et une teneur en matières volatiles égale à 25 %.

2-3. Méthode de caractérisation des combustibles

2-3-1. Pouvoir calorifique supérieur

Le pouvoir calorifique supérieur est une donnée thermochimique très importante qui désigne la quantité d'énergie libérée du combustible lors de la combustion. La détermination du pouvoir calorifique supérieur se fait à l'aide d'un calorimètre à bombe selon la norme [7].



Figure 1 : Calorimètre à bombe

2-3-2. Détermination de la facilité d'allumage des combustibles

L'essai d'allumage consiste à déterminer la facilité d'allumage des combustibles en 5 minutes. Il consiste à mesurer, à l'aide d'un thermocouple, la température du feu d'un échantillon en incandescence ($T^{\circ}al$). L'inflammation du combustible dure 1 minute et la mesure de la température de la partie incandescente du combustible se fait à 25 s ($T^{\circ}t'$) et à 300 s ($T^{\circ}t''$). La facilité d'allumage s'écrit par la **Formule 1**.

$$T^{\circ}al = T^{\circ}t'' - T^{\circ}t' \tag{1}$$

$T^{\circ}al$: température d'allumage, $T^{\circ}t''$: température à t égal à 5 min, $T^{\circ}t'$: température à t égal à 25 s.



Figure 2 : Test d'allumage (a) attaque de feu pendant 1s et (b) mesure du feu après l'attaque

2-3-3. Détermination de la durée de combustion des combustibles

L'essai sur la durée de combustion (DC) consiste à déterminer le temps de combustion totale de 600 g de combustibles introduits dans un foyer en argile. Elle commence par l'allumage jusqu'à l'obtention de la cendre. La durée de combustion s'écrit suivant la **Formule 2**.

$$\Delta t = t_f - t_i \tag{2}$$

Δt : temps que met les combustibles pour se consumer ; t_f : temps de fin de combustion des combustibles ; t_i : temps de début de combustion des échantillons

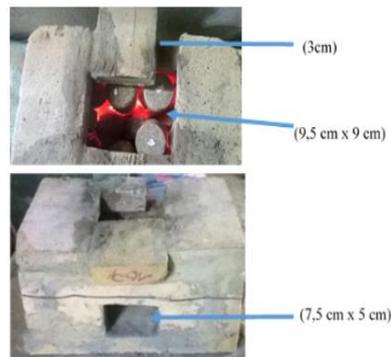


Figure 3 : Foyer en argile

2-3-4. Détermination de l'efficacité énergétique des combustibles

L'étude sur l'efficacité énergétique des combustibles dure 2 heures. Elle est déterminée à partir du début et de la durée d'ébullition de l'eau, des quantités d'eau restante et évaporée puis de la température du feu des combustibles. Les résultats sont obtenus suivant les relations ci-dessous :

▪ *Début d'ébullition*

Le début d'ébullition de l'eau correspond au temps que met l'eau pour bouillir. Il s'exprime comme suite

$$t_{eb}(\text{min}) = t_{deb} - t_p \quad (3)$$

t_{eb} : début d'ébullition de l'eau ; t_{deb} : temps à partir duquel l'eau boue ; t_p : temps à partir duquel la casserole est posée au feu.

▪ *Durée d'ébullition*

Elle correspond au temps d'ébullition de l'eau. Pour ce faire, on fait la différence entre le temps où l'eau arrête de bouillir et le temps du début de l'ébullition. L'expression est comme suite

$$\Delta t (\text{min}) = t_{feb} - t_{deb} \quad (4)$$

Δt : durée d'ébullition de l'eau ; t_{feb} : fin d'ébullition de l'eau ; t_{deb} : début d'ébullition de l'eau.

▪ *Quantité d'eau restante*

La quantité d'eau restante correspond à la masse d'eau restante dans la casserole après l'essai d'ébullition. Elle s'écrit suivant **l'Équation 5**.

$$Q_r(g) = Q_i - Q_f \quad (5)$$

Q_r : quantité d'eau restante ; Q_i : la masse d'eau initiale + celle de la casserole ; Q_f : la masse d'eau finale + celle de la casserole.

▪ *Quantité d'eau évaporée*

La quantité d'eau évaporée correspond à la masse d'eau qui s'évapore pendant l'ébullition. Pour l'obtenir, on fait la différence entre la masse d'eau initiale et la masse d'eau restante.

$$Q_v(g) = Q_i - Q_r \quad (6)$$

Q_v : quantité d'eau évaporée ; Q_r : quantité d'eau restante ; Q_i : la masse d'eau initiale + celle de la casserole.

▪ *Température du feu des combustibles*

La température du feu des combustibles est mesurée au cours de l'essai d'ébullition, afin d'évaluer l'intensité de l'énergie produite permettant de porter l'eau en ébullition. Cette mesure se fait tout au long de l'essai et permet de suivre l'évolution de la température du feu des combustibles. La température du feu s'écrit par ***l'Équation 7***.

$$T^{\circ}C = f(t) \tag{7}$$

T° : température de feu, t : temps



Figure 4 : Dispositif pour le test d'ébullition

3. Résultats et discussion

3-1. Pouvoir calorifique supérieur

Les résultats sur le pouvoir calorifique supérieur (PCS) des combustibles sont présentés sur la **Figure 5**. Ils désignent l'énergie libérée par les combustibles au cours de la combustion. Le PCS varie en fonction du type de combustible et de leur teneur en carbone [8]. Pour le charbon de bois, la valeur est égale à 7000 cal/g, celui des biocharbons de rapport 0,87 est 6383 cal/g et celle des biocharbons de rapport 1 est 6244 cal/g.

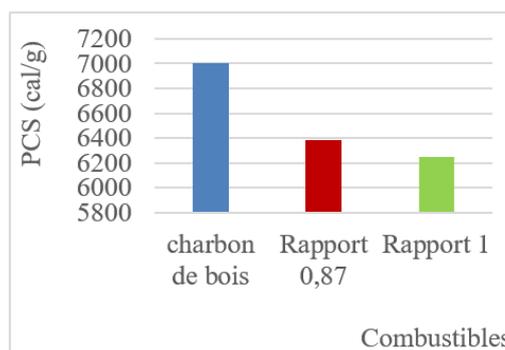


Figure 5 : Pouvoir calorifique supérieur des combustibles

Les résultats obtenus montrent que le charbon de bois (combustible témoin) a un PCS élevé par rapport aux biocharbons car sa teneur en carbone fixe est élevée (65 %) ; alors que celle des biocharbons élaborés est faible. Pour les rapports 0,87 ; la teneur en carbone fixe est 42, 43 % et celle de rapport 1 est de 41,66 %. A la différence du charbon de bois, les biocharbons sont composés de deux matières dont le PCS est de 3950 cal/g pour l'EA et 6686 cal/g pour la sciure de bois carbonisée. L'EA ayant un PCS plus faible que celui de la sciure de bois carbonisée, lorsque sa teneur augmente dans le mélange, le PCS du biocharbon diminue.

Ce résultat est similaire à celui de [9] à travers l'étude sur la conception de biomasse. Le substitut du charbon par la biomasse de feuille et de pseudotrunc de banane diminue le pouvoir calorifique des combustibles. Par les analyses, il est montré que ces biomasses ont un PC inférieur que celui du charbon, ce qui a une influence sur le PC du combustible. De même, dans notre cas, l'EA a un PCS faible que celui de la sciure de bois calcinée, ce qui a influencé le PCS des biocharbons et donc diminué les valeurs. [10 - 12] ont également obtenu les mêmes résultats sur la diminution du pouvoir calorifique supérieur des biocharbons, lorsque le liant est abondant dans le mélange.

3-2. Détermination de la facilité d'allumage des combustibles

La **Figure 6** présente les résultats obtenus sur la facilité d'allumage des combustibles à partir de la température du feu à 25 et à 300 secondes. Lorsque la température augmente, on dit que l'allumage est facile mais lorsqu'elle diminue, on dit qu'il est difficile.

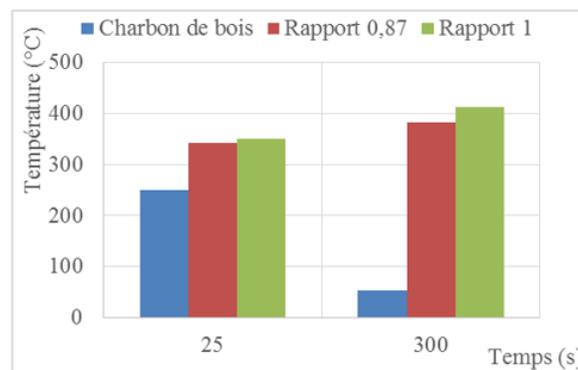


Figure 6 : *Température d'allumage des combustibles*

La **Figure** ci-dessus présente la variation de la température d'allumage en fonction du temps. Pour le charbon de bois, la température est de 250°C après 25 s d'allumage du combustible. Pour cette même durée elle est de 343°C et 350°C respectivement pour les biocharbons de rapports 0,87 et 1. A 300 s, la température du charbon de bois en incandescence passe à 53°C alors que celle des biocharbons augmente à 382 et 412°C respectivement pour le rapport 0,87 et 1. Le charbon de bois s'allume donc difficilement par rapport aux biocharbons car il contient moins de matières volatiles (25 %) contrairement aux biocharbons (46 %). Aussi entre 25 et 300 s, le charbon tend à s'éteindre à cause de la cendre qui recouvre la braise, tandis que l'augmentation de la température du feu des biocharbons correspond à une activation de la flamme. Le rapport EA/Sb a donc une influence sur l'allumage des biocharbons et par conséquent, les biocharbons s'allument plus facilement que le charbon de bois. Ce résultat est contraire aux résultats rapportés par [10] ; qui montrent que le charbon de bois s'allume facilement que les biomasses. [13], dans ces travaux en 2016, a montré que le charbon de typha élaboré met 8 à 15 min pour s'allumer alors que nos combustibles élaborés s'allument en 5 min. Pour réaliser l'essai, [13] utilise 1 kg de charbon de typha, qui correspond à 600 g de charbon de bois et 40 g de papier (5 feuilles de journal) et une feuille pour faire la mèche. Ils disposent le charbon dans le foyer et le papier selon la méthode bouteille et le test d'allumage dure 20 min. Par contre dans notre étude, un échantillon de chaque combustible est maintenu par une pince à une distance de 4 cm du bec busen. Il est au contact de la flamme produite par le bec busen pendant 1 min et le test dure 6 min (1 min pour allumer et 5 min pour observer l'évolution de l'incandescence).

3-3. Durée de combustion des combustibles

La **Figure 7** présente les résultats obtenus sur la durée de combustion des combustibles. Elle peut être longue ou courte à cause de la teneur en carbone qu'ils contiennent.

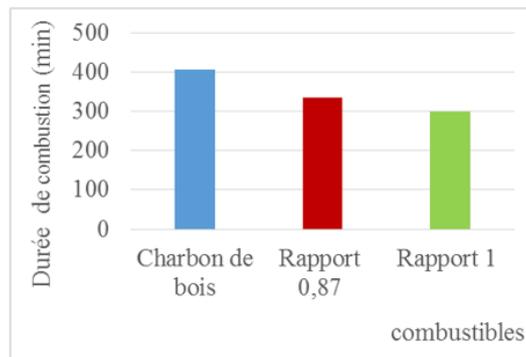


Figure 7 : *Durée de combustion des combustibles*

Les résultats montrent que la durée de combustion varie en fonction du combustible utilisé. Pour le charbon de bois, la combustion dure 406 minutes et pour les combustibles de rapport 0,87 et 1, elle dure respectivement 335 et 300 minutes avant de se consumer totalement. Le charbon de bois a une durée plus longue que celle des biocharbons car il contient un taux de carbone égal à 66 % alors que le taux de carbone fixe des biocharbons 42, 43 % et 41,66 %. En outre, plus les biocharbons contiennent de l'EA, la durée de combustion diminue. En effet l'EA accélère la combustion car il se consume également et contient un taux de matière volatil très élevé (99 %). Par conséquent, le charbon de bois brûle plus longtemps que les biocharbons. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de [9], qui montrent que plus la biomasse est abondante dans la composition des briquettes, plus le taux de combustion augmente. Il passe de 0,035 à 0,083 g / min pour les briquettes de charbon de feuille de banane et de 0,035 à 0,088 pour les briquettes de charbon de pseudotonc. Quant à la briquette de charbon sous-bitumineux, il a un taux de combustion plus faible (0,034 g / min). [14] a montré que les charbons verts élaborés dans le cadre du projet AEST ont une durée de combustion plus importante que le charbon de bois. En effet ces briquettes sont composées de poussière de charbon, de déchets carbonisés et d'argile. Ce résultat est différent des nôtres.

3-4. Efficacité énergétique des combustibles

Les résultats obtenus ont porté sur le début et la durée d'ébullition de l'eau (**Figure 8 a et 8 b**), sur l'évolution de la température du feu (**Figure 9**) des combustibles utilisés pour l'essai d'ébullition et sur la quantité d'eau restante et évaporée après l'essai (**Figure 10 et 11**). Les paramètres étudiés sont le temps et la température. Ces résultats ont permis de relever l'efficacité énergétique des combustibles.

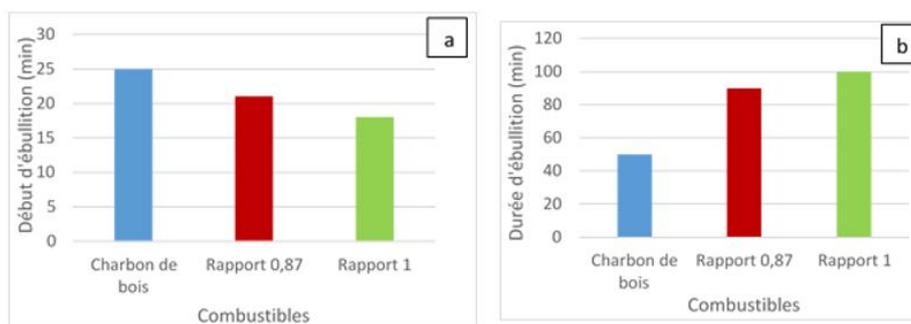


Figure 8 : *Début (a) et durée (b) d'ébullition de l'eau*

Les **Figures 8 a et 8 b** présentent la variation du début et de la durée d'ébullition de l'eau en fonction des combustibles utilisés. Le charbon de bois met 25 minutes pour porter l'eau en ébullition tandis que, les biocharbons mettent 21 et 18 minutes pour faire bouillir l'eau. En effet, le charbon de bois s'allume difficilement par rapports aux biocharbons. Par conséquent, la durée d'ébullition représentée par la **Figure 8 b**, est de 50 min pour le charbon de bois et 90 à 100 min pour les biocharbons. En effet, l'EA ayant la capacité de se consumer également, il augmente l'intensité de rayonnement du feu des biocharbons lorsqu'il est abondant dans la composition. Par conséquent, la durée d'ébullition de l'eau dépend de l'intensité de rayonnement du feu. Cette intensité est évaluée à partir de la température du feu représentée par la **Figure 9**. Pour le charbon de bois, la température est de 895°C au départ mais baisse progressivement ; alors que celle des biocharbons augmente avant de commencer à baisser. Ce comportement est lié à la facilité d'allumage. L'intensité de rayonnement du feu produite par les biocharbons de rapport 1 présente dans l'ensemble une température plus élevée par rapport aux biocharbon de rapport 0,87 et le charbon de bois. Ensuite, vient la température des biocharbons de rapport 0,87 qui est également supérieure à celle du charbon de bois.

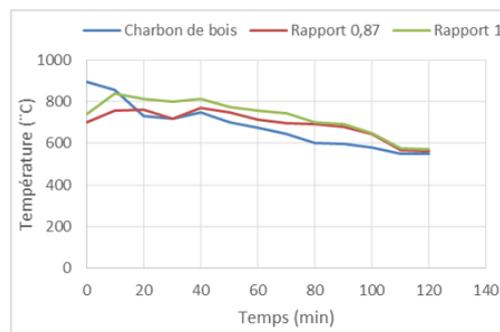


Figure 9 : Température du feu des combustibles

Par conséquent les quantités d'eau restantes et évaporées qui en découlent sont représentées sur les **Figures 10 a et 10 b**.

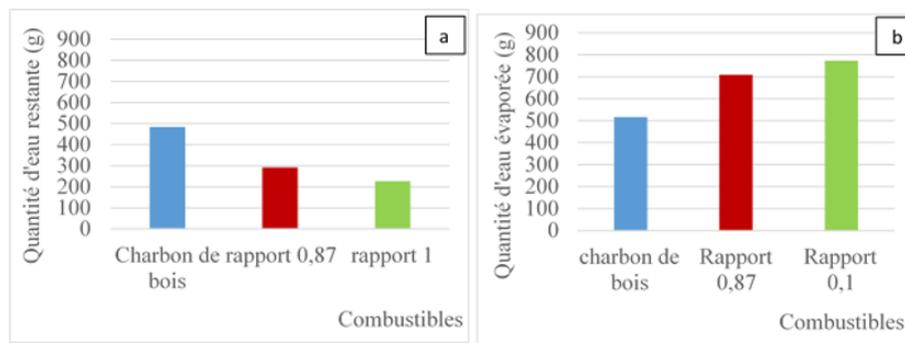


Figure 10 : Quantité d'eau restante (a) et évaporée (b)

Lorsque le charbon de bois est utilisé pour l'essai d'ébullition, la quantité d'eau évaporée est de 515,3 g et il reste dans la casserole 484,7 g. Lorsque les biocharbons de rapport 0,87 et 1 sont utilisés, les quantités d'eau évaporées sont respectivement égales à 708,8 g et 773,1 g ; puis il reste à la fin de l'essai 291,2 g et 226,3 g. Pour le charbon de bois, la quantité d'eau évaporée est plus petite que celle des biocharbons. En effet, l'intensité de rayonnement du feu des biocharbons est élevée que celle du charbon de bois. Ce qui permet de chauffer davantage la casserole. En outre, l'évaporation de l'eau est plus élevée, lorsqu'on utilise les biocharbons de rapport 1. A partir de ces résultats, il ressort que l'efficacité énergétique des biocharbons est plus élevée que celle du charbon de bois.

4. Conclusion

A la suite de nos travaux de recherche, nous pouvons conclure que les essais sur le pouvoir calorifique supérieur, la facilité d'allumage et la durée de combustion ont permis de déterminer les caractéristiques thermiques des combustibles (charbon de bois et biocharbons). L'essai d'ébullition d'eau a permis de déterminer leur efficacité énergétique. Le charbon de bois a un pouvoir calorifique supérieur et une durée de combustion plus importante que ceux du biocharbons. Mais la difficulté d'allumage du charbon de bois par rapport aux biocharbons, influence son efficacité énergétique lors de l'essai d'ébullition. Sur la base des résultats obtenus, il ressort que les biocharbons ont une efficacité énergétique plus importante que celle du charbon de bois. Cependant, ils peuvent donc substituer le charbon de bois pour les activités domestiques afin de sauvegarder l'environnement.

Références

- [1] - A. BETHENCOURT et J. CHORIN, Efficacité énergétique : un gisement d'économie ; un objectif prioritaire, (2013) 49 p.
- [2] - PNUD, Etude Nama sur le charbon de bois durable en Côte d'Ivoire, (2012) 80 p.
- [3] - FAO, Utilisation rationnelle du charbon de bois, (2018) <http://www.fao.org/3/x5328f/x5328f0b.htm>
- [4] - DEFORESTATION, (2019) http://pm22100.net/01_pdf_themes/wiki/deforestation.pdf
- [5] - FAO, Les forêts et le changement climatique dans la région du proche orient, (2011) 75 p.
- [6] - K. E. YAO, L'impact des unités industrielles de transformation du bois sur le développement urbain à Daloa. Thèse unique de doctorat en géographie à l'université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2014) 280 p.
- [7] - ADEME NF M 03-005, Validation des méthodes de mesures des caractéristiques des combustibles bois déchiquetés, (2002) 56 p.
- [8] - GCE, Manuel du secteur de l'énergie. Combustion de combustibles
- [9] - O. A. OYELARAN, B. J. OLORUNFEMI, O. M. SANUSI, A. O. FAGBEMIGUN, O. BALAGUN, Investigating the performance and combustion characteristics of composite bio-coal briquette. *Revi. Journal of materials and engineering structures*, N°5 (2018) 173 - 184
- [10] - PERACOD, Etude finale sur la faisabilité technico-économique du développement d'une filière de valorisation du *Typha australis* en combustible domestique par la technologie de carbonisation « 3 fûts » dans le delta du fleuve Sénégal, (2006) 23 p.
- [11] - N. ABDULLAH, H. GERHAUSER, F. SULAIMAN, Fast pyrolysis of empty fruit bunches. *Fuel*, 89 (8) (2010) 2166 - 2169
- [12] - M. S. DUSABE, Etude de faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers organiques, papiers et cartons pour la fabrication des briquettes combustibles à bujumbura, burundi, (2014) 40 p.
- [13] - G. TERRIER et P. VRIELYNCK, Caractérisation de la combustion de charbon de typha dans un foyer amélioré mauritanien. Rapport de projet de fin d'étude, (2016) 75 p.
- [14] - M. LAVAL, Le charbon vert, espoirs et réalités d'une alternative énergétique séduisante. Etude commandée par la guilda européenne du Raid, (2014) 69 p.