

Age optimal des peuplements d'*Acacia auriculaeformis* et *Acacia mangium* pour la production de charbons actifs

[Optimal age of *Acacia auriculaeformis* and *mangium* stands for the production of activated carbons]

N. A. Kouadio¹, B. Coulibaly¹, K. A. N'Guessan¹, S. Traoré¹, D.O. Kra², G. P. Atheba², and A. Trokourey²

¹Laboratoire de Bioénergie, Centre National de Recherche Agronomie (CNRA)-Abidjan,
08 BP 881 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Chimie Physique, Université Felix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Four lots of chars have been produced from woods of *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*, 8-9 and 23-24 years old. The aim of this study is to determine the optimal age of the woods in order to obtain high quality activated carbon. From the comparative analysis of physico-chemical properties of the chars, it has been found that the relative densities increase from 8-9 years old trees to 23-24 years old trees (0.39 to 0.43 for *A. auriculaeformis* and 0.31 to 0.38 for *A. mangium*). The ashes rate decreases with the increasing of the age of wood: from 1.075 to 0.990% for *A. auriculaeformis*, from 1.025 to 0.925% for *A. mangium*. Otherwise, the rate of volatiles of the chars don't practically change whatever the age and the species (from 23.24 to 23.66% for *A. auriculaeformis* and from 24.40 to 24.92% for *A. mangium*). The same tendency is observed with the rate of fixed carbon: from 74.69% and 73.58% for 8-9 years old woods, they are, respectively 74.35% and 73.16%. We can conclude that technical, economic and environmental point of view the activation of chars produced from 8-9 years old woods can be recommended.

KEYWORDS: *Acacia auriculaeformis*, *Acacia mangium*, ash rate, rate of volatiles, rate of fixed carbon, relative density.

RESUME: Quatre lots de charbons de bois produits, à partir des peuplements d'*Acacia auriculaeformis* et d'*Acacia mangium* de deux classes d'âge (8-9 ans et 23-24 ans), ont été étudiés. L'objet de l'étude est de déterminer l'âge optimal du bois de ces deux espèces, en vue de produire du charbon actif de qualité. Les résultats de l'analyse comparée des propriétés physico-chimiques des charbons de bois, montrent que la densité relative apparente augmente de la classe d'âge de 8-9 ans à celle de 23-24 ans (0,39 à 0,43 pour *A. auriculaeformis* et 0,31 à 0,38 pour *A. mangium*) ; la tendance est inversée quand on considère le taux de cendres : de 1,075 à 0,990% pour *A. auriculaeformis* et de 1,025 à 0,925% pour *A. mangium*. Le taux de matières volatiles varie peu, passant de 23,24 à 23,66% pour *A. auriculaeformis* et de 24,40 à 24,92% pour *A. mangium*. La même tendance est observée pour les taux de carbone fixe, qui de 74,69% et 73,58% pour les bois de la classe d'âge de 8-9 ans, deviennent, quand on considère la classe de 23-24 ans, respectivement 74,35% et 73,16%, pour *A. auriculaeformis* et pour *A. mangium*. L'étude permet de conclure qu'aux plans technique, économique et environnemental, les bois d'*Acacia* de la classe d'âge de 8-9 ans peuvent être conseillés pour la production de charbons actifs.

MOTS-CLEFS: *Acacia auriculaeformis*, *Acacia mangium*, taux de cendre, taux de matières volatiles, taux de carbone fixe, densité relative.

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de ses activités de recherche, le Laboratoire de Bioénergie du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Côte d'Ivoire mène depuis quelques années, des études sur la valorisation énergétique, par la carbonisation, des bois des espèces ligneuses à croissance rapide, en particulier les acacias australiens. Les bois d'*Acacia auriculaeformis* et *Acacia mangium* retenus pour l'étude donnent de bons combustibles, utilisables en bois de feu et en charbons de bonne de qualité [1,2].

Les deux espèces sont deux Légumineuses arborescentes d'origine australienne qui appartiennent à la famille des *Mimosaceae*. Cette famille renferme 45 espèces réparties en 21 genres dont 6 d'origine africaine [3]. Elles ont été introduites (comme dans plusieurs autres pays tropicaux) depuis 1980 en Côte d'Ivoire pour la lutte contre la dégradation de l'environnement agricole et forestier, en vue de la régénération des jachères dégradées, de l'amélioration de la fertilité des sols agricoles et de la production de bois énergie et de service [4, 5, 6].

En vue de donner une autre valeur ajoutée au charbon de bois de ces deux Légumineuses arborescentes, une voie différente de l'énergétique est explorée : l'activation des charbons produits.

En raison de la relative faiblesse de leur coût d'utilisation et de leur disponibilité, les produits et sous-produits ligno-cellulosiques servent de précurseurs dans plusieurs études relatives à la préparation de charbon actif. Entre autres études, on peut citer celles conduites par DANISH M. et al. [7] avec le bois d'*Acacia mangium*, par KIFUANI M. K. et al. [8] en utilisant la bagasse de canne à sucre, par BALAID K. D. et KACHA I. [9] avec la sciure de bois, par ATHEBA P. et al. [10] avec comme précurseurs les coques de noix de coco et celles menées par OUATTARA P. H. K. et al., sur les coques d'arachide et de soja [11].

La présente étude vise à identifier pour chaque espèce d'*Acacia*, l'âge optimal du bois pour la fabrication du charbon actif. Pour ce faire, des analyses de densités, de taux de cendres, de taux de matières grasses et de taux de carbone fixe seront effectuées sur les charbons produits à partir des bois d'*Acacia auriculaeformis* et *Acacia mangium*.

2 MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

Deux types de matériels ont été utilisés dans ce travail : le matériel biologique et les équipements de terrain et de laboratoire.

2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE D'ÉTUDE

Le bois d'*Acacia mangium* est dur et son grain est fin. Sa densité (0,60 à 0,75) est supérieure à celle des autres espèces des plantations artificielles. Il peut être utilisé pour fabriquer, entre autres, des panneaux et du contre-plaqué. C'est un bon combustible et le charbon est de bonne qualité [1].

Le bois d'*Acacia auriculaeformis* est de cœur brun clair, dur, mi-lourd avec une densité variant entre 0,6 et 0,8 et durable. Il est apprécié en ébénisterie, comme bois d'œuvre. Il est un bon combustible (bois de feu, charbon) et il convient à la fabrication de la pâte à papier [2].

Les échantillons utilisés dans l'étude ont été prélevés dans des peuplements d'*Acacia mangium* et *Acacia auriculaeformis* âgés de 8 à 9 ans et de 23 à 24 ans, installés sur le site de recherche forestière du CNRA d'Anguédédou, situé en banlieue Nord d'Abidjan. Pour chaque espèce, des billons sont constitués par rapport aux deux classes d'âge.

2.2 MATÉRIEL TECHNIQUE D'ÉTUDE

Une tronçonneuse de marque STIHL 70 a été utilisée pour abattre les arbres et débiter les billons. Deux balances (SARTORIUS de précision 1/1000 et METTLER P10 de précision 1/10) et un pèse-personne ont servi pour les différentes pesées. Un four-cornue de laboratoire équipé de thermocouples et alimenté au gaz butane a été utilisé pour la carbonisation. Les autres principaux équipements de laboratoire utilisés sont : une étuve MEMMERT pour le séchage des échantillons de bois et de charbon, des dessiccateurs pour le refroidissement des charbons, une broyeuse électrique BIOBLOCK SCIENTIFIQUE pour réduire les morceaux de charbon en poudre, un four à moufle de marque CARBOLITE FURNACES utilisé pour le traitement thermique de la poudre et une chambre froide destinée à la stabilisation des échantillons de charbon.

2.3 MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

2.3.1 CARBONISATION DES BOIS D'ACACIAS

Les rondins de bois obtenus du découpage des arbres sont exposés à l'air libre, pour le séchage au soleil pendant trois mois. Cette préparation a pour but d'utiliser le vent et le soleil pour éliminer l'eau libre du bois afin d'obtenir un taux d'humidité de l'ordre de 20 à 25 %. Les rondins sont, ensuite, débités en morceaux de forme grossièrement parallélépipédique de 10 à 15 cm de longueur, de 8 à 11 cm de largeur et de 5 à 8 cm d'épaisseur (**Figure 1**). Ces morceaux de bois sont pesés, puis enfournés et carbonisés à l'aide du four-cornue, chauffé par un foyer externe alimenté au gaz butane. Le temps moyen de carbonisation est de 6h30 pour l'*Acacia mangium* et de 8h pour l'*Acacia auriculaeformis*. Dans les deux cas, le palier a été atteint entre 3h et 3h30. Le défournement est effectué plus de douze heures après la fin de la carbonisation. Ce délai est nécessaire pour le refroidissement total du charbon (**Figure 2**) et du réacteur.



Figure 1 : Tranches de bois d'Acacia



Figure 2: Echantillons de charbons

2.3.2 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES CHARBONS DE BOIS D'ACACIA

La détermination des caractéristiques physico-chimiques (taux de cendres, taux d'humidité, taux de matières volatiles et taux de carbone fixe des charbons) est faite selon le protocole normalisé NFB 55-101 (Norme Française de spécification des charbons de bois à usage domestique). La densité relative apparente est évaluée selon le protocole mis au point par l'ex-CTFT (Centre Technique Forestier Tropical).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS DE LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUES DES CHARBONS DE BOIS D'ACACIA

Les résultats de la caractérisation physico-chimique sont représentés dans les figures 3, 4, 5 et 6.

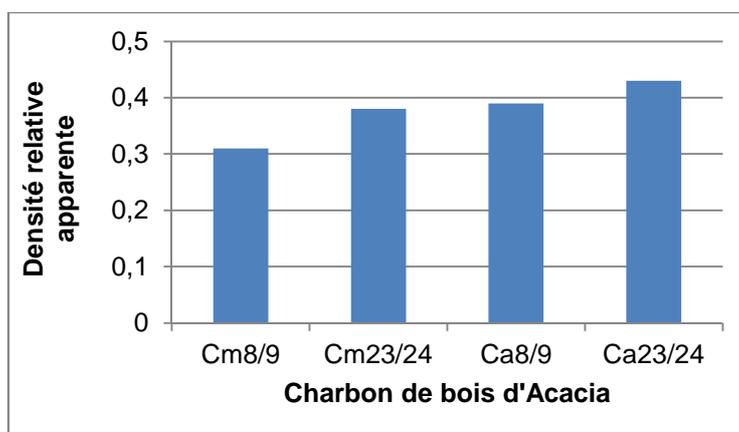


Figure 3 : Densité relative apparente de charbons d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculaeformis* de 8 à 9 ans et 23 à 24 ans

Avec : Cm_{8/9}, charbon de bois d'*Acacia mangium* (âge : 8 à 9 ans)
 Cm_{23/24}, charbon de bois d'*Acacia mangium* (âge : 23 à 24 ans)
 Ca_{8/9}, charbon de bois d'*Acacia auriculaeformis* (âge : 8 à 9 ans)
 Ca_{23/24}, charbon de bois d'*Acacia auriculaeformis* (âge : 23 à 24 ans)

La densité relative apparente est calculée à l'aide de la formule : $d = \frac{M_{vc}}{M_{v0}}$

avec :

M_{vc} : la masse volumique du charbon (g/L) ;

M_{v0} : la masse volumique de l'eau = 1g/L.

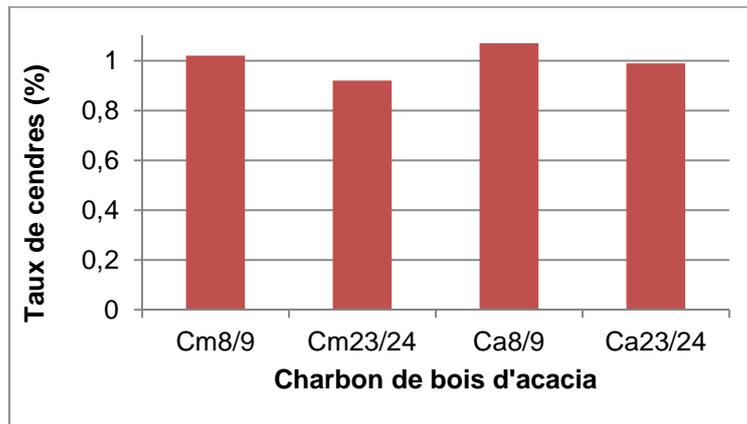


Figure 4: Taux de cendres des charbons de bois d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculaeformis* de 8 à 9 ans et 23 à 24 ans

Le taux de cendres est déterminé selon la formule (Protocole NFB 55-101) :

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

avec :

m₁ : masse en g de la nacelle ;

m₂ : masse en g de la nacelle et du charbon ;

m₃ : masse en g de la nacelle et des cendres.

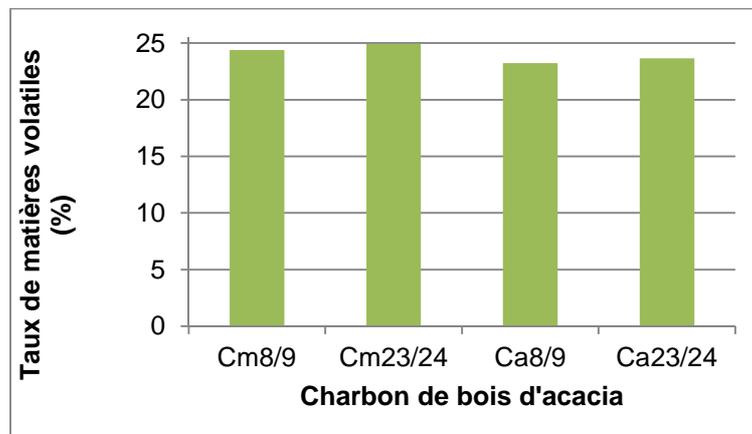


Figure 5: Taux de matières volatiles de charbons de bois d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculaeformis* de 8 à 9 ans et 23 à 24 ans

Le taux de matières volatiles (ou indice de matières volatiles) est déterminé d'après la formule:

$$V = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} - H$$

avec :

m_1 : la masse en g du creuset vide et de son couvercle ;

m_2 : la masse en g du creuset, du couvercle et de son contenu ;

m_3 : la masse en g du creuset, du couvercle et de son contenu après chauffage ;

H : l'humidité de l'échantillon (Protocole NFB 55-101).

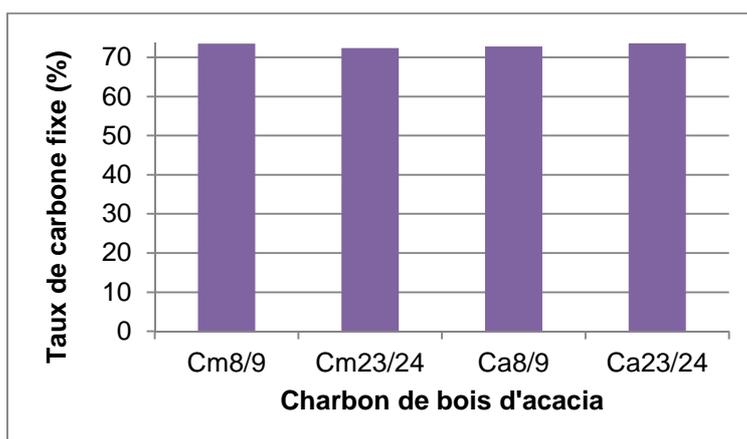


Figure 6: Taux de carbone fixe des charbons de bois d'Acacia mangium et d'Acacia. auriculaeformis de à 8-9 ans et 23 à 24 ans

Le taux de carbone fixe est mesuré d'après le Protocole NFB 55-101. La formule utilisée est :

$$C_F = 100 - (H + M_v + C)$$

Avec :

H : le taux d'humidité en % ;

M_v l'indice de matières volatiles en % ;

C le taux de cendres en %.

3.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DE LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUES DES CHARBONS DE BOIS D'ACACIA

L'analyse des résultats de la caractérisation des charbons a porté sur les caractéristiques chimiques, qui sont le plus souvent fixées par l'utilisateur (le taux de cendres, le taux de matières volatiles et le taux de carbone fixe) [12] et la densité relative apparente. Le taux d'humidité du charbon est estimé à 1% car fraîchement défourné. Cela est conforme aux indications des archives de la FAO (1983) selon lesquelles le taux d'humidité du charbon fraîchement défourné et conservé à l'abri de l'air est inférieur à 1% [12].

3.2.1 DENSITÉ RELATIVE APPARENTE

La densité relative apparente moyenne du charbon d'Acacia mangium varie entre 0,31 pour Cm_{8/9} et 0,38 pour Cm_{23/24} ans. Pour les mêmes classes d'âges d'Acacia auriculaeformis, cette densité est respectivement de 0,39 et 0,43.

La figure 3 montre que, pour les deux types d'Acacia, plus le bois est âgé, plus dense est le charbon qui en est issu. La relation entre l'âge du bois et la densité du charbon pourrait s'expliquer par la duraminisation qui est une transformation progressive en bois parfait par la fermeture des vaisseaux de l'aubier. Il en résulte un bois plus résistant, plus durable et plus dense.

La carbonisation de ce bois donne un charbon plus dense que celui issu du bois plus jeune. Cela est confirmé par BRIANE et DOAT [13] qui indiquent qu'un bois dense donnera un charbon dense et un bois léger donnera un charbon de faible densité avec un coefficient massique de transformation de 50 à 65%.

En outre, quels que soient l'espèce et l'âge du bois, la faible valeur des densités prédestinent les deux précurseurs à des charbons actifs moins poreux [14].

3.2.2 TAUX DE CENDRES

Les taux moyens de cendres du charbon d'*Acacia mangium* varient entre 1,03 % (8 à 9 ans) et 0,92 % (23 à 24 ans). Pour les mêmes classes d'âges d'*Acacia auriculaeformis*, on obtient respectivement 1,07% et 0,99 %. La **figure 4** montre que les taux de cendres ont sensiblement la même valeur, pour les deux espèces aux deux classes d'âges considérées. Leur niveau relativement faible est un indicateur de conditions de carbonisation (peu d'impuretés) à l'aide du four cornue. De plus, les taux de cendres obtenus se situent dans l'intervalle indiqué par MEZERETTE et VERGNET [15] pour un charbon de bonne qualité : 0,5 à 10%. Néanmoins, pour les deux espèces de bois, on note un léger fléchissement du taux de cendres, quand l'âge du bois augmente ; ce qui laisse penser que plus le bois vieillit, moins il contient de matières minérales qui sont les éléments constitutifs des cendres. Cette assertion est confirmée par BALLERINI D. [16] qui, au sujet des ressources ligno-cellulosiques pérennes, notamment le bois, à mobiliser pour la production de bio-carburant, indique que « la concentration en éléments minéraux sera plus importante dans les peuplements jeunes que dans les peuplements matures..... ».

3.2.3 TAUX DE MATIÈRES VOLATILES

Le taux moyen de matières volatiles (ou indice moyen de matières volatiles) varie entre 24,40 et 24,92% pour le charbon d'*Acacia mangium* si l'on passe de la tranche (8 à 9 ans) à la tranche (23 à 24 ans). Pour les mêmes tranches d'âges d'*Acacia auriculaeformis*, on a, respectivement 23,24 et 23,66%. A l'analyse de la **figure 5** nous notons une légère tendance à la hausse du taux de matières volatiles en fonction de l'âge du bois. Les moyennes de 23,33% pour *A. auriculaeformis* et 18,53% pour *A. mangium* sont données par BINI K. [17] qui a utilisé, quelques années plus tôt, le même four-cornue pour la carbonisation des bois. Les écarts observés pourraient s'expliquer par les conditions opératoires : les matières volatiles ne préexistent pas dans la matière première mais prennent naissance pendant la pyrolyse. Elles comprennent, en effet, tous les résidus liquides et goudronneux qui ne sont pas totalement éliminés lors de la carbonisation. Si celle-ci est prolongée et se fait à haute température, la teneur en matières volatiles est faible. Lorsque la température de carbonisation est peu élevée et que le temps de séjour dans le four est bref, cette teneur augmente [15]. Les taux de matières volatiles déterminés pour les charbons des deux espèces aux deux tranches d'âges répondent aux « normes de charbon de qualité » définies par MEZERETTE et VERGNET [15], en étant proches de la limite supérieure de l'intervalle: 7-25%.

3.2.4 TAUX DE CARBONE FIXE

Le taux moyen de carbone fixe du charbon d'*Acacia mangium*, varie de 73,58 (8 à 9 ans) à 73,16 % (23 à 24 ans). Pour les mêmes tranches d'âges d'*Acacia auriculaeformis* l'on obtient, respectivement 74,69% et 74,35% (figure 6). Dans les essais de carbonisation, BINI K. [17] signale des taux moyens de carbone supérieurs à 70% ; soit 71,59% pour *Acacia auriculaeformis* et 78,0% pour *Acacia mangium*. Le taux de carbone fixe pour les deux espèces aux deux classes d'âge considérées se situe dans « l'intervalle idéal » (72 à 90 %) défini par MEZERETTE et VERGNET [15]. Les charbons produits à partir des deux espèces d'Acacias contiennent un taux important de carbone et peuvent être considérés comme de bons précurseurs pour leur activation.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE DES CARACTERISTIQUES DES CHARBONS DE BOIS EN FONCTION DES ESPECES ET DE L'AGE

L'analyse statistique des résultats de la caractérisation physico-chimique des charbons d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculaeformis* a été réalisée à l'aide du logiciel GenStat 4. Les tests d'égalité entre les moyennes ont été effectués, au seuil de 5 %, pour tous les caractères physico-chimiques étudiés par classe d'âge et pour chaque espèce. Les résultats sont consignés dans le **tableau I** ci-dessous.

Tableau I: T-test d'égalité des moyennes des caractéristiques physico-chimiques des charbons de bois d'Acacias

Espèce		Densité relative apparente	Taux de cendres	Taux de matière volatiles	Taux de carbone fixe
<i>Acacia Auriculaeformis</i>	8-9 ans	0,39	1,075	23,24	74,69
	23-24 ans	0,43	0,990	23,66	74,35
	Seuil	5%	5%	5%	5%
	Probabilité	0,293	0,087	0,027	0,040
<i>Acacia Mangium</i>	8-9 ans	0,31	1,025	24,40	73,58
	23-24 ans	0,385	0,925	24,92	73,16
	Seuil	5%	5%	5%	5%
	Probabilité	0,38	0,106	0,002	0,001

Quatre importants résultats se dégagent :

- 1°) la densité relative apparente : comme pour le bois, la densité moyenne des charbons augmente avec l'âge pour les deux espèces d'*Acacia* ;
- 2°) le taux de cendres : les charbons issus des bois de la classe d'âge de 8 à 9 ans contiennent plus de cendres que ceux issus de la classe de 23-24 ans ;
- 3°) le taux de matières volatiles : la variation du taux de matières volatiles est négligeable pour les deux espèces d'*Acacia*, lorsqu'on passe de la classe de 8-9 ans à celle de 23 à 24 ans ;
- 4°) le taux de carbone fixe : comme pour le taux de matières volatiles, la différence entre les taux moyens de carbone fixe des charbons issus des bois de 8-9 ans et ceux des bois de 23 à 24 ans est négligeable.

4 CONCLUSION

Au terme de ce travail, trois importantes conclusions peuvent être tirées :

- ✓ au plan environnemental, les bois d'Acacias âgés de 8 à 9 ans peuvent être préconisés en carbonisation. Les arbres plus âgés ne donnent pas des charbons de bois qualitativement plus améliorés que les jeunes arbres. En outre, ils occupent inutilement les terres, en ces moments de pression foncière ;
- ✓ au plan économique, la récolte pour l'usage énergétique de trois cycles de 8 à 9 ans procure plus de revenus que celle d'un cycle de 23 à 24 ans ;
- ✓ aux plans scientifique et technique, les charbons de bois d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculaeformis* âgés de 8 à 9 ans affichent de bons taux de carbone fixe (entre 72 et 90 %), caractéristique essentielle recherchée pour un bon précurseur à la préparation de charbons actifs. C'est le seuil idéal à cet âge pour les deux espèces d'*Acacia* étudiées.

RÉFÉRENCES

- [1] BRISCOE, 1995, Four acacia species acid soils. Nitrogen fixing trees for acid soils; pp 265-271.
- [2] GNAHOUA G. M., NGUESSAN K. A., BALLÉ P., 2014. Les jachères de légumineuses arborescentes: Sources potentielles de bois énergie et de service en Côte d'Ivoire ; Journal of Applied Biosciences 81:7290 – 7297.
- [3] AKE-ASSI, 2001. Flore de la Côte d'Ivoire : Catalogue systématique, biogéographique et écologique. Tome I. Boissiera 57 : 307-308.
- [4] N'GUESSAN K. A., 2006. Les légumineuses arborescentes, une alternative pour la régénération des jachères. Le cas de la zone forestière en Côte d'Ivoire ; Mémoire de thèse, Doctorat d'Etat, Université de Cocody-Abidjan, 168 p.
- [5] DORAN J. C. et SKELTON D. J., 1982. Archives de documents de la FAO, Ressources génétiques forestières n° 11. Récolte de semences d'*Acacia mangium* en vue d'essais internationaux de provenances.
- [6] DUPUY B. et N'GUESSAN K. A., 1991. Utilisation des acacias pour régénérer les anciennes cocoteraies, Revue Bois et Forêts des tropiques, n° 230, 4^{ème} trimestre 1991.
- [7] DANISH M., HASHIM R., MOHAMAD IBRAHIM M. N., RAFATULLAH M., AHMAD T., SULAIMAN O. (2011). Effect of acidic activated agents on surface area and surface functional groups of activated carbons produced from *Acacia mangium* wood. Journal of analytical and applied pyrolysis (2013) pp 8.
- [8] KIFUANI K. M. A., NOKI V. P., NDELO DI P. J., MUKANA WA M. D., EKOKO B. G., ILINGA L. B., MUKINAYI M. J., Adsorption de la quinine bichlorhydrate sur un charbon actif peu coûteux à base de la bagasse de canne à sucre imprégnée à l'acide phosphorique ; International Journal of Biological and Chemical Sciences 6(3) :1337-1359 ; june 2012.

- [9] BELAID K. D. et KACHA I. ; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, vol. 24, n°2, 2011, p. 131-144.
- [10] ATHEBA P., GBASSI K. G., DONGUI B., BAMBA D., YOLOU F.s., TROKOUREY A. ; Etude de la porosité, de la surface spécifique et des fonctions de surface de charbons actifs préparés après carbonisation artisanale des coques de noix de coco. *Les technologies de laboratoire – 2014*, Volume 8, N° 34.
- [11] OUATTARA P. H. K., GOULI BI I. M., KOUAKOU U., DEMBELE A., YAPO A. J. TROKOUREY A. Preparation and characterization of activated carbons based on peanut shell (*Arachis hypogaea*), green soya shell (*Vigna radiate*); *International Journal of Science and Research (IJSR)*; Volume 3 Issue 7, July 2014.
- [12] ANONYME, 1983. Techniques simples de carbonisation ; chapitre 10 : utilisation rationnelle du charbon de bois. *Archives de documents de la FAO, Département des forêts, Rome*.
- [13] BRIANE D. et DOAT J., 2003. Guide technique de la *carbonisation*: la fabrication du charbon de *bois*, éditions Edisud, 179 p.
- [14] MELJAC L., Etude d'un procédé d'imprégnation de fibres de carbone activées : Modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène ; Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne et de l'Université Jean Monnet de Saint Etienne, Spécialité : Génie des Procédés, décembre 2004.
- [15] MEZERETTE C. et VERGNET L. F., 1994 – La voie thermochimique. In: ANONYME- Guide Biomasse Energie. Collection Etudes et filières, pp 144-198.
- [16] BALLERINI D. ; Les biocarburants : Etat des lieux, perspectives et enjeux du développement ; pp 191-192 ; IFP Publications ; Editions TECHNIP, Paris, 2006.
- [17] BINI K. 2005. Influence sur la carbonisation des conditions de mobilisation du bois de quatre espèces australiennes du genre *Acacia* Mill. ; Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, option Ecologie végétale ; Unité de Formation et de Recherche Biosciences, Université de Cocody-Abidjan ; 2005.