

Pépinière d'Eucalyptus au Congo.

Photo Petroff.

VARIABILITÉ, CARACTÉRISTIQUES PAPETIÈRES ET SÉLECTION CLONALE DE DEUX HYBRIDES D'EUCALYPTUS PLANTÉS AU CONGO

Eucalyptus tereticornis 12ABL × *E. saligna*
Eucalyptus PF1 = *E. platyphylla* × *E. urophylla*

par G. PETROFF et M. TISSOT
Centre Technique Forestier Tropical

SUMMARY

THE VARIABILITY, PAPERMAKING CHARACTERISTICS AND CLONAL SELECTION OF TWO HYBRIDS OF EUCALYPTUS PLANTED IN THE CONGO : EUCALYPTUS TERETICORNIS 12ABL × SALIGNA, EUCALYPTUS PF1 = E. PLATHYPHYLLA × UROPHYLLA

Samples of Congolese Eucalyptus from the Pointe Noire region corresponding to two hybrids were tested by the C.T.F.T. in order to define their papermaking characteristics and their variability, and to select the best species for plantations. Altogether, 129 samples and 32 variables were studied. The results were processed on a computer.

Interclonal and intraclonal variability

Samples taken from seedlings showed the greatest variability.

Two samples of pre-selected clones showed appreciably less variability.

Samples corresponding to one and the same clone constituted a homogeneous batch, except for two manifestly aberrant specimens.

Papermaking characteristics of the batches of Eucalyptus

The two samples of preselected clones made a good showing, and the best of them came close to papermaking woods of very good quality. Differences were observed, however, between the tests on freshly felled Eucalyptus and tests on the same samples after one year of storage.

The best clones can give 1 tonne of bleached pulp from 3 to 3.5 cubic metres of green wood with bark.

Correlations between the properties of woods and pulps

Numerous correlations were observed. It was noted that low density favoured the tensile strength, bursting strength and folding strength of papers. On the other hand, high density favoured tearing strength and bulk, and reduced the number of cubic metres of wood necessary to produce one tonne of pulp.

Selection of the best clones

A selection was made on the basis of two criteria :

(a) Annual yield of pulp from 1 hectare of plantation.

(b) Breaking length.

Furthermore, the ellagic acide content of the selected clones was determined, in order to check that it was not too high.

This article gives an account of the work carried out and the results obtained. It sums up the joint efforts of the following bodies :

§ The Centre Technique Forestier Tropical in Pointe Noire, which is responsible for silvicultural research and which collected, from its own plantations, samples to be tested, and handled their shipment.

§ The Chemistry and Cellulose Division of the C.T.F.T. at Nogent-sur-Marne, which performed laboratory tests and undertook most of the interpretation of the results and the preparation of a report.

§ The Biometry Division of the C.T.F.T., which carried out the statistical analysis.

§ The Directorate of Forestry Research, which assisted in connection with various aspects of the sampling.

RESUMEN

VARIABILIDAD, CARACTERÍSTICAS PAPELERAS Y SELECCION CLONAL DE DOS HÍBRIDOS DE EUCALIPTO PLANTADOS EN EL CONGO

Eucalyptus tereticornis 12 ABL × saligna

Eucalyptus PF1 = E. E. plathyphylla × urophylla

Se han sometido a prueba diversas muestras de Eucaliptos congolese de la región de Pointe Noire, que corresponden a dos híbridos. Estas pruebas se han ejecutado en el C.T.F.T. con objeto de definir sus características papeleras y su variabilidad y asimismo, seleccionar para las plantaciones los sujetos de mejores prestaciones.

En total, se han estudiado 129 muestras y 32 variables, cuyos resultados se han procesado en computadora.

• Variabilidad inter e intraclonal :

Se trata de muestras procedentes de siembra, que son las que han acusado la mayor variabilidad.

Dos muestras de clones preseleccionadas brindan una variabilidad virtualmente menos importante.

Las muestras correspondientes a una misma clona constituyen un lote homogéneo si se exceptúan dos sujetos que acusan aberraciones manifiestas.

• Características papeleras de los lotes de Eucaliptos :

Las dos muestras de clones preseleccionadas se clasifican honorablemente y se acercan, para las mejores clones, de algunas maderas de muy buena calidad que se emplean para la fabricación del papel. No obstante, se han observado diferencias entre las pruebas que se han efectuado mediante Eucaliptos recién talados y aquellas llevadas a cabo con las mismas muestras transcurrido un año después de su almacenamiento.

Las mejores clones permiten obtener una tonelada de pasta blanqueada a partir de 3 a 3,5 m³ de madera verde con su corteza.

- Correlaciones entre las propiedades de las maderas y las pastas :

Se han observado numerosas correlaciones y se ha comprobado que una densidad reducida presenta características favorables por lo que respecta a las resistencias de tracción, al reventamiento y al plegado de los papeles. En cambio, una densidad elevada resulta propicia para la resistencia al desgarramiento y para obtener un buen cuerpo de los papeles, al reducir el número de metros cúbicos necesarios para la fabricación de una tonelada de pasta.

- Selección de las mejores clonas :

Se ha procedido a una selección tomando como base dos criterios :

- a) rendimiento anual en pasta correspondiente a una hectárea de plantación,*
- b) longitud de ruptura.*

Por otro lado, se ha determinado también el contenido en ácido eláxico de las clonas seleccionadas, para verificar si tal contenido no era demasiado elevado.

En este artículo se da cuenta de los trabajos ejecutados y los resultados obtenidos y se sintetizan los esfuerzos conjuntos emprendidos por parte de :

— el Centre Technique Forestier Tropical de Pointe Noire, encargado de las investigaciones de carácter silvícola, et cual ha reunido en sus propias plantaciones las muestras destinadas a las pruebas, habiéndose encargado del envío de dichas muestras.

— la División de Celulosa y Química del C.T.F.T. de Nogent-sur-Marne, que ha procedido a las pruebas en laboratorio y se ha encargado de la mayor parte de la interpretación de los resultados y de la redacción de un informe de estudios.

— la División de Biometría del C.T.F.T., que ha llevado a cabo el análisis estadístico.

— la Dirección de Investigaciones Forestales, que ha aportado su colaboración respecto a distintos puntos relativos al muestreo.

Cette étude, réalisée en 1981-1982, porte sur deux Eucalyptus hybrides E. PF1 et E. 12ABL × saligna, utilisés à l'heure actuelle en plantations industrielles, à vocation papetière, dans la région de Pointe-Noire.

La multiplication à grande échelle de ces deux hybrides, apparus naturellement au Congo dès 1963, fut le premier problème qui se posa à la recherche. La voie sexuée, la première essayée, se révéla inadaptée.

Dès 1969, on s'orienta vers la multiplication végétative. La technique mise au point par le C.T.F.T. consiste à produire sous certains stimuli et dans les conditions de milieu bien déterminées, des boutures herbacées à partir de jeunes rejets de souches. Par ce procédé un individu originel (ortet (1) ou tête de clone) sélectionné pour ses bonnes caractéristiques et sa forte productivité peut être propagé en masse. L'ensemble d'individus, tous génétiquement identiques, ainsi créé est appelé un clone.

Environ 10.000 ha de plantations clonales d'Eucalyptus, mettant en jeu environ 80 clones des deux hybrides, ont été créés au Congo pendant la période 1978-1982.

Sur le plan papetier, les essais de laboratoire dont il est fait mention ci-après, sont d'une grande ampleur tant par le nombre et la nature des tests que par le nombre des échantillons testés. Les objectifs de cette étude sont multiples :

— Recherche d'informations sur la variabilité des propriétés physiques et papetières de divers lots d'Eucalyptus : variabilité entre 56 individus hybrides d'Eucalyptus PF1 obtenus à partir de graines originaires d'une même parcelle — variabilité interclonale observée entre 29 clones présélectionnés d'Eucalyptus PF1 — variabilité interclonale observée entre 35 clones présélectionnés d'Eucalyptus tereticornis 12ABL × saligna

— variabilité intraclonale dans un ensemble de 9 ramets d'un même clone d'Eucalyptus PF1.

Jusqu'à présent on ignorait l'importance de ces variabilités.

— Recherche d'informations précisant les corrélations existant entre les caractéristiques des bois d'Eucalyptus et les propriétés papetières de ces bois. Ce type de renseignement devrait conduire à moyen terme à des critères simples permettant de sélectionner des individus susceptibles d'intéresser les planteurs et les industriels papetiers.

— Recherche d'informations à caractère papetier conduisant à la sélection de clones pour les plantations industrielles.

— Recherche d'informations complétant celles que possèdent déjà les services forestiers congolais et permettant de calculer les rendements pondéraux, sous forme de bois ou de cellulose, des plantations (T. de bois ou de cellulose à l'hectare et par an).

— Recherche d'informations générales concernant l'étude du « matériau Eucalyptus ».

L'article qui suit rend compte des travaux exécutés et des résultats obtenus. Il synthétise les efforts conjoints engagés par :

— Le Centre Technique Forestier Tropical de Pointe Noire, chargé de la recherche sylvicole, qui a collecté sur ses propres plantations les échantillons destinés aux essais et en a assumé l'expédition.

— La Division de Cellulose et Chimie du C.T.F.T. de Nogent-sur-Marne qui a procédé aux essais en laboratoire et a assuré pour sa plus grande part l'interprétation des résultats et la rédaction d'un rapport d'étude.

— La Division de Biométrie du C.T.F.T. qui a réalisé l'analyse statistique.

— La Direction de la Recherche Forestière qui a apporté son concours sur différents points relevant de l'échantillonnage.

(1) Plante originelle dont un clone provient.

DÉFINITION DE QUELQUES TERMES PAPETIERS UTILISÉS DANS CETTE ÉTUDE

— % **fines** : au cours de la mise en copeaux, une petite partie du bois se transforme en poussières ou petites particules inférieures à 8 mm. Un tamisage des copeaux permet de récupérer et d'estimer cette fraction appelée « fines ».

On distingue également des fines dans les pâtes à papier : ce sont des éléments très petits (cellules, débris fibreux) qui se perdent plus ou moins au cours des opérations, en passant partiellement au travers des matelas fibreux.

— % **flaches** : comme précédemment, on détermine par tamisage la proportion d'éléments de bois supérieure à des mailles carrées de 3 centimètres de côté.

— **Perte au trempage** : c'est la perte de poids en % de rondelles d'Eucalyptus trempées une semaine dans de l'eau à 20°.

— **Indice de feutrage** : c'est le rapport de la longueur des fibres à leur largeur. Un indice élevé, de plus de 100, est un élément favorable qui permet un bon enchevêtrement des fibres dans le papier, donc des papiers plus solides, en particulier pour la résistance à la déchirure.

— **Coefficient de souplesse** : c'est le rapport cavité des fibres/largeur des fibres en %. Il exprime la plasticité des fibres à se mouler l'une sur l'autre dans le papier. Un coefficient proche de 100 indique une bonne plasticité et promet de bonnes résistances à la traction, à l'éclatement. C'est l'inverse pour des coefficients proches de 0. Cet indice est généralement fortement corrélé à la densité du bois.

— **Cendres 425** : cendres du bois obtenues à une température de 425°.

— **Rendement brut** : rendement en pâte après cuisson papetière, y compris les parties du bois incuites ou mal délignifiées.

— **Rendement net** : rendement en pâte, après élimination des incuits par tamisage.

— **Soude restante** : concentration en soude non consommée en fin de cuisson papetière.

— **Indice MnO₂K** : indice lié à la délignification du bois au cours de la cuisson. Un indice de 20 est normal.

Un indice de 30 et plus signifie que le bois a été insuffisamment délignifié (manque de soude ou de temps de cuisson). Un indice de 10 signifie une cuisson trop poussée avec dégradation de la cellulose.

— **Photovolt** : cet indice traduit la teinte de la pâte écrue, plus ou moins foncée.

— **Siccité pâte essorée** : la rétention d'eau d'une pâte fibreuse pressée (sortie de presse en usine) est un élément technologique important pour la plus ou moins grande facilité avec laquelle on peut manipuler les pâtes à l'état humide au stade industriel.

— **Caractéristiques des papiers** : les pâtes sont raffinées, c'est-à-dire triturées mécaniquement, jusqu'à un degré de trituration standard que l'on appelle « raffinage à 40° Schopper ». On tire alors des éprouvettes de papier de 60 g/m² sur lesquelles on procède à des essais physiques ou mécaniques.

— **Longueur de rupture** : résistance à la traction des papiers, exprimée en longueur de papier que l'on peut théoriquement laisser pendre sans qu'il casse sous son propre poids. Un bon papier peut faire 10.000 m.

— **Éclatement** : résistance à la pression en kPa pour un papier de 100 g/m². Les résultats varient généralement de 1 à 5.

— **Déchirure** : résistance en *m N* pour déchirer une longueur standard de papier de 100 g/m². Un bon papier donne de 1.200 à 2.000.

— **Porosité** : cc d'air traversant le papier dans des conditions données. Les chiffres peuvent varier de façon exponentielle, de 10⁻³ à 10³.

— **Main** : volume du papier à poids donné. C'est l'inverse de la densité.

— **Double plis** : nombre de pliages que peut subir un papier sous une tension de 1 kg/cm. La gamme de résultats est également de type exponentiel.

— **Allongement** : allongement en % du papier soumis à la traction, au moment de la rupture.

— **Temps de raffinage** : les pâtes à papier doivent subir une trituration mécanique avant d'être utilisées pour faire du papier. Le temps de raffinage exprime l'aptitude de la pâte à subir cette trituration.

ÉCHANTILLONNAGE

RÉCOLTE DES ÉCHANTILLONS

Il est parvenu du C.T.F.T. Congo, 129 échantil-

(1) Les échantillons prélevés sur des plants issus de semis, non retenus comme têtes de clone, sont, soit représentés par un nombre de 2 chiffres correspondant aux numéros cerclés de la figure 1, soit représentés par un nombre précédé du préfixe 0.

lons (1), à la Division Cellulose-Chimie, se décomposant comme suit :

Les clones d'E. PF1 présélectionnés sont précédés du préfixe 1. Ex. : 1.47.

Les clones d'E. 12ABL × saligna présélectionnés sont précédés du préfixe 2. Ex. : 2.19.

Récolte rondins E.PF1 pour étude papetière Février 1980

PARCELLE 1973 POINTE NOIRE
EUCALYPTUS PF1

Eucalyptus alba 1973

Légende

- ⑬ N° d'arbre abattu avec récolte de billon
- 10 Diamètre d'arbre abattu sans récolte de billon

Echelle
0 5 10
m

*Eucalyptus
torrelliana*
1973

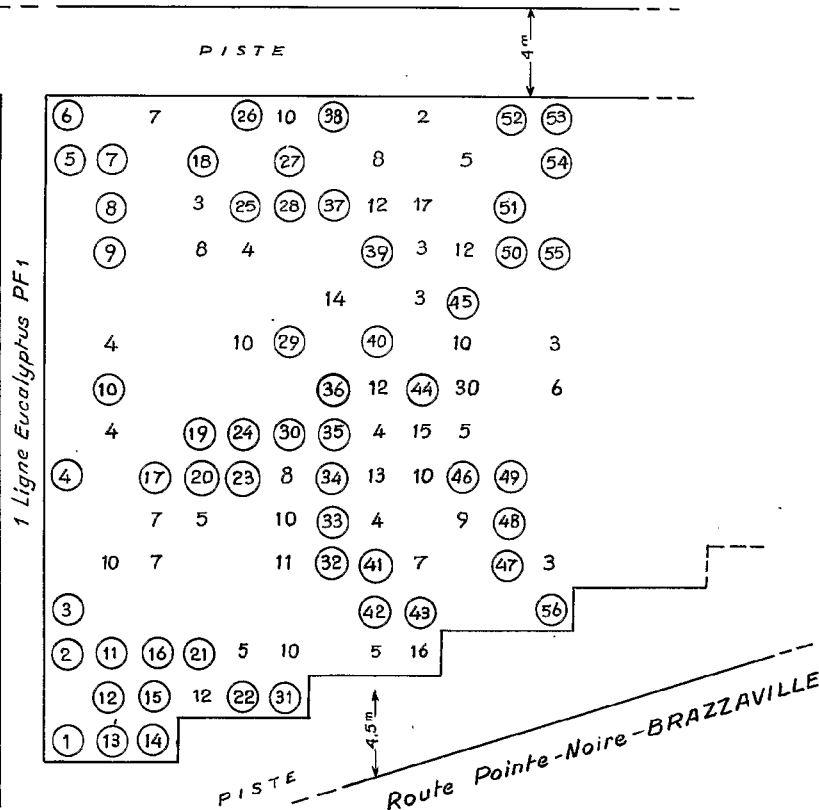


FIG. 1.

• Echantillonnage sur PF1 issus de semis (variabilité à l'intérieur d'un hybride).

56 billons de 1,20 m pris entre 1 m et 2,20 m sur des plants issus de semis d'*Eucalyptus* PF1 de novembre 1973 prélevés sur une même parcelle. Chaque arbre est repéré sur le plan de la figure 1. Abattage des arbres le 25 février 1980. Billonnage le même jour. Enstérage puis transport le vendredi 29 février. Stockage et numération au C.T.F.T. Congo. Aucun traitement. Age des bois : 6 ans et 3 mois.

• Echantillonnage d'un même clone (variabilité intraclonale).

9 billons de 1 m pris entre 1 m et 2 m sur boutures d'*Eucalyptus* PF1 1.47 de mars 1976. Abattage, billonnage et enstérage le 25 et 26 février 1980. Transport le 29 février 1980. Stockage et numération au C.T.F.T. Congo. Aucun traitement. Age des bois : 4 ans.

Echantillonnage de clones (variabilité interclonale) (1).

29 clones d'*Eucalyptus* PF1 représentés chacun par

(1) Les clones faisant l'objet de cette étude correspondent à des sujets qui ont été repérés et retenus par les forestiers selon des critères sylvicoles qui leur sont propres. On peut admettre qu'il s'agit de clones présélectionnés.

2 billons de 1 m pris entre 1 m et 2 m sur 2 arbres (2 ramets par clone). Le clone 1.47 récolté pour l'étude de la variabilité intraclonale fait partie de cette population.

35 clones d'*Eucalyptus* 12ABL × *saligna* représentés chacun par 2 billons de 1 m pris entre 1 m et 2 m sur 2 arbres (2 ramets par clone).

Tous ces billons sont récoltés dans les parcelles 75.1, 75.2 au C.T.F.T. Congo (plantés en novembre 1975 ou mars 1976). Age des bois : 4 ans ou 4 ans et 3 mois.

L'abattage, le billonnage et l'enstérage ont eu lieu les 25 et 26 février 1980. Transport le 29 février 1980. Stockage et numérotation au C.T.F.T. Congo.

Les plants d'*Eucalyptus* de semis sont marqués de 1 à 56 (se reporter pour la répartition spatiale à la fig. 1).

Les clones d'*Eucalyptus* sont indiqués au tableau 1.

PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

A la réception des bois, on détermine pour chaque billon le diamètre, le pourcentage d'écorce, la densité.

Après écorçage, les billons sont débités en plaquettes dans une coupeuse Wigger de 60 CV à 4 couteaux. Les copeaux sont classés sur classeur giratoire Chauvin entre

TABLEAU 1. — RÉFÉRENCE
DES CLONES D'EUCALYPTUS

Eucalyptus PF1		Eucalyptus 12ABL × saligna	
1.3	1.40	2.1	2.35
1.5	1.41	2.2	2.37
1.8	1.42	2.3	2.38
1.9	1.43	2.4	2.39
1.10	1.44	2.5	2.40
1.11	1.45	2.6	2.43
1.12	1.46	2.8	2.44
1.13	1.47	2.11	2.45
1.14	1.48	2.17	2.49
1.21	1.49	2.18	2.50
1.25	1.50	2.19	2.53
1.28	1.55	2.20	2.54
1.29		2.23	2.59
1.32		2.24	2.60
1.34		2.25	2.65
1.35		2.26	
1.38		2.29	2.21
1.39		2.32	2.64
N = 30 (29 après élimination de 1.47 étudié séparément)		35	

Commentaires du tableau 1

Le clone PF1 1.47 est composé de 9 boutures marquées au C.T.F.T. Nogent par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H, I.

Les bois sont reçus dans un très bon état sanitaire. On remarque que les clones 2.4, 2.19, 2.32 sont représentés par 2 individus et que les clones 1.9, 1.41 sont représentés respectivement par 2 et 3 individus.

grilles de 3 cm et 0,8 cm. On détermine le pourcentage de bons copeaux, fines et gros éclats (flaches). Lorsqu'un clone est représenté par plusieurs billons les plaquettes de ces billons sont mélangées. Pour la densité, le diamètre et le % d'écorce on prend la moyenne des mesures individuelles.

Les essais papetiers sont étagés au cours de l'année 1981 (février à septembre 1981 pour les cuissons papetières).

ESSAIS DE LABORATOIRE

TRAITEMENT PAPETIER

La cuisson a lieu en lessiveur à obus de 2 litres de capacité chauffé à l'air chaud. Le procédé est alcalin « kraft » (soude-sulfure de sodium).

Les conditions sont les suivantes :

% alcali total : 20 %, (15,5 % en Na₂O),

% NaOH : 15 %,

% SNa₂ : 5 %,

Sulfidité : 25 %,

Durée totale de cuisson : 3 h 30 dont 2 h de montée en palier et 1 h 30 sur le palier,

Température de cuisson : 170 °C.

Après cuisson, les copeaux sont traités en pulpeur de

laboratoire pendant 30". Après lavage, la pâte est classée sur classeur vibrant Wewerk sur plaque à fente de 25/100. Chaque échantillon a été cuit une fois. Exceptionnellement les 9 échantillons du clone 1.47 ont été cuits en double ou triple exemplaires pour travailler sur des moyennes.

Le raffinage s'effectue en raffineur Jokro. Les caractéristiques mécaniques sont établies après conditionnement du papier dans les conditions normalisées (°Hg = 65, °C = 20).

Les valeurs obtenues sont données pour un degré de raffinage de 40 °SR.

AUTRES TRAITEMENTS

Sur chaque individu, on a déterminé la teneur en lignine, le % de cendres, la teneur en phosphore, exprimés en % du bois sec initial. Il est à remarquer que la

détermination de la lignine a été faite sur du bois non extrait, ce qui peut éventuellement limiter sa signification.

CARACTÉRISTIQUES RETENUES

Les caractéristiques retenues pour l'étude peuvent être regroupées en quelques rubriques données au

tableau suivant. Chacune d'elles est affectée d'un n° de code.

Caractéristiques « bois » :	Variable	phosphore	(V17)
diamètre du rondin	(V01)	Caractéristiques de cuisson :	
épaisseur de l'écorce	(V02)	rendement brut	(V18)
% pondéral de l'écorce	(V03)	rendement net	(V19)
% fines	(V04)	% incuits	(V20)
% flaches	(V05)	soude restante	(V21)
densité anhydre	(V06)	I.MnO ₄ K	(V22)
densité basale	(V07)	photovolt	(V23)
pertes au trempage (extrait à l'eau froide)	(V08)	siccité pâte essorée	(V24)
Caractéristiques morphologiques des fibres :		Caractéristiques des papiers :	
longueur des fibres (L)	(V09)	longueur de rupture	(V25)
largeur des fibres (l)	(V10)	indice d'éclatement	(V26)
cavité (c)	(V11)	indice de déchirure	(V27)
parois × 2	(V12)	porosité	(V28)
indice de feutrage (L/l)	(V13)	main	(V29)
coefficient de souplesse c/l %	(V14)	double plis	(V30)
Caractéristiques chimiques des bois :		% allongement	(V31)
cendres 425°	(V15)	durée raffinage à 40 °SR	(V32)
lignine	(V16)		

VARIABILITÉ DES ÉCHANTILLONNAGES

Les problèmes posés à ce niveau sont :

1) L'étude de l'homogénéité d'une population d'Eucalyptus hybride issue d'une part de semis, d'autre part d'un groupe de clones sélectionnés dans cet hybride.

2) L'étude de l'homogénéité d'un clone, population issue par bouturage d'un seul individu reproduit à 9 exemplaires (ramets), donc présentant une identité sur le plan génétique.

Dans chacun des cas l'homogénéité est appréciée par l'écart type de la population (ou la variance) qui mesure l'étalement des résultats autour de la moyenne.

La comparaison des écarts types sera effectuée d'une part entre les Eucalyptus PF1 (semis, clones sélectionnés PF1, clone PF1 1.47) d'autre part entre les divers lots d'Eucalyptus PF1 et les clones d'Eucalyptus 12ABL × saligna.

Le groupe des 9 ramets 1.47 PF1 (1) peut se subdiviser en 2 sous-groupes : 1 groupe de 2 arbres, à densité faible et 1 groupe de 7 arbres de densités plus élevées. Il peut être intéressant en effet, en émettant l'hypothèse que 2 représentants sur 9 se sont, pour des raisons indéterminées, écartés quelque peu du modèle original, de les sortir du groupe initial afin de montrer l'influence de leur départ sur la variabilité intraclonale. On s'aperçoit en effet que, en les conservant dans le groupe des 9 on obtient une variabilité élevée mais que si on les en extrait la variabilité se réduit très sensiblement.

Avant de comparer la variabilité des différents lots d'Eucalyptus, on notera que certaines caractéristiques varient beaucoup plus que d'autres, soit parce que la

gamme des mesures est très large, voire même de type exponentiel comme la résistance au pliage ou la porosité des papiers, soit parce que la mesure elle-même est relativement imprécise comme par exemple la teneur en incuits des pâtes non classées (un nœud ou autre défaut du bois suffit à donner des incuits supplémentaires).

Les variabilités importantes (> 30 %) portent entre autres sur le diamètre des rondins, l'écorce et les cendres du bois. La variabilité du diamètre indique que les phénomènes de croissance restent un facteur individuel de grande influence.

Variabilité interclonale :

$\sqrt{1}$ nombre de libertés de la plus grande variance = 55.
 $\sqrt{2} = 28$ (P = 0,05, F = 1,7 ; P = 0,01, F = 2,3).

Variabilité intraclonale :

$\sqrt{1} = 30$.
 $\sqrt{2} = 7$ (P = 0,05, F = 3,4 ; P = 0,01, F = 6,0).

P = probabilité.

F = test Snedecor.

Influence des méthodes de reproduction des hybrides d'Eucalyptus sur la variabilité (reproduction par semis ou par boutures).

L'examen de la variabilité des différents groupes d'Eucalyptus obtenus par semis et par boutures est rendu possible par la comparaison de la dispersion des résultats. La caractéristique de dispersion fréquemment utilisée est l'écart type ou la variance. Pour tester l'hypothèse des populations de même dispersion, on utilisera la table de SNEDECOR. Dans le cas de petites populations, l'hypothèse complémentaire de normalité amène à retenir les deux individus marginaux du groupe des 9.

(1) 9 ramets du même clone prélevés dans la même parcelle et ayant le même âge.

TABLEAU 2. — TABLEAU DES RAPPORTS DES VARIANCES ESTIMÉES

N°	Variable	56 PF1	29 PF1		7 PF1	
	Variance	V1	V2	V1/V2	V3	V2/V3
V1	Diamètre	13,96	2,37	5,89	16,32	0,15
V2	Épaisseur écorce	1,35	0,757	1,78	0,397	1,91
V3	% écorce	7,24	6,76	1,07	2,657	2,54
V4	% fines	2,82	0,36	7,83	2,372	6,59
V5	% flaches	8,53	5,43	1,57	6,25	1,15
V6	Densité anhydre	0,0025	0,0016	1,56	0,00017	9,41
V7	Densité basale	0,0014	0,0007	2,00	0,000064	10,9
V8	Pertes au trempage	0,208	0,0480	4,3	0,0196	2,4
V9	Longueur	0,004	0,0027	1,48	0,0009	3
V10	Largeur	1,080	2,378	0,45	0,757	3,1
V11	Cavité	1,719	1,268	1,35	0,25	5,07
V12	Parois × 2	1,219	1,348	0,90	0,49	2,75
V13	L/l	28,10	47,61	0,59	11,09	4,3
V14	C/l %	50,41	27,04	1,86	6,25	4,3
V15	Cendres	0,04	0,02	2,0	0,012	1,67
V16	Lignine	5,76	6,25	0,92	1,00	6,25
V17	Phosphore	0,0002	0,0003	0,67	0,000092	3,2
V18	Rendement brut	1,877	1,346	1,395	1,277	1,05
V19	Rendement net	2,132	1,513	1,409	1,232	1,23
V20	% incuits	0,078	0,023	3,39	0,0049	4,7
V21	Soude restante	0,270	0,292	0,92	0,0576	5,1
V22	I.MnO ₄ K	2,958	2,528	1,17	0,504	5,0
V23	Photovolt	7,29	7,56	0,96	1,796	4,2
V24	Siccité pâte	5,71	2,34	2,44	0,292	8,0
V25	Longueur rupture	509.796	484.416	1,05	160.801	3,0
V26	Éclatement	0,258	0,276	0,93	0,053	5,2
V27	Déchirure	12.321	16.641	0,74	5.476	3,0
V28	Porosité	50,41	27,04	1,86	2,56	10,6
V29	Main	0,005	0,003	1,67	0,004	7,5
V30	Double plis	784	1.225	0,64	144	8,5
V31	% allongement	0,281	0,16	1,76	0,03	5,3
V32	Raffinage	68,9	59,3	1,16	24,01	2,5

TABLEAU 3. — RAPPORTS DES COEFFICIENTS DE VARIATION

N° variable	Rapport	
	$\frac{\text{C.V. 29 PF1}}{\text{C.V. 56 PF1}} \%$	$\frac{\text{C.V. 7 PF1}}{\text{C.V. 29 PF1}} \%$
V1 diamètre	51	207
V2 épaisseur écorce	83	67
V3 % écorce	82	101
V4 % fines	49	91
V5 % flaches	54	108
V6 densité anhydre	91	30
V7 densité basale	80	28
V8 pertes au trempage	131	36
V9 longueur fibres	76	55
V10 largeur	142	54
V11 cavité	66	45
V12 paroi × 2	115	56
V13 L/l	129	49
V14 C/l	61	50
V15 cendres	62	107
V16 lignine	107	40
V17 phosphore	65	141
V18 rendement brut	79	100

N° variable	Rapport	
	$\frac{\text{C.V. 29 PF1}}{\text{C.V. 56 PF1}} \%$	$\frac{\text{C.V. 7 PF1}}{\text{C.V. 29 PF1}} \%$
V19 rendement net	81	88
V20 % incuits	76	40
V21 soude restante	100	47
V22 I.MnO ₄ K	97	47
V23 photovolt	94	46
V24 siccité	64	34
V25 longueur de rupture	84	57
V26 éclatement	83	45
V27 déchirure	115	61
V28 porosité	112	25
V29 main	88	35
V30 double plis	82	49
V31 allongement	66	50
V32 raffinage	91	54
Bilan	24 réductions 7 accrois. Moy. : 86 %	26 réductions 5 accrois. Moy. : 64 %

Analyse des résultats :

VARIABILITÉ INTERCLONALE (V. 56 PF1/ V. 29 PF1).

Au niveau 1 %, les rapports de variance du diamètre, des pertes au trempage et du pourcentage d'incuits sont significatifs.

La présélection a donc réduit la variabilité des diamètres, ce qui signifie qu'elle conduit à des taux de croissance plus homogènes.

Au niveau 5 %, beaucoup d'autres caractéristiques ont un rapport de variance significatif.

VARIABILITÉ INTRACLONALE (V. 29 PF1/ V. 7 PF1).

Au niveau 1 %, les rapports de variance de la densité, ou de certaines caractéristiques en relation avec la cavité comme la porosité, sont significatifs. Sont signi-

ficatifs aussi, mais dans une moindre mesure (niveau 5 %), les rapports de variance de caractéristiques de cuisson comme l'indice de permanganate et la soude restante ou celui des caractéristiques morphologiques des fibres.

Ces résultats permettent d'avancer l'idée que la reproduction clonale d'un même clone conduit à renforcer l'« homogénéité » de la cuisson et à resserrer l'éventail des densités. Mais, il est à noter que dans ce cas, la dispersion des diamètres a augmenté.

Le tableau 3, qui donne plus simplement le rapport des coefficients de variation (déviations standard) confirme que, dans leur ensemble, les 29 Eucalyptus PF1 présélectionnés constituent vraisemblablement un lot plus homogène que les 56 Eucalyptus PF1 de semis. Il en est de même pour les 7 Eucalyptus PF1 d'un même clone par rapport aux 29 clones d'Eucalyptus PF1.

COMPARAISON PAPETIÈRE INTERGROUPES

Le tableau 4 donne les moyennes des variables pour chacun des groupes constitués à savoir :

- 56 Eucalyptus de semis,
- 29 Eucalyptus présélectionnés PF1,
- 35 Eucalyptus présélectionnés 12ABL × saligna.

On peut faire à partir de ce tableau deux sortes

d'analyses : l'une qui compare le groupe des 56 Eucalyptus PF1 avec le groupe des 29 clones présélectionnés PF1 dans le but de faire ressortir le résultat d'une sélection de clones sur les propriétés papetières ; l'autre qui tend à donner des indications sur la valeur papetière relative de 2 groupes d'Eucalyptus présélectionnés : E. PF1 et E. 12ABL × saligna.

TABLEAU 4. — MOYENNES

N° variable	Nom de la variable	56 PF1	29 PF1	35 12ABL × saligna
V01	diamètre (cm)	12,5	10,3	11,8
V02	épaisseur écorce (mm)	4,1	3,7	3,9
V03	% pondéral écorce	8,8	10,3	12,3
V04	% fines	4,3	3,2	3,5
V05	% flasches	6,8	9,0	12,5
V06	densité anhydre	0,74	0,67	0,56
V07	densité basale	0,63	0,57	0,49
V08	pertes au trempage	0,63	0,23	0,20
V09	L (mm)	1,019	1,072	1,024
V10	l (μ)	15,95	16,72	15,96
V11	c (μ)	6,07	7,67	8,05
V12	2 p (μ)	9,87	9,05	7,96
V13	L/l	64,1	64,6	64,2
V14	c/l	37,9	45,7	50,6
V15	cendres %	0,59	0,67	0,70
V16	lignine %	34,3	33,2	34,1
V17	phosphore %	0,028	0,046	0,056
V18	rendement brut %	47,29	49,38	49,22
V19	rendement net %	46,92	49,12	48,96
V20	% incuits	0,37	0,26	0,24
V21	soude restante (g/l)	2,18	2,29	2,38
V22	I.MnO ₄ K	16,67	15,90	15,86
V23	photovolt	22,4	24,1	24,9
V24	siccité pâte	30,5	30,3	27,99
V25	longueur de rupture	6.891	7.971	9.432
V26	indice d'éclatement	4,2	5,2	6,9
V27	indice de déchirure	1.213	1.215	908
V28	porosité	20,5	13,4	5,1
V29	main	1,40	1,34	1,24
V30	double plis	44	60	230
V31	% allongement	2,96	3,30	4,03
V32	durée de raffinage	39,7	40,5	34,0

COMPARAISON DES EUCALYPTUS DE SEMIS ET DES EUCALYPTUS DE PRÉSÉLECTION

Compte tenu de ce que les différences entre les moyennes sont significatives, le lot des 29 clones PF1 possède de nombreux indices de supériorité sur le lot des 56 PF1 de semis. La fibre est un peu plus longue et plus large, l'épaisseur des parois plus faible. A déchirure égale ($L/l = \text{constant}$), la longueur de rupture des 29 clones est plus élevée. Le rendement en cellulose est plus élevé, l'indice de cuisson plus faible. Tous les éléments sont en faveur des 29 clones, sauf la densité qui est un peu moins élevée mais qui reste cependant une densité favorable (0,67 donc pas trop légère) pour un

feuillu tropical à utilisation papetière. La teneur en cendres (dont le phosphore) est un peu plus élevée dans le cas des 29, mais ce n'est pas un défaut d'un point de vue papetier (1).

Les différences observées sont importantes : 2 points de rendement en plus, 15 % de plus sur la longueur de rupture, 20 % sur l'éclatement, 20 % d'incuits en moins.

En conclusion, la sélection effectuée a conduit à des résultats beaucoup plus favorables sur le plan papetier.

COMPARAISON DES GROUPES DES EUCALYPTUS PRÉSÉLECTIONNÉS : PF1 et 12ABL x saligna

29 individus ont été testés pour le PF1,
35 individus ont été testés pour le 12ABL x saligna.
La quasi-équivalence du nombre d'individus testés rend la comparaison intéressante.

Ces deux Eucalyptus sont bien différenciés.

Sur le plan des propriétés du bois utiles pour le papetier, on note que le 12ABL x saligna a en moyenne un diamètre un peu plus fort, un peu plus d'écorce, une densité sensiblement moins élevée, un peu plus de cendres. Sur le plan des caractéristiques anatomiques les fibres sont un peu plus courtes et un peu plus étroites pour le 12ABL x saligna mais ont une cavité plus grande. Il en résulte pour cet Eucalyptus que l'indice de feutrage est sensiblement le même que celui du PF1 mais son coefficient de souplesse plus élevé, ce qui est un avantage pour la solidité des papiers. Sur le plan de la cuisson les deux Eucalyptus sont voisins : rendements satisfaisants en pâte classée (49 à 50 %), peu d'incuits (< 0,3 %), indice de permanganate relativement bas (< 16). Sur le plan des caractéristiques papetières, les deux groupes sont très distincts : nettement plus de longueur de rupture pour le 12ABL x saligna, moins de main et de porosité, nettement moins de déchirure, plus de plis et d'allongement, pâte plus rapide à raffiner.

Les conclusions sont aisées à tirer : les deux lots d'Eucalyptus sont équivalents pour la cuisson papetière. En ce qui concerne la qualité des pâtes obtenues, dans la mesure où l'on recherche de la déchirure, on s'orientera sur le PF1 (on obtient une valeur de 1.200 pour une longueur de rupture de 7.900 encore favorable). Si on recherche de la résistance à la traction, il sera intéressant de choisir le 12ABL x saligna. La valeur de longueur de rupture est élevée (9.400) et la déchirure d'un bon niveau (910). D'un point de vue commercial et global, il est probable que la qualité du 12ABL x saligna sera la plus appréciée pour beaucoup d'acheteurs.

REMARQUE : une étude préliminaire avait été réalisée sur les mêmes échantillons (petit prélèvement de 300 g sur 29 PF1 et 35 12ABL x saligna expédiés par avion) en juin 1980, au moment de l'abattage des bois. On avait obtenu un classement similaire, mais de meilleures longueurs de rupture (10 à 11.000). Il est donc possible qu'un temps de stockage prolongé ait contribué à une diminution des caractéristiques papetières. Ceci serait confirmé par une très légère diminution de la densité des bois qui pourrait provenir d'une altération. Voici les différents chiffres comparés :

	Etude juin 1980	Etude 1981
Densité bois secs		
29 PF1	0,70	0,67
35 12ABL x saligna	0,60	0,56
Longueur de rupture		
29 PF1	10.000	8.000
35 12ABL x saligna	11.000	9.400
Eclatement		
29 PF1	70	52
35 12ABL x saligna	82	69

(1) En réalité, on a testé le phosphore pour vérifier si, comme on l'avait déjà observé sur quelques individus, les Eucalyptus congolais étaient riches en cet élément. La réponse est malheureusement positive. Le phosphore n'est pas gênant du point de vue papetier. Il l'est pour la fabrication du charbon de bois destiné à l'électrometallurgie.

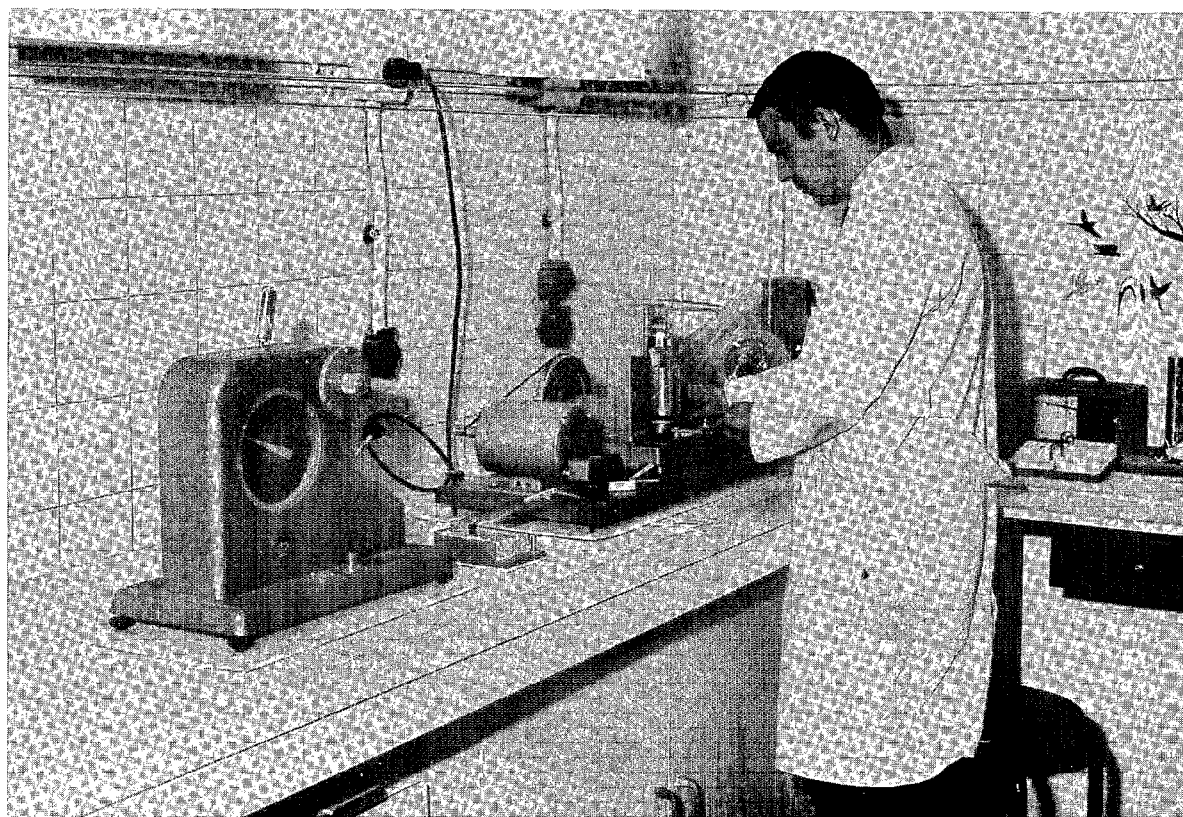


Photo Petroff.

C.T.F.T. — Laboratoire d'Essais physiques des papiers : résistance au pliage.

COMPARAISON PAPETIÈRE DES EUCALYPTUS CONGOLAIS AVEC DES BOIS TÉMOINS

Comme on l'a signalé, la valeur papetière des Eucalyptus semble avoir évolué avec le temps de stockage. On repèrera donc, par rapport à des résultats témoins, deux types de pâtes : celles obtenues en juin 1980 avec les Eucalyptus congolais et celles obtenues en

1981. Nos références seront des pâtes de Hêtre français, des pâtes d'Eucalyptus portugais et des pâtes de Bouleau scandinave obtenues au laboratoire et traitées dans des conditions semblables. On obtient les valeurs comparatives au tableau 5.

TABLEAU 5. — VALEURS COMPARÉES DE DIFFÉRENTES PÂTES PAPETIÈRES

	Hêtre	E. PF1 Moy. 29 clones		E. 12ABL × saligna Moy. 35 clones		Bouleau	E. globulus portugais
		1980	1981	1980	1981		
Alcali total (NaOH + SNa ₂) %	19,5	(20)		(20)		19,5	20
(Na ₂ O) %	15,5	(15,9)		(15,9)		15,5	15,9
Rendement en pâte classée %	47-50	48,2	49,1	49,0	49,0	52-54	55-59
I.MnO ₄ K	15-18	17,4	15,9	17,2	15,9	14-16	13-15
Caractéristiques à 40 °SR							
Longueur de rupture	8-10.000	10.100	8.000	10.700	9.400	10-12.000	8-8.000
Eclatement	6,8-7,2	7	5,2	8,2	6,9	7,8-8,8	5-6
Déchirure	700-900	1.220	1.215	980	910	550-800	1.000-1.300
Plis	200-300	300	60	500	230	200-900	50-200
Main	1,25-1,30	1,35	1,35	1,20	1,25	1,1-1,15	1,2-1,3
Porosité	10-15	12	13,4	4	5,1	2	6-16

Ce tableau montre que les Eucalyptus PF1 et 12ABL × saligna n'offrent pas de difficultés de cuisson. Le rendement en pâte n'atteint cependant pas celui des meilleurs feuillus européens. L'Eucalyptus portugais peut donner plus de 55 % de pâte. Des améliorations doivent donc être recherchées dans ce sens.

Les caractéristiques des papiers se situent entre celles qui correspondent au Bouleau et au Hêtre, plus proches du Bouleau pour les Eucalyptus frais, plus proches du

Hêtre pour les bois stockés. Les caractéristiques sont un peu plus favorables que celles de l'Eucalyptus portugais.

On manque de témoins testés à Nogent en ce qui concerne les Eucalyptus brésiliens. On peut toutefois admettre que la qualité des pâtes des deux lots de clones d'Eucalyptus congolais est très probablement au niveau des pâtes d'Eucalyptus concurrentes.

CLASSEMENT SELON DES CRITÈRES PAPETIERS

Pour un classement des sujets étudiés, on se propose le modèle suivant :

$$\sqrt{ED} \times \frac{\text{Rendement net}}{I.MnO_4K}$$

Ce modèle utilise une relation classique (\sqrt{ED}) racine d'éclatement déchirure des fabricants de papiers qui correspond à la qualité de la pâte, corrigée d'un élément (Rendement net/I.MnO₄K) qui fait intervenir le rendement en pâte des Eucalyptus et leur plus ou moins grande facilité de cuisson.

Cette formule est arbitraire. Elle ne tient pas compte de la densité des bois, ou du rendement en pâte de 1 m³ de bois. D'autres modèles pourraient bien entendu être proposés. Notons toutefois que la déchirure est corrélée à la densité (voir plus loin) ce qui fait quand même, indirectement, intervenir la densité.

On a sélectionné les 7 meilleures valeurs pour les groupes 56 PF1, 29 PF1, 35 12ABL × saligna. La dernière ligne du tableau 6 donne la moins bonne.

Ce calcul favorise légèrement le PF1 par rapport au 12ABL car le PF1 est un Eucalyptus plus dense donnant donc des fibres à parois plus épaisses résistant mieux à la déchirure que le 12ABL × saligna.

Notre sélection serait donc finalement :

1,29 et 1,44 pour les PF1 (densités anhydres = 0,662 et 0,700)

2,59 et 2,38 pour les 12ABL × saligna (densités anhydres = 0,521 et 0,559).

REMARQUE : certains papetiers prennent en considération uniquement la longueur de rupture. Dans ce cas on sélectionnerait :

1,40 et 1,10 (densités anhydres = 0,656 et 0,623) pour les PF1

2,59 et 2,01 (densités anhydres = 0,521 et 0,520) suivis de 2,06 (densité = 0,488) pour les 12ABL × saligna.

A noter qu'on retrouve dans les deux cas le 2,59 de l'échantillonnage 12ABL × saligna dont les qualités papetières sont excellentes.

TABLEAU 6. — CLASSEMENT SELON UN INDICE PAPETIER

56 PF1 n° clone	$\sqrt{ED} \times \frac{\text{Rend net}}{I.MnO_4K}$	29 PF1 n° clone	$\sqrt{ED} \times \frac{\text{Rend net}}{I.MnO_4K}$	12ABL n° clone	$\sqrt{ED} \times \frac{\text{Rend net}}{I.MnO_4K}$
0.43	277	1.29	314	2.59	299
0.49	262	1.44	303	2.38	296
0.14	252	1.14	291	2.19	272
0.13	251	1.11	281	2.50	271
0.19	245	1.49	280	2.40	270
0.20	243	1.13	276	2.03	264
0.34	238	1.40	268	2.54	262
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
0.15	140	1.50	179	2.35	195

CLASSEMENT DES EUCALYPTUS SELON LE NOMBRE DE M³ NÉCESSAIRES POUR FAIRE UNE TONNE DE PÂTE

On a recherché le nombre de m³ de bois vert avec écorce nécessaires pour obtenir une tonne de pâte blanche commerciale à la siccité de 90 %.

Les bases de calcul sont les suivantes :

$$N = \frac{1}{(100 - \% \text{ écorce}) \times d. \text{ basale} \times \text{rendement papetier} \times 0,95 \times 0,95 \times 1,111}$$

avec :

d basale = poids bois anhydre/volume saturé d'eau
0,95 = 5 % de pertes diverses
0,95 = rendement du blanchiment (blanchi/écru)
1,111 = passage d'une pâte anhydre à une pâte 90 %
siccité.

Les résultats obtenus sont donnés au tableau 7 et à la figure 2. Ils permettent de faire les observations suivantes :

— Ce sont les 56 PF1 de semis qui donnent les meilleurs résultats avec par ordre les clones 0.49, 0.50, 0.43, ... Meilleur score : 3,139 m³.

— Les 29 clones PF1 présélectionnés donnent quelques bons résultats : 1.11, 1.38, 1.35, ... Dans l'ensemble, de 3,6 à 4,6 m³/t.

— Les 35 clones 12ABL × saligna se classent un peu moins bien. Meilleur clone 2.50 avec 4,047 m³.

— Les moyennes des groupes se situent comme suit :

56 PF1 semis : 3,9 m³/t,

29 clones PF1 : 4,1 m³/t,

35 clones 12ABL × saligna : 4,7 m³/t.

— Dans les calculs la densité du bois joue un rôle généralement plus important que les autres paramètres.

— Au cours des calculs, on a observé que les pourcentages pondéraux d'écorce étaient un peu différents des pourcentages d'écorce volumétrique calculés à partir de l'épaisseur de l'écorce et du diamètre du rondin :

	% pondéral	% volumétrique
Moy. 35 12ABL × saligna	12,4	12,1
Moy. 29 PF1	10,3	12,8
Moy. 56 PF1 semis	8,8	12,2

— On n'a pas su expliquer cette différence qui n'est pas négligeable pour les 56 PF1 de semis. Peut-être les densités des écorces sont-elles différentes ou encore l'humidité résiduelle bien que tous les échantillons soient secs à l'air. Ou au contraire, peut-être l'assimilation du rondin à un cylindre dans les calculs volumétriques introduit-elle une erreur.

— On remarquera que le classement papetier selon la formule $\sqrt{ED} \times \frac{\text{Rendement}}{I. MnO_4K}$ offre quelques points

communs avec le classement selon les m³/t de pâte. Par exemple, pour les 56 PF1 de semis, l'échantillon 0.49, premier au m³/t est second à l'indice papetier, et inversement le 0.43 qui est premier à l'indice papetier est troisième au m³/t.

Pour les 29 PF1, le clone 1.11 premier au m³/t est 4^e à l'indice papetier, et le clone 1.29 premier à l'indice papetier est 4^e au m³/t. Remarque semblable pour le clone 1.44.

La correspondance est un peu moins bonne pour les 35 clones 12ABL × saligna. On remarque toutefois que le clone 2.50 premier au m³/t, est 4^e à l'indice papetier.

C.T.F.T. — Tirage d'éprouvettes de papier destinées aux essais physiques.

Photo Petroff.

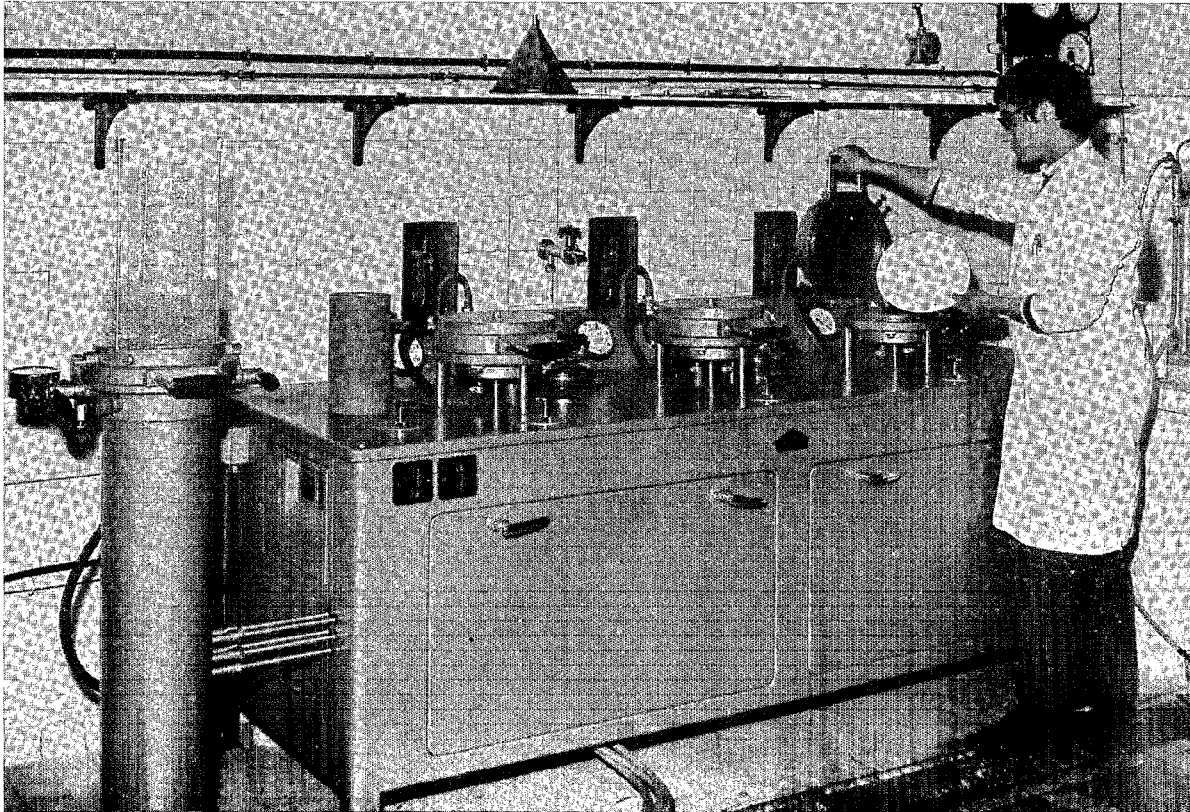


TABLEAU 7. — M³ BOIS VERT NÉCESSAIRES POUR 1 TONNE PÂTE BLANCHIE COMMERCIALE

35 12ABL × saligna		29 PF1		56 PF1 semis	
clone	m ³	clone	m ³	clone	m ³
2.50	4,047				
2.23	4,219	1.11	3,616	0.49	3,139
2.49	4,263	1.38	3,620	0.50	3,353
2.54	4,280	1.35	3,712	0.43	3,419
2.65	4,369			0.40	3,512
2.60	4,390	1.29	3,809	0.55	3,536
		1.44	3,836	0.14	3,563
2.35	4,420	1.14	3,878	0.53	3,574
2.03	4,432	1.21	3,888	0.54	3,585
2.20	4,471	1.25	3,912	0.32	3,587
2.19	4,471	1.13	3,920	0.42	3,599
2.24	4,577	1.3	3,948		
		1.45	3,977	0.17	3,627
2.37	4,616	1.8	3,993	0.46	3,678
2.40	4,638			0.22	3,686
2.11	4,645	1.43	4,010	0.16	3,692
2.29	4,647	1.34	4,016	0.27	3,738
2.08	4,660	1.49	4,071	0.30	3,744
2.38	4,697	1.40	4,132	0.26	3,751
2.43	4,702	1.5	4,185	0.41	3,759
2.64	4,713			0.7	3,764
2.17	4,748	1.50	4,226	0.29	3,782
2.01	4,793	1.42	4,280	0.37	3,783
2.59	4,865	1.46	4,287	0.20	3,792
2.32	4,881	1.48	4,339	0.12	3,795
2.21	4,888	1.28	4,376		
		1.10	4,393	etc...	
2.53	5,004				
2.18	5,005	1.41	4,416		
2.39	5,026	1.32	4,475		
2.02	5,074	1.12	4,476		
2.45	5,122				
2.25	5,127	1.55	4,544		
2.04	5,128	1.39	4,587		
2.05	5,134	1.9	4,653		
2.26	5,232				
2.06	5,356				
2.44	5,401				

Le préfixe 0 concerne les produits de semis non sélectionnés.
 Le préfixe 1 concerne les clones sélectionnés PF1.
 Le préfixe 2 concerne les clones sélectionnés 12ABL × saligna.

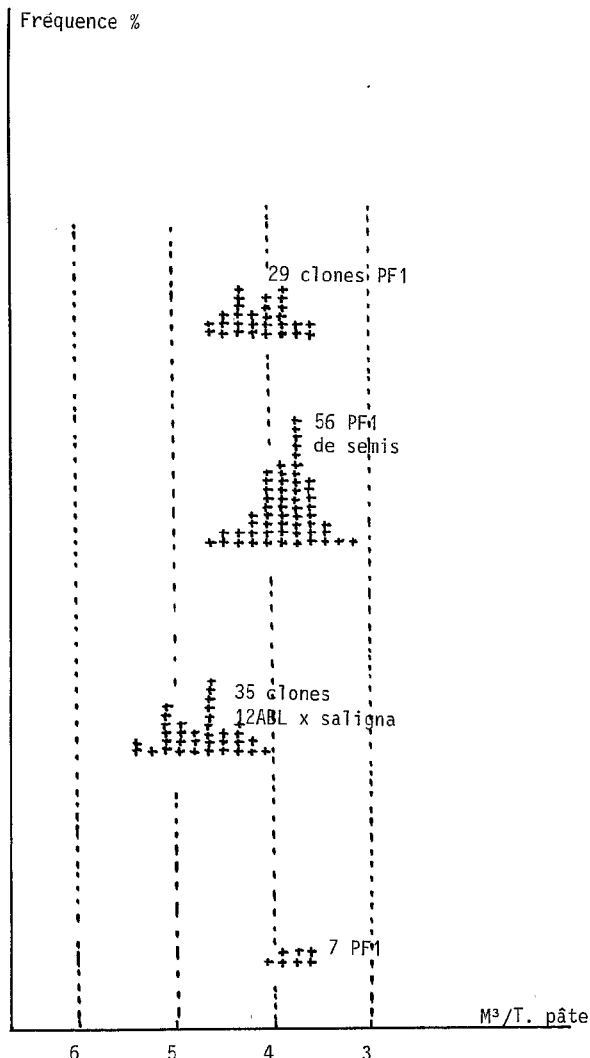


FIG. 2. — Répartition statistique des m³ de bois par tonne de pâte blanchie.

RECHERCHE DE CORRÉLATIONS

On a établi la matrice des corrélations entre les variables prises 2 à 2 pour le groupe des 56 Eucalyptus de semis et les groupes des 35 Eucalyptus 12ABL × saligna et 29 Eucalyptus PF1. Deux types d'analyses ont été effectués. L'un, qui offre un caractère papetier traditionnel est développé ci-après. L'autre, qui offre un caractère statistique plus théorique n'est pas reproduit ici.

On a observé la présence (ou l'absence) de corrélations entre certaines variables de base et diverses caractéristiques papetières pour les 3 groupes en se limitant au seuil de $r = 0,30$.

Diamètre du rondin (tableau 8)

On a supposé pendant longtemps que le diamètre des rondins qui exprime un taux de croissance plus ou moins élevé, était corrélé à la densité du bois. On a été très étonné, lorsque ce problème a été abordé statistiquement pour la première fois au C.T.F.T. sur un lot de Pins, de n'observer aucune corrélation. Dans le cas présent, le résultat est encore plus déconcertant : absence de corrélation pour le lot de 56 individus ; forte corrélation positive pour le lot de 35 ; forte corrélation négative pour le lot de 29. L'analyse détaillée des résultats semble exclure des risques d'erreur. Il faudra donc

attendre que de nouveaux lots de bois soient testés pour essayer de tirer quelques conclusions générales.

Les corrélations observées entre le diamètre et diverses caractéristiques des papiers, particulièrement pour le lot 29 PF1, ne sont que le reflet de la corrélation qui a été établie avec la densité : (densité-diamètre, densité-caractéristiques des papiers).

La corrélation négative diamètre - % d'écorce est bien connue.

La sélection des clones provoque l'apparition de corrélations accrues entre le diamètre et bon nombre de caractéristiques papetières.

TABLEAU 8. — CORRÉLATIONS AVEC LE DIAMÈTRE DU RONDIN

Variables corrélées avec rondins	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
% écorce	- 0,70	- 0,57	- 0,59
Densité basale	- 0,51		0,53
Cavité		0,52	—
Longueur de rupture			- 0,52
Eclatement			- 0,54
Déchirure		(- 0,36)	0,54
Porosité		(- 0,38)	0,58
Main			0,68
Double plis		(0,33)	- 0,65

Densité anhydre du bois (tableau 9)

La densité des bois est liée à la morphologie des fibres, ce qui entraîne bien entendu des corrélations du type densité-cavité ou densité-parois des fibres.

La corrélation densité-siccité des pâtes essorées est liée à la même cause : les fibres à forte cavité retiennent plus d'eau.

On retrouve par ailleurs des corrélations classiques, qui ont déjà été données dans d'autres cas, entre la densité des bois et les propriétés mécaniques et physiques des papiers.

A quelques exceptions près, les niveaux de corrélation sont plus élevés pour les Eucalyptus sélectionnés que pour les Eucalyptus de semis.

Notons que certains coefficients de corrélation sont voisins ou dépassent 0,7 ce qui représente un niveau de corrélation relativement élevé.

On remarque l'absence de corrélations entre la densité des bois et les résultats de cuisson (rendement en pâte, indice de délignification...). Ce n'est pas la première fois que cette remarque est faite.

Cendres (V15) : elles sont corrélées avec le phosphore dans le cas des Eucalyptus sélectionnés ($r = 0,439$ et $0,408$). A noter la même corrélation, mais de très faible niveau : $r = 0,2$ dans le cas des Eucalyptus de semis.

Caractéristiques morphologiques des fibres (V09 à V14)

Les tableaux 10 à 15 correspondent à 6 caractéristiques ou indices morphologiques se rapportant aux fibres d'Eucalyptus.

Ces six caractéristiques morphologiques sont plus ou moins corrélées entre elles, ce qui est normal : longueur fibres-indice de feutrage ; cavité-coefficient de souplesse, etc... On peut de plus faire les observations suivantes :

— La longueur des fibres est corrélée au rendement en pâte ce qui est surprenant. Cela voudrait-il dire que les fibres longues sont plus riches en cellulose ? ou que

TABLEAU 9. — CORRÉLATIONS AVEC LA DENSITÉ ANHYDRE DU BOIS (V06)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Cavité	- 0,470	- 0,573	- 0,31
2 p	0,329	—	—
Coefficient souplesse	- 0,44	- 0,44	—
Siccité des pâtes	0,333	0,687	0,746
Longueur de rupture (m)	- 0,408	- 0,3	- 0,683
Eclatement	- 0,488	- 0,509	- 0,658
Déchirure	0,413	0,630	0,602
Porosité	0,538	0,714	0,733
Main	0,509	0,349	0,679
Double plis	- 0,530	- 0,486	- 0,665
Raffinage	—	0,547	0,573

TABLEAU 10. — CORRÉLATIONS AVEC LA LONGUEUR DES FIBRES (V09)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Indice de feutrage	0,652	0,406	0,448
Rendement net	0,339	0,315	0,444
Déchirure	0,494	—	0,329
Durée de raffinage	—	0,321	0,345

TABLEAU 11. — CORRÉLATIONS AVEC LA LARGEUR DES FIBRES (V10)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Cavité	0,575	0,671	0,686
Densité	—	0,447	—
Coefficient de souplesse	0,323	—	—
Indice de feutrage	- 0,648	- 0,769	- 0,874

TABLEAU 12. — CORRÉLATIONS AVEC LA CAVITÉ DES FIBRES (V11)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Densité	- 0,470	- 0,573	—
Largeur	0,575	0,671	0,686
Parois	- 0,626	- 0,448	—
Indice de feutrage	- 0,582	- 0,483	- 0,426
Coefficient de souplesse	0,958	0,859	0,741
Porosité	- 0,542	- 0,492	—
Main	- 0,543	—	- 0,315

TABLEAU 13. — CORRÉLATIONS
AVEC LA PAROI DES FIBRES (V12)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Densité	0,329	—	—
Cavité	- 0,626	- 0,448	—
Indice de feutrage	—	—	- 0,766
Coefficient de souplesse	- 0,813	- 0,682	- 0,703

TABLEAU 14. — CORRÉLATIONS
AVEC L'INDICE DE FEUTRAGE (V13)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Densité	0,358	—	—
Cavité	- 0,582	- 0,483	- 0,426
Coefficient de souplesse	- 0,447	- 0,682	—
Déchirure	0,429	—	—
Porosité	0,444	—	—
Main	0,563	0,383	—

TABLEAU 15. — CORRÉLATIONS
AVEC LE COEFFICIENT DE SOUPLASSE (V14)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Densité	- 0,443	- 0,435	—
Largeur des fibres	0,323	—	—
Cavité	+ 0,958	0,859	0,741
Parois	- 0,813	- 0,682	- 0,703
Indice de feutrage	- 0,447	- 0,682	—
Déchirure	- 0,322	- 0,436	—
Porosité	- 0,572	- 0,429	—
Double plis	0,382	0,404	—

les fibres longues forment un matelas fibreux qui retient mieux les « fines » des pâtes au cours du lavage et du classage ? Cette question est intéressante sur un plan papetier général.

— Il est surprenant que la longueur de rupture ou l'éclatement des papiers ne soient corrélés fortement à aucune caractéristique morphologique, en particulier au coefficient de souplesse (quelques corrélations existent mais généralement de faible niveau).

— La densité des bois reste finalement un critère d'appréciation des caractéristiques papetières supérieur aux caractéristiques morphologiques.

Siccité des pâtes essorées (tableau 16)

Il faut noter le niveau élevé et systématique des corrélations entre la siccité et les caractéristiques mécaniques. Une corrélation est également observée avec le diamètre des rondins et la densité anhydre, mais seulement dans le cas des Eucalyptus sélectionnés.

On note, que la corrélation siccité-diamètre rondin est directe dans le cas des 29 PF1 et inverse dans le cas

TABLEAU 16. — CORRÉLATIONS
AVEC LA SICCIÉTÉ DES PÂTES ESSORÉES (V24)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Longueur de rupture	- 0,390	- 0,332	- 0,666
Eclatement	- 0,420	- 0,639	- 0,746
Déchirure	0,377	0,756	0,693
Porosité	0,443	0,680	0,796
Main	0,505	0,473	0,801
Double plis	- 0,606	- 0,432	- 0,678
Allongement	—	- 0,551	- 0,704
Raffinage	0,523	0,567	0,617
Diamètre rondin	—	- 0,459	0,429
Densité anhydre	—	0,687	0,746

TABLEAU 17. — CORRÉLATIONS
AVEC LA LIGNINE DES BOIS (V16)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Ørondin	0,323	—	—
Rendement net	- 0,321	- 0,303	—
I. MnO ₄ K	0,449	—	—
Largeur des fibres	—	—	0,341
Coefficient de souplesse	—	—	- 0,366
Longueur de rupture	—	—	- 0,343
Main	—	—	0,317
Plis	—	—	- 0,437
Allongement	—	—	- 0,414

des 12ABL, ce qui est surprenant. La même observation a été faite pour le couple diamètre-densité. Il s'ensuit que la corrélation densité-siccité doit être d'un niveau élevé et directe dans les deux cas ce qui est bien vérifié.

Caractéristiques chimiques des bois (tableau 17)

Généralement, on observe une corrélation entre la teneur en lignine des bois et les résultats de cuisson (rendement, indice de permanganate, ...). Le résultat est ici quelque peu décevant. Seuls les 56 Eucalyptus de semis et les 35 12ABL × saligna donnent une corrélation (de niveau très ordinaire). Les 29 PF1 donnent des corrélations inférieures à 0,3. Il est probable que dans le cas des Eucalyptus, on a eu tort de négliger les extraits à l'eau et aux solvants qui, devant une moindre dispersion des taux de lignine, jouent un rôle important pour classer le comportement des bois au cours de la cuisson. C'est probablement une combinaison lignine-extrait qui serait susceptible de faire ressortir des taux de corrélation plus élevés. Il faudra faire un effort, ultérieurement, pour déterminer les taux d'extrait des Eucalyptus analysés, malgré le supplément de travail important que cela représente.

Les corrélations observées par ailleurs, pour les 29 PF1, entre la lignine et des caractéristiques des papiers s'expliquent dans la mesure où une plus grande quantité de lignine résiduelle dans les pâtes est préjudiciable

TABLEAU 18. — CORRÉLATIONS
AVEC LE PHOSPHORE (V17)

	56 PF1 semis	35 12ABL × saligna	29 PF1
Densité			- 0,564
Longueur des fibres	0,305		
Épaisseur écorce		- 0,680	- 0,416
Ø rondins		- 0,347	- 0,603
% fines		- 0,474	
% écorce			- 0,483
Soude restante		- 0,374	
I. MnO ₄ K		0,392	
Incuits			- 0,426
Photovolt		- 0,636	
Longueur rupture			0,606
Eclatement			0,575
Déchirure			- 0,501
Porosité			- 0,541
Main			- 0,602
Plis			0,522
Allongement			0,458
Temps de raffinage			- 0,522

à la qualité des pâtes. Il est toutefois surprenant de ne pas retrouver des corrélations équivalentes pour les autres lots d'Eucalyptus.

La corrélation lignine-largeur des fibres (ou coefficient de souplesse) est surprenante et n'a jamais été observée auparavant.

Phosphore (tableau 18)

Il est assez difficile d'analyser ces résultats. On observe beaucoup de corrélations pour les 29 PF1, mais elles découlent essentiellement de la corrélation initiale observée entre la teneur en phosphore et la densité du bois qui est elle-même liée à beaucoup d'autres caractéristiques. On peut supposer que les bois légers ont une structure plus ouverte qui laisse mieux passer les constituants du sol tels que le phosphore.

Les autres corrélations qui méritent d'être notées relient le phosphore et l'écorce (épaisseur et proportion) des Eucalyptus sélectionnés. Ce type de corrélation est *a priori* surprenant et difficile à expliquer.

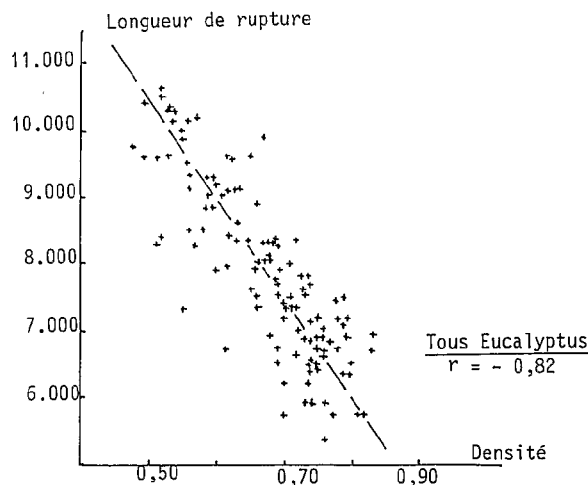
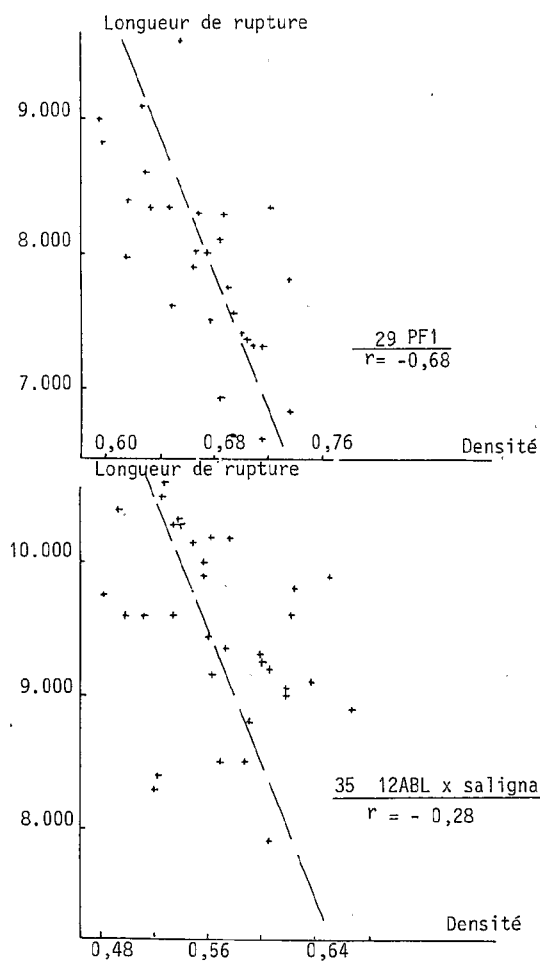


FIG. 3. — Corrélation entre la longueur de rupture des papiers et la densité anhydre des Eucalyptus pour :

- 29 Eucalyptus PF1 (clones)
- 35 Eucalyptus 12ABL × saligna (clones)
- 9 Eucalyptus PF1 (un clone)
- 56 Eucalyptus PF1 de semis
- 129 = Tous Eucalyptus

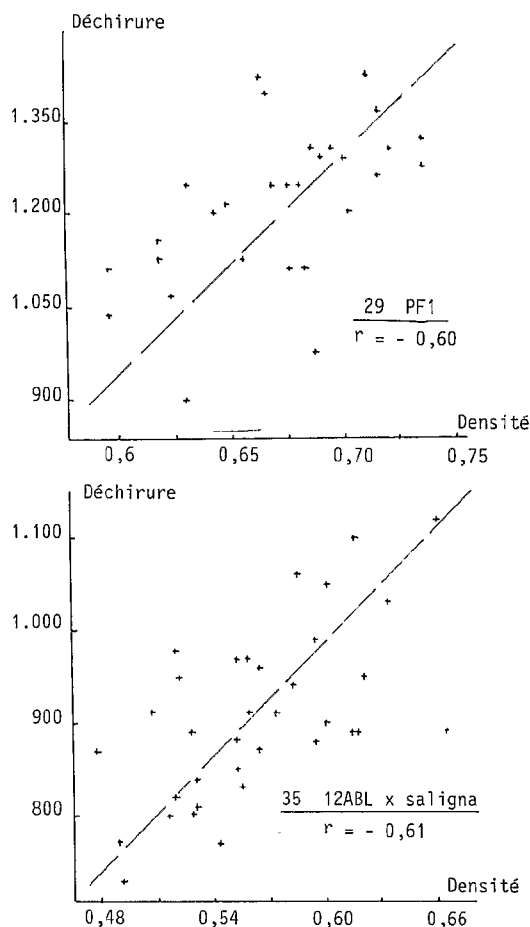


FIG. 4. — Corrélation entre la déchirure des papiers et la densité anhydre des Eucalyptus pour :

- 29 Eucalyptus PF1 (clones)
- 35 Eucalyptus 12ABL x saligna (clones)
- 9 Eucalyptus PF1 (un clone)
- 56 Eucalyptus PF1 de semis

129 = Tous Eucalyptus

Corrélations pour 129 Eucalyptus

Si on considère la totalité des Eucalyptus étudiés, c'est-à-dire 29 E. PF1 + 35 E. 12ABL x saligna + 9 PF1 d'un seul clone + 56 PF1 de semis, on observe quelques corrélations de très haut niveau.

- Exemple : Déchirure-densité : $r = - 0,70$
- Eclatement-densité : $r = - 0,88$
- Longueur de rupture-densité : $r = - 0,82$
- Coefficient de souplesse-densité : $r = - 0,71$
- Porosité-densité : 0,84

(Voir représentation graphique aux fig. 3 et 4.)

CONCLUSION EN CE QUI CONCERNE LA RECHERCHE DES CORRÉLATIONS

Les corrélations existant entre les caractéristiques des bois et les propriétés papetières de ces bois sont plus nombreuses et généralement d'un plus haut niveau lorsque l'on considère des clones sélectionnés d'Eucalyptus par rapport à des Eucalyptus obtenus par semis de graines.

Il est toutefois surprenant de constater que certaines corrélations qui existent au sein des clones d'E. PF1 n'existent pas obligatoirement au sein des clones d'E. 12ABL x saligna, ou tout au moins n'apparaissent qu'à des niveaux beaucoup plus faibles.

C'est la densité des bois qui reste la caractéristique explicative n° 1 dans la mesure où elle est assez bien

corrélée aux caractéristiques des pâtes et des papiers qui peuvent être obtenus. Mais la densité ne permet absolument pas de prévoir le comportement des Eucalyptus à la cuisson (bois facile ou difficile à cuire, rendement en pâte élevé ou faible). L'emploi du taux de lignine pour prévoir ce comportement s'est révélé peu satisfaisant. Il faudrait probablement associer le taux de lignine au taux d'extrait pour améliorer le résultat.

On notera enfin que la mesure de la rétention d'eau des pâtes papetières après essorage constitue un test intéressant dans la mesure où le taux de rétention est lié à de nombreuses caractéristiques des bois et des papiers.

SÉLECTION DE QUELQUES CLONES PERFORMANTS

Bien que le choix définitif des clones appartienne *in fine* aux responsables des services forestiers congolais, on a essayé d'identifier quelques clones susceptibles de donner des résultats favorables dans l'hypothèse de l'approvisionnement d'une unité de cellulose.

Des contacts préalables avec les services techniques et les services de recherche de diverses sociétés papetières renommées nous ont tout d'abord permis de définir quelques critères de sélection. On a en particulier accordé de l'importance au rendement sylvicole, à la densité du bois, au pourcentage d'écorce, au rendement en pâte, à certaines caractéristiques des papiers telles que la longueur de rupture, la déchirure, l'éclatement, à certaines caractéristiques chimiques des bois telle que la teneur en acide ellagique. Toutefois, après de nombreuses discussions, il est apparu qu'il était impératif de réduire au minimum les critères de sélection pour ne pas s'engager dans un labyrinthe de considérations. On a décidé de retenir finalement les deux critères suivants :

— Les tonnes de pâte produites par ha et par an par les plantations (ce chiffre englobe le rendement sylvicole et les m³ nécessaires pour reproduire une tonne de pâte, ce dernier chiffre intégrant lui-même l'écorce, la densité, le rendement à la cuisson, etc...).

— La longueur de rupture de papiers, caractéristique placée en tête par tous les services commerciaux (bien que ce classement soit contesté par les services techniques). En effet, il apparaît que dans 80 % des cas, les clients d'une usine de cellulose prennent d'abord en considération cette caractéristique qui est très « parlante » et facile à assimiler. Les services commerciaux ont conseillé d'éliminer tous les clones donnant du papier dont la longueur de rupture à 40 °SR serait inférieure à 8.000 mètres.

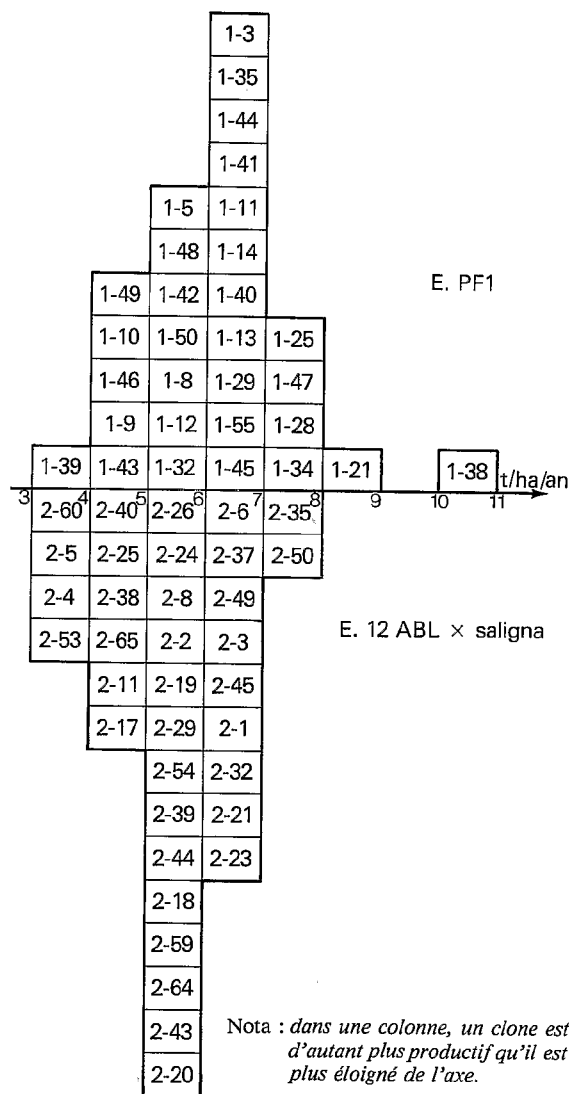
Il a enfin été conseillé, sans que cela soit impératif, de vérifier la teneur en acide ellagique des clones retenus. Des renseignements australiens font en effet mention de difficultés lors du traitement de certains Eucalyptus, qui seraient dues à la présence de cet acide, et qui concerneraient : une augmentation de la viscosité des lessives noires, une corrosion des circuits, des dépôts dans les canalisations sous forme de sels d'acide ellagique.

Il a également été conseillé, chaque fois que cela était possible, d'extrapoler les caractéristiques des bois en les ramenant à l'âge de 6 ou 7 ans, âge théorique d'exploitation, ceci pour tenir compte d'une évolution dans le temps des caractéristiques. Il a été admis, à cette fin,

RENDEMENT DES PLANTATIONS (TONNES DE PÂTE/HA/AN)

Le Centre Technique Forestier Tropical de Pointe Noire a utilisé notre tableau de classement des clones en fonction des m³ par tonne de pâte, et a calculé le rendement des plantations en tonne de pâte/ha/an. Les résultats sont donnés à la figure 5. Il apparaît que le clone 1.38 est très bien placé en raison d'une très bonne pro-

FIG. 5. — Production du test clonal 75 à 6 ans en tonnes de pâte commerciale par ha et pa an.



que l'on pouvait tenir compte d'une augmentation de la densité du bois de 0,1 point par tranche de 4 ans (c'est-à-dire + 0,025 point par an), et d'une diminution de la longueur de rupture de 500 m sur 4 ans (soit - 125 m par an).

ductivité sylvicole liée à une forte densité du bois. Malheureusement, on verra plus loin que ce clone ne se classe pas très bien d'un point de vue papetier.

On a décidé de retenir les clones donnant plus de 6 t de pâte à l'ha et par an.

SÉLECTION EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE RUPTURE

En retenant les chiffres de notre étude qui se rapportent à du bois de 4 ans stocké avant essais, on sélectionnerait les clones suivants :

— Hybride PF1 : 15 clones sont acceptables : 1.5, 1.8, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.28, 1.39, 1.40, 1.41, 1.42, 1.48, 1.49, 1.50, 1.55. Les autres clones sont à écarter.

— Hybride 12ABL × saligna : tous les clones sont acceptables, à l'exception de 2 clones : 2.08, 2.43.

En réalité, en sélectionnant ainsi, on pénalise les clones (ou si on préfère on se donne une large marge de garantie puisque les valeurs sont moins bonnes qu'avec

du bois frais). Pour être plus objectif, il faudrait extrapoler les résultats à l'âge de 7 ans mais considérer également les valeurs obtenues avec du bois non stocké, c'est-à-dire diminuer la longueur de rupture d'environ 500 m pour l'âge, mais l'augmenter de beaucoup plus de 1.000 m pour passage à bois frais. Dans ces conditions, tous les clones de chacun des deux hybrides seraient acceptables.

Par prudence, et pour être plus sélectif, on a retenu le classement effectué sur les bois jeunes et stockés.

ASSOCIATION DES DEUX CRITÈRES

L'association des deux critères précédents conduit finalement à la sélection suivante :

— Hybride PF1 : 1.28
1.41
1.11
1.40
1.13
1.55

— Hybride 12ABL × saligna : 2.50
2.35
2.23
2.21
2.32
2.1
2.45
2.3
2.49
2.37
2.6

soit 17 clones. On notera toutefois que les clones 2.6 et 2.1 nécessitent plus de 4 m³ de bois par tonne de pâte

ce qui constitue malgré tout un élément d'appréciation défavorable.

ACIDE ELLAGIQUE

On a procédé à un dernier examen des bois en prenant en considération les teneurs en acide ellagique. Compte tenu des difficultés opératoires, on s'est limité à l'étude de 15 clones : liste précédente sauf 2.6 et 2.1. On a testé à titre de témoin, un échantillon d'*Eucalyptus globulus* du Portugal. Le tableau 19 donne les teneurs en acide ellagique, ainsi que quelques teneurs en produits tanants qui ont été déterminées à titre indicatif. Il apparaît que l'hybride 12ABL × saligna est

moins riche en acide ellagique que l'hybride PF1. Toutefois, dans la mesure où l'on avait fixé *a priori* le seuil d'intolérabilité à 1 % d'acide, tous les Eucalyptus répondent favorablement, bien qu'étant un peu plus riches que le témoin portugais. On observe également une corrélation entre acide ellagique et produits tanants, qui, en ce qui concerne la connaissance du matériau bois, peut offrir un certain intérêt.

CONCLUSION

L'étude réalisée est source de nombreuses informations susceptibles d'intéresser divers spécialistes : généticiens, sylviculteurs, papetiers. Elle confirme notre sentiment que la qualité papetière des bois ne peut être

abordée en testant uniquement quelques échantillons isolés comme on l'a fait pendant beaucoup trop d'années. Il faut au contraire procéder à des tests de série portant sur des échantillons statistiques, ce qui

TABLEAU 19. — ACIDE ELLAGIQUE, ACIDE GALLIQUE, EXTRAIT À L'EAU, PRODUITS TANNANTS (EN % DU BOIS SEC)

Eucalyptus	Acide ellagique	Acide gallique (1)	Extrait sec Alca Parcy (2)	Tanins (3)	Composés catéchiques	Non Tanins (4)	Tanins/non tanins
E. globulus	0,23	+	2,37	0	0,33	2,48	0
E. PFI							
1.55	0,65	—	5,17	2,61	2,51	2,56	1,02
1.41	0,99	+	5,82	2,09	2,76	3,75	0,56
1.13	0,29	+	3,98	0,91	1,45	3,07	0,29
1.28	0,37	+	3,30	0,49	1,24	2,82	0,17
1.11	0,39	+	3,17	0,54	1,22	2,62	0,21
1.40	0,40	—	4,60	0,83	1,23	3,78	0,22
E 12ABL × saligna							
2.03	0,62	—	4,31	1,70	2,31	2,71	0,63
2.21	0,35	—	2,91	0	1,03	2,91	0
2.23	0,48	+	3,37	0,82	1,68	2,61	0,31
2.35	0,33	+	2,66	0	0,81	2,73	0
2.37	0,29	—	3,21	0,23	1,13	3,10	0,07
2.32	0,27	—	2,69	0	0,91	2,77	0
2.45	0,37	+	3,53	0,12	1,44	3,42	0,04
2.49	0,41	+	3,41	0,71	1,44	3,46	0,21
2.50	0,36	—	3,19	0	1,19	3,20	0

(1) Environ 10 % de l'acide ellagique quand il est présent.

(2) Il s'agit d'un extrait à l'eau obtenu avec l'appareil Alca Parcy.

(3) Extraits à l'eau réagissant à la poudre de peau.

(4) Le chiffre peut être légèrement supérieur à l'extrait Alca Parcy, lorsque les tanins = 0, car on a compté les poussières en suspension.

entraîne un processus lourd, mais nécessaire dans la mesure où l'emploi de microméthodes ne permet pas encore d'obtenir toutes les informations souhaitables.

Il apparaît que la variabilité des produits de plantation est importante, même dans le cas de plantations clonales ; la recherche de clones performants représente donc un travail extrêmement profitable dans la mesure où le coût des recherches est faible par rapport au coût des plantations et des gains de productivité (ou de qualité) qui peuvent ainsi être obtenus. Dans le cas des Eucalyptus congolais, il suffit de se reporter à une

publication que nous avons faite en 1965 pour juger des progrès réalisés en moins de 20 ans.

Ce type d'étude est enfin riche d'enseignements car il fait progresser sensiblement la connaissance du « matériau Eucalyptus ».

Sur un plan pratique, il apparaît qu'un dialogue permanent sylviculteur-papetier est indispensable si l'on veut éviter des fausses manœuvres dont les conséquences pourraient être extrêmement préjudiciables, d'un point de vue technique et économique.

BIBLIOGRAPHIE

BARICHELO, BRITO. — I.P.E.F., 1979, 18, 18.

BURLEY (J.), PALMER (E. R.). — Pulp and wood densitometric properties of *Pinus caribaea* from Fiji. Commonwealth Forestry Institute. Oxford, 1979.

CRAFT (A. C.). — Westvaco's Cooperative Forest Management program has proven valuable to industry and private landowners alike. TAPPI, janv. 1983.

PÉTROFF (G.). — Etude papetière de quelques échantillons d'Eucalyptus congolais. B.F.T., 1965, n° 103.

PÉTROFF (G.). — Influence de l'âge des Eucalyptus de plantation sur leurs caractéristiques papetières. B.F.T., 1973, n° 150.

PÉTROFF (G.), TISSOT (M.). — Variabilité des caractéristiques papetières d'un échantillonnage de *Pinus caribaea* de Nouvelle-Calédonie. B.F.T., 1980, n° 190.

ZOBEL (B.), CAMPINHOS (E.), IKEMORI (Y.). — Selecting and breeding for desirable wood. TAPPI, janv. 1983, p. 70.