



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Valorisation Energetique des Dechets Agricoles : cas de la Pomme de Cajou dans le Departement de Tanda (Côte d'Ivoire)

Mangoua-Allali Amenan Lydie Clarisse, PhD

Kone Tiangoua, PhD

Messou Aman, PhD

Université NANGUI ABROGOUA/UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, Côte d'Ivoire

Nikebie Koffi Olivier Fabrice, MA

Direction Départementale de l'Agriculture et du Développement Rural de Tanda, Côte d'Ivoire

Coulibaly Lacina, PhD, Professeur

Université NANGUI ABROGOUA/UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n27p142](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n27p142)

Submitted: 10 June 2022
Accepted: 08 August 2022
Published: 31 August 2022

Copyright 2022 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Mangoua-Allali A.L.C., Kone T., Messou A., Nikebie K.O.F. & Coulibaly L. (2022) *Valorisation Energetique des Dechets Agricoles : cas de la Pomme de Cajou dans le Departement de Tanda (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (27), 142. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n27p142>

Résumé

Cette étude s'est proposée de valoriser la pomme de cajou e combustible. Le matériel est constitué de pommes de cajou séchée non carbonisée (PCSNC), pommes de cajou fermentées séchées carbonisées (PCFSC),, pommes de cajou séchées et carbonisées (PCSC), briquettes comportant 100% de pommes carbonisées et 0% de sciure de bois carbonisée (BPC100), briquettes comportant 80% de pommes carbonisées et 20% de sciure de bois carbonisée (BPC80), briquettes comportant 70% de pommes carbonisées et 30% de sciure de bois carbonisée (BPC70), briquettes comportant 60% de pommes carbonisées et 40% de sciure de bois carbonisée (BPC60). Ces combustibles ont été caractérisés en déterminant la quantité de

chaleur dégagée, la durée de combustion, le temps d'ébullition, le niveau de dégagement de fumée, la masse de suie après combustion et le taux de cendres. Les valeurs obtenues pour ces paramètres ont été comparées à celles du charbon de bois. Il ressort que les quantités de chaleur dégagées par PCFNC (963 KJ) et PCSNC (943 kJ) sont relativement proches de celle (1122 kJ) du charbon de bois. Pour la durée de combustion, ce sont les briquettes et le charbon de bois témoin qui mettent plus de temps à se consumer (60 minutes, environ). Le temps le plus court d'ébullition de l'eau est obtenu avec BPC100 (10,98 minutes contre 15,45 minutes pour le charbon de bois). Les combustibles à base de pommes de cajou ont tous dégagé de la fumée et ont favorisé un dépôt de suie après la combustion contrairement au charbon de bois. Au niveau de la cendre, BPC60 et BPC70 ont produit moins de cendre (10g) que le charbon de bois (12,5g). Au vu de ces résultats, si certaines caractéristiques de la pomme de cajou sont améliorées, sa valorisation énergétique est possible.

Mots-clés: Pomme de cajou, valorisation énergétique, combustible, carbonisation, briquette

Energy Recovery from Agricultural Waste: the Case of Cashew Apples from Tanda Department (Cote d'Ivoire)

Mangoua-Allali Amenan Lydie Clarisse, PhD

Kone Tiangoua, PhD

Messou Aman, PhD

Université NANGUI ABROGOUA/UFR Sciences et Gestion de
l'Environnement, Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique,
Côte d'Ivoire

Nikebie Koffi Olivier Fabrice, MA

Direction Départementale de l'Agriculture et du Développement Rural de
Tanda, Côte d'Ivoire

Coulibaly Lacina, PhD, Professeur

Université NANGUI ABROGOUA/UFR Sciences et Gestion de
l'Environnement, Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique,
Côte d'Ivoire

Abstract

This study intended to valorize the cashew apple or cashew nut into fuel. The material consists of cashew apples and sawdust, which allowed us to obtain 8 types of fuel. This includes dried cashew apples without carbonization (PCSNC), dried fermented cashew apples with carbonization (PCFSC), dried

cashew apples with carbonization (PCSC), and briquettes with 100% carbonized apples and 0% sawdust with carbonization (BPC100), briquettes with 80% carbonized apples and 20% carbonized sawdust (BPC80), briquettes with 70% carbonized apples and 30% carbonized sawdust (BPC70), briquettes with 60% carbonized apples and 40% carbonized sawdust (BPC60). These fuels were characterized by determining the amount of released heat, combustion time, boiling time, level of smoke release, soot mass after combustion, and ash content. The values obtained for these parameters were compared with those of charcoal. The heat release of PCFNC (963 kJ) and PCSNC (943 kJ) is relatively close to that of charcoal (1122 kJ). The briquettes and the control charcoal take longer to burn (about 60 minutes, in terms of burning time). The shortest water boiling time was obtained with BPC100 (10.98 minutes versus 15.45 minutes for charcoal). Cashew apple fuels all gave off smoke and promoted soot deposition after combustion. This was not the same as charcoal's case. Regarding ash generation, BPC60 and BPC70 produced less ash (10g) than charcoal (12.5g). Considering these results, if some characteristics of the cashew apple are improved, its energy valorization is possible.

Keywords: Cashew apple, energy valorization, fuel, carbonization, briquettes

Introduction

Le mode de nutrition des populations et l'amélioration des systèmes agricoles génèrent des résidus (Kouassi, 2018). Ceux-ci ne sont souvent pas valorisés et constituent ainsi des déchets polluant l'environnement (Hirczak et Mollard, 2004). Cette pollution peut se manifester par la propagation et la transmission d'agents pathogènes comme Salmonella (Abdelkader et al., 2017). Ainsi, dans les solutions de gestion des déchets, des études se sont penchées sur l'utilisation de composts à base de déchets urbains pour amender des sols (Etsè et al., 2014). Dans le domaine agricole, des plantes comme *Cassia occidentalis* L. ont été utilisées sous formes d'engrais vert, de composts et de jachère améliorée pour régénérer la fertilité d'un sol dégradé (Toundou et al., 2014).

En Côte d'Ivoire, le succès économique repose sur l'agriculture. En effet, les conditions environnementales et climatiques ont été propices au pays pour le développement tant de cultures industrielles que vivrières (Sangaré et al., 2009). Ce qui a valu à la Côte d'Ivoire d'être premier producteur mondial de cacao et de cajou, premier producteur africain d'hévéa, de mangues, etc. (Programme Global Business Network, 2020). Cependant, selon la même source, les déchets provenant des cultures ne sont pratiquement pas valorisés et sont parfois sources de maladies pour les plantes (exemple du cacao). Ces maladies pourraient empêcher les plantes de s'alimenter en eau. De ce fait, ce

déficit hydrique provoque chez les plantes la mise en place d'un état de régulation grâce à une accumulation de composés osmo-régulateurs comme la proline (Sarraf et al., 2018) . L'état de Côte d'Ivoire estime entre 15 et 17 millions de tonnes la production annuelle de déchets agricoles (Programme Global Business Network, 2020).

Au niveau de la filière de l'anacardier, la culture s'effectue dans 19 régions de la Côte d'Ivoire (ARECA, 2016) dont celle du Gontougo, dans le Nord-Est.

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre qui produit à maturité comme fruit, des noix. Ces dernières, en forme de rein sont enfoncées dans des pédoncules hypertrophiés, charnus et juteux appelés pommes de cajou ou d'anacarde (Michodjehoun-Mestres, 2009).

Relativement au département de Tanda situé dans le Gontougo, l'anacarde est la principale culture de la zone. Les noix de cajou produites sont estimées à plus de 20 000 tonnes (MINADER, 2020). Celles-ci sont commercialisées. Quant aux coques, elles sont valorisées en énergie (Guillaume et al., 2019) dans la zone et dans de nombreux pays tels que le Bénin et le Burkina-Faso (Godjo, 2015). Pour ce qui est des pommes de cajou, selon la littérature, leur principale voie de valorisation dans de nombreux pays demeure la transformation en jus, vinaigre et éthanol. Mais à Tanda les pommes de cajou, dont la production est estimée à 33 923,15 tonnes (MINADER, 2020), sont abandonnées dans les vergers (YEYA NEGOCE, 2020). Toutefois, l'on constate que certaines populations rurales de Tanda utilisent les pommes de cajou séchées comme des biocharbons. Une maîtrise des propriétés énergétiques desdits biocharbons par des procédés scientifiques simples comme la carbonisation constitue une alternative de grand intérêt (Cluet et Penot, 2011). Ainsi, cette valorisation des pommes de cajou dans la région de Tanda où la majorité des ménages en milieu rural disposent de parcelles d'anacarde couvrirait les besoins énergétiques desdits ménages. Par ailleurs, cela protégerait le couvert forestier. En effet, lesdites populations utilisent principalement le bois comme source d'énergie car ne disposant pas toujours de ressources financières pour s'approvisionner en gaz butane. Cette utilisation massive du bois entraînerait la déforestation (Dusabe, 2014).

Au regard de cette situation, la présente étude vise à évaluer le potentiel énergétique des pommes de cajou du département de Tanda comme alternative partielle ou totale au charbon de bois. Plus spécifiquement, il s'agit de (i) transformer les pommes de cajou carbonisés et non carbonisés en combustibles, (ii) déterminer les paramètres calorifiques desdits combustibles (quantité de chaleur dégagée, durée de combustion, temps d'ébullition, dégagement de fumée, masse de suie après combustion et taux de cendre).

Matériel et méthodes

2.1 Matériel

2.1.1 Zone d'étude

L'étude s'est déroulée dans le département de Tanda (région du Gontougo) qui s'étend sur 1625 km². Ce département est situé dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire. Il est délimité au Nord par celui de Bondoukou, au Sud par ceux de Koun-Fao et Transua, à l'Ouest par les départements de Sandégué et Koun-Fao et à l'Est par celui de Transua (Figure 1).

Concernant la population du département de Tanda, elle est estimée à 77 555 habitants selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014 (Institut National de la Statistique, 2016).

Dans le département de Tanda, les plaines constituent la majeure partie du relief avec des plaines littorales (0 à 100 m) qu'on rencontre le long des affluents de la Comoé (MINADER, 2020).

Pour ce qui est de la végétation, elle est composée de recrus forestières, de parcelles de reboisements de teck, d'autres essences forestières ainsi que de grandes bandes de jachères et de végétations savaniques (MINADER, 2020). Selon cette même source, les types de sols rencontrés dans le département de Tanda sont :

les sols ferrallitiques faiblement désaturés qui sont les plus fertiles ;

les sols ferrallitiques moyennement ou fortement saturés, meubles, bien drainés et conviennent aux plantes à tubercule ;

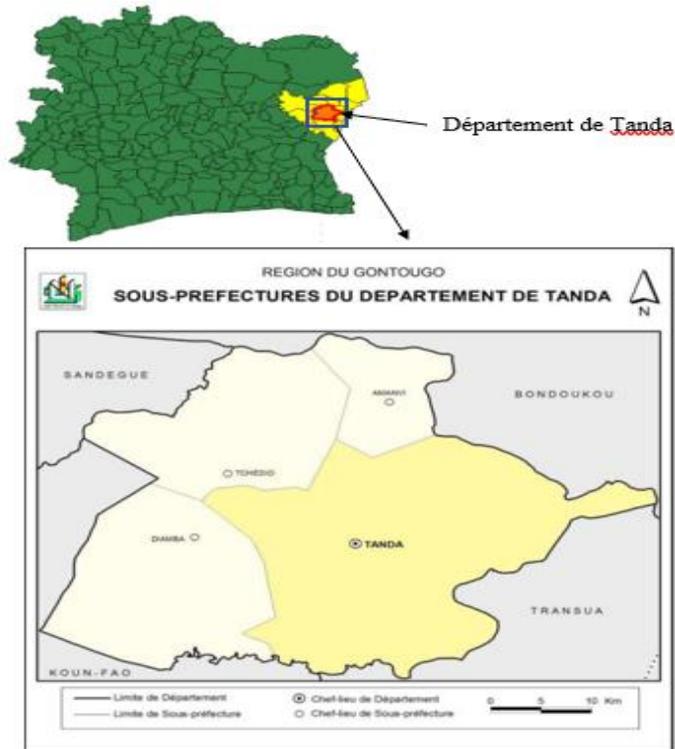
les sols de bas-fond, en général très sableux et favorable à la riziculture ;

les sols gravillonnaires de plateau propices aux cultures vivrières.

Le réseau hydrographique est constitué de marigots et de cours d'eau (la Bimbé, le Maléfi et la Béréne) permanents (MINADER, 2020). Le régime climatique est de type tropical humide avec deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches (MINADER, 2020).

Les cultures pratiquées en majorité dans le département sont les cultures de rente (anacarde, café, cacao, hévéa, etc.), les cultures vivrières et maraichères (manioc, igname, gombo, aubergine, tomate, **Figure 1.**

Présentation de la zone d'étude



2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de pommes fraîches, de pommes fermentées séchées naturellement (Figure 2) et de sciure de bois. Pour la pomme fraîche, elle est séchée au soleil durant l'étude pour donner des pommes sèches à 8% d'humidité. Ces pommes sèches sont soit carbonisées, soit utilisées comme telles pour servir de combustible. Quant aux pommes fermentées et séchées naturellement, elles sont également caractérisées comme combustibles. Mais avant, une quantité sera carbonisée et une autre ne le sera pas.

S'agissant de la sciure de bois, elle est carbonisée et mélangée à différentes proportions avec la pomme de cajou carbonisée. Ce mélange permet d'obtenir des briquettes contenant respectivement 0%, 20%, 30% et 40% de sciure de bois carbonisée. Ces briquettes sont également caractérisées.



Figure 2 : échantillons de pommes de cajou fraîches (A), fermentées et séchées naturellement (B)

Matériel technique

Le matériel technique nécessaire à la réalisation de cette étude est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1.Liste du matériel technique utilisé pour l'étude

Désignation	Utilisation
Balance électronique 10 kg (Haper)	Mesure de la masse des pommes de cajou fraîche collectée dans les vergers.
Balance numérique 200 kg (Iscal)	Mesure de la masse des échantillons de combustibles et autres matériaux ou matériel d'expérimentation
Thermomètre industriel numérique (Unit)	Mesure de la température de la sciure carbonisée et celle de pomme de cajou en fermentation
Moulin à grain manuel (fabrication locale)	Broyage de la pomme de cajou séchée
Brûleur à charbon électronique (chichia)	Facilitation de l'allumage des combustibles
Casserole en aluminium de 2 litres (Ivoiral)	Réalisation de l'expérience de détermination de la quantité de chaleur dégagée par les combustibles
Fût métallique de 10 litres	Carbonisation des pommes de cajou et la sciure de bois

2.2. Méthode

Collecte des échantillons de pommes de cajou

20 kg de pommes de cajou fraîches et 3 kg de pommes fermentées séchées naturellement ont été prélevés dans 04 vergers choisis de façon aléatoire.

Les pommes de cajou fraîches collectées ont été séchées au soleil jusqu'à l'obtention de pommes sèches. Celles-ci sont directement caractérisées ou carbonisées avant caractérisation.

2.2.2 Carbonisation des pommes de cajou

Un échantillon de pommes de cajou fermentées et séchées naturellement et un échantillon de pommes de cajou séchées pendant l'étude ont été carbonisés jusqu'à 205 °C, dans un fût métallique de 10 litres.

Les combustibles de chauffage (Cc) combinés pour la confection des briquettes sont les pommes de cajou carbonisées et la sciure de bois carbonisée. La sciure de bois a été carbonisée dans les mêmes conditions que les pommes de cajou. Une fois carbonisés, les combustibles de chauffage (Cc) ont été broyés dans un moulin à grain manuel séparément.

Les poudres de sciure de bois et de pomme de cajou obtenues ont été mélangées pour obtenir différentes formulations. Au total, quatre formulations de briquettes ont été obtenues (Figure 3). Briquette BPC100 avec 100 % de pomme de cajou, briquette BPC80 avec 80% de pomme de cajou et 20% de sciure de bois, briquette BPC70 avec 70% de pomme de cajou et 30% de sciure de bois et enfin la briquette BPC60 avec 60% de pomme de cajou et 40% de sciure de bois. Le liant utilisé est l'empois d'amidon de manioc (Ea) dans un rapport Ea/Cc égale à 0,87 (Ouattara et al., 2020).

Confection des briquettes

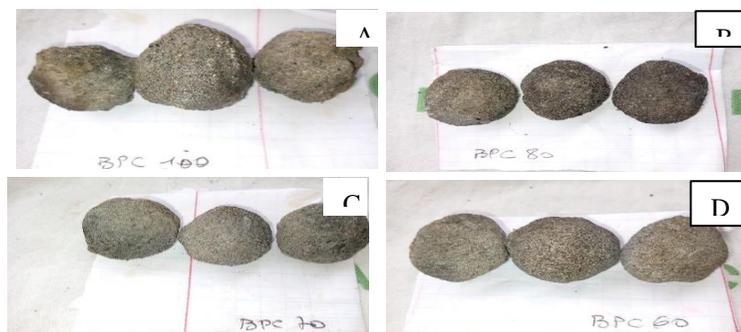


Figure 3. Différents types de briquettes BPC100 (A), BPC80 (B), BPC 70 (C) et BPC 60 (D)

2.2.4 Prélèvement des échantillons de combustibles de pomme de cajou

Les pommes de cajou séchées ont été scindées en quatre lots pour constituer les combustibles à caractériser (Tableau 2).

Tableau 2. Différents échantillons de pommes de cajou caractérisés

Désignation	Codification	Quantité (kg)
Pomme de cajou séchée non carbonisée	PCSNC	0,3
Pomme de cajou fermentée séchée non carbonisée	PFSNC	0,3
Pomme de cajou séchée carbonisée	PCSC	0,3
Pomme de cajou fermentée séchée et carbonisée	PFSC	0,3

Méthode de caractérisation des combustibles

Les briquettes confectionnées et les pommes séchées ont fait l'objet de caractérisation. Comme témoin, un échantillon de charbon de bois, acheté sur le marché local, est également caractérisé pour apprécier la qualité des biocharbons et briquettes confectionnées. La quantité de chaleur, la durée de combustion, le temps d'ébullition, le dégagement de fumée, le dépôt de suie après combustion et le taux de cendre ont été mesurés.

$$T_{eb}(\text{min}) = T_{deb} - T_p \quad \text{Équation 3}$$

Avec :

T_{eb} : temps 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.

2.2.5.4. Dégagement de fumée

La fumée dégagée lors de la combustion de chaque combustible a été appréciée durant les expérimentations. De façon arbitraire, un barème d'appréciation de cette fumée a été mis en place (tableau 3).

Tableau 3. Niveau d'appréciation de la fumée dégagée par la combustion

Observation	Appréciation
Trop de fumée	9
Fumée	6
Peu de fumée	3
Pas de fumée	0

2.2.5.5. Dépôt de suie après combustion

Après l'ébullition de l'eau, il arrive que le combustible laisse un dépôt noir goudronneux sur l'ustensile. La masse de dépôt (M_d) a été déterminée à partir de la différence entre la masse de l'ustensile après expérimentation (M_{cex}) et la masse initiale de l'ustensile (M_{ci}) (équation 4).

$$M_d = M_{cex} - M_{ci} \quad \text{Équation 4}$$

Avec

M_d = Masse de dépôt ; M_{cex} = Masse de la casserole après expérimentation ;
 M_{ci} = Masse initiale de la casserole

2.2.5.6. Taux de cendre

Le taux de cendre est calculé après avoir consommé une masse de 80 g de chaque combustible jusqu'à l'obtention de la cendre. La cendre obtenue a été pesée à l'aide d'une balance électronique de marque Haper. Le taux de cendre a été calculé ensuite selon l'équation 5.

$$\text{Taux de cendre}(\%) = \frac{\text{masse de cendre}}{\text{masse des briquettes (ou du charbon)}} \quad \text{Équation 5}$$

Résultats

La quantité de chaleur dégagée par les différents combustibles est illustrée sur la figure 4. Dans l'ensemble, tous les combustibles dégagent une quantité de chaleur supérieure à 850 kJ. La valeur maximale (1122,27 kJ) est enregistrée par le charbon de bois témoin. Il est suivi de la pomme de cajou fermentée non carbonisée (PCFNC), puis de la pomme de cajou séchée non carbonisée (PCSNC), puis encore de la pomme de cajou fermentée séchée et carbonisée (PCFSC), et enfin de la pomme de cajou séchée et carbonisée (PCSC), avec respectivement les valeurs de 963,27 kJ ; 943,12 kJ ; 918,27 kJ et 915,72 kJ. Tandis que la valeur minimale (853,1 kJ) est obtenue par la briquelette comportant 100% de pommes carbonisées (BPC100). Les autres valeurs sont de 855,56 kJ pour les briquelettes comportant 80% de pommes carbonisées (BPC80), 883,16 kJ pour les briquelettes comportant 70% de pommes carbonisées (BPC70) et 890,51 kJ pour les briquelettes comportant 60% de pommes carbonisées (BPC60).

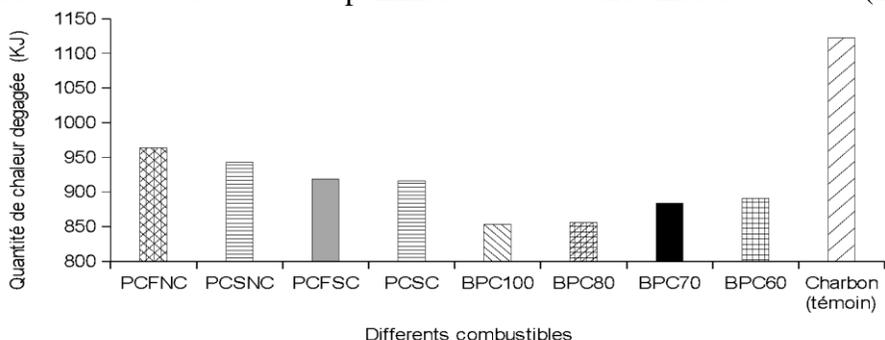


Figure 4. Quantité de chaleur dégagée par les différents combustibles. PCFNC= pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquelette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquelette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquelette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquelette comportant 60% de pommes carbonisées. **Durée de combustion** La durée de combustion des échantillons de biocharbons et de charbon de bois témoin est présentée par la figure 5. On remarque que la pomme de cajou séchée non carbonisée (PCSNC) se consomme le plus.

Quantité de chaleur dégagée

2.2.5.1 Quantité de chaleur

Pour déterminer la quantité de chaleur, une casserole en aluminium de masse (m1), contenant une masse d'eau (m2), a été portée à ébullition sur une durée donnée (Δt), grâce à un bruleur de charbon (de quantité de chaleur "Qb" connue) et des différents combustibles. A partir du bilan énergétique, (équation 1), la quantité de chaleur de chaque combustible a été calculée.

$$Q_c = (m_1 * C_1 + m_2 * C_2) * (T_f - T_i) + Q_b$$

Équation 1

Avec :

m_1 =masse de la casserole en aluminium en kg ; C_1 =chaleur massique de l'aluminium qui est égale 900J/(kg.K) ; m_2 = masse de l'eau en kg ; C_2 = chaleur massique de l'eau qui est égale 4186 J/(kg.K) ; Q_b = quantité de chaleur du bruleur de charbon qui est égale à 1000watts ; T_f = Température finale de l'eau; T_i =Température initiale de l'eau; Q_c = quantité de chaleur en joule.

2.2.5.2. Détermination de la durée de combustion des combustibles

L'essai sur la durée de combustion (DC) consiste à déterminer le temps de combustion totale d'un combustible, depuis l'allumage jusqu'à l'obtention de la cendre (Ouattara et al., 2020). Pour ce test, 80 g de combustibles sont introduits dans un bruleur de charbon préalablement chauffé pendant 5 minutes. Ensuite les temps de début et de fin de combustion sont relevés afin de déterminer la durée de combustion selon l'équation 2.

$$DC = T_f - T_i \qquad \text{Équation 2}$$

Avec :

DC : 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.

2.2.5.3. Temps d'ébullition

Le temps d'ébullition de l'eau correspond au temps que met l'eau pour bouillir (équation 3). vite (41,26 min). En revanche, toutes les briquettes et le charbon de bois témoin mettent plus de temps à se consumer. Cette durée de combustion (60 min) est sensiblement identique pour ces combustibles. Quant aux pommes de cajou fermentées non carbonisées (PCFNC), pommes de cajou fermentées séchées carbonisées (PCFSC) et pommes de cajou séchées et carbonisées (PCSC), la durée de combustion oscille entre 45 et 50 min.

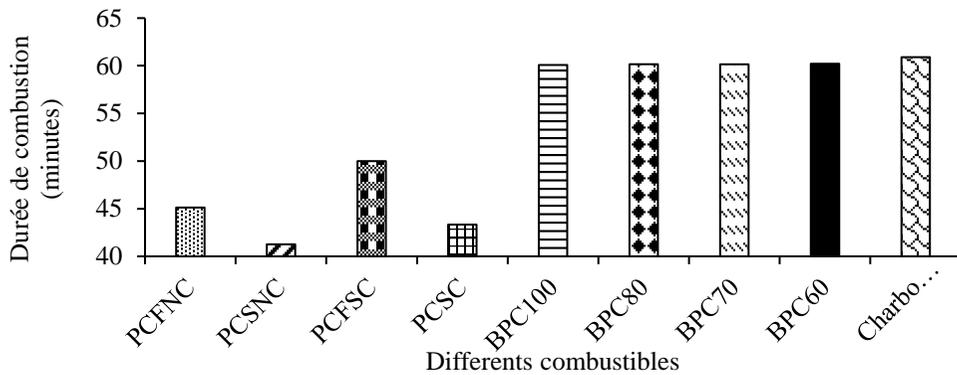


Figure 5. Durée de combustion des différents combustibles

PCFNC= pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquette comportant 60% de pommes carbonisées

Temps d'ébullition

Le temps que l'eau met pour bouillir en fonction des différents combustibles est montré sur la figure 6. Le temps le plus court (10,98 minutes) d'ébullition de l'eau est enregistré par la briquette comportant 100% de pommes carbonisées (BPC100). Par contre, le temps le plus long (15,45 minutes) est observé avec le charbon de bois. Les temps d'ébullition de l'eau des autres combustibles sont des valeurs intermédiaires entre celles minimale et maximale précitées.

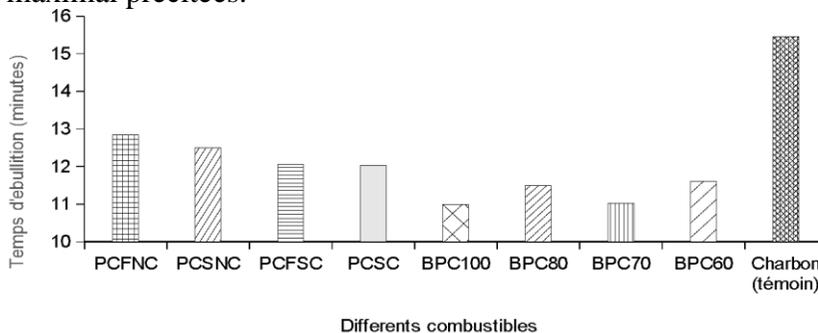


Figure 6. Temps mis par l'eau pour bouillir en fonction des différents combustibles

PCFNC= pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée

séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquette comportant 60% de pommes carbonisées.

Dégagement de fumée

La fumée dégagée par les combustibles est illustrée par la figure 7. Par ailleurs, les niveaux d'appréciation du dégagement de cette fumée sont présentés par la figure 8. Les pommes de cajou séchées non carbonisées (PCSNC) et les pommes de cajou fermentées non carbonisées (PCFNC) dégagent beaucoup de fumées (figure 7A). Le niveau d'appréciation du dégagement de la fumée de ces combustibles est de 9. Les pommes de cajou séchées et carbonisées (PCSC), les pommes de cajou fermentées séchées carbonisées (PCFSC), les briquettes comportant 100% de pommes carbonisées et les briquettes comportant 80% de pommes carbonisées (BPC80) dégagent également de la fumée dont le niveau d'appréciation est de 6 (figure 7B). Les briquettes comportant 70% de pommes carbonisées (BPC70) et les briquettes comportant 60% de pommes carbonisées (BPC60) dégagent moins de fumée que les précédents (figure 7C). Le niveau d'appréciation de dégagement de fumée de ces derniers est de 3. Le charbon de bois témoin est le combustible qui ne dégage pas de fumée pendant sa combustion ; d'où le niveau d'appréciation du dégagement de fumée évalué à 0.

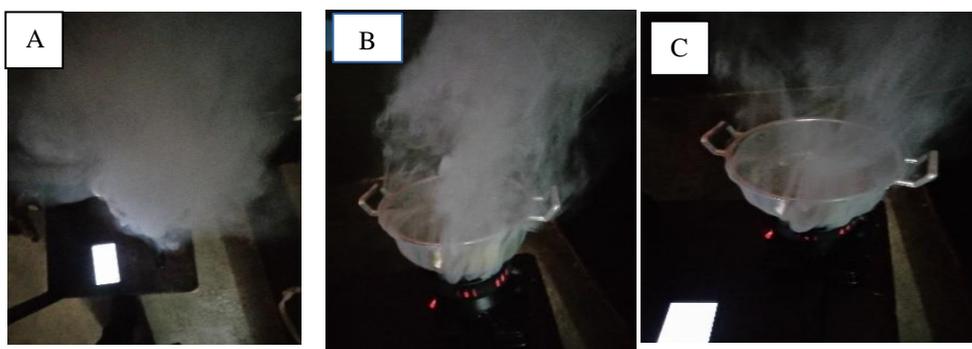


Figure 7. Dégagement de la fumée et niveaux d'appréciation du dégagement (A= 9, B=6, C=3)

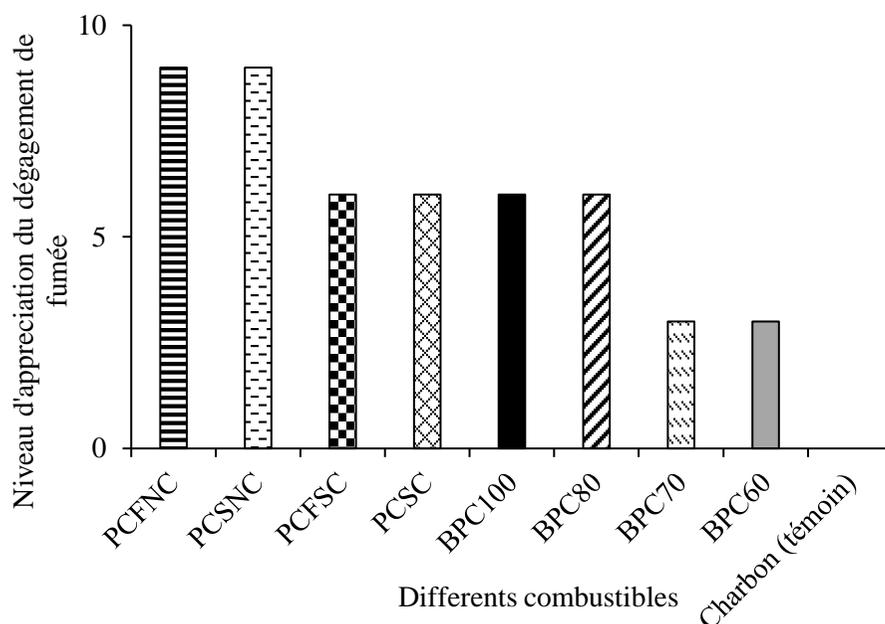


Figure 8. Niveau d'appréciation de dégagement de la fumée en fonction des différents combustibles

PCFNC= pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquette comportant 60% de pommes carbonisées

Dépôt de suie après combustion

Les différentes masses de suie en fonction des combustibles sont indiquées sur la figure 9. La masse de suie déposée sur l'ustensile après la combustion varie de 0 à 3,7 g. La plus grande masse de suie est enregistrée au niveau de la pomme de cajou séchée non carbonisée (PCSNC), suivi de la pomme de cajou fermentée non carbonisée (PCFNC). Les valeurs notées sont respectivement de 3,7g et 3,33 g. La faible masse est observée au niveau du charbon de bois.

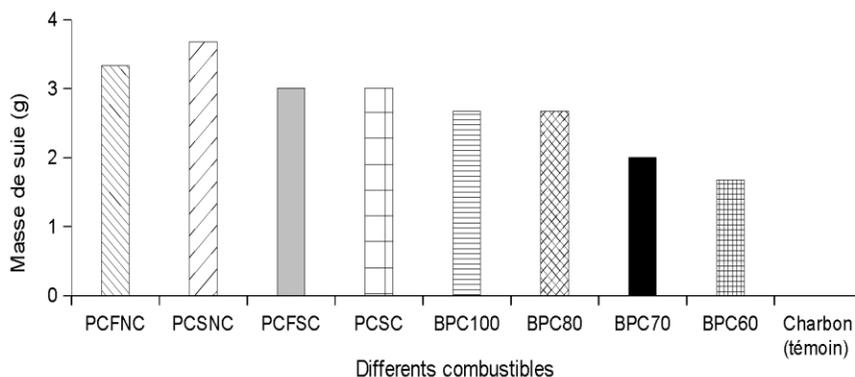


Figure 9. Masse de suie en fonction des différents combustibles.

PCFNC=pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquette comportant 60% de pommes carbonisées

Taux de cendre

La figure 10 fait état du taux de cendre calculé pour les différents combustibles. Le taux de cendre minimal (10%) est enregistré par la briquette comportant 60% de pommes carbonisées (BPC60). Tandis que le taux de cendre maximal (20%) est obtenu par la briquette comportant 100% de pommes carbonisées (BPC100). Il s'en suit la pomme de cajou fermentée non carbonisée (PCFNC) et de la briquette comportant 80% de pommes carbonisées (BPC80) qui en dégage respectivement 16,25% et 15,83%. La briquette comportant 70% de pommes carbonisées (BPC70) donne 10,42% de cendre. Quant au charbon de bois témoin, il dégage 12,5% de cendre après la combustion.

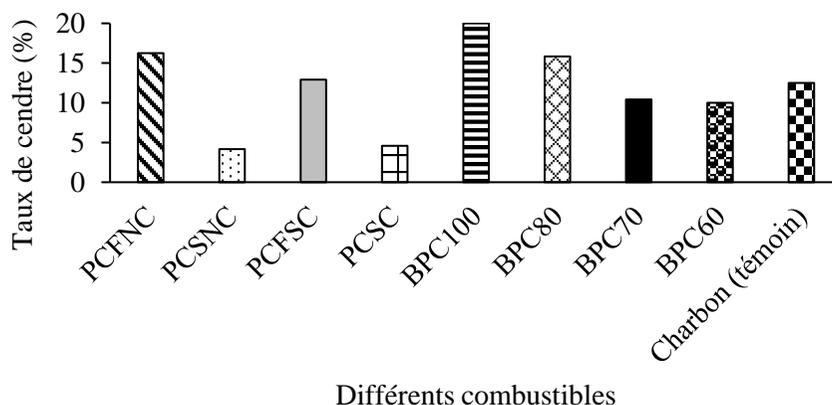


Figure 10 : Taux de cendre enregistré pour chaque combustible.

PCFNC= pomme de cajou fermentée non carbonisée, PCSNC= Pomme de cajou séchée non carbonisée, PCFSC= pomme de cajou fermentée séchée carbonisée, PCSC= pomme de cajou séchée et carbonisée, BPC100= briquette comportant 100% de pommes carbonisées, BPC80= briquette comportant 80% de pommes carbonisées, BPC70= briquette comportant 70% de pommes carbonisées, BPC60= briquette comportant 60% de pommes carbonisées.

Discussion

L'objectif de produire des biocharbons pour substituer le charbon de bois afin d'approvisionner les zones rurales en énergie et de préserver la forêt a conduit à procéder à l'étude de cas concrets pour certaines localités. Ainsi, la présente étude a pris le cas de la région de Tanda. L'étude a donc mis en regard la valorisation énergétique de déchets agricoles comme les pommes de cajou. Celles-ci ont subi ou non une carbonisation pour donner des biocharbons. Par ailleurs, les pommes de cajou carbonisées ont été mélangées à différentes proportions à la sciure de bois pour former des briquettes. Ces différents combustibles ont été caractérisés.

S'agissant de la carbonisation, elle s'est déroulée dans des conditions artisanales avec les pommes fraîches séchées et les pommes fermentées séchées. La température (205°C) atteinte lors de cette carbonisation est dans la plage 100-250°C correspondant aux phases de séchage et de déshydratation notables dans la carbonisation du bois (Khelfa, 2009; Collard et Blin, 2014). Ainsi, lors de ladite phase de séchage (jusqu'à 100°C), l'eau contenue dans les pommes de cajou se vaporiserait sous l'effet de la chaleur. Cette perte d'eau libèrerait des gaz combustibles H₂, CO et CH₄. Dans la phase de déshydratation (100-250°C), il y aurait la décomposition des hémicelluloses

et celluloses amorphes. Cela produirait la formation de certains produits tels que l'acide acétique, le méthanol, l'acide formique.

Concernant la caractérisation des biocharbons et des briquettes, elle était basée essentiellement sur la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion, la durée de la combustion, le temps d'ébullition, le dégagement de la fumée, la masse de suie après combustion et le taux de cendres. Il ressort des résultats que les quantités de chaleur dégagées suggèreraient des réactions exothermiques de tous les combustibles avec l'oxygène (Augou et al., 2009). Ces combustibles se seraient donc consumés par conversion thermochimique (Zellagui, 2016). Pour la quantité de chaleur, il s'en vient que le charbon de bois enregistre la plus forte valeur (1122,27 kJ). Ce résultat s'expliquerait par une oxydation accélérée du carbone et l'hydrogène provenant du charbon (Gagné, 2007). En effet, toute oxydation, c'est à dire l'activité de l'oxygène sur le carbone et l'hydrogène dégage de la chaleur. Cependant, une accélération de cette oxydation dégage encore plus de chaleur. Ce qui signifierait selon la même source que le charbon de bois a chauffé à une température suffisante pour que l'oxydation soit si rapide qu'elle se communique spontanément à tout le reste du charbon de bois. Par ailleurs, les quantités de chaleurs considérables (supérieurs à 850 kJ) dégagées par les autres combustibles résulteraient d'un bon ratio oxygène/combustible, d'un bon mélange de l'air et du combustible et enfin d'une bonne température d'ignition (Gagné, 2007). Entre les briquettes confectionnées, il est noté une augmentation de la quantité de chaleur lorsque la proportion de sciure de bois carbonisée augmente et que celle de la pomme de cajou carbonisée diminue dans la briquette. Ce résultat serait dû au taux de carbone de la sciure de bois (Dusabe, 2014 ; Mari, 2014). En effet, l'apport de plus de sciure de bois entraîne aussi une augmentation du taux de carbone. Cela rendra meilleure la combustion car plus de carbone réagira avec l'oxygène. D'où un dégagement de plus en plus élevé de chaleur lorsque la proportion de sciure de bois augmente dans les briquettes. La quantité de chaleur (853,10 kJ) dégagée par la BPC100 est similaire à celle obtenue avec les briquettes en papier (Dusabe, 2014). Il est également observé que les pommes de cajou fermentées non carbonisées (PCFNC) ont dégagées la plus grande quantité de chaleur par rapport aux autres combustibles de pomme de cajou. Cela résulterait de la fermentation et la non fermentation des pommes de cajou qui auraient favorisé les réactions de combustion.

Concernant la durée de combustion, les PCSNC, PCFC et PCFNC se consomment plus vite (moins de 45 minutes) que les autres combustibles probablement dû au fait qu'ils auraient un taux élevé en matières volatiles. Ce qui fait que ces combustibles s'enflamment facilement et rapidement (Augou et al., 2009).

Pour la durée d'ébullition, le temps le plus court (10,98 minutes) enregistré par la briquette comportant 100% de pommes carbonisées (BPC100) s'expliquerait par une forte intensité du rayonnement du feu issu de ce combustible (Ouattara et al., 2020). Cette intensité va donc permettre de chauffer plus la casserole. Par ailleurs, le temps le plus long (15,45 minutes) observé avec le charbon de bois est pareil que celui notifié dans les travaux de Ouattara et al. (2020).

A l'exception du charbon de bois, la combustion des autres combustibles dégage de la fumée. Ce qui suggérerait une forte teneur en matières volatiles dans ces combustibles (Godjo et al., 2015; Ganhoun, 2020). En effet ces matières entraîneraient une combustion incomplète avec émission de particules imbrûlées. Ces particules seraient nocives pour la santé et l'environnement car constituées de monoxyde de carbone, d'acroléine d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (Zhang et al., 2020). Les symptômes causés sont par exemple l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, les maux de tête, la nausée et l'étourdissement (Rabot-Querci, 2006 ; Bølling et al, 2009; Kwas et al., 2017 ; Smith et Pillarisetti, 2017). De plus, ces particules imbrûlées pollueraient l'air (Rogaume, 2009; Organisation Mondiale de la Santé, 2018,).

Les taux de cendres des combustibles BPC100 (20%), PCFNC (16,25%) et BPC80 (15,83%) sont supérieurs à ceux des autres combustibles. Ce résultat pourrait être dû à plus de matières minérales et d'impuretés dans les combustibles BPC100, PCFNC et BPC80 (Augou et al., 2019). Les taux de cendres des différents combustibles de la présente étude sont supérieurs aux valeurs typiques de taux de cendres (5-6%) (Abo et al., 2020). Ainsi, les combustibles BPC100, PCFNC et BPC80 seraient moins denses et plus friables vraisemblablement dû à leur faible teneur en lignine (Ganhoun, 2020). Cependant, ces cendres issues des combustibles étudiés sont valorisables en agriculture à l'instar des cendres de bois. En effet, les cendres contiendraient plus ou moins des éléments fertilisants tels que le calcium et le potassium (Hébert et Breton, 2008; Kebli et al., 2017). Par ailleurs, selon la littérature. Ainsi l'utilisation des cendres neutraliserait l'acidité des sols et augmenterait le rendement des cultures. Ces taux sont également plus élevés que ceux des coques de grains de *Balanites Eagyptiaca* (6,66%) et de *Zizyphus Mauritiana* (7,33%) provenant d'un marché de fruits et légumes de Niamey (Mamane et al., 2016). Par contre ces taux sont similaires à ceux obtenus avec les charbons par le pyrolyseur Nad & Co au Bénin (Godjo, 2015).

Conclusion

La valorisation de la pomme de cajou a longtemps été orientée vers l'agroalimentaire et vers l'agriculture biologique dans la production de matières organiques agronomiques. Quant à la coque de cajou, seule sa

valorisation énergétique est bien connue et a fait l'objet de beaucoup de recherches. Mais dans cette étude, il s'est agi de montrer que la pomme de cajou pourrait être valorisée sur le plan énergétique dans la production de charbon vert ou biocharbon au bénéfice des populations, surtout celles qui se trouvent dans les zones de production de cajou. En outre, cette forme de valorisation de la pomme de cajou pourrait réduire la pression exercée par lesdites populations sur la forêt, contribuant ainsi à préserver le patrimoine forestier ivoirien. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- les pommes de cajou fermentées séchées dégagent une quantité de chaleur non négligeable ; ce qui en fait un potentiel combustible qui peut être amélioré ;
- les pommes de cajou carbonisées peuvent être utilisées pour la fabrication de briquettes ayant des potentiels énergétiques appréciables, surtout quand les carbonisats sont mélangés à la sciure de bois ;
- le test relatif à la quantité de chaleur dégagée a montré que les valeurs maximales sont de 1122,27 kJ pour le charbon de bois contre 963,27 kJ pour la pomme de cajou fermentée non carbonisée;
- au niveau de la durée de combustion, les briquettes à base de pomme de cajou ont mis pratiquement le même temps à se consumer que le charbon de bois (environ 60 minutes) ;
- pour le temps d'ébullition de l'eau, tous les combustibles à base de pomme de cajou ont présenté des résultats meilleurs au charbon de bois (moins de 13 min pour les pommes de cajou contre 15 min pour le charbon de bois témoin) ;
- les tests d'appréciation du dégagement de fumée et du dépôt de suie ont montré que tous les combustibles de pomme de cajou dégagent de la fumée et laissent une masse de suie après combustion, contrairement au charbon de bois témoin.

En comparant les différents combustibles de pomme de cajou, il apparaît que la plupart des meilleurs résultats ont été obtenus avec les briquettes comportant 60% de pommes de cajou carbonisées et 40% de sciure de bois carbonisée (BPC60) ; surtout pour ce qui concerne les tests relatifs à la durée de combustion, le dégagement de fumée, le dépôt de suie. Les briquettes comportant 70% de pommes de cajou carbonisées et 30% de sciure de bois carbonisée (BPC70) ont présenté également de bons résultats après les BPC60.

Ainsi, la valorisation énergétique de la pomme de cajou permet d'obtenir des combustibles. En améliorant certaines caractéristiques de ces

combustibles, ceux-ci pourraient substituer le charbon de bois. Dans cette optique, les perspectives suivantes peuvent être proposées :

- déterminer les propriétés physico-chimiques tel que le taux d'humidité, la densité apparente, les teneurs en matières volatiles, en carbone fixe et le pouvoir calorifique supérieur des combustibles de pomme de cajou ;
- d'étudier l'influence d'autres liants sur les combustibles de pomme de cajou.

References:

1. Abdelkader, A. S., Oumarou, S. S., Maârouhi, I. M., Ali, D. B., & Yacoubou, B. (2017). Prévalence Et Diversité De Salmonella En Afrique : Analyse Qualitative Et Quantitative. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(30), 250-270
2. Abo, E. A., Yobouet, Y. A., Kouakou, Y. U. & Trokourey, A., (2020). Optimisation de la préparation de charbons activés à base d'épis de maïs et caractérisation physico-chimique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29 (4) : 1161-1171.
3. ARECA (2006). Bilan diagnostic et perspectives de développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire. Atelier national sur la filière anacarde, Rapport général, 48 p.
4. Augou, O. S. F., Ouattara, S., Serifou, M. A., Kouakou, C. H., Djohore, A. C. & Emeruwa, E. (2019). Influence de l'amidon de manioc sur la qualité d'un biocharbon à base de sciure de bois et d'amidon de manioc. *Revue RAMReS – Sciences Appliquées de l'Ingénieur*, 1(1) : 01-05.
5. Bølling, K. A., Pagels, J., Yttri, K., Barregar, L., Sallsten, G., Schwarze, P. E., & Boman, C. (2009). Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Particle and Fibre Toxicology*, 6(1), 29-49
6. Cluet, B. & Pénot, R., (2011). Valorisation énergétique du typha. Rapport de projet de fin d'étude – Ingénieur. Université Henri Poincaré, Nancy, France. 50 p.
7. Collard, F.-X. & Blin, J. (2014). A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38: 594-608.
8. Dusabe, M. S., (2014). Étude de faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers organiques, papiers et cartons pour la fabrication des briquettes combustibles à Bujumbura, Burundi.

- Mémoire de master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut international d'ingénierie, Ouagadougou, Burkina Faso. 68 p.
9. Etsè, A., Sanonka, T., Kokou, S., Magnoudéwa, B. B., Kokou, D., Koffi, K. A., Gado, T., & Gnon, B. (2014). Étude de la disponibilité du phosphore assimilable des composts de déchets urbains dans deux sols différents. *European Scientific Journal, ESJ*, 10(6),156-167
 10. Gagné, D. (2007). Principes de combustion appliqués au chauffage au bois. Direction de santé publique, Agence de services de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue. 27 p.
 11. Ganhoun, G. (2020). Influence de l'essence de bois et de la température de carbonisation sur le rendement pondéral et la qualité du charbon de bois. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin.144 p.
 12. Godjo, T., Tagutchou, J.-P., Naquin, P. & Gourdon, R., (2015). Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin. *Déchets Sciences et Techniques*, 70 : 11-18.
 13. Guillaume, K. B., Serpokrylov, N. S., Smolyanichenko, A. S., Cheblakova, E. G., Gorina, V. A. & Yoboué, D. V. (2019). Caractéristiques physico-chimiques du charbon de pyrolyse de coques de noix d'anacarde et des charbons actifs qui en sont dérivés. *Déchets Sciences et Techniques*, 82 : 17-24.
 14. Hébert, M. & Breton, B. (2008). Recyclage agricole des cendres de bois au Québec- état de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales. *Agrosolutions*, 19(2) : 18-33
 15. Hirczàk, M. & Mollard, A. (2004). Qualité des produits agricoles et de l'environnement : le cas de Rhône-Alpes. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, 5 : 845-868.
 16. Institut National de la Statistique (2016). RGPH-2014 Résultats globaux [En ligne], Disponible sur : https://www.ins.ci/documents/rgph_ivoirien18plus.pdf, [consulté le 26 janvier 2021].
 17. Kebli, H., Maltas, A. & Sinaj, S. (2017). Potentiel agronomique des cendres issues de bois recyclé. *Recherche Agronomique Suisse*, 8 (1): 30-37
 18. Khelfa, A. (2009). Étude des étapes primaires de la dégradation thermique de la biomasse lignocellulosique. Université Paul Verlaine, Metz, France. 216 p
 19. Kouassi, A. K. E. (2018). Contribution à la valorisation des sous-produits agricoles en bioproduits. Thèse de doctorat en Sciences des Agroressources. Université de Toulouse, Toulouse, France. 169 p.

20. Kwas, H., Guermazi, E., Zendah, I., Khattab, A., & Ghédira, H. (2017). Symptômes respiratoires et exposition à la biomasse. *Revue Des Maladies Respiratoires*, 34 : A297- A298.
21. Mamane, O. S., Zanguina, A., Daou, I. & Natatou, I. (2016). Préparation et caractérisation de charbons actifs à base de coques de noyaux de *Balanites Eggyptiaca* et de *Zizyphus Mauritiana*. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 41 : 59- 67.
22. Mari, R. (2014). Torrefied and carbonized wood, fuel properties and turn of exothermic reaction. Master's Thesis, University of Helsinki, Helsinki, Finlande. 77 p.
23. Michodjehoun-Mestres, L., (2009). Étude des composés phénoliques de la pomme cajou (*Anacardium occidentale* L.). Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, Montpellier, France. 194 p.
24. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) (2020). Rapport annuel d'activités de la Direction Départementale de l'Agriculture et du Développement Rural (DDADER) de Tanda. 66 p.
25. Organisation Mondiale de la Santé (2018). Pollution de l'air et santé de l'enfant : prescrire un air sain. Résumé. Genève: WHO/CED/PHE/18.01. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.32p
26. Programme Global Business Network (2020). Partnership Ready Côte d'Ivoire : Gestion et recyclage des déchets organiques. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).8 p. [consulté le 15 mai 2021].
27. Rabot-Querci, M. L., (2006). Etude d'un dispositif de traitement des imbrûlés des appareils de chauffage indépendants au bois. Thèse de doctorat en sciences du bois, Université Henri Poincaré, Nancy, France. 246 p.
28. Rogaume, Y. (2009). La combustion du bois et de la biomasse. *Pollution Atmosphérique - numéro spécial*. 65-81
29. Sangaré, A., Koffi, E., Akamou, F. & Fall, C. A. (2009). État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national. Ministère de l'Agriculture, Côte d'Ivoire. <http://www.fao.org/pgrfa-gpa-archive/mar/maroc2.pdf>
30. Sarra, M., Chafia, Z., & Mostefa, B. (2018). Y A-T-Il Une Relation Entre Teneur En Chlorophylle Et Accumulation De La Proline Chez Les Céréales À Paille Sous Déficit Hydrique?. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(15), 234-245
31. Smith, K. R. & Pillarisetti, A. (2017). Household Air Pollution from Solid Cookfuels and Its Effects on Health. In: *Injury Prevention and Environmental Health*. 3rd ed. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington (DC); PMID: 30212117.

32. Toundou, O., Tozo, K., Amouzouvi, K. A. A., Kolani, L., Tchangbedji, G., Kili, K., & Gnon, B. (2014). Effets de la biomasse et du compost de *cassia occidentalis* l. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (*zea mays* l.) et la teneur en npk d'un sol dégradé en station expérimentale. *European Scientific Journal, ESJ*, 10(3),294-308
33. YEYA NEGOCE (2020). Étude sur la diversification du cacao et de la noix de cajou, Rapport final,
34. https://www.kakaoforum.de/fileadmin/Redaktion/Studien/Rapport_final_reviser_sur_la_diversification_cacao-anacarde_28_01_2021.pdf [consulté le 28 janvier 2021]
35. Zellagui, S. (2016). Pyrolyse et combustion de solides pulvérisés sous forts gradients thermiques : Caractérisation de la dévolatilisation, des matières particulaires générées et modélisation. Thèse de doctorat en Génie des procédés. Université de Haute Alsace, Alsace, France. 215 p.
36. Zhang, L., Yang, L., Zhou, Q., Zhang, X., Xing, W., Wei, Y., Hu, M., Zhao, L., Toriba, A., Hayakawa, K. & Tang, N. (2020). Size distribution of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in fresh combustion smoke and ambient air: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 88 : 370-384