



**HAL**  
open science

## Variabilité des qualités énergétiques de plaquettes de Bouleau en Sologne

Daniel Auclair, J.P. Jorez, Laurent Piermont

► **To cite this version:**

Daniel Auclair, J.P. Jorez, Laurent Piermont. Variabilité des qualités énergétiques de plaquettes de Bouleau en Sologne. *Revue forestière française*, 1985, 37 (5), pp.389-397. 10.4267/2042/21826 . hal-03423604

**HAL Id: hal-03423604**

**<https://hal.science/hal-03423604v1>**

Submitted on 10 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# technique et forêt

## VARIABILITÉ DES QUALITÉS ÉNERGÉTIQUES DE PLAQUETTES DE BOULEAU EN SOLOGNE

D. AUCLAIR - J.P. JOREZ - L. PIERMONT

Bien que l'utilisation énergétique du bois ne soit pas la plus valorisante pour la forêt, elle représente à l'heure actuelle environ la moitié de la consommation mondiale des produits forestiers : il ne s'agit que de 10 % de la production dans les pays développés, mais les 4/5 du bois consommé dans le tiers-monde le sont sous forme de combustible (P. Hakila, 1982). En France, le bois de feu est surtout utilisé en milieu rural ou forestier, de manière traditionnelle (en bûches ou en rondins). Une filière plus moderne comportant une alimentation automatique à l'aide de plaquettes se met en place progressivement dans différentes régions, permettant surtout une utilisation collective dans des installations de taille moyenne.

Ces « plaquettes » sont issues d'un déchiquetage de perches ou de produits connexes de l'industrie pouvant avoir lieu, soit en forêt, soit sur le site de transformation du bois (scierie, papeterie). Cette filière, qui fonctionne depuis plusieurs années dans d'autres pays (Suisse, Scandinavie), est mise en place depuis peu en France sous l'impulsion de différents organismes (municipalités, Centres régionaux de la Propriété forestière, sociétés de H.L.M. et Biochaleur, Agence française pour la Maîtrise de l'Energie). Dans une étude récente, B. Renaglia (1984) a recensé 100 installations de chaufferies automatiques au bois déchiqueté fonctionnant actuellement dans notre pays.

Il est important, aussi bien pour l'utilisateur que pour le fournisseur de combustible, de connaître les caractéristiques du matériau en question, notamment leurs variations possibles.

Le contenu énergétique d'un volume donné de plaquettes forestières dépend essentiellement des trois facteurs suivants :

— **Le taux d'humidité** : Il a un effet direct sur le pouvoir calorifique du bois, traduit par la formule suivante (C.T.B., 1981) :

$$P.C.I. = P.C.I._0 \left( \frac{100 - H}{100} \right) - 7,2 H$$

où P.C.I. est le pouvoir calorifique inférieur <sup>(1)</sup> à une humidité donnée, P.C.I.<sub>0</sub> est le pouvoir calorifique inférieur anhydre, H est le taux d'humidité (%) calculé par rapport au poids frais.

Il existe actuellement sur le marché des chaudières admettant un combustible relativement humide. Cependant, de nombreuses chaudières requérant un combustible plus sec ont déjà été installées. D'autre part, même celles qui acceptent une humidité plus élevée auront un rendement thermique variable en fonction du taux d'humidité. Enfin, des taux d'humidité différents peuvent nécessiter des réglages différents pour optimiser les rendements.

— **La masse volumique apparente**. Le pouvoir calorifique dépend directement du poids ; pour un volume donné, un bois moins dense (ou des plaquettes de densité apparente plus faible) aura un poids plus faible, donc un pouvoir calorifique plus faible.

Une étude assez complète de P. Robert (1984) donne un certain nombre de résultats concernant ces grandeurs, dans différentes conditions. Nous citerons ici quelques exemples :

— plaquettes forestières non calibrées de taillis, mélange d'essences, 3 à 4 mois de séchage sur coupe : masse volumique apparente 320 kg/m<sup>3</sup> à 30 pour cent d'humidité sur poids frais ;

— taillis de Bouleau, déchetage fin 10 × 10 × 3 mm en moyenne : masse volumique apparente 264 kg/m<sup>3</sup> à 39 pour cent d'humidité sur poids frais ;

— plaquettes de Chêne, déchetage fin 10 × 10 × 3 mm en moyenne (dosses et délinures) : masse volumique apparente 260 kg/m<sup>3</sup> à 19 pour cent d'humidité sur poids frais.

— **Le pouvoir calorifique** lui-même qui peut varier selon les espèces ou les individus, et selon la qualité du bois (degré de dégradation).

Quelques exemples sont donnés dans le tableau suivant (Kollmann, *in* C.T.B. 1981).

Les plaquettes forestières ont été largement étudiées en Scandinavie, notamment par T. Thornqvist (1984). Il nous a semblé intéressant de donner des résultats d'une expérience concrète ayant eu lieu en France.

Essences	Pouvoir calorifique inférieur à l'état anhydre (en kcal/kg)
Aulne .....	4 123-4 316-4 294
Bouleau .....	4 160-4 505
Charme .....	4 062-4 209
Chêne .....	4 356-4 390-4 244-4 216
Frêne .....	4 255-4 402
Hêtre .....	4 187-4 380-4 802
Epicéa .....	4 892-4 726-4 290-4 578
Mélèze .....	4 774-4 710-4 420
Pin .....	5 006-4 410-4 438
Sapin .....	4 621-4 496-4 654

Dans le présent travail, nous avons cherché à déterminer les variations de ces trois grandeurs, dans une situation précise. En effet, il est très important pour le consommateur de connaître les variations possibles dans la qualité énergétique du combustible, compte tenu des possibilités locales de production.

(1) Nous parlons ici du pouvoir calorifique « inférieur », qui tient compte de ce que l'eau produite lors de la combustion du bois demeure en l'état de vapeur. C'est cette grandeur qui est utilisée pour calculer le rendement des chaudières. Nous l'exprimons ici en kcal/kg (1 calorie = 4,18 joules).

Une étude de L. Denormandie et F. Gosset (1982) avait permis de faire le point sur les connaissances, bien maigres à l'époque, et avait débouché sur une suggestion d'expérimentation. Le présent article résume les résultats plus fiables d'une recherche plus vaste, menée en Sologne sur des plaquettes de bois provenant de taillis de Bouleau <sup>(2)</sup>.

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel étudié a été prélevé à différentes étapes de la « filière bois-énergie », telle qu'elle était pratiquée par la CO.F.OR.SOL. (Coopérative forestière d'Orléanais-Sologne), entre septembre 1982 et juillet 1983 :

— Après abattage, les perches de 4 m de long sont enstérées sur environ 4 m de hauteur sur une longueur de 10 à 50 m, en bord de route, et laissées pendant 8 à 18 mois. 31 tas de perches ont été étudiés. Ils comportaient presque exclusivement du Bouleau, quelques tas avaient un peu de Chêne, de Châtaignier, ou de Robinier.

— Les perches sont ensuite déchiquetées sur place (déchiqueteuse K.T.H.M. 240, Klockner), les plaquettes étant chargées dans des conteneurs de 25 m<sup>3</sup>.

— Les conteneurs sont transportés sur environ 30 km jusqu'au lieu d'utilisation, généralement le jour même où le bois a été déchiqueté. En effet les difficultés et les coûts de manutention proscrivent tout recours à un stockage des plaquettes.

#### Mesure du taux d'humidité

Environ 1 dm<sup>3</sup> d'échantillon, soit une rondelle, soit des plaquettes, est pesé avant et après séchage à l'étuve (à 105° C, jusqu'à poids constant, c'est-à-dire généralement pendant 48 heures). Le taux d'humidité est rapporté au poids frais. Afin d'éviter la confusion avec d'autres pourcentages, le pourcentage d'humidité sera noté « g/100 g ».

#### Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente des plaquettes livrées a été évaluée à partir du volume de plaquettes, estimé au moment de leur chargement dans le conteneur (25 m<sup>3</sup>), et du poids estimé sur un pont-basculé.

#### Mesure du pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique inférieur a été mesuré par l'A.P.P.A.V.E. ou par le C.T.B.A. (technique décrite par J. Doat, 1977).

### RÉSULTATS

#### Le taux d'humidité des perches

— Des rondelles ont été prélevées à environ 30 cm de l'extrémité des perches enstérées, à 0, 50 m, 1 m, et 2 m de hauteur. Ces prélèvements étaient répétés tous les 4 m sur toute la longueur du tas de perches. **Pour une humidité de l'ordre de 30 à 35 g/100 g, on obtient ainsi avec 30 échantillons une erreur au seuil de 5 % de 2 g/100 g sur la moyenne d'un tas.**

(2) « Qualités énergétiques des plaquettes produites en Sologne ». BIQCHALEUR, mai 1984, 142 p. Etude financée par l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie et le Conseil Régional de la Région Centre.

— Des mesures supplémentaires ont été effectuées sur quelques perches, en prélevant des rondelles tous les 40 cm sur une même perche. Les résultats étaient très variables, mais ont cependant montré que **les extrémités sont généralement plus sèches que le centre**. Nous n'avons cependant pas pu donner de loi générale permettant de prédire l'humidité moyenne d'un tas à partir des mesures à 30 cm de l'extrémité des perches.

— Sur dix petits tas de perches (pesant environ 600 kg), dont cinq étaient recouverts de bâches plastiques, on a étudié les variations du taux d'humidité. Malgré d'assez grandes variations dans le taux d'humidité (entre 20 et 50 g/100 g) on a pu montrer (test des signes) que **les tas bâchés avaient le plus souvent une humidité inférieure** à celle des tas sans bâche.

— Au cours de l'hiver, l'humidité des tas de perches enstérées à l'air libre, qui était proche de 30 g/100 g en automne, a généralement augmenté sans toutefois dépasser 35 g/100 g en moyenne.

Il est important de noter que les perches étudiées dans le présent travail avaient été abattues entre six et dix-huit mois avant leur déchiquetage. Malgré ce grand écart, nous n'avons pas pu mettre en évidence un effet de la durée du séchage entre 6 et 18 mois sur le taux d'humidité, qui était dans tous les cas proche de 30 g/100 g au début de l'automne.

**Le taux d'humidité des plaquettes**

— Cinq échantillons de plaquettes ont été prélevés dans chaque conteneur de 25 m<sup>3</sup>, donnant pour une humidité de l'ordre de 33 g/100 g une erreur au seuil de 5 % de 3 g/100 g sur la moyenne du conteneur.

Au cours de la saison (octobre à mai), 69 conteneurs ont été étudiés. Les variations dans le taux d'humidité sont illustrées par la figure 1.

— On a comparé le taux d'humidité des plaquettes avec le taux d'humidité du tas de perches dont elles étaient issues. Il n'y avait pas de corrélation significative entre ces grandeurs, notamment du fait d'un décalage de plusieurs jours entre l'étude du tas de perches et le déchiquetage.

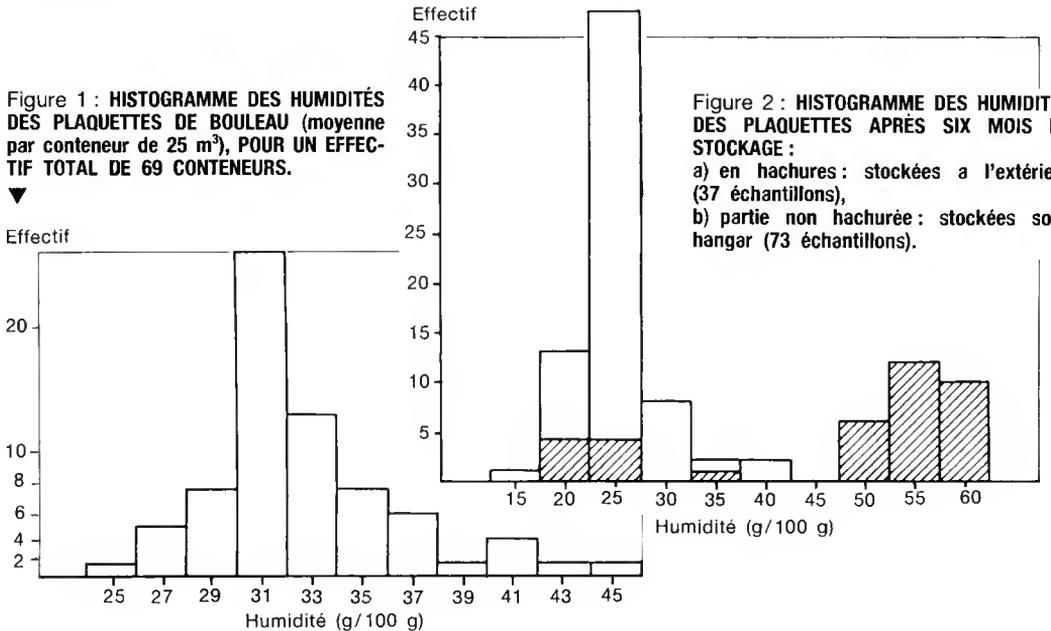


Figure 3: HISTOGRAMME DES MASSES VOLUMIQUES APPARENTES DES PLAQUETTES DE BOULEAU (moyenne par conteneur de 25 m<sup>3</sup>), POUR UN EFFECTIF TOTAL DE 69 CONTENEURS.

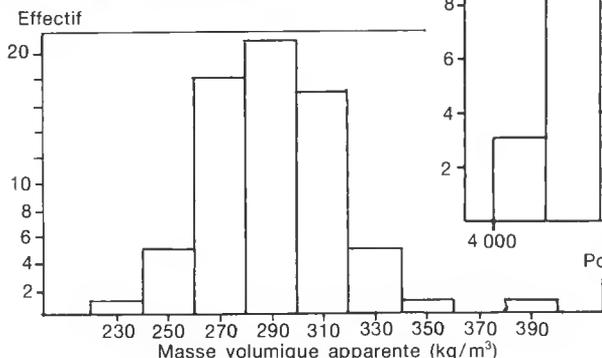
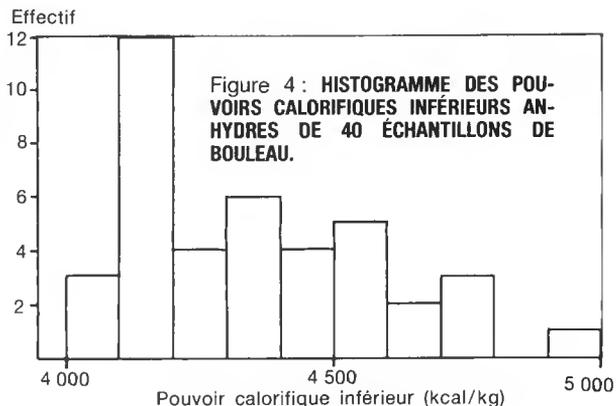


Figure 4: HISTOGRAMME DES POUVOIRS CALORIFIQUES INFÉRIEURS ANHYDRES DE 40 ÉCHANTILLONS DE BOULEAU.



— Un stock de plaquettes de 70 m<sup>3</sup> a été entreposé à l'air libre en décembre. Son taux d'humidité était alors de 35 g/100 g. Des mesures effectuées en juillet de l'année suivante ont montré que la partie supérieure du tas était beaucoup plus humide que la partie inférieure. Un histogramme (figure 2, fraction a) montre que l'humidité des 37 échantillons étudiés se sépare en deux populations distinctes, de moyennes respectives 57 g/100 g (partie supérieure du stock) et 26 g/100 g (partie inférieure).

Par contre, un deuxième stock de 120 m<sup>3</sup> entreposé dans un hangar dans les mêmes conditions (humidité de 35 g/100 g en décembre) n'a pas montré cette séparation (figure 2, fraction b). Son taux d'humidité moyen était de 25 g/100 g en juillet.

#### La masse volumique apparente des plaquettes

La masse volumique apparente des plaquettes, c'est-à-dire le rapport de leur masse au volume apparent, a été estimée sur 69 conteneurs au cours de la saison, donnant une valeur **moyenne de 293 kg/m<sup>3</sup>**. Les variations sont illustrées par la figure 3.

Il est intéressant de connaître la quantité réelle de bois anhydre dans un volume donné, c'est pourquoi nous avons estimé une « **masse volumique anhydre** », connaissant l'humidité réelle de chaque échantillon. On a obtenu une valeur **moyenne de 197 kg/m<sup>3</sup>**.

#### Le pouvoir calorifique inférieur

Cette grandeur, particulièrement importante pour un usage énergétique, peut être mesurée sur du bois anhydre ou sur du bois humide.

Nous ne donnerons ici que les valeurs du P.C.I. (anhydre). **Il a été mesuré sur 40 échantillons, donnant un P.C.I. moyen de 4 355 kcal/kg.** Les variations sont représentées sur la figure 4.

#### Résultats globaux

Il nous a semblé intéressant pour la pratique de donner en plus des valeurs moyennes observées, l'écart-type, le coefficient de variation et les intervalles de valeurs suivants :

- minimum et maximum observés,
- seuils minimum et maximum au seuil statistique de 5 %,
- seuils minimum et maximum au seuil statistique de 1 %.

Ces résultats sont présentés dans le tableau I.

Tableau I : Statistiques concernant la masse volumique, l'humidité et le pouvoir calorifique des plaquettes. Seuils minimum et maximum observés, et seuils statistiques de 5 % et 1 % (c'est-à-dire valeurs qui, statistiquement, ne seront dépassées que dans 5 % et 1 % des cas).

	Masse volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	Humidité sur poids frais (g/100g)	Pouvoir calorifique inférieur anhydre (kcal/kg)
Moyenne .....	293	32,7	4 355
Effectif .....	69	69	40
Ecart-type .....	26	3,8	237
Coefficient de variation (%) .....	8,9	11,8	5,4
Valeurs observées			
- mini .....	220	26	4 033
- maxi .....	396	46	4 937
Intervalle de confiance à 5 %			
- mini .....	241	25	3 876
- maxi .....	345	40	4 834
Intervalle de confiance à 1 %			
- mini .....	224	22	3 714
- maxi .....	362	43	4 996

Nous avons assimilé ici la loi de distribution des résultats à une loi normale. En réalité, pour toutes les variables étudiées nous avons un écart significatif à la normale. Cependant, compte tenu des incertitudes sur la mesure elle-même, du faible nombre d'échantillons, et de l'absence de données plus précises, nous admettons les hypothèses de normalité pour calculer des intervalles de confiance approximatifs.

## DISCUSSION

— Si, pour des conditions bien définies, on arrive à estimer certaines grandeurs avec une erreur assez faible : 2 g/100 g pour l'humidité d'un stock de perches à un moment donné, 3 g/100 g pour l'humidité des plaquettes d'un conteneur, on peut cependant constater de très fortes variations d'un échantillon à l'autre ;

— Il est clair que l'humidité du bois dépend de nombreux facteurs, tels que la date d'abattage, la durée du stockage à l'air libre, les conditions atmosphériques. L'humidité des plaquettes dépend de l'humidité du stock de bois avant le déchetage et les conditions atmosphériques durant le déchetage. Les valeurs données ici, et notamment les variations, semblent être un résultat pouvant intéresser les praticiens, sachant que ce sont des valeurs réelles rencontrées dans les conditions d'exploitation normale ;

— La masse volumique apparente dépend bien sûr de la densité du bois elle-même, mais également de la granulométrie des plaquettes. La densité du Bouleau a été étudiée par G.

Nepveu et P. Velling (1983) qui ont montré qu'elle pouvait augmenter de plus de 30 %, lorsque le bois passe de l'état jeune à l'état adulte, et qu'elle présentait une forte variabilité génétique : ils ont calculé un coefficient de variation de 5,7 % à l'intérieur d'une population de 20 familles issues d'un même peuplement.

Les dimensions des plaquettes sont théoriquement assez bien calibrées, mais présentent en réalité d'assez larges variations autour de la moyenne (15 mm x 10 mm x 3 mm). L'affûtage des couteaux de la déchiqueteuse peut notamment influencer la granulométrie.

Il est évident que la méthode de mesure de la masse volumique entraîne une grande incertitude : bien que le volume du conteneur soit constant, son contenu peut varier. Cependant, même s'il y a un certain tassement des plaquettes au cours du transport, le volume a été évalué au moment du chargement, et est réputé constant. L'erreur sur la pesée est difficile à estimer. En effet, si la précision du pont-basculé est de l'ordre de 2 pour 1 000, d'autres erreurs peuvent s'y ajouter (quantité de carburant, boue, etc...)

Si l'on considère que l'infradensité du Bouleau est égale à 433 g/dm<sup>3</sup> (données de G. Nepveu et P. Velling, 1983), on peut estimer un « coefficient de foisonnement » de 2,2.

— Il est intéressant de noter qu'il n'y a aucune corrélation entre la « masse volumique apparente » observée et l'« humidité des plaquettes ». Cependant nous renouvelerons nos réserves quant aux incertitudes sur les mesures : il est difficile d'en tirer des conclusions trop fermes.

— Le pouvoir calorifique du bois a été étudié par de nombreux auteurs (M. S. Darling, 1976 ; J. Doat et J. C. Valette, 1980). W. A. Hough (1969) a trouvé un coefficient de variation intraspécifique faible (inférieur à 2 %) sur différentes espèces forestières américaines feuillues et résineuses, J. Doat (1977) a par contre observé chez certaines espèces tropicales des coefficients de variation allant jusqu'à 7 %. Les résultats trouvés ici confirment ceux de la littérature, montrant que le Bouleau a un P.C.I. légèrement supérieur à la moyenne des feuillus (C.T.B., 1981)

Les variations du P.C.I. (coefficient de variation de 5 %) peuvent s'expliquer notamment par une composition chimique variable, par exemple en ce qui concerne les proportions de cellulose et de lignine. La lignine a en effet un pouvoir calorifique de 50 % supérieur à celui de la cellulose. La proportion d'écorce, qui peut atteindre 15 % dans les bois de petites dimensions (D. Auclair et S. Métayer, 1980), est elle aussi importante. Elle présente une hygroscopicité plus grande que le bois, mais aussi un pouvoir calorifique supérieur d'environ 7 %.

Le type de sylviculture pourrait influencer les qualités énergétiques du bois : Y. Z. Lai et *al.* (1979) ont en effet remarqué que les rejets de souche pouvaient présenter un taux d'humidité supérieur et une densité inférieure par rapport aux arbres issus de graines, alors que le pouvoir calorifique ne semblait pas influencé. Cependant, dans la pratique, les bois destinés à une utilisation énergétique sont, notamment en France, issus essentiellement des taillis.

— Grâce aux données dont nous disposons, nous pouvons essayer d'évaluer le « contenu énergétique des plaquettes », à partir des valeurs moyennes d'humidité, de masse volumique et de pouvoir calorifique.

Nous obtenons ainsi un « **contenu énergétique maximum** » pour des plaquettes anhydres de **858 thermies ou de 3 590 mégajoules par mètre cube apparent**. En admettant les hypothèses de normalité et d'indépendance des variables, on peut estimer que le coefficient de variation est de 12,4 %.

Nous pouvons estimer que la valeur moyenne du pouvoir calorifique inférieur, à l'humidité de 32,7 g/100 g, est égale à 2 695 kcal/kg.

**La valeur moyenne pour une livraison, à l'humidité de 32,7 g/100 g, est estimée à 790 thermies, soit 3 300 mégajoules par mètre cube apparent, avec un coefficient de variation de 12,7 %.**

Avec les réserves ci-dessus (erreurs de mesure, hypothèses de normalité et d'indépendance des variables), nous pouvons calculer des seuils minimum et maximum pour le « contenu énergétique des plaquettes » donnés ici en « thermies par mètre cube apparent de plaquettes » (th/map).

risque 5 %	minimum : 594 th/map ;	maximum : 986 th/map ;
risque 1 %	: 533 th/map ;	: 1 047 th/map ;

Si l'on rapporte nos résultats au taux d'humidité de 30 g/100 g, référence souvent utilisée dans la littérature, nous obtenons une masse volumique apparente de 280 kg/m<sup>3</sup> et un pouvoir calorifique inférieur de 2 830 kcal/kg. Ces valeurs concordent avec celles de la littérature (C.T.B., 1981 ; P. Robert, 1984). La masse volumique apparente est cependant plus faible que celle utilisée par B. Renaglia (1984) dans ses calculs de rentabilité.

### QUELQUES CONCLUSIONS PRATIQUES

Si la filière étudiée ici doit être améliorée, et c'est possible, il semble cependant clair qu'une certaine variabilité dans les qualités énergétiques du bois sera difficile à diminuer. On peut obtenir une humidité plus faible et plus régulière en améliorant les conditions de séchage. Cependant toute manipulation supplémentaire dans la fabrication du combustible risque d'en augmenter fortement les coûts. Il est d'autre part important de noter que, toutes choses égales par ailleurs, si l'humidité varie entre 25 et 35 g/100 g, le « contenu énergétique » des plaquettes ne variera que de 4 %.

Par contre, les dimensions des plaquettes ont un effet beaucoup plus important sur le résultat final, puisqu'une variation de 10 % de la masse volumique apparente des plaquettes fera varier leur « contenu énergétique » dans la même proportion (10 %). Il semble donc intéressant, si les plaquettes doivent être commercialisées en volume, de bien surveiller leur masse volumique apparente plutôt que leur humidité.

Il semble actuellement difficile d'agir sur la densité du bois. Celle-ci est héréditaire, et une sélection génétique peut être préconisée en ce sens, cependant si cette solution est envisagée elle ne peut avoir qu'un résultat à très long terme. Le pouvoir calorifique, lui, semble encore plus difficilement contrôlable. Ces deux grandeurs, densité et pouvoir calorifique, ont une influence relativement faible sur la variabilité totale.

La conclusion principale de cette étude concerne la difficulté de déterminer avec précision les caractéristiques thermiques d'un matériau tel que le bois. Les techniques d'échantillonnage sont difficiles à mettre en œuvre, induisant une grande incertitude dans les résultats, qui s'ajoutent aux variations inhérentes au matériau lui-même.

Si le taux d'humidité est important, la granulométrie peut beaucoup contribuer à la variabilité des résultats. La solution est sans doute de commercialiser les plaquettes au poids et non en volume, mais ceci nécessiterait un protocole précis de mesure de l'humidité. Ceci est actuellement à l'étude dans les pays scandinaves (M. Nylinder, 1984).

Compte tenu de ces difficultés, il semble plus judicieux, plutôt que de tenter de réduire les variations, de s'orienter vers des chaudières pouvant accepter une matière première moins élaborée, aux caractéristiques moins calibrées, mais bon marché. On peut d'ailleurs noter une orientation dans ce sens, puisque d'un côté, suite à la présente étude, la Société Biochaleur et

L'Agence française pour la Maîtrise de l'Energie ont lancé un concours pour la fabrication de chaudières à plaquettes, très tolérantes à l'égard de la granulométrie et de l'humidité du combustible, et d'un autre côté l'association Forêt Energie France envisage l'installation de chaufferies automatiques de grande puissance utilisant directement des rondins.

D. AUCLAIR  
Station de Sylviculture  
CENTRE DE RECHERCHES D'ORLÉANS (I.N.R.A.)  
ARDON  
45160 OLIVET

J.P. JOREZ - L. PIERMONT  
BIOCHALEUR  
2 rue Lord Byron  
75008 PARIS

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier pour leur participation active à ce travail :

- Messieurs Formery et Cauberville du Centre régional de la Propriété forestière d'Orléans ;
  - Messieurs Baylot et Vautherin du Centre technique du Bois et de l'Ameublement ;
  - Mademoiselle Frejafond et Messieurs Valois, Chaigne et Cochin de la CO. FOR. SOL. (Coopérative forestière d'Orléanais-Sologne) ;
  - Monsieur Brondel de l'O.R.E.A.C. (Organisation d'études et d'Aménagement de la Région Centre) ;
- ainsi que tous les collègues qui ont lu et critiqué ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUCLAIR (D.), METAYER (S.). — Méthodologie de l'évaluation de la biomasse aérienne sur pied et de la production en biomasse des taillis. — *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, n° 1, 1980, pp. 357-377.
- CENTRE TECHNIQUE DU BOIS. — Le chauffage au bois. — *Cahier du Centre technique du Bois*, n° 16, 1981, 47 p.
- DARLING (M.S.). — Interpretation of global differences in plant calorific values. The significance of desert and arid woodland vegetation. — *Oecologia*, vol. 23, n° 2, 1976, pp. 127-139.
- DENORMANDIE (L.), GOSSET (F.). — Taux d'humidité et stockage des plaquettes de bois à usage énergétique. — Nancy : Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1982, 22 p.
- DOAT (J.). — Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. — *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 172, 1977, pp. 33-55.
- DOAT (J.), VALETTE (J.C.). — Le pouvoir calorifique supérieur d'espèces forestières méditerranéennes. — Document C.T.F.T./I.N.R.A., 1980, 8 p.
- HAKKILA (P.). — Wood as a world-wide fuel source. In : W. RAMSAY-SMITH, Ed : *Energy from Forest Biomass*. — New-York : Academic Press, 1982, pp. 1-4.
- HOUGH (W.A.). — Caloric value of some forest fuels of the Southern United States. — *U.S.D.A. Forest Service research note SE-120*, Southern Forest Experiment Station, Asheville N. C., U.S.A., 1969, 5 p.
- LAI (Y.Z.), SAJDAK (R. L.), MROZ (G. D.), JURGENSEN (M. F.), SCHWANDT (D. L.), STEINHILB (H. M.). — Properties of hardwood sprouts and seedlings. *Tappi*, vol. 62, n° 4, 1979, pp. 84-85.
- NEPVEU (G.), VELLING (P.). — Variabilité génétique individuelle de la qualité du bois chez *Betula pendula* Roth. *Silvae Genetica*, vol. 32, n° 1-2, 1983, pp. 37-49.
- NYLINDER (M.). — Weighing the most promising. In : *Forest Energy in Sweden*. — Garpenberg (Suède) : Swedish University of Agricultural Sciences, 1984, pp. 90-91.
- RENAGLIA (B.). — Recensement des chaufferies automatiques au bois. Mémoire E.N.I.T.E.F., 1984, 139 p + Annexes.
- ROBERT (P.). — De la forêt aux chaufferies à bois à alimentation automatique. — Paris : Institut pour le Développement forestier, 1984, 270 p.
- THORNQVIST (T.). — Moisture content decisive. In : *Forest Energy in Sweden*. — Garpenberg (Suède) : Swedish University of Agricultural Sciences, 1984, pp. 76-79.