

ETUDE SUR QUELQUES BOIS TROPICAUX DES TENSIONS DE DÉSORPTION APPARAISSANT PENDANT LE RETRAIT PERPENDICULAIRE AUX FIBRES

par M. LAWNICZAK et J. RACZKOWSKI,

Chaire de Technologie mécanique du bois
de l'École Supérieure d'Agriculture de Poznan.

SUMMARY

A STUDY OF RESORPTION STRESSES DEVELOPED IN THE CONTRACTION OF CERTAIN TROPICAL WOODS

These researches aim at the determination of resorption stresses in wood while drying. The instrument specially constructed for this purpose has been used to measure resorption stresses by opposing their free manifestation. Results obtained show that stresses in the samples measured reach values between 27 and 66 kilogrammes per square centimetre. Increasing the tension in a radial direction increases the resorption stresses in the same anatomical direction.

RESUMEN

ESTUDIO DE LAS TENSIONES DE RESORCIÓN QUE SE PRODUCEN EN EL MOMENTO DE LA RETRACCIÓN DE CIERTAS MADERAS TROPICALES

El objeto de estas investigaciones consiste en determinar los esfuerzos de resorción en la madera durante el transcurso del secado. El aparato especialmente construido para estas investigaciones ha sido utilizado para determinar las tensiones de resorción oponiéndose a que pudiesen manifestarse libremente. Los resultados obtenidos demuestran que el valor de estos esfuerzos para las muestras utilizadas, quedan comprendidos entre 27 y 66 kg por cm². Con el aumento de los esfuerzos de tracción en dirección radial y los valores de los esfuerzos de resorción se aumentan, asimismo, en la misma dirección anatómica.

Dans certaines conditions, il existe dans le bois des tensions internes c'est-à-dire des tensions qui ne sont pas provoquées par l'action d'une force extérieure. On peut distinguer trois catégories de tensions :

- 1° les tensions biologiques,
- 2° les tensions dues à la chaleur,
- 3° les tensions dues à l'eau : tensions d'absorption et de désorption.

Les tensions biologiques sont celles qui apparaissent dans l'arbre au cours de sa croissance. JACOBS, CLARK, KUZNIECOW, PERKITNY, MAYER-WEGELIN, entre autres, se sont penchés sur ce problème. Leurs recherches ont montré l'existence de ces tensions et leur distribution dans le bois. Des recherches plus poussées offriront certai-

nement des données quantitatives permettant de déterminer le rôle de ces tensions dans la structure et la forme de l'arbre ainsi que la répartition des qualités de bois en fonction de sa hauteur.

Le bois sec, comme tout autre matériau, se dilate quand la température s'élève. On a démontré dernièrement que le bois humide réagit différemment pendant l'échauffement. Lorsque la dilatation ou le retrait dus à la chaleur s'arrêtent, des tensions internes apparaissent. L'état actuel des méthodes de recherche rend les expérimentations en cette matière particulièrement difficiles, d'où, probablement, l'absence de données quantitatives dans la littérature en ce qui concerne les tensions internes dues à la chaleur.

L'action réciproque des bois et de l'eau est à la base d'une autre catégorie de tensions internes.

Dans le bois sec existe un certain potentiel énergétique qui dépend des liaisons réciproques et des distances minimales des éléments anatomiques du bois. Quand l'humidité du bois s'accroît, cette énergie peut apparaître sous forme de gonflement accompagné du dégagement d'une certaine quantité de chaleur. Par contre, lorsque le gonflement est inhibé, cette énergie peut se libérer sous forme de tensions d'absorption appelées pression de gonflement. Les recherches sur cette pression de gonflement ont surtout été faites par PERKITNY, IVANOW et RACZKOWSKI qui ont défini ce phénomène et l'ont analysé quantitativement en fonction de l'essence et sous l'influence de divers facteurs.

Quand l'humidité du bois diminue, au fur et à mesure du départ de l'eau hygroscopique, les forces d'attraction entre les éléments anatomiques du bois augmentent. Lorsque durant le séchage, aucune force extérieure n'intervient, on se trouve en présence du retrait libre. Si ce retrait est inhibé d'une manière quelconque, des tensions de désorption apparaissent dans le bois. A notre connaissance, hors une courte mention dans le travail d'UGOLIEW, il n'existe pas, dans la littérature, de données expérimentales quantitatives sur ces

tensions internes de désorption s'exerçant perpendiculairement aux fibres.

C'est un fait connu que dans la première phase de séchage du bois, il se produit des tensions dans les zones superficielles par suite de l'inégale répartition de l'humidité sur la coupe transversale. Mais, au cours de la période finale du séchage, des tensions de même signe apparaissent dans la zone centrale, appelées tensions résiduelles, provoquées par des déformations plastiques dans la coupe transversale grâce aux qualités d'élasticité et de viscosité du bois et dues au dessèchement du bois en état de tension. Ces tensions accompagnent le fait généralement connu d'« encrouement » du bois. Le rétrécissement non uniforme des différents éléments anatomiques du bois exerce sans doute une influence sur la formation des tensions de désorption.

Les tensions de désorption perpendiculaires aux fibres qui prennent naissance au cours du séchage, provoquent la fente du bois. Comme la connaissance de ces tensions a une valeur pratique et théorique très importante, les auteurs ont cherché à déterminer quantitativement, d'une manière expérimentale, les tensions de désorption qui se produisent au cours du retrait perpendiculaire aux fibres dans le bois de certaines essences tropicales en provenance de l'Afrique Occidentale.

MÉTHODE ET DESCRIPTION DES RECHERCHES

Avant de fixer la méthode de recherches, il faut définir les tensions de désorption. On appelle tension de désorption provoquée par le retrait linéaire du bois, la contrainte qu'il faut faire subir au bois au cours du séchage pour maintenir constante la dimension parallèle à la direction de cette tension.

Pour la réalisation de ces expériences, on a construit un appareil spécial, présenté schématiquement sur la figure 1, et permettant de résoudre simultanément les deux problèmes suivants :

- a) le séchage du bois à l'air à une température donnée,
- b) l'application, au bois, d'une charge maintenant constante sa dimension initiale, autrement

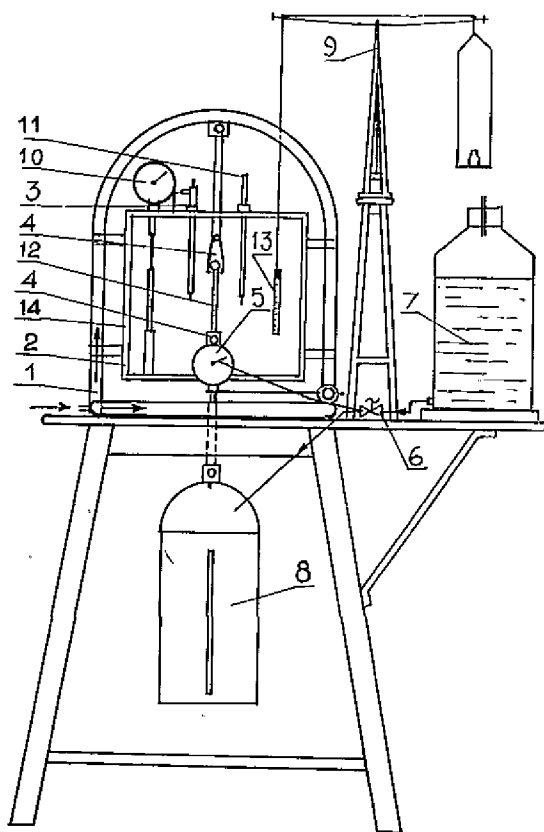


Fig. 1

FIG. 1. — Schéma de l'appareillage de recherches : 1) porte-échantillon ; 2) séchoir électrique ; 3) système du réglage de la température ; 4) mâchoires de tenailles ; 5) comparateur commandant la vanne électro-magnétique ; 6) vanne électro-magnétique ; 7) réservoir d'eau ; 8) bassin de chargement ; 9) balance de laboratoire ; 10) comparateur, mesurant la rétractibilité de l'éprouvette ; 11) thermomètre de contrôle ; 12) échantillon dont les tensions de désorption sont l'objet de l'étude ; 13) éprouvette-jumelle pour apprécier la diminution du taux d'humidité ; 14) éprouvette de contrôle pour évaluer le retrait.

dit, d'une charge rendant impossible son retrait linéaire.

Afin d'éliminer l'influence possible sur les résultats des mesures, de la dilatation thermique des éléments de l'installation, ceux-ci ont été exécutés en acier invar dont le coefficient de dilatation thermique est presque nul dans l'intervalle de température 40 à 100° C.

L'éprouvette destinée aux recherches a été fixée entre les mâchoires de tenailles dans un séchoir électrique et on lui a appliqué une tension de 1 Kg/cm². Ensuite, on a réglé la position du comparateur (5) de façon à amener l'aiguille sensiblement au milieu de l'échelle. Sur le verre du comparateur on a installé un contact électrique; l'aiguille, en se déplaçant, ferme le circuit électrique commandant une vanne électromagnétique. La dimension de l'éprouvette est maintenue constante de la façon suivante : un retrait de 0,02 mm de l'éprouvette provoque un déplacement de l'aiguille suffisant pour fermer le contact électrique; la vanne électromagnétique (6) s'ouvre et de l'eau s'écoule dans le récipient de chargement (8) jusqu'à ce que l'éprouvette ait repris sa dimension initiale. Le retour de l'aiguille à sa position de départ, en coupant le circuit, ferme la vanne et arrête l'écoulement de l'eau. De cette façon, la dimension de l'éprouvette a pu être maintenue constante malgré la dessiccation.

Afin de suivre en même temps l'abaissement du taux d'humidité du bois on a suspendu au bras d'une balance, dans le séchoir, une éprouvette jumelle (13) c'est-à-dire une éprouvette taillée dans le bois au voisinage de l'éprouvette d'expérience.

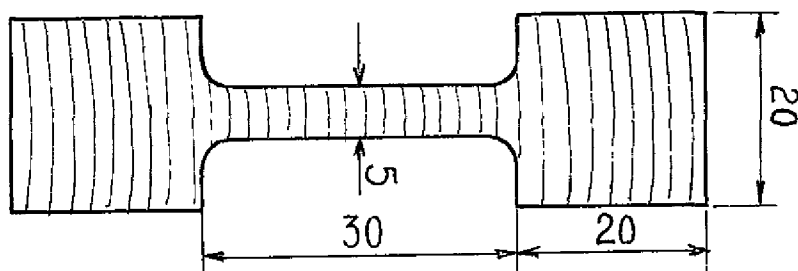


FIG. 2. — Forme et dimensions des éprouvettes destinées à l'étude des tensions de désorption.

Pour déterminer le % de retrait libre on a placé une autre éprouvette de contrôle dans le séchoir entre le pied d'un comparateur et la base en acier invar (14).

Suivant la définition adoptée ci-dessus, on a appelé tensions de désorption dues au retrait linéaire du bois, les tensions s'opposant au retrait pendant la dessiccation. Pour calculer ces tensions (quotient de la charge par la surface de la coupe transversale de l'éprouvette) on a pris la surface de la coupe de l'éprouvette au début de l'expérience.

Les recherches ont porté sur quelques essences tropicales énumérées dans le tableau 1. Pour obtenir une dessiccation uniforme sur toute la surface de la coupe transversale, on s'est servi d'éprouvettes de petite section (5 × 5). La forme et les dimensions des éprouvettes sont représentées à la figure 2. L'élargissement des bouts d'éprouvette avait pour but d'assurer une fixation aussi solide que possible dans les mâchoires des tenailles sans pour autant détériorer l'éprouvette. Les éprouvettes employées ont été taillées, pour les différentes espèces de bois étudiées, dans des couches de cernes analogues. Pour obtenir une humidité initiale uniforme corres-

TABLEAU 1. — CERTAINES PROPRIÉTÉS D'ESPÈCES DU BOIS, EMPLOYÉES POUR ÉTUDES

Essences	Noms scientifiques	Propriétés du bois		
		Poids spécifique humidité = 0 %	Dureté d'après Brinell	Résistance contre l'extension direction radiale
		g/cm ³	kG/mm ²	kG/cm ²
Kokrodua	<i>Afromostia elata</i> HARMS	0,75	8,7...10,3...11,6	118 ± 3,7
Dibétou	<i>Lovoa klaineana</i> PIERRE	0,56	4,9...5,2... 5,5	87 ± 3,6
Acajou d'Afrique	<i>Khaya ivorensis</i> A. CHEV.	0,52	2,8...3,2...3,4	75 ± 3,2
Tola	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i> HARMS.	0,52	2,1...2,2...2,3	41 ± 2,5
Framiré	<i>Terminalia ivorensis</i> A. CHEV.	0,41	2,5...2,8...3,0	41 ± 2,1
Abura.....	<i>Mitragyna citrata</i> AUBRÉV. et PELLEGR.	0,40	2,4...2,6...2,7	40 ± 1,4

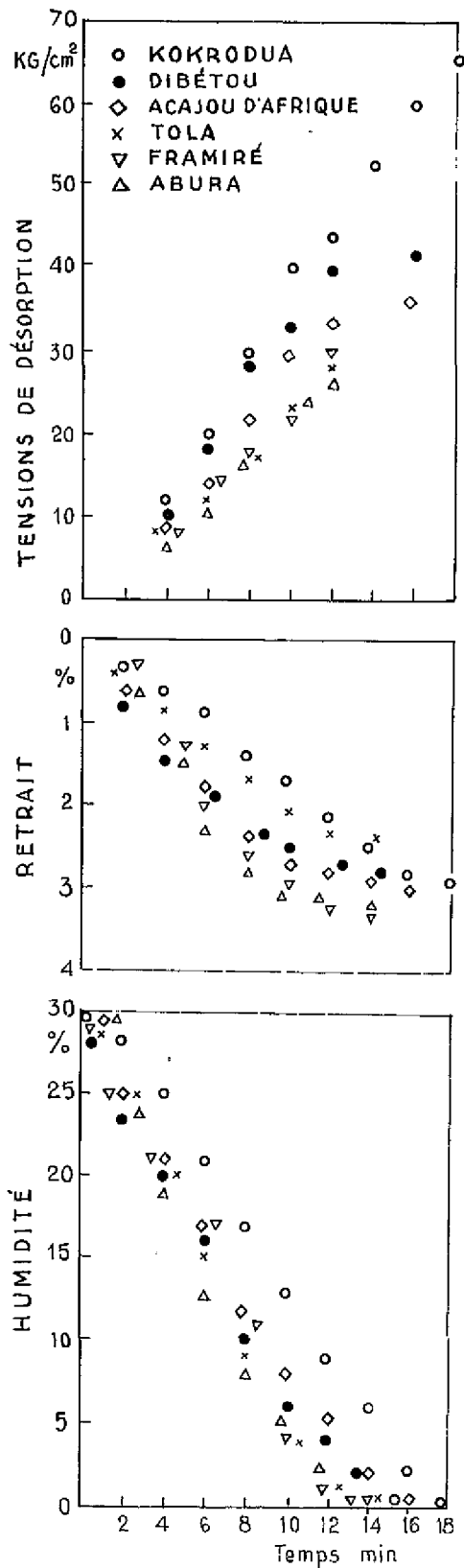


Fig. 3

pendant à peu près au point de saturation de la fibre c'est-à-dire 30 %, on a placé les éprouvettes dans une atmosphère climatisée à 97 ± 2 % d'humidité relative et à une température de $20 \pm 2^\circ$ C pendant 30 jours.

Les expériences ont été conduites dans une atmosphère ayant une température de $100 \pm 2^\circ$ C et une humidité variant régulièrement de 40 à 10 % entre le début et la fin de l'expérience.

RÉSULTATS DES RECHERCHES ET CONCLUSIONS

Les résultats des recherches sur la détermination des tensions radiales de désorption sont présentés dans le tableau 2. Ce tableau contient en outre la résistance à la traction (moyenne de 10 mesures) et le taux maximum de rétractibilité du bois étudié (moyenne de 3 mesures). Les taux maxima de rétractibilité radiale des espèces étudiées ne dépassent pas l'ordre de grandeur trouvé par SALLENAVE.

La comparaison des valeurs maxima des tensions de désorption trouvées par les auteurs avec les données de la littérature (52 Kg/cm^2 , 37 Kg/cm^2) met en évidence la convergence des résultats.

En analysant les résultats particuliers des expériences, on peut constater que les valeurs maxima des tensions de désorption dépendent de la résistance à la traction dans la même direction. Par contre, ces valeurs ne dépendent pas du taux maximum de la rétractibilité libre de même que les tensions maxima d'absorption sont indépendantes du taux de gonflement.

Les bois, dont la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres est élevée, présentent au cours du séchage des tensions de désorption élevées.

Comme il ressort de la 4^e colonne du 2^e tableau, le rapport entre résistance à la traction et tension de désorption varie, pour les espèces étudiées, de 1,4 à 2,1. Il existe une relation similaire entre la résistance à la compression de flanc et la pression de gonflement.

La figure 3 représente les variations des tensions de désorption, de la rétractibilité libre et du taux d'humidité en fonction du temps de séchage. On constate que les tensions de désorption augmentent au fur et à mesure de la diminution du taux d'humidité. Elles sont maxima lorsque le taux d'humidité est voisin de zéro. En admettant grosso modo l'existence d'une relation linéaire entre la diminution du taux d'humidité (dans les limites de 30 à 0 %) et l'augmentation des tensions de désorption, on peut calculer l'augmentation de ces tensions en fonction de la diminution du 1 % du taux d'humidité. Cette augmentation se situe, pour les espèces étudiées, entre 0,9 et 2,2 Kg/cm^2 .

Fig. 3. — Influence du temps de séchage sur les tensions de désorption.

TABLEAU 2. — TENSIONS DE DÉSORPTION SE MANIFESTANT AU COURS DU SÉCHAGE DU BOIS
 DEPUIS UNE HUMIDITÉ DE 30 % JUSQU'À LA DESSICCATION COMPLÈTE
 À TEMPÉRATURE DE 100° C.

Essences	Tensions de désorption	Résistance à la traction	Taux maximum de rétraction	Rapport entre la résistance à la traction et la tension de désorption
	direction radiale			
	kG/cm ²	kG/cm ²	%	
Kokrodua	66,4	118	2,9	1,8
Dibétou	42,0	87	2,8	2,1
Acajou d'Afrique	36,0	75	3,0	2,1
Tola	28,0	41	2,4	1,5
Framiré	29,6	41	3,3	1,4
Abura	27,4	40	3,2	1,5

Conformément à la théorie générale des tensions SCHNIEWIND classe celles qui se forment dans le bois au cours du séchage selon leur origine.

1° Les tensions de premier ordre, à l'échelle de la cellule, résultant de la réaction réciproque des couches des parois cellulaires ayant des rétractibilités différentes,

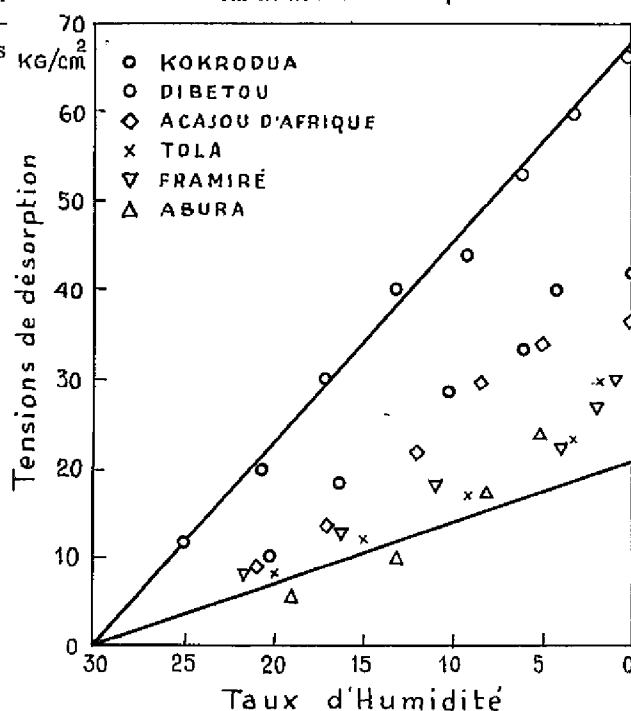
2° les tensions de deuxième ordre, à l'échelle de la couche d'accroissement annuel résultant de l'action réciproque de tissus particuliers ayant des rétractibilités différentes,

3° les tensions de troisième ordre qui se forment dans un élément de bois composé de plusieurs couches annuelles par suite de la perte d'humidité au cours du séchage, des différences de rétractibilité des zones particulières des couches annuelles ou des différences de rétractibilité des zones caractérisées par des structures anatomiques diverses (exemple : bois réactif et bois normal).

Si on ne considère que le cas où la perte de l'humidité du bois est uniforme, les tensions de troisième ordre sont des tensions de type constant qui, au fur et à mesure du séchage du bois, atteignent leur valeur maximum lorsque le taux d'humidité est voisin de 0 %. Ceci en opposition avec les tensions transitoires qui atteignent, à un certain stade du séchage, leur valeur maximum et disparaissent ensuite dès que le bois atteint le même taux d'humidité dans toute sa masse. Généralement l'élément de base, dans les limites duquel se manifestent les tensions de troisième ordre, est constitué par l'éprouvette toute entière : c'est la raison pour laquelle les tensions étudiées ici peuvent être qualifiées de tensions de troisième ordre. Elles sont le résultat de tout un complexe de phénomènes physiques qui se produisent au cours du séchage et sont liées à la structure physico-chimique, à l'anisotropie du bois et à la façon non uniforme dont il perd son humidité. L'accroissement des forces de liaison entre les éléments constitutifs du bois au fur et

à mesure de la perte de l'eau hygroscopique ainsi que l'apparition de nouvelles liaisons secondaires, surtout dans la zone amorphe, sont une des raisons principales de la formation de ces tensions. D'après Campbell, les tensions potentielles d'attraction des fibres au cours du séchage du papier peuvent atteindre 3.000 atmosphères. SCHNIEWIND a calculé que les tensions potentielles maxima, surtout celles de 1^{er} ordre, peuvent atteindre des valeurs fantastiques (40.000 Kg/cm²). La manifestation de ces énormes tensions est possible dans le matériel massif de la paroi cellulaire, à l'exclusion des espaces libres et seulement dans l'état de complète siccité. Au contraire, les processus de relaxation

FIG. 4. — Influence de la diminution de l'humidité sur les tensions de désorption.



REMARQUE. — Sur le graphique, ci-dessus, le Dibétou est représenté par la ligne inférieure des petits cercles.

qui empêchent la formation de tensions potentielles maximum de désorption se manifestent bien avant la fin du séchage, ce qui est une conséquence des propriétés rhéologiques du bois. Dans le cas étudié, la relaxation des tensions est d'autant plus élevée qu'elle a lieu au cours du séchage du bois. Ainsi, les observations effectuées en Australie, au Japon, en Pologne montrent que la relaxation et le fluage sont plus importants pendant l'humidification et le séchage que dans le cas où le même bois se trouve en état d'équilibre avec le milieu ambiant.

Il résulte du fluage et de la relaxation que les tensions de désorption trouvées expérimentalement ne constituent qu'une petite partie des tensions qui peuvent théoriquement se manifester dans le matériau constituant la paroi cellulaire.

Les expériences effectuées ont montré qu'il est possible de freiner complètement le retrait du bois dans la direction radiale. Autrement dit qu'il est possible d'obtenir des éprouvettes complètement sèches ayant les mêmes dimensions que lors de leur gonflement maximum. Mais alors, les mesures ont montré que le retrait tangentiel (perpendiculaire au retrait radial freiné) est plus élevé que pour les échantillons à retrait libre. Des mesures ultérieures qui devront être exécutées avec précision,

montreront si pendant le séchage du bois soumis à des tractions, son volume augmente effectivement ou si cet accroissement n'est qu'apparent.

La formation et le développement des tensions propres dans le bois en cours de séchage sont un processus typiquement rhéologique comme il est dit plus haut. RZAMICYN, à l'aide de la mécanique des systèmes viscoélastiques, a essayé d'exprimer analytiquement les tensions formées, en cours de séchage, dans une plaque pour laquelle toute possibilité de déformation libre a été éliminée. Les propriétés rhéologiques du bois dans un sens perpendiculaire aux fibres ne sont pas, actuellement, suffisamment connues, surtout leurs variations sous l'influence des changements de conditions de température et d'humidité du milieu. Dans ces conditions, il n'est pas possible pour le moment d'effectuer des comparaisons entre les valeurs des tensions de désorption obtenues expérimentalement et celles calculées par des méthodes analytiques. Il faut espérer que des travaux ultérieurs relatifs aux méthodes de détermination des constantes rhéologiques du bois ainsi qu'à la définition quantitative de leur valeur sous l'influence de divers facteurs permettront d'établir une théorie plus complète des tensions de désorption du bois.

