



JEAN GÉRARD
CIRAD-Forêt

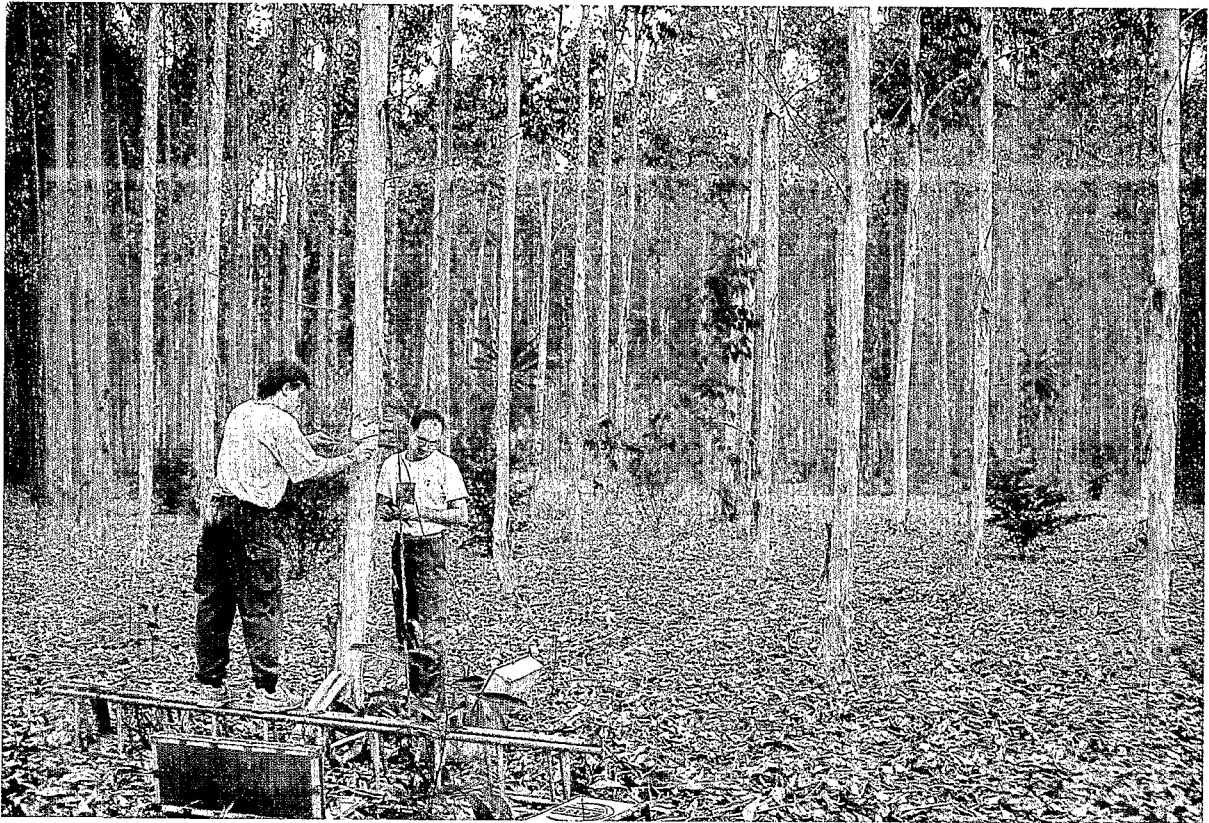
HENRI BAILLÈRES
CIRAD-Forêt

MÉRIEM FOURNIER
ENGREF

BERNARD THIBAUT
CIRAD-Forêt

QUALITÉ DU BOIS CHEZ LES EUCALYPTUS DE PLANTATION

ÉTUDE DE VARIATION DE TROIS PROPRIÉTÉS DE RÉFÉRENCE



Mesures des Déformations Résiduelles Longitudinales de Maturation (D.R.L.M.) sur *Eucalyptus* PF1.
Longitudinal Residual Maturation Strains (L.R.M.S.) measures on Eucalyptus PF1.





Les producteurs de bois d'œuvre ou de pâte à papier ont pour objectif d'obtenir un matériau le moins hétérogène possible. Des chercheurs du CIRAD-Forêt ont étudié certains facteurs explicatifs de cette hétérogénéité et vous livrent ici leurs résultats.

La valorisation en bois d'œuvre des Eucalyptus de plantation est particulièrement limitée par le développement de fentes et de déformations durant les opérations de première transformation. Ces défauts très pénalisants sont généralement fréquents chez les espèces feuillues de plantation à croissance initiale rapide exploitées précocement. Ces essences se caractérisent notamment par :

- **Du bois de tension** abondant, associé à des contraintes de croissance élevées et formé généralement dans un secteur angulaire à certaines périodes de la croissance ; il présente des propriétés physiques et mécaniques particulières qui induisent des hétérogénéités radiales et suivant la circonférence, ce qui confère au matériau un comportement peu apprécié ; le bois de tension permet aux tiges de se réorienter afin d'assurer à l'arbre une position favorable en réaction au vent, à des accidents de croissance ou par rapport à la lumière.
- Une proportion importante de **bois juvénile** dont les propriétés varient fortement depuis le cœur jusqu'à l'écorce, notamment lors des premières années d'activité du cambium ; dans la zone entourant la moelle, le bois présente ainsi des qualités technologiques très variables, souvent qualifiées de médiocres par les transformateurs.

Par ailleurs, l'un des objectifs communs à tous les producteurs de bois d'œuvre ou de bois destiné à la pâte à papier est d'obtenir un matériau le moins hétérogène possible et de maîtriser les facteurs dont dépend cette hétérogénéité, ce qui implique d'en connaître les déterminants.

Les variations de trois propriétés de référence ont été étudiées sur des Eucalyptus de plantation de différentes origines. L'étude de variation a été réalisée à l'intérieur des tiges (sur la section transversale) et en fonction de l'âge des arbres, du gé-

notype ainsi que des conditions de croissance.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

PROPRIÉTÉS ÉTUDIÉES ET MÉTHODES DE MESURE

□ **L'infradensité** (rapport entre la masse anhydre et le volume saturé d'un échantillon) et **la densité à 12 % d'humidité** (bois stabilisés à une humidité relative de l'air de $65\% \pm 5\%$ et à une température de $20^\circ \pm 2^\circ$) ont été déterminées respectivement :

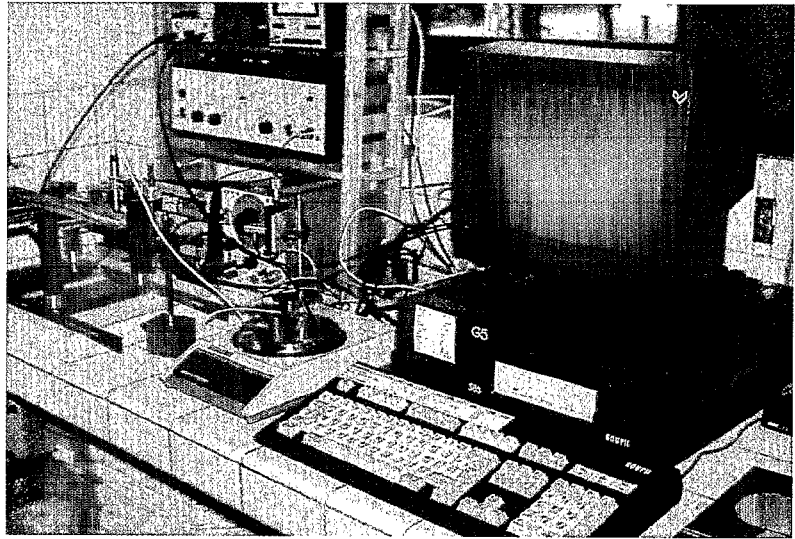
- suivant la méthode standard (norme NF B 51-005) à l'aide d'un volumétre à mercure,
- par calcul direct à partir de la mesure des trois dimensions d'éprouvettes parallélépipédiques.

La densité est une caractéristique technologique de base pour qualifier un bois ; elle est généralement bien corrélée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du bois (GUITARD, 1987), ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en œuvre (durabilité naturelle, imprégnabilité....).

□ **Le module d'élasticité longitudinal** est une propriété de première nécessité technologique pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande dimension (parallèlement aux fibres) ; il est lié à des paramètres structuraux et ultrastructuraux (EL AMRI, 1987 ; SCHNIEWIND et BERNDT in : LEWIN et GOLDSTEIN, 1991).

L'étude du module d'élasticité longitudinal du bois à l'état vert est directement utile pour les calculs de déformations de sciage. Le module

Détermination du module d'élasticité longitudinal par méthode acoustique.
Calculation of the longitudinal modulus of elasticity using the acoustic method.



d'élasticité longitudinal du bois stabilisé à une humidité théorique de 12 % est une caractéristique mécanique de référence. Il existe une bonne corrélation entre les modules déterminés suivant ces deux états (Wood Handbook, 1987).

Cette propriété a été obtenue à l'aide d'une méthode non standard mettant en œuvre un dispositif conçu au CIRAD-Forêt par P. A. BORDONNÉ (1989). Ce dispositif permet notamment de mesurer le module dynamique d'éprouvettes sans défaut par analyse du spectre de leurs fréquences de résonance.

□ **Les Déformations Résiduelles Longitudinales de Maturation (= DRLM)** mesurées à la surface des arbres sur pied permettent d'estimer les déformations du bois induites à la fin de la formation de la paroi secondaire de la cellule (maturation du bois en différenciation).

Ces déformations bloquées par le bois déjà en place sous forme de contraintes mécaniques s'expriment lors d'une opération de débit. La connaissance des déformations de maturation et des constantes élastiques du bois permet, grâce à des modèles appropriés (ARCHER, 1986 ;

FOURNIER *et al.*, 1991) de remonter aux contraintes initialement présentes dans l'arbre, puis de prévoir les déformations des débits sciés (ARCHER, 1986 ; GÉRARD, 1994).

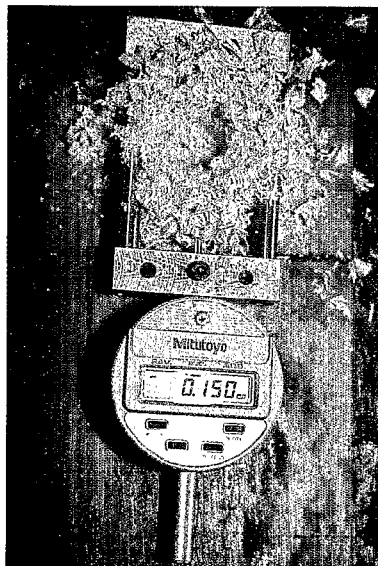
Les DRLM ont été mesurées à l'aide de l'un ou l'autre des deux dispositifs suivants (BAILLERES *et al.*, 1994) :

- Le capteur « CIRAD » qui dérive d'un prototype construit au CIRAD-Forêt par A. CHARDIN puis repris et simplifié par C. SALES et P. A. BORDONNÉ ; son principe de fonctionnement repose sur la méthode du trou (*Drilling Hole Method*, ARCHER, 1986) utilisée couramment pour la mesure de contraintes résiduelles dans les matériaux.

- Le capteur « Wap's » constitué d'un extensomètre à jauges relié à un conditionneur de terrain ; il permet de mesurer la déformation longitudinale résultant du sciage de rainures de part et d'autre de deux pointes enfoncées à la surface de l'arbre sur pied.

MATÉRIEL VÉGÉTAL

La densité et le module d'élasticité longitudinal ont été étudiés spécifiquement sur des clones d'Eucalyptus disponibles dans les plantations expérimentales et dans les plantations industrielles de l'U.A.I.C.* sur la plaine côtière de Pointe-Noire au Congo.



Capteur CIRAD (mesure de la D.R.L.M.).
CIRAD sensor (L.R.M.S. measurement).

* Unité d'Alforestation Industrielle du Congo.

Ces clones sont issus des deux formulations hybrides naturelles les plus représentées localement :

- L'hybride « *Platyphylla F1* » ou « *PF1* » dont la base génétique est réduite ; il est issu d'un croisement *E. alba* × *urophylla* ou *E. alba* × *grandis*.

- L'hybride « *12 ABL* × *saligna* » ou « *12 ABL* », issu d'un croisement *E. tereticornis* × *saligna* et *E. tereticornis* × *grandis*.

Les D.R.L.M. ont été mesurées sur ces mêmes Eucalyptus ainsi que sur des hybrides ou des espèces pures testées sur les plantations expérimentales : *E. cloeziana*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *E. urophylla* × *grandis*, *E. urophylla* × *pellita*.

Par ailleurs, des campagnes de mesures de D.R.L.M. ont été réalisées sur d'autres peuplements dans le cadre de projets de Recherche et Développement menés par le CIRAD-Forêt :

- plantations d'état dans la péninsule de Leizhou dans le sud de la Chine : *E. leizhou* n°1 (hybride naturel), *E. urophylla*, *E. citriodora*,
- plantations privées dans la région de Pontevedra en Espagne : *E. globulus*,
- arboretums sur les sites de Pineto et de Diane sur la côte est de la Corse : *E. globulus*, *E. maidenii*,

E. oviformis, *E. macarthurii*, *E. gomphocephala*, *E. gigantea*, *E. botryoïdes*, *E. viminalis*.

RÉSULTATS

INFLUENCE DE L'ÂGE DES ARBRES ET VARIATIONS RADIALES DE PROPRIÉTÉS

□ Déformations Résiduelles Longitudinales de Maturation

La littérature est très pauvre en résultats sur l'influence de l'âge des arbres sur les D.R.L.M. On a généralement admis dans les modèles que leur niveau n'évoluait pas avec l'âge. Quelques hypothèses ont été avancées (FOURNIER *et al.*, 1989) et des observations ont été faites sur des conifères (ARCHER, 1986) mais aucune étude à grande échelle n'a été entreprise sur le sujet.

Dans le cadre de l'étude sur les Eucalyptus, des parcelles d'âges différents ont été comparées pour le clone 1.45 de l'hybride *PF1* (arbres âgés de 21 à 142 mois), ainsi que sur des espèces pures pour des classes d'âge plus élevées : *E. cloeziana* et *E. pilularis* au Congo,

E. leizhou n°1 et *E. citriodora* en Chine, *E. globulus* en Espagne.

L'étude du clone 1.45 a mis en évidence une très faible influence de l'âge sur les niveaux de D.R.L.M. durant les premières années correspondant à une période de bonne croissance (fig. 1) ; pour ce clone, il faut noter que la parcelle de 142 mois (parcelle à poteaux) a été régulièrement exploitée, d'où une déstabilisation du peuplement qui a induit des réorientations ; de ce fait, une plus grande proportion de D.R.L.M. élevées est enregistrée.

En revanche, une chute du niveau et de la variabilité des D.R.L.M. est observée sur des arbres plus âgés, lorsqu'ils parviennent à un stade de perte de vitalité correspondant à une très faible croissance en diamètre. Ce résultat a été notamment mis en évidence sur *E. cloeziana* et sur *E. globulus* (fig. 2).

Cette tendance a été observée sur d'autres espèces, notamment sur des brins de taillis de Châtaignier dont le bois a pourtant une structure très différente de celle des Eucalyptus.

Par ailleurs, différents travaux ont montré l'influence de la compétition entre les arbres sur les D.R.L.M. ; ainsi, dans sa synthèse bibliogra-

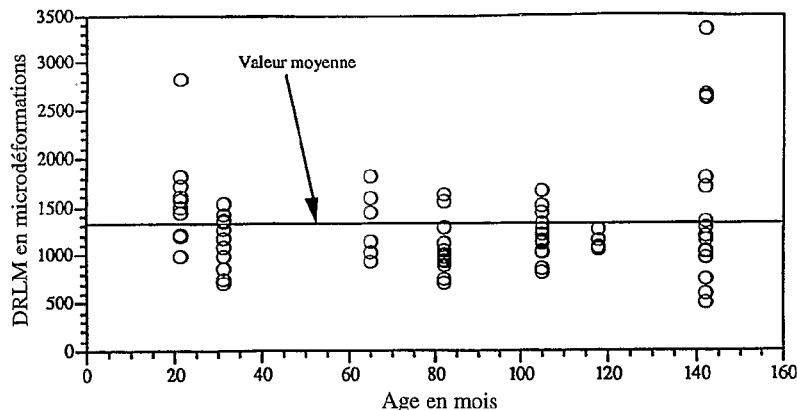


Figure 1. Evolution au cours du temps du niveau de D.R.L.M. sur le clone 1.45 (D.R.L.M. mesurées à l'aide du capteur « Wap's »).

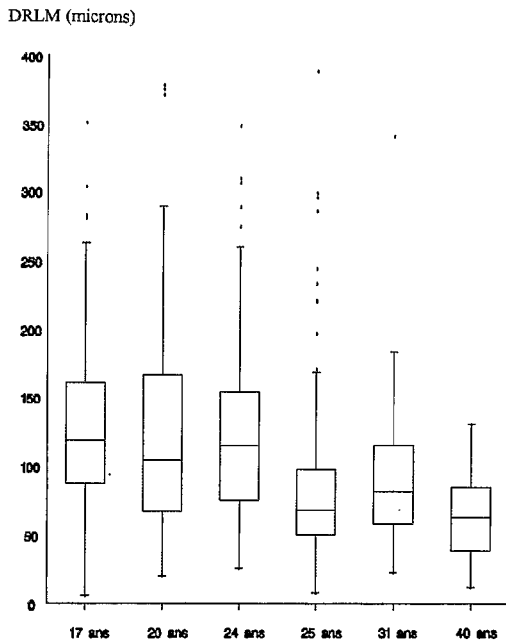


Figure 2. Distributions de D.R.L.M. en box plots pour *E. globulus*. (D.R.L.M. mesurées à l'aide du capteur « CIRAD »).

phique, KUBLER (1987) mentionne-il les résultats de recherche sur la comparaison entre peuplements mono-étagés et pluri-étagés. Chez ces derniers, les D.R.L.M. seraient globalement plus faibles et les distributions moins étalées et moins dispersées (notamment chez les arbres dominants) que dans les peuplements mono-étagés, tels que les plantations équiennes où s'instaure une compétition entre tous les individus (SAURAT et GUÉNEAU, 1976 ; FERRAND, 1982).

Le seuil au-delà duquel la forme des distributions de D.R.L.M. change (localisation plus basse, étalement et dispersion plus faibles) dépend des conditions de croissance locales et varie de ce fait suivant les peuplements considérés. Ce seuil apparaît d'autant plus précocement que la croissance des arbres est limitée dans le temps en relation avec les conditions environnementales. La comparaison des distributions de D.R.L.M. sur des parcelles d'*E. globulus* de 31 ans en Corse et en Espagne confirme ce

résultat ; les deux échantillons ne diffèrent que par les conditions locales de croissance, plus favorables en Galice, défavorables en Corse (sols pauvres, irrégulièrement alimentés en eau) : dans le

premier cas, les distributions de D.R.L.M. sont davantage dispersées et étalées (fig. 3) ; les arbres seraient donc physiologiquement plus jeunes et plus « réactifs ».

□ Densité et module d'élasticité longitudinal

L'influence de l'âge des arbres, feuillus ou résineux, sur les propriétés du bois est liée aux caractéristiques du bois juvénile qui sont différentes de celles du bois adulte. La proportion de bois juvénile diminue avec l'âge mais elle est d'autant plus importante que les arbres ont eu une croissance initiale rapide.

La densité est la principale propriété physique dont les variations avec l'âge ont été étudiées à partir de mesures sur carottes de sondage (*E. saligna*, FERREIRA *et al.*, 1979 ; *E. regnans*, FREDERICK *et al.*, 1982) ou sur rondelles (*E. saligna*, FERREIRA *et al.*, 1979 ; *E. grandis*, BHAT *et al.*, 1987 ; VITAL *et al.*, 1987 ; *E. PF1* et *E.12 ABL* × *saligna*, DELWAILLE, 1985 ; ALLARD et CHAUVIERE, 1986) : tous les résultats obtenus montrent

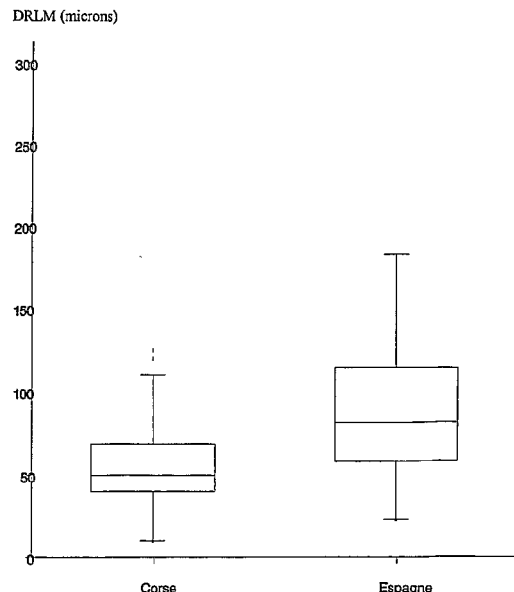


Figure 3. Comparaison des distributions de D.R.L.M. sur *E. globulus* en Corse et en Espagne (D.R.L.M. mesurées à l'aide du capteur « CIRAD »).

que chez les Eucalyptus, la densité augmente systématiquement avec l'âge des arbres.

Sur le clone 1.45 de l'hybride *E. PF1* (fig. 4), on enregistre une augmentation de l'infradensité d'environ 30 % entre 21 mois et 142 mois (mesures sur éprouvettes prélevées en périphérie des tiges à 1,4 m, ce qui permet de dater le bois par l'âge de l'arbre). Les connaissances usuelles sur le bois juvénile montrent que l'on peut s'attendre à une stabilisation de l'infradensité à des âges plus avancés (SENFT *et al.*, 1985) ; cependant, ce clone est trop récent pour disposer d'individus plus âgés permettant de valider cette hypothèse.

L'ajustement par une loi de type $[Y(\text{âge}) = Y_m - (Y_m - Y_0) e^{-\text{âge}/\tau}]$ est réalisé. En première approximation et pour des raisons pratiques, on a identifié Y_m par la valeur maximale à 142 mois (on suppose alors que la stabilisation est atteinte) et effectué une régression linéaire entre $\log(Y_m - Y)$ et l'âge (il est clair qu'un ajustement non linéaire serait préférable). Les paramètres de cette loi permettent de comparer

des populations d'arbres selon trois critères :

Y_m = valeur maximale de la densité, dans le bois adulte.

Y_0 = valeur minimale de la densité, près du cœur.

τ = constante de temps caractéristique de la cinétique d'évolution du bois juvénile vers le bois adulte.

Ces informations sont plus riches que la simple limite entre le bois juvénile et le bois adulte habituellement identifiée.

Le module d'élasticité longitudinal de ce clone évolue avec l'âge de façon similaire à la densité.

Chez les Eucalyptus congolais, la croissance des arbres est quasi continue et les cernes ne sont pas distincts ; en supposant que les conditions de croissance sont constantes durant la vie de l'arbre, du fait notamment de variations climatiques homogènes pendant la période considérée, un parallèle peut être fait entre les variations de propriétés avec l'âge des arbres et avec la distance à la moelle.

Les profils radiaux de densité et de module d'élasticité longitudinal présentent effectivement une allure simi-

laire à ce qui a été observé précédemment (fig. 5).

La croissance générale des propriétés du cœur à la périphérie se superpose à deux phénomènes locaux :

- sur certains individus, on observe une décroissance locale des deux propriétés au voisinage de la moelle ; ce phénomène a déjà été mis en évidence chez *E. grandis* sans qu'aucune explication n'en soit donnée (BAMBER et HUMPHREYS, 1963 ; TAYLOR, 1973) ; pour le clone 1.45, il pourrait être lié à la formation de bois de tension par la jeune tige durant la période qui suit son introduction dans les parcelles expérimentales ou de production, en réaction aux nouvelles conditions environnementales ;

- en périphérie, la décroissance du module est liée à la présence de contrefil qui perturbe la mesure du fait de la sollicitation qui n'est plus parfaitement dans l'axe des fibres ; pour la densité, cette même décroissance est plus difficilement explicable ; en particulier, le début de la décroissance périphérique ne correspond pas à la limite abier-duramen.

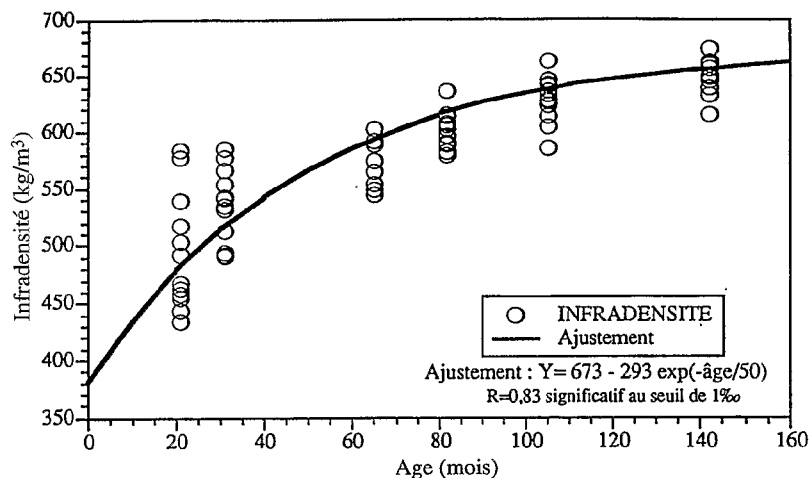


Figure 4. Evolution de l'infradensité avec l'âge du bois pour le clone 1.45 à 1,4 m.

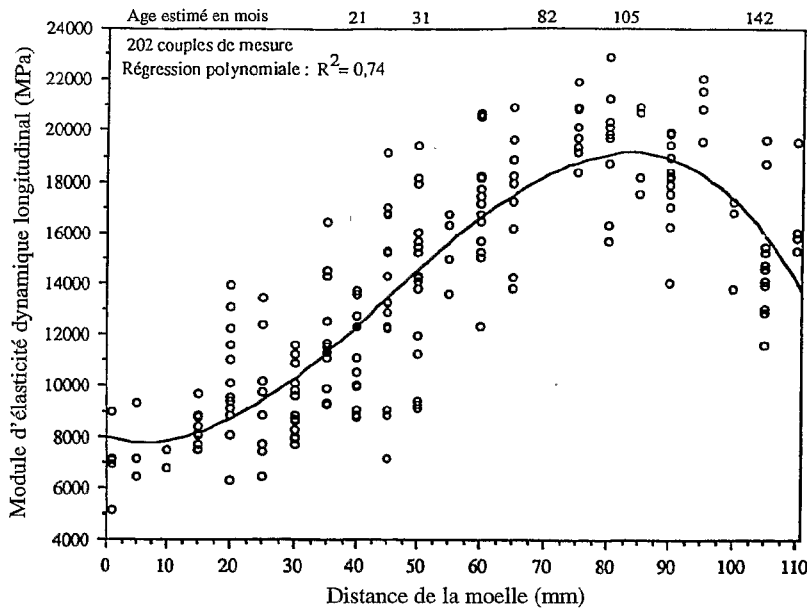


Figure 5. Evolution du module d'élasticité longitudinal sur le rayon pour le clone 1.45.

INFLUENCE DU GÉNOTYPE

Les études de variation de l'infradensité (mesurée sur rondelles) menées notamment par ALLARD et CHAUVIERE (1985, 1986), SURAN (1985), BESSON *et al.* (1988) ont montré une différence significative entre les deux hybrides PF1 et 12 ABL (différence d'environ 80 kg/m³). Cependant, au sein d'un même hybride, l'écart maximal d'infradensité moyenne entre clones est du même ordre de grandeur. La variabilité intra-hybride est aussi élevée que la variabilité inter-hybrides.

En revanche, la comparaison de 5 clones issus des hybrides *E. PF1*, *E. 12 ABL* × *saligna* et *E. urophylla* × *grandis* montre que le module d'élasticité longitudinal est homogène chez 4 d'entre eux, mais significativement plus faible chez le 5^e (clone 2.32, hybride 12 ABL) ; l'infradensité moyenne de ce clone est aussi plus basse que celle des 4 autres.

De même, la comparaison de clones issus des 2 hybrides naturels PF1 et 12 ABL indique que l'origine gé-

tique a une influence sur le niveau moyen de D.R.L.M. : sur le clone 1.41 elles sont significativement plus élevées que sur le clone 1.45 et que sur les clones issus du second hybride.

La comparaison de distributions de D.R.L.M. sur plusieurs espèces pures sélectionnées sur différents sites a mis aussi en évidence une influence du génotype sur cette caractéristique ; ainsi, une discrimination des niveaux de D.R.L.M. relevés sur 8 espèces d'Eucalyptus en Corse a-t-elle conduit à établir un classement à 3 niveaux permettant de situer les espèces les unes par rapport aux autres (classement par ordre décroissant de D.R.L.M.) :

Le déterminisme génétique des D.R.L.M. a déjà été observé par KUBLER (1988) et VAN WYK (1990) sur *E. grandis*, par NEPVEU *et al.* (1985) et WAUGH (1972) sur des clones de peuplier et par MALAN (1987 et 1988) sur des hybrides d'Eucalyptus.

INFLUENCE DU BOIS DE TENSION

SUR LES VARIATIONS SUIVANT LA CIRCONFÉRENCE

L'influence du bois de tension sur les variations suivant la circonférence a été particulièrement mise en évidence pour les D.R.L.M. et l'infradensité sur le clone 1.45 de l'hybride PF1.

CLASSEMENT DE 8 ESPÈCES D'EUCALYPTUS CORSES À L'AIDE D'UN TEST DE MANN-WHITNEY

1	<i>E. oviformis</i> , <i>E. gigantea</i>
2	<i>E. globulus</i> , <i>E. maidenii</i> , <i>E. gomphocephala</i>
3	<i>E. macarthurii</i> <i>E. botryoïdes</i>, <i>E. viminalis</i>

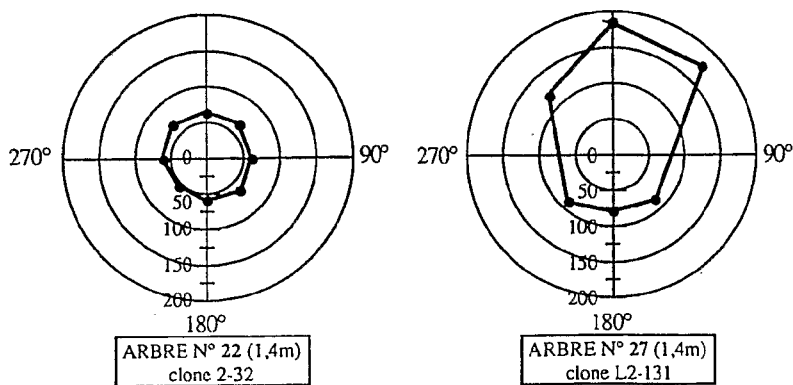


Figure 6. Exemples de couronnes caractéristiques de mesures de D.R.L.M.

Pour les D.R.L.M., on constate en général une dissymétrie angulaire plus ou moins marquée (fig. 6, arbre n° 27) bien qu'on observe dans certains cas des profils angulaires plats (fig. 6, arbre n° 22).

La D.R.L.M. la plus forte est le plus souvent enregistrée sur la partie supérieure de la tige en cas d'inclinaison globale de l'arbre ou de courbure appréciables visuellement. Cependant, la position du pic de déformation peut être aussi expliquée par une forte dissymétrie du houppier ou par la présence d'une grosse branche. En outre, l'arbre ne se redresse pas forcément dans son plan d'inclinaison, d'où des erreurs d'appréciation parfois importantes, surtout lorsque l'arbre est faiblement incliné et présente un houppier bien équilibré.

L'azimut de la déformation maximale est situé dans un secteur diamétralement opposé ($\pm 45^\circ$) à l'azimut de l'inclinaison locale de la tige dans les trois quarts des cas ; cette inclinaison est essentiellement orientée dans la direction ouest, phénomène que n'explique pas la direction des vents dominants ni les paramètres sylvicoles (orientation des lignes, mode de plantation,...) ; la tendance d'inclinaison pourrait être liée aux effets de la qualité, de la quantité et de la direction de la lu-

mière en relation avec la situation géographique et climatique locale.

Les fortes valeurs de D.R.L.M. sont associées à la présence de bois de tension qui ne présente pas de fibre G* contrairement à ce qui est observé habituellement chez les Angiospermes. L'évolution progressive de la structure du bois depuis un état « normal » jusqu'à un bois de tension très typique est liée à une évolution continue de l'ultrastructure pariétale et de la composition chimique du bois (BAILLERES *et al.*, 1995). Ainsi, l'angle des microfibrilles dans la couche S₂, le taux de lignine de Klason, les taux de monomères Syringile et Guaiacyle constitutifs de la lignine sont des paramètres bien corrélés (négativement pour les deux premiers, positivement pour le troisième) à la D.R.L.M.

Les variations de l'infradensité suivant la circonférence ont une amplitude inférieure à celle des D.R.L.M. Sur le clone 1.45, on observe quand l'âge augmente une diminution du coefficient de variation obtenu pour chaque couronne de mesures à 1,40 m. L'hétérogénéité d'infraden-

sité suivant la circonférence tend à diminuer lorsque le bois devient mature.

Le bois de tension des jeunes arbres est plus dense, ce qui est classiquement observé chez de nombreuses espèces (BOYD, 1980 ; MALAN, 1989).

En revanche, chez les arbres plus âgés, la formation de bois de tension n'est plus associée à une élévation de densité, ce qui rend difficile l'utilisation d'un critère de surdensité comme indicateur de bois de tension.

CONCLUSION

Les variations des propriétés étudiées dans la tige sont dues à des variations de structure du bois liées à deux phénomènes de nature différente :

- Le passage progressif du bois d'un état juvénile à un état adulte induit d'importantes variations de propriétés sur le rayon, notamment chez les Eucalyptus de plantation ; ce phénomène d'origine morphogénétique dépend des conditions de croissance locales et de l'âge des arbres ; ces deux facteurs ont une influence sur les niveaux de D.R.L.M. enregistrés à la surface des arbres sur pied.

* Fibres dont la partie la plus externe de la paroi est presque exclusivement composée de cellulose cristalline et présente un aspect gélatineux.



• La présence de bois de tension se traduit par des variations de densité et de module d'élasticité suivant la circonférence ; ces variations se retrouvent à l'intérieur de la tige lors de l'étude des profils radiaux des deux caractéristiques ; la formation du bois de tension est sans relation évidente avec le stade de développement de l'arbre et serait plutôt consécutive à un événement d'origine externe (prise au vent, déstabilisation phototrope...).

Par ailleurs, on observe une influence du génotype sur les caractéristiques étudiées. Des variations intraspécifiques et interspécifiques ont été mises en évidence sur des Eucalyptus de différentes origines, permettant notamment d'identifier des clones ou espèces dont les propriétés leur confèrent une meilleure aptitude à une valorisation en bois d'œuvre.

L'ensemble des résultats ainsi obtenus devraient contribuer à optimiser les périodes de récolte et la sélection d'espèces, d'hybrides ou de clones

dans le but de limiter les problèmes de transformation. □

▷ Jean GÉRARD
Henri BAILLÈRES
Bernard THIBAUT
Programme Bois
CIRAD-Forêt
B.P. 5035
34090 MONTPELLIER CEDEX 1

▷ Mériem FOURNIER
ENGRF
B.P. 5093
34033 MONTPELLIER CEDEX 01

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLARD (L.), CHAUVIÈRE (M.), 1985. Etude de la variation de la densité basale en fonction de l'écartement de plantation. Rapport interne C.T.F.T.-U.A.I.C., 8 p.
- ALLARD (L.), CHAUVIÈRE (M.), 1986. Variations en fonction de l'âge de divers clones. Rapport interne C.T.F.T.-U.A.I.C., 18 p.
- ARCHER (R. R.), 1986. Growth stresses and strains in trees. New York, Springer Series in Wood Science, 240 p.
- BAILLÈRES (H.), 1994. Précontraintes de croissance et propriétés mécano-physiques de clones d'Eucalyptus (Pointe-Noire-Congo) : hétérogénéités, corrélations et interprétations histologiques. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois. Université de Bordeaux I, 162 p.
- BAMBER (R. K.), HUMPHREYS (F. R.), 1963. A preliminary study of wood properties of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. J. Inst. Wood Science, vol. 11, 66-71.
- BESSON (M.), VILLENEUVE (F.), TISSOT (M.), 1988. Etude papetière des Eucalyptus denses : leurs avantages et leurs limites. Rapport interne CIRAD-Forêt, 20 p.
- BHAT (K. M.), DHAMODARAN (T. K.), BHAT (K. V.), THULASIDAS (P. K.), 1987. Wood Property Variation of 3-year-old Trees among four Eucalyptus Species Grown in Kerala. J. Ind. Acad. Wood Sci., vol. 18, n° 2, 7-12.
- BORDONNE (P. A.), 1989. Module dynamique et frottement intérieur dans le bois : mesures sur poutres flottantes en vibrations naturelles. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois. Institut National Polytechnique de Lorraine, 110 p.
- BOYD (J. D.), 1980. Relationships between Fibre Morphology, Growth Strains and Physical Properties of Wood. Aust. For. Res., 10, 337-360.
- DELWAULLE (J. C.), 1985. Production papetière de peuplements clonaux d'Eucalyptus au Congo. C.T.F.T.-Congo, rapport interne, 13 p.
- EL AMRI (F.), 1987. Contribution à la modélisation élastique anisotrope du matériau bois. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois. I.N.P. de Lorraine, 140 p.
- FERRAND (J. C.), 1982. Etude des contraintes de croissance. 3^e partie : *Eucalyptus delegatensis* et *Eucalyptus nitens* ; influence de la sylviculture et de la saturation. Annales des Sciences Forestières, vol. 39, n° 4, 355-378.
- FERREIRA (C. A.), FREITAS (M. de), FERREIRA (M.), 1979. Densidade básica de madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Magi-Guaçu (S.P.), IPEF, Piracicaba 181, 106-117.
- FOURNIER (M.), 1989. Mécanique de l'arbre sur pied : maturation, poids propre, contraintes climatiques dans la tige standard. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois. I.N.P. de Lorraine, 257 p.
- FOURNIER (M.), CHANSON (B.), THIBAUT (B.), GUITARD (D.), 1991. Mécanique de l'arbre sur pied : modélisation d'une structure en croissance soumise à des chargements permanents et évolutifs. 2. Analyse tridimensionnelle des contraintes de maturation, cas du feuillu standard. Annales des Sciences Forestières, INRA, vol. 48, 527-546.
- FREDERICK (D. J.), MADGWICK (A. I.), OLIVER (G. R.), 1982. Wood basic density and moisture content of young *Eucalyptus regnans* grown in New



Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 12(3), 494-500.

GÉRARD (J.), 1994.

Contraintes de croissance, variations internes de densité et de module d'élasticité, et déformations de sciage chez les Eucalyptus de plantations. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois. Université de Bordeaux I, 159 p.

GUITARD (D.), 1987.

Mécanique du matériau bois et composites. Collection Nabla, Cépadués Editions, 238 p.

KUBLER (H.), 1987.

Growth Stresses in Trees and Related Wood Properties. Forest Products Abstracts, vol. 10, n° 3, 61-119.

KUBLER (H.), 1988.

Silvicultural control of mechanical stresses in trees. Canadian Journal of Forestry Research, vol. 18, 1215-1225.

NEPVEU (G.), BARNEOUD (C.), POLGE (H.), AUBERT (M.), 1985.

Variabilité clonale des contraintes de croissance et de quelques autres propriétés du

bois dans le genre Populus ; fiabilité de l'appréciation de la qualité du bois à l'aide de carottes de sondage. Annales AFOCEL, 338-357.

MALAN (F. S.), 1989(a).

The Wood Properties of S.A. grown *Eucalyptus grandis* : some notes on their variation and association. Part 1. Wood Southern Africa, vol. 14, n° 5, 62-66.

MALAN (F. S.), 1989(b).

The Wood Properties of S.A. grown *Eucalyptus grandis* : some notes on their variations and association. Part 2. Wood Southern Africa, vol. 14, n° 6, 67-71.

SAURAT (J.), GUENEAU (P.), 1976.

Growth stresses in Beech. Wood Science and Technology, vol. 10, n° 2, 111-123.

SURAN (J. C.), 1985.

Contribution à l'étude des caractéristiques physiques et mécaniques et des possibilités de mise en œuvre de 3 espèces et 2 clones d'*Eucalyptus* provenant du Congo. Rapport interne C.T.F.T. (Division ESSEM), 41 p.

TAYLOR (F. W.), 1973.

Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. Appita, vol. 27, n° 3, 171-178.

VAN WYK (G.), 1990.

Improving wood properties and timber defects in clonal stands of *Eucalyptus grandis* in South Africa. Actes du XIX^e Congrès Mondial de l'IUFRO, Montréal.

VITAL (B. R.), PEREIRA (A. R.), LUCIA della (R. M.), ANDRADE de (D.C.), 1987.

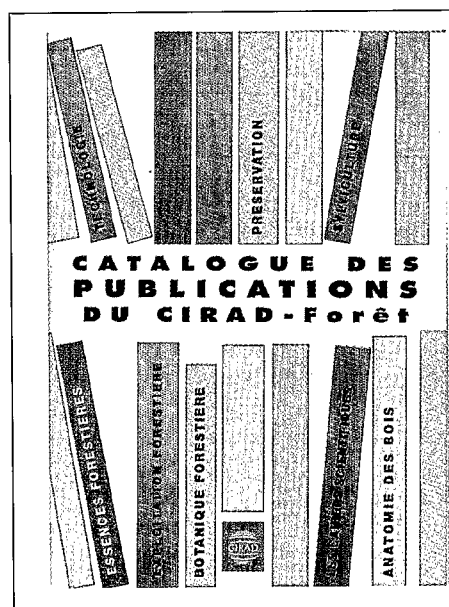
Efeito da idade da arvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na regio do cerrado de Minas Gerais. Boletim Tecnico, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, n° 8, 49-52.

WAUGH (G.), 1972.

Growth Stresses. Genetic and Environmental Influences. Forest Products Newsletter n° 389, 3-4.

WOOD HANDBOOK (Wood as an engineering material), 1987.

Agric. Handb. 72. Washington, D.C., U.S.D.A., 466 p.



DEMANDEZ LE CATALOGUE DES PUBLICATIONS DU CIRAD-Forêt

Plus de 80 titres (ouvrages de synthèse, atlas, manuels, fiches techniques) sur les forêts et les bois tropicaux

Il vous sera envoyé sur simple demande adressée au

SERVICE DES PUBLICATIONS

CIRAD-Forêt

45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle

94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX (FRANCE)



R É S U M É

QUALITÉ DU BOIS CHEZ LES EUCALYPTUS DE PLANTATION Etude de variation de trois propriétés de référence

La valorisation en bois d'œuvre des Eucalyptus de plantation est limitée par le développement de fentes et de déformations, au cours des opérations de transformation, et par l'hétérogénéité de leurs propriétés physico-mécaniques. Les variations de trois de ces propriétés ont été étudiées : la densité, le module d'élasticité longitudinal et la déformation résiduelle longitudinale de maturation (D.R.L.M.), grandeur qui permet d'évaluer le champ de contraintes de croissance. L'étude a porté sur des plantations situées au Congo, en Chine, en Espagne et en France.

Les résultats obtenus permettent de conclure que les variations sont liées à deux sources d'hétérogénéité sur une section transversale : le passage progressif du bois d'une phase juvénile à un état adulte et la présence de bois de tension.

De plus, la comparaison de parcelles d'âges différents a permis de souligner l'existence d'un seuil d'âge au-delà duquel le niveau de D.R.L.M. est plus faible ; par ailleurs, le site (classe de fertilité) et le génotype ont une influence marquée sur le niveau de D.R.L.M.

Mots-clés : Technologie du bois. Bois juvénile. Bois de réaction. Eucalyptus.

A B S T R A C T

WOOD QUALITY IN PLANTATION EUCALYPTUS A study of variations in three reference properties

The efficient use of plantation Eucalyptus timber is limited by the development of checks and splits, and deformations during processing operations, as well as by the heterogeneousness of the physico-mechanical properties. The variations of three of these properties have been studied : density, longitudinal modulus of elasticity, and longitudinal residual maturation strain (L.R.M.S.), a magnitude which helps to assess the range of growth stresses. The study involved plantations situated in Congo, China, Spain and France.

On the basis of the results obtained, it is possible to conclude that the variations are linked with two sources of heterogeneousness in a cross section : the first, of morphogenetic origin, corresponds to a progressive transition of the wood from a juvenile phase to an adult phase ; the second, associated with the presence of tension wood.

The comparison of different aged plots has helped to underscore the existence of an age threshold beyond which the L.R.M.S. level is lower. Furthermore, it would seem that the site (fertility class) and the genotype have a conspicuous influence on the L.R.M.S. level.

Key words : Wood technology. Juvenile wood. Reaction wood. Site factors. Eucalyptus.

R E S U M E N

CALIDAD DE LA MADERA EN LOS EUCALIPTOS DE PLANTACION Estudio de variación de tres propiedades de referencia

La valorización de la madera de construcción de los Eucaliptos de plantación se ve limitada por el desarrollo de fendas y deformaciones durante las operaciones de manufactura, así como por la heterogeneidad de sus propiedades fisicoquímicas. Se ha procedido al estudio de las variaciones de tres de estas propiedades : la densidad, el módulo de elasticidad longitudinal y la deformación residual longitudinal de maduración (D.R.L.M.), magnitud que permite evaluar el campo de esfuerzos y tensiones de crecimiento. El estudio se ha referido a diversas plantaciones ubicadas en el Congo, en China, en España y en Francia.

Los resultados conseguidos permiten llegar a la conclusión por la cual las variaciones guardan relación con dos fuentes de heterogeneidad en una sección transversal : el paso progresivo de la madera de una fase juvenil a un estado adulto y la presencia de maderas de tensión.

Además, la comparación de parcelas de diversas edades ha permitido subrayar la existencia de un límite de edad, por encima del cual la D.R.L.M. llega a ser más reducida.

Por otra parte, el sitio (clase de fertilidad) y el genotipo presentan una influencia señalada con respecto al nivel de la D.R.L.M.

Palabras clave : Tecnología de la madera. Madera joven. Madera de reacción. Características del sitio. Eucaliptos.



WOOD QUALITY IN PLANTATION EUCALYPTUS

A STUDY OF VARIATIONS IN THREE REFERENCE PROPERTIES

The efficient use of plantation Eucalyptus timber is particularly limited by the development of checks and splits, and deformations during primary processing operations. These very penalizing defects are usually frequent in hardwood plantation species with an initially fast growth rate, which are logged at an early stage. These species are characterized in particular by :

- Abundant tension wood associated with high growth stresses and generally formed in an angular sector in certain growth periods. It has specific physical and mechanical properties which give rise to various types of radial and circumference-oriented heterogeneity, which give the wood an unwelcome behaviour. The tension wood enables the stems to become re-oriented, so as to guarantee the tree a favourable position in relation to the wind, growth irregularities, and light.
- A significant proportion of young wood with extremely variable properties ranging from the core to the bark, particularly in the early years of cambium activity ; in the part surrounding the pith, the wood thus presents very variable technological qualities, often described as mediocre by processors.

What is more, one of the goals shared by all timber producers, and by producers of timber earmarked for pulp, is to obtain the least hetero-

geneous wood possible, and to control the factors governing this heterogeneity, which implies a knowledge of the determining factors.

The variations of three reference properties have been studied in plantation Eucalyptus of differing origins. The variation study was carried out inside stems (on the cross section), and based on the age of the trees, the genotype, and the growth conditions.

MATERIALS AND METHODS

PROPERTIES STUDIED AND MEASUREMENT METHODS

- **The basic density** (ratio of the anhydrous mass to the saturated volume of a sample) and the density at 12 % humidity (wood stabilized at a relative humidity of $65 \% \pm 5 \%$ and at a temperature of $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$) have been calculated respectively :
 - using the standard method (NF B 51-005 standard) with the aid of a mercury volumeter,
 - by direct calculation based on the measurement of the three dimensions of parallelepiped specimens.

The density is a basic technological feature for describing wood. It is usually well, and more or less closely, correlated with the main physical

and mechanical properties of the wood (GUITARD, 1987), as well as with certain implementational characteristics (natural durability, impregnability, etc.).

- **The longitudinal elasticity module** is a property of primary technological importance for structural uses where the pieces of wood are often stressed in static bending (parallel to the fibres) ; it is linked with structural and ultra-structural parameters (El AMRI, 1987 ; SCHNIEWIND & BERNDT in : LEWIN & GOLDSTEIN, 1991).

The study of the longitudinal elasticity module of the wood in the green state is directly useful for calculations of sawing strains. The longitudinal elasticity module of wood stabilized at a theoretical humidity level of 12 % is a reference mechanical feature. There is a good correlation between modules formulated on the basis of these two states (Wood Handbook, 1987).

This property has been obtained with the help of a non-standard method using a device designed at the CIRAD-Forêt by P.A. BORDONNÉ (1989). This device is of particular help in measuring the dynamic module of defect-free specimens and test pieces by analysing the spectrum of their resonance frequencies.

□ **The Longitudinal Residual Maturation Strains (LRMS)**, measured on the surface of standing trees, help to estimate the strains of the wood caused at the end of the formation of the secondary cell wall (maturation of wood in differentiation).

These strains, obstructed by the wood already in place in the form of mechanical stresses, are shown during a sawing operation. A knowledge of the maturation strains and of the wood's elastic constants make it possible to revert to the stresses initially present in the tree by way of models (ARCHER, 1986 ; FOURNIER *et al.*, 1991), and then predict strains in sawn timber (ARCHER, 1986 ; GÉRARD, 1994).

The LRMSs were measured with the aid of one or other of the following devices (BAILLERES *et al.*, 1995) :

- the CIRAD sensor which derives from a prototype built at the CIRAD-Forêt ; the way it works is based on the *Drilling Hole Method* (ARCHER, 1986), currently used for measuring residual stresses in materials.
- the « Wap's » sensor consisting of a calibrated extensometer connected to a ground conditioner. With this, it is possible to measure the longitudinal deformation caused by the sawing of grooves on either side of 2 nails driven into the surface of the standing tree.

PLANT MATERIAL

The density and the longitudinal elasticity module have been specifically studied on Eucalyptus clones available in CIRAD-Forêt experimental plantations and in U.A.I.C.* industrial plantations in the Pointe-Noire coastal lowlands in Congo.

* Unité d'Afforestation Industrielle du Congo.

These clones originate from the two natural hybrid formulations that are locally best represented :

- the hybrid « *Platyphylla F1* » or « *PF1* », with a reduced genetic base ; it originates from a cross between *E. alba* × *urophylla* or *E. alba* × *grandis*.
- the hybrid « *12 ABL* × *saligna* » or « *12 ABL* », originating from a cross between *E. tereticornis* × *saligna* and *E. tereticornis* × *grandis*.

The LRMSs were measured on these same Eucalyptus as well as on hybrids or pure species tested on the CIRAD-Forêt plantations : *E. cloeziana*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *E. urograndis*, *E. uropellita*.

Furthermore, LRMS measurement programmes were carried out in other stands as part of Research & Development projects undertaken by the CIRAD-Forêt :

- private plantations in the Leizhou Peninsula in southern China : *E. leizhou* n° 1 (natural hybrid), *E. urophylla*, *E. citriodora*,
- private plantations in the Pontevedra region in Spain : *E. globulus*,
- private arboreta in the Pineto and Diana sites on the southeast coast of Corsica : *E. globulus*, *E. maidenii*, *E. oviformis*, *E. macarthurii*, *E. gomphocephala*, *E. gigantea*, *E. botryoides*, *E. viminalis*.

RESULTS

THE INFLUENCE OF THE AGE OF TREES AND RADIAL VARIATIONS OF PROPERTIES

□ Longitudinal Residual Maturation Strains

There is a dearth of findings in the literature on the influence of the age of trees on the LRMSs. In the models, it has generally been admitted that the LRMS level does not evolve with

age. One or two hypotheses have been put forward (FOURNIER *et al.*, 1989) and there are one or two observations for conifers (ARCHER, 1986), but no large-scale study has been undertaken.

As part of the study on the Eucalyptus, different aged plots were compared for the 1.45 clone of the *PF1* hybrid (trees aged from 21 to 142 months), as well as in pure species for higher age classes : *E. cloeziana* and *E. Pilularis* in Congo ; *E. leizhou* n° 1 and *E. citriodora* in China ; *E. globulus* in Spain.

The study of the 1.45 clone has shown up a very slight influence of age on the LRMS levels during the early years corresponding to a period of healthy growth (Fig. 1, p. 114). For this clone, it should be noted that samples have been regularly taken from the 142-month plot (pole plot), whence a destabilization of the stand, which has given rise to reorientations. As a result of this, a larger proportion of high LRMSs is recorded.

Conversely, a drop in the level and variability of the LRMSs is recorded in older trees, when they reach a stage of vitality loss corresponding to a very low diameter growth rate. This finding emerges in particular in *E. cloeziana* and *E. globulus* (Fig. 2, p. 114).

This tendency has been observed in other species, in particular in Chestnut coppice maidens, where the wood nevertheless has a very different structure to that of the Eucalyptus.

What is more, different projects have been undertaken concerning the effects of competition on the LRMSs. Thus, in his bibliographical overview, KUBLER (1987) mentions the research findings on the comparison of single-storey and multi-storey stands. In the latter, the LRMSs are generally less and the distributions are less staggered and less dis-

persed (particularly in dominant trees) than in single-storey stands, such as even-aged plantations, in which there is competition between all individuals (JACOBS, 1966 ; SAURAT & GUÉNEAU, 1976 ; FERRAND, 1982).

The threshold beyond which the form of the LRMS distributions changes (lower localization, less staggering and dispersion) depends on local growth conditions, and, as a result, varies in relation to the stands in question. This threshold appears all the earlier when the growth of the trees is limited in time in relation to environmental conditions. Comparison of the LRMS distributions in plots of 31-year-old *E. globulus* in Corsica and Spain backs up this finding ; the 2 samples only differ as a result of local growth conditions, which are more favourable in Galicia and not favourable in Corsica (poor soils, with irregular water supplies). In the first case, the LRMS distributions are more dispersed and staggered (Fig. 3) ; the trees are thus probably physiologically younger and more reactive.

□ **Density and longitudinal elasticity module.** The influence of the age of trees, be they hardwood or softwood, on the properties of the wood is linked with the characteristics of the young wood, which differ from those of adult wood. The proportion of young wood drops with age, but the faster the initial growth rate of the trees, the higher it remains.

Density is the main property whose variations with age have been studied, based on measurements on core samples (*E. saligna*, FERREIRA *et al.*, 1979 ; *E. regnans*, FREDERICK *et al.*, 1982) or on discs (*E. saligna*, FERREIRA *et al.*, 1979 ; *E. grandis*, BHAT *et al.*, 1987 ; VITAL *et al.*, 1987 ; *E. PF1* and *E. 12 ABL x saligna*, DELWALLE, 1985 ; ALLARD & CHAUVIERE, 1986) ; all the results ob-

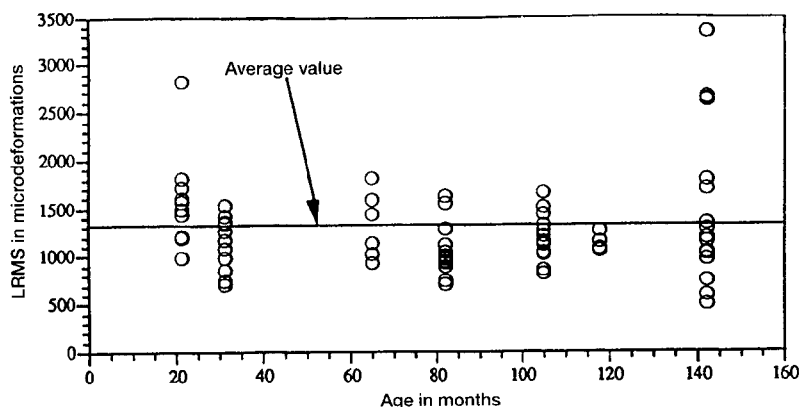


Figure 1. Development over time of the LRMS level in the 1.45 clone.

tained show that in the *Eucalyptus* the density rises systematically with the age of the trees.

On the 1.45 clone of the hybrid *E. PF1* (Fig. 4), an increase in infradensity of around 30 % between 21 and 142 months is recorded (measurements on specimen samples taken around 1.4 m. stems,

which makes it possible to date the wood by the age of the tree). Conventional knowledge about young wood shows that a stabilization of the infradensity can be expected at more advanced ages (SENF *et al.*, 1985). However, this clone is too recent to have older specimens making it possible to back this hypothesis up.

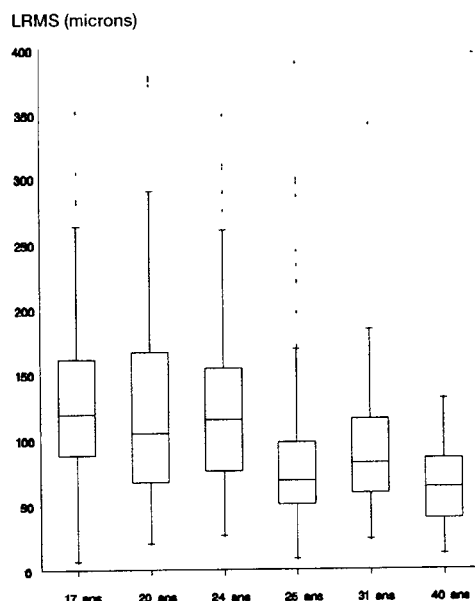


Figure 2. LRMS distribution in box plots for *E. globulus*.

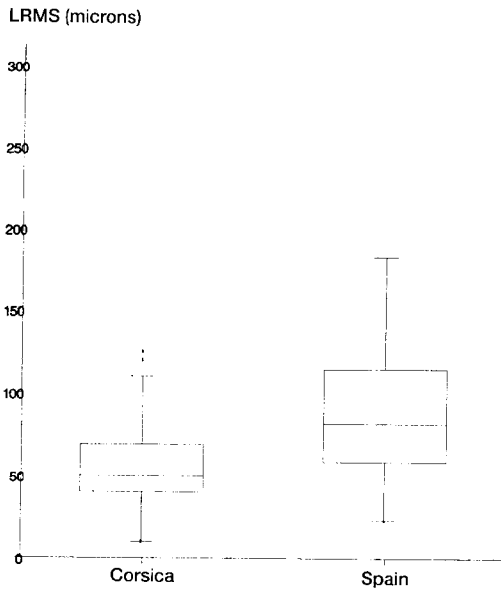


Figure 3. Comparison of LRMS distributions in *E. globulus* in Corsica and Spain.

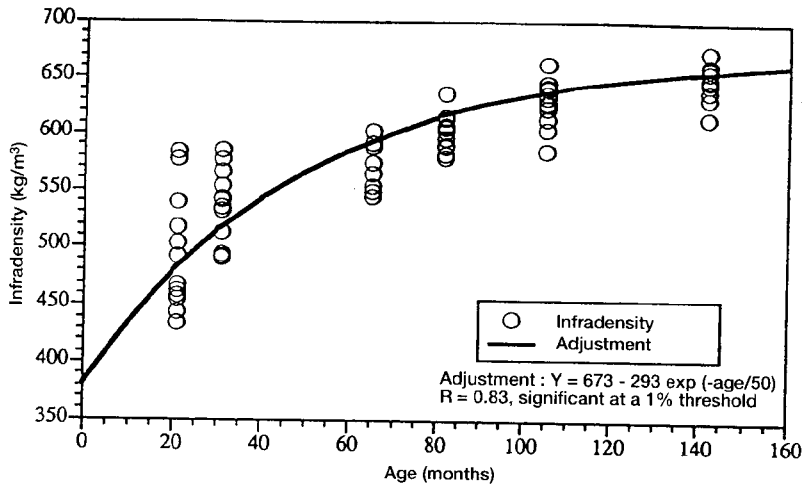


Figure 4. Development of infradensity with the age of wood for the 1.45 clone at 1.4 m.

Adjustment by a law of the type $[Y(\text{age}) = Y_m - (Y_m - Y_o) e^{-\text{age}/\tau}]$ is carried out. As a first approximation, and for practical reasons, Y_m is identified by the maximum value at 142

months (it is then assumed that stabilization has been attained), and a linear regression is carried out between $\text{Log}(Y_m - Y)$ and the age (it is evident that a non-linear adjustment

would be preferable). The parameters of this law make it possible to compare tree populations using three criteria :

Y_m = maximum value of density, in adult wood,

Y_o = minimum value of density, near the core

τ = time constant characteristic of the kinetics of the development of young wood to adult.

This information is more comprehensive than the simple borderline between young and adult wood, as it is usually identified.

In the same clone, we find the same type of development with the age of the longitudinal elasticity module.

In the Congolese Eucalyptus, the growth of the trees is almost continuous and the rings are not distinct. Supposing that growth conditions are constant during the life of the tree, in particular because of homogeneous climatic variations during the period in question, a parallel may be made between the variations of properties with the age of the trees and with the distance to the pith.

Radial profiles of density and the longitudinal elasticity module present, in effect, a similar aspect to the one previously observed (Fig. 5, p. 116).

The general growth of the properties from the core to the outer edge is superposed on two local phenomena :

- In certain specimens, one observes a local diminution of the two properties close to the pith. This phenomenon has already been pinpointed in *E. grandis* without any explanation attached (BAMBER & HUMPHREYS, 1963 ; TAYLOR, 1973). For the 1.45 clone, it might be linked with the formation of tension wood by the young stem during the period following its introduction into experimental or production plots, as

a reaction to the new environmental conditions.

- At the outer edge, the diminution of the module is linked with the presence of an across-the-grain phenomenon which upsets the measurement because of the stress which is no longer perfectly within the axis of the fibres. For the density, this same diminution is harder to explain. In particular, the start of the diminution does not correspond to the sapwood-heartwood borderline.

INFLUENCE OF THE GENOTYPE

The infradensity variation studies (measured on rings) carried out by ALLARD & CHAUVIERE (1985, 1986), SURAN (1985), and BESSON *et al.* (1988) have shown a significant difference between the two hybrids PF1 and 12ABL (difference of about 80 kg/cu.m between PF1 and 12ABL). However, within one and the same hybrid, the maximum difference of average infradensity between clones is of the same order of magnitude. The intra-hybrid variability is as great as the inter-hybrid variability.

On the other hand, the comparison of 5 clones originating from 3 hybrids, *E. PF1*, *E. 12ABL* × *saligna* and *E. urophylla* × *grandis* shows that the longitudinal elasticity module is significantly less in the 2.32 clone, whose average infradensity is also lower than that of the other clones (BAILLIERES, 1994).

Similarly, the comparison of clones originating from the two natural hybrids PF1 and 12ABL indicates that the genetic origin has an influence on the average LRMS level. The LRMSs on the 1.41 clone are significantly greater than on the 1.45 clone, and the clones originating from the 2nd hybrid (BAILLIERES, 1994).

The comparison of the LRMS distributions in several selected pure species in different sites has also shown

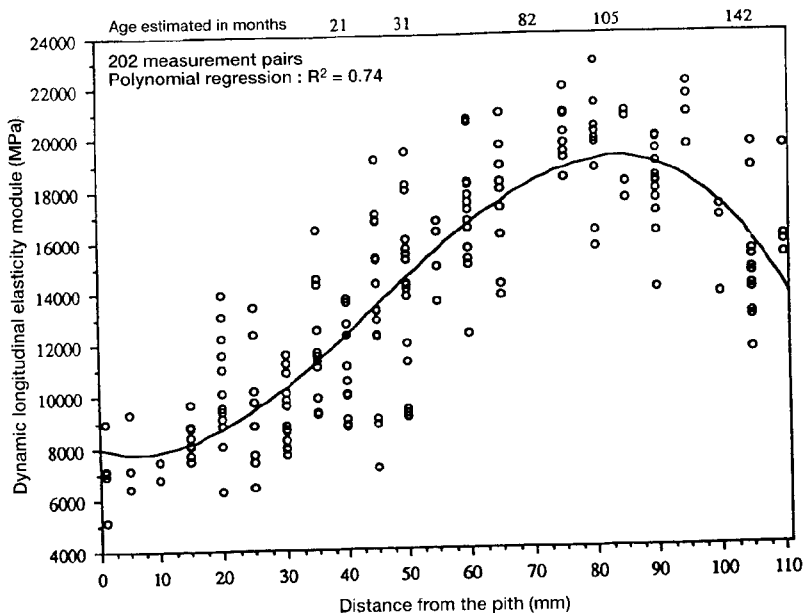


Figure 5. Development of the longitudinal elasticity module on the radius.

an influence of the genotype on this feature. So a distinction between the LRMS levels taken in 8 species of *Eucalyptus* in Corsica has led to the establishment of a 3-level classification, helping to place the different species in relation to each other (descending order LRMS classification), GÉRARD, 1994.

The genetic determinism of the LRMSs has already been observed by KUBLER (1988) and VAN WYK (1990) in *E. grandis*, by NEPVEU *et al.* (1985) and WAUGH (1972) in poplar clones, and by MALAN (1987 and 1988) in *Eucalyptus* hybrids.

INFLUENCE OF TENSION WOOD ON THE VARIATIONS DEPENDING ON CIRCUMFERENCE

The influence of tension wood on the variations, depending on the circumference, has been specifically shown up for the LRMSs and infradensity in the 1.45 clone of the hybrid PF1.

For the LRMSs, we find, in general, a more or less marked angular dissymmetry (Fig. 6, tree n° 27), even though, in certain cases, we observe flat angular profiles (Fig. 6, tree n° 22).

Classification of 8 species of Corsican *Eucalyptus* with the aid of a Mann-Whitney test

- | | | |
|---|---|--|
| 1 | <i>E. oviformis</i> , <i>E. gigantea</i> | |
| 2 | <i>E. globulus</i> , <i>E. maidenii</i> , <i>E. gomphocephala</i> | <i>E. botryoïdes</i> , <i>E. viminalis</i> |
| 3 | <i>E. macarthurii</i> | |

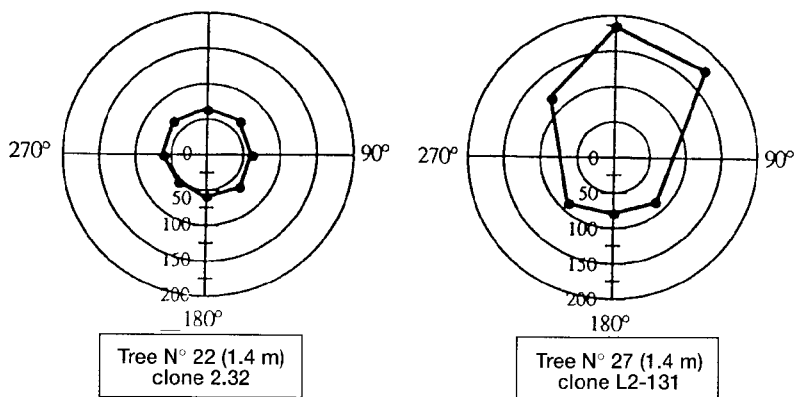


Figure 6. Examples of typical LRMS measurement rings.

The most marked LRMS is most often recorded on the upper part of the stem in the case of a tree with an overall slant or visually noticeable curvature. However, the peak deformation position may also be explained by a sharp dissymmetry of the crown or by the presence of a large branch. Furthermore, the tree does not necessarily right itself in its incline plane, whence at times major errors in assessment. This is all the more so when the tree stands at a slight angle and has a well balanced crown.

The azimuth of the maximum deformation is situated in a sector diametrically opposed ($\pm 45^\circ$) to the azimuth of the local slant of the stem in almost 75 % of cases. This slant is essentially oriented towards the west, a phenomenon that is not explained by the direction of the prevailing winds or by the silvicultural parameters (orientation of rows, method of planting...). The tendency to develop a slant might be associated with the effects of the quality, quantity and direction of the light in relation to the local geographical and climatic situation (the sea lies to

the west, facing the Mayombe mountain range).

The high LRMS values are associated with the presence of tension wood which has no G fibre, as is usually the case with the Angiosperms*. The progressive development of the structure of the wood from a « normal » state to a very typical tension wood has to do with a continuous evolution of the wall's ultrastructure and the chemical composition of the wood (BAILLERES *et al.*, 1995). Thus, the angle of the microfibrillae in the S2 layer, the level of Klason lignin, and the levels of Syringil and Guaiacyl monomers forming the lignin are all parameters that are well correlated (negatively for the first two, positively for the third) to the LRMS.

The infradensity variations depending on the circumference have a lower range than that of the LRMSs. In the 1.45 clone, one observes a diminution with age of the variation coefficient obtained for each ring of measurements at 1.40 m. The infradensity heterogeneity depending on the circumference tends to drop when the wood becomes mature.

The tension wood of young trees is denser, which is a classic observation in many species (BOYD, 1980 ; MALAN, 1989). On the contrary, in older trees, the formation of tension

wood is no longer associated with a rise in density, which makes it difficult to use an overdensity criterion as an indicator of tension wood.

CONCLUSION

The variations of the properties studied in the stem are due to variations in the structure of the wood, linked with two different phenomena :

- The progressive transition of the wood from a young state to an adult state gives rise to significant variations of properties in the radius, particularly with plantation Eucalyptus. This phenomenon, of morphogenetic origin, depends on local growth conditions and the age of the trees. These two factors have an influence on the LRMS levels recorded at the surface of standing trees.
- The presence of tension wood is expressed by variations of properties depending on circumference for the density and the elasticity module. These variations occur within the stem during the study of the radial profiles of these two characteristics. The formation of tension wood bears no evident relation to the development stage of the tree, and would rather be the outcome of an event (caught by wind, phototropic destabilization...).

Furthermore, an influence of the genotype on the characteristics studied can be observed. Intraspecific and interspecific variations have been shown up in Eucalyptus of differing origins, helping specifically to identify clones or species whose properties make them better suited for efficient use as timber.

The findings thus obtained, taken all in all, should help to optimize harvest periods and species, hybrid and clone selection, with the aim of limiting processing problems. □

For bibliography, see the French version.

* Fibres whose outermost part of the wall is almost exclusively made up of crystalline cellulose, and has a gelatinous appearance.