

*Pinus caribaea de Nouvelle-Calédonie  
Exemple type d'une section d'échantillon.*

Photo Chatelain — C. T. F. T.

# VARIABILITÉ DES CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES D'UN ÉCHANTILLONNAGE DE *PINUS CARIBAEA* DE NOUVELLE-CALÉDONIE

par G. PETROFF et M. TISSOT,  
*Division de Cellulose et de Chimie  
Centre Technique Forestier Tropical*

## SUMMARY

### **THE VARIABILITY OF THE PULP AND PAPER PROPERTIES OF A SAMPLE OF *PINUS CARIBAEA* FROM NEW CALEDONIA**

*Pulp and paper properties trials were made on more than 200 samples of *Pinus caribaea*. The wood in all cases was 6 years old, derived from the same batch of seeds planted under identical conditions on one and the same plot. A very wide variation was*

observed in the physical, morphological and pulp and paper properties of the samples tested ; the measurements made varied twofold or threefold.

Numerous correlations were revealed between the properties of the wood and those of the corresponding paper. The most important parameters seem to be density and lignin content.

## RESUMEN

### VARIABILIDAD DE LAS CARACTERÍSTICAS PAPELERAS DE UNA SERIE DE MUESTRAS DE *PINUS CARIBAEA* DE NUEVA CALEDONIA

Se han efectuado ensayos papeleros por medio de más de 200 muestras de *Pinus caribaea*. Las maderas, de una edad de seis años, han correspondido a una misma partida de semillas plantadas en condiciones equivalentes y en una misma parcela. Se ha observado una variabilidad sumamente elevada de las características físicas, morfológicas y papeleras de las muestras sometidas a prueba, ya que el valor de las mediciones obtenidas ha variado del doble contra sencillo y del triple contra sencillo.

Todo ello ha permitido evidenciar las numerosas correlaciones existentes entre las características de las maderas y aquéllas de los papeles correspondientes. La densidad de las maderas y la proporción de lignina parecen ser los parámetros más importantes.

L'apparition des méthodes de reproduction clonale par bouturage d'espèces tropicales à croissance rapide bouleverse les données de l'afforestation et met l'accent sur les possibilités immenses qui résultent de la multiplication d'un matériel végétal particulièrement performant. Ces techniques nouvelles soulèvent toutefois le problème de la sélection préalable des clones et il apparaît que de nombreuses questions d'ordre pratique se posent encore à ce sujet. La variabilité inter- et intraclonale des espèces, en particulier, est mal connue et il ne semble pas que cette notion ait été abordée avec toute l'attention désirable dans le passé. En fait, pour une variété botanique donnée d'Epicéa, de Bouleau, d'Eucalyptus, etc..., on connaît mal la variabilité, d'origine génétique notamment, qui peut apparaître au niveau d'une parcelle de plantation, d'une forêt, d'une région. Il est probable

que l'on a généralement tendance à sous-estimer cette variabilité.

Jusqu'à présent, les laboratoires se sont très souvent contentés de tester quelques sujets prélevés au hasard, sans se préoccuper de la collecte d'un échantillonnage statistique vraiment représentatif. Des erreurs d'appréciation plus ou moins importantes ont pu ainsi être commises. Il est temps de réagir contre une telle façon de procéder. C'est dans ce nouveau contexte que se situe l'étude papetière d'un échantillonnage d'une parcelle de *Pinus caribaea* que nous présentons ci-après. Elle met en évidence une variabilité individuelle très importante dans cette espèce à laquelle il sera intéressant de comparer, ultérieurement, la variabilité intraclonale lorsque les techniques de multiplication végétative seront suffisamment développées.

\* \* \*

On a souvent affirmé, au cours des dernières années, que les produits de plantation artificielle avaient l'énorme avantage de fournir à la papeterie une matière première homogène, s'opposant à l'hétérogénéité du produit final obtenu en traitant

le tout venant d'une forêt naturelle tropicale. Les résultats qui vont suivre montrent, tout au moins dans le cas des plantations traditionnelles par semis, qu'il faut tempérer une telle affirmation et limiter la portée d'un jugement peut-être trop hâtif.

\* \* \*

Une plantation équienne de *P. caribaea* a été réalisée en 1966 en Nouvelle Calédonie sur terrain homogène à partir d'un même lot de graines. Un premier feu courant a parcouru la parcelle en ne causant toutefois que fort peu de dégâts à la plantation. En 1972, un incendie plus important est intervenu endommageant gravement les branchages d'un certain nombre d'arbres qui ont été immédiatement abattus et séchés afin de procéder à diverses expérimentations. Ces arbres ont

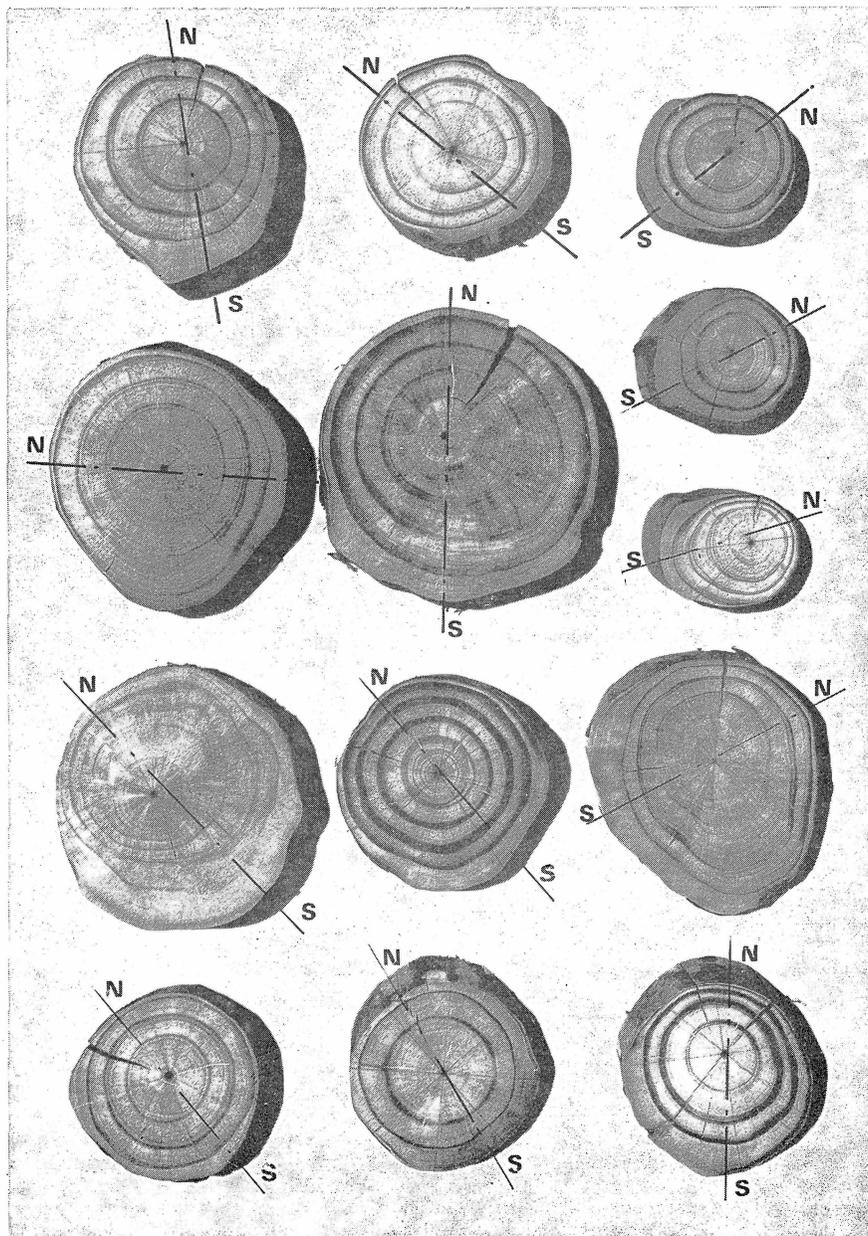
été débités et des billons pris à hauteur d'homme, de 1 m de long, écorcés, ont été expédiés au C.T.F.T. à Nogent-sur-Marne. Au total, 237 échantillons ont été réceptionnés, dont seulement 202 ont finalement été retenus pour essais après un stockage de 3 ans sous abri, pour des raisons diverses : malformation, numéro effacé, etc...

C'est à la Division de Cellulose et Chimie du C. T. F. T. que les échantillons ont été transmis pour étude papetière.

## EXAMEN DES BOIS AU MOMENT DES ESSAIS

Les bois, très secs étaient apparemment sains. Tous les rondins présentaient la même asymétrie, à savoir des cernes très inégaux en épaisseur mais orientés de la même façon : derniers cernes fins d'un côté que l'on a appelé « Nord » et derniers cernes larges du côté opposé que l'on a appelé « Sud ». Les photos ci-jointes témoignent du phénomène observé. Des discussions à Nogent avec des spécialistes en sylviculture et anatomie des bois n'ont pas permis de déterminer l'origine de cette asymétrie. L'hypothèse d'une zone de feu, poussée par le vent et attaquant une même face des arbres ne peut être ni infirmée, ni confirmée. On pourrait tout aussi bien faire intervenir une hypothèse « vent dominant », la plantation étant située sur un plateau dénudé exposé à l'alizé, ou tout autre facteur indéterminé.

Les échantillons présentent 4 cernes d'accroissement nets et un cerne central plus ou moins visible, dont on ne sait s'il s'agit d'un cerne annuel ou saisonnier.



*Pinus caribaea* de Nouvelle-Calédonie. Sections comparées de divers échantillons.

## ÉTUDE ANATOMIQUE

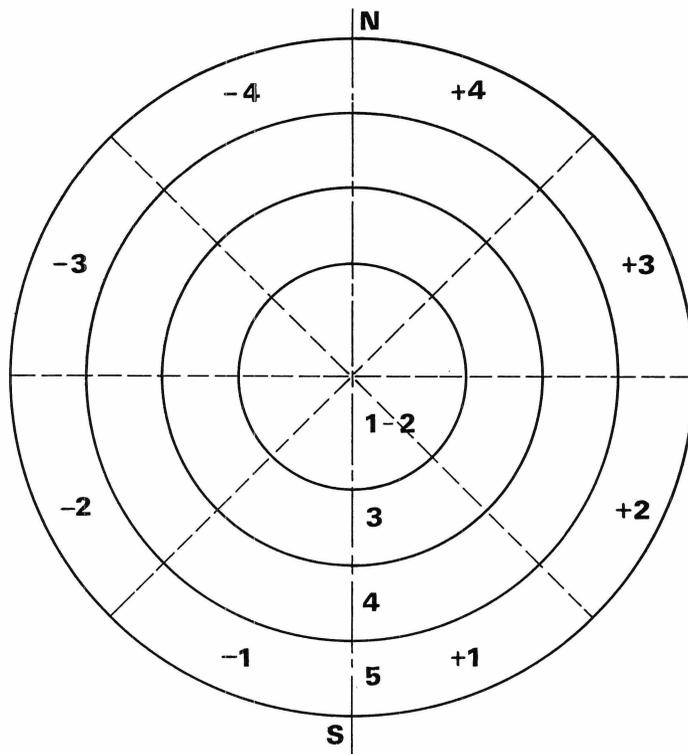


SCHÉMA n° 1. — Numérotation des échantillons par cerne et par secteurs.

La Division d'Anatomie du C. T. F. T. a examiné 101 échantillons dont le numéro était compris entre 1 et 123, soit la moitié de l'ensemble des échantillons testés sur le plan papetier. Les déterminations effectuées sur des sections transversales ont porté sur les points suivants :

- Rayon maximum de l'échantillon.
- Rayon minimum de l'échantillon.
- Largeur maximale du dernier cerne.
- Largeur minimale du dernier cerne.
- Surface du bois de compression de l'échantillon.
- % de bois de compression pour l'ensemble de l'échantillon.
- Surface du dernier cerne.
- Surface du bois de compression dans le dernier cerne.
- % de bois de compression dans le dernier cerne.

Les résultats correspondant à l'ensemble des 101 échantillons sont donnés au tableau n° 1.

On y observe des différences importantes entre rayons maximum et minimum qui marquent l'excentricité des échantillons par rapport à l'axe central.

TABLEAU N° 1

### RÉSULTATS DE L'ÉTUDE ANATOMIQUE DE 101 ÉCHANTILLONS

Caractéristiques	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Rayon maximum cm .....	5,6	1,29	3,1	8,9
Rayon minimum cm .....	3,8	0,9	2	6,8
Largeur maximum du dernier cerne cm .....	1,08	0,39	0	2,2
Largeur minimum du dernier cerne cm .....	0,13	0,11	0	0,6
% bois de compression pour l'échantillon total ..	21,2	8,5	5,6	48,7
% de bois de compression dans le dernier cerne ..	69,2			

TABLEAU N° 2

### RÉPARTITION DU BOIS DE COMPRESSION ENTRE LES CERNES ET LES SECTEURS DE 101 ÉCHANTILLONS

Secteurs	Cernes 1 + 2 (centraux)	Cerne 3	Cerne 4	Cerne 5 (périphérique)
+ 1 — 1 .....	31 %	35 %	44 %	97 %
+ 2 — 2 .....	12 %	14 %	13 %	0
+ 3 — 3 .....	13 %	9 %	5 %	1 %
+ 4 — 4 .....	53 %	15 %	6 %	2 %

L'importance du bois de compression dans le dernier cerne apparaît nettement.

On a appelé « 5 » le dernier cerne périphérique, « 4 » l'avant dernier, « 3 » l'avant avant dernier et « 1 » et « 2 » les deux cernes centraux difficiles à distinguer l'un de l'autre. On a par ailleurs partagé le bois en huit secteurs numérotés de — 1 à — 4 et de + 1 à + 4, conformément au schéma n° 1. On a déterminé la proportion de bois de compression

dans chaque cerne et secteur. Les valeurs obtenues sont données au tableau n° 2.

On voit que le bois de compression prédomine, dans tous les cernes non centraux, sur la même face, mais tout particulièrement dans le cas du cerne 5 périphérique. Il s'agit donc, dans ce dernier cerne, de l'accentuation d'un phénomène qui existait déjà au cours des années précédentes, mais qui s'est toutefois inversé après la 2<sup>e</sup> année.

## ESSAIS PAPETIERS

### ESSAIS CLASSIQUES

La densité anhydre a tout d'abord été déterminée sur des sections transversales complètes des échantillons ( $P_0/V_0$ ,  $V_0$  étant déterminée sur balance par poussée d'eau).

Les échantillons ont ensuite été mis en copeaux sur coupeuse Wiger de 60 CV.

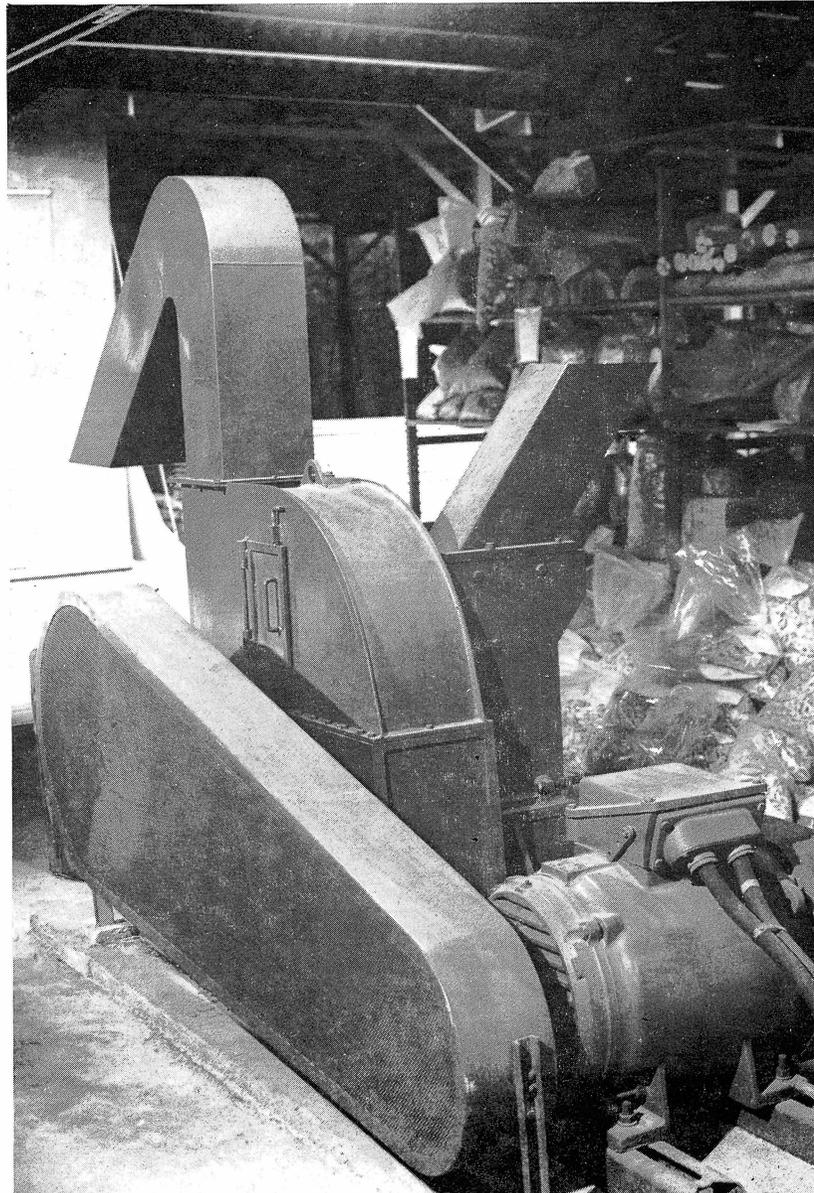
Chaque échantillon a été traité par cuisson kraft standard (cuisneur à obus de 2 l, 22 % alcali total exprimé en NaOH, sulfidité 25 %, 1 h 30 à 170°). On a calculé le rendement en pâte brute (% sur bois sec), en pâte classée, les incuits éliminés au classage, l'indice de délignification (indice MnOK, 40 cc), la teneur en soude libre des lessives résiduelles (g NaOH/l), l'indice « photovolt » des pâtes, le temps de classage des fibres (en minutes pour une quantité de pâte correspondant à 260 g de bois anhydre).

Les pâtes écruées ont été raffinées au Jokro, tirées en feuilles de 60 g/m<sup>2</sup> au Kotten, puis analysées selon les standards pour la longueur de rupture, l'éclatement, la déchirure, les plis, l'allongement, la porosité, la main. On a retenu les chiffres correspondant à un degré de raffinage de 40 °SR. Comme les valeurs relatives aux plis et à la porosité se situent sur une échelle à caractère exponentiel, on a calculé le logarithme de ces valeurs.

Parallèlement, par observation microscopique de la pâte écruée, on a déterminé les caractéristiques morphologiques des fibres : longueur ( $L$ ), largeur ( $l$ ) cavité ( $C$ ), parois (toutes dimensions en microns) ainsi que l'indice de feutrage ( $L/l$ ) et le coefficient de souplesse ( $C/l$  %).

### ESSAIS SUR CAROTTES

On a prélevé à la tarière de Pressler, sur chaque échantillon, 4 carottes (deux orientées N. S. et deux orientées E. O.).



Centre Technique Forestier Tropical.  
Coupeuse à bois de 60 CV pour l'obtention de plaquettes.

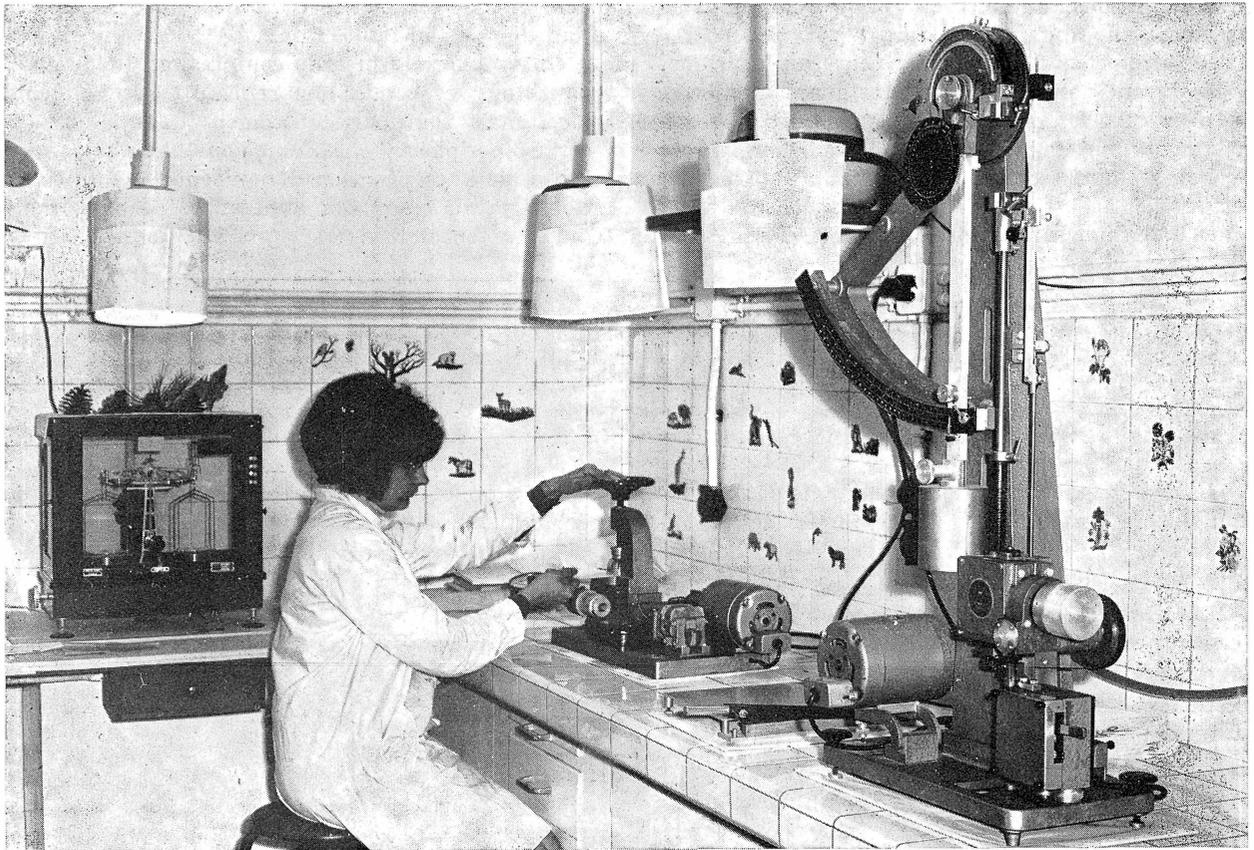


Photo Chatelain — C. T. F. T.

C. T. F. T. Division de Cellulose et Chimie. Laboratoire d'essais mécaniques du papier.

Ces carottes ne sont pas exactement représentatives de l'échantillon car elles surestiment la partie centrale de l'arbre et sous-estiment la partie périphérique. Il a cependant semblé intéressant d'effectuer sur ces carottes, à titre comparatif, une mesure de densité et une microcuisson en obus de 20 cc (conditions similaires à celles des obus).

### PRÉCISION DES ESSAIS

On a voulu vérifier que la variabilité inter-échantillons observée au cours de cette étude était bien le fait de différences spécifiques entre les sujets testés, et non celui de mesures imprécises. Pour cela, on a introduit, à intervalles réguliers au cours de l'étude, un même échantillonnage de *P. caribaea* qui a ainsi été testé 28 fois.

La moyenne et l'écart type de ces 28 essais répétitifs sont donnés au tableau n° 3. La précision obtenue est très variable selon la caractéristique considérée. Elle est dans quelques cas satisfaisante et interfère très peu avec l'étude statistique des 202 échantillons. Exemple :

TABLEAU N° 3  
PRÉCISION DES ESSAIS.  
MOYENNE ET ÉCART TYPE  
POUR UN ÉCHANTILLONNAGE CONSTANT  
TESTÉ 28 FOIS

Caractéristiques	Moyenne	Ecart type	
		brut	%
Diamètre rondin (cm) . . . . .	8	0,1	1,2
Densité . . . . .	0,46	0,005	1,0
Lignine . . . . .	33,42	0,18	0,5
Longueur des fibres (microns) . . . . .	3.650	160	4,4
Largeur des fibres (microns) . . . . .	56,6	2,8	4,9
Cavité des fibres (microns) . . . . .	43,5	2,8	6,4
Parois des fibres (microns) . . . . .	13,2	1,2	9,1
Indice de feutrage (L/t) . . . . .	65,2	4,9	7,5
Coefficient de souplesse (C/l %)	50	2,2	4,4
Siccité des pâtes essorées (%) . . . . .	25,1	1	4,0
Rendement brut % . . . . .	44,1	0,34	0,8
Rendement net % . . . . .	43,8	0,33	0,8
Incuits % (sur bois) . . . . .	0,35	0,1	28
Soude restante g/l . . . . .	8,2	0,5	6,1
Indice MnO <sub>4</sub> K . . . . .	24,3	0,8	3,3
Photovolt pâte écrue . . . . .	25,8	1,2	4,7
Longueur de rupture . . . . .	8.130	403	5,0
Eclatement . . . . .	61,1	4,7	7,7
Déchirure avant raffinage . . . . .	152,6	8	5,2
Déchirure à 40 °SR . . . . .	71,6	3,4	4,7
Plis . . . . .	330	84	25,5
Porosité . . . . .	6,3	1,4	22
Main . . . . .	1,3	0,03	2,3
Temps de raffinage (minutes) . . . . .	60	2,5	4,2

ECART TYPE EN %

	Sur 28 essais répétitifs	Sur 202 échan- tillons variables
Densité bois . . . . .	1,0	10,8
Lignine . . . . .	0,5	6,6
Rendement en pâte.	0,8	4,8
Diamètre rondins .	1,2	21

ECART TYPE EN %

	Sur 28 essais répétitifs	Sur 202 échantil- lons variables
Indice MnO <sub>4</sub> K . . . .	3,3	11,4
Déchirure à 40 °SR.	3,4	18,9

Dans beaucoup de cas, l'incidence n'est pas négligeable ; la variabilité est due, d'une part aux imprécisions des mesures qui s'accumulent au fur et à mesure que l'on descend la chaîne d'essais, d'autre part à l'hétérogénéité des prélèvements dans chaque échantillon. Cette variabilité reste toutefois sensiblement inférieure à la variabilité de l'ensemble des 202 échantillons. Exemple ci-contre :

Dans le cas des incuits, des plis et de la porosité, l'imprécision est grande (28 %, 25 %, 22 %). Dans

le cas des incuits, on conçoit que la présence d'un simple nœud mal cuit dans une pâte par ailleurs bien délignifiée, suffit à doubler la proportion de refus. Pour la porosité et les plis, c'est l'échelle très exponentielle de ces caractéristiques qui est cause de l'imprécision, d'où l'intérêt de raisonner de préférence sur les logarithmes des valeurs. Quoi qu'il en soit, même dans le cas de ces valeurs très imprécises qui nous conduisent à les considérer comme des ordres de grandeur, la variabilité est inférieure à celle des 202 échantillons dont l'écart type dépasse 50 %.

RÉSULTATS RELATIFS A LA VARIABILITÉ

Le tableau n° 4 donne, pour l'ensemble des 202 échantillons, la moyenne, l'écart type, les

TABLEAU N° 4

VARIABILITÉ DES CARACTÉRISTIQUES DE 202 ÉCHANTILLONS  
DE *P. CARIBAEA* DE NOUVELLE CALÉDONIE  
ORIGINAIRES D'UN MÊME LOT DE GRAINE, DE MÊME AGE, PLANTÉS SUR UNE MÊME PARCELLE

Symbole	Variable	Moyenne	Ecart type		Min.	Max.
			brut	%		
V01	Diamètre rondin cm	9,0	1,9	21	5	14,5
V02	Densité bois sec	0,50	0,054	10,8	0,36	0,68
V03	% fines à la mise en copeaux	14,9	3,2	21,5	7	28,5
V04	% cendres	0,29	0,047	16,2	0,17	0,54
V05	% lignine	33,3	2,20	6,6	26,1	38,4
V06	Longueur des fibres Mu	3.507	423	12,1	2.225	4.535
V07	Largeur des fibres Mu	53,7	4,0	7,4	44,0	65,0
V08	Cavité des fibres Mu	40,2	4,6	11,4	27,0	51,0
V09	Parois des fibres Mu	13,6	2,2	16,2	7	24
V10	Indice de feutrage	65,4	8,0	12,2	41	88
V11	Coefficient de souplesse	74,6	4,6	6,2	59	86
V12	Siccité des pâtes essorées %	25,6	1,6	6,3	20,2	29,4
V13	Rendement brut %	44,35	1,77	4,0	39,6	48,5
V14	Rendement net %	43,16	2,06	4,8	37,6	47,2
V15	Incuits % (sur bois)	1,2	0,7	58,3	0,09	3,1
V16	NaOH restant g/l	8,4	1	11,9	6	11
V17	Indice MnO <sub>4</sub> K	24,2	2,75	11,4	17,2	32
V18	Photovolt écrit	24,3	2,1	8,6	18	29
V19	Temps de classage de la pâte (min.)	17,4	6,3	36,2	6	44
V20	Longueur de rupture	7.665	818	10,7	5.600	9.600
V21	Eclatement	56,5	5,4	9,6	44	74
V22	Déchirure avant raffinage	159	33	20,8	82	244
V23	Déchirure 40 °SR	74,6	14,1	18,9	47	120
V24	Plis	280	141	50,4	60	880
V25	Porosité	8,9	5	56,2	2	30
V26	Main	1,34	0,06	4,5	1,20	1,50
V27	Allongement %	3,9	0,37	9,5	3,2	6,0
V28	Temps de raffinage (min.)	57,8	5,3	9,2	44	79
V29	Log. de plis	2,39	0,22	9,2	1,7	2,9
V30	Log. de porosité	0,88	0,23	26,1	0,30	1,48
V31	Densité carottes	0,45	0,057	12,7	0,31	0,63
V32	Rendement pâte carottes %	42,3	2,0	4,7	35,1	48,5
V33	Rayon max. rondelle	5,6	1,29	23	3,1	8,9
V34	Rayon min. rondelle	3,8	0,9	23,7	2	6,8
V35	Largeur max. dernier cerne	1,08	0,39	36	0	2,2
V36	Largeur min. dernier cerne	0,13	0,11	84,6	0	0,6
V37	% bois de compression	21,2	8,5	40,1	5,6	48,7

valeurs minimum et maximum. On peut faire les remarques suivantes :

— Diamètre des rondins : il est très variable, 5 à 14,5 cm soit du simple au triple.

— Densité : elle varie considérablement entre 0,36 et 0,68, soit du simple au double. 95 % des mesures sont comprises entre 0,39 et 0,61 soit dans un rapport 1,6 qui implique probablement une grande variabilité des propriétés des bois.

— Caractéristiques morphologiques : elles varient dans des proportions à peu près semblables à celles de la densité, soit du simple au double.

— Composition chimique : la teneur en lignine varie entre 26 et 38 %. Comparativement aux caractéristiques précédentes, l'intervalle est, toutes proportions gardées, moins étendu. Toutefois on peut admettre qu'il est quand même important par rapport aux gammes de résultats que l'on observe avec les bois tropicaux. On peut classer les extrêmes dans la catégorie des bois peu lignifiés ou très lignifiés.

Le pourcentage de cendres varie du simple au triple.

— Cuisson des bois : comme pour la composition chimique, le rendement en pâte est très variable d'un point de vue papetier. Les rendements extrêmes, 37 et 47 % correspondent le premier à un résultat extrêmement médiocre, le second à un résultat satisfaisant. De même, l'indice de délignification, compris entre 17 et 32, correspond dans un cas à un bois facile à cuire, dans l'autre à un bois difficile à cuire.

— Caractéristiques des pâtes et papiers : les caractéristiques des papiers varient du très médiocre au satisfaisant. La résistance à la déchirure en particulier, caractéristique importante dans le cas de résineux, varie du simple au triple.

— Pourcentage de bois de compression : Cette proportion est très variable, avec des extrêmes se situant à 5,6 et 48,7 %.

— On peut conclure que l'échantillonnage est très variable, tant sur le plan des propriétés physiques que sur celui des propriétés anatomiques, chimiques ou papetières. Cette variabilité est sensiblement supérieure à l'estimation que l'on aurait faite *a priori* pour des sujets plantés à partir d'un même lot de graines, sur un même terrain, dans des conditions climatiques identiques.

## RECHERCHE DE CORRÉLATIONS

Les résultats de cette étude ont été traités sur ordinateur afin de mettre en évidence les corrélations pouvant exister entre les variables définies précédemment, prises deux par deux. Le tableau n° 5 donne la matrice des corrélations linéaires dans le cas de 32 variables (202 échantillons).

Pour les principales caractéristiques anatomiques, physiques, chimiques ou morphologiques des bois, on a observé la présence (ou l'absence) de corrélations avec les caractéristiques des pâtes et papiers dans les cas suivants pour lesquels les valeurs supérieures à 0,5 sont précédées d'un + et l'absence remarquée de corrélation d'un 0. On rappelle que pour 202 échantillons le coefficient est significativement différent de 0 pour un  $r$  supérieur à 0,15 en cas de distribution normale. Dans le cas présent on s'est limité à l'examen des corrélations d'un niveau supérieur à 0,30.

### Diamètre du rondin :

- 0 Absence de corrélations de niveau élevé ce qui est surprenant.
- . Quelques corrélations très faibles de peu d'intérêt.

### Densité du bois :

- . Cavité des fibres ( $r = -0,43$ ).
- . Parois des fibres ( $r = 0,46$ ).
- + . Coefficient de souplesse ( $r = -0,52$ ).
- + . Siccité des pâtes essorées ( $r = 0,51$ ).

- + . Photovolt écreu ( $r = 0,51$ ).
- . Longueur de rupture ( $r = -0,36$ ).
- . Eclatement ( $r = -0,40$ ).
- + . Déchirure 40 °SR ( $r = -0,50$ ).
- + . Porosité ( $r = -0,64$ ) — ( $r = -0,67$  avec Log. Porosité).
- + . Main ( $r = 0,51$ ).
- . Temps de raffinage ( $r = -0,34$ ).
- + . Densité carottes ( $r = 0,68$ ). Résultat peu satisfaisant.
- 0 Absence de corrélation avec lignine.

### Cendres :

- . Lignine ( $r = 0,35$ ).
- . Déchirure des papiers ( $r = -0,33$  et  $-0,38$ ). Résultat surprenant.

### Lignine :

- . % fines au coupage ( $r = 0,43$ ).
- . % cendres ( $r = 0,35$ ).
- . Siccité des pâtes essorées ( $r = 0,30$ ).
- + . Rendement en pâte ( $r = -0,79$  et  $-0,81$ ). Très forte corrélation.
- . Incuits % ( $r = 0,37$ ).
- + . NaOH restant g/l ( $r = -0,55$ ).
- + . Indice  $MnO_4K$  ( $r = 0,62$ ). Forte corrélation.
- + . Résistance à la déchirure ( $r = -0,52$  et  $-0,43$ ).



- . Rendement en pâte carottes ( $r = -0,42$ ).
- . Largeur max. dernier cerne ( $r = 0,39$ ).
- . Rayon max. rondelle ( $r = 0,34$ ).
- . % bois de compression ( $r = 0,48$ ).
- 0 Absence de corrélation avec la morphologie des fibres.

#### Longueur des fibres :

- + . Indice de feutrage ( $r = 0,80$ ).
- . Siccité des pâtes essorées ( $r = 0,38$ ).
- . Indice  $MnO_4K$  ( $r = -0,36$ ). Résultat surprenant.
- + . Temps de classage des fibres ( $r = 0,50$ ).
- . Déchirure des pâtes non raffinées ( $r = 0,32$ ).
- . Allongement % ( $r = -0,31$ ).
- . Temps de raffinage ( $r = -0,32$ ).
- . Rayon max. rondelle ( $r = -0,36$ ).
- 0 Absence de corrélation avec la déchirure à 40 °SR ( $r = 0,17$ ). La corrélation avec la déchirure des pâtes avant raffinage est elle-même relativement faible ( $r = 0,32$ ).

#### Largeur des fibres :

- . Longueur des fibres ( $r = 0,30$ ).
- + . Cavité des fibres ( $r = 0,87$ ).
- . Indice de feutrage ( $r = -0,32$ ).
- . Coefficient de souplesse ( $r = 0,41$ ).

#### Cavité des fibres :

- . Densité ( $r = -0,43$ ).
- + . Largeur des fibres ( $r = 0,87$ ).
- . Parois des fibres ( $r = -0,49$ ).
- . Indice de feutrage ( $r = -0,42$ ).
- + . Coefficient de souplesse ( $r = 0,80$ ).
- . Porosité ( $r = -0,38$ ).
- . Rayon min. rondelle ( $r = 0,36$ ).

#### Parois des fibres :

- . Densité ( $r = 0,46$ ). Avec densité carottes,  $r = 0,35$ .
- . Cavité des fibres ( $r = -0,49$ ).
- . Indice de feutrage ( $r = 0,30$ ).
- + . Coefficient de souplesse ( $r = -0,89$ ).
- . Siccité des pâtes essorées ( $r = 0,45$ ).
- . Photovolt écri ( $r = -0,39$ ).
- . Déchirure 40 °SR ( $r = 0,34$ ).
- . Porosité ( $r = 0,36$ ). Avec log. de porosité,  $r = 0,37$ .
- . Main ( $r = 0,36$ ).
- . Temps de raffinage ( $r = -0,32$ ).

#### Indice de feutrage :

- + . Longueur des fibres ( $r = 0,80$ ).
- . Largeur des fibres ( $r = -0,32$ ).
- . Cavité des fibres ( $r = -0,42$ ).
- . Paroi des fibres ( $r = 0,30$ ).
- . Coefficient de souplesse ( $r = -0,41$ ).
- . Siccité des pâtes essorées ( $r = 0,32$ ).

- . Temps de classage de la pâte ( $r = 0,39$ ).
- . Déchirure avant raffinage ( $r = 0,33$ ). Résultat faible.
- . Temps de raffinage ( $r = 0,28$ ).
- . Rayon max. rondelle ( $r = -0,43$ ).
- . Rayons min. rondelle ( $r = -0,39$ ).
- 0 Absence de corrélation avec déchirure à 40 °SR.

#### Coefficient de souplesse :

- . Densité ( $r = -0,52$ ) ; densité carotte ( $r = -0,42$ ).
- . Largeur des fibres ( $r = 0,41$ ).
- + . Cavité des fibres ( $r = 0,80$ ).
- + . Paroi des fibres ( $r = -0,89$ ).
- . Indice de feutrage ( $r = -0,41$ ).
- . Siccité des pâtes essorées ( $r = -0,39$ ).
- . Photovolt écri ( $r = 0,39$ ).
- . Déchirure à 40 °SR ( $r = -0,37$ ).
- . Porosité ou log. de porosité ( $r = -0,41$ ,  $r = -0,40$ ).
- . Main ( $r = -0,31$ ).
- . Rayon min. rondelle ( $r = 0,32$ ).
- 0 Absence de corrélation élevée avec longueur de rupture, éclatement, plis.

#### Rayon maximal des rondelles :

- . Diamètre rondin ( $r = 0,92$ ).
- . Fines à la mise en copeaux ( $r = -0,43$ ).
- . Lignine ( $r = 0,34$ ).
- . Longueur des fibres ( $r = -0,36$ ).
- . Indice de feutrage ( $r = -0,43$ ).
- . Déchirure avant raffinage ( $r = -0,35$ ).
- + . Rayon minimum ( $r = 0,75$ ).
- . Largeur max. dernier cerne ( $r = 0,42$ ).
- . % de bois de compression ( $r = 0,32$ ).

#### Rayon minimal des rondelles :

Résultats similaires aux précédents, sauf corrélation avec bois de compression qui disparaît.

#### Largeur maximale du dernier cerne :

- . Diamètre rondin ( $r = 0,35$ ).
- . Lignine ( $r = 0,39$ ).
- . Rendements brut et net ( $r = -0,37$ ,  $r = -0,33$ ).
- . Rayon max. rondelle ( $r = 0,42$ ).
- . Largeur min. dernier cerne ( $r = 0,35$ ).
- . % de bois de compression ( $r = 0,49$ ).

#### Largeur minimale du dernier cerne :

0 Contrairement au cas précédent, on ne retrouve pas de corrélations intéressantes.

#### % de bois de compression dans les rondelles :

- . Lignine ( $r = 0,48$ ).
- . Rendements brut et net ( $r = -0,57$ ,  $r = -0,56$ ).

- . NaOH restant g/l ( $r = -0,43$ ).
- . Indice  $MnO_4K$  ( $r = 0,43$ ).
- . Photovolt écreu ( $r = -0,32$ ).
- . Temps de classement de la pâte ( $r = -0,35$ ).
- . Eclatement ( $r = -0,32$ ).
- . Plis ( $r = -0,33$ ) — log. de plis ( $r = -0,37$ ).
- . Porosité ( $r = 0,41$ ) — log. de porosité ( $r = 0,37$ ).
- . Rayon max. rondelle ( $r = 0,32$ ).
- . Largeur max. dernier cerne ( $r = 0,49$ ).
- 0 Absence de corrélation avec le diamètre.

Il apparaît que les caractéristiques de base (densité du bois, composition chimique, etc...) le plus souvent corrélées avec des résultats papetiers (résultat de cuisson, caractéristiques des pâtes et des papiers) sont : la densité, la lignine, la longueur des fibres.

Les caractéristiques relatives aux cernes et au bois de tension semblent corrélées à la lignine, et c'est par ce biais semble-t-il qu'elles sont reliées aux caractéristiques papetières.

Le fait que le diamètre des rondins ne soit pra-

tiquement corrélé à aucune caractéristique de base est un peu surprenant dans la mesure où tous les rondins proviennent d'arbres d'âge égal, la parcelle étant équiennne. Cette absence de corrélation ouvre des perspectives favorables pour la sélection des Pins dans la mesure où il existe une bonne probabilité de repérer des sujets possédant à la fois une forte croissance et une densité élevée.

L'absence de corrélations importantes se rapportant au coefficient de souplesse a également surpris, cette recherche étant généralement beaucoup plus fructueuse dans le cadre d'études inter espèces feuillues.

Il faut enfin rappeler l'existence de quelques corrélations de haut niveau, déjà connues, qui apparaissent ici entre diverses caractéristiques papetières telles que « rendement-indice  $MnO_4K$  », « longueur de rupture-éclatement », etc...

L'analyse des résultats en composantes principales confirme que la densité des bois d'une part, la lignine, d'autre part, représentent les deux caractéristiques importantes des bois d'un point de vue papetier.

## RÉGRESSIONS LINÉAIRES MULTIPLES

On a essayé de mieux expliquer quelques caractéristiques des pâtes et des papiers en les corrélant à un ensemble de propriétés physiques ou morphologiques des bois.

On a recherché les régressions linéaires multiples correspondant aux cas suivants :

— Indice  $MnO_4K$  en fonction de la lignine et de la densité.

— Indice  $MnO_4K$  en fonction de la densité, des cendres, de la lignine, de la longueur des fibres, du diamètre des rondins.

— Déchirure à 40 °SR en fonction de la densité, de la lignine, de l'épaisseur des parois des fibres, du coefficient de souplesse, de l'indice  $MnO_4K$ .

— Déchirure avant raffinage en fonction de la densité, de la lignine, de l'épaisseur des parois des fibres, de l'indice de feutrage, de l'indice  $MnO_4K$ .

— Longueur de rupture à 40 °SR en fonction de la densité, de la lignine, de l'épaisseur des parois des fibres, de l'indice de feutrage, de l'indice  $MnO_4K$ .

— L'éclatement à 40 °SR en fonction de la densité, de la lignine, de l'épaisseur des parois des fibres, du coefficient de souplesse, de l'indice  $MnO_4K$ .

On rappelle que dans cette recherche, l'ordinateur part d'une corrélation simple à une seule variable, par exemple la lignine, puis essaye

d'améliorer le  $r$  de corrélation en introduisant une seconde variable par exemple la longueur de fibres, puis une troisième, etc...

Le tableau n° 6 donne, pour chaque caractéristique à expliquer, la progression de  $r$  lorsque l'on introduit successivement plusieurs variables, les valeurs de  $r^2$ , de  $\Delta r^2$  et l'équation finale proposée. On peut faire les remarques suivantes :

— L'indice de permanganate des pâtes après cuisson est fortement corrélé à la teneur en lignine des bois qui intervient à elle seule pour 40 % environ dans les variations observées (pourcentage exprimé par la valeur de  $r^2$ ). L'utilisation de nouvelles variables ne modifie pas très sensiblement le degré de corrélation et offre un intérêt limité.

— La résistance à la déchirure peut avantageusement être reliée, d'une part à la densité des bois, d'autre part, à la teneur en lignine, ces deux caractéristiques expliquant près de 50 % des variations, soit un excellent résultat. L'introduction de variables supplémentaires n'offre pas un très grand intérêt.

— La résistance à la déchirure avant raffinage est essentiellement corrélée à la lignine. On améliore légèrement la corrélation en introduisant comme seconde et troisième variable la densité des bois et l'indice de feutrage. On arrive ainsi à expliquer 36 % des variations.

TABLEAU N° 6  
RÉGRESSIONS LINÉAIRES MULTIPLES

Variable à expliquer : $y$	Variables explicatives $x_1, x_2, x_3, \dots$	$r$	$r^2$	$\Delta r^2$	$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 \dots$
Indice $MnO_4K$	$x_1$ : Lignine	0,624 2	0,389 7	0,389 7	
	$x_2$ : Densité	0,624 5	0,389 9	0,000 3	+ 0,777 $x_1$ - 0,826 $x_2$ 2,119
Indice $MnO_4K$	$x_1$ : Lignine	0,624 2	0,389 7	0,389 7	
	$x_2$ : Longueur fibres	0,652 1	0,425 2	0,035 5	- 0,725 $x_1$ + 0,001 5 $x_2$
	$x_3$ : Parois fibres	0,660 0	0,435 6	0,010 4	+ 0,148 $x_3$
	$x_4$ : Diamètre	0,664 3	0,441 3	0,057	- 0,121 $x_4$
	$x_5$ : Densité	0,665 5	0,443 0	0,016	- 2,160 $x_5$
	$x_6$ : Cendres	0,665 7	0,443 2	0,000 2	+ 0,148 $x_6$ + 5,27
Déchirure 40 °SR	$x_1$ : Densité	0,497 8	0,247 8	0,247 8	
	$x_2$ : Lignine	0,690 8	0,477 2	0,229 3	- 127,4 $x_1$ + 3,008 $x_2$
	$x_3$ : Parois	0,698 7	0,488 2	0,011 1	+ 0,69 $x_3$
	$x_4$ : Indice feutrage	0,699 5	0,489 2	0,001 0	+ 0,06 $x_4$ + 97,6
Déchirure avant raffinage	$x_1$ : Lignine	0,515 2	0,265 4	0,265 4	
	$x_2$ : Densité	0,575 5	0,331 2	0,065 8	- 7,17 $x_1$ + 118,3 $x_2$
	$x_3$ : Indice feutrage	0,600 7	0,360 8	0,029 6	+ 0,66 $x_3$
	$x_4$ : Parois	0,604 2	0,365 1	0,004 3	+ 1,17 $x_4$
	$x_5$ : Indice $MnO_4K$	0,604 9	0,365 9	0,000 8	- 0,45 $x_5$ + 290,8
Longueur de rupture	$x_1$ : Densité	0,363 5	0,132 2	0,132 2	
	$x_2$ : Indice feutrage	0,400 2	0,160 2	0,028 0	- 5.688,0 $x_1$ + 18,63 $x_2$
	$x_3$ : Indice $MnO_4K$	0,412 6	0,170 3	0,010 1	- 69,5 $x_3$
	$x_4$ : Lignine	0,447 9	0,200 6	0,030 3	+ 83,2 $x_4$
	$x_5$ : Parois	0,449 8	0,202 3	0,017	- 17,7 $x_5$ + 8.446,7
Eclatement	$x_1$ : Densité	0,402 0	0,161 6	0,161 6	
	$x_2$ : Indice $MnO_4K$	0,454 6	0,206 7	0,045 1	- 35,8 $x_1$ - 0,326 $x_2$
	$x_3$ : Indice feutrage	0,468 8	0,219 8	0,013 1	+ 0,101 $x_3$
	$x_4$ : Parois	0,480 7	0,231 1	0,011 3	- 0,303 $x_4$
	$x_5$ : Lignine	0,481 0	0,231 3	0,000 2	- 0,050 $x_5$ + 81,6

— La longueur de rupture et l'éclatement sont modérément corrélés à la densité. On peut améliorer quelque peu la corrélation en introduisant

diverses variables secondaires dont l'incidence reste toutefois limitée. L'ensemble de ces variables intervient pour environ 20 % dans la variation totale.

## RECHERCHES EFFECTUÉES SUR D'AUTRES ÉCHANTILLONNAGES DE *PINUS CARIBAEA*

Des essais papetiers ont été effectués au C. T. F. T. sur d'autres échantillonnages de *P. caribaea* originaires du Congo, de Côte-d'Ivoire, de Guyane. Dans tous les cas le nombre d'échantillons n'a jamais dépassé quelques unités et les études réalisées ne sauraient être comparées à la précédente, bien qu'elles aient déjà confirmé que la qualité papetière de cette espèce était très variable.

Une étude voisine de celle du C. T. F. T. a été entreprise en Grande-Bretagne par le Commonwealth Forestry Institute d'Oxford en liaison avec le Tropical Products Institute de Londres. Elle s'intitule « Pulp and wood densitometric properties of *Pinus caribaea* from Fiji » par J. BURLEY and E. R. PALMER. Elle date de 1979.

Des échantillons de *P. caribaea* de 10 ans environ originaires de trois parcelles de plantation de Fiji ont été testés sur le plan de la densité et des propriétés papetières. L'étude porte au total sur 20 sujets.

Les auteurs de l'étude insistent sur la grande variabilité de l'échantillonnage de *P. caribaea* qui est assez semblable à celle que l'on a observée au C. T. F. T. sur les bois de Nouvelle Calédonie. Exemple de variabilité pour l'échantillonnage Fiji :

Densité : de 0,44 à 0,73 (12 % humidité).

Rendement en pâte : de 39 à 45 %.

Indice Kappa : de 21 à 35.

Une recherche en corrélation a conduit à des résultats proches de ceux du C. T. F. T. On a mis en évidence, en particulier, l'importance de la densité en tant que variable explicative.

Les auteurs concluent sur la nécessité de tester de nombreux échantillons de bois, dans les programmes d'amélioration génétique, en raison de

la grande variabilité observée. Les essais doivent être effectués selon les méthodes papetières classiques (cuisson, tirage et analyse de papiers) car la densité à elle seule ne permet pas un classement correct des échantillons, même si l'on dispose des courbes de répartition densitométrique obtenues par rayons X.

## CONCLUSION

Cette étude prouve que du Pin des Caraïbes planté à partir d'un même lot de graines dans une parcelle de terre homogène conduit, malgré des éléments au départ identiques, à un échantillonnage très hétérogène en ce qui concerne les caractéristiques des bois et des produits dérivés.

Il est difficile de comparer cette hétérogénéité avec celle que l'on pourrait observer pour des plantations de bois européens classiques, car une telle étude n'a pas encore semble-t-il été réalisée, ou tout au moins publiée, sur un plan papetier.

Il apparaît toutefois que dans le cas d'une afforestation en milieu tropical, une amélioration sensible de la qualité papetière des bois de *P. caribaea* sera possible lorsque des techniques de multiplication végétative (bouturage) permettront une sélection clonale. Cette amélioration sera même indispensable sinon on risquera de planter des résineux qui donneront après mise en pâte, des papiers résistant mal à la déchirure, perdant par là tout le bénéfice que l'on est en droit d'attendre de plantations plus longues et coûteuses que des plantations de feuillus tropicaux du type Eucalyptus.

Une étude papetière classique, comportant des cuissons, des tirages et des analyses de papier

demeure encore nécessaire pour la sélection des clones car l'utilisation de facteurs tels que la densité, la composition chimique ou la morphologie des bois ne permet pas pour le moment d'obtenir des renseignements suffisamment précis. Les récents progrès réalisés incitent toutefois à poursuivre l'effort entrepris dans ce domaine de recherche.

## BIBLIOGRAPHIE

- BURLEY (J.) et PALMER (E. R.). — Pulp and wood densitometric properties of *Pinus caribaea* from Fiji, Commonwealth Forestry Institute, Oxford 1979.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. — Utilisation papetière des Eucalyptus et des Pins du Congo, France 1971, non publié.
- RESH (H.) et BASTENDORFF (K.). — Some wood properties of plantations pines, *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*. School of Forestry, Oregon State University, Corvallis, U. S. A.

*Nouvelle-Calédonie. Pinus caribaea de plantation.*

Photo Corbasson.

