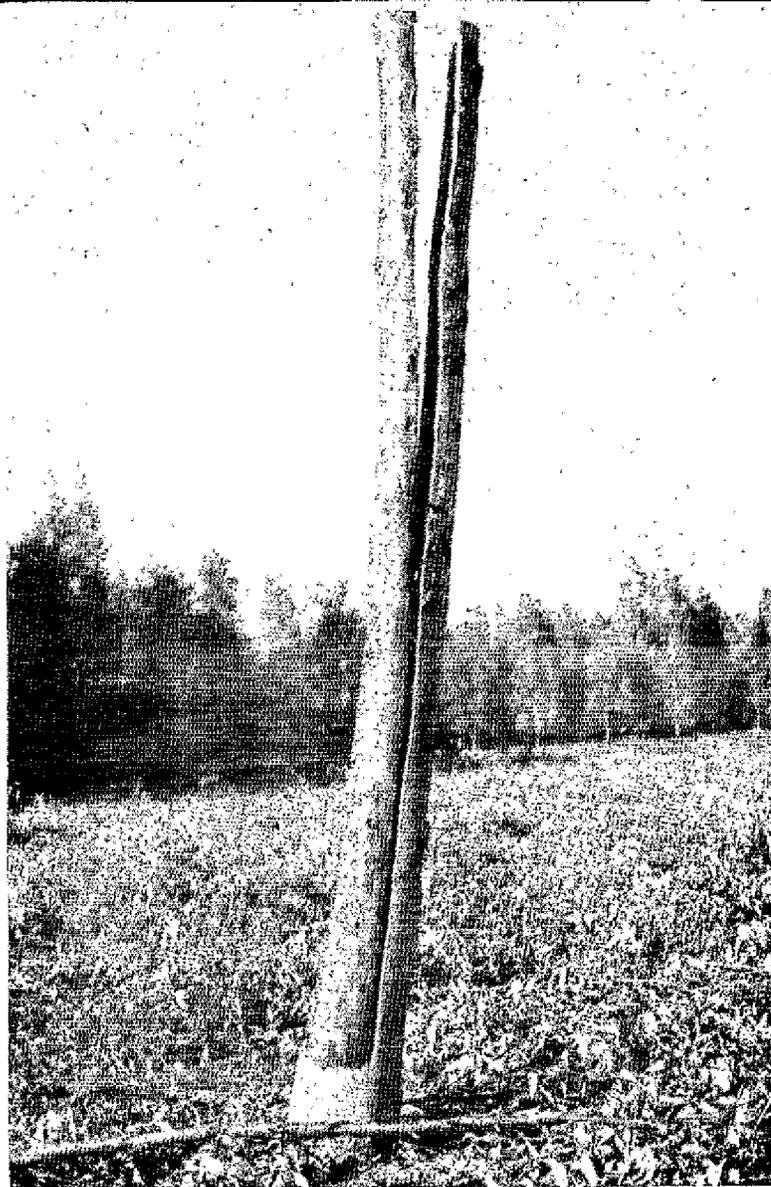


*Démonstration des tensions internes  
dans un arbre d'Eucalyptus camaldulensis.*

# A PROPOS DES TENSIONS INTERNES DANS LES ARBRES, LES GRUMES ET LES SCIAGES

par

G. GIORDANO et P. CURRO\*



## SUMMARY

### INTERNAL TENSIONS IN TREES, LOGS AND SAWN TIMBER

*Standing trees have internal tensions which reveal themselves in logs, after felling and cutting up, in the form of heartwood splits, and in sawn planks in the form of U-shaped splits at the extremities, for example.*

*The author describes methods of detecting these tensions in the longitudinal and transverse planes, and examines the problem of brittle heart. He proposes means of partly eliminating these tensions, either in the standing tree or in billets, or at the time of sawing.*

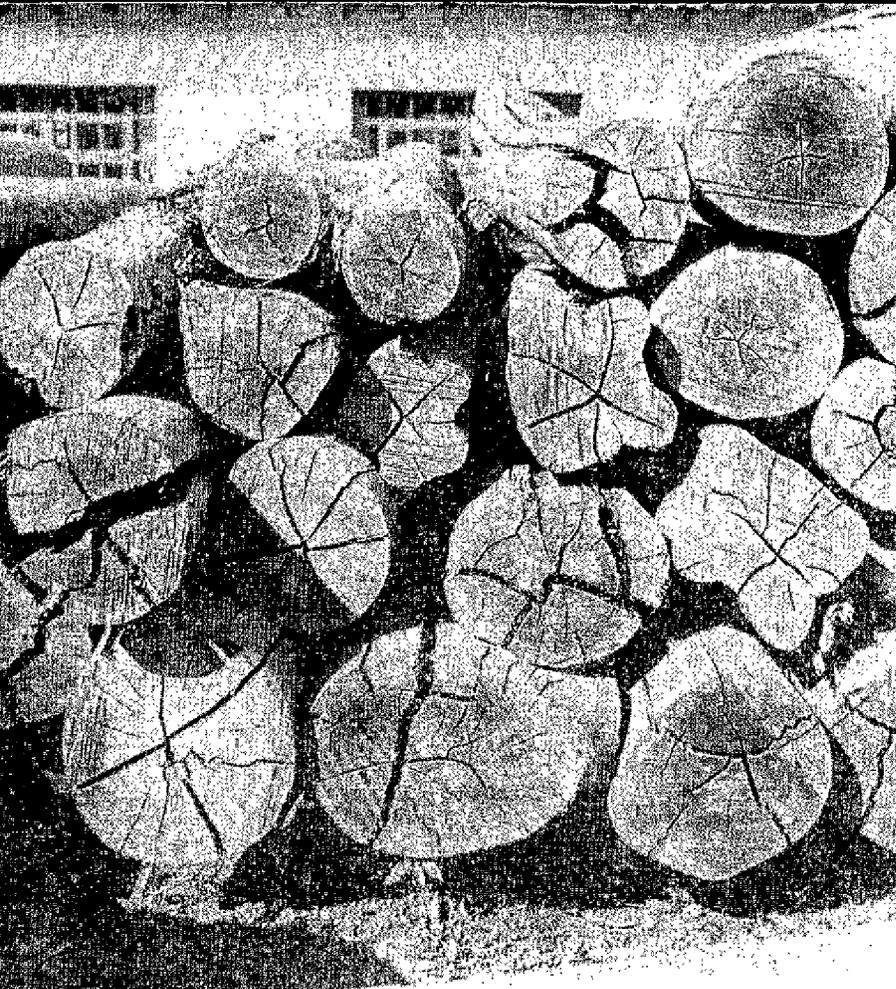
## RESUMEN

### TENSIONES INTERNAS EN LOS ÁRBOLES, LA MADERA EN ROLLO Y LOS ASERRIOS

*Los árboles en pie presentan tensiones internas que se manifiestan en los rollos, después del talado y troceado, por la aparición de fisuras de corazón y en las talas serradas por la existencia de hendiduras en U, en los extremos, por ejemplo.*

*El autor describe diversos métodos que permiten hacer resaltar estas tensiones, tanto en el plano transversal como en el plano longitudinal y estudia el problema del corazón del tronco reblandecido (brittle heart), proponiendo diversos métodos que permiten eliminar en parte estas tensiones, ya sea en el árbol en pie, ya sea en los rollizos o bien, en el momento del aserrío.*

\* Instituto del legno de Florence et Section de Technologie du Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale de l'Ente Cellulosa e Carta de Rome.



*Fentes dérivant de tensions internes dans des rondins d'Eucalyptus camaldulensis.*

pour ainsi dire éclater les deux bouts avec des cadranures, qui arrivent parfois à délimiter complètement des secteurs indépendants. Parmi les essences des zones tempérées, plusieurs feuillus présentent ce phénomène, à savoir le Hêtre, le Frêne, les Chênes, le Peuplier ; parmi les conifères, la chose est plus rare et moins marquée, cependant le Mélèze et les vieux Pins en sont parfois affectés.

Lorsqu'on procède au sciage des grumes en planches, celles-ci, même si la grume n'avait pas le cœur étoilé, s'ouvrent aux extrémités avec des fentes en V.

Ce sont là les signes qui dénoncent la présence de tensions internes dans les grumes, mais on peut aisément mettre en évidence ces forces dans les arbres sur pied en recourant à la méthode suivante :

Sur une tige, on met en position diamétralement opposée deux séries de repères qui donneront la possibilité de mesurer exactement deux longueurs dans le sens vertical, c'est-à

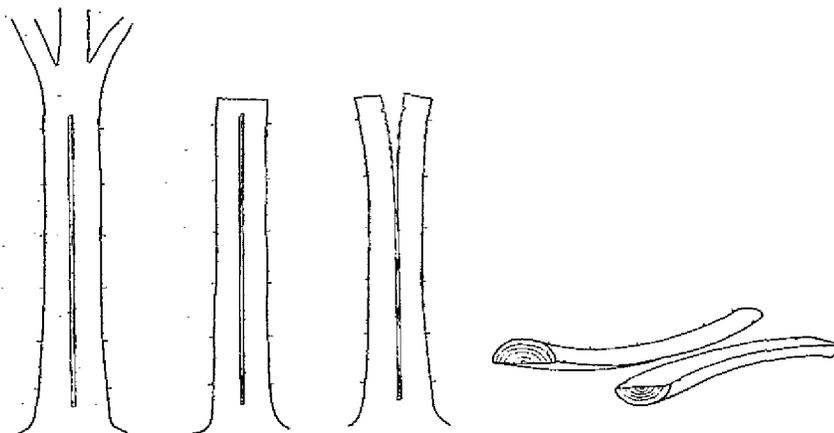
dire parallèle à l'axe de l'arbre, sur la couche périmétrale de l'aubier. Après avoir exécuté ces mensurations, on insère une scie à chaîne à travers le fût en suivant un diamètre et à égale distance des repères et on prolonge ensuite le trait d'une extrémité à l'autre de la bille encore sur pied délimitée par les mensurations.

Par la suite on coupe la tige de l'arbre 20 à 30 cm au-dessus du point de repère supérieur et avec une scie à chaîne on élimine ce qui subsistait et retenait ensemble les deux parties de la tige, celle-ci étant partagée également dans le sens de la longueur.

Les deux parties de la tige ne restent pas adhérentes, mais elles divergeront plus ou moins en fonction des tensions existant dans l'arbre, dont l'équilibre a été annulé avec l'élimination de la cime. L'écartement des extrémités supérieures indique clairement que les deux parties se sont courbées en sens inverse, ce qui ne peut se produire qu'à la suite d'un raccourcissement des couches de l'aubier par rapport à la lon-

Peu de gens, et même de techniciens, savent que dans les arbres sur pied, le bois est soumis à des forces qui, tout en n'étant pas visibles, à un certain moment, et plus précisément après l'abattage, sont à l'origine des contraintes élevées qui se manifestent par un ensemble de phénomènes rarement considérés, ou mis au compte des variations d'humidité.

En effet, on constate fréquemment qu'une bille (surtout la bille de pied), tronçonnée immédiatement après l'abattage, présente aux extrémités un cœur étoilé qui, quelques heures plus tard, fera



*Schéma représentant dans un tronc les effets des tensions internes.*

*Fentes dérivant de tensions internes dans des peupliers euraméricains.*

gueur correspondante de la zone interne près de la moelle. Ce raccourcissement peut être aisément mis en évidence en reprenant les mensurations entre les repères : soit avec les deux parties encore debout sur la souche, soit après séparation totale par sciage à la base.

Plusieurs déterminations faites sur des tiges de Peuplier, de Hêtre et d'Eucalyptus nous ont permis de mesurer des contractions de l'ordre de grandeur de 0,5 à 1,5 pour mille sur les deux parties debout, et encore plus élevées sur les pièces détachées de la souche.

Le comportement de la partie interne de la tige est très difficile à étudier dans les arbres sur pied, car il faut creuser deux perforations pour arriver à proximité de la moelle et y fixer les repères.

Plus aisée par contre est l'étude des tensions dans les différentes parties des planches obtenues à partir des billes fraîchement coupées. Les premiers à effectuer des études dans cette direction ont été des chercheurs australiens. JACOBS observant que les lattes que l'on sépare symétriquement, de part et d'autre de l'axe longitudinal se recourbent vers l'extérieur, a établi que la contraction unitaire sur le bord intérieur de la latte peut être donnée par la formule approchée suivante :

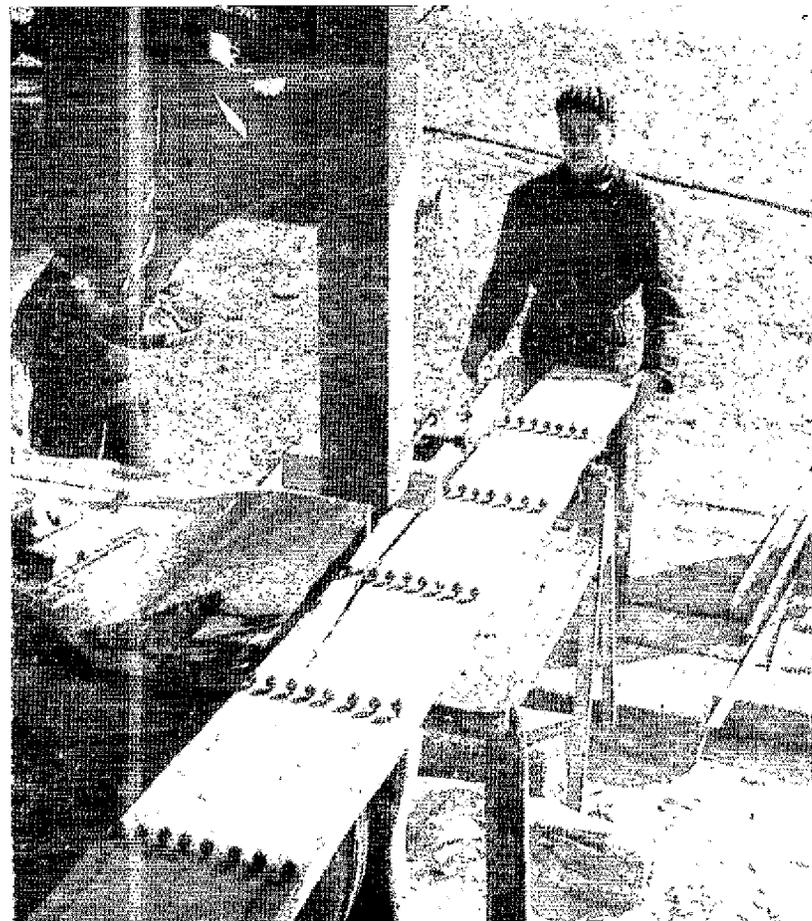
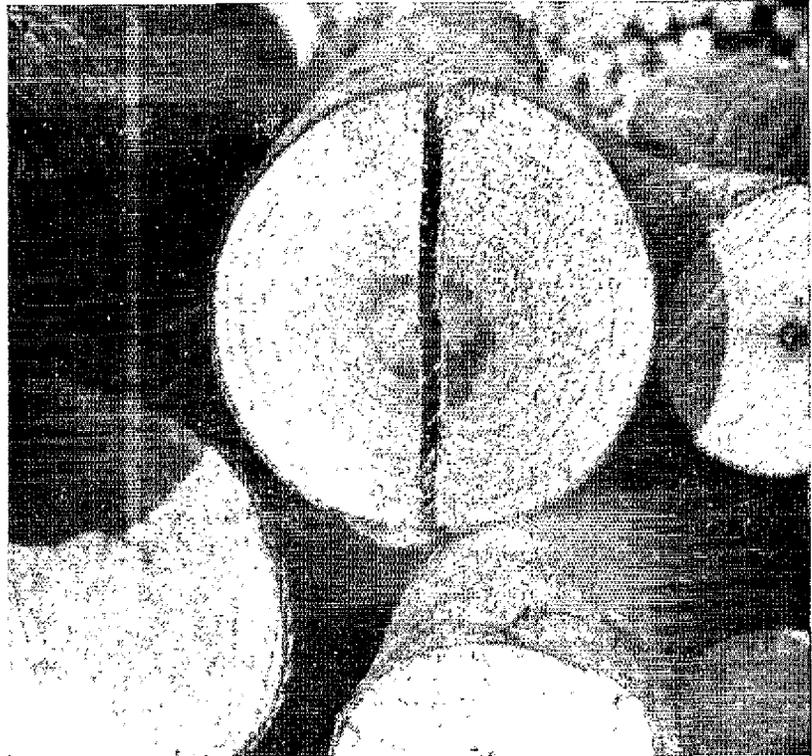
$$\frac{\Delta L}{L} : \Delta R = \frac{8 f}{L^2}$$

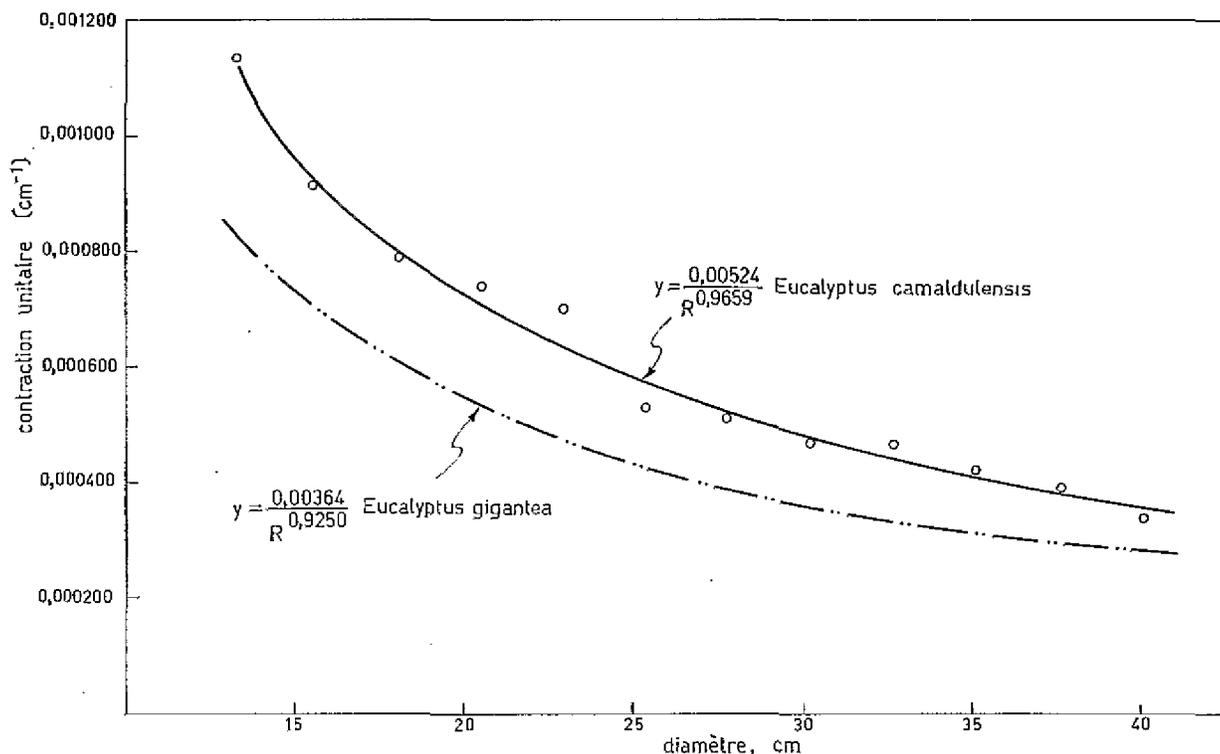
dans laquelle

- $L$  = la longueur de la latte,
- $\Delta L$  = la variation de longueur résultant de la contraction,
- $\Delta R$  = la distance entre les deux plans dont on compare les variations de longueur,
- $f$  = flèche de la latte de longueur  $L$ .

Il ne faut pas confondre cette contraction unitaire avec le raccourcissement de la latte entière

*Séparation de l'aubier dans une grosse planche d'Eucalyptus camaldulensis.*





Diagrammes exprimant la contraction unitaire pour deux espèces d'Eucalyptus, en fonction du rayon des lattes, selon Curro & Cividini (en haut) et Jacobs (en bas).

que l'on doit déterminer par d'autres moyens, par exemple, avec des déformomètres. La contraction citée plus haut est un indice du gradient des forces qui agissent sur les différentes parties de la planche, et la même chose est à répéter si au lieu d'une contraction on doit constater un allongement : dans ce deuxième cas, ce sera la partie proche de la moelle qui dans l'arbre sur pied est comprimée davantage que les parties légèrement plus éloignées dans la direction du rayon. Toutes ces considérations amènent donc à considérer que les tensions longitudinales subissent, dans la direction du rayon, une inversion passant par un point nul qui, selon KUBLER, se situe à environ 0,6 du rayon.

La courbe des contractions unitaires en fonction de la distance  $R$  de la moelle peut être exprimée par une corrélation du type :

$$\frac{\Delta L}{L} : \Delta R = \alpha / (2 R)^\beta$$

Les indications fournies peuvent être assez claires pour des chercheurs accoutumés à lire dans les formules, mais pour des techniciens moins avertis il est par contre utile de procéder d'une façon plus terre à terre peut-être, mais de grande évidence. Sur la planche tombant de scie on dispose des séries de repères parallèles de part et d'autre de la moelle. Au moyen de ces repères on procède à des mensurations extrêmement précises qui donneront la longueur exacte des lattes que l'on peut séparer

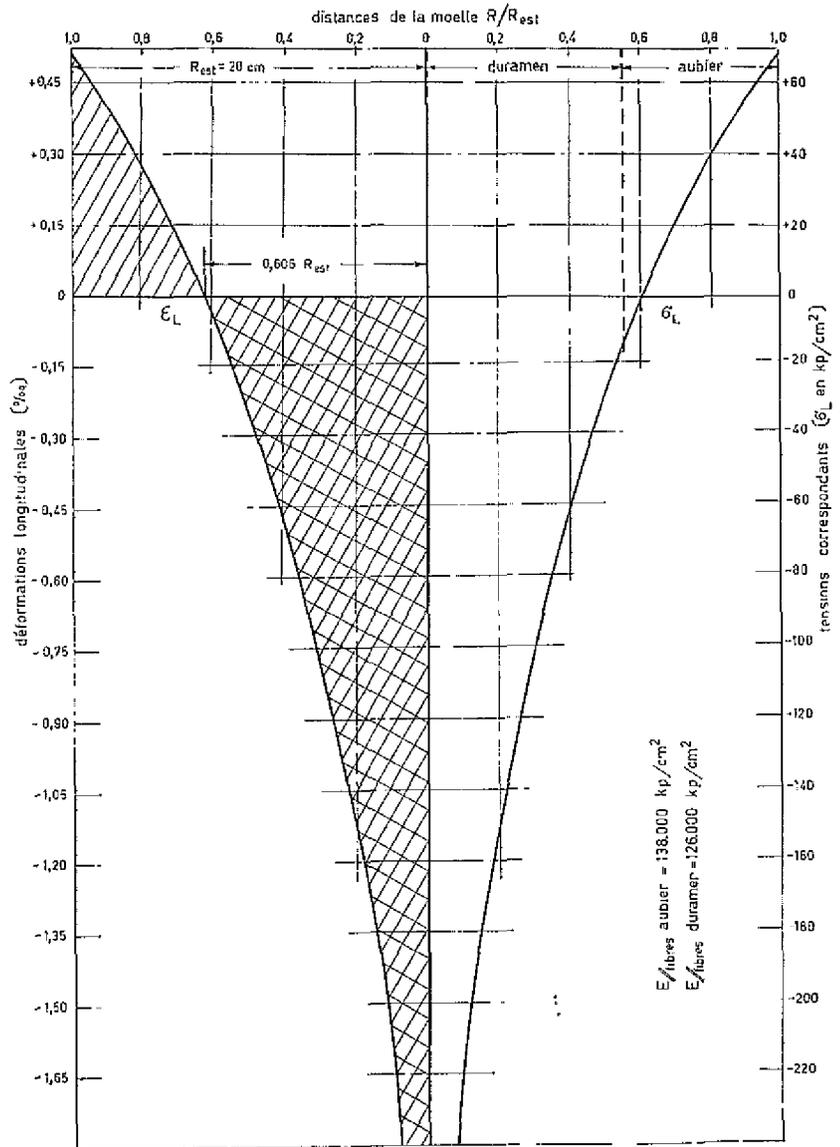
moyennant le sciage entre les séries de clous. Après avoir séparé au fur et à mesure une paire de lattes symétriques on répète la mensuration entre les repères, mensuration qui ne tiendra pas compte du gradient des tensions sur les deux rives qui a obligé la latte à se recourber, mais fournira une valeur du raccourcissement, ou de l'allongement, qui est la moyenne de ces mêmes variations sur les deux rives. Ces raccourcissements, ou ces allongements, seront exprimés en ‰ des longueurs de départ et indiqueront avec une grande évidence le jeu des forces. Si par ailleurs on détermine le module d'élasticité à la tension et à la compression, à l'état vert, du bois que l'on est en train d'étudier, on pourra arriver à établir la valeur des tensions réelles dans les différentes bandes de la planche : l'on aura alors une véritable idée de la grandeur de ces forces qui arrivent à donner des contraintes parfois très proches de la limite d'élasticité et de la contrainte de rupture. Par des considérations de mécanique élémentaire on arrive à démontrer que les tensions sur les deux côtés d'une planche diamétrale sont égales à deux fois les tensions périphériques à la périphérie de la tige. Il faut encore considérer que chez certaines essences, surtout dans les individus de croissance particulièrement rapide, la partie de l'arbre près de la moelle a des caractéristiques de moindre résistance mécanique. Ce fait semble en opposition totale avec l'idée que l'on se fait de cette partie dont la dura-

Tensions ( $\sigma_L$  en kilogrammes poids/cm<sup>2</sup>) et déformations longitudinales relatives ( $\epsilon_L$ ) dans une tige d'Eucalyptus camaldulensis.

minisation devrait amener à des caractéristiques supérieures. En réalité cette dernière affirmation n'est vraie que pour les essences à duramen différencié, pour lesquelles les extraits de la partie interne déterminent une augmentation de densité et, sous un autre point de vue, de résistance aux champignons et aux insectes.

Mais avec des essences à duramen non différencié, ou peu différencié telles que maintes et maintes espèces tropicales à bois tendre et clair, le cœur (qui topographiquement correspond dans l'arbre à une partie du duramen) se révèle avec des caractéristiques nettement différentes des couches plus à l'extérieur, parfois avec une zone de transition intermédiaire. Il ne s'agit nullement de quelque chose en rapport avec le vieillissement de ce bois juvénile car plusieurs éléments différentiels sont de caractère histologique, donc déterminés directement par le cambium, notamment la longueur des fibres (plus courtes à l'intérieur qu'à l'extérieur, ceci étant cependant un caractère général) et les dimensions des vaisseaux (plus petits à l'intérieur qu'à l'extérieur) : par contre dans maintes recherches nous n'avons pas eu confirmation d'une fréquence moindre de vaisseaux par unité de surface que certains auteurs prétendent avoir trouvée. Les éléments essentiels de la différence entre cette zone de cœur et la partie externe de la tige nous semblent être d'un pourcentage de cellulose plus élevé dans le cœur, mais surtout pour celui-ci un angle moindre de microfibrilles dans la paroi cellulaire et une densité considérablement réduite par rapport à la partie externe (environ 15 %). De la densité réduite découle une moindre résistance mécanique et, en effet, les contraintes de rupture descendant, pour la partie interne, de 14 %, le bois étant parfaitement indemne d'attaques de champignons.

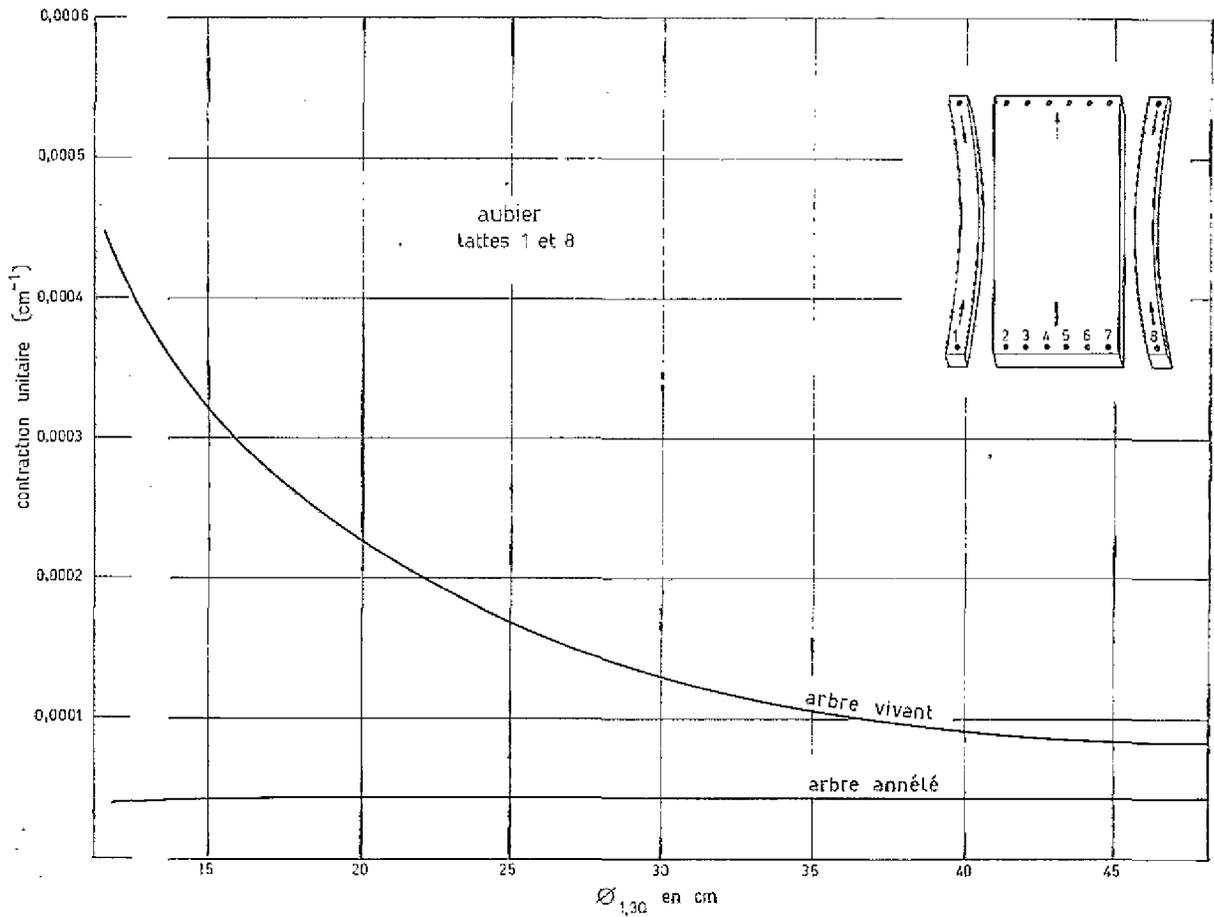
La dénomination française de « cœur mou » réservée à ce bois (qui à l'observation macroscopique se présente à grain grossier et absolument non fibreux) est donc parfaitement justifiée tandis que la dénomination anglaise de « brittle heart » dérive du fait que les tensions internes de compression dans l'intérieur des tiges près de la moelle sont si



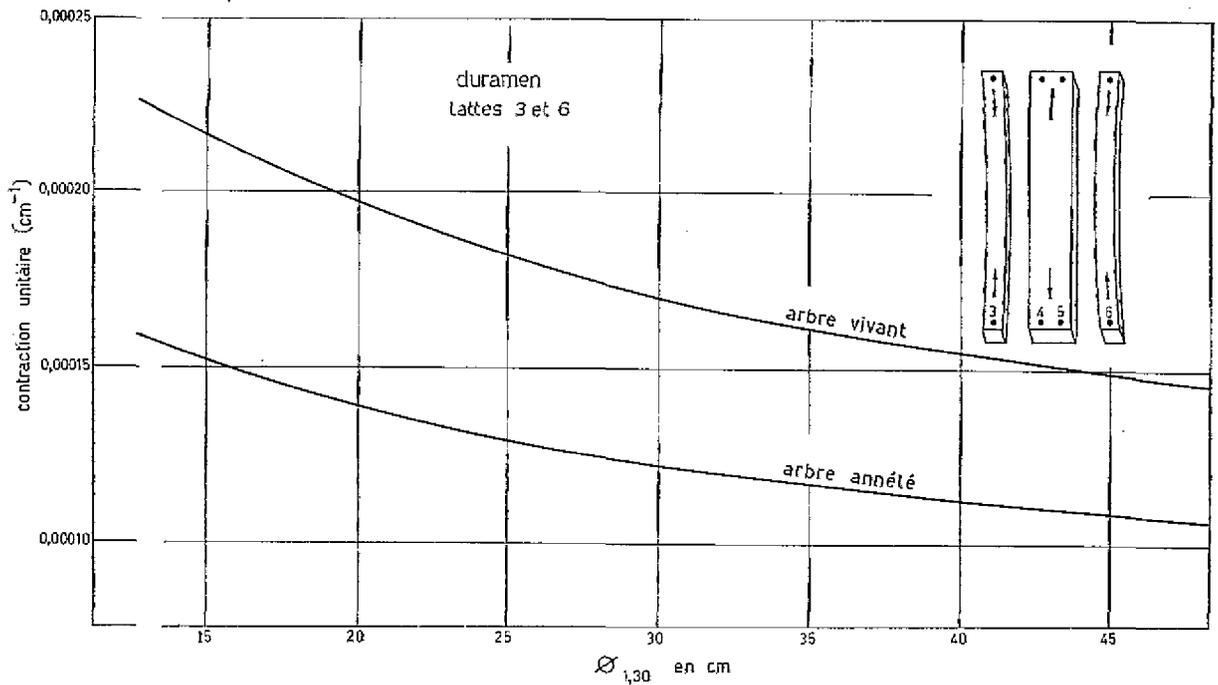
fortes qu'elles provoquent des fractures par écrasement des tissus.

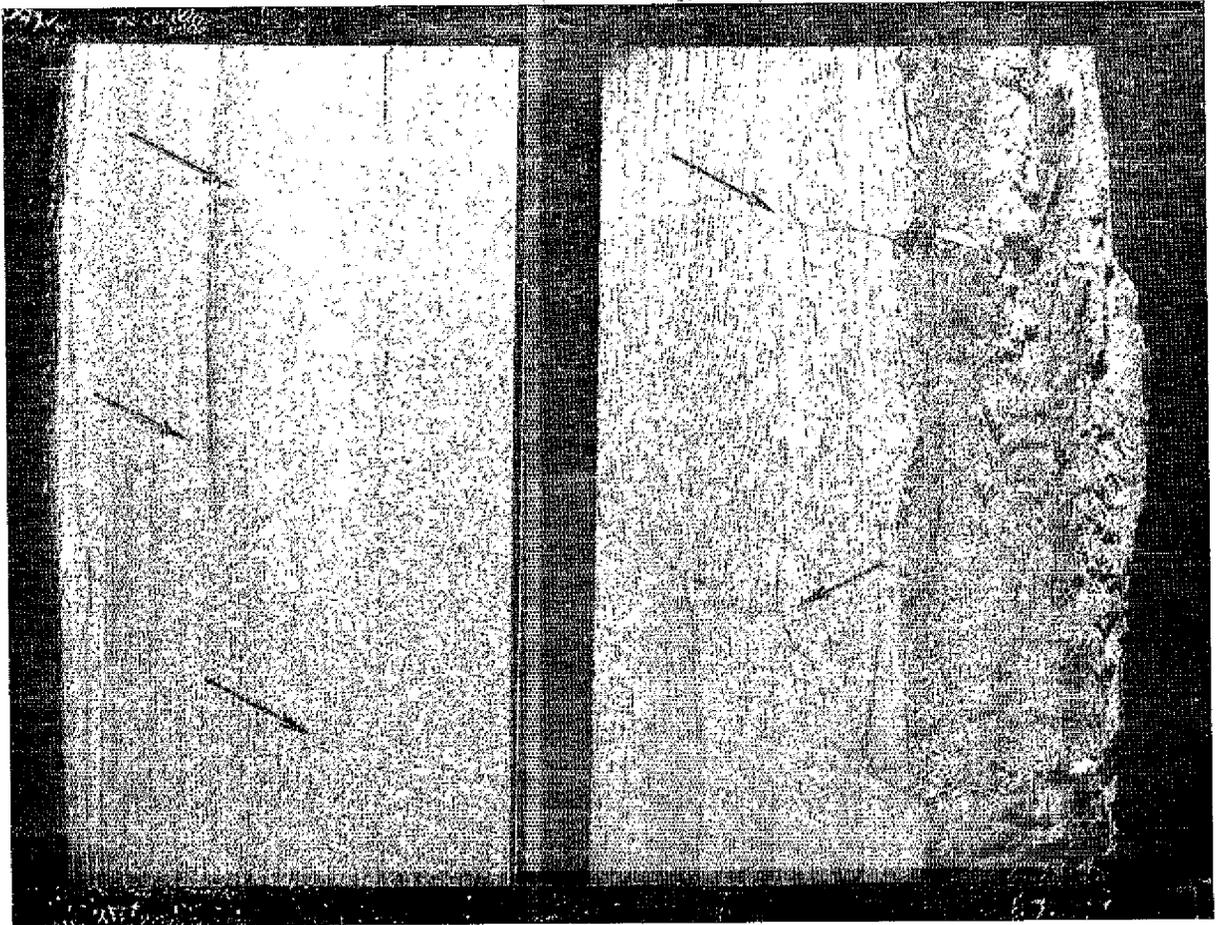
Ces fractures peuvent être décelées seulement sur des surfaces longitudinales assez lisses et parfois elles sont si peu visibles qu'il faut les rechercher ; malheureusement fort souvent elles apparaissent seulement avec la rupture totale des pièces dans la phase finale de la mise en œuvre, à un moment où l'on est obligé de constater que l'on a gaspillé du temps et de l'argent pour travailler un bois qui ne peut servir à rien.

Jusqu'à ce moment on a considéré les tensions longitudinales, mais celles-ci évidemment sont accompagnées par des tensions transversales aussi bien en direction tangentielle que radiale. En se basant sur les tensions qui se manifestent dans le sens longitudinal et sur celles qui s'exercent sur l'écorce et par celle-ci sur la tige, l'on peut tout de



Diagrammes représentant les variations dimensionnelles des lattes 1 et 8 (en haut) et des lattes 3 et 6 (en bas) tirées de grosses planches obtenues des arbres vivants ou annelés d'Eucalyptus camaldulensis.





*Fentes (indiquées par les flèches) dans le cœur mou de Ramin (à gauche) et de Lauan (à droite).*

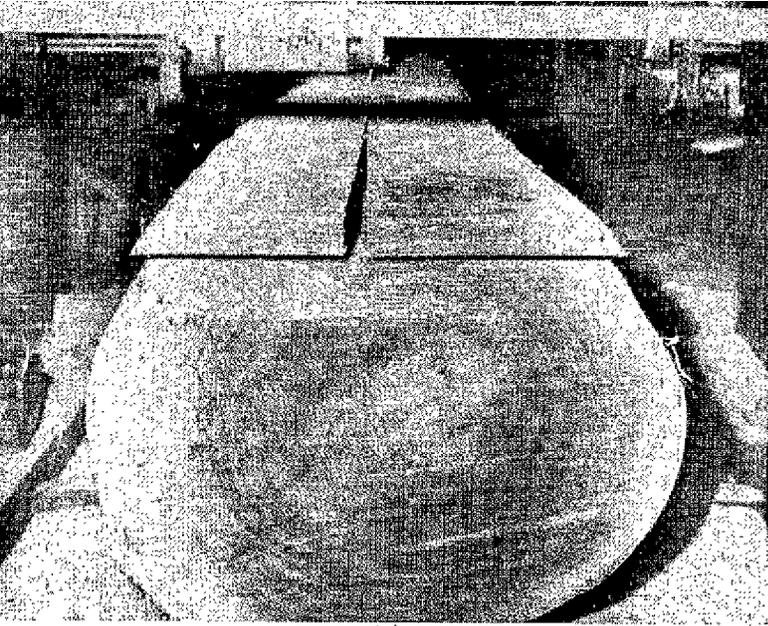
suite conclure que, dans l'arbre sur pied, la partie centrale de la section tend à se dilater et la partie périphérique à se rétrécir, par contre dans une rondelle détachée de la grume, la libération des contraintes existant dans l'arbre sur pied déterminera l'effet contraire.

Cette action est fort souvent visible sur la rondelle, même si elle est coupée à peine quelques minutes après l'abattage, car on y voit s'amorcer des fentes en étoile (cœur étoilé). Mais dans un but de démonstration didactique il suffira de prendre une rondelle à l'état vert et de lui donner un trait de scie dans le sens du diamètre et sur une profondeur des  $\frac{2}{3}$  environ ; si arrivé à ce point on veut faire reculer la lame on trouvera un obstacle dans le fait que la partie périphérique s'est complètement fermée. Si, une fois terminé le sciage de la rondelle en deux parties égales, on rapproche celles-ci, on verra que si les parties périphériques se touchent, la partie centrale laissera par contre un espace libre près de la moelle. Avec des mensurations assez délicates on peut déterminer les contraintes auxquelles sont soumises les différentes parties des sections transversales et on arrive à trouver des forces de l'ordre de 5 à 50 kg/cm<sup>2</sup>.

Ayant donc établi que dans l'arbre sur pied agissent des forces qui par l'abattage se libèrent donnant dans les grumes des contraintes remarquables, on peut se pencher sur le problème de voir quelles sont les causes qui déterminent ces forces. Plusieurs théories ont été émises mais deux surtout sont à retenir. La première considère que dans la formation des cellules nouvelles la lignification détermine un gonflement transversal et une contraction longitudinale à la suite de laquelle se manifeste une compression de la partie de la tige située à l'intérieur. La deuxième théorie par contre met en jeu les tensions des solutions (sève) qui circulent dans les vaisseaux : l'état de turgescence des cellules en liaison avec la pression osmotique aurait donc une importance substantielle.

A présent il sera utile d'examiner si — et par quels moyens — on peut diminuer ou annuler tous les inconvénients dus aux tensions internes qui surtout dans les grands arbres d'essences tropicales, donnent lieu à des pertes parfois très graves.

Examinons ce que l'on peut faire dans les trois phases : avant l'abattage, c'est-à-dire sur les arbres debout, après l'abattage, sur les grumes et au moment du sciage.



Ouverture d'une grosse planche de Framiré, la scie circulaire précède la scie à ruban dans la coupe.  
A remarquer le soulèvement de l'extrémité de la planche.

Les recherches et les essais conduits pendant des années sur les Eucalyptus des plantations italiennes nous ont montré qu'une réduction considérable des contraintes, et par conséquent des déformations finales, peut être obtenue en faisant mourir l'arbre sur pied. Il est fort probable que la disparition de la transmigración de la sève, d'une part, et la perte de la plasticité du bois correspondant à l'état vert d'autre part, sont à la base de ce résultat heureux dont les figures et les diagrammes donnent une démonstration éclatante. Malheureusement si ce système peut être facilement adopté pour des plantations artificielles et surtout pour des rangées régulières d'arbres équiennes, en forêt la chose se révèle plus difficile pour deux raisons. La première est l'augmentation des frais si l'on doit revenir à plusieurs mois d'intervalle sur le même arbre : en effet, on ne doit pas penser qu'il est facile de faire mourir un arbre sur pied. Avec les Eucalyptus par exemple, après annélation de 5 à 6 cm de profondeur, nombre d'arbres étaient encore vivants après 6 mois :

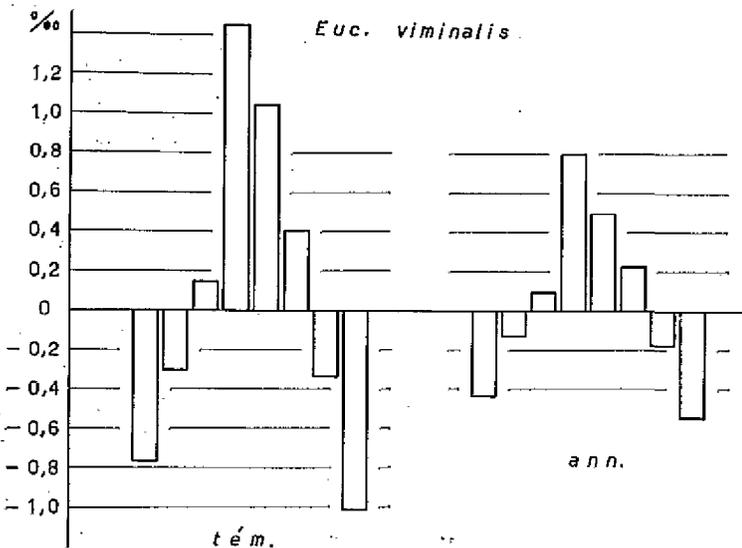
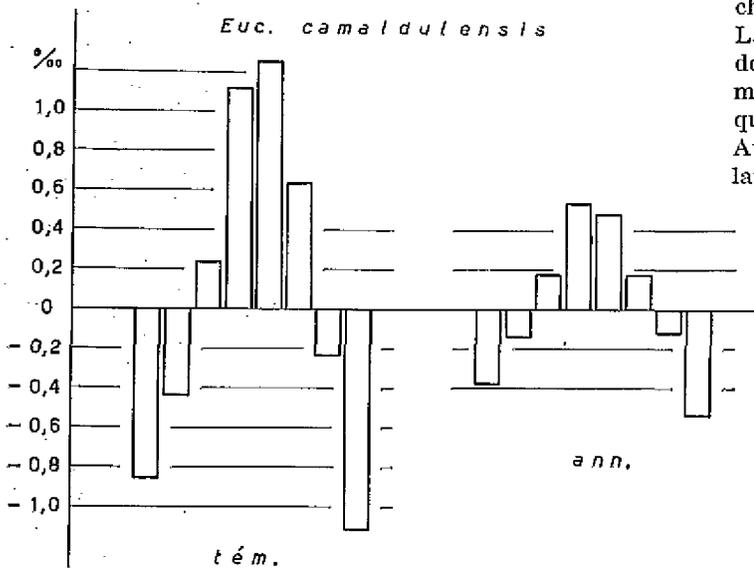
des résultats meilleurs ont été obtenus en faisant deux annélations au lieu d'une ou encore en faisant pénétrer dans l'arbre des produits chimiques tels que l'acide cacodylique ou le cacodylate de soude.

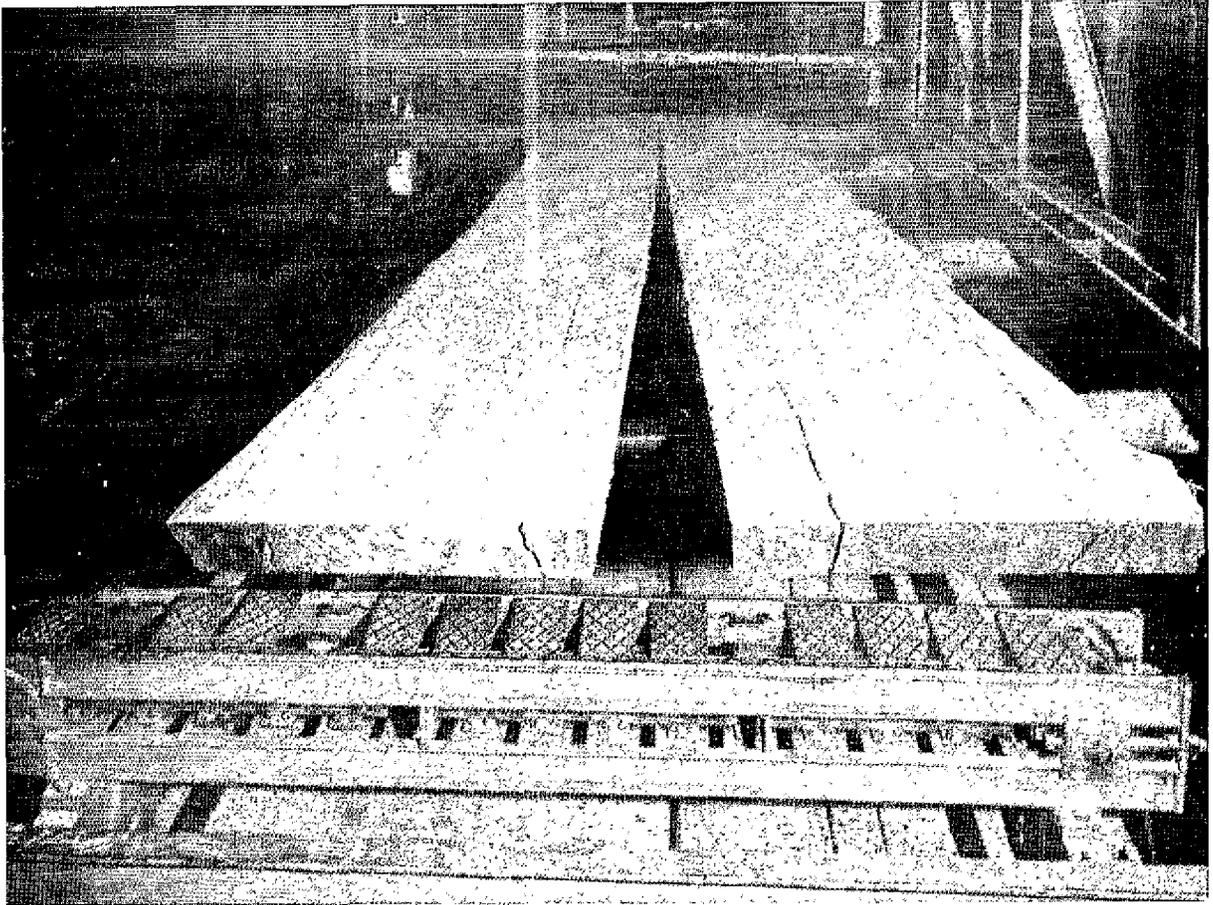
Tout ceci entraîne des frais et, du point de vue du bois, laisse le bois facilement exposé pendant des mois aux attaques des champignons et des insectes. Cette dernière raison interdit donc absolument l'application de la méthode aux essences à bois facilement périssables telles que les Peupliers et le Hêtre : par contre elle pourrait être appliquée aux Chênes. D'autres interventions de caractère empirique ont été parfois conseillées telles que la coupe d'abattage à la hache avec des entailles très ouvertes les perforations d'extrémité en correspondance de la moelle, etc... mais il faut reconnaître que leur efficacité est le plus souvent nulle ou presque. Des résultats de quelque valeur ont été obtenus sur le Peuplier en faisant précéder l'entaille d'abattage ou de tronçonnage par des annélations éloignées de 15 à 20 cm : sur les Eucalyptus par

De haut en bas :

Comparaison entre les variations (moyenne de 5 troncs) en longueur, de lattes d'Eucalyptus camaldulensis (témoin à gauche et annelé à droite).

Comparaison entre les variations (moyenne de 5 troncs) en longueur, de lattes d'Eucalyptus viminalis (témoin à gauche et annelé à droite).

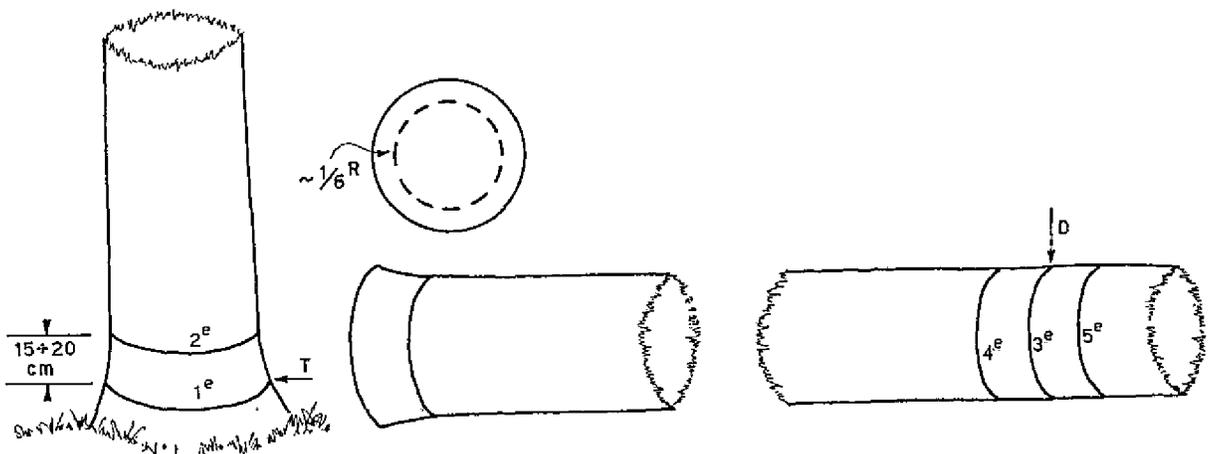




*Ouverture d'une grosse planche d'Acajou d'Afrique, la scie circulaire précède la scie à ruban dans la coupe.*

contre ce système n'a pas donné de grandes réductions des tensions (quoique ce système ait été préconisé en Australie tout exprès pour les Eucalyptus).

Sur les grumes on a déjà vu que les phénomènes les plus fréquents ce sont les fentes en étoile, mais d'autres encore peuvent se présenter en direction tangentielle : de toute façon, la pratique courante



*Schéma des annélations par lesquelles on peut tenter de décharger les tensions internes des arbres sur pied : 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> annélations de l'arbre sur pied : T, coupe d'abattage; 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>, annélations sur le tronc abattu; D, tronçonnage.*

tend à les éviter, ou mieux à les limiter, par des essés et des fers de formes assez variées. Sur l'efficacité de ces fers on doit soulever des doutes bien justifiés ; en effet, il arrive assez fréquemment de voir ces fers arrachés, chose qui démontre encore une fois l'importance des forces en jeu.

Certains pensent que laisser passer un certain temps entre l'abattage et le tronçonnage pourrait contribuer à une diminution des tensions, mais il n'en est pas ainsi même si les grumes sont stockées dans l'eau. Au maximum la présence d'un état d'imbibition totale pourra réduire ou annuler les contraintes dues au séchage qui s'ajoutent toujours aux tensions internes et il conviendrait donc de faire tourner les billes pendant leur stockage dans l'eau afin d'avoir dans toute leur masse une humidité assez grande. Nous renvoyons pour des renseignements ultérieurs à l'article paru dans « BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES » en 1968 (1) par les soins du CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL.

Au moment du sciage on s'aperçoit facilement de la présence des tensions internes, plus ou moins aggravées par un début de retrait des couches extérieures qui, par un stockage à l'air assez prolongé, sont toujours au-dessous du point de saturation des parois cellulaires. Comme nous l'avons déjà mentionné, les dosses se recourbent vers l'extérieur tandis que les planches manifestent la tendance à s'ouvrir en V aux deux bouts. La désaubiation préalable des grumes, surtout si elle est poussée au-delà de 10 cm de la périphérie, peut sûrement contribuer à une diminution des tensions, mais il est bien évident qu'il s'agit d'une opération longue et fort onéreuse. Plus pratique s'avère l'équarrissage des grumes, mais pour obtenir un résultat satisfaisant l'on ne peut pas éliminer une dosse à la fois : il faut au moins les éliminer par paires (deux dosses opposées). Une seule scie à ruban ne pourra donc pas servir, et il faudra disposer de deux rubans en parallèle ou d'une scie

alternative à cadre avec deux lames. Après l'élimination des deux premières dosses, on répétera l'opération en ayant tourné la grume de 90°, et en définitive l'on aura une pièce équarrie avec des résidus de tensions dans les quatre coins seulement. A ce point on pourra effectuer le sciage avec n'importe quelle procédure. Si l'on dispose d'une scie à cadre on pourra effectuer avec une seule course l'élimination des dosses 3 et 4 et la réduction en planches, mais il serait nécessaire de décaler les deux lames latérales de façon que leur action précède celle des lames centrales : ceci nécessite donc un certain ajustage des lames sur le cadre.

Souvent on a recours pour les grosses billes tropicales à une scie à ruban horizontale et dans ce cas nous conseillons d'encadrer le ruban par deux circulaires destinées à éliminer, pour chaque planche, les deux parties latérales.

Ces deux circulaires mobiles, dont le trait devra avoir une pénétration strictement contrôlée et limitée à l'épaisseur des sciages, doivent précéder dans leur action le sciage du ruban d'au moins 20 à 25 cm. Leur position ne sera pas fixée rigidement à l'avance pour toute une bille mais pourra être changée selon les nécessités et la dimension en largeur de chaque planche. Il ne serait pas à exclure encore d'ajouter une autre paire de circulaires pour éliminer, s'il le faut, la région centrale de cœur mou avoisinant la moelle. Certains scieurs pourront penser que nous préconisons, sans aucun souci d'économie de bois, l'élimination de quantités considérables de matière première, mais nous pensons que l'établissement d'un bilan exact des pertes et des profits pourra faire pencher la balance du côté de la solution que nous préconisons. En effet, envoyer au séchoir des planches parfaitement avivées et sans les parties qui plus tard devront absolument être encore éliminées constitue un avantage qui nous semble de grande importance et qui ne doit pas être rejeté *a priori*.

Nous ne pensons certainement pas avoir élucidé à fond tout ce qui se rattache aux tensions internes dans les arbres, mais nous espérons que ces quelques observations pourront contribuer à stimuler la recherche dans ce secteur qui est si important surtout pour le commerce des bois tropicaux.

(1) Les fentes des grumes d'Okoumé. Facteurs auxquels elles sont liées, par les Divisions des exploitations et d'anatomie des bois du Centre Technique Forestier Tropical n° 119, Mai-Juin 1968 et n° 120, Juillet-Août 1969.