

LA SECTION TRANSVERSALE DE FIBRE OBSERVÉE AVANT ET APRÈS SÉCHAGE SUR BOIS MASSIF⁽¹⁾

par Alain MARIAUX

(1) Cet article est la publication du travail exposé à la réunion commune I.A.W.A./I.U.F.R.O. de décembre 1987 à Paris, avec quelques compléments.

SUMMARY

CROSS-SECTION OF A FIBRE OBSERVED BEFORE AND AFTER DRYING ON SOLID WOOD (1)

To account for the cross anisotropy of wood shrinkage, varied hypotheses have been put forward concerning the role of the various tissues and the unequal contraction of fibres. Here on a cell scale, all the dimensions of a few cross-sections of water-saturated or air-dry fibres were measured with a microscope on small blocks of wood.

The tropical species studied here were 4 hardwoods : *Terminalia superba*, *Coelocaryon preussii*, *Nauclea diderrichii*, *Gonystylus* sp. and a conifer : *Pinus patula*.

The same trends appeared as those that had been observed by other authors on less reliable thin sections, but more details are given : shrinkage of walls in thickness is very high, especially on the thinnest walls, but its role in anisotropy of shrinkage seems to be secondary in relation to the influence of the strains of the cavity and the perimeter shrinkage of the wall.

(1) This article was a paper given at a joint meeting of I.A.W.A./I.U.F.R.O. in December 1987. A few elements have been added.

RESUMEN

LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE FIBRA, OBSERVADA ANTES Y DESPUES DEL SECADO EN MADERA COMPACTA (1)

Se han emitido ya varias hipótesis tendientes a explicar la anisotropía transversal de la retracción de la madera relativas al cometido de los distintos tejidos y asimismo, acerca de la contracción desigual de las fibras. Situándose aquí a escala de la célula, se ha procedido a medir mediante un microscopio, utilizando pequeños bloques de madera, todas las dimensiones de algunas secciones transversales de fibras, primeramente en estado de saturación de agua y acto seguido, en estado seco.

Las especies estudiadas, todas ellas tropicales, han sido cuatro frondosas : *Terminalia superba*, *Coelocaryon preussii*, *Nauclea diderrichii*, *Gonystylus* sp. y una conífera : *Pinus patula*.

Se presentan las mismas tendencias que aquellas observadas por otros autores en secciones finas menos fiables, pero se precisan mayor número de detalles : la retractibilidad de las paredes en espesor es sumamente elevada, sobre todo en las paredes más delgadas, pero su cometido en la anisotropía de la retracción parece secundaria si se la relaciona con la influencia de las deformaciones de la cavidad y de la retracción perimetral de la pared.

(1) En este artículo se reproduce el informe presentado en la reunión común I.A.W.A./I.U.F.R.O. de diciembre, celebrada en París, con algunos complementos.

OBJET DE LA RECHERCHE

Chacun sait que le retrait du bois au séchage n'a pas la même intensité dans les deux directions principales (tangentielle et radiale) du plan transversal.

Pour expliquer cette anisotropie de retrait, des hypothèses variées ont été émises sur le rôle des différents facteurs imaginables : rayons, interaction bois initial/bois final, lamelles moyennes, forme des sections de fibre et, enfin, différences entre les parois tangentielles et radiales dans leur constitution chimique (lignification) ou structurale (inclinaison des microfibrilles).

On peut situer l'observation du retrait et les hypothèses à 3 niveaux : celui du plan ligneux (ou macrostructures), avec le jeu des tissus ligneux les uns sur les autres ; celui de la cellule, puisque tout tissu du bois est composé de cellules (fibres, cellules parenchymateuses, éléments de vaisseaux, etc.) : le retrait du bois est la résultante de la réduction de dimension de toutes les cellules ; celui, enfin, de la microstructure physico-chimique des parois qui détermine le comportement de la cellule.

L'historique des recherches dans ce domaine a déjà été maintes fois publié, et la synthèse critique qu'en a fait J. D. BOYD en 1974 reste un bon guide.

Convaincus comme BOYD que le tissu fibreux est le siège premier d'une anisotropie de retrait renforcée dans certaines espèces par d'autres facteurs secondaires, nous avons recherché avec Ch. MASSERANN — et publié en 1985 — les corrélations dans un échantillon de 26 éprouvettes d'arbres différents de *Terminalia superba*, entre les valeurs des retraits et les dimensions mesurées sur les sections des fibres, directement sur les blocs de bois secs.

La dimension radiale des fibres est apparue comme un facteur dominant des variations de l'anisotropie. En essayant de comprendre son mécanisme, nous en étions venus à souhaiter comparer, toujours sur blocs épais, les mêmes fibres à l'état humide et à l'état sec. C'est le but de cet article.

Divers auteurs ont fait avant nous cette tentative : CLARKE, BEISER, NAKATO, BOSSHARD, KELSEY, ELLWOOD, et récemment FUTO. Ils concluent en général à une faible réduction de la cavité, une forte réduction des épaisseurs des parois et à une certaine déformation des angles radiaux (FUTO). Mais ils ont toujours travaillé sur coupes minces, le plus souvent sur des conifères, et avec des mesures à grandissements assez modestes.

Notre objectif est donc :

— d'examiner plusieurs espèces de bois tropicaux notamment de feuillus avec des types de fibres variés en dimension et en épaisseur de parois ;

- de travailler sur bois massif, pour se rapprocher des conditions de retrait du bois naturel ;
- d'obtenir un maximum de précision, malgré cet usage du bois massif, et de mesurer un maximum de détails sur la forme et les dimensions des sections de fibres ;
- successivement à l'état saturé d'eau et à l'état anhydre, en retrouvant donc exactement les mêmes emplacements à mesurer.

Travaillant sur quelques cellules, nous ne prétendons pas reconstituer le rapport exact d'anisotropie de chaque échantillon mais vérifier ce qui se passe au niveau de la cellule.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Choix des espèces

L'échantillonnage a été fait dans le stock des éprouvettes de rétractibilité linéaire au Laboratoire des essais physiques du C.T.F.T.

On a choisi des bois de familles botaniques assez variées, en évitant les facteurs secondaires possibles d'anisotropie tels que de gros rayons ou un bois final très différencié. Pour favoriser la précision des mesures, on a aussi évité des fibres trop étroites et des parois excessivement fines.

— LIMBA, *Terminalia superba* (Combrétacées). N° C.T.F.T. 5256, était l'espèce choisie dans l'étude précédente avec Ch. MASSERANN.

— EKOUNE, *Coelocaryon preussii* (Myristicacées). N° 15855, est un bois à structure très homogène et à forte anisotropie.

— BILINGA, *Nauclea diderrichii* (Rubiacées). N° 10304 a des parois épaisses.

— RAMIN (1), *Gonystylus sp.* (Gonystylacées). N° 18074 a une forme de fibres assez originale et une anisotropie assez forte.

— PATULA, *Pinus patula* (Pinacées). N° 29336 représente un conifère tropical. Issu de plantation à croissance rapide, il présente un bois final très estompé dont les fibres (trachéides) n'atteignent pas les caractéristiques d'un bois final de zone tempérée.

LES RÉTRACTIBILITÉS DE CES BOIS
SONT DONNÉES DANS LE TABLEAU 1.

TABLEAU 1

Espèce	Retrait tang. %	Retrait radial %	Anisotropie T/R
Limba	8.3 (2)	6.1	1.4
Ekoune	8.5	3.6	2.4
Bilinga	8.4	6.4	1.3
Ramin	14.5	9.1	1.6
Patula	9.2	5.5	1.7

Préparation des bois

Dans l'éprouvette restant de l'essai de rétractibilité (mais non soumise à 102 °C pour déshydratation), un petit cube bien orienté et de 1 cm environ est découpé et porté progressivement à l'état saturé. Une des faces transversales est alors très délicatement tranchée avec une lame de rasoir mécanique.

Quand toutes les mesures prévues sont terminées dans cet état saturé, le bois est séché très lentement pour éviter des fissures de surface dans les cellules mesurées. Il est conduit jusqu'à 105 °C puis refroidi en présence de silico-gel pour les mesures à l'état anhydre.

Dispositif de mesure

Le principe du dispositif de mesure est le même que celui adopté pour l'étude de corrélations dans le Limba par Ch. MASSERANN, avec quelques améliorations (fig. 1).

Un microscope est équipé d'un tube à dessin qui permet de superposer à l'image du bois, vue dans le microscope, celle d'une surface de table située à côté. Sur cette surface est placée une table à numériser dont le curseur a été muni d'un point lumineux (LED). En déplaçant à la main le curseur, l'observateur peut donc placer le LED sur un point précis de l'image, puis sur un autre, etc. Chaque position est transmise par la table à l'ordinateur auquel elle est reliée (photo 1).

L'objectif utilisé pour les mesures grossit 80 fois, en fond clair ou en fond noir (éclairage annulaire conique). L'image virtuelle reçue par l'œil est à l'échelle $\times 1.000$ pour le bois et 1.600 pour le point lumineux, l'image réelle sur film photographique est à $\times 514$.

(1) Le Ramin a été étudié depuis l'exposé public de ce travail.

(2) Les essais de rétractibilité du Laboratoire de physique du C.T.F.T. expriment le retrait en % de la dimension sèche. Nous nous conformons à cette norme malgré ses inconvénients dans le cas de très forts retraits : une réduction d'épaisseur des 2/3 de l'épaisseur humide s'exprime par un retrait de 200 %.

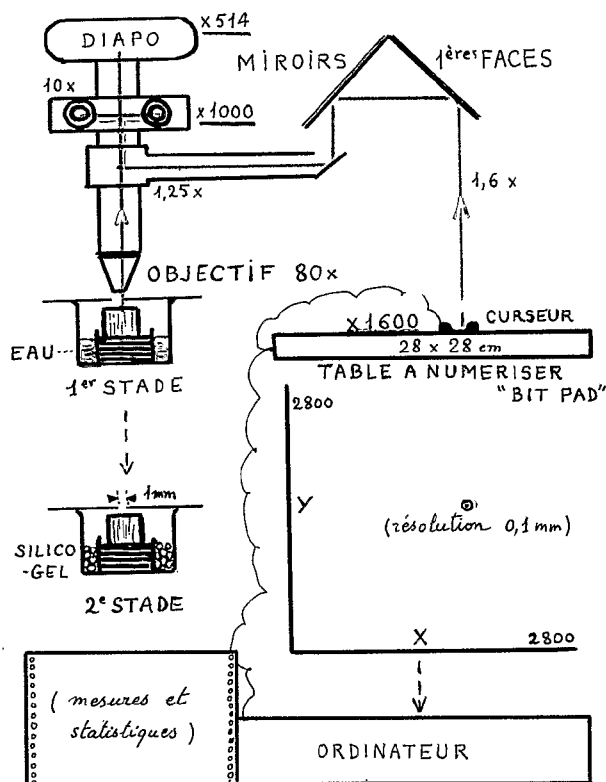


FIG. 1. — Schéma du dispositif de mesure. En bleu, trajet des rayons lumineux réfléchis par le bois vers l'œil ; en jaune, lumière venant du LED du curseur (un point rouge en réalité).

Précision des mesures

La **précision physique** des mesures est celle donnée par la répétition de pointage du LED sur un même point

Définition des éléments cellulaires mesurés.

Pour préciser le retrait observable à l'échelle de la cellule on fait choix des meilleures caractéristiques géométriques de sa section transversale. A cause de la diversité de forme de cette section, il y aura toujours une part d'approximation que l'on cherche à minimiser. On s'efforce de déceler non seulement les changements de dimensions mais aussi de forme.

Rappelons qu'il n'est question que des sections de fibres, au sens large, incluant les trachéides et fibres-trachéides des conifères.

très fin. La distance maximale entre les positionnements successifs reste inférieure à 1/10 de micron.

La **précision pratique**, en valeur absolue, dépend de la finesse de la ligne délimitant l'élément à mesurer, donc à la fois de la qualité du tranchage et de la nature même de la structure observée, bord de la cavité, contact entre paroi et lamelle moyenne, sommets arrondis des angles, etc.

Le tableau 2 montre les écarts observés pour de nombreuses mesures de distance entre 2 points, chaque mesure étant répétée 10 fois.

TABLEAU 2

	Nombre d'éléments mesurés	Ecart sur 10 répétitions		
		minimum	moyenne	maximum
Patula humide	461	0.07	0.36	0.86
Bilinga humide	321	0.12	0.33	0.72
Bilinga sec	339	0.12	0.36	0.92

L'**erreur relative** sur la mesure d'un élément dépend de la grandeur de celui-ci. Le coefficient de variation (écart-type/moyenne) sur 10 répétitions de la mesure d'une épaisseur de paroi — de 4 à 10 microns — sera d'environ 1 %. Il sera beaucoup plus faible pour un diamètre de cavité ou un périmètre.

Mais l'**erreur** sur le calcul du retrait **entre états humide et sec** n'est pas la simple addition des erreurs sur les deux mesures ; elle est surtout due à des incertitudes sur le point de mesure exact à reprendre ou à un changement d'aspect d'un bord de paroi après séchage. Elle est difficile à apprécier en moyenne dans l'ignorance où nous sommes de la variabilité réelle, entre cellules, du retrait des éléments homologues.

LES ÉLÉMENTS MESURÉS

Ont été choisis (voir fig. 2) :

- Périmètre externe (PE), mesuré sur la limite visible entre lamelle moyenne et paroi secondaire.
- Périmètre interne (PI), contour de la cavité (lumière) de la cellule.
- Diamètre tangentiel (CT) et diamètre radial (CR) de la cavité.
- Epaisseur de la paroi tangentielle (1PT) et de la paroi radiale (1PR), souvent mesurée sur plusieurs côtés de la même cellule.
- Epaisseur de la double paroi (2PT et 2PR), quand la cellule voisine est aussi une fibre.
- Epaisseur de la lamelle moyenne (LMT et LMR) quand elle est appréciable.

— Distance entre stries (STT et STR). Il s'agit de mesurer directement le retrait de la paroi dans le sens circonférentiel comme sur le périmètre mais dans un secteur limité de la paroi. Pour cela on choisit, là où c'est possible, de fines stries de tranchage. On aura d'ailleurs veillé à diversifier le sens des stries.

— Angle tangentiel (AT) et angle radial (AR), mesurés le long de la lamelle moyenne, entre deux côtés radiaux symétriques ou à défaut entre côté tangentiel et côté radial pour AT, côtés radiaux adjacents pour AR.

Choix et nombre de cellules

On recherche les champs où la qualité de tranchage est la meilleure et contenant un ensemble de fibres de bonne taille.

Un dessin en est enregistré grâce à la table de mesure, afin de nommer chaque cellule et d'en noter des points précis, pour les retrouver au moment de la mesure en état sec.

La nécessité d'observer des sections d'une qualité parfaite et le travail minutieux à réaliser sur chaque cellule ont d'abord limité fortement le nombre de cellules mesurées. Ce nombre a augmenté pour les bois successivement étudiés, au vu de la variabilité des premiers résultats.

Limba	9	cellules
Ekoune	20	—
Patula	33	— (10 de bois final)
Bilinga	50	—
Ramin	64	—

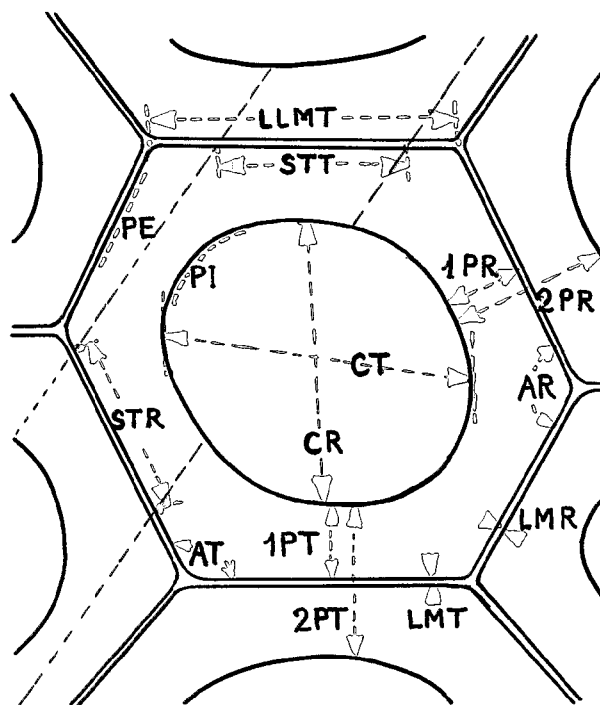


FIG. 2. — Les mesures faites sur une cellule (explications dans le texte).

Le nombre d'éléments mesurés n'est pas égal à celui des cellules ; il est moindre si un défaut a empêché une

TABLEAU 3
NOMBRE D'ÉLÉMENTS MESURÉS

Élément	Limba	Ekoune	Patula		Bilinga	Ramin (2)	Total
			B. initial	B. final			
CT	8	20	23	9	49	52	161
CR	9	20	23	8	45	50	155
2PT	10	33	19	19		44	125
2PR	14	36	29	21		99	199
1PT	2		32	27	63	97	221
1PR	5		49	32	49	92	227
LMT	(1)		18	18	33	4	73
LMR			27	14	41	2	84
STT				12	7	17	36
STR				12	11	14	37
LLMT		4	9	11			24
LLMR		5	28	34			67
PE	10	7	8	2	10	64	101
PI	10	7	7	2	9	63	98
AT	29		28			56	113
AR	13		15			44	72

(1) Les éléments non mesurés n'avaient pas été prévus au début de la recherche ou bien ils se présentaient mal dans le bois observé.
(2) On voit que le dernier bois étudié, le Ramin, augmente fortement l'effectif de certains éléments.

mesure, supérieur quand plusieurs éléments sont pris dans la même cellule comme 4 parois radiales par exemple.

Un nombre plus grand de cellules a été mesuré à l'état

humide mais des défauts apparus après séchage ont fait éliminer quelques-unes d'entre elles.

Le nombre réel d'éléments mesurés est important à connaître pour pondérer les résultats obtenus (tabl. 3).

RÉSULTATS

Les mesures

Le tableau 4 donne les dimensions moyennes des éléments (à l'état humide), pour montrer les différences entre les bois et surtout pour comprendre les différences de variabilité de retrait obtenues.

Le retrait

Le tableau 5 donne les valeurs du retrait (par rapport à la dimension sèche). Elles ont été calculées individuel-

lement pour chaque élément de chaque cellule et non sur les moyennes. On en connaît donc l'écart-type qui figure *en italique* sur le tableau et montre la très grande variabilité du retrait calculé quand un élément est très petit.

Les figures 3 à 8 représentent pour chaque bois une cellule ayant la forme moyenne des cellules mesurées. Les surfaces colorées représentent la différence entre les états humide et sec, en bleu pour un retrait, en jaune pour une dilatation. Les chiffres sont les taux de retrait arrondis.

DISCUSSION

Pour être clairs dans l'orientation des éléments et des sens de retrait, nous *tangentielle* et *radiale* désignent les directions classiques par rapport à la section de l'arbre. Par contre *périmétrale* s'applique à une ligne ou une partie de ligne de contour de la cellule. Le retrait d'une paroi dans ce sens pourra être dit « rétrécissement » tandis que le retrait de la paroi en épaisseur sera dit « amincissement ».

Pour la cavité, on parlera de contraction ou de dilatation le cas échéant, dans les directions conventionnelles, sans oublier qu'il s'agit de conséquences de changements dans les parois.

Avant de réfléchir sur les résultats obtenus, rappelons-nous aussi qu'une cellule à paroi isotrope, à structure homogène (comme un tube de métal) aurait un seul et même taux de retrait dans tous les éléments de la cel-

TABLEAU 4
DIMENSIONS MOYENNES DES ÉLÉMENTS

Élément	Limba	Ekoune	Patula		Bilinga	Ramin
			B. initial	B. final		
CT	20	22	38	33	10	18
CR	17	18	44	28	8	20
2PT	6	6	5	11		11
2PR	6	7	5	15		9
1PT	3		2	5	6	5
1PR	3		2	7	6	4
LMT			0.8	0.8	1.5	0.6
LMR			0.9	1.1	1.5	0.7
PE	81	91	161	151	76	86
PI	59	63	140	97	31	56

N.B. : Toutes les valeurs sont en microns, arrondies.

TABLEAU 5
RETRAIT MOYEN DES ÉLÉMENTS
(toutes valeurs en % sauf angles en degrés)

Elément	Limba	Ekoune	Patula		Bilinga	Ramin
			B. initial	B. final		
PE	4.8 ± 1.8	5.9 ± 1.4	2.1 ± 0.3	4.8 ± 0.1	6.9 ± 1	9.5 ± 1.8
PI	- 1 ± 1	2.7 ± 1.3	0 ± 0.9	2.1 ± 0.2	1.7 ± 2.1	7.8 ± 1.8
CT	0.9 ± 2.2	4.9 ± 2.6	3.0 ± 1.6	4.8 ± 1.8	6.8 ± 4.3	9.3 ± 2.6
CR	0.6 ± 3.9	1.3 ± 5.4	- 0.5 ± 1.6	2.1 ± 1.2	0.3 ± 3.9	6.5 ± 2.8
2PT	34.4 ± 6.1	24.2 ± 10.3	18.4 ± 14.3	14.4 ± 6.5		17.3 ± 3.3
2PR	40.1 ± 7.5	20.2 ± 8.1	26.3 ± 9.6	11.9 ± 8.4		16.2 ± 5.8
1PT	25.5 ± 7.5		20.0 ± 24.0	11.8 ± 6.5	10.1 ± 3.5	12.1 ± 6.9
1PR	39 ± 23		27.8 ± 27.4	11.0 ± 9.7	8.5 ± 3.9	13.5 ± 6.4
LMT			46.2 ± 21.4	11.1 ± 25.6	4.5 ± 14.6	
LMR			46.6 ± 45	14.0 ± 11.4	5.3 ± 14.2	
LLMT		4.5 ± 2	1.3 ± 0.8	5.8 ± 2.9		
LLMR		5.6 ± 3	1.9 ± 1.2	7.2 ± 4.0		
STT				3.6 ± 2.6	5.3 ± 1.7	14.1 ± 4.3
STR				4.7 ± 1.4	5.0 ± 1.7	11.7 ± 2.0
AT (d)	0		- 3			0
AR (d)	+ 3		+ 5			0

lule et dans tous les sens. Un périmètre externe et un périmètre interne qui n'ont pas le même taux de retrait sont déjà la preuve de propriétés complexes. En géométrie, on dirait qu'il n'y a pas homothétie de l'état humide à l'état sec.

LA CAVITÉ

Globalement on constate, comme les autres chercheurs l'ont fait sur coupes minces, que la cavité des fibres se contracte moins que leur contour extérieur : le rétrécissement du périmètre interne est parfois nul ou même légèrement négatif, ou bien de l'ordre de 2 à 3 %. Il n'est assez fort que dans le Ramin.

Le diamètre radial de la cavité (CR) a un taux de contraction apparente toujours plus faible que le diamètre tangentiel (CT).

Dans le cas de parois fines, on a observé une tendance à augmentation des angles radiaux et à une réduction des angles tangentiels quand la cellule a 5 ou 6 côtés.

Pour les bois à parois épaisses, on n'a mesuré les

angles que sur le Ramin et aucune déformation d'angle n'a été observée. Cependant il y a déformation de la cavité, dans le Bilinga et le Ramin (CT% > CR%), dont l'explication est alors à rechercher dans les parois.

La paroi

Le retrait en épaisseur (amincissement) est fort : 8 à 40 %. Il est plus fort dans les bois à parois minces (Limba, Ekoune, bois initial de Patula) que dans les bois à parois épaisses. La figure 9 montre la relation entre épaisseur moyenne de parois et amincissement. Mais cette relation intéressante entre espèces étudiées ne se retrouve absolument pas entre cellules d'un même échantillon, dans l'Ekoune par exemple (fig. 10).

Entre paroi tangentielle et paroi radiale, le taux d'amincissement n'est pas significativement différent, sauf dans le cas des parois les plus fines, où il est plus fort sur les parois radiales.

Le rétrécissement des parois (sens périmétral) est géo-

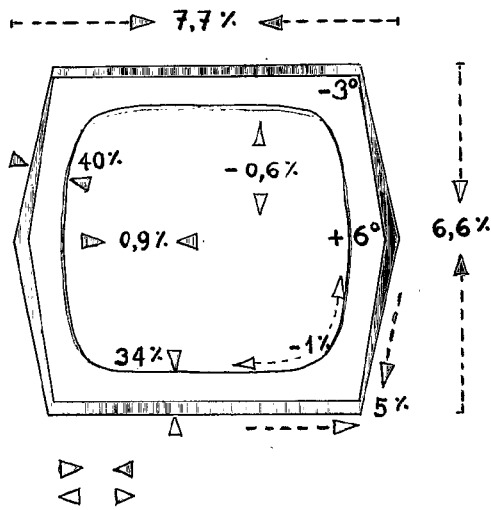


FIG. 3

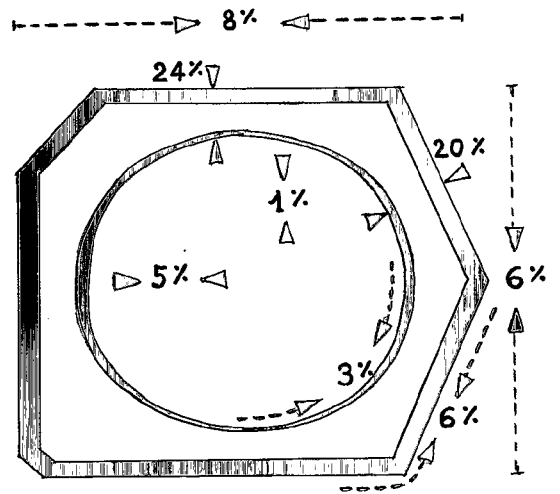


FIG. 4

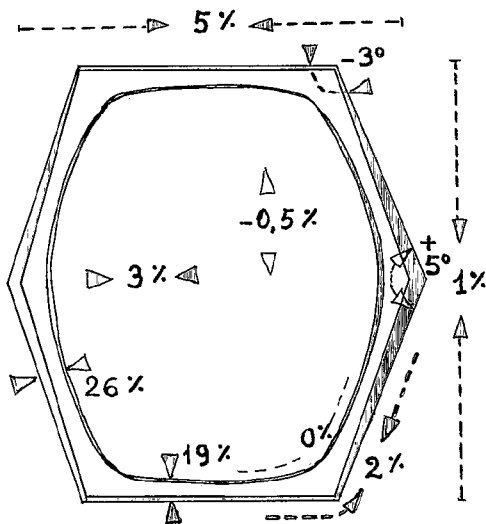


FIG. 5

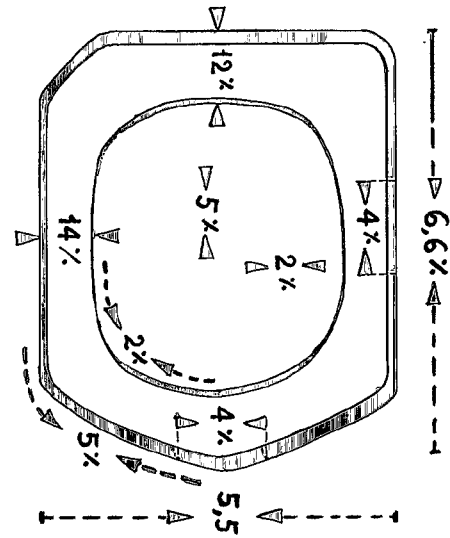


FIG. 6

FIG. 3-8. — Retraits moyens observés sur les fibres dans chaque bois. Les surfaces bleues extérieures représentent la contraction de la cellule, celles intérieures la contraction de la cavité. Les surfaces et flèches jaunes sont des dilatations (valeurs négatives du retrait). La cellule est toujours présentée avec le sens radial placé verticalement. 3 Limba. — 4 Ekoune. — 5 Patula bois initial. — 6 Patula bois final. — 7 Bilinga. — 8 Ramin.

métriquement lié au retrait du périmètre interne et à l'amincissement des parois. La mesure du rétrécissement a été faite soit le long de la lamelle moyenne d'un angle à l'autre (LLMT et LLMR), soit entre 2 stries (STT et STR), généralement près de la lamelle moyenne. Les résultats doivent donc logiquement être proches de ceux du périmètre extérieur (PE). C'est assez vrai, sauf dans le cas surprenant du Ramin où les taux de rétrécissement

de STT et STR dépassent significativement ceux de PE, alors que dans ce bois on avait accru le nombre et l'effort de précision des mesures.

Dans les parois très fines, le taux de rétrécissement est 5 à 20 fois plus faible que le taux d'amincissement. Ce n'est plus que 2 à 3 fois moins pour les parois épaisses de Patula et de Bilinga, et les deux taux sont du même ordre dans le Ramin. C'est dire qu'en section transver-

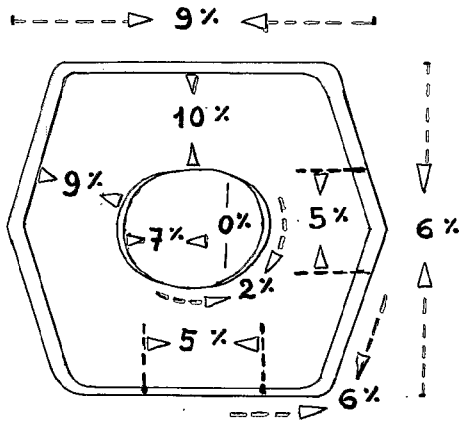


FIG. 7

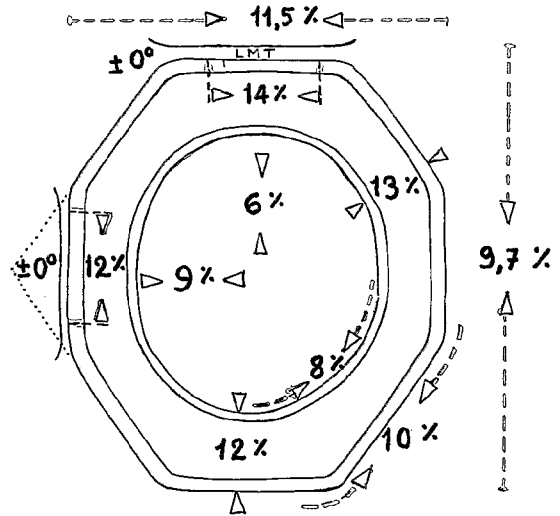


FIG. 8

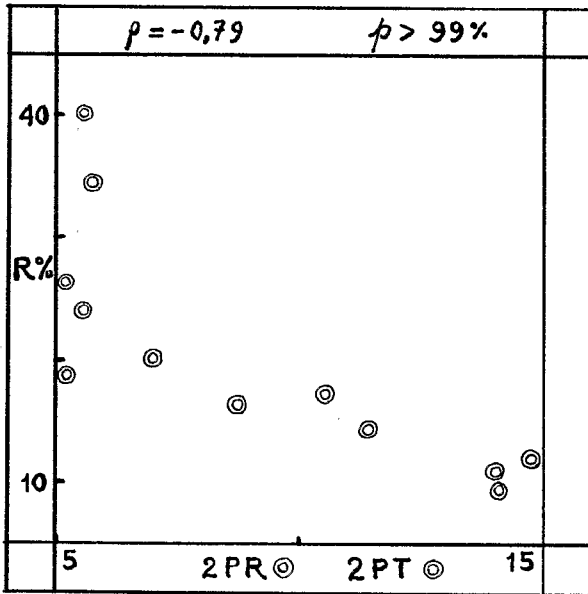


FIG. 9. — Corrélation entre l'épaisseur et le retrait de la double paroi, pour les moyennes de chaque éprouvette.

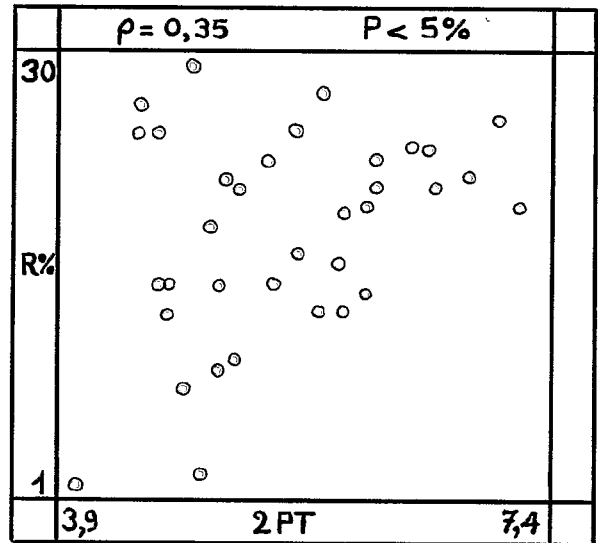


FIG. 10. — Corrélation entre l'épaisseur et le retrait de la double paroi, pour 35 parois d'Ekoune.

sale la matière-paroi a un retrait qui varie de très anisotrope à isotrope, selon les échantillons étudiés.

Cette observation semble explicable par le rôle des premières couches de la paroi (la S1) dont les fibrilles ont une direction moyenne plus transversale que longitudinale. Leur retrait dans le sens périmétral, proche du

sens axial de leurs fibrilles, doit être très faible, d'où un effet d'opposition au rétrécissement périmétral de la paroi. Cet effet est de peu de conséquence dans les cellules à paroi épaisse et petite cavité, mais fort dans les cellules à paroi mince, le rapport des forces n'étant plus négligeable. Cette tension périphérique peut expliquer aussi les déformations angulaires.

Entre les parois tangentielles et radiales, la différence de rétrécissement n'a pas été bien précisée pour les bois à parois minces, un peu mieux pour les parois épaisses, grâce aux stries, mais il s'agit de la partie externe de la paroi. Si cette différence se retrouve comme c'est logique au contact de la cavité, on peut y voir l'explication du retrait plus grand en CT qu'en CR (déformation de la cavité).

La lamelle moyenne

On a publié avec hésitation dans le tableau 5 les retraits des lamelles moyennes (LMT et LMR), tant leur dispersion est considérable : ainsi $46,6\% \pm 45\%$ pour LMR de Patula. Cela résulte de la finesse de la LM. D'où l'abandon de cette mesure pour le Ramin.

Et pourtant on peut constater la cohérence des ordres de grandeur des retraits moyens de LMT et LMR dans chaque bois. Par ailleurs, la corrélation entre mesures humides (MH) et sèches (MS), ainsi que la pente des droites de régression MH/MS et MS/MH montrent que les résultats même dispersés sont significatifs au niveau des ordres de grandeurs.

On peut aussi exploiter statistiquement les différences entre mesures sur double et simple paroi, mais les points de mesurage n'étaient souvent pas les mêmes et cela peut entraîner des erreurs.

Les taux d'amincissement de la LM obtenus par cette approche ($2P-2 \times 1P$) sont les suivants :

	LMT	LMR
Patula, B.I.	20 %	43 %
Patula, B.F.	67 %	18 %
Ramin	123 %	217 %

Le cas du Bilinga est particulier. On a trouvé une épaisseur plus forte et un amincissement moindre que

dans les autres bois mais, comme le montre la photo 6, le dédoublement des limites de la LM laisse un doute sur la couche ainsi incluse qui pourrait être la première strate (S1) de la paroi secondaire.

Il apparaît dans l'ensemble que la lamelle moyenne a un taux de retrait en épaisseur très élevé. Il est souhaitable, dans l'avenir, d'arriver à affiner les mesures sur LM.

La question finale est le rôle de chaque élément dans le retrait cellulaire total.

Part de chaque élément dans le retrait cellulaire

En reprenant toutes les dimensions humides et sèches moyennes on peut évaluer, dans chaque direction, la part de retrait due à chaque élément dans le retrait cellulaire total (tableau 6).

La part de la cavité résulte de l'effet combiné du changement de forme (angles) et du rétrécissement périmétral des parois (pér.), effets qui peuvent être de sens opposés et qui ont été évalués séparément quand les mesures l'ont permis.

La part des parois concerne leur épaisseur, partagée quand on le pouvait entre parois secondaires (P2) et lamelles moyennes (LM). Certaines valeurs dépassent celle du retrait cellulaire total quand la déformation était en sens opposé au retrait.

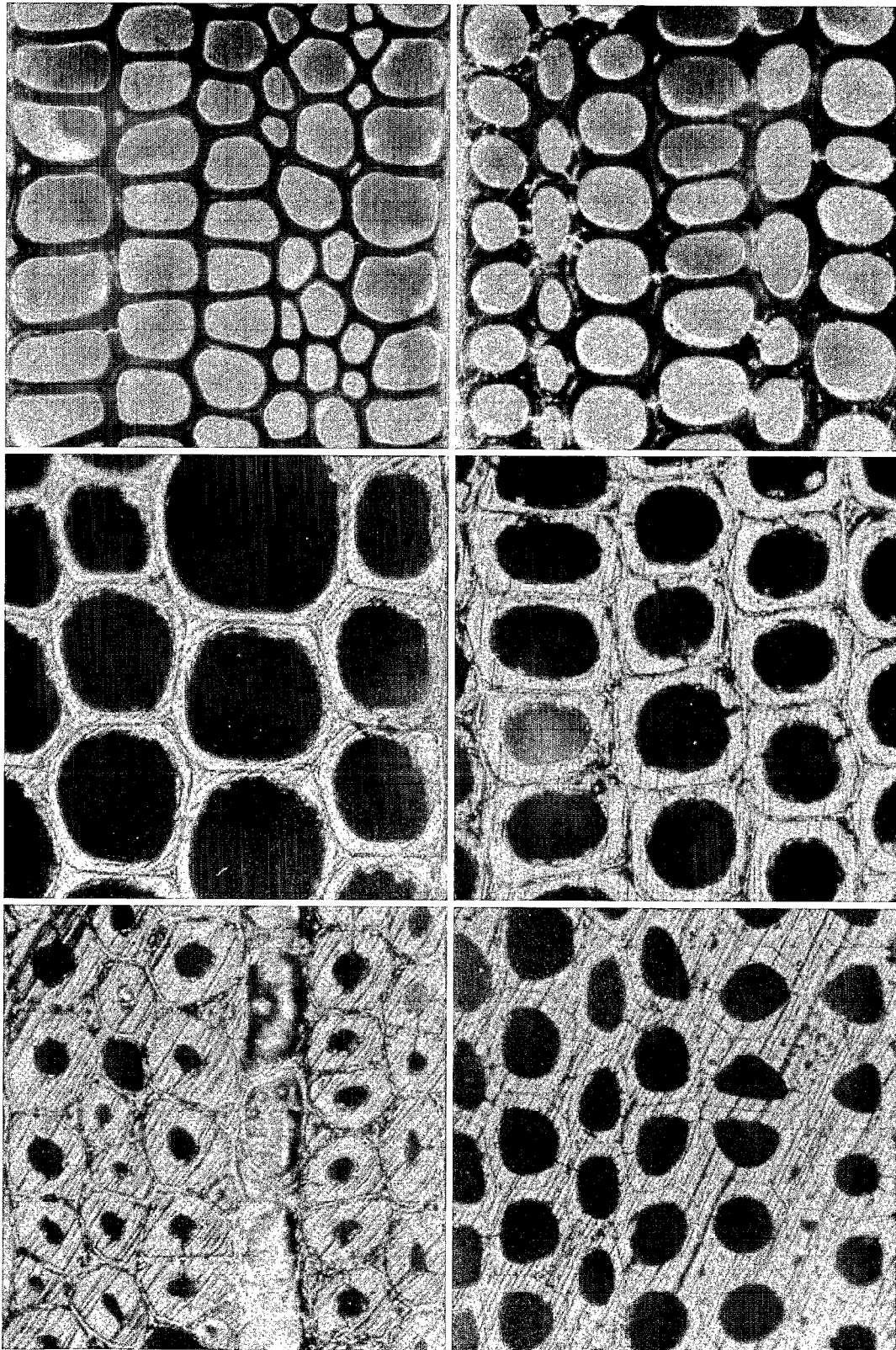
Les déformations, surtout avec dilatation (retrait négatif), compliquent la vue d'ensemble du retrait. Ainsi dans le bois initial du Patula, s'il n'y avait pas de déformation, le retrait vrai serait-il dû totalement à l'amincissement des parois en l'absence de rétrécissement périmétral.

Mais c'est un fait que les déformations jouent un rôle dans le retrait. Leur origine peut être attribuée dans

TABLEAU 6

PART DES ÉLÉMENTS DANS LE RETRAIT DE LA CELLULE

Espèce	Sens	Retrait cellule %	Retrait cavité		Retrait parois		Anisotropie cell. T/R	
			angles	Pér.	P2	LM		
Limba	tang.	7.7	0.7	0	7.0		1.2	
	rad.	6.6	- 0.3	0	6.9			
Ekoune	tang.	8.3	3.7		4.6		1.4	
	rad.	5.9	0.9		5.0			
Patula	Bois initial	tang.	5.4	2.8	0	2.0	0.6	5.0
		rad.	1.1	- 0.5	0	1.1	0.5	
	Bois final	tang.	6.6	3.3		3.0	0.3	
		rad.	5.5	1.8		3.5	0.2	
Bilinga	tang.	9.0	2.9		5.9	0.2	1.5	
	rad.	6.0	0.2		5.6	0.2		
Ramin	tang.	11.5	0	6.5	4.0	1.0	1.2	
	rad.	9.7	0	4.2	3.6	1.9		



Photos 2-7. — Les bois étudiés. Vues $\times 500$ des surfaces tranchées. De gauche à droite et de haut en bas : 2 Limba, 3 Ekoune, éclairage en fond noir. Les suivantes en fond clair : 4 Patula, bois initial, 5 Patula, bois final, 6 Bilinga, 7 Ramin. On remarquera la forme différente des cellules.

certains cas à l'interaction de tissus à retraits différents (bois final sur bois initial par exemple). Elles pourraient aussi être plus générales et d'origine interne à la paroi.

L'anisotropie de retrait

Calculée sur les retraits moyens en diamètre, l'anisotropie cellulaire est moins forte que celle obtenue sur les

éprouvettes (sauf pour Bilinga). Elle apparaît liée d'une façon prédominante aux changements de la cavité et non aux différences, mêmes fortes, dans l'amincissement des parois ou des lamelles moyennes.

La corrélation trouvée par MASSERANN dans le Limba entre T/R et le diamètre radial moyen pourrait alors résulter de la déformation plus forte des fibres à grand diamètre radial, et non d'une propriété particulière de la paroi tangentielle.

CONCLUSION

On peut retenir globalement les observations suivantes, pour les échantillons étudiés et sous réserve de nombreuses vérifications :

1. Dans les fibres à parois fines, la cavité ne change pas sensiblement de périmètre mais elle se déforme par contraction tangentielle et légère extension radiale. Le véritable retrait cellulaire est dû à l'amincissement très fort des parois (plus de 20 %) mais celui-ci ne s'applique qu'à une épaisseur de quelques microns, ce qui limite son effet sur le diamètre de la cellule.

2. Dans les fibres à parois épaisses, le périmètre de la cavité a, selon les bois, un retrait plus ou moins fort, jamais nul. Une déformation est encore perceptible par

la différence des diamètres de la cavité, sans avoir été observée dans les angles.

Les parois épaisses ont un taux d'amincissement moins fort que celui des parois fines, mais il s'applique à une plus grande proportion du diamètre. Le retrait cellulaire est dû pour 1/3 au moins au rétrécissement périmétral et, pour une part encore dominante, à l'amincissement des parois.

On peut faire l'hypothèse que le retrait périphérique de la paroi secondaire est contrarié par la lamelle moyenne et la couche S1, avec plus d'effet sur les parois les plus fines, d'où résultent des déformations angulaires et l'annulation du retrait du périmètre interne.

RÉFÉRENCES

BOYD (J. D.), 1974. — Anisotropic shrinkage of wood : Identification of the dominant determinants. *Moku-zai Gakkaishi*, vol. 20, n° 10.

FUTO (L. P.), 1978-1982. — Untersuchungen von Schwindungs- und Quellungsphänomenen im Trocknungsmikroskop. *Holztechnologie*, vol. 19, n° 1 et vol. 22, n° 4.

FUTO (L. P.), 1982-1984. — Über die Spannungsverteilung im Holzgewebe nach der Trocknung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, vol. 40, p. 45 et vol. 42, p. 131.

MASSERANN (Ch.) et MARIAUX (A.), 1985. — Anisotropie de retrait et structure du bois : Recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 209, pp. 35-47.

Photo 8. — Une trachéide de bois final de *Patula* $\times 2000$, avec les stries qui ont permis les mesures de rétrécissement des parois.

