

## L'INFLUENCE DES PROPRIETES PHYSIQUES DU BOIS ET DES PARAMETRES DU PROCESSUS SUR LES PRODUITS DE PYROLYSE

Adrian BADEA<sup>1</sup>, Cora GHEORGHE<sup>2</sup>, Cosmin MĂRCULESCU<sup>3</sup>, Tiberiu APOSTOL<sup>4</sup>

*În cadrul acestui articol sunt prezentate proprietățile fizice și chimice ale lemnului și modul cum influențează ele producerea cărbunelui de lemn în urma procesului de piroliză. Deși caracterizat de o valoare redusă a puterii calorifice inferioare, cărbunele de lemn poate fi utilizat în multe domenii.*

*The physical and chemical properties of wood and their influence on the production of the char from the pyrolysis process are presented in this paper. Although it is characterized by a low calorific power, the char can be used in many areas.*

*Cet article présente les propriétés physiques et chimiques du bois, et leur influence dans le processus de pyrolyse pour obtenir le charbon de bois. Quoiqu'il soit qualifié par un faible pouvoir calorifique, grâce à ses qualités, le charbon de bois trouve beaucoup des applications.*

**Mots clefs :** caractéristiques physiques du bois, pyrolyse, charbon de bois

### 1. Introduction

Depuis long temps, le bois a été utilisé comme source d'énergie. Dans les pays en développement, la biomasse représente la principale forme d'énergie domestique/industrielle : les expansions démographiques et économiques, la création des terrains agricoles ont dirigé vers un excessif déboisement, ainsi diminuant le patrimoine forestier. Aussi, dans les pays industrialisés, le bois est encore utilisé comme une forme d'énergie domestique, surtout dans les zones rurales ou pour la valorisation des résidus provenant du façonnage rurale du bois.

<sup>1</sup> Prof.; Dept. of Energy Use and Production, University POLITEHNICA of Bucharest, ROMANIA

<sup>2</sup> Assist., Dept. of Energy Use and Production, University POLITEHNICA of Bucharest, ROMANIA

<sup>3</sup> Lecturer, Dept. of Energy Use and Production, University POLITEHNICA of Bucharest, ROMANIA

<sup>4</sup> Prof., Dept. of Energy Use and Production, University POLITEHNICA of Bucharest, ROMANIA

Dans ce moment, le bois fournit approximativement 14 % de la demande mondiale d'énergie et couvre environ 2 % de la demande d'énergie de l'Union Européenne.

Selon le procédé moderne de transformation du bois en charbon de bois, le matériau est amené à haute température dans une cornue ou un tunnel et dégage des co-produits importants tels que l'acétone, le méthanol ou l'acide acétique qui peuvent être extraits en les ramenant à l'état liquide par une opération de condensation. Du fait de son taux très élevé en carbone, le charbon de bois produit davantage de chaleur que son équivalent en volume bois.

Le charbon de bois c'est le résultat du processus dont le bois est carbonisé ou pyrolyse, en conditions contrôlées, dans un espace fermé en l'absence de l'oxygène, qui empêche la simple transformation du bois en cendre, comme il se passe dans un feu conventionnel par oxydation. L'absence de l'air conduit à la décomposition chimique du bois pour former le charbon de bois.

## 2. La composition chimique du bois

Les principaux éléments chimiques du bois sont constitués de Charbon (48% massique), d'Hydrogène (5 %), d'Oxygène (45 %), d'Azote (0.1 à 1 %) et certains minéraux constituant les cendres (Calcium, Potassium, Magnésium).

La biomasse du bois peut être séparé en trois fractions [1]: les composants des cellules du bois, les composants qui peuvent être extraits par des solvants (dénommés extractibles) et la cendre.

Les *components des cellules* du bois représentent la plus grande partie du bois. Il y a trois types de ces composants : la cellulose, la hémicellulose et la lignine.

La *cellulose* est un homo polysaccharide composé d'unités β-D glucopyranose unies par des liaisons glucidiques 1 - 4 pour constituer le composé principal de tissu du bois. Elle est le composant le plus abondant qui se trouve dans le bois. La cellulose représente 40– 50 % de la masse du bois sec.

Initialement les *hémicelluloses* étaient classés comme des produits biosynthétiques de la cellulose. Aujourd'hui, les hémicelluloses font partie d'un groupe hétérogène de polysaccharides avec un degré de polymérisation plus faible que la cellulose.

La *lignine* est une substance amorphe, avec un haut poids moléculaire, constitué de base polymérique phénolique.

Le tableau suivant présente des valeurs de ces composants pour des différents types de biomasse.

Les constituants anorganiques ou la cendre représentent moins de 1 % de la masse du bois, mais ils sont plus grands pour la biomasse herbacée. Parmi les substances qui se trouvent dans la biomasse sont : CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, GO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub> et Cl. Les premiers cinq oxydes sont les principaux principes

qui on peut trouvés dans la cendre du bois, avec CaO le plus abondant. Il y a aussi des traces des métaux lourds dans la cendre du bois.

*Tableau 1:*  
La composition massique approximative pour différents types de biomasse

Espèce de biomasse	Cendre, [%]	Extractibles, [%]	Lignine, [%]	Hémicellulose, [%]	Cellulose, [%]
<i>Bois léger</i>	0.4	2.0	27.8	24.0	41.0
<i>Bois lourd</i>	0.3	3.1	19.5	35.0	39.0
<i>Pailles du blé</i>	5.6	11.1	16.7	27	37.6
<i>Pailles du riz</i>	16.1	17.4	11.9	23.2	28.3
<i>Bagasse</i>	1.6	0.3	20.2	38.5	38.1

Les extractibles sont des matériaux dérivés des cellules vivants du bois et représente 4 – 20 % de la masse du bois. La composition des extractibles est très variée. La teneur et la composition varient avec les espèces voire au sein d'un même arbre. La plupart des composant extractibles est concentrée dans les espaces cellulaires vides (lumens). On en trouve parfois dans la paroi cellulaire.

### 3. Propriétés physiques du bois

En ce qui concerne l'hygroscopité du bois, il vaut d'être noté que la teneur d'eau n'est pas homogène dans l'arbre, entre arbres, à l'intérieur de l'espèce et entre les espèces. En fonction de son état hygroscopique, le bois contient un pourcentage d'eau qui est fonction de son état d'équilibre avec son environnement. Certains [2] indiquent que l'humidité dans le bois s'équilibre autour de 30 % sur brut pour un degré hygrométrique de l'air égal à 100 % à température ambiante.

La masse volumique du bois est le rapport de la masse de bois anhydre sur le volume de liquide déplacé lors de l'immersion de l'échantillon dans l'eau:

$$M_V = m \text{ (%) / } V_{(\text{sat})} \quad (1)$$

Où :

$m \text{ (%)}$  = la masse du bois anhydre [kg];

$V_{(\text{sat})}$  = le volume d'échantillon,  $\text{m}^3$ .

Le pouvoir calorifique du bois du bois (15000 – 19000 kJ/kg) parfaitement sec est inférieur à celui des autres énergies fossiles: un kilo du bois fournit 55 % de l'énergie d'un kilo de charbon et 45 % de celle d'un kilo de fioul. Et plus le bois est humide, plus son pouvoir calorifique diminue. Le bois fraîchement coupé contient 40 à 60 % d'eau. Il faut donc bien le sécher avant de l'utiliser. Le séchage naturel, qui permet de descendre à 15 – 20 % d'humidité, prend environ deux ans.

La transformation du bois en charbon de bois double sa capacité calorifique et améliore ainsi les conditions de son transport. Le bois pour la valorisation énergétique provient des forêts, des déchets, de l'industrie du bois, de la papeterie et des rebuts (palettes, cageots et caisses, bois de démolition, piquets et poteaux ...). Certaines plantations des arbres sont destinées à produire un bois à brûler contenant un maximum d'énergie (eucalyptus, saule, peuplier).

La chaleur spécifique ( $C_p$ ) est une caractéristique distincte du matériau. C'est la quantité de chaleur ( $Q$ ) nécessaire pour augmenter la température de la masse de  $T_1$  à  $T_2$ . Elle est définie par la relation :

$$C_p = Q / [m(T_2 - T_1)] \quad (2)$$

Où :

$C_p$  = chaleur spécifique, [J/kg°C]

$M$  = massa, [kg] ;

$Q$  = quantité de chaleur [J];

$T_1, T_2$  = températures initiale et finale, respectivement [°C].

Plus haute est l'humidité du bois plus importante est la chaleur spécifique. Kollman et Côte [3] ont déterminé les valeurs de densité du bois (Tableau 2). Ils ont constaté que la chaleur spécifique varie considérablement avec l'humidité du bois, mais la densité du bois n'a aucune influence.

Tableau 2:

**La chaleur spécifique du bois, en [J/kg°C], pour des différentes densités et humidité**

Massee volumique du bois, kg/m <sup>3</sup> ]	L'humidité du bois, (%)				
	10	20	30	50	100
200	1611.6	1825.1	2009.3	2297.1	2771.1
400	1611.6	1825.1	2009.3	2298.1	2771.1
600	1611.6	1825.1	2009.3	2298.1	2771.1
800	1611.6	1825.1	2009.3	2298.1	-

Du point de vue de la conductivité thermique, le bois anhydre est connu être un faible conducteur de chaleur du fait du nombre peu élevé d'électrons libres et de la porosité de ce matériau. De nombreux facteurs influencent la conductivité thermique ( $\lambda$ ). Les plus importants sont la structure, la direction du flux de chaleur par rapport aux éléments anatomiques, le taux d'extractibles, les défauts, la densité, l'humidité et la température [3]. En ce qui concerne l'influence de la densité, une relation entre la conductivité thermique et la masse volumique du bois anhydre est illustrée par l'expression suivante :

$$\lambda = 0,0267 + 1,161 \cdot 10^{-3} \rho_0 + 1,161 \cdot 10^{-6} \rho_0^2 \quad (3)$$

avec :

$\lambda$  = conductivité thermique [W/m°C] ;

$\rho_0$  = masse volumique du bois anhydre [kg/m<sup>3</sup>].

#### 4. Le procédé de fabrication de charbon de bois

Aujourd’hui, pour la fabrication du charbon de bois, on utilise plutôt de petites unités de production industrielle automatisées, moins polluantes, où la pyrolyse est effectuée par contact de gaz chauds.

En réalité, l’air ce n’est pas nécessaire dans les processus de pyrolyse. Les actuelles technologies avancées de la production du charbon de bois n’acceptent pas la présence de l’air ( $O_2 < 2\%$ ). Ça permet de récolter une grande quantité de charbon de bois et, en même temps, et possible de contrôler sa qualité.

À la fin du processus de pyrolyse on obtient beaucoup de chaleur. Le processus ne commence pas si la température n’atteint pas approximativement 300 °C.

Les systèmes de carbonisation offrent une grande efficience quand on utilise du bois sec, parce que l’élimination de l’eau qui se trouve dans le bois nécessite une grande consommation d’énergie.

La production du charbon de bois consiste dans les phases suivantes :

- L’élèvement du bois;
- La récolte du bois;
- Le séchage et la préparation du bois pour le processus de carbonisation;
- La carbonisation du bois pour la production de charbon de bois;
- Le stockage et le transport du charbon de bois vers le dépôt ou vers le point de distribution.

Le charbon de bois représente le résultat d’une opération de pyrolyse qui s’effectue sur un mode artisanal ou industriel. Le procédé de fabrication (figure 1) porte le nom de "carbonisation" et comporte les étapes suivantes :

*Etape I* : la température atteinte est inférieure à 200°C. C’est la phase de séchage. L’eau contenue dans le bois s’évapore sous l’effet de la chaleur entraînant avec elle une partie des produits volatils présents dans le matériau.

*Etape II* : entre 200°C et 380°C. Il se produit une réaction exothermique. La conséquence de cette réaction est la production simultanée des gaz oxygénés et des hydrocarbures tels que le méthane, l’éthane et l’éthylène. Parallèlement, se forment des co-produits comme l’acide acétique, le méthanol et l’acétone, ainsi que des goudrons légers. À la fin de cette phase résulte un produit qui peut déjà être considéré comme du charbon. Toutefois, sa teneur en carbone ne représente que 80 % du total.

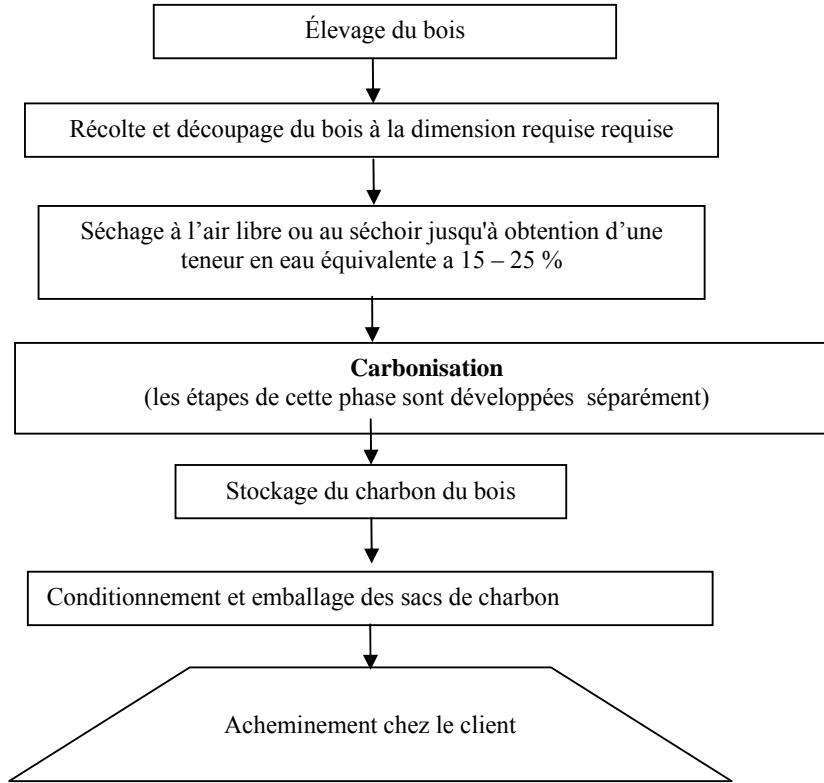


Figure 1: Les phases de la production de charbon du bois

*Etape III* : entre 380°C et 500°C. Les gaz qui s'échappent lors de l'augmentation de température sont principalement des hydrocarbures et le charbon obtenu titre aux alentours de 85 % de carbone.

*Etape IV* : Si le chauffage du matériau continue jusqu'à 700°C, on assiste à une phase de dissociation. Les gaz qui sont libérés sont moins nombreux, mais elles contiennent de l'hydrogène. Ça a pour conséquence l'élévation du niveau de carbone du charbon (90 - 95 %).

## 5. Les caractéristiques physiques et chimiques du charbon de bois

À la fin de l'opération de carbonisation on obtient du charbon dont la composition peut varier plus ou moins selon l'essence choisie, la température atteinte durant la pyrolyse et la température de recuit.

Le charbon se compose de différents éléments, trouvés en quantités

variées. Il est très riche en carbone, en général entre 82 % et 86 %. En dehors du carbone, le charbon se compose de 12 à 15% de matières volatiles (gaz combustibles : hydrogène et oxygène notamment). Le reste, de 2 à 3%, est représenté par de cendres composées de matières minérales telles que la silice, le fer ou le calcium. Parfois, dans ces cendres on peut trouver des importants traces de métaux alcalins, de phosphore ou d'azote.

Le tableau suivant présente les critères de qualité généraux du charbon de bois. Toutefois, il est intéressant de mettre en exergue les quelques critères qui revêtent une grande importance sur le marché international.

D'un point de vue physique, il faudra prêter attention à la résistance à la compression du charbon de bois qui définira le type d'applications auxquelles il pourra être destiné, le taux de reprise d'humidité qui permettra de mettre en place de bonnes conditions de conservation et la densité. D'un point de vue chimique, seront à observer : le taux de cendres produit à la fin de la combustion, la teneur en produits volatiles, le taux de carbone fixe et le pouvoir calorifique du charbon de bois.

Tableau 3 :

Les caractéristiques physiques et chimiques du charbon de bois			
Propriétés physiques		Propriétés chimiques	
Densité, t/m <sup>3</sup>	0,2 à 0,6	Conductibilité thermique	Assez élevée, par contre le charbon de bois possède une capacité isolante calorifique inférieure à celle du bois
Température d'inflammation °C	350	Conductibilité électrique	Elle varie en fonction de la température de fabrication Par exemple : Un charbon cuit à 500°C = 1000 ohm/cm. Un charbon cuit à 1000°C = 0,5 ohm/cm
Pouvoir rayonnant	Élevé		

## 6. Les utilisations du charbon de bois

Quoique le charbon de bois soit qualifié par un faible pouvoir calorifique (~30000 kJ/kg [4]), sa principale utilisation c'est en forme de combustible solide, après une épuration préalable.

Une autre importante utilisation c'est comme matière première pour applications domestiques.

Le charbon de bois peut être gazéifié à des températures de 700 à 1 200 °C. À ces valeurs de température, le charbon réagit alors avec l'oxygène ou les vapeurs d'eau et produit du monoxyde de carbone et hydrogène [5].

Le charbon de bois, produit principal de la pyrolyse du bois, parallèlement à ses utilisations énergétiques (domestiques partout dans le monde ou industrielles comme dans le secteur sidérurgique brésilien) trouve encore aujourd'hui des applications dans le domaine environnemental comme agent de dépollution. Les corps poreux en général absorbent les gaz, certains corps dissous et les solvants. Le charbon de bois (charbon actif) jouit de cette propriété au plus haut degré.

La capacité d'adsorption du charbon de bois est connue depuis fort longtemps et a été mise à profit dans des nombreux domaines, notamment pour l'épuration des eaux (filtres familiaux, assainissement de puits) ou des gaz (masques). Cette capacité est déterminée par la surface de sites réceptifs sur les parois des vaisseaux du bois carbonisé. En technique de carbonisation traditionnelle, la surface et l'accessibilité de ces sites sont réduites par de nombreuses impuretés. Ils sont en état de rechercher les moyens «d'activer» les charbons pour augmenter leur capacité d'adsorption. [3]

## 7. Conclusions

1. Quoique pour la production de charbon de bois on peut utiliser beaucoup d'espèces de biomasse (les écorces de noix, les croûtes d'arbres), le bois simple reste le préféré et le plus utilisé. On peut employer aussi des résidus agricoles dans le processus de pyrolyse, mais le charbon obtenu c'est une poudre. Elle doit être soumise à des traitements pour produire des briquettes. Ça veut dire des coûts supplémentaires.
2. À cause de la grande disponibilité du bois, de ses propriétés et du principe écologique, le bois reste le préféré et le plus utilisé matériau cru. Il n'y a pas des motives pour changer cette situation dans l'avenir.
3. Pensant à ses ressources et à ses caractéristiques, le bois représente une méthode de développer les futurs politiques énergétiques.

## RÉFÉRENCE

- [1] Mourasa, Sylvie., Girarda, P., Rousseta, P., Permadia, P., Dirolb D. et Labatb, G., «Propriétés physiques de bois peu durables soumis à un traitement de pyrolyse ménagée», EDP Sciences, INRA 2002
- [2] Nepveu, G., Jodin, P. « L'eau dans le bois de l'arbre sur pied et dans le bois mis en œuvre : LE BOIS – Matériau d'ingénier », Ed. ARBOLOR. ENGREF, NANCY, 1994.
- [3] Kollman, F. F. P.; Côté, W. A. «Principles of Wood Science And Technology», Vol. I : Solid Wood, Springer-Verlag Berlin, 1968.
- [4] Rossier, G. & Micuta, W., «Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?», édité par REDI, Renewable Energy Development Institute, Geneve, 2005
- [5] « Le bois comme source d'énergie »,  
<http://www.unctad.org/infocomm/francais/boistemp/utilisat.htm>