



Photo Corbasson.

Equateur -- Forêt dans la région de Zumbi - Province de Zamora Chinchepe.

LE POUVOIR CALORIFIQUE DES BOIS TROPICAUX

par Jacqueline DOAT *

*Ingénieur à la division Cellulose et Chimie
du Centre Technique Forestier Tropical*

RESUMEN

EL PODER CALORIFICO DE LAS MADERAS TROPICALES

Si se habla de madera en tanto que fuente de energía, es preciso conocer su poder calorífico. El laboratorio de química del Centro Técnico Tropical de Francia ha realizado ensayos sobre 111 especies tropicales (África, Asia y América del Sur) y 4 especies temperadas a título de referencia. Se ha reconocido que no existe correlación entre el poder calorífico de una madera y su densidad. Se ha estudiado la relación entre el poder calorífico y la composición química de la madera. Se han establecido correlaciones simples y, por mediación de correlaciones múltiples, se ha podido calcular con una aproximación satisfactoria el poder calorífico a partir de la constitución química.

* Cette étude a été effectuée avec la collaboration technique de D. Askri et L. CAUMARTIN, Techniciennes à la division Cellulose et Chimie.

SUMMARY

THE CALORIFIC VALUE OF TROPICAL WOODS

In considering wood as a source of energy, we must know its calorific value. The chemical laboratory of the Centre Technique Forestier Tropical performed tests on 111 tropical species from Africa, Asia and South America, and 4 temperate species to serve as a reference. It was recognized that there was no correlation between the calorific value of a wood and its density. The relation between calorific value and chemical composition was studied. Simple correlations were established, and by means of multiple correlations it was possible to calculate, to a satisfactory degree of approximation, the calorific value from the chemical constitution.

INTRODUCTION

Le bois est sans doute le premier matériau employé par l'homme comme combustible. Il a servi tout d'abord à la cuisson des aliments et à la lutte contre le froid. Ultérieurement, il a été utilisé pour l'alimentation des foyers et chaudières domestiques ou la production de vapeur au début de l'ère industrielle. Ensuite dans les pays industrialisés, le bois a été vite supplanté par la houille, puis par le pétrole qui, après la deuxième guerre mondiale, était disponible à un prix avantageux. Toutefois, dans les pays en voie de développement, le bois (et le charbon de bois) restent les combustibles de base pour la cuisine familiale, et servent aussi comme source d'énergie dans des ateliers ou des petites-entreprises. Enfin, les difficultés d'approvisionnement en pétrole brut et la très forte augmentation de son prix ont fait que l'on considère à nouveau en Europe et en Amérique du Nord, les possibilités d'emploi des produits ligneux : matière première naturelle, renouvelable et qui peut être actuellement obtenue, surtout lorsqu'il s'agit de déchets, à des prix compétitifs. Les utilisations du bois peuvent correspondre à l'emploi de déchets de scierie dans des chaudières industrielles, à l'ins-

tallation de chaudière à bois pour le chauffage d'un groupe d'immeubles (comme récemment dans l'Est de la France), à la mise en route ou en application de recherches sur la production d'énergie à partir du bois aux U. S. A. et en Europe (1), (2), (3), (4), etc...

Or, si l'on parle du bois comme source d'énergie, il convient de connaître avec exactitude son pouvoir calorifique. C'est ce qui a été fait dans un premier stade à la division Cellulose et Chimie du Centre Technique Forestier Tropical. Le Centre disposant d'un échantillonnage de bois important et varié, on a d'abord mesuré le pouvoir calorifique des bois, de façon à obtenir une sorte de catalogue sur plus de cent espèces différentes.

On a ensuite essayé d'interpréter les résultats obtenus et de tirer des lois générales, par le calcul de coefficients de corrélation et de régressions simples ou multiples, permettant de relier le pouvoir calorifique aux propriétés physicochimiques des bois.

On a enfin déterminé la variabilité des pouvoirs calorifiques pour une essence donnée et essayé d'effectuer une classification sommaire des bois.

GÉNÉRALITÉS SUR LE POUVOIR CALORIFIQUE

On appelle « pouvoir calorifique » d'un corps la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids de ce corps. Le pouvoir calorifique s'exprime en calories par g (ou kilocalories par kg).

Le pouvoir calorifique est dit « pouvoir calorifique supérieur » (p. c. s.) quand la combustion s'effectue à volume constant et quand l'eau formée au cours de la combustion est condensée. Ces conditions sont celles des mesures à la bombe calorimétrique.

Le pouvoir calorifique est dit « pouvoir calorifique inférieur » (p. c. i.) quand la combustion est effectuée à pression constante c'est-à-dire à l'air libre. Dans ce cas, l'eau de combustion n'est pas condensée.

Le p. c. i. se déduit par le calcul du p. c. s. en connaissant le nombre de molécules d'eau formée et la chaleur nécessaire au passage de l'état de vapeur d'eau à 100° à l'état liquide à 15°. Certains auteurs (8) donnent, pour du bois sec, la formule moyenne suivante : p. c. i. = p. c. s. — 600 × 9 H

ce qui donne pour 6 % d'H, p. c. i = p. c. s. — 324 cal/g.

Dans la pratique, le pouvoir calorifique d'un corps varie dans de fortes proportions suivant son degré d'humidité. La quantité de chaleur fournie diminue quand la teneur en eau du bois augmente.

On a donné (5) les formules suivantes pour le calcul du p. c. du bois en fonction de son humidité :

- si E = humidité du bois en % du bois brut

$$Pe = Po \cdot \frac{100-E}{100} - 6E$$

avec Pe = p. c. à humidité E ;
et Po = p. c. sur sec 100 % ;

- si H = humidité du bois en % du poids sec

$$PH = \frac{Po - 6H}{100 + H} \times 100$$

avec PH = p. c. à humidité H ;
et Po = p. c. sur sec 100 %.

Ainsi pour un bois ayant un p. c. s. de 4820, on aura un p. c. i. de l'ordre de 4.500 et un p. c. i. (à 12 % d'humidité) de 3.890.

Enfin, on peut citer à titre de comparaison les pouvoirs calorifiques de différents combustibles :

	p. c. s.
Tourbe.....	5.000
Lignite.....	6.000 à 6.500
Coke.....	8.500
Anthracite	8.000
Charbon de bois	7.000 à 7.500
Pétrole.....	11.000
Carbone pur	8.100
Hydrogène	34.000

Les chiffres trouvés dans la littérature pour le p. c. s. des bois de zone tempérée sont en moyenne de 4.500.

On verra dans l'étude suivante que certains bois tropicaux s'écartent nettement de cette moyenne.

GÉNÉRALITÉS SUR LE BOIS

Le bois est un matériau dont la composition élémentaire varie peu quelle que soit l'espèce. Aussi on admet (5), (6), que le bois anhydre contient

- 49 à 50 % de carbone,
- 6 % d'hydrogène,
- 43 à 44 % d'oxygène,
- 0,5 % d'azote.

Toutefois, selon la nature de l'essence ou le lieu de récolte, les bois ont des teneurs variables en matières minérales (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, silice, phosphore, soufre, etc...).

Par contre, la constitution chimique des bois est loin d'être constante puisque les taux des différents constituants peuvent être les suivants :

- Lignine : 20 à 40 %,
- Cellulose : 30 à 50 %,
- Pentosanes : 9 à 28 %,
- Mannanes et galactanes : 0 à 12 %,
- Produits extractibles : 0,2 à 20 % (ces produits sont constitués par des résines, des oléorésines, des gommes, des cires, des graisses, des huiles, etc...).

Si l'on considère les essences des régions tempé-

rées, deux classes de bois se distinguent du point de vue de leur composition chimique : les résineux contenant peu de pentosanes mais ayant des teneurs relativement élevées de mannanes et les feuillus contenant beaucoup de pentosanes et pratiquement pas de mannanes. De plus, les premiers sont généralement plus riches en lignine et en extraits que les seconds. Avec les bois tropicaux qui sont constitués presque uniquement de feuillus, on trouve des teneurs très variables de ces différents constituants selon l'espèce ou le genre.

Enfin, les caractéristiques physiques des bois (duretés, résistances, densités) dépendent de l'essence. Si l'on considère en particulier la masse spécifique, on remarque que si la densité des feuillus tempérés peut aller de 0,45 (peuplier) à 0,65-0,7 (chêne) et celle des résineux tempérés de 0,35 à 0,5, on trouve avec les bois tropicaux une fourchette de variation beaucoup plus large. Les densités sèches peuvent s'étager en effet entre 0,1-0,2 (balsa-parasolier-*cecropia*) et 1,2-1,3 (*licania*, *coula* etc...).

La matière première ligneuse tropicale constitue donc un champ d'investigation intéressant pour l'étude qui nous concerne.

ESSAIS EFFECTUÉS AU LABORATOIRE. MÉTHODOLOGIE

Echantillonnage des bois.

On a pu disposer pour cette étude d'un nombre important de bois provenant de diverses régions du globe. On a testé :

- 67 bois du Surinam,
- 22 bois d'Indonésie,
- 8 bois de Haute-Volta,
- 6 bois du Cameroun,
- 2 bois du Congo,

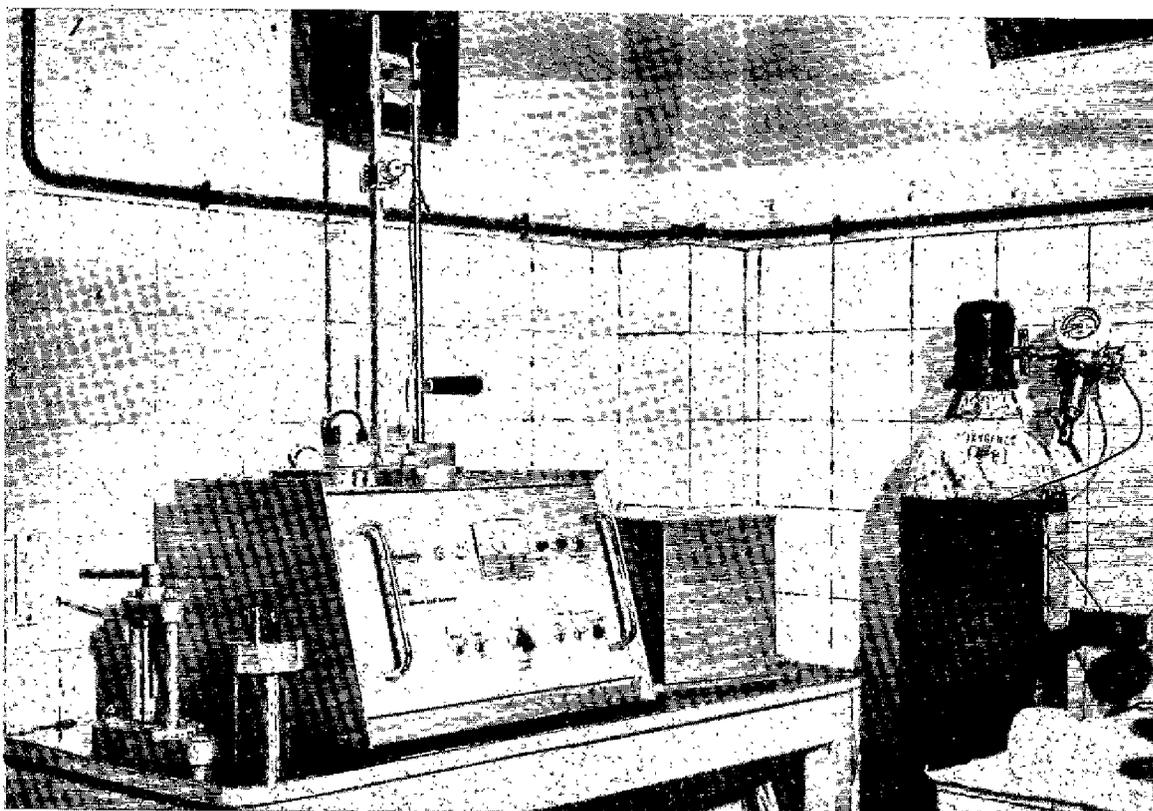


Photo Chatelain — C. T. F. T.

*Calorimètre adiabatique pour la détermination des pouvoirs calorifiques.
Division de Cellulose et Chimie — C. T. F. T.*

— 2 bois de Côte-d'Ivoire,
— 2 bois du Gabon,
— 2 bois d'Équateur,
— 4 bois tempérés (à titre de référence),
soit un total de 115 essences. La liste de ces bois avec leur nom local, leur nom scientifique et leur provenance est donnée en annexe :

au tableau 1 pour les bois du Surinam,
au tableau 2 pour les bois d'Indonésie,
au tableau 3 pour les bois des autres provenances.

Détermination des pouvoirs calorifiques.

Les pouvoirs calorifiques supérieurs (p. c. s.) ont été mesurés au laboratoire à l'aide d'une bombe calorimétrique sur environ 1,8 g d'échantillon séché à l'étuve et fractionné en petites allumettes. La bombe calorimétrique a été placée dans un calorimètre adiabatique Gallemplkamp. Après la mise à feu et l'équilibrage de l'ensemble, on a déterminé l'élévation de température sur un thermomètre de précision à 0,005° près.

Avant les mesures, on a chiffré la valeur en eau du calorimètre avec de l'acide benzoïque rigoureusement pur de pouvoir calorifique connu (6.319 cal/g).

Les résultats de p. c. s. sont exprimés en calories par gramme de bois sec 100 %.

REMARQUE : On a aussi chiffré, en répétant un nombre de fois suffisant les essais, la précision de la mesure du p. c. s. Cette précision est de l'ordre de 1 % sur un même échantillon.

Détermination des densités des bois.

La densité des bois a été déterminée sur bois secs 100 %. Les valeurs données correspondent à la formule :

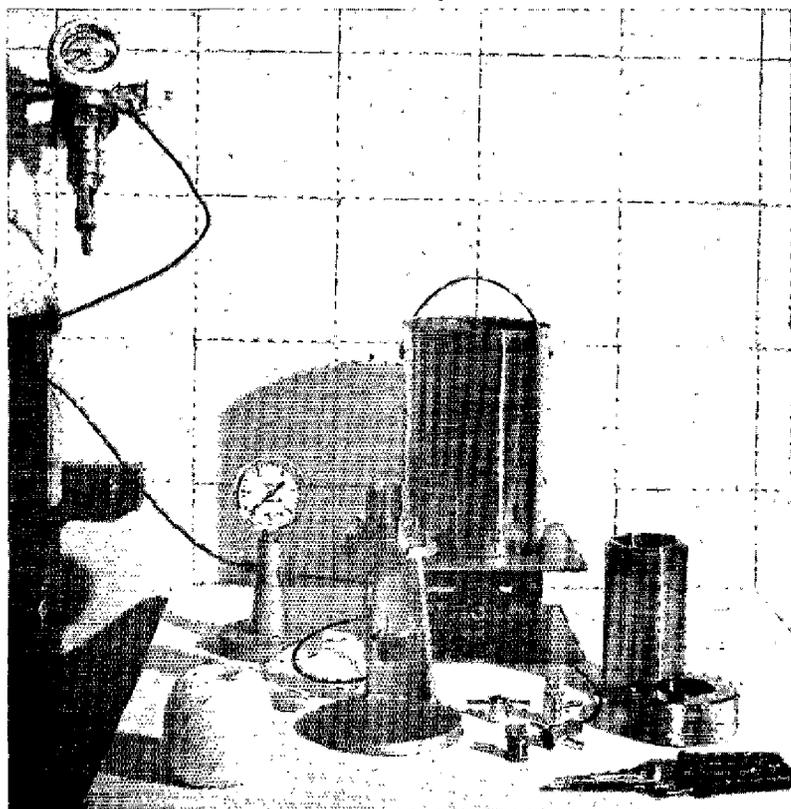
$$\frac{\text{poids (sec 100 \%)} }{\text{volume (sec 100 \%)} }$$

Détermination de la composition chimique des bois.

Les constituants ont été dosés sur les bois mis en sciure fine et tamisés entre 2 tamis, d'ouverture de maille de 0,40 mm et 0,16 mm.

EXTRAIT A L'ALCOOL-BENZÈNE : Extraction au Soxhlet à l'aide d'un mélange 1/1 des deux solvants pendant 7 h.

EXTRAIT A L'EAU : ébullition à reflux pendant 7 h dans de l'eau distillée.



Bombe calorimétrique avec accessoires. Division Cellulose-Chimie --- C. T. F. T.

Photo Chatelain — C. T. F. T.

LIGNINE : méthode de Klason à SO_4H_2 à 67 %.

CENDRES : incinération au moufle à 425 °C et pesée du résidu.

CARBOHYDRATES TOTAUX : on avait pensé initialement doser séparément les celluloses, les pentosanes et les autres carbohydrates. On a finalement préféré, dans un but de simplification, déterminer la totalité des carbohydrates, en appliquant la formule : 98 % — (E_{AB} + Eau + lignine + cendres).

REMARQUE. La valeur 98 % a été prise arbitrairement car au cours de l'analyse chimique, le bilan n'atteint pratiquement jamais 100 %, certains groupements ou fonctions, (méthoxyles, acétyles, carbonyles, etc...), n'étant pas dosés.

RÉSULTATS ENREGISTRÉS

POUVOIRS CALORIFIQUES ET DENSITÉS

On trouvera aux tableaux 4 et 5 (1), les densités des bois et les valeurs des pouvoirs calorifiques supérieurs (en cal/g ou kcal/kg). On a aussi reporté dans ces tableaux les p. c. s. exprimés non plus en calories par poids mais en calories par volume de bois (cal/cm³ ou kcal/dm³). Ce pouvoir calorifique est parfois appelé pouvoir calorifique spécifique. On a enfin calculé les coefficients de corrélation (r) entre la densité et les p. c. s. ainsi que l'équation des droites de régression. Les résultats sont transcrits sur les graphiques A.

On remarque tout d'abord que les p. c. s. (cal/g) varient entre 4.310 et 5.170, ce qui est assez important. La valeur moyenne du p. c. s. sec 100 % est de 4.769 cal/g. La fourchette des densités est aussi très large puisque l'on trouve à la limite inférieure un bois très léger ($d = 0,14$) et à la limite supérieure des bois de densité supérieure à 1.

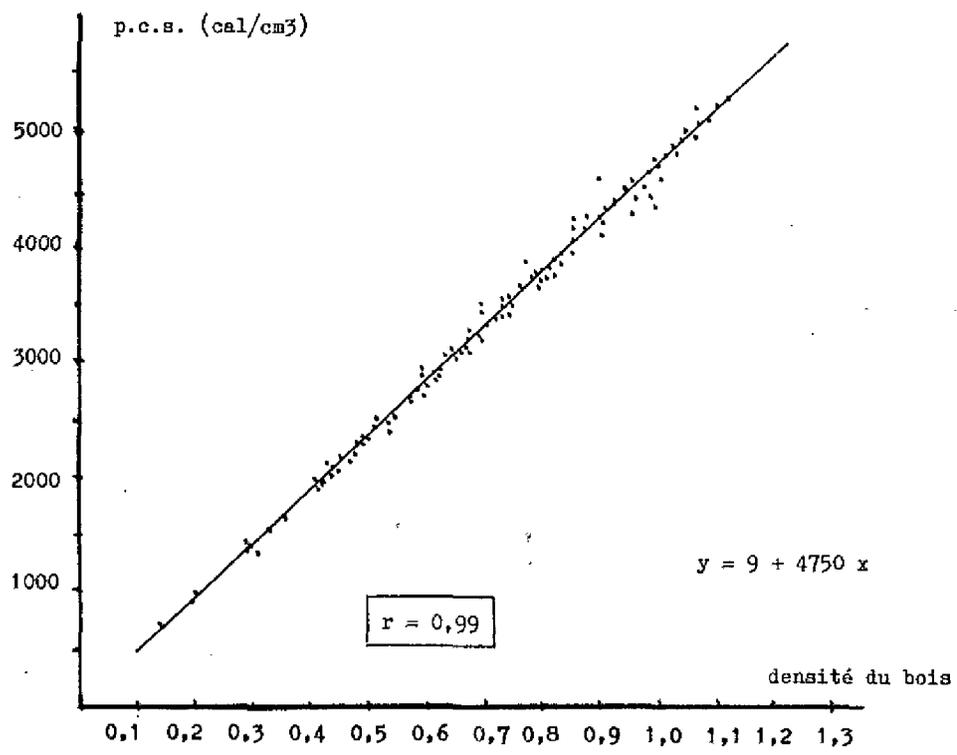
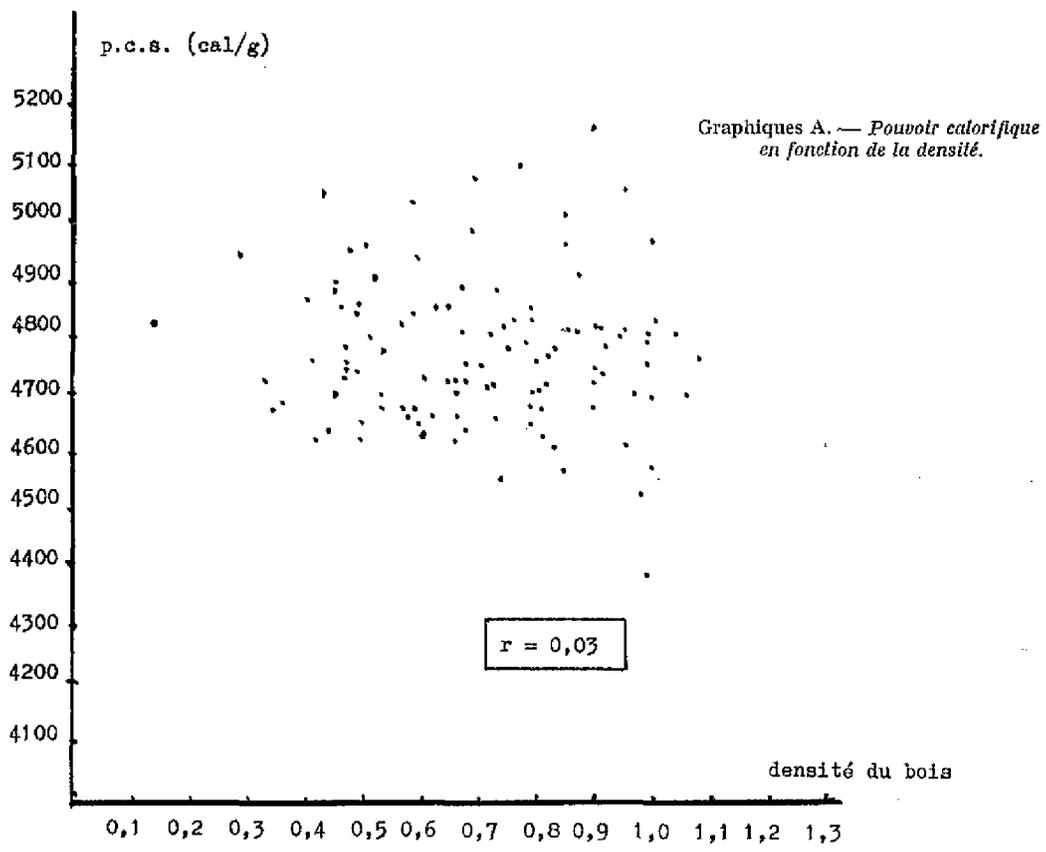
Du point de vue corrélation, on a trouvé pour la relation p. c. s. (cal/g) = f (densité), un coefficient r de 0,03.

Ceci indique qu'il n'y a pas corrélation entre le pouvoir calorifique d'un bois et sa densité.

On peut citer pour illustrer cette remarque, deux exemples pris parmi les résultats obtenus sur les bois du Surinam. Le Spikri cedoe dont la densité est 1,10 à un p. c. s. de 4.855 analogue à celui du Kankan cedoe (4.820) dont la densité est 0,14.

Par contre, si le pouvoir calorifique est exprimé par rapport au volume du bois (soit en cal/cm³), on trouve alors évidemment une corrélation excellente ($r = 0,99$) puisque pour calculer ce nouvel indice on fait intervenir la densité. Dans ce cas, les p. c. s. varient dans une très large mesure de 675 à plus de 5.400. Il est bien évident que si l'on achète du bois de chauffe au stère, on a intérêt à choisir du bois lourd qui souvent en plus « tient » bien le feu.

(1) En annexe.



POUVOIR CALORIFIQUE ET COMPOSITION CHIMIQUE

P. C. S. des constituants du bois.

On a tout d'abord mesuré au laboratoire, les pouvoirs calorifiques des différents constituants du bois. On a trouvé pour la lignine isolée à l'acide sulfurique 6.100 cal/g, pour une pâte à dissoudre se rapprochant de la cellulose pure 4.070 cal/g, pour une pâte papetière blanchie contenant principalement de la cellulose et 29 % de pentosanes 4.130 cal/g. On a donc admis pour cette étude que cellulose et pentosanes avaient des p. c. s. du même ordre. C'est pourquoi on n'a reporté dans les tableaux que la somme des carbohydrates totaux (soit cellulose + pentosanes). Ces valeurs sont analogues à celles indiquées dans la littérature technique (qui sont de 6.000 cal/g pour la lignine, de 3.800 à 4.000 cal/g pour les pentosanes et pour la cellulose.

Nous avons aussi calculé les p. c. s. théoriques de ces mêmes constituants à partir de leur composition chimique élémentaire en appliquant la formule de DULONG (p. c. s. = $81 \times C \% + 340 (H \% - 0 \%/8)$) et la formule de LAUT (p. c. s. = $81,7 \times C \% + 342,5 \times H \% - 36,6 \times O \%$). Il a été trouvé pour la cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n, 3.607 et 3.945 ; pour les pentosanes ($C_5H_8O_4$)_n, 3.691 et 4.023 et pour la lignine constituée d'un mélange d'aldéhyde coniferylique ($C_9O_9H_{10}$) et d'aldéhyde hydroxyconiferylique ($C_{10}O_4H_{12}$), 5.834 et 6.067. Les valeurs expérimentales concordent donc aussi avec celles données par la formule de LAUT. La formule de DULONG donne des résultats plus faibles.

On a de plus isolé et récupéré par évaporation les extraits à l'alcool-benzène d'un mélange de bois tropicaux et mesuré leur p. c. s. On a trouvé 6.230 cal/g, ce qui est inférieur aux chiffres donnés dans la littérature (8.000 à 8.500 cal/g) mais ces chiffres correspondent le plus souvent à des bois résineux.

Pour préciser un peu ce problème, on a déterminé

à la bombe calorimétrique les p. c. s. de certains extraits, résines ou exsudats de bois ou de mélanges de bois de nature et de provenance différentes. Ces produits qui sont solubles, partiellement solubles ou peu solubles dans les solvants organiques peuvent se retrouver ainsi que d'autres composés de la famille des cires et graisses dans le terme général « d'extraits » des bois. On a trouvé les chiffres indiqués dans le tableau ci-dessous.

On remarque une grande variabilité des p. c. s. en fonction de la nature de l'essence et de l'extrait. En ce qui concerne les feuillus, il semblerait que la valeur du p. c. s. des produits extractibles aux solvants soit un peu plus élevée que celle de la lignine (autour de 6.250 à 6.800).

Enfin, on a mesuré le p. c. s. d'un extrait à l'eau d'un mélange de feuillus africains, il se situait autour de 4.500 cal/g.

P. C. S. et composition chimique. Corrélations simples.

Les résultats trouvés par la constitution chimique des bois sont donnés aux tableaux 6 et 7 (1) en regard des p. c. s. exprimés en cal/g (ou kcal/kg).

On a calculé les coefficients de corrélation entre les p. c. s. et les constituants suivants : extrait alcool-benzène, extrait à l'eau, cendres, lignine, cellulose + pentosanes ou carbohydrates totaux ainsi que la somme lignine + extrait alcool-benzène.

On a également tracé les droites de régression lorsque les coefficients de corrélation étaient suffisamment significatifs. On se reportera aux graphiques B, C et D donnés ci-après qui illustrent ces résultats.

Pour 115 couples de valeurs appariées, on a enregistré les chiffres suivants (p. 41) :

(1) En annexe.

Nom du produit	Provenance	Nature du produit	p. c. s.
Colophane.....	Pin (France)	Acide abiétique	8.870
Gomme copal.....	(Dahomey)	Différents terpènes	9.080
Gomme dammar.....	Résineux ou feuillus (Indonésie)	Oléorésine	9.670
Gomme arabique impure.....	Acacia (Sénégal)	Sucres + acides uroniques	3.530
Gomme arabique purifiée.....	Acacia (Sénégal)	Sucres + acides uroniques	3.700
Extrait alcool-benzène.....	Mélange 20 feuillus (Indonésie)	—	6.230
Extrait alcool-benzène.....	Hêtre (France)	—	6.780
Extrait alcool-benzène.....	Epicea (France)	—	7.420
Extrait alcool-benzène.....	Pin maritime (France)	—	8.340

Relation	Coefficient de corrélation *	Droite de régression
p. c. s. = f(EAB) ...	$r = 0,39$	$y = 4.705 + 16,7 x$
p. c. s. = f(Lignine) ...	$r = 0,51$	$y = 4.306 + 16,6 x$
p. c. s. = f(E eau) ...	$r = -0,17$	non tracée
p. c. s. = f(Cendres) ...	$r = -0,26$	non tracée
p. c. s. = f(Carbohy- drates) ...	$r = -0,58$	$y = 5.742 - 15,6 x$
p. c. s. = f(L + EAB)	$r = 0,69$	$y = 4.145 + 19,63 x$

* Notons que pour le nombre de résultats disponibles, le coefficient de corrélation commence à être significatif à partir de 0,20.

On remarque que la plupart de ces coefficients sont significatifs. Il existe donc des liaisons entre le pouvoir calorifique d'un bois et ses différents constituants chimiques. Toutefois ces liaisons sont plus ou moins lâches selon le composé considéré.

a) En particulier, les cendres et l'extrait à l'eau ont peu ou pas d'incidence sur le p. c. s. Ceci est normal puisque l'on sait que les matières minérales n'ont pratiquement pas de pouvoir calorifique et que dans l'extrait à l'eau se retrouve une partie des cendres, certains sucres, un peu de lignine, de l'amidon, etc... D'autre part, ces composés existent en trop faibles quantités dans les bois pour avoir une influence prépondérante par rapport aux autres constituants.

b) Les extraits à l'alcool-benzène sont corrélés avec le p. c. s. de façon un peu plus significative mais encore assez lâche. On peut expliquer cela, d'une part par les teneurs assez faibles d'extraits aux solvants dans les bois (dépassant rarement 10 % et se situant le plus souvent dans des zones allant de 1 à 5 %) et d'autre part, par la variabilité extrême de la nature des extraits en fonction de l'espèce considérée comme on l'a montré précédemment.

c) La corrélation s'améliore quand on considère la lignine et le p. c. s. Le coefficient passe à 0,51. On ne peut pas encore prédire avec précision le p. c. s. en fonction du taux de lignine mais on peut admettre qu'un bois riche en lignine aura généralement, toutes choses égales d'ailleurs, un pouvoir calorifique supérieur à celui d'un bois peu lignifié.

d) La corrélation carbohydrates, p. c. s. se situe à un niveau encore un peu plus favorable puisque le coefficient de corrélation est de - 0,58. Sans négliger l'influence des autres constituants, on peut dire qu'une essence riche en carbohydrates (c'est-à-dire en cellulose et en pentosanes) pourra avoir un pouvoir calorifique plus faible que la moyenne des bois. Cette constatation est d'ailleurs la même que la précédente puisqu'un bois riche en carbohydrates correspond le plus souvent à un bois pauvre en lignine.

e) Enfin, le meilleur niveau de corrélation (0,69) a été obtenu pour la relation lignine + extrait

alcool-benzène et p. c. s. Ceci est compréhensible puisque ces deux constituants correspondent à ceux qui ont les pouvoirs calorifiques les plus élevés. On peut donc écrire qu'un bois riche à la fois en lignine et en produits extractibles aux solvants sera un bois à pouvoir calorifique élevé.

Pouvoir calorifique et composition chimique. Corrélations multiples.

On a vu précédemment que la connaissance de la composition chimique d'un bois permettait dans une certaine mesure de prévoir si cette essence avait un pouvoir calorifique faible ou élevé. Toutefois, il n'était pas possible de chiffrer ce pouvoir calorifique. On a donc essayé d'aller plus loin et l'on a demandé à M. CAILLIEZ de la Division de Blométrie du C. T. F. T. de calculer à l'ordinateur la corrélation multiple existant entre tous les constituants et le p. c. s. global du bois. On a trouvé un coefficient de corrélation de 0,74 pour une équation de régression multiple de formule :

$$y = 4.988 - 35,1 Ce + 13,1 E_{AB} - 23 Ee + 11,15 L - 7,4 Ca$$

avec y = p. c. s. du bois

Ce = Teneur en cendres,

E_{AB} = Teneur en extrait alcool-benzène,

Ee = Teneur en extrait eau,

L = Teneur en lignine,

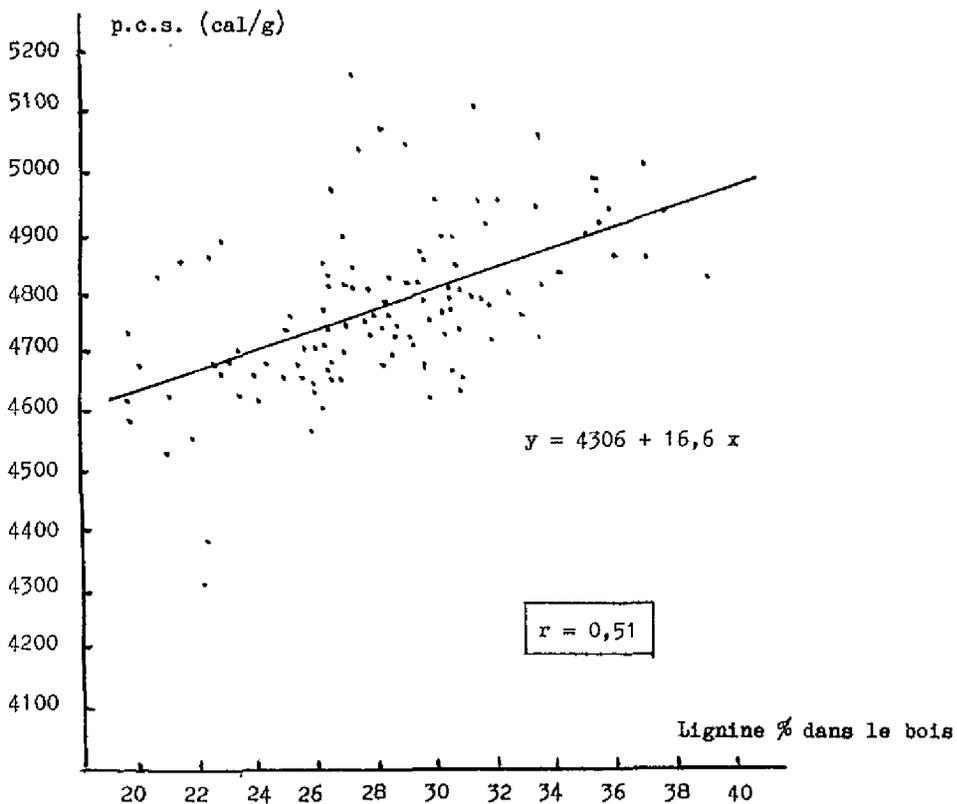
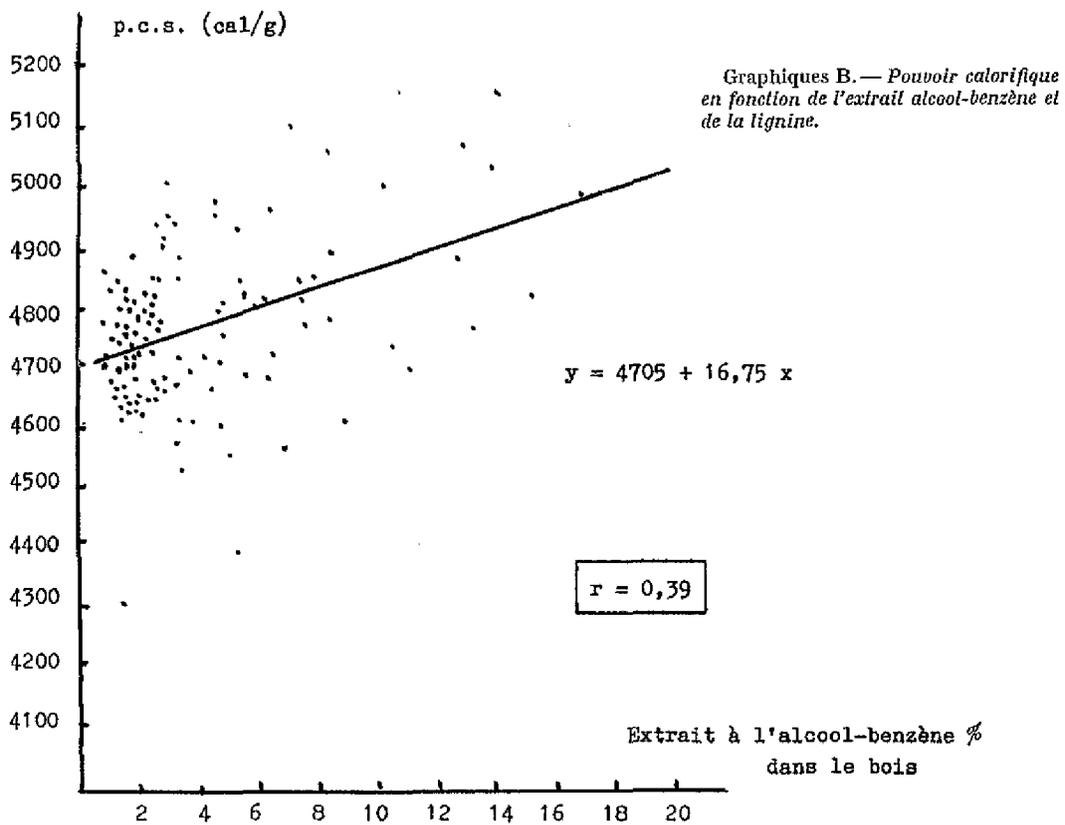
Ca = Teneur en carbohydrates totaux.

Le coefficient de corrélation multiple est donc élevé, ce qui indique que la prédiction du p. c. s. du bois peut être faite avec une précision satisfaisante à partir de sa composition chimique.

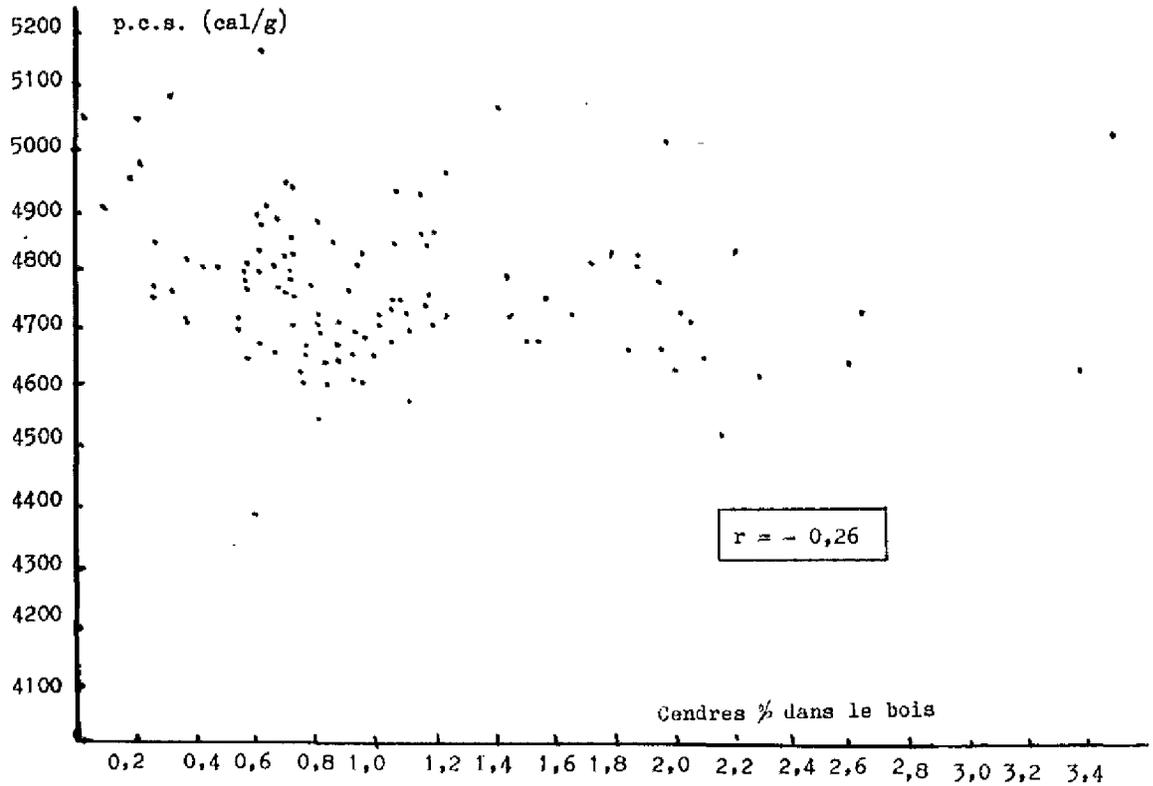
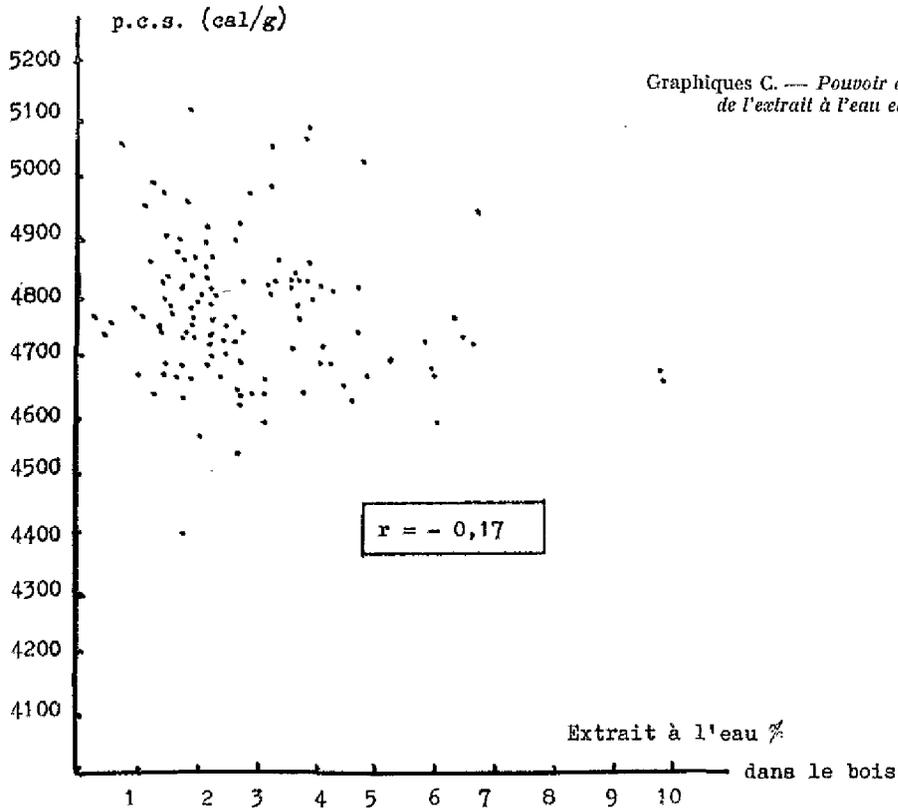
C'est ce qui a été fait à l'aide de l'équation ci-dessus pour les 115 bois de l'étude. On a reporté aux tableaux 8 et 9 les valeurs des p. c. s. calculés en regard des p. c. s. trouvés à la bombe calorimétrique. On se reportera également au graphique E où l'on a représenté les valeurs des p. c. s. calculés en fonction des chiffres expérimentaux. On a aussi déterminé les erreurs absolues (ou résidus) et les erreurs relatives exprimées en % résidus/valeurs trouvées. Les chiffres enregistrés sont donnés également aux tableaux 8 et 9 (en annexe).

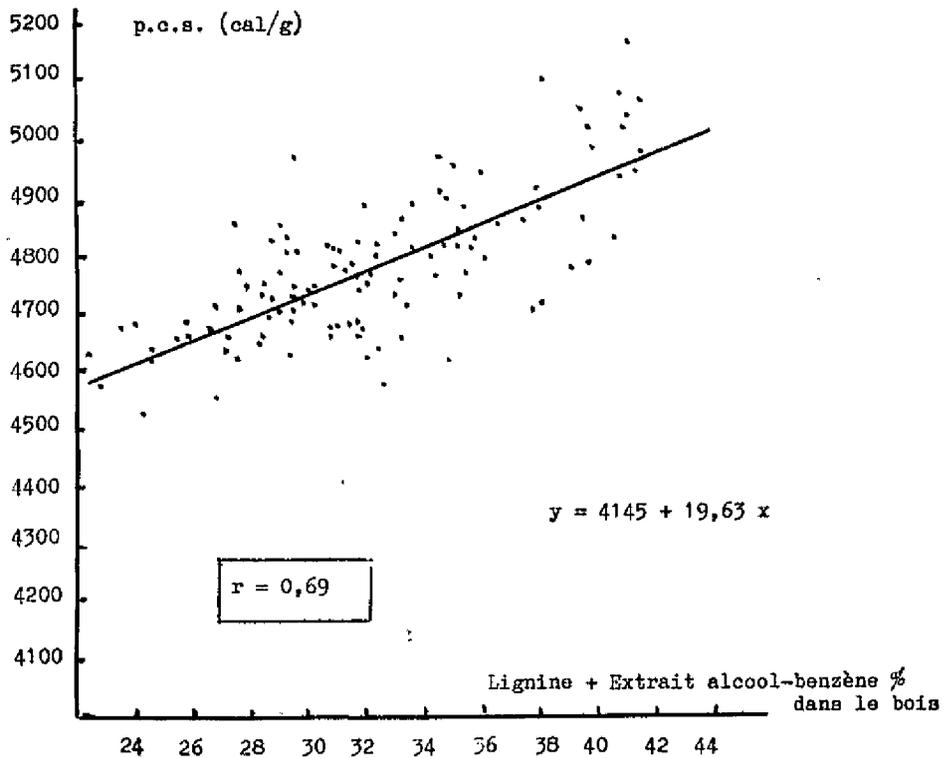
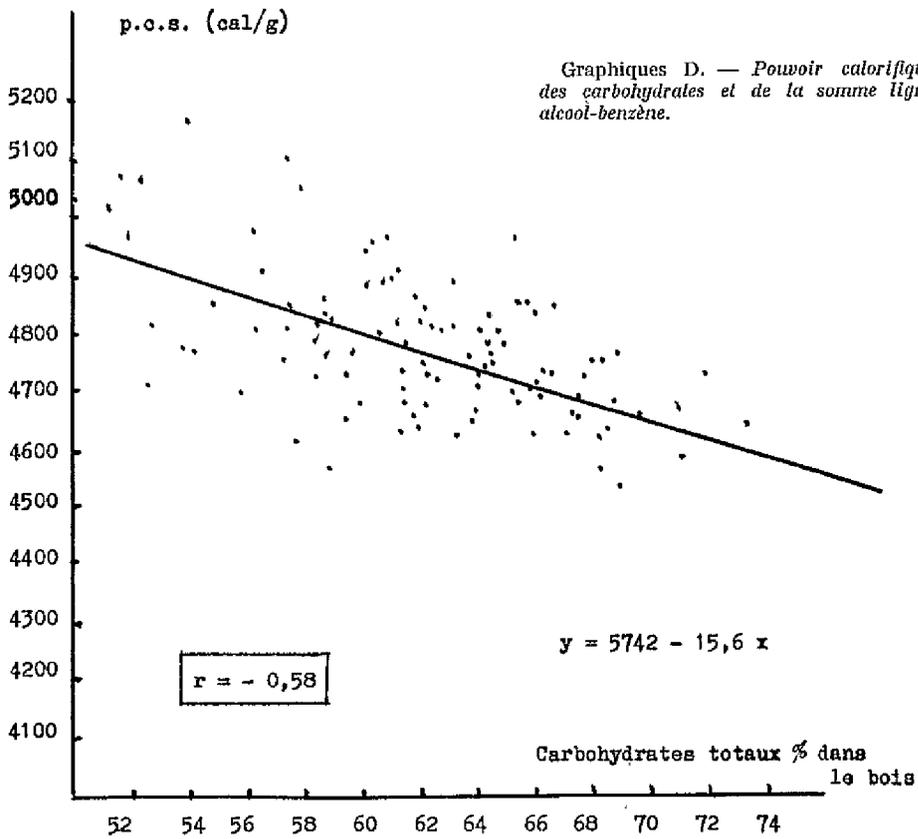
Si l'on examine les erreurs relatives exprimées en % sans signe algébrique, on calcule que la moyenne de l'erreur est 1,43 % et l'écart type de 1,27. On rappelle que la précision de la mesure du pouvoir calorifique supérieur à la bombe calorimétrique sur un même échantillon homogène est de l'ordre de 1 %.

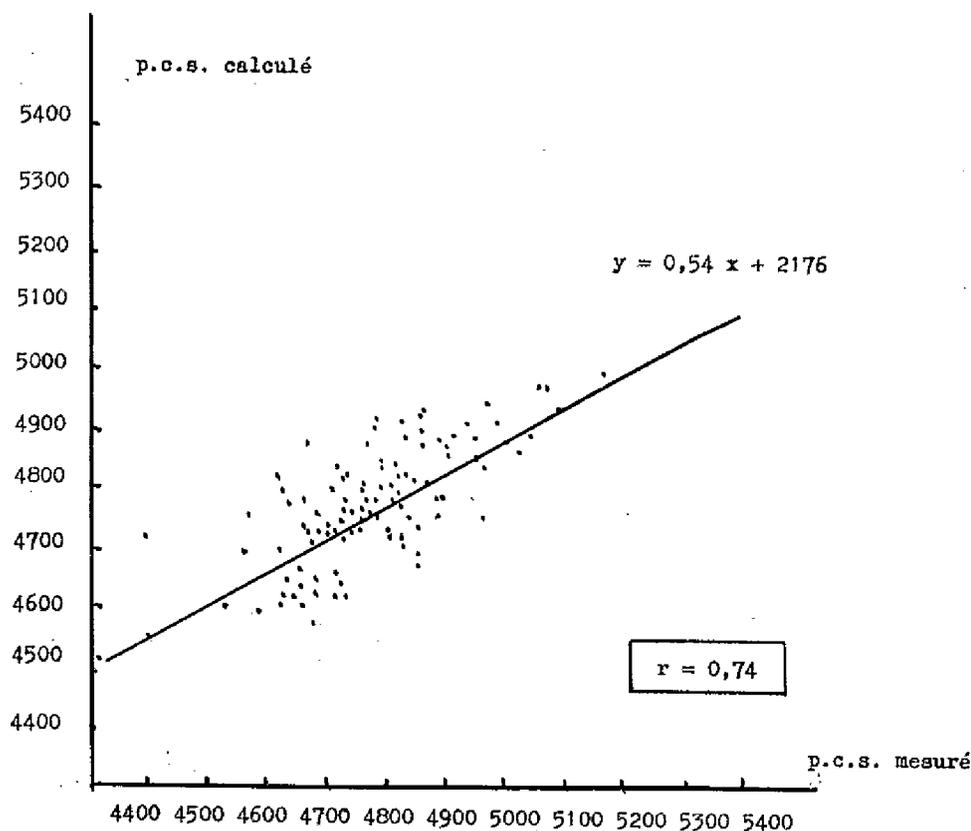
A la suite de cette étude, on peut donc conclure que la prédiction du p. c. s. d'un bois peut être faite de façon tout à fait valable à partir de sa composition chimique en appliquant la formule de régression multiple citée ci-dessus.



Graphiques C. — Pouvoir calorifique en fonction de l'extrait à l'eau et des cendres.







Graphique E. — Relation entre p.c.s. calculé et p.c.s. expérimental.

VARIABILITÉ DU POUVOIR CALORIFIQUE POUR UNE ESSENCE DONNÉE.

On a essayé de déterminer la variabilité du p. c. s. en fonction du lieu de prélèvement dans un même arbre, puis la variabilité du p. c. s. entre arbres différents.

Variabilité dans le sens radial du tronc.

La variabilité du p. c. s. dans le sens radial a été déterminée sur trois arbres échantillons de Limba-Fraké (*Terminalia superba*). L'un portant le n° 19042 et provenant du Congo, était complètement blanc. Le deuxième portant le n° 19041 et venant du Cameroun, ainsi que le troisième portant le n° 18428 et venant de Côte-d'Ivoire avaient un cœur noir plus ou moins important. Chaque arbre avait été coupé perpendiculairement à l'axe du tronc (diamètre 55 à 65 cm) et un secteur de galette a été retenu pour l'analyse. Dans chaque secteur, on a coupé 8 fractions numérotées de 1 à 8 en partant du cœur et en allant vers l'aubier. Les résultats obtenus sont indiqués p. 45.

La variabilité est faible pour les trois arbres échantillons, elle est inférieure aux erreurs d'expérience.

Il aurait été intéressant de déterminer de même les variations du p. c. s. en fonction de la hauteur du tronc par exemple. Cela n'a malheureusement pas pu être fait dans le cadre de cette étude.

Variabilité d'un sujet à l'autre.

On a également essayé de déterminer la variabilité à l'intérieur d'une espèce quand on passe d'un arbre échantillon à un autre.

Cinq bois ont été retenus pour cette étude :
4 bois de savane :

N° 1 : Sûga (*Anogeissus leiocarpus*).

N° 2 : Kankalgha lingué (*Azelia africana*).

N° 3 : Kombrissaka (*Cassia sieberiana*).

N° 4 : Kinkéliba Dandegha (*Combretum micranthum*).



Forêt guyanaise dans la région de Saint-Laurent.

Photo Lepitre.

N° du bois	18.428		19.041		19.042	
	Couleur	p. c. s.	Couleur	p. c. s.	Couleur	p. c. s.
1	noir	4.570	noir	4.785	blanc	4.650
2	noir	4.645	noir	4.795	blanc	4.680
3	noir	4.675	noir	4.780	blanc	4.705
4	noir	4.635	noir	—	blanc	4.675
5	noir	4.645	noir	4.775	blanc	4.690
6	noir	4.575	blanc	4.765	blanc	4.765
7	blanc	4.605	blanc	4.770	blanc	4.735
8	blanc	4.575	blanc	4.730	blanc	4.780
Moyenne.		4.615		4.771		4.710
Ecart-type		39,8		20,7		45,8
Variabilité, %.....		0,86		0,43		0,97

et un bois de régions plus humides (n° 5) du Limbakrafé (*Terminalia superba*).

Neuf à dix échantillons ont été testés dans le cas des 4 premiers bois, 3 seulement pour le dernier.

Les résultats enregistrés étaient les suivants :

On remarque que la variabilité d'un sujet à l'autre se situe entre 2 % et 7 %, ce qui est supérieur aux erreurs d'expérimentation.

De même, on avait déjà remarqué que la composition chimique d'une espèce pouvait varier dans des limites au moins aussi importantes d'un arbre échantillon à l'autre.

La variabilité du p. c. s. n'est donc pas négligeable entre différents sujets d'une même espèce.

N° du bois	1	2	3	4	5
Echantillon					
A	4.519	4.702	4.878	4.705	4.615
B	4.299	4.844	4.928	4.620	4.771
C	4.422	4.584	4.820	4.750	4.710
D	4.451	—	3.943	4.555	—
E	4.311	4.922	4.667	3.897	—
F	4.516	4.600	4.893	4.695	—
G	4.548	4.181	4.661	4.593	—
H	4.385	4.756	5.074	4.651	—
I	4.158	4.855	4.999	4.658	—
J	4.446	4.564	4.484	—	—
Moyenne	4.406	4.701	4.735	4.569	4.699
Ecart type	121	153	329	259	non calculé
Variabilité, % ...	2,7	3,3	6,9	5,6	de l'ordre de 2 %

CLASSEMENT DES BOIS TROPICAUX

Les p. c. s. des bois tropicaux ont déjà été donnés aux tableaux 4 et 5 (avec la densité) et aux tableaux 6 et 7 (avec la composition chimique des bois).

La moyenne du pouvoir calorifique de tous les échantillons est de 4.769 (avec un écart type de 133 et une variabilité de 2,8 %). Cette moyenne est assez élevée puisqu'elle est identique au p. c. s. trouvé sur l'échantillon d'Epicea (4.770). Il semble donc que les feuillus tropicaux aient dans leur ensemble un pouvoir calorifique plutôt supérieur à celui des feuillus tempérés et se rapprochant des résineux nordiques. Toutefois, le p. c. s. des bois tropicaux différant selon l'essence, il a paru intéressant sinon d'effectuer un classement systématique des bois en fonction de leur p. c. s., tout au moins, de mieux situer leur valeur énergétique en délimitant des « classes » de bois remarquables.

Ainsi, sur les 115 essences analysées on a trouvé que dix échantillons soit 8 % à 9 % du total correspondaient à des bois ayant un fort pouvoir calorifique (supérieur à 4.900). Ces bois sont indiqués ci-contre.

Il est intéressant de noter que ces bois ont des p. c. s. plus élevés que ceux des résineux de référence qui se situent autour de 4.800.

D'autre part, cinq essences soit 4 à 5 % du total ont un p. c. s. plutôt faible (inférieur à 4.600) ; ils sont indiqués ci-contre.

Nom du bois	Provenance	p. c. s.
Bruinhart	Surinam	5.165
Iroko	Cameroun	5.075
Bangkirai	Indonésie	5.060
Wana pisi	Surinam	5.050
Iroko	Cameroun	5.040
Marmadosoe	Surinam	5.015
Badi Billinga	Côte-d'Ivoire	4.985
Jamboka	Surinam	4.970
Zwarte pisi	Surinam	4.960
Zwarte kabbes	Surinam	4.960

Nom du bois	Provenance	p. c. s.
Overhout	Surinam	4.310
Manpurperhat	Surinam	4.305
Palétuvier rouge	Equateur	4.530
Essoula	Gabon	4.560
Palétuvier blanc	Equateur	4.580

Ces bois ont un p. c. s. inférieur à celui du hêtre et du chêne européens (4.680 et 4.670).

Si l'on considère ensuite la fourchette 4.600-4.700 cal/g (où se situent les feuillus tempérés), on trouve 22 nouveaux bois tropicaux (16 bois du Surinam, 3 bois d'Indonésie, 1 bois de Côte-d'Ivoire et 2 bois de Haute-Volta) soit 19 à 20 % du total.

Enfin, le reste (soit les 2/3 des bois environ) a un p. c. s. compris entre 4.700 et 4.900, comparable à celui des résineux européens.

AUTRES ESSAIS

On avait aussi espéré qu'au cours de cette étude apparaîtrait peut-être une possibilité de détermi-

ner la nature exacte des extraits des bois mais tout au moins d'obtenir des indications permettant de

se faire une idée de leur composition et de les classer les uns par rapport aux autres.

Dans cette optique, on avait calculé pour chaque essence la somme suivante $S = \text{Ext eau} \times 45 + \text{lignine} \times 61 + \text{carbohydrates} \times 41 + \text{cendres} \times 0$ (les différents coefficients appliqués à chaque constituant étaient évidemment proportionnels aux p. c. s. propres de ces constituants).

On avait ensuite déterminé la différence entre les p. c. s. expérimentaux des bois et les valeurs de S . La valeur trouvée pour chaque essence devait théoriquement correspondre à la fraction du p. c. s. apportée à ce bois par les extraits. Il suffisait de

diviser alors ce chiffre par le pourcentage d'extraits pour obtenir le p. c. s. propre des matières extractibles. Les résultats obtenus ainsi ont malheureusement été décevants. La moyenne des p. c. s. calculés se situait autour de 10.700, ce qui est nettement supérieur aux chiffres trouvés sur des extraits isolés à partir de mélanges de bois, et les valeurs limites de l'ensemble étaient de 3.000 cal/g pour le minimum et de 24.000 cal/g pour le maximum, ce qui semble aberrant et implique une erreur trop importante même si l'on est en présence d'extraits d'une nature exceptionnelle.

Il n'a donc pas été possible d'utiliser ces résultats comme on l'avait espéré initialement.

CONCLUSION

Le pouvoir calorifique des bois tropicaux est en moyenne de l'ordre de 4.770 cal/g. Cette valeur est assez élevée et plutôt supérieure à celle trouvée avec des feuillus tempérés. Certains bois tropicaux s'écartent de cette moyenne ; 5 % des bois testés ont des p. c. s. assez faibles inférieurs à 4.600 cal/g, au contraire 9 % des bois ont des p. c. s. très favorables supérieurs à 4.900 et dépassant même 5.000 cal/g.

Au cours de cette étude, on a démontré qu'il n'y avait pas de corrélation entre la densité des bois et le pouvoir calorifique en cal/g.

Par contre, la composition chimique des bois a une influence très nette sur le p. c. s. Les bois riches, à la fois, en lignine et en extraits ont un pouvoir calorifique plus élevé que la moyenne. A l'inverse, les essences riches en cellulose et pentosanes ont un p. c. s. plus bas.

On a mis en évidence des corrélations simples existant entre le p.c.s. et certains constituants du bois. De plus, on a pu, à l'aide de corrélations multiples, calculer avec une approximation satisfaisante les pouvoirs calorifiques à partir de la constitution chimique.

On a aussi essayé de chiffrer la variabilité du p.c.s. d'une même essence. Pour un même arbre échantillon, la variabilité n'est pas très élevée quand on passe du cœur à la périphérie du tronc. A l'inverse, les différences ne sont pas négligeables à l'intérieur d'une espèce quand on passe d'un arbre échantillon à un autre.

Enfin, cette étude a montré que la nature des extraits était complexe et jouait un rôle non négligeable.

BIBLIOGRAPHIE

1. MOODY (Dale R.). — Advances in utilizing wood residue and bark as fuel for a gas Turbine. *Forest Products Journal*, septembre 1976, vol. 26, n° 9, pp. 65-72.
2. MORTON (F. L.). — In House generation of Electricity from Wood Waste Residue. *Forest Products Journal*, septembre 1976 vol. 29 n° 9, pp. 73-76.
3. HAMMOND (V. L.), MUDGE (L. K.), ALLEN (C. H.) and SCHIEFELBEIN (G. F.). — Energy from forest residuals by gasification of wood waste. *Pulp and Paper*, February, 1974, vol. 48, n° 2, pp. 54-57.
4. NIERAT (J. M.). — Une installation pilote de production d'électricité à partir du bois. *Revue du bois et de ses applications*, n° 10, octobre 1975, pp. 31-35.
5. NIERAT (J. M.). — Le bois de feu et le charbon de bois au service du chauffage domestique. Cahier n° 16 du C. T. B., septembre 1966.
6. DOAT (J.) et PETROFF (G.). — La carbonisation des bois tropicaux. *B. F. T.*, n° 159, janvier-février 1975, pp. 55-72.
7. Techniques de l'ingénieur 1955 K620-11.
8. GIORDANO (G.). — Tecnologia del legno, Unione tipografica. Editrice Torinese, vol. I, 1971.

ANNEXES

TABLEAU 1. — Liste des bois du Surinam utilisés pour l'étude

Provenance	N° de code	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
SURINAM	82	Rode sali	<i>Tetragastris altissima</i>	Burs.
	73	Pikimisi	<i>Piptadenia suaveolens</i>	Leg. Mim.
	83	Tingimoni sali	<i>Tetragastris panamensis</i>	Burs.
	23	Foman	<i>Chaetocarpus schomburgkianus</i>	Euph.
	106	Zwart Riemhout	<i>Pouteria engleri</i>	Sap.
	6	Basralokus	<i>Dicorynia guianensis</i>	Leg. Ces.
	50	Witte Krapa	<i>Carapa guianensis</i>	Mel.
	69	Okterhout	<i>Sterculia pruriens</i>	Sterc.
	34	Hoogland Baboen	<i>Vitroa melinonii</i>	Myrist.
	98	Wana Pist	<i>Ocotea puberula</i>	Laur.
	19	Djiendjah oede	<i>Pouteria</i> sp.	Sap.
	18	Djadjidja	<i>Sclerolobium melinonii</i>	Leg.
	76	Prokoní Rodoe	<i>Inga</i> aff. <i>alba</i> .	Leg.
	70	Rode Djedoe	<i>Sclerolobium abiflorum</i>	Leg. Ces.
	61	Man Letterhout	<i>Perebea laurifolia</i>	Mor.
	35	Hoogland gronfolo	<i>Qualea abiflora</i>	Vochys.
	16	Broedoe oedoe	<i>Iryanthera sagotiana</i>	Myrist.
	29	Groenhart	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Bign.
	64	Mataki	<i>Symphonia globulifera</i>	Gutt.
	3	Apra oedoe	<i>Pouteria sagotiana</i>	Sap.
	100	Witte Foengoe	<i>Drypetes variabilis</i>	Euph.
	105	Zwarte Pisi	<i>Ocotea glomerata</i> .	Laur.
	68	Nekoe oedoe	<i>Ormosia</i> sp.	Leg. Pap.
	101	Wiswis kwari	<i>Vochysia guianensis</i>	Vochys.
	33	Hoogland Anaure	<i>Couepia caryophylloides</i>	Ros.
	17	Bruinhart	<i>Vouacapoua americana</i>	Leg. Ces.
	26	Goebaja	<i>Jacaranda copata</i>	Bign.
	44	Kankan oedoe	<i>Apetba echinata</i>	Tili.
	14	Bospapaja	<i>Cecropia surinamensis</i>	Mor.
	54	Kwatapatoe	<i>Lecythis davisii</i>	Lecyt.
	40	Jamboka	<i>Pouteria</i> sp.	Sap.
	46	Kaw oedoe	<i>Bagassa liliaefolia</i>	Mor.
	13	Boskatoen	<i>Bombax</i> sp.	Bomb.
	62	Manpurperhart	<i>Peltogyne pubescens</i>	Leg. Ces.
	28	Granboesipapaja	<i>Pourouma</i> sp.	Mor.
	42	Kaiman oedoe	<i>Laelia procerae</i>	Flac.
	11	Blaka oema	<i>Diospyros guianensis</i>	Eben.
	25	Cele kabbes	<i>Valairea guianensis</i>	Leg.
	1	Agrobiji	<i>Parkia nitida</i>	Leg. Mim.
	80	Rode kabbes	<i>Andira</i> sp.	Leg. Pap.
	89	Spikri oedoe	<i>Mouriria</i> sp.	Melast.
	41	Jono kabbes	<i>Hymenolobium</i> sp.	Leg. Pap.
	45	Katoen oedoe	<i>Lueheopsis</i> sp.	Tili.
	99	Weti oedoe	<i>Tapirira guianensis</i>	Anac.
	39	Witte bast jakanta	<i>Poraqueiba guianensis</i>	icac.
	57	Letterhout	<i>Piralinera scabridulae</i>	Mor.
	59	Makka kabbes	<i>Hymenolobium flavum</i>	Leg. Pap.
58	Lika oedoe	<i>Antonia ovata</i>	Logan.	
107	Witte pintolokus	<i>Martiodendron parviflora</i>	Leg. Ces.	
32	Hoepelhout	<i>Copaifera guianensis</i>	Leg. Ces.	
96	Tonka	<i>Dipteryx odorata</i>	Leg. Pap.	
24	Gandoe	<i>Svartzia tomentosa</i>	Leg. Ces.	
104	Zwarte kabbes	<i>Diplotropis purpurea</i>	Leg. Pap.	
91	Tafrabon	<i>Cordia panicularis</i>	Borag.	
2	Ajo ajo	<i>Hieronyma laxiflora</i>	Euph.	
86	Soemaroeba	<i>Simarouba amara</i>	Simar.	
27	Gomhout	<i>Sapium</i> sp.	Euph.	
10	Bofroe oedoe	<i>Sacoglottis</i> sp.	Humir.	
63	Marmadosoe	<i>Duroia eriopila</i>	Rub.	
12	Bolletri	<i>Manilkara bidentata</i>	Sap.	
5	Basra Bolletri	<i>Manilkara</i> sp.	Sap.	
47	Kimboti	<i>Pouteria</i> sp.	Sap.	
71	Parelhout	<i>Aspidosperma</i> sp.	Apocyn.	
56	Watra bebe	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Leg. Pap.	
60	Man bebe	<i>Alchorneopsis trimera</i>	Euph.	
92	Taja oedoe	<i>Paypayrola guianensis</i>	Viol.	
51	Kromanti kopi	<i>Aspidosperma sandwithianum</i>	Apoc.	

TABLEAU 2

Liste des bois d'Indonésie utilisés pour l'étude

N° de code	N° C. T. F. T.	Nom vernaculaire	Nom commercial	Nom scientifique.	Famille
I	21133	Kelempayan		<i>Anthocephalus cadamba</i>	Rub.
II	21134	Dara Dara		<i>Knema cinerea</i>	Myrist.
III	21135	Pala		<i>Elatospermum tapos</i>	Euph.
IV	21136	Maru	White Lauan	<i>Pentacme</i> sp.	Dipt.
V	21137	Bangkiral	Red Meranti	<i>Shorea curtisii</i>	Dipt.
VI	21138	Menggris	Kempas	<i>Koompassia excelsa</i>	Caes.
VII	21139	Marengau	Red Meranti	<i>Shorea parvifolia</i>	Dipt.
VIII	21140	Cempedak	Keledang	<i>Artocarpus integer</i>	Mor.
IX	21141	Tengawan	Sengawan	<i>Shorea virescens</i>	Dipt.
X	21142	Jambu Jambu		<i>Barringtonia fusiformis</i>	Lecyth.
XI	21143	Seregambatu	Yellow Meranti	<i>Shorea</i> sp.	Dipt.
XII	21144	Keruing	Keruing	<i>Dipterocarpus verrucosus</i>	Dipt.
XIII	21145	Rangas	Rangas	<i>Melanorrhoea auriculata</i>	Anac.
XIV	21146	Lempong Putth	White Meranti	<i>Shorea</i> sp.	Dipt.
XV	21147	Rambutan		<i>Nephelium</i> sp.	Sapind.
XVI	21148	Resak	Resak	<i>Valica papuana</i>	Dipt.
XVII	21149	Banitan		<i>Cyathocalyx samalranus</i>	Ann.
XVIII	21150	Limpas	Kempas	<i>Koompassia malaccensis</i>	Ann.
XIX	21151	Nyaluh	Niatoh	<i>Palaquium dasyphyllum</i>	Sapot.
XX	21152	Pandan		<i>Parashorea plicata</i>	Dipt.
XXI	21153	Kapur	Kapur	<i>Dryobalanops lanceolata</i>	Dipt.
XXII	21154	Kelekudung			Leg.

TABLEAU 3

Liste des bois de provenances diverses utilisés pour l'étude

Provenance	N° de code	N° C. T. F. T.	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
Haute-Volta	—	6953	Callcedrat	<i>Khaya senegalensis</i>	Mél.
	VII	—	Gonakié	<i>Acacia nilotica-tomentosa</i>	Leg. Mim.
	XIII	—	Gmelina	<i>Gmelina arborea</i>	Verb.
	XIV	—	Cassia	<i>Cassia siamea</i>	Leg. Ces.
	XV	—	Neem	<i>Azadirachta indica</i>	Mél.
	XVII	—	Eucalyptus	<i>Eucalyptus crebra</i>	Myrt.
	XVIII	—	Eucalyptus	<i>Eucalyptus alba</i>	Myrt.
Cameroun	—	7381	Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>	Mor.
	—	7383	Leke	<i>Brachystegia zenkeri</i>	Leg. Ces.
	—	7389	Ekop Evene	<i>Brachystegia mildbraedii</i>	Leg. Ces.
	—	7393	Ekop Mayo	<i>Monopetalanthus</i> sp.	Leg. Ces.
	—	9987	Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>	Mor.
Congo	—	—	Anthocephalus	<i>Anthocephalus cadamba</i>	Rub.
	—	—	Eucalyptus	<i>E. 12 ABL × saligna</i>	Myrt.
Côte-d'Ivoire	—	—	Araucaria	<i>Araucaria</i> sp.	Arauc.
	—	18426	Fraké noir	<i>Terminalia superba</i>	Comb.
Gabon	—	—	Badi Bilinga	<i>Nauclaea trillesti</i>	Rub.
	—	2208	Essoula	<i>Platostyles africana</i>	Euph.
Equateur	—	9999	Niangon	<i>Tarrietia densiflora</i>	Sterc.
	—	—	Palétuvier rouge (Mangle rojo)	<i>Rhizophora mangle</i>	Rhiz.
	—	—	Palétuvier blanc (Mangle blanco)	<i>Rhizophora racemosa</i>	Rhiz.
Europe	—	—	Epicea	<i>Picea abies</i>	Pin.
	—	—	Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	Fag.
	—	—	Chêne	<i>Quercus</i> sp.	Fag.
	—	—	Pin maritime	<i>Pinus maritima</i>	Pin.

TABLEAU 4. — p. c. s. et densité des bois du Surinam

Nom du bois	p. c. s. (en cal/g)	Densité	p. c. s. (en cal/cm ³)
Rode sali	4.765	0,80	3.810
Pikinmisiki	4.895	0,45	2.200
Tingimoni sali	4.620	0,83	3.835
Foman	4.790	0,92	4.405
Zwart riemhout	4.750	0,90	4.275
Basralokus	4.790	0,78	3.785
Witte Krapa	4.675	0,59	2.760
Okerhout	4.310	0,31	1.335
Hoogland Baboen	4.655	0,50	2.325
Wana Pisi	5.055	0,43	2.170
Djendjah oedoe	4.700	0,97	4.560
Djadidja	4.725	0,66	3.120
Prokoni rodoe	4.810	0,95	4.570
Rode Djedoe	4.890	0,45	2.200
Man Letterhout	4.710	0,30	3.770
Hoogland gronfolo	4.725	0,68	3.215
Broedoe oedoe	4.620	0,66	3.050
Groenhart	4.810	1,04	5.000
Mataki	4.730	0,61	2.885
Apra oedoe	4.630	0,60	2.780
Witte Foengoe	4.730	0,90	4.255
Zwarte Pisi	4.960	0,51	2.530
Nekoe oedoe	4.815	0,57	2.745
Wiswis kwari	4.620	0,50	2.310
Hoogland Anaura	4.830	1,02	4.925
Bruinhart	5.165	0,89	4.595
Goebaja	4.635	0,44	2.040
Kankan oedoe	4.820	0,14	675
Bospapaja	4.625	0,42	1.940
Kwatapatoe	4.810	0,87	4.185
Jamboka	4.970	1,06	5.270
Kaw oedoe	4.885	0,73	3.565
Boskatoen	4.660	0,58	2.700
Manpurperhart	4.395	0,99	4.351
Granboessipapaja	4.685	0,36	1.685
Kaiman oedoe	4.855	0,64	3.105
Blaka oema	4.655	0,79	3.675
Gele kabbes	4.615	0,96	4.430
Agrobiji	4.740	0,49	2.320
Rode kabbes	4.755	0,98	4.659
Spikri oedoe	4.855	1,10	5.340
Jono kabbes	4.825	0,79	3.810
Katoen oedoe	4.710	0,66	3.110
Weti oedoe	4.700	0,45	2.115
Witte bast jakanta	4.810	0,85	4.090
Letterhout	4.645	0,67	3.110
Makka kabbes	4.570	0,85	3.885
Lika oedoe	4.780	0,47	2.245
Witte pintolokus	4.700	1,02	4.795
Hoepelhout	4.850	0,49	2.375
Tonka	4.810	0,99	4.760
Gandoe	4.800	0,94	4.510
Zwarte kabbes	4.960	0,85	4.215
Tafrabon	4.730	0,47	2.225
Ajo ajo	4.820	0,74	3.565
Soemaroeba	4.860	0,41	1.990
Gomhout	4.675	0,35	1.635
Bofroe oedoe	5.015	0,85	4.260
Marmadosoe	4.910	0,87	4.270
Bolletri	4.800	0,99	4.750
Basra Bolletri	4.710	1,06	4.990
Kimfoto	4.680	0,79	3.695
Parelhout	4.740	0,91	4.315
Watra bebe	4.680	0,53	2.480
Man bebe	4.760	0,41	1.950
Taja oedoe	4.730	0,65	3.075
Kromanti kopi	4.665	0,73	3.405

TABLEAU 5

p. c. s. et densité des bois d'Indonésie et de diverses autres provenances

Nom du bois	p. c. s. (en cal/g)	Densité	p. c. s. (en cal/cm ³)
Kelempayan	4.735	0,33	1.560
Dara Dara	4.750	0,47	2.230
Pala	4.705	0,79	3.715
Maru	4.935	0,59	2.910
Bangkiral	5.060	0,95	4.280
Menggris	4.680	0,57	2.665
Marengau	4.905	0,52	2.500
Cempedak	4.850	0,79	3.830
Tengawan	4.850	0,63	3.055
Jambu Jambu	4.810	0,67	3.220
Seregambatu	4.830	0,72	3.475
Keruing	4.890	0,67	3.275
Rangas	4.665	0,62	2.890
Lempong putih	4.945	0,29	1.435
Rambutan	4.770	1,08	5.150
Resak	4.660	0,66	3.075
Banita	4.720	0,81	3.825
Limpas	4.780	0,83	3.965
Nyatuh	4.700	0,53	2.490
Pandan	4.750	0,47	2.230
Kapur	4.755	0,70	3.330
Kelekedung	4.830	0,76	3.670
Essoula	4.560	0,74	3.375
Callcedrat	4.775	0,82	3.915
Iroko	5.075	0,69	3.500
Leke	4.950	0,48	2.375
Ekop Evene	4.840	0,59	2.855
Ekop Mayo	4.780	0,54	2.580
Iroko	5.040	0,59	2.975
Niangon	5.100	0,77	3.925
Fraké	4.655	0,59	2.745
Badi Bilinga	4.985	0,69	3.440
Palétuvier rouge	4.530	0,98	4.440
Palétuvier blanc	4.580	1,00	4.580
<i>E. 12 ABL × sal.</i>	4.760	0,68	3.235
<i>Anthocephalus</i>	4.655	0,30	1.395
<i>Araucaria</i>	4.800	0,51	2.450
Gonakié	4.680	0,90	4.220
Gmelina	4.850	0,46	2.230
Neem	4.780	0,75	3.585
<i>Euc. crebra</i>	4.800	0,92	4.415
<i>E. alba</i>	4.730	0,74	3.500
<i>E. camaldulensis</i>	4.715	0,72	3.395
<i>Cassia</i>	4.630	0,81	3.750
Epicea	4.770	0,43	2.050
Hêtre	4.680	0,62	2.900
Chêne	4.670	0,65	3.035
Pin maritime	4.820	0,52	2.505

TABLEAU 6. — p. c. s. et composition chimique des bois du Surinam

Nom du bois	Cendres % (425 °C)	Ext. A. B. %	Ext. eau %	Lignine %	Somme lignine + E. A. B. %	Carbo- hydrates totaux %	p. c. s.
Rode sali	0,7	10,35	2,0	25,1	35,45	59,85	4.765
Pikinmisiki	0,65	8,45	1,4	26,4	34,85	61,1	4.895
Tinghmoni sali	2,25	4,6	3,0	19,8	24,4	68,35	4.620
Foman	1,45	2,7	2,0	33,4	36,1	58,45	4.780
Zwart riembout	1,05	1,4	0,35	27,1	28,5	68,1	4.750
Basra lokus	0,55	2,0	2,2	32,4	34,2	61,05	4.790
Witte krapa	0,75	2,7	5,9	28,3	31,0	60,35	4.675
Okerhout	3,05	1,7	5,8	22,1	23,8	65,35	4.310
Hoogland baboen	0,85	1,6	1,9	23,9	25,5	69,75	4.655
Wana pisi	0,2	10,1	0,7	29,0	39,1	58,0	5.050
Djendjah oedoe	0,8	3,6	2,2	25,5	29,1	65,9	4.760
Djadidja	0,35	3,2	0,45	26,3	29,5	67,8	4.725
Prokoni rodoe	0,65	2,4	1,8	28,55	30,95	64,6	4.810
Rode djedoe	0,6	1,8	2,1	30,15	31,95	63,35	4.890
Man letterhout	1,2	1,6	2,5	28,6	30,2	64,1	4.710
Hoogland gronfolo	1,45	1,9	6,4	26,8	28,7	61,45	4.725
Brodoe oedoe	0,75	3,1	1,8	28,95	32,05	63,4	4.620
Groenhart	0,55	6,0	4,0	29,7	35,7	57,75	4.810
Mataki	1,2	4,1	1,8	24,5	28,6	66,4	4.730
Apra oedoe	2,0	2,0	2,65	22,7	24,7	68,65	4.630
Witte foengoe	1,1	1,5	2,7	30,3	31,8	62,4	4.730
Zwarte pisi	1,05	4,5	1,4	30,0	34,5	61,05	4.960
Nekoe oedoe	0,95	7,75	3,85	26,9	34,65	58,55	4.815
Wiswis kwari	0,95	3,65	2,55	23,9	27,55	66,95	4.620
Hoogland anaura	2,2	1,0	1,6	34,3	35,3	58,9	4.830
Brunhart	0,6	14,05	1,95	27,2	41,25	54,2	5.165
Goebaja	0,75	1,65	2,9	30,7	32,35	62,0	4.635
Kankan oedoe	1,85	2,3	3,3	28,4	30,7	62,15	4.820
Bospapaja	0,95	1,35	1,3	21,0	22,35	73,4	4.625
Kwatapatoe	0,4	6,1	3,75	26,3	32,4	61,45	4.810
Jamboka	1,25	6,3	3,15	35,4	41,7	51,9	4.970
Kaw oedoe	0,65	12,55	1,65	22,8	35,35	60,35	4.885
Boskatoen	1,85	1,1	4,8	24,8	25,9	65,45	4.660
Manhurperhart	0,6	5,2	1,7	22,2	27,4	68,3	4.395
Granboesipapaja	1,05	2,8	2,1	26,45	29,25	65,6	4.685
Kaiman oedoe	1,55	1,3	2,5	26,2	27,5	66,85	4.850
Blaka oema	0,8	1,8	1,35	26,4	28,2	67,6	4.655
Gele kabbes	0,85	8,8	4,55	26,05	34,85	57,75	4.615
Agrobiji	1,65	1,7	1,85	28,3	30,0	64,51	4.740
Rode kabbes	0,7	4,8	6,25	28,4	33,2	57,85	4.755
Spikri oedoe	0,7	0,7	1,95	35,9	36,6	58,75	4.855
Jono kabbes	0,75	15,2	2,1	20,7	35,9	59,25	4.825
Katoen oedoe	2,05	1,45	5,7	26,2	27,65	62,6	4.710
Weti oedoe	0,95	5,5	2,4	23,2	28,7	65,95	4.700
Witte bast jakanta	1,85	4,85	1,4	27,3	32,15	62,6	4.810
Letterhout	2,55	1,4	4,35	25,8	27,2	63,9	4.645
Makka kabbes	0,5	6,8	5,95	25,8	32,6	58,95	4.570
Lika oedoe	1,95	8,4	2,15	31,5	39,9	54,0	4.780
Witte pintolokus	0,55	11,0	3,55	26,9	37,9	56,0	4.700
Hoepelhout	0,85	5,4	3,8	22,2	27,6	65,75	4.850
Tonka	0,45	4,6	3,1	26,5	31,1	63,35	4.810
Gandoe	0,7	1,65	3,1	27,65	29,3	64,9	4.800
Zwarte kabbes	0,2	2,95	2,85	26,5	29,45	65,5	4.960
Tafrabon	0,6	2,0	1,75	19,6	21,6	72,05	4.730
Ajo ajo	1,8	1,3	2,7	39,4	40,7	52,8	4.820
Soemaroeba	1,2	3,65	1,65	29,6	32,25	61,9	4.860
Gomhout	0,75	2,3	1,65	24,2	26,5	69,05	4.675
Bofroe oedoe	1,95	2,95	4,75	36,95	39,9	51,4	5.015
Marmadosoe	0,65	2,7	2,6	35,3	38,0	56,75	4.910
Bolletri	0,7	2,4	3,45	27,2	29,6	64,2	4.800
Basra bolletri	1,0	0,85	4,05	26,0	26,85	66,1	4.710
Kimboto	1,55	3,55	4,1	19,95	23,5	68,85	4.680
Parelhout	1,0	1,85	2,4	28,3	30,15	64,45	4.740
Watra bebe	0,85	3,2	5,15	22,6	25,8	66,2	4.680
Manbebe	0,2	1,45	2,5	30,3	31,75	62,55	4.760
Taja oedoe	2,0	6,75	2,2	28,6	35,35	58,15	4.730
Kromanti kopi	1,0	1,45	5,9	25,7	27,15	63,95	4.665

TABLEAU 7

p. c. s. et composition chimique des bois d'Indonésie et de provenances diverses

Nom du bois	Cendres % (425 °C)	Ext. A. B. %	Ext. eau %	Lignine %	Somme lignine + E. A. B. %	Carbo- hydrates totaux %	p. c. s.
Kelempayan	0,55	1,75	1,3	27,75	29,5	66,65	4.735
Dara dara	1,05	1,15	0,55	26,8	27,05	68,45	4.750
Pala	0,8	1,55	2,4	31,8	33,35	61,45	4.705
Maru	0,15	5,2	6,6	35,7	40,9	49,35	4.935
Bangkiraï	0,1	8,2	3,8	33,5	41,7	52,45	5.060
Menggris	1,5	1,95	2,7	29,6	31,55	62,25	4.680
Marengau	0,1	2,85	2,1	31,65	34,5	61,3	4.905
Cempedak	1,05	7,8	1,7	29,75	37,55	57,7	4.850
Tengawan	0,25	2,45	3,3	37,1	39,55	54,9	4.850
Jambu jambu	1,7	1,85	4,65	33,4	35,25	56,4	4.810
Seregambatu	0,7	2,2	1,85	27,1	29,3	66,15	4.830
Keruing	0,8	3,15	2,55	30,55	33,7	60,95	4.890
Rangas	1,95	1,3	2,35	30,6	31,9	61,8	4.665
Lemping putih	0,7	2,55	1,05	33,4	35,95	60,3	4.945
Rambutan	0,55	1,25	0,9	27,8	29,05	67,5	4.770
Resak	0,9	2,15	1,0	22,8	24,95	71,15	4.660
Banitan	0,85	0,75	1,9	29,1	29,85	65,4	4.720
Limpas	0,25	0,95	1,4	30,35	31,3	65,05	4.780
Nyatuh	1,1	1,15	2,2	28,25	29,4	65,3	4.700
Pandan	1,55	2,2	2,2	29,85	32,05	62,2	4.750
Kapur	1,15	1,45	3,7	32,85	34,3	58,85	4.755
Kelekidung	0,95	1,5	3,6	27,35	28,85	64,6	4.835
Essoula	0,8	5,0	2,0	21,8	26,8	68,4	4.560
Caïcedrat	0,9	7,5	3,7	31,7	39,2	54,2	4.775
Iroko	1,4	12,8	3,8	28,2	41,0	51,8	5.075
Leke	0,7	3,0	1,75	32,0	35,0	60,55	4.950
Ekop evene	0,6	2,4	2,1	30,6	33,0	62,3	4.840
Ekop mayo	0,7	2,7	1,9	28,3	31,0	64,4	4.780
Iroko	3,45	13,85	3,15	27,4	41,25	50,15	5.040
Niangon	0,3	7,0	1,8	31,3	38,3	57,6	5.100
Fraké	2,1	2,4	3,1	30,9	33,3	59,5	4.655
Badi bilinga	0,2	4,5	1,4	35,4	39,9	56,5	4.985
Palétuvier rouge	2,15	3,4	2,6	20,8	24,2	69,05	4.530
Palétuvier blanc	1,1	3,1	3,15	19,7	22,8	70,95	4.580
E. 12 ABL × sal.	0,25	1,75	1,9	30,3	32,05	63,8	4.760
<i>Anthocephalus</i>	0,55	1,85	1,6	26,6	28,45	67,4	4.655
<i>Araucaria</i>	0,55	1,55	2,4	30,8	32,35	62,7	4.800
Gonakié	0,95	6,3	4,0	25,3	31,6	61,45	4.680
Gmelina	1,15	7,4	2,3	21,55	28,95	65,6	4.850
Ncem	0,8	2,3	3,8	29,4	31,7	61,7	4.780
<i>E. crebra</i>	0,6	2,1	4,2	30,3	32,4	60,8	4.800
<i>E. alba</i>	0,8	2,4	4,6	30,5	32,9	59,7	4.730
<i>E. camaldulensis</i>	0,8	4,6	6,5	33,5	38,1	52,6	4.715
<i>Cassia</i>	3,35	1,5	3,7	27,9	29,4	61,55	4.630
Epicea	0,3	1,45	1,5	26,2	27,65	60,9	4.770
Hêtre	0,6	1,1	1,4	23,0	24,1	72,9	4.680
Chêne	0,65	4,4	9,7	26,4	30,8	56,75	4.670
Pin maritime	0,35	5,5	3,7	26,3	31,8	62,15	4.820

TABLEAU 8. — Comparaison entre p. c. s. expérimentaux et calculés pour les bois du Surinam

Nom du bois	p. c. s. expérimental	p. c. calculé	Erreur absolue	Erreur relative %
Rode sali	4.765	4.871	— 106	— 2,2
Piknimsikti	4.895	4.867	+ 28	+ 0,6
Tingimoni sali	4.620	4.596	+ 24	+ 0,5
Foman	4.790	4.847	— 57	— 1,2
Zwart riemhout	4.750	4.741	+ 9	+ 0,2
Basra lokus	4.790	4.835	— 45	— 0,9
Witte krapa	4.675	4.711	— 36	— 0,8
Okerhout	4.310	4.514	— 204	— 5
Hoogland baboen	4.655	4.867	— 12	— 0,3
Wana pisi	5.050	4.972	+ 78	+ 1,5
Djendjah oedoe	4.700	4.734	— 34	— 0,7
Djadidja	4.725	4.780	— 55	— 1
Prokoni rodoo	4.810	4.777	+ 33	+ 0,7
Rode djedoe	4.890	4.791	+ 99	+ 2
Man letterhout	4.710	4.735	— 25	— 0,5
Hoogland gronfelo	4.725	4.640	+ 85	+ 1,8
Brodoo oedoe	4.620	4.796	— 176	— 3,8
Groenhart	4.810	4.840	— 30	— 0,6
Mataki	4.730	4.721	+ 9	+ 0,2
Apra oedoe	4.630	4.609	+ 21	+ 0,4
Witte foengoe	4.730	4.764	— 34	— 0,7
Zwarte pisi	4.960	4.842	+ 118	+ 2,4
Nekoe oedoe	4.815	4.815	0	0
Wiswis kwari	4.620	4.696	— 76	— 1,6
Hoogland anaura	4.830	4.815	+ 15	+ 0,3
Bruinhart	5.165	4.989	+ 176	+ 3,4
Goebaja	4.635	4.781	— 146	— 3,15
Kankan oedoe	4.820	4.715	+ 105	+ 2,2
Bospapaja	4.625	4.615	+ 10	+ 0,2
Kwalapatoo	4.810	4.787	+ 23	+ 0,5
Jamboka	4.970	4.946	+ 24	+ 0,5
Kaw oedoe	4.885	4.880	+ 5	+ 0,1
Boskatoen	4.660	4.600	+ 60	+ 1,3
Manpurperhart	4.395	4.719	— 324	— 7,4
Granboesipapaja	4.685	4.730	— 45	— 1
Kaiman oedoe	4.850	4.672	+ 178	+ 3,7
Blaka oema	4.655	4.728	— 73	— 1,6
Cele kabbes	4.615	4.813	— 198	— 4,3
Agrobiji	4.740	4.729	+ 11	+ 0,2
Rode kabbes	4.755	4.752	+ 3	+ 0,06
Spikri oedoe	4.855	4.874	— 19	— 0,4
Jono kabbes	4.825	4.886	— 61	— 1,3
Katoen oedoe	4.710	4.614	+ 96	+ 2
Weti oedoe	4.700	4.732	— 23	— 0,5
Witte bast jakanta	4.810	4.777	+ 33	+ 0,7
Letterhout	4.645	4.613	+ 33	+ 0,7
Makka kabbes	4.570	4.755	— 185	— 4
Lika oedoe	4.780	4.913	— 133	— 2,8
Witte pintolokus	4.700	4.898	— 198	— 4,2
Hoepelhout	4.850	4.684	+ 166	+ 3,4
Tonka	4.810	4.769	+ 41	+ 0,9
Gandoe	4.800	4.723	+ 77	+ 1,6
Zwarte kabbes	4.960	4.746	+ 214	+ 4,3
Tafrabon	4.730	4.620	+ 110	+ 2,3
Ajo ajo	4.820	4.909	— 89	— 1,8
Soemaroeba	4.860	4.809	+ 51	+ 1,1
Gomhout	4.675	4.694	— 19	— 0,4
Bofroe oedoe	5.015	4.861	+ 154	+ 3,1
Marmadosoe	4.910	4.895	+ 15	+ 0,3
Bolletri	4.800	4.725	+ 75	+ 1,6
Basra bolletri	4.710	4.653	+ 57	+ 1,2
Kimboto	4.680	4.580	+ 100	+ 2,1
Parelhout	4.740	4.742	— 2	— 0,04
Watra bebe	4.680	4.625	+ 55	+ 1,2
Manbebe	4.760	4.799	— 39	— 0,8
Taja oedoe	4.730	4.823	— 93	— 2
Kromanti kopi	4.665	4.630	+ 34	+ 0,7

TABLEAU 9

Comparaison entre p. c. s. expérimentaux et calculés pour les bois d'Indonésie et de provenances diverses

Nom du bois	p. c. s. expérimental	p. c. calculé	Erreur absolue	Erreur relative %
Kelempayan.....	4.735	4.759	— 24	— 0,5
Dara dara.....	4.750	4.727	+ 23	+ 0,5
Pala.....	4.705	4.806	— 101	— 2,1
Maru.....	4.935	4.912	+ 23	+ 0,5
Bangkirai.....	5.060	4.971	+ 89	+ 1,8
Menggris.....	4.680	4.749	— 69	— 1,5
Marengau.....	4.905	4.854	+ 51	+ 1
Cempedak.....	4.850	4.900	— 50	— 1
Tengawan.....	4.850	4.924	— 74	— 1,5
Jambu jambu.....	4.810	4.782	+ 28	+ 0,6
Seregambatu.....	4.830	4.744	+ 86	+ 1,8
Keruing.....	4.890	4.813	+ 77	+ 1,6
Rangas.....	4.665	4.748	— 83	— 1,8
Lempung putih.....	4.945	4.880	+ 65	+ 1,3
Rambutan.....	4.770	4.756	+ 14	+ 0,3
Resak.....	4.660	4.671	— 11	— 0,2
Banitan.....	4.720	4.746	— 26	— 0,6
Limpas.....	4.780	4.798	— 18	— 0,4
Nyatuh.....	4.700	4.727	— 27	— 0,6
Pandan.....	4.750	4.765	— 15	— 0,3
Kapur.....	4.755	4.793	— 38	— 0,8
Kelekudung.....	4.830	4.700	+ 136	+ 2,8
Essoula.....	4.560	4.698	— 138	— 3
Calcedrat.....	4.775	4.903	— 128	— 2,7
Iroko.....	5.075	4.931	+ 144	+ 2,8
Léké.....	4.950	4.852	+ 98	+ 2
Ekop evene.....	4.840	4.811	+ 29	+ 0,6
Ekop mayo.....	4.780	4.775	+ 5	+ 0,1
Iroko.....	5.040	4.891	+ 149	+ 3
Niangon.....	5.100	4.932	+ 169	+ 3,3
Fraké.....	4.655	4.760	— 105	— 2,2
Badi bilinga.....	4.984	4.965	+ 20	+ 0,4
Palétuvier rouge.....	4.530	4.599	— 69	— 1,5
Palétuvier blanc.....	4.580	4.593	— 13	— 0,3
<i>E. 12 ABL × sal.</i>	4.760	4.805	— 45	— 1
<i>Anthocephalus</i>	4.655	4.735	— 80	— 1,7
<i>Araucaria</i>	4.800	4.794	+ 6	+ 0,2
Gonaktié.....	4.680	4.754	— 74	— 1,6
Gmelina.....	4.850	4.728	+ 122	+ 2,5
Neem.....	4.780	4.755	+ 25	+ 0,5
<i>E. crebra</i>	4.800	4.767	+ 33	+ 0,7
<i>E. alba</i>	4.730	4.765	— 35	— 0,7
<i>E. camaldulensis</i>	4.715	4.836	— 121	— 2,6
<i>Cassia</i>	4.630	4.642	— 12	— 0,3
Epicea.....	4.770	4.785	— 15	— 0,3
Hêtre.....	4.680	4.648	+ 32	+ 0,7
Chêne.....	4.670	4.655	+ 15	+ 0,3
Pin maritime.....	4.820	4.777	+ 43	+ 0,9