

Photo CHATELAIN - G. T. F. T.

Montage pour mesure du retrait longitudinal des bois.

LE RETRAIT LONGITUDINAL DES BOIS TROPICAUX

Première approche

par

J. GUISCAFRE

*Chef de la Division d'Essais
et Emplois des Bois au CTFT*

Ch. SALES

*Ingénieur de Recherches
Division d'Essais et Emplois des Bois au CTFT*

SUMMARY

LONGITUDINAL SHRINKAGE OF TROPICAL WOODS

Under the effect of variations in its moisture content, wood can undergo dimensional variations : it shrinks when the moisture content drops and swells when the amount of water it contains increases.

The coefficients of linear shrinkage vary greatly depending on the direction, longitudinal shrinkage being much less than

radial or tangential shrinkage. But it is essential to know the longitudinal shrinkage, for it affects the largest dimension of the piece of wood and hence plays an important role in the behaviour of the wood.

The authors of this article have sought a system of measurement which is at one and the same time practical, rapid and reliable. They succeeded in developing an experimental procedure which has already made it possible to obtain worth-while results. Measurements have been made on four African species: Bété, Bilinga, Ilomba and Sapelli. They are commented upon in this article.

RESUMEN

LA CONTRACCIÓN LONGITUDINAL DE LAS MADERAS TROPICALES

Bajo el efecto de las variaciones de su contenido de humedad, la madera presenta variaciones dimensionales: contracción cuando el contenido disminuye y dilatación, cuando la cantidad de agua « vinculada » aumenta.

Los coeficientes de contracción lineal son sumamente diferentes según la dirección de la que se trate. La contracción longitudinal es mucho más reducida que la contracción radial o la tangencial pero, no obstante, es fundamental conocerla ya que interviene en la mayor dimensión de las piezas y, debido a ello, desempeña una función importante en el comportamiento de la madera.

En consecuencia, los autores de este estudio han buscado un sistema de medición que fuere simultáneamente práctico, rápido y fiable y han conseguido poner a punto un protocolo experimental que ya ha permitido la obtención de resultados interesantes. Se han llevado a cabo mediciones en cuatro especies africanas: Bété, Bilinga, Ilomba y Sapelli, las cuales son comentadas a continuación.

INTRODUCTION

Sous l'effet des variations de leur degré d'humidité, tous les bois subissent un retrait, ou à l'inverse un gonflement. Les variations dimensionnelles qui en résultent, sont associées, en général, à celles de la quantité d'eau dite « liée » ou « d'imprégnation » que les bois contiennent; ce phénomène ne peut donc s'observer qu'au-dessous d'un certain degré d'humidité appelé « point de saturation de la fibre », qui correspond à la quantité maximale d'eau liée contenue dans un bois.

On caractérise couramment et le plus souvent le comportement d'un bois vis-à-vis des variations de son degré d'humidité par son retrait volumétrique (la norme française d'essai des bois définit, pour sa part, deux mesures: celle du retrait volumétrique total et celle du coefficient de rétractibilité volumétrique). Toutefois, celui-ci est lui-même — et de façon évidente — la conséquence des variations linéaires de dimensions suivant les trois directions privilégiées du matériau bois: longitudinale (ou axiale), tangentielle et radiale.

Dans le cas d'une diminution du degré d'humidité, les coefficients de rétractibilité sont liés par la relation suivante:

$$(1 - R_V) = (1 - R_L)(1 - R_T)(1 - R_R) \quad (1)$$

où R_V désigne le coefficient de retrait volumétrique, R_L le coefficient de retrait linéaire longitudinal, R_T le coefficient de retrait linéaire tangential, R_R le coefficient de retrait linéaire radial,

ces coefficients étant mesurés pour une même variation d'humidité.

Les coefficients de retrait linéaire sont très différents selon la direction concernée. Ils sont les plus élevés dans le sens tangential; leur valeur pour les bois tropicaux, peut être 1,5 à 2,5 fois plus importante que celle mesurée dans le sens radial. Toutefois, les coefficients de retraits linéaires totaux entre l'état vert et l'état anhydre ne dépassent pratiquement jamais 10 % dans le cas le plus défavorable. Ces considérations permettent de simplifier par approximation, la relation (1). Celle-ci, une fois développée, s'écrit:

$$1 - R_V = 1 - R_L - R_T - R_R + R_L R_T + R_L R_R + R_T R_R + R_L R_T R_R$$

On peut, étant donné la faible valeur des coefficients de rétractibilité, ne pas tenir compte des

produits $R_L R_T$, $R_L R_R$, $R_T R_R$ et $R_L R_T R_R$; la relation devient alors, après simplification :

$$R_V \simeq R_L + R_T + R_R \quad (2)$$

et on peut considérer, en première approximation, que le coefficient de retrait volumétrique est égal à la somme arithmétique des trois coefficients de retraits linéaires.

Par ailleurs, les connaissances que l'on en a, ont montré que le retrait dans le sens longitudinal est très faible, notablement inférieur en particulier aux retraits dans les sens tangentiel et radial. Sa mesure, en outre, est particulièrement difficile et délicate à saisir avec exactitude. Aussi, nombreux sont les laboratoires qui le négligent dans la relation (2) et qui considèrent, comme d'ailleurs la majorité des utilisateurs de bois, le coefficient de retrait volumétrique comme égal à la somme des coefficients de retraits tangentiel et radial :

$$R_V \simeq R_T + R_R \quad (3)$$

Toutefois, et pour de nombreuses raisons, cette dernière approximation se révèle assez souvent pas très exacte, et parfois même difficilement justifiable :

• **Premièrement**, le retrait longitudinal s'il est faible en valeur relative (coefficient compris entre 0,1 à 0,9 % selon KOLLMANN), peut dans la réalité, atteindre des valeurs relativement importantes, dont les conséquences ne sont pas négligeables et risquent même d'être désastreuses pour l'emploi des bois. En effet, la plus grande dimension des pièces de bois est pratiquement dans toutes les utilisations, dans le sens du fil ; par suite les pièces sont, dans le sens longitudinal, longues et parfois très longues. C'est ainsi, par exemple qu'un élément de menuiserie ayant 2 m de long, peut avoir sur sa longueur un retrait total atteignant — et même dépassant — 2 cm qu'on ne saurait évidemment négliger (si on s'en tient aux valeurs du retrait longitudinal rencontrées dans la littérature).

• **Deuxièmement**, les mesures de rétractibilité effectuées au CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL sur les bois tropicaux ont montré que des différences significatives existent très souvent entre la valeur du retrait volumétrique total et la somme des valeurs des rétractibilités linéaires mesurées dans le sens tangentiel et radial. Le tableau 1 ci-après met en évidence ces différences pour les quatre espèces choisies pour l'étude du retrait longitudinal exposée par la suite.

• **Troisièmement**, un certain nombre d'auteurs (COCKRELL, PILLOW, etc...) ont montré le rôle important que joue le retrait longitudinal dans le comportement des bois à tensions. Or, ceux-ci sont malheureusement relativement fréquents dans les bois tropicaux et rendent, pour certaines espèces, leur utilisation particulièrement difficile. En fait, il semblerait que les zones de bois de tension puissent présenter des retraits longitudinaux dont les coefficients pourraient parfois atteindre 5 fois la valeur de ceux du bois normal environnant.

Ces quelques considérations font apparaître comme nettement insuffisante, pour caractériser la rétractibilité d'un bois, la seule connaissance des coefficients du retrait volumétrique et du retrait linéaire dans le sens tangentiel et radial. Aussi, la Division d'ESSAIS ET EMPLOIS DES BOIS a-t-elle décidé en 1978 d'engager une phase exploratoire de recherche afin de mettre au point une méthodologie permettant une mesure précise, rapide et répétitive du retrait longitudinal. Ces essais préliminaires ont été effectués sur quatre espèces africaines, dont le CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL disposait d'échantillons sains et sans défaut :

- BÉTÉ — *Mansonia altissima*.
- BILINGA — *Nauclea trillesit*.
- ILOMBA — *Pycnanthus angolensis*.
- SAPELLI — *Entandrophragma cylindricum*.

TABLEAU 1

VALEURS MESURÉES DES RETRAITS VOLUMÉTRIQUE, TANGENTIEL ET RADIAL, ET DES VALEURS CALCULÉES DU RETRAIT LONGITUDINAL

Espèces	Retrait total moyen en %				
	R_V	R_T	R_R	R_L calculé	
				sans approximation formule (1)	avec approximation formule (3)
BÉTÉ	11,6	7,9	4,7	— 0,71	— 1,00
BILINGA	13,7	8,1	4,7	1,46	0,90
ILOMBA	15,5	9,4	4,8	1,57	1,30
SAPELLI	13,8	7,7	5,3	1,38	0,80

PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES DESTINÉES A LA MESURE DU RETRAIT LONGITUDINAL

Il a été nécessaire, dans un premier temps, de déterminer les dimensions des éprouvettes qui seraient utilisées pour la mesure du retrait, et la manière de les préparer pour se trouver dans les meilleures conditions pour opérer. Grâce — ou à cause — de notre connaissance approfondie des essais sur les bois, et après étude bibliographique, on a décidé de prendre une éprouvette ayant la

forme d'un parallépipède rectangle pour effectuer les essais de cette première étude exploratoire; étant d'ailleurs bien entendu que cela ne présageait aucunement de la forme définitive qui serait adoptée — et peut-être même des autres formes qui pourraient être essayées — à l'examen des observations recueillies au cours des essais et des résultats obtenus.

SÉLECTION INITIALE DES DIMENSIONS

Le choix des dimensions pour les éprouvettes a été guidé par deux critères aussi impératifs qu'évidents :

- premièrement, l'aptitude au conditionnement à une humidité donnée,
- deuxièmement, l'assurance de disposer d'une éprouvette la plus parfaite possible, c'est-à-dire apparemment sans défaut et dépourvue de contre-fil.

On a estimé que, pour y parvenir, des éprouvettes très courtes devaient donner les meilleurs résultats. Cependant, il existe une limite minimale à ne pas dépasser; il est en effet indispensable que la longueur des éprouvettes soit assez grande pour que le rapport $\Delta L/L$, valeur de l'allongement ou du retrait à la longueur totale, soit suffisamment significatif, compte tenu des possibilités de préparation des surfaces servant de base à la mesure (régularité à $\pm 30 \mu$) et de la précision des instruments de mesure. En outre, l'erreur de mesure que peut causer l'usinage ne doit pas excéder 10 % des variations de longueur en rapport avec un changement moyen du degré d'humidité du bois, si l'on veut conserver aux résultats des essais leur valeur. Ces considérations nous ont amenés à considérer après réflexion, comme raisonnable d'adopter une longueur de 4 cm pour les éprouvettes. Cette longueur doit en effet permettre :

- d'obtenir des éprouvettes apparemment de droit fil,
- de garantir un retrait longitudinal absolu

suffisamment grand pour qu'il soit mesurable sans difficultés trop importantes.

En effet, les résultats antérieurs d'un certain nombre d'expérimentateurs (KOLLMANN, COCKRELL) amènent à penser que ce retrait serait au maximum de l'ordre de 1 % sur du bois normal; ce qui, dans le cas de nos éprouvettes, permet d'estimer que le retrait absolu sera de l'ordre de 400 μ .

Il a été également évident qu'il y avait tout intérêt pour la section des éprouvettes, à choisir les plus faibles dimensions possibles. Il serait ainsi plus facile de les obtenir entièrement dans du bois sans défaut, et surtout on pourrait les stabiliser plus rapidement et de façon homogène aux différents degrés d'humidité. Toutefois, il semblait nécessaire de conserver toujours un certain rapport entre section et longueur pour éviter que des déformations gênantes apparaissent lors des changements d'humidité, spécialement au séchage. Après réflexion, trois sections ont paru possibles :

- 1 cm \times 1 cm,
- 1,5 cm \times 1,5 cm,
- 2 cm \times 2 cm.

Afin de choisir celle qui conviendrait le mieux, on a décidé d'étudier le comportement de séries d'éprouvettes ayant ces différentes sections et 4 cm de longueur, lorsqu'on augmente leur degré d'humidité jusqu'à saturation : ainsi pourrait être sélectionnée celle dont le comportement et la stabilisation donneraient à la fois les meilleurs résultats.

ÉTUDE DE LA STABILISATION

Cette étude a été faite sur le bois des quatre espèces retenues pour l'étude du retrait linéaire. On a fabriqué, pour chaque espèce, 5 éprouvettes dans chacune de ces dimensions :

- 4 \times 1,0 \times 1,0 cm,
- 4 \times 1,5 \times 1,5 cm,
- 4 \times 2,0 \times 2,0 cm.

La réhumidification a été faite en immergeant dans l'eau les éprouvettes jusqu'à ce que leur poids ne varie plus ; puis on les a placées à la température ambiante dans une enceinte hermétique où l'atmosphère était saturée d'eau. Elles ont été pesées régulièrement jusqu'au moment où l'on a constaté que leur poids ne variait plus, et on a admis que cet état représentait l'état saturé.

On a tout d'abord remarqué quelques différences entre les espèces dans la vitesse de la reprise d'humidité et dans le temps mis pour parvenir à l'état saturé.

Toutefois, ces différences restent faibles et négligeables comparées au temps total nécessaire pour arriver à saturation.

Les éprouvettes de section $1,0 \times 1,0$ cm ont atteint, en moyenne, l'état saturé en un mois et demi.

Les éprouvettes de section $1,5 \times 1,5$ cm l'ont atteint entre cinquante et soixante jours.

CONCLUSIONS

Ces essais préliminaires ont permis de fixer certains choix pour étudier et mettre au point une méthode de mesure du retrait longitudinal.

Tout d'abord, on a décidé d'effectuer, sur les quatre espèces précédemment choisies, une première série de mesures de ce retrait en conservant des éprouvettes des deux dimensions qui semblaient convenir :

- $4 \times 1,0 \times 1,0$ cm,
- $4 \times 1,5 \times 1,5$ cm.

En outre, les mesures seraient effectuées pour chaque espèce et chaque dimension, sur quatre éprouvettes.

Celles de section $2,0 \times 2,0$ cm n'étaient pas stabilisées après deux mois d'immersion. Les essais ont alors été arrêtés, car on ne peut envisager d'utiliser dans la pratique un traitement aussi long. Il a été décidé, en conséquence, de ne pas retenir cette section pour la suite des essais.

Enfin, le comportement des éprouvettes a été apparemment le même quelles qu'aient été les dimensions ; la forme parallélépipédique semblait être restée correcte et ne décelait à l'œil aucune déformation. Sur ce point d'ailleurs, en anticipant sur les observations faites au cours des essais de mesure de la phase exploratoire, il apparaît que le risque de déformation, à condition que celles-ci restent limitées, est peu important. Il semblerait même qu'il y aurait au contraire intérêt à utiliser des éprouvettes pouvant se déformer sous une certaine pression afin de compenser les déformations produites éventuellement par le séchage.

Par ailleurs, on a choisi de mesurer le retrait longitudinal lorsque le degré d'humidité du bois varie entre quatre états d'équilibre hygroscopique bien définis. Ceux-ci correspondent aux conditions de stabilisation suivantes :

- Etat saturé A
- En atmosphère dont la température est de 25° et l'état hygrométrique 90 % B
- En atmosphère dont la température est de 22° et l'état hygrométrique 65 % C
- Stabilisation dans un dessiccateur en atmosphère anhydre à température ambiante... D

TECHNIQUE DE MESURE

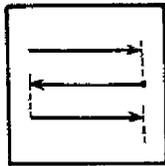
DESCRIPTION DU SYSTÈME

La variation de longueur de l'éprouvette est mesurée à partir d'un capteur de déplacement délivrant, en sortie, un signal analogique. Ce signal est exploité sur un traceur de courbe XY, sur calibre $0,2$ V/cm, ce qui permet une précision de l'ordre de 10μ par mm. Ce capteur est monté sur une table à micro-déplacement verticale, fixée au plan horizontal de travail.

Du point de vue mécanique, l'éprouvette est maintenue durant la mesure par une force appli-

quée latéralement sur les faces verticales de l'éprouvette. Le système de fixation est lui-même monté sur une table manuelle à micro-déplacement associée à un capteur de grands déplacements ; celui-ci indique à tout moment la position de l'éprouvette par rapport au capteur de mesure.

En cours d'essai, l'éprouvette subit une translation horizontale par rapport au point de mesure qui constitue le palpeur du capteur ; ce point reste fixe pendant toute l'opération, seule l'éprouvette



Principe de la mesure par balayage

Fig. 1

se déplaçant. Puis le capteur de mesure est déplacé verticalement afin de permettre un nouveau balayage sur une ligne parallèle à la précédente (voir fig. 1). Cette manière d'opérer permet de dresser une vraie carte du retrait longitudinal sur une surface perpendiculaire au fil du bois.

En réalité, on ne mesure pas la longueur de l'éprouvette, mais la distance (l) entre l'extrémité de l'éprouvette, point de mesure, et une surface de référence S_R (voir fig. 2). Les différences, pour une même

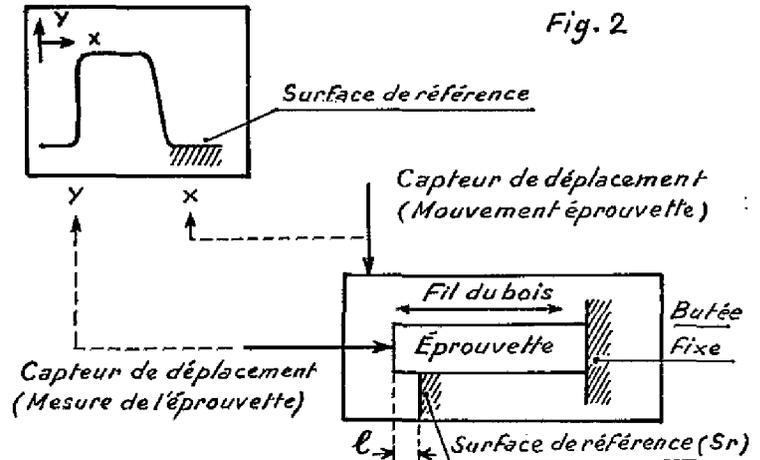


Fig. 2

éprouvette, entre les valeurs de l observées pour chaque degré d'humidité, mesurent les retraits correspondants.

MODE OPÉRATOIRE

Après avoir préalablement réhumidifié et stabilisé les éprouvettes suivant le protocole exposé p. 39, on mesure au micromètre, pour chacune d'elles, la longueur globale L_A . Dès que cette mesure est effectuée, on place immédiatement l'éprouvette sur l'appareil précédemment décrit ; on procède alors à la première détermination d'une valeur l , qui correspond à l'état saturé (état A de la p. 39) et que nous désignerons par l_A .

Puis l'éprouvette est conditionnée successivement dans les différents états B, C et D, tels qu'ils sont définis p. 39. On détermine à chaque étape les valeurs correspondantes de l : l_B , l_C et l_D , ainsi que les poids de l'éprouvette.

Enfin, celle-ci est placée dans une étuve sèche à 102°, pendant 48 h pour l'amener à l'état anhydre. On mesure alors son poids, sa longueur globale L_E (L anhydre), et l_E (l anhydre).

Les retraits longitudinaux sont calculés de deux façons :

- par référence à l'état saturé : $\frac{l_H - l_S}{L_S}$ où l_H

représente successivement l_B , l_C , l_D , l_E ;

- par référence à l'état anhydre : $\frac{l_H - l_E}{L_E}$ où l_H

représente successivement l_A , l_B , l_C , l_D .

EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Les résultats se présentent pour chaque ligne de mesure sous la forme d'un graphique « en rectangle » (voir fig. 3).

Avant réhumidification, les éprouvettes ont été ponçées en bout sur les deux faces pour que les irrégularités de la surface représentées symboliquement par Δl n'excèdent pas crête à crête 30 μ .

On y parvient, par ponçage aux papiers 200 et

400, mais il est indispensable d'utiliser en outre un montage qui assure l'orthogonalité entre disque de ponçage et axe longitudinal de l'éprouvette.

L'examen des courbes tracées pour chaque état permet à la fois une détermination globale du retrait longitudinal et une étude point par point des zones de bois qui pourraient présenter de ce point de vue une quelconque particularité.

RÉSULTATS

MESURES SUR LES GRAPHIQUES

Le palier de mesures sur les graphiques a, comme il a été expliqué ci-dessus, figure 2, théoriquement la forme d'un rectangle. Pour la plupart des éprou-

vettes et quelle que soit l'espèce, le palier a, à peu près, bien conservé sa forme au cours du séchage.

Toutefois le tracé de la courbe a, dans un certain

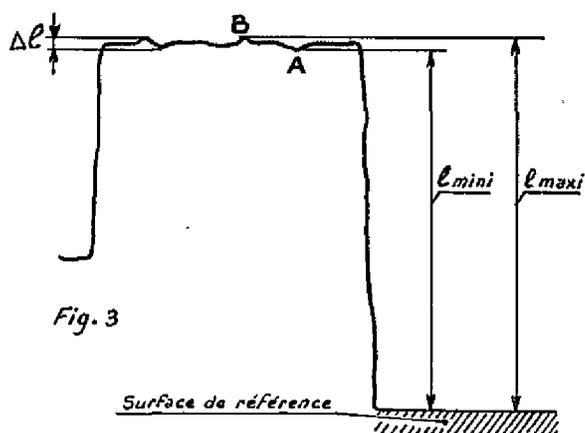


Fig. 3

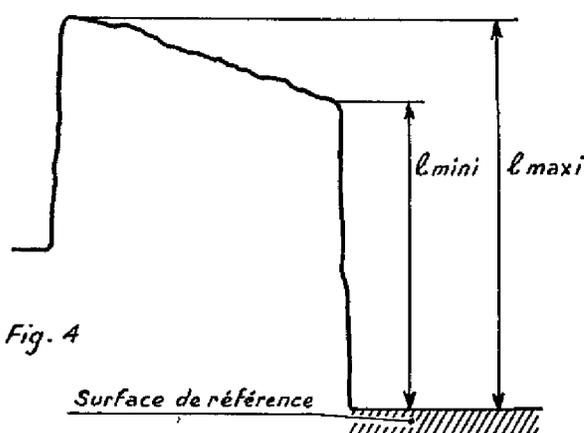


Fig. 4

nombre de cas, pris une allure différente et particulière : le palpeur du capteur semble avoir traduit une variation continue et régulière de la longueur de l'éprouvette d'un côté à l'autre de celle-ci. Il s'agit en réalité, comme nous le verrons par la suite, d'un phénomène en rapport avec la déformation des éprouvettes pour lesquelles on relève cette forme de courbe ; ces déformations entraînent la perte d'orthogonalité de la surface de référence (bout de l'éprouvette) par rapport au sens de la longueur, qui provoque à son tour un mauvais positionnement sur l'étrier de fixation. De toute façon,

il nous a paru plus prudent de ne pas prendre en considération ces résultats, et nous les avons éliminés.

Par ailleurs, on n'a jamais observé de variation notable et significative du retrait longitudinal lorsque le palpeur se déplace radialement dans les zones de bois parfait. Ceci correspond bien au fait que les bois tropicaux ont une croissance régulière, contrairement aux bois des régions tempérées dont les zones de bois d'été ou de printemps ont très souvent une forte influence sur le retrait longitudinal.

COURBES DE RÉTRACTIBILITÉ

On calcule, pour chaque éprouvette (en principe 4 de 1×1 cm de section et 4 de $1,5 \times 1,5$ cm de section par espèce) les coefficients de rétractibilité à chaque étape du séchage et on trace les courbes correspondantes.

D'une façon générale, le phénomène de retrait longitudinal apparaît comme comparable aux autres retraits linéaires. En particulier, on n'observe aucun mouvement significatif entre l'état vert et un certain degré d'humidité que tout semble porter comme assimilable au point de saturation bien connu de tous. En fait, ce palier n'existe jamais réellement, mais les variations dimensionnelles restent très faibles dans cette zone, ce qui amène à la distinguer nettement de la zone de retrait proprement dite. Selon les éprouvettes et les espèces, les variations dimensionnelles que l'on a pu constater dans ce palier au-dessous du point de saturation, sont soit en augmentation, soit en diminution.

a) Comportement particulier de chaque espèce dans la zone de palier.

D'une manière générale, SAPELLI et BILINGA

ont subi une diminution de dimension. Le BÉTÉ présente un palier presque parfait. Les mesures sur l'ILOMBA laissaient croire, par contre, à un léger gonflement.

En fait, KOEHLER (1931) avait déjà rencontré le même phénomène avec certains PINS et sur des SEQUOIA, sans pouvoir apporter toutefois, une explication scientifique convaincante. Dans notre cas, il est intéressant de remarquer que des quatre espèces étudiées, l'ILOMBA est celle qui présente le rapport le plus élevé entre retrait tangentiel et radial. Elle est donc celle pour qui les risques de déformations au cours du séchage sont les plus grands. C'est ce qu'a confirmé l'examen des éprouvettes après essai, examen qui a révélé des déformations sensibles se traduisant par des courbures des faces pouvant atteindre une flèche de 300μ pour une longueur de 40 mm.

Dans ces conditions, il semble que ce phénomène ne soit qu'un faux gonflement et que la forme de la courbe soit la conséquence de la déformation des éprouvettes due à l'amorce des retraits tangentiel et radial. Il y a alors perte d'orthogonalité des deux surfaces de référence ce qui tend à fausser la mesure.

En ce qui concerne SAPELLI et BILINGA, le retrait constaté entre l'état (A) et l'état (B) (état saturé → 21 %) est dû probablement au franchissement du point de saturation avant d'être parvenu à l'état B. En effet, celui-ci n'est qu'une entité théorique ; en fait, il existe une zone de transition pour le passage de l'état « évacuation de l'eau libre » à celui « évacuation de l'eau liée » ; elle commence avant la valeur théorique et se continue bien après. La pente des courbes de retrait reste néanmoins faible dans la zone de palier : elle est en moyenne de 0,2 % pour le SAPELLI et de 0,35 % pour le BILINGA.

Par ailleurs, et tout comme pour les retraits transversaux, le coefficient de rétractibilité longitudinale semble varier linéairement avec le taux d'humidité. Toutefois, une étude plus approfondie, est indispensable pour le confirmer ; elle devra en particulier, être menée en tenant compte des valeurs plutôt basses des points de saturation.

b) Etude du point de saturation.

Une particularité très intéressante, que l'étude des courbes de rétractibilité linéaire laisse supposer, est la valeur du point de saturation de la fibre que l'on peut déterminer à partir d'elles. Celle-ci semble en effet totalement différente de celles que l'on détermine à partir des retraits tangentiel et

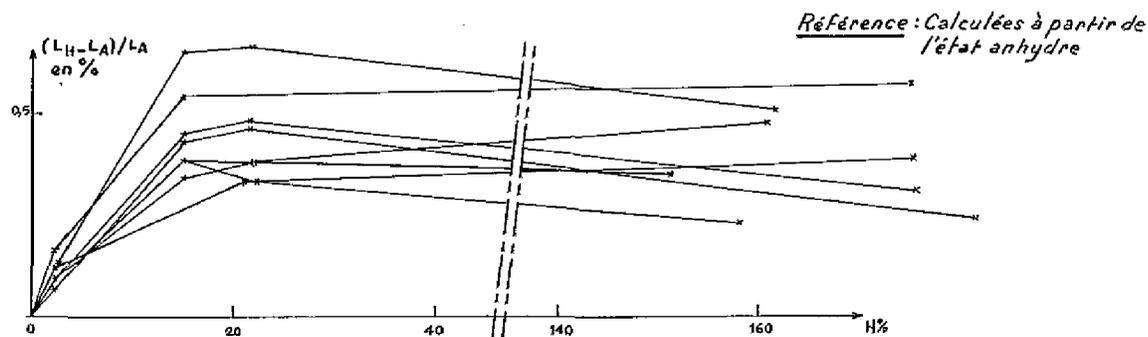
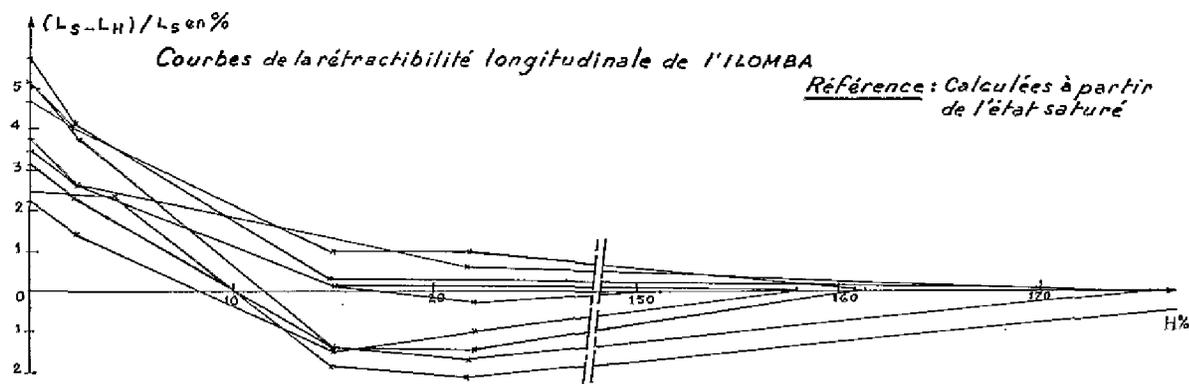
radial — et par là même — de celle calculée à partir de l'étude du retrait volumétrique.

Nous avons regroupé dans le tableau 2 suivant, les différentes valeurs du point de saturation pour les quatre espèces étudiées :

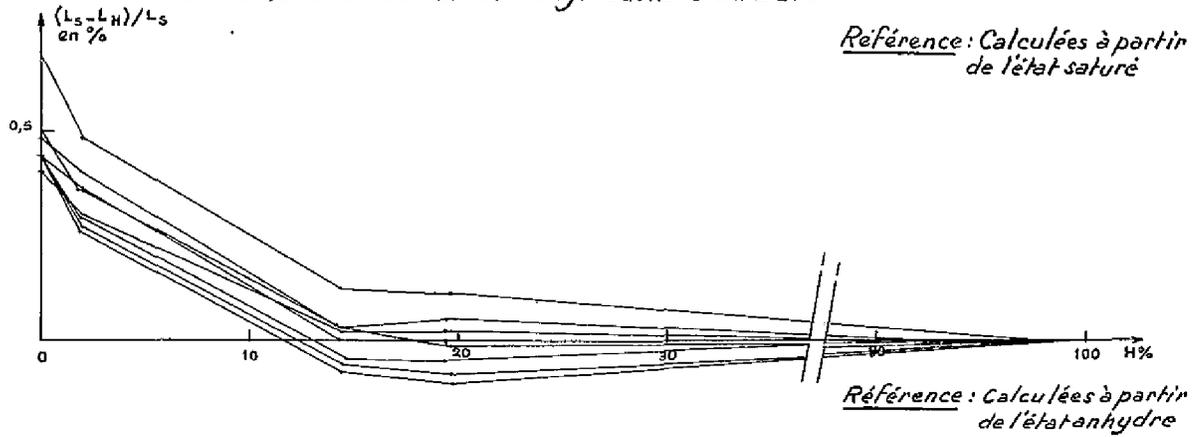
- d'une part, celui calculé suivant les normes françaises d'essai des bois à partir des mesures du retrait volumétrique,
- d'autre part, celui mesuré sur les courbes du retrait linéaire tangentiel ou radial (ce sont les mêmes),
- enfin, celui qui apparaît de l'étude des courbes du retrait longitudinal.

TABLEAU 2
VALEURS THÉORIQUES DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ

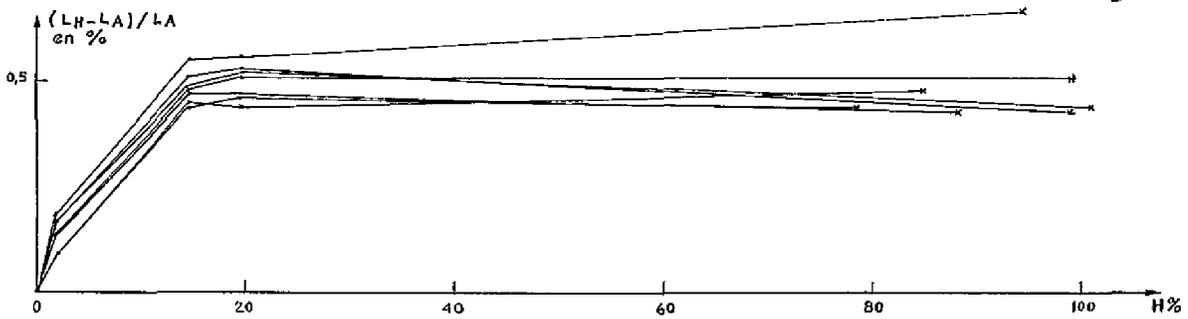
Point de saturation de la fibre	calculé à partir du retrait volumétrique	mesuré à partir des retraits	
		tangentiel et radial	longitudinal
ILOMBA	41	40	20
BÉTÉ	27	31	18
BILINGA	25	27	20
SAPELLI	29	29	19



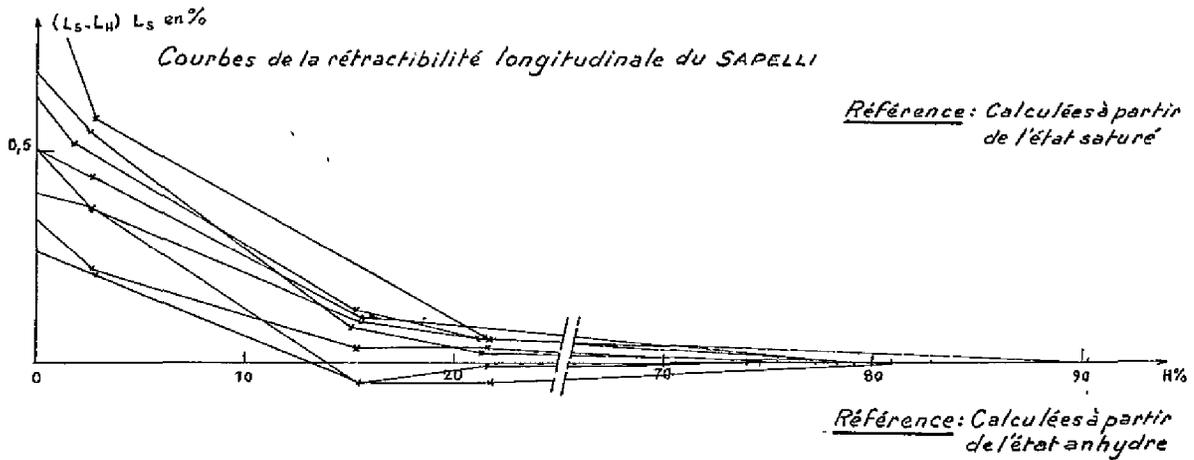
Courbes de la rétractibilité longitudinale du BÉTÉ



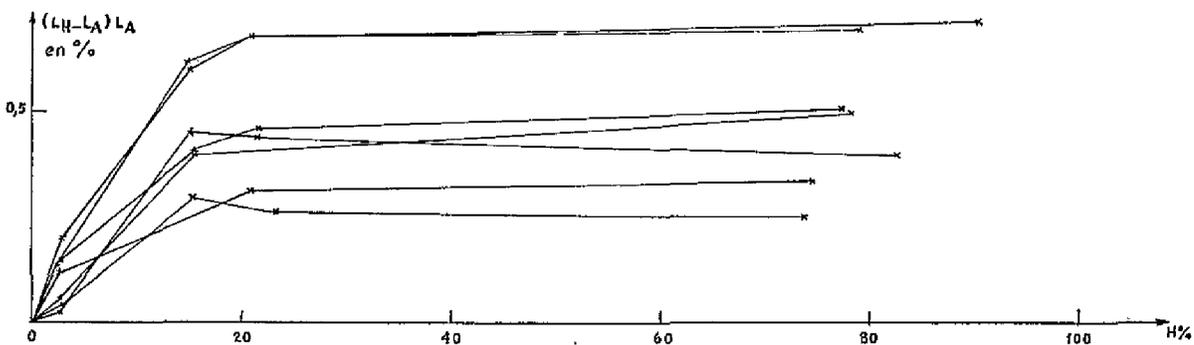
Référence: Calculées à partir de l'état anhydre

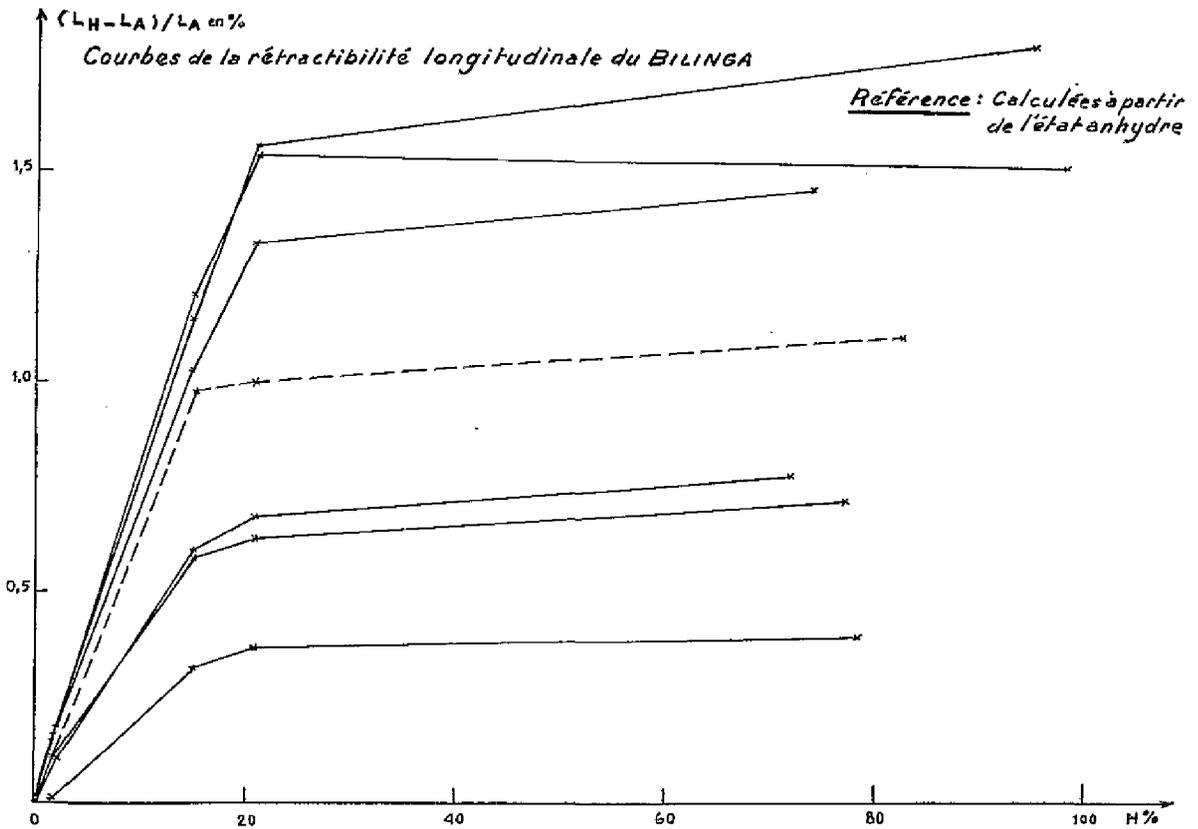
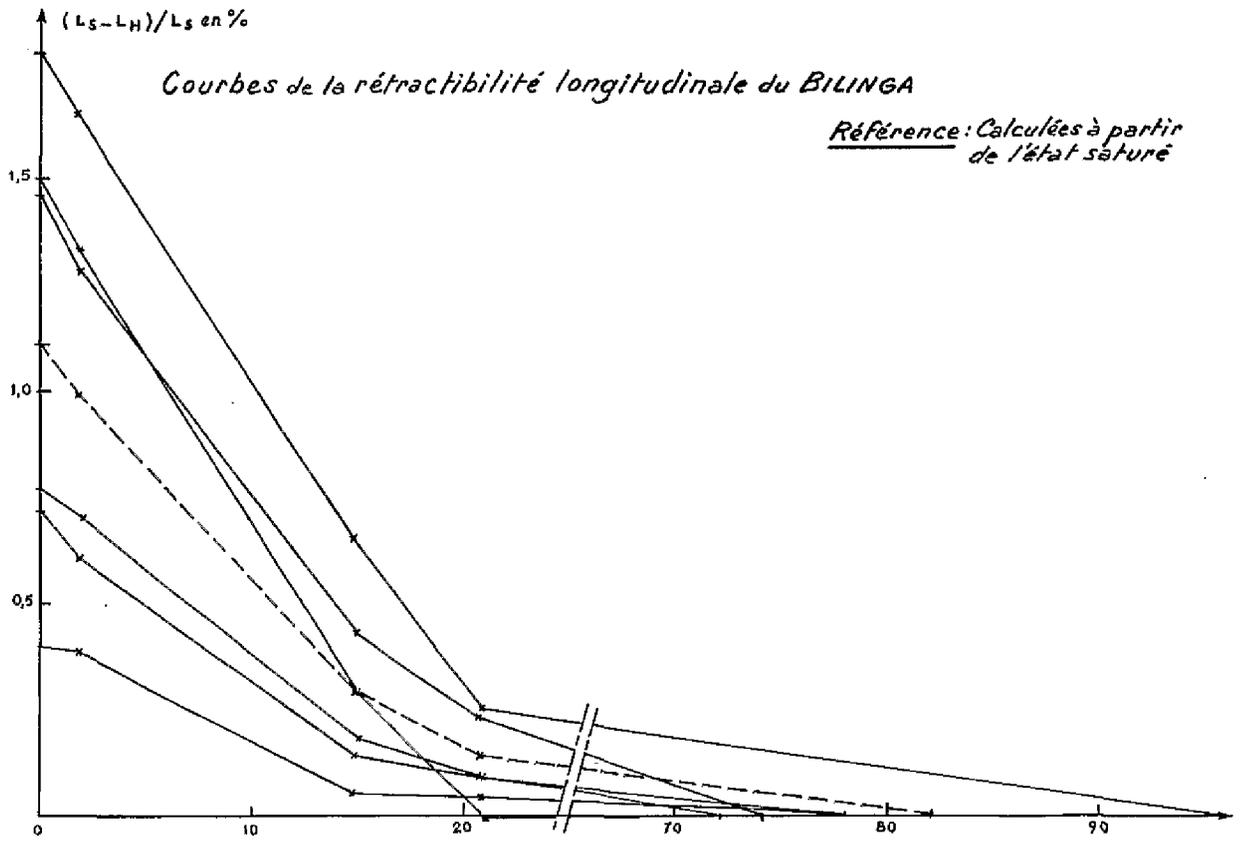


Courbes de la rétractibilité longitudinale du SAPELLI



Référence: Calculées à partir de l'état anhydre





L'analyse des chiffres ci-dessus fait supposer que le matériau bois a un comportement très différent selon qu'on le considère dans le sens axial ou dans le sens tangentiel.

Les études que nous avons effectuées sur les bois tropicaux ont prouvé que, d'une façon générale, le point de saturation calculé à partir des mesures du retrait volumétrique est très voisin de celui trouvé lors des mesures des retraits linéaire, tangentiel et radial. Ceci est vrai pour les quatre espèces que nous avons choisies dans cette étude.

Le point de saturation, pour ces quatre espèces, apparaît non seulement différent, mais il l'est de façon significative et la différence est toujours dans le même sens : le point de saturation de la fibre considéré dans le sens longitudinal serait nettement plus bas que dans le sens transversal.

On pourrait s'étonner que cette différence ne se répercute pas au niveau de la comparaison entre le point de saturation tel qu'il découle du retrait

volumétrique et celui mesuré à partir des retraits linéaire, tangentiel et radial. Les études que nous avons menées ne permettent que de formuler des hypothèses, et l'une serait que l'influence de la faible valeur du point de saturation du bois dans le sens axial n'est pas décelable, ce fait étant en rapport avec la faible valeur relative du retrait dans ce sens vis-à-vis de la valeur des autres retraits.

Enfin, contrairement aux points de saturation dans le plan transversal qui varient assez fortement en fonction de l'essence (de 27 à 40 % dans le cas étudié ici), il ne semble pas que le point de saturation dans le sens axial soit très sensible à l'espèce.

Toutefois, il est impossible de tirer des conclusions à partir de ces essais trop fragmentaires et portant sur seulement quatre espèces de bois tropicaux. On peut cependant déjà affirmer que se dégage de ces travaux une voie de recherche importante qu'il serait intéressant de poursuivre en collaboration avec des spécialistes de l'Anatomie et de la Chimie du bois.

COEFFICIENT DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE

Ces coefficients ont été calculés à partir des essais en suivant le protocole décrit p. 40.

• Variabilité des résultats.

On constate tout d'abord, en comparant les résultats obtenus pour chaque éprouvette, qu'il existe une certaine variabilité au sein de chaque échantillon de la même espèce. Toutefois, si on compare aux résultats des mesures des retraits linéaires dans le sens transversal, on s'aperçoit que cette variabilité, à l'exception du BILINGA, n'est pas très supérieure à celle des autres retraits linéaires, et surtout que la différence n'est nullement significative. En effet, les valeurs du coefficient de rétractibilité sont très homogènes pour le BÉTÉ. La dispersion des valeurs de ce coefficient pour l'ILOMBA et le SAPELLI est

plus importante, mais reste dans des limites raisonnables. Par contre, la fourchette des valeurs du coefficient de rétractibilité mesurée sur le BILINGA est très importante ; celles-ci varient en effet de 0,4 % pour celle ayant présenté le retrait total le plus faible, à 1,5 % pour celle présentant le retrait le plus élevé.

Toutefois, le nombre réduit d'éprouvettes ne permet pas une interprétation statistique. On a préféré, dans ces conditions, déterminer graphiquement les valeurs moyennes par espèce.

• Résultats.

Le tableau 3 suivant indique les valeurs moyennes par espèce des coefficients de rétractibilité linéaire longitudinale. Ces valeurs ont été calculées en fai-

TABLEAU 3
VALEURS DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LINÉAIRE LONGITUDINALE

Espèces	Coefficient de rétractibilité longitudinale		
	Référence état vert		Référence État anhydre
	Etats saturé — sec à l'air (15 %) en %	Retrait total en %	Retrait total en %
SAPELLI.....	0,10	0,55	0,55
BILINGA.....	0,30	1,10	1,10
ILOMBA.....	0,05	0,40	0,50
BÉTÉ.....	0,06	0,50	0,50

sant référence, soit à l'état saturé, soit à l'état anhydre ; en outre, pour celle faisant référence à l'état saturé, sont données deux valeurs : la première correspond à la mesure entre l'état vert et l'état sec à l'air, la seconde au retrait total entre le même état vert et l'état anhydre.

La lecture de ce tableau montre d'abord que, d'une façon générale, les valeurs trouvées pour le retrait total en se référant à l'état saturé, ou à l'état anhydre, sont comparables, donc valables quel que soit le protocole adopté. Il y a là, une coïncidence remarquable, qui mérite réflexion, si toutefois d'autres essais en nombre suffisant, sur plusieurs espèces, venaient confirmer ces premières observations.

En outre, la comparaison des coefficients de rétractibilité calculés par rapport à l'état saturé d'une part, entre l'état saturé et l'état sec à l'air, d'autre part, entre l'état saturé et l'état anhydre, fait supposer que ces coefficients ne varient pas tout à fait de façon linéaire en fonction du degré d'humidité. Exception cependant doit être faite pour le BILINGA dont le comportement paraît de ce point de vue, normal.

Enfin, il ressort nettement des mesures effectuées dans cette étude que les valeurs obtenues par les essais sont totalement différentes des valeurs théoriques calculées, ainsi que nous l'avons fait à la p. 37, Introduction (tableau 1). Si l'on excepte le

BÉTÉ, pour lequel les valeurs théoriques ne semblent pas pouvoir être prises en considération, toutes les valeurs des coefficients de rétractibilité longitudinale des autres espèces étudiées, trouvées par les essais, sont inférieures aux valeurs obtenues par le calcul théorique.

• Interprétation.

Il est essentiel, à ce stade, de rappeler que cette étude ne constitue qu'une première phase exploratoire, et de s'en souvenir au cours de la lecture des considérations qui suivent. En effet, le nombre réduit des espèces étudiées d'une part, celui également très faible des éprouvettes sur lesquelles ont été effectuées les mesures d'autre part, ne sauraient permettre une interprétation des résultats très poussée et trop approfondie.

L'analyse des résultats fait apparaître une première constatation : contrairement à ce qu'on aurait pu imaginer, il ne se dégage pas, pour l'instant, de corrélation nette entre le retrait volumétrique total, et le retrait linéaire longitudinal ; de même d'ailleurs qu'entre ce retrait et les retraits linéaires transversaux radial et tangentiel.

Par contre, une autre constatation semble pouvoir être faite : il paraît bien exister une certaine corrélation, pour les espèces étudiées, entre le retrait longitudinal et une autre caractéristique

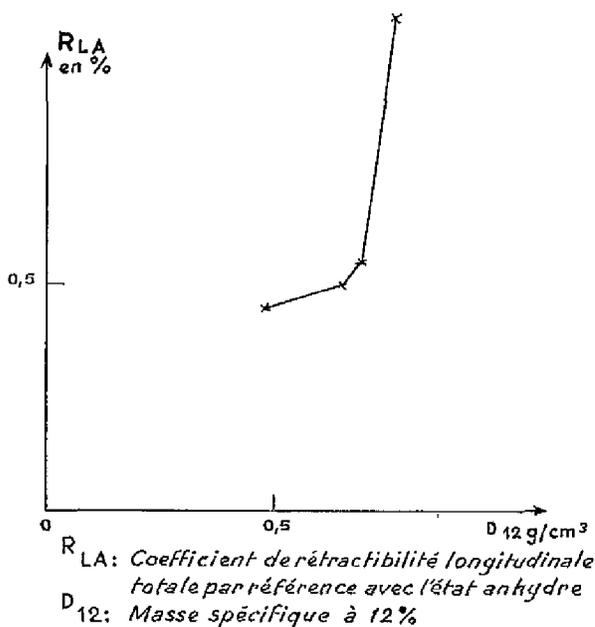
TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU BÉTÉ
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT ANHYDRE

Epreuves		Etat saturé	30-90 %	22-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
C ₁	H %	99,3	19,5	14,2	1,8	—
	Coef.	0,51	0,51	0,48	0,14	—
C ₂	H %	101,0	19,7	14,4	2,0	—
	Coef.	0,44	0,52	0,49	0,17	—
C ₃	H %	99,0	19,7	14,4	1,9	—
	Coef.	0,43	0,53	0,51	0,17	—
C ₄	H %	94,4	19,7	14,4	2,0	—
	Coef.	0,67	0,56	0,55	0,19	—
C ₅	H %	88,3	19,4	14,6	1,8	—
	Coef.	0,43	0,47	0,47	0,13	—
C ₆	H %	84,8	19,4	14,3	1,9	—
	Coef.	0,48	0,44	0,45	0,09	—
C ₇	H %	84,3	19,5	14,4	2,0	—
	Coef.	0,40	0,38	0,43	0,10	—
C ₈	H %	78,3	19,4	14,3	2,0	—
	Coef.	0,44	0,46	0,44	0,09	—

physique : la densité. On a, sur le graphique ci-contre, tracé la courbe indiquant la variation du retrait longitudinal total en fonction de la masse spécifique à 12 % d'humidité.

On peut y voir nettement que le bois le plus léger a le coefficient de rétractibilité longitudinale le plus faible, et que celui-ci croît avec la densité.

Toutefois, on ne peut — et on ne saurait — à partir de ces résultats obtenus sur quatre espèces seulement définir une loi de variation. Il semble bien cependant qu'on puisse déjà observer là une certaine tendance qui laisserait supposer que le retrait longitudinal augmente avec la masse volumique des bois. Il est important de signaler que cette constatation va à l'encontre des résultats obtenus par KOEHLER et repris par KOLLMANN : ceux-ci affirment, en effet, que le retrait longitudinal varie à l'inverse de la densité. Mais leurs études ont porté sur des éprouvettes préparées dans un seul et même bois, et les résultats proviennent des recherches sur les variations des propriétés entre bois d'été et bois de printemps d'une part, aubier et bois parfait d'autre part. Il s'agit donc d'études différentes de celles inter-espèces que nous avons menées, et là est peut-être la raison de la différence apparente des conclusions auxquelles elles



ont abouti, les variations pouvant ne pas suivre la même règle dans l'un ou l'autre cas.

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU BÉTÉ MESURÉS EN SE RÉFÉRANT À L'ÉTAT SATURÉ

Eprouvettes		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
C ₁	H %	99,3	19,5	14,2	1,8	0
	Coef.	—	0,01	0,03	0,36	0,50
C ₂	H %	101,0	19,7	14,4	2,0	0
	Coef.	—	— 0,08	— 0,06	0,27	0,44
C ₃	H %	99,0	19,7	14,4	1,9	0
	Coef.	—	— 0,11	— 0,09	2,55	0,43
C ₄	H %	94,4	19,7	14,4	2,0	0
	Coef.	—	0,11	0,12	0,48	0,67
C ₅	H %	88,3	19,4	14,6	1,8	0
	Coef.	—	— 0,05	— 0,05	0,29	0,43
C ₆	H %	84,8	19,4	14,3	1,9	0
	Coef.	—	0,05	0,03	0,40	0,48
C ₇	H %	84,3	19,5	14,4	2,0	0
	Coef.	—	0,02	0,02	0,30	0,40
C ₈	H %	78,3	19,4	14,3	2,0	0
	Coef.	—	0	0	0,36	0,44

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DE L'ILOMBA
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT SATURÉ

Eprouvettes		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
A ₁	H %	160,8	21,9	14,9	2,1	0
	Coef.	—	0,09	0,09	0,40	0,47
A ₂	H %	158,0	22,1	15,0	2,1	0
	Coef.	—	- 0,10	- 0,15	0,14	0,22
A ₃	H %	161,4	21,9	15,0	2,2	0
	Coef.	—	- 0,15	- 0,14	0,37	0,51
A ₄	H %	151,2	22,0	15,0	2,3	0
	Coef.	—	- 0,03	0,008	0,26	0,35
A ₅	H %	175,5	21,6	15,0	2,3	0
	Coef.	—	0,05	—	0,26	0,37
A ₆	H %	181,7	21,5	14,9	2,2	0
	Coef.	—	- 0,22	- 0,19	0,23	0,24
A ₇	H %	175,8	21,6	14,9	2,1	0
	Coef.	—	- 0,17	- 0,14	0,23	0,31
A ₈	H %	175,4	21,5	14,8	2,2	0
	Coef.	—	—	0,03	0,41	0,57

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DE L'ILOMBA
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT ANHYDRE

Eprouvettes		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
A ₁	H %	160,8	21,9	14,9	2,1	—
	Coef.	0,48	0,38	0,38	0,08	—
A ₂	H %	158,0	22,1	15,0	2,1	—
	Coef.	0,23	0,33	0,38	0,09	—
A ₃	H %	161,4	21,9	15,0	2,2	—
	Coef.	0,51	0,66	0,65	0,13	—
A ₄	H %	151,2	22,0	15,0	2,3	—
	Coef.	0,35	0,38	0,34	0,09	—
A ₅	H %	175,5	21,6	15,0	2,3	—
	Coef.	0,38	0,33	—	0,12	—
A ₆	H %	181,7	21,5	14,9	2,2	—
	Coef.	0,24	0,46	0,43	0,07	—
A ₇	H %	175,8	21,6	14,9	2,1	—
	Coef.	0,31	0,48	0,45	0,08	—
A ₈	H %	175,4	21,5	14,8	2,2	—
	Coef.	0,57	—	0,54	0,16	—

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU SAPELLI
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT SATURÉ

Eprouvettes		État saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
D ₁	H %	74	21,7	15,5	2,9	0
	Coef.	—	— 0,01	— 0,05	0,21	0,25
D ₂	H %	78,2	21,7	15,6	2,7	0
	Coef.	—	—	0,10	0,44	0,50
D ₃	H %	74,6	21,6	15,5	2,7	0
	Coef.	—	0,03	—	0,22	0,34
D ₄	H %	77,3	21,9	15,5	2,8	0
	Coef.	—	0,05	0,09	0,36	0,51
D ₅	H %	90,3	21,3	15,3	2,8	0
	Coef.	—	0,05	0,12	0,52	0,63
D ₆	H %	79,1	21,3	15,1	2,6	0
	Coef.	—	0,02	0,08	0,55	0,69
D ₇	H %	82,8	21,5	15,3	2,7	0
	Coef.	—	— 0,04	— 0,05	0,37	0,40
D ₈	H %	80,9	21,6	15,3	2,7	0
	Coef.	—	0,05	—	0,58	1,08

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU SAPELLI
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT ANHYDRE

Eprouvettes		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
D ₁	H %	74,0	21,7	15,5	2,9	—
	Coef.	0,25	0,26	0,30	0,04	—
D ₂	H %	78,2	21,7	15,6	2,7	—
	Coef.	0,50	—	0,40	0,06	—
D ₃	H %	74,6	21,6	15,5	2,7	—
	Coef.	0,34	0,31	—	0,12	—
D ₄	H %	77,3	21,9	15,5	2,8	—
	Coef.	0,51	0,46	0,41	0,15	—
D ₅	H %	90,3	21,3	15,3	2,8	—
	Coef.	0,72	0,68	0,60	0,20	—
D ₆	H %	79,1	21,3	15,1	2,6	—
	Coef.	0,70	0,68	0,62	0,14	—
D ₇	H %	82,8	21,5	15,3	2,7	—
	Coef.	0,40	0,44	0,45	0,03	—

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU BILINGA
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT ANHYDRE

Epreuves		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
B ₁	H %	98	21,0	15,0	1,8	0
	Coef.	1,51	1,54	1,21	0,16	—
B ₂	H %	95	21,0	14,8	1,7	0
	Coef.	1,80	1,56	1,15	0,15	—
B ₃	H %	78	21,0	14,8	1,8	0
	Coef.	0,40	0,37	0,32	0,01	—
B ₄	H %	77	21,0	14,9	1,8	0
	Coef.	0,72	0,63	0,58	0,11	—
B ₅	H %	72	21,0	15,0	2,0	0
	Coef.	0,78	0,68	0,60	0,10	—
B ₆	H %	74	20,5	14,9	1,9	0
	Coef.	1,46	1,23	1,04	0,18	—

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE RÉTRACTIBILITÉ LONGITUDINALE DU BILINGA
MESURÉS EN SE RÉFÉRANT A L'ÉTAT SATURÉ

Epreuves		Etat saturé	30°-90 %	22°-65 %	Dessiccateur	Etat anhydre
B ₁	H %	98	21,0	15,0	1,8	0
	Coef.	—	— 0,01	0,29	1,33	1,50
B ₂	H %	95	21,0	14,8	1,7	0
	Coef.	—	0,25	0,65	1,65	1,79
B ₃	H %	78	21,0	14,8	1,8	0
	Coef.	—	0,04	0,05	0,39	0,40
B ₄	H %	77	21,0	14,9	1,8	0
	Coef.	—	0,09	0,14	0,61	0,72
B ₅	H %	72	21,0	15,0	2,0	0
	Coef.	—	0,09	0,18	0,70	0,77
B ₆	H %	74	20,5	14,9	1,9	0
	Coef.	—	0,23	0,43	1,23	1,46

CONCLUSIONS

La phase préparatoire de l'étude du retrait longitudinal consistait essentiellement en la mise au point d'un système de mesure de ce retrait, à la fois pratique, rapide et fiable et d'un protocole expérimental permettant de façon sûre et répétitive les essais.

C'est en réalité la nécessité d'expérimenter sur quelques exemples concrets le système et le protocole qui nous a amenés à cette première approche du retrait longitudinal des bois tropicaux. Les résultats auxquels nous sommes parvenus et ce qu'ils permettent d'entrevoir, confirment, d'une façon générale, l'importance de la mesure de cette caractéristique, de sa connaissance et de la nécessité de poursuivre les recherches pour mieux « la saisir ». Ils permettent, en outre, de formuler, avec toutes les précautions énoncées précédemment, les conclusions suivantes :

— Le point de saturation de la fibre mesuré dans le sens longitudinal d'après l'étude du retrait, est plus bas que celui trouvé dans le sens transversal par la même méthode. Il semble, en outre, être constant et varier peu suivant les espèces.

— Les bois de BÊTÉ, ILOMBA, SAPELLI présentent un retrait longitudinal total moyen de l'ordre de 0,5 %. Cette valeur est légèrement supérieure à la plupart de celles trouvées sur des résineux par KOEHLER.

— Le BILINGA présente un retrait longitudinal élevé.

— Les résultats expérimentaux ont révélé des coefficients de retrait longitudinal total différents et dans l'ensemble, assez éloignés de ceux obtenus par des calculs théoriques effectués à partir des coefficients de retrait volumétrique, tangentiel et radial.

— Les coefficients de rétractibilité longitudinale des quatre espèces étudiées ne semblent être corrélés avec aucun des autres retraits, tant volumétrique que linéaire, tangentiel ou radial. Toutefois, il est intéressant, et peut-être important, de constater que le bois le plus dense présente le retrait longitudinal le plus élevé, et le moins dense, le plus faible.

Les résultats obtenus au cours de cette phase préparatoire de l'étude du retrait longitudinal nous paraissent très encourageants. Ils nous incitent tout d'abord, à poursuivre les essais sur un nombre d'espèces suffisamment important pour pouvoir interpréter correctement et valablement

les résultats ; ainsi seulement pourront être confirmées ou corrigées les premières conclusions que nous avons formulées, vérifier les tendances que nous avons relevées, et les hypothèses qui nous ont été suggérées. Il nous paraît important également d'étudier rapidement la variabilité du retrait longitudinal au sein d'un même arbre.

Par ailleurs, les éprouvettes qui ont servi aux essais et fourni les premiers résultats sur l'étude du retrait longitudinal des bois tropicaux, ont été choisies pour qu'elles ne présentent aucun défaut ou le moins de défauts possible. Il nous paraît par suite indispensable d'étudier la possibilité de transposer les résultats ainsi obtenus à des pièces de dimensions industrielles. Celles-ci, en effet, ne sont jamais sans défaut et elles ne manqueront pas dans la réalité d'en présenter qui ont une influence parfois directe sur le retrait longitudinal (fibre torse, contrefil, etc...). La Division d'ESSAIS ET EMPLOIS DES BOIS étudie actuellement un montage qui permettrait la mesure, dans le sens longitudinal, du retrait sur des pièces de grandes dimensions. Le but est de pouvoir mener très rapidement ces essais, parallèlement à ceux effectués par la méthode de laboratoire que nous venons de définir.

Enfin, si la méthode basée sur la mesure ponctuelle du retrait par des capteurs de déplacement, qui vient d'être décrite, a prouvé d'une part, que l'on obtenait des résultats particulièrement intéressants, et, d'autre part, qu'elle était très fiable, on a cependant noté un certain nombre d'erreurs causées par les déformations de quelques éprouvettes. Aussi envisage-t-on de continuer à rechercher, parallèlement aux études menées suivant les orientations que nous venons d'indiquer, à améliorer la méthode elle-même. On pourrait peut-être, au lieu de travailler sur deux surfaces de référence, qui ne conservent pas toujours leur orthogonalité de départ, essayer de le faire sur une seule génératrice en utilisant des éprouvettes de forme cylindrique.

De même, on espère pouvoir, dès 1979, entièrement automatiser le système de déplacement de l'éprouvette et contrôler l'acquisition des données par un ensemble bâti autour d'un système microprocesseur.

Telles apparaissent actuellement les orientations et les perspectives du programme de recherche sur le retrait longitudinal que nous souhaiterions mener rapidement de façon efficace, et qui a été retenu comme action prioritaire.

BIBLIOGRAPHIE

Propriétés Physiques et Mécaniques des Bois Tropicaux de l'Union Française par P. SALLENAVE (C. T. F. T.).

Principles of Wood Science and Technology. I. Solid Wood, par Franz F. P. KOLLMANN, W. A. Côté, In.

Influence of Fibril Angle on Longitudinal shrinkage of Parderose Pine Wood, R. A. COCKRELL.

Presence of tension wood in Mahogany in relation to longitudinal shrinkage, M. Y. PILLOW.

Anisotropie de retrait et structure du bois. Essai d'approche statistique, par A. MARIAUX et Ph. NARBONT, B. F. T., n° 178, 1978.