

Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

par G. Rossier & W. Micuta

Dans la plupart des pays en voie de développement le charbon de bois représente le combustible principal. Les auteurs démontrent que, dans les conditions du Tiers Monde, il faut détruire au moins 10 kg de bois pour produire 1 kg de charbon. Ils montrent ensuite que, en utilisant un fourneau bien conçu, la pression sur le boisement peut être réduite de 90%.

In most developing countries, the major domestic fuel is charcoal. The following text examines the nature of charcoal and its usage as compared with firewood. The authors prove that, in conditions prevailing in developing countries, it is possible to economise 90% of wood if it is burnt directly in fuel-efficient stoves instead of being converted into charcoal and burnt in traditional or improved braziers.

Fabrication du charbon de bois

Le bois est principalement constitué de cellulose, de lignine et de produits volatils, notamment de l'eau. Lors de la fabrication du charbon de bois (pyrolyse) tous les produits volatils sont éliminés. La cellulose et la lignine sont décomposées selon une réaction du type:



Note:

n = nombre d'atomes de carbone dans la molécule de cellulose

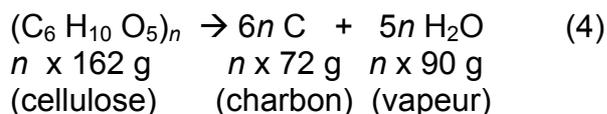
m = nombre d'atomes d'oxygène dans la molécule de cellulose

La réaction (1) est endothermique (elle consomme de la chaleur). Dans la meule du charbonnier, la chaleur nécessaire à la réaction est fournie par la combustion partielle du carbone:



Les réactions (2) et (3) doivent également fournir les pertes thermiques vers l'environnement.

En pyrolysant de la cellulose chimiquement pure on aurait:



Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

Le rendement (masse de charbon / masse de cellulose) = $72 : 162 = 45\%$, et le rapport (masse de cellulose / masse de charbon) = $162 : 72 = 2.25$.

La dernière équation (4) correspondrait à la pyrolyse d'une cellulose parfaitement sèche dans un four exempt d'oxygène, chauffé par une source de chaleur externe. Elle n'est donc pas réalisable lors de la production du charbon.

Si le bois pyrolysé contient 50% de produits volatils (méthanol, acétone, goudrons etc.) et d'eau, le rapport des masses passe à 4,5 pour 1.

La chaleur nécessaire à la pyrolyse est essentiellement fournie par l'oxydation partielle du charbon - réaction (3). On perd donc à peu près la moitié du charbon formé et le rapport passe à 9 pour 1. Enfin, une partie de la couronne de l'arbre n'est pas utilisable pour la fabrication du charbon. Un rapport technique de la FAO l'estime à 25% du bois total.¹ Le rapport de la masse de bois abattu sur la masse de charbon produit sera donc de $9 : 0,75 = 12$.

On peut en conclure que, dans les pays peu développés, produisant le charbon par des méthodes artisanales, il faudra de 8 kg de bois bien sec à 12 kg de bois ordinaire pour fabriquer 1 kg de charbon (en moyenne 10 kg).²

Des valeurs inférieures, de 5 à 6 kg de bois pour 1 kg de charbon ne peuvent être obtenues qu'en utilisant un four à pyrolyse perfectionné dans lequel les gaz sont récupérés et l'oxyde de carbone qu'ils contiennent est brûlé pour fournir la chaleur nécessaire à la pyrolyse. Dans une meule traditionnelle, le plus gros de la chaleur est obtenu par la réaction (3) qui est moins exothermique que la réaction (2).

En conséquence il est indispensable d'oxyder beaucoup de charbon pour obtenir suffisamment de chaleur.

Le chiffre de 10 kg de bois pour 1 kg de charbon est donc tout à fait courant. (On a observé dans de nombreux cas de fabrication artisanale de charbon de bois des rapports encore plus élevés).

On consomme donc 10 fois 13'400 kJ pour obtenir 1 fois 26'750 kJ sous forme de charbon.

$$26'750 : (13'400 \times 10) = 0.2 \text{ ou } 1/5$$

Les 4/5 de l'énergie disponible dans le bois sont perdus dans la pyrolyse.

Pouvoir calorifique (PC) du charbon de bois

Le charbon de bois sec est constitué essentiellement de carbone amorphe et de quelques cendres minérales, avec éventuellement un peu le bois mal carbonisé.

La chaleur de combustion selon la réaction (2) est de 393 kJ ou 94 kcal pour 12 g de carbone, qui, chimiquement pur, présenterait donc un P.C. de :

$$(393 \text{ kJ}/12 \text{ g}) \times 1000 \text{ g}/\text{kg} = 32'750 \text{ kJ}/\text{kg} \\ \text{ou } (7'830 \text{ kcal}/\text{kg})$$

La teneur en cendres varie d'un charbon à l'autre. En admettant 5%, le P.C. tombe à

¹ voir ref. bibl. no.1

² voir ref. bibl. no.8

Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

$$0,95 \times 32'750 = 31'100 \text{ kJ/kg}$$

Ces valeurs se rapportent à un charbon de 1er choix, entièrement carbonisé. On trouve souvent du bois calciné superficiellement dans le charbon. Dans ce cas, le P.C. est considérablement réduit (P.C. du bois sec environ 13'400 kJ/kg).

D'autre part une proportion non négligeable du charbon de bois est perdue lors des manutentions (poudre et petits déchets).

Enfin, notamment en saison des pluies, le charbon fixe une certaine quantité d'eau qui augmente le poids marchand mais diminue le P.C. (on va perdre la chaleur nécessaire à l'évaporation de cette eau).

Toutes ces raisons font qu'il est courant d'attribuer au charbon de bois un P.C. de environ 25'000 à 26'750 kJ/kg (6'000 à 6'400 kcal/kg).

Remarque Importante

On a vu que la combustion du charbon se fait selon les équations (2) et (3). Il s'établit dans le réchaud incandescent un équilibre chimique



A haute température (braises) cet équilibre se déplace vers la droite. De ce fait les gaz brûlés ne donnent pas de fumée, mais contiennent une proportion notable d'oxyde de carbone, gaz inodore et incolore extrêmement toxique. Les personnes qui respirent de l'air contenant de l'oxyde de carbone, même en faible concentration, souffrent d'anémie car ce gaz fixe l'hémoglobine du sang. L'organisme doit donc éliminer la carboxy-hémoglobine et reconstituer de nouveaux globules rouges. L'oxyde de carbone peut être immédiatement mortel à des concentrations peu élevées dans l'air, (dose létale en 2 heures 0,7‰ dans l'air). La cuisson ou le chauffage des locaux au moyen de braseros constitue donc un très grave danger pour les personnes.

Fourneaux à bois, multi-combustibles

REDI introduit des fourneaux à charbon de bois, munis ou pas, de cheminées d'évacuation des gaz brûlés, qui fonctionnent avec un rendement calorifique beaucoup plus élevé que les réchauds traditionnels, à feu ouvert, même "améliorés". Ces appareils sont conçus pour le bois, mais ils peuvent brûler des déchets combustibles de toute espèce : bagasse de canne à sucre, papiers, cartons etc. Ils peuvent également être équipés de brûleurs REDI à kérosène ou à mazout fonctionnant sans réservoir sous pression, donc sans danger d'explosion. On peut encore les utiliser avec des brûleurs à gaz butane, propane ou méthane.

Des essais ont montré que la consommation spécifique (quantité de bois nécessaire pour porter à ébullition 1 kg d'eau) était de l'ordre de 50g de bois par kg d'eau. Un autre avantage non négligeable se trouve dans le fait que le temps nécessaire à la cuisson est fortement réduit. La longue période d'allumage du charbon est supprimée. La régulation de puissance devient possible. Enfin, l'isolation thermique, la faible consommation et l'évacuation des gaz brûlés par une cheminée ont pour conséquence que la cuisinière est moins incommodée par la chaleur et pas du tout par les gaz

Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

brûlés. Sa santé est protégée et son confort amélioré. De tels appareils sont donc infiniment préférables aux foyers à charbon utilisés traditionnellement dans les pays en voie de développement.

Conclusions

Il est établi que l'utilisation du bois sous forme de charbon gaspille les 4/5 de sa valeur calorifique. De plus, le rendement du foyer à charbon de bois est médiocre, il est courant de brûler 50 à 100 grammes de charbon pour porter 1 litre d'eau à ébullition alors que dans un fourneau à bois judicieusement construit cette consommation spécifique est de l'ordre de 50 g de bois par litre d'eau. On arrive ainsi à la comparaison, suivante :

**Pour faire bouillir un litre d'eau
Dans un fourneau à bois type MIHA/REDI
50 g de bois
Dans un brasero à charbon de bois
50 g de charbon de bois**

**Ces chiffres amènent à un rapport de,
consommation :**

**1 kg de bois de feu
pour
10 kg de bois transformé en 1 kg de charbon de bois
Ces comparaisons sont assez éloquentes pour que de grands efforts soient
entrepris pour répandre les fourneaux proposés par
REDI.**

**Leur succès sera une contribution majeure au sauvetage des arbres restant
dans les pays en voie de développement.**

Malheureusement, de très nombreux obstacles s'opposent au processus de passage du charbon à d'autres combustibles.

Il faut vaincre l'ignorance de la nature et des propriétés du charbon. Il faut lutter contre des habitudes profondément enracinées. De bons fourneaux multi-combustibles, à prix abordable, manquent totalement sur la plupart des marchés. Enfin, par dessus tout, dans de nombreux pays un puissant lobby domine la production et la distribution du charbon de bois.

Un argument fréquemment utilisé en faveur du charbon de bois repose sur le fait que les frais de transport semblent réduits par rapport au coût du transport du bois. En effet, le pouvoir calorifique du charbon de bois est environ le double de celui du bois.

Cet argument cesse d'être convaincant lorsque l'on tient compte de la différence de rendement entre un fourneau moderne à bois, (environ 50%) et un réchaud traditionnel à charbon qui n'utilise que 25 % de l'énergie calorifique. Dans ces conditions, les frais de transport d'une quantité unitaire de chaleur utile provenant du bois ou du charbon sont les mêmes. Cette affirmation peut être démontrée par les considérations suivantes :

Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

Valeur calorifique de 1000 kg de bois de feu
dans un fourneau de rendement = 50% :,
 $1000 \text{ kg} \times 13'400 \text{ kJ/kg} \times 0,50 =$
6,7 millions de kJ

Valeur calorifique de 1000 kg de charbon de bois
dans un réchaud de rendement = 25% :
 $1000 \text{ kg} \times 26'750 \text{ kJ/kg} \times 0,25 =$
6,7 millions de kJ

On voit donc que pour obtenir 6,7 millions de kJ on transportera indifféremment 1 tonne de bois ou 1 tonne de charbon.

Il faut toutefois rappeler que pour fabriquer une tonne de charbon de bois il est nécessaire récolter dix tonnes de bois. Donc, dans ces conditions, et du point de vue économique, les valeurs ci-dessus doivent être prises de la façon suivante :

Une tonne de bois de feu utilisé directement fournit 6,7 millions de kJ utiles.

Une tonne de bois transformé en charbon ne fournit que 0,67 millions de kJ utiles.

Ceci démontre que la chaleur utile tirée du bois de feu dans un fourneau à bon rendement est dix fois plus grande que celle que l'on reçoit en transformant ce bois en charbon. Ces considérations démontrent également que le transport de bois au lieu de charbon peut être économiquement justifié.

FOURNEAUX A BOIS OU BRASEROS A CHARBON ?

Comparaison entre les fourneaux REDI utilisant du bois de feu et des braseros traditionnels au charbon de bois.

Bases de comparaison

Pouvoir calorifique du charbon	26'750 kJ/kg
Pouvoir calorifique du bois de feu	13'400 kJ/kg
Rendement thermique du fourneau REDI	45%
" " du brasero traditionnel	15%
" " du brasero amélioré	30%

Quantité de bois nécessaire à la production de un kg de charbon = 10 kg

A. FOURNEAU A BOIS PAR RAPPORT AU BRASERO TRADITIONNEL.

1) 1 kg de bois utilisé dans un fourneau REDI dégage 13'400 kJ

Chaleur utile (ou chaleur reçue par la nourriture) : $13'400 \text{ kJ} \times 0,45 = 6'030 \text{ kJ}$

2) 1 kg de charbon de bois brûlé dans un brasero traditionnel dégage 26'750 kJ

Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant ?

Chaleur utile $26'750 \text{ kJ} \times 0,15 = 4010 \text{ kJ}$

$$6'030 : 4'010 = 1,5$$

Donc il faudra consommer 1,5 kg de charbon de bois pour disposer de la chaleur utile donnée par un kg de bois. La production de ce charbon nécessitera 15 kg de bois.

En d'autres termes, le brasero traditionnel a besoin de 15 fois plus de bois que le fourneau REDI pour préparer la même quantité de nourriture.

B. FOURNEAU REDI PAR RAPPORT AU BRASERO AMELIORE (rendement 30 %)

On pense souvent que l'usage d'un brasero fortement amélioré (dans l'exemple choisi la consommation de charbon est diminuée de moitié!) pourra résoudre de façon satisfaisante le problème tragique de la surconsommation de bois.

On va voir qu'on peut faire beaucoup mieux en utilisant directement le bois dans un fourneau bien conçu

Un kg de charbon brûlé dans un brasero amélioré dégage $26'750 \text{ kJ}$

Chaleur utile : $26'750 \times 0,3 = 8'025 \text{ kJ}$

$$6030 : 8'025 = 0,75$$

On voit qu'il suffit de trois-quarts de kg de charbon pour chauffer autant qu'avec un kg de bois. Mais la préparation de trois quarts de kg de charbon demande 7,5 kg de bois. Et la consommation de bois avec le brasero amélioré prend encore 7,5 fois plus de bois que le fourneau REDI.

Tous les calculs donnés ci-dessus sont basés sur des mesures effectuées par nos soins sur des fourneaux REDI et sur des braseros traditionnels ou améliorés.

En conclusion il se confirme que la cuisson sur le charbon de bois provoque un gaspillage énorme de bois et que les braseros améliorés sont insuffisants pour le réduire. L'usage systématique du charbon de bois accélère la déforestation des pays en voie de développement.

Bibliographie

1. FAO 'Reboisement et lutte contre l'érosion à Haïti. - Rapport technique
FAO.DP/HAI/72/012, FAO, Rome 1976
2. PNUD, FAO Descriptif du projet communautaire, Gouvernement de la République
d'Haïti (HAI/88/009)
3. Report on Charcoal, by D.E. Earl
FAO, Rome 1974
4. PNUD, FAO, Descriptif du projet Boisement Communautaire, Gouvernement de la
République d'Haïti. (HAI/88/009)
5. Charcoal. Forest Products Laboratory, Report No. 2213, July 1961. U.S. Departement
of Agriculture Forest Service
6. Report on Charcoal Industry in Somalia (SI/SOM/78/803), UNIDO, Vienna.
7. Survey of Simple Kiln Systems, S1/20 9/79 German Appropriate Technology
Exchange.(Gate)
8. Proceedings of the Seminar on the National Energy Policy on Tanzania. 10 to 14
September 1990, Arusha, p. 48
9. W. Micuta "Modern Stoves for All". Intermediate Technology Publications Ltd., 1985.
London WC2E 8HW
10. Essai du fourneau communautaire MIHA/REDI 50 litres.
Essai du fourneau REDI 15 litres. (Joli Feu),
Essai d'un réchaud traditionnel à charbon de bois.
Documentation REDI, 1990.

Réf. CB 1 91 F