

Utilisation du hêtre en charpente

Autor(en): **Gehri, Ernst / Dubas, Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **110 (1984)**

Heft 20

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75349>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Malheureusement, cet édifice ne trouva pas d'affectation permanente après l'Exposition.

Vers l'Expo 1991

Vingt ans nous séparent de cette époque euphorique. L'optimisme et le lyrisme de l'Expo 64 devait montrer au monde la confiance que la Suisse avait en l'avenir. Dans ce même élan, la filière du bois avait su prendre les risques qu'une telle manifestation imposait. Pourtant, cet

enthousiasme ne put se prolonger dans les deux décennies qui suivirent. La facilité du commerce, l'insouciance générale en matière d'écologie et le développement rapide des matériaux de substitution firent progressivement oublier l'exemple des audacieuses constructions en bois de cette époque.

Les innombrables lois, normes et prescriptions en matière de construction ont également pénalisé les grands créateurs en général et le bois en particulier. Dans ce climat d'indifférence, le bois n'en est

pourtant pas resté à jouer les matériaux d'ornement, rustiques et sympathiques. La recherche sur le bois s'est développée et affermie pour offrir aux ingénieurs et architectes, toujours mieux informés sur le bois, des systèmes constructifs convaincants et compétitifs.

Le public, de son côté, a pris conscience de son environnement et a redécouvert la complexité des règles naturelles qui nous régissent. Cette nouvelle vision globale, illustrée récemment par le problème des dommages aux forêts, devrait constituer une base solide pour la justification de l'utilisation du bois en général. Mesurée à l'enthousiasme passager de 1964, la profondeur de la sensibilité actuelle pour les questions d'éco-biologie est plus favorable à long terme pour cette matière première renouvelable qu'est le bois. Dans l'optique des préparatifs à l'Exposition nationale de 1991 en Suisse centrale, et en dépit du climat économique tendu, les Associations de l'économie du bois devront tenir compte de ce changement de mentalité, afin de mobiliser toutes les énergies disponibles.

Adresse de l'auteur :
Philippe Vollichard
Ingénieur forestier SIA
Lignum
En Budron H
1052 Le Mont

Utilisation du hêtre en charpente

par Ernst Gehri et Pierre Dubas, Zurich

Propos liminaires

Hêtre ou pas hêtre ? Telle est la question quasi shakespearienne que posait M. Ph. Stroot en tête d'un article consacré aux recherches effectuées à l'EPFZ [1]¹. On n'ignore pas que le hêtre ne joue qu'un rôle mineur en charpente bien que cette essence peuple plus d'un cinquième de la superficie occupée par la forêt suisse. La densité à sec de ce feuillu, et par conséquent ses propriétés mécaniques, dépassent pourtant d'une bonne moitié celles des résineux courants. De plus, la dispersion des caractéristiques est relativement étroite (voir par exemple [2]). On ne cachera toutefois pas le revers de la médaille : le hêtre est nerveux ; il travaille nettement plus que les résineux, avec un coefficient de retrait volumique atteignant près de 0,7 % pour une variation de 1 % de la teneur en eau du bois. On constate donc une tendance marquée à la formation de fentes, ce qui exclut la mise en

œuvre de bois équarris de section importante. Pour le lamellé-collé, par contre, les difficultés sont surmontables. C'est ce genre d'applications que nous souhaitons présenter.

But des recherches entreprises

On se propose de promouvoir l'utilisation du hêtre en charpente, ceci dans les domaines où l'emploi de ce matériau à haute résistance ouvre des perspectives nouvelles. On atteindra par là les cibles suivantes :

- valeur accrue du bois de hêtre, plus particulièrement par rapport aux essences traditionnelles comme l'épicéa et le sapin ;
- ce meilleur rendement devrait encourager le repeuplement de nos forêts avec une proportion de hêtre plus élevée, ce qui est hautement souhaitable du point de vue écologique ;
- compétitivité de la construction en bois améliorée grâce à la mise en œuvre d'un matériau à haute résistance ;

- développement de techniques nouvelles et perfectionnement des procédés existants ; dans le jargon actuel, on parlerait d'innovations et des impulsions qui en découleront.

Les résultats déjà obtenus ont rempli les attentes les plus optimistes, tout au moins en ce qui concerne l'efficacité, sur le plan technique, des dispositions étudiées. Il reste cependant encore à prouver que cette application du hêtre est aussi valable sur le plan économique : les expériences acquises lors de la fabrication de charpentes prototypes montrent en effet qu'il ne faut pas sous-estimer les travaux de préparation et de collage. La difficulté réside d'abord dans le manque d'entraînement des entreprises pour ces applications spéciales. De plus, il reste à établir quelles sont les technologies les mieux adaptées, ce qui requiert une extension des travaux de recherche appliquée.

Situation actuelle

Aujourd'hui, seule la chaire de Statique appliquée et de construction métallique de l'EPFZ s'attache au développement des structures en hêtre. Les sommes mises à disposition par la collectivité sont malheureusement très limitées. En particulier, les milieux de la sylviculture et de l'industrie du bois ne pèchent pas par excès d'enthousiasme, le hêtre ne faisant pas le poids sur le plan purement économique !

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

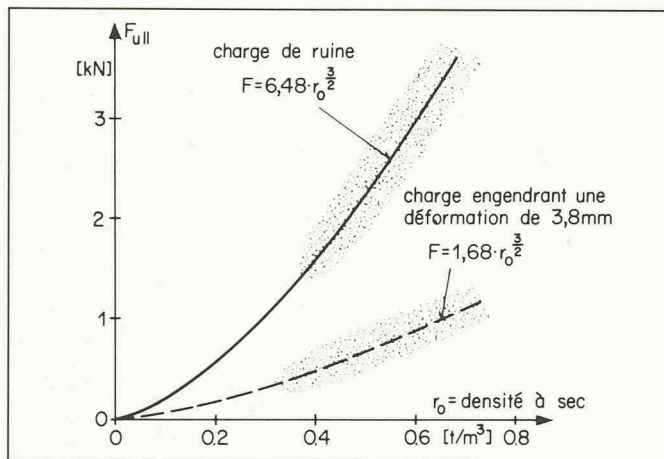


Fig. 1. — Efforts par clous travaillant au cisaillement, en fonction de la densité à sec du bois.

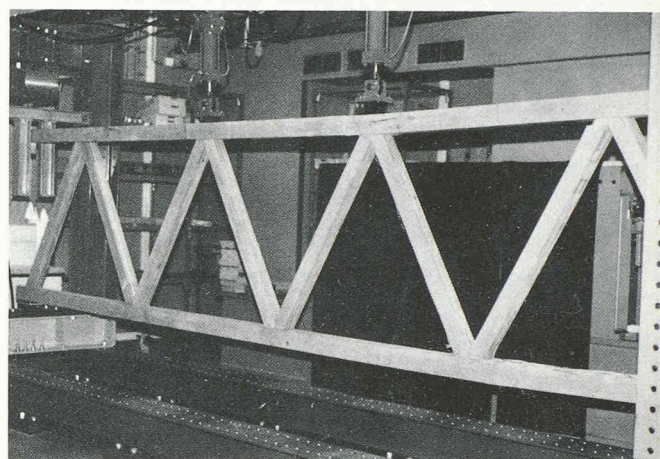


Fig. 2. — Poutre à treillis en cours d'essai à l'EPFZ; portée 6 m, hauteur 1,3 m.

On s'est donc limité à des recherches isolées, destinées avant tout à permettre certaines réalisations pratiques. Quelques entreprises ont participé à ces travaux, en livrant gracieusement les pièces à essayer. Comme les résultats expérimentaux sont spécifiques aux applications envisagées, ils ne se laissent guère généraliser et par là rendent une publication malaisée à cause des méprises qui pourraient en résulter. Pour pallier cet inconvénient, il suffirait cependant de disposer des moyens financiers nécessaires, d'ailleurs assez limités.

Utilisation du hêtre dans les poutres à treillis

Pour un système réticulé, le problème principal à élucider est celui des nœuds. Les conditions géométriques données limitent souvent la densité des moyens d'assemblage et empêchent ainsi d'utiliser pleinement la résistance des barres attachées.

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, la résistance parallèle aux fibres, en traction, compression ou flexion, dépasse pour le hêtre d'environ 50% celle des résineux (épicéa et sapin). Pour une sollicitation perpendiculaire aux fibres et, dans une moindre mesure, pour le cisaillement, l'augmentation est encore bien supérieure, par suite de la structure anatomique différente. La figure 1, fondée sur des résultats tirés d'un travail publié en 1950 [3], montre la supériorité marquée des bois à densité élevée en ce qui concerne la résistance des assemblages. Ces enseignements ont été confirmés par des essais entrepris sur des barres en épicéa et en hêtre [4], ce qui a encouragé à passer à des poutres à treillis en vraie grandeur (fig. 2).

Pour des raisons compréhensibles, la longueur des poutres a été limitée à 6 m, mais leur hauteur et la section des barres correspondent à des portées de l'ordre de 15 à 18 m. Pour deux poutres les barres sont en hêtre, pour seize autres, en épicéa (bois équarris ou lamellés-collés), avec des dispositions aux nœuds diverses. La figure 3 résume les résultats expérimentaux ; pour des indications détaillées, on consultera les publications [5] et [6].

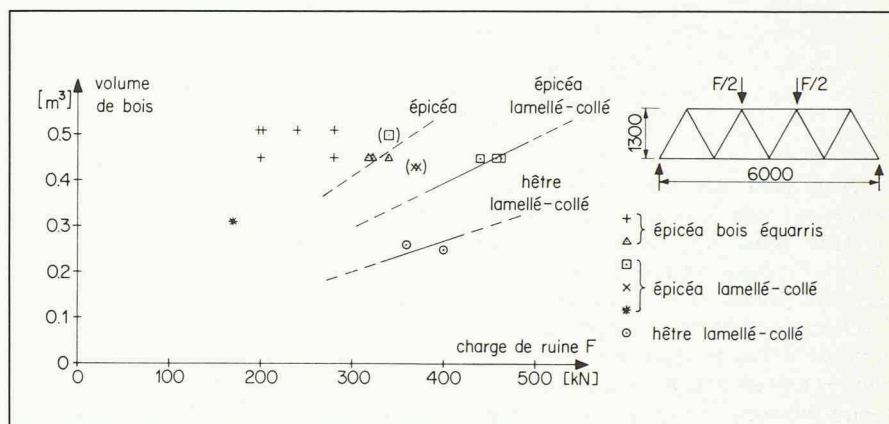


Fig. 3. — Charges de ruine par m³ de bois.

taux ; pour des indications détaillées, on consultera les publications [5] et [6].

A sections identiques, les poutres à treillis en hêtre portent au moins 50% de plus que celles en épicéa. A charges égales, on économise donc un tiers du volume de bois. De plus, le nombre de moyens d'assemblage est réduit de moitié, avec une diminution correspondante des goussets d'attache métalliques. La fabrication des barres en hêtre lamellé-collé est certes sensiblement plus onéreuse mais, au total, la solution reste économiquement valable pour des structures hautement sollicitées.

Il restait à étudier le comportement à long terme de poutres de ce genre, en particulier sous l'influence des conditions climatiques. Dans le cadre d'une toiture érigée à l'EPF-Hönggerberg, on a construit en 1982, avec le concours de diverses entreprises de charpente, un entrepôt ouvert sur ses quatre pans. La charpente comporte trois fermes portant sur 12 m et espacées de 5 m. Toutes les barres sont en hêtre, avec des sections de 160/160 mm pour la membrure supérieure et de 100/100 mm pour la membrure inférieure et la triangulation (lames collées à la résorcine). Les poteaux métalliques sont arti-

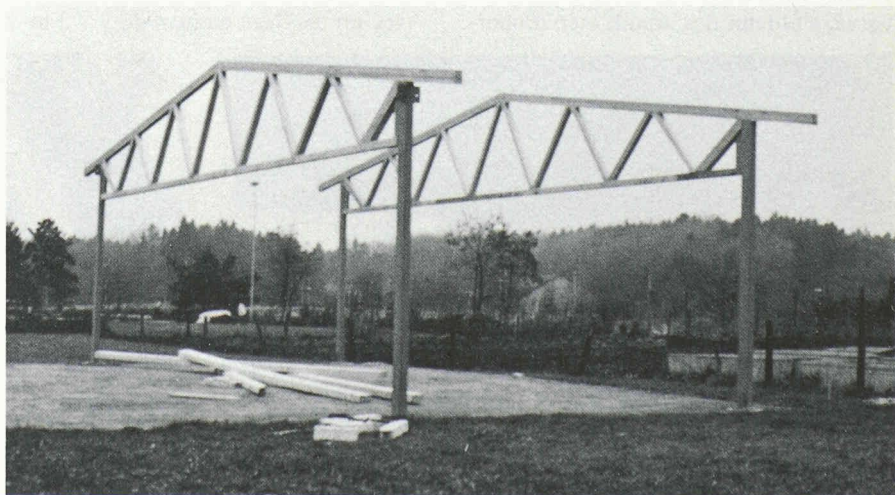


Fig. 4. — Halle prototype en cadres biarticulés. Poutres à treillis formées de barres en hêtre lamellé-collé.

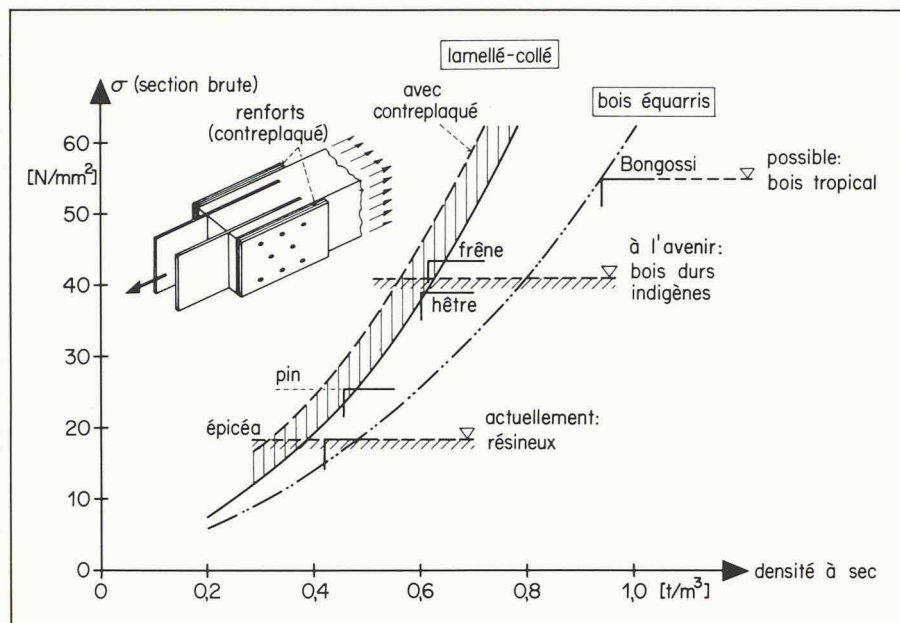


Fig. 5. — Augmentation de la charge supportée par des attaches tendues en fonction de la densité à sec du bois. Toutes les barres ont les mêmes dimensions, avec des contraintes calculées en section brute.

culés au pied mais liés rigidement aux fermes, à l'aide de broches. La structure travaille donc en cadres biarticulés, comme l'indique la figure 4, prise avant la pose des pannes et de la couverture. La charpente est certes abritée, mais reste soumise à des fluctuations d'humidité élevées tout au long des saisons. Les éléments ont reçu à cet effet un traitement de surface classique. Ils se sont bien comportés jusqu'à maintenant.

Treillis spatiaux

On a rarement utilisé le bois pour réaliser des treillis spatiaux. Les sections des barres sont en effet importantes, ce qui conduit à des nœuds de grandes dimensions, à la fois disgracieux et dispendieux. Pour remédier à ces inconvénients, il fallait pouvoir accroître les contraintes tant des barres que de leurs attaches, tout en assurant une réalisation économique des nœuds.

L'utilisation d'essences à haute densité, c'est-à-dire à résistance élevée, permet de réduire les sections des barres (fig. 5) et, par là, d'obtenir des nœuds bien propor-

tionnés, même pour des efforts élevés. Il faut bien entendu disposer d'une attache bois-acier à la fois efficace et économique ainsi que d'une connection aux nœuds garantissant un montage simple et rapide (fig. 6).

On a réalisé en 1982 le prototype de treillis spatial visible à la figure 7; cette structure a été soumise à de nombreux essais, jusqu'à la ruine (voir [7]). Les barres les plus sollicitées sont en hêtre, les autres en épicéa.

On a par la suite perfectionné le système d'attache, en particulier pour simplifier la fabrication des pièces métalliques et pour garantir un arrangement optimal des broches assurant la liaison bois-acier. Ces mesures permettent de réaliser des barres portant 350 kN en service. A l'aide de ce système élaboré à la chaire de Statique appliquée et de construction métallique, on construit actuellement l'ossature spatiale d'une halle polyvalente à Arbon [8]. La structure couvre, sans appuis intérieurs, une aire de 27 × 45 m. La charge totale introduite dans les calculs s'élève à 300 kg/m² (3 kN/m²).

Avec un maillage en plan de 3 × 3 m et

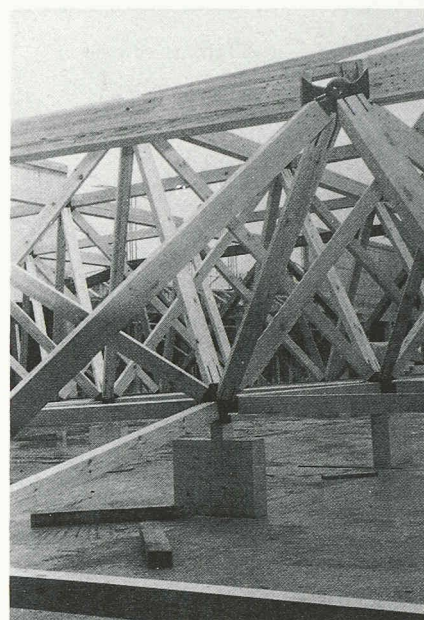


Fig. 8. — Halle polyvalente d'Arbon en cours de montage.

une hauteur de 2,5 m, les sections ne dépassent pas 180 × 180 mm ou 140 × 200 mm respectivement, malgré la charge élevée et les flexions supplémentaires des membrures supérieures, recevant directement la couverture. On a utilisé pour la charpente 50 m³ de bois, dont 1/3 de hêtre pour les pièces les plus sollicitées. En tartinant sur la surface du sol, on obtient une épaisseur correspondant à un platelage de 40 mm seulement!

La figure 8 montre la charpente à fin juin 1984, en cours d'assemblage au sol avant le levage.

Poutres en lamellé-collé

Pour des éléments fléchis réalisés en bois lamellé-collé, il sera indiqué d'utiliser des lames en feuillu, spécialement pour les zones extérieures. Par rapport aux sections homogènes, ne comportant que des lames en hêtre, les sections hybrides, avec des résineux dans la région du noyau, présentent un intérêt évident. La figure 9 résume les résultats des essais effectués sur une série de poutres de 120 × 500 mm de section.

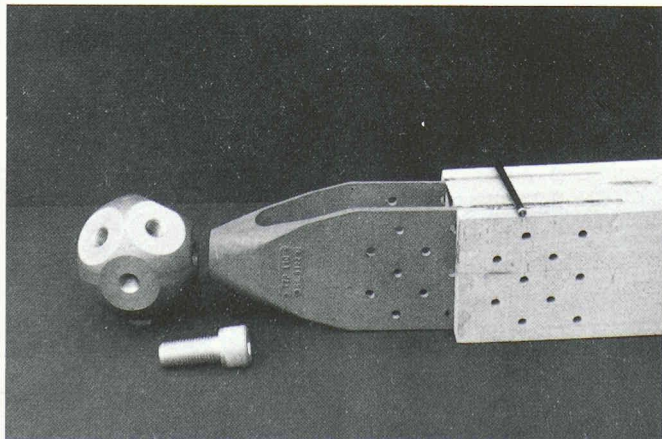


Fig. 6. — Pièces d'attache d'un treillis spatial : sphère, boulon, fourche, broches et barre en hêtre.

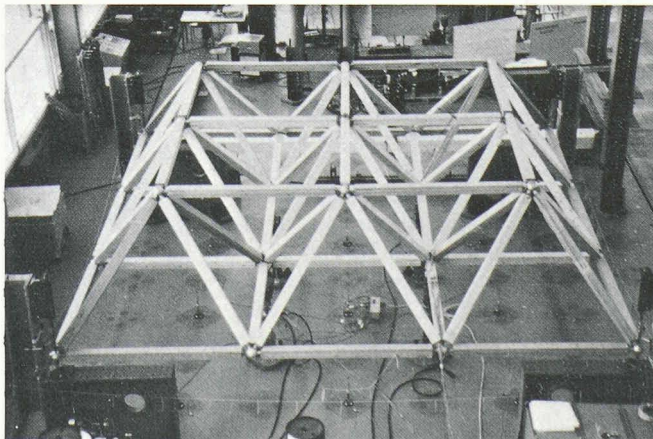


Fig. 7. — Treillis spatial formé de barres longues de 2,4 m, section 120 × 120 mm, pour les plus sollicitées en hêtre; charge de ruine 1200 kN.

Bibliographie

- [1] STROOT Ph., *Le bois de hêtre vaut mieux que le feu des cheminées!* 24 Heures, 31 décembre 1982, p. 24.
- [2] GEHRI E., *Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen.* Schweiz. Bauwirtschaft, 1980, H. 56, S. 14.
- [3] SCHOLTEN J., *Nail-holding properties of southern hardwoods.* Southern Lumberman 1950, S. 208-210.
- [4] GEHRI E./FONTANA M., *Betrachtungen zum Tragverhalten von Passbolzen in Holz-Holz-Verbindungen.* Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich, 1983.
- [5] GEHRI E., *Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern.* Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich, 1982.
- [6] GEHRI E., *Zur Berechnung und Bemessung von Fachwerkträgern mit Knotenplatten in eingeschlitzten Hölzern.* Schw. Ing. Arch. 1983, S. 145.
- [7] — : *Räumliche Tragstruktur aus Holz.* Schweizer Holzbau (1982), Heft 10, S. 31.
- [8] GEHRI E., *Neuartiger Stabrost in Holzbauweise.* Int. Ver. für Brückenbau und Hochbau, 12. Kongress Vancouver, 1984, Schlussbericht.

La mise en œuvre de lames en hêtre a permis d'augmenter considérablement la capacité portante. On remarquera que, pour les poutres hybrides, la rupture est partie du noyau en épicéa (cisaillement ou rupture dans les joints à entures multiples de la première lame tendue en épicéa).

Conclusions

Les recherches entreprises, bien qu'elles ne soient pas systématiques, prouvent que le lamellé-collé ouvre un débouché intéressant pour l'utilisation du hêtre en charpente.

Que reste-t-il à faire?

Les résultats obtenus permettent d'établir un programme de recherches et de développement détaillé, dans le cadre des contingences suivantes:

- concentration des moyens financiers pour résoudre les problèmes de caractère général, tout en étudiant sommairement les domaines spéciaux;
- les bases nécessaires au dimensionnement sont à assurer par des recherches expérimentales, en attachant une attention particulière au comportement à long terme;
- les études porteront sur des éléments de construction conçus et réalisés selon les usages de la pratique. On tiendra compte de l'influence des divers procédés de fabrication et on en déduira la technologie la plus appropriée;
- des ossatures prototypes, convenablement contrôlées, serviront à corroborer les expériences acquises en laboratoire.

Les moyens financiers à mettre à disposition sont sans doute justifiés et les sommes nécessaires peuvent être évaluées

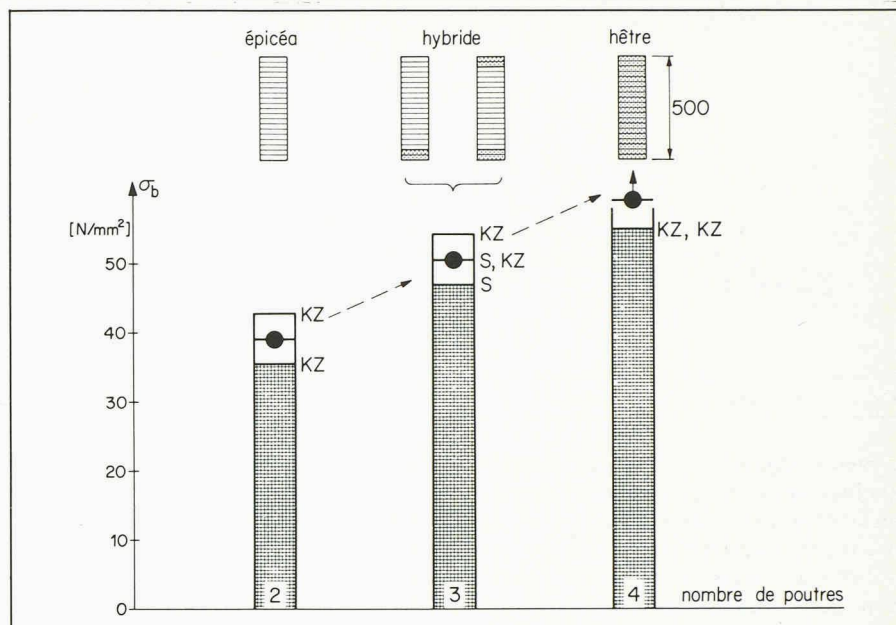


Fig. 9. — Accroissement de la résistance due à l'utilisation de lames à caractéristiques plus élevées, en particulier pour les zones extérieures tendues. KZ = ruine partant d'un joint à entures multiples; S = rupture par cisaillement (dans l'épicéa).

avec une précision suffisante. Il semble par contre malaisé de chiffrer le rendement des investissements ainsi engagés et, en particulier, de prévoir exactement le volume du marché en découlant. Même si ce débouché devait s'avérer limité, l'intérêt économique du lamellé-collé en hêtre ne doit pas être sous-estimé. A long terme, on en tirera les profits suivants:

- développements de technologies de pointe, requises pour la mise en œuvre du hêtre dans la construction. Cette contrainte peut sembler, au premier abord, restreindre l'application de cette essence; elle exercera cependant une influence favorable pour la charpente plus traditionnelle. Nous pensons ici spécialement aux contrôles de qualité du lamellé-collé: peu satisfaisants actuellement, ils portent préjudice à l'image de marque de ce produit;

- le hêtre possède des caractéristiques mécaniques plus performantes que celles des résineux, avec une majoration de l'ordre de 25 à 100% selon le genre de contraintes. Cette essence indigène convient donc parfaitement pour des éléments hautement sollicités; elle permet d'étendre le champ d'application des charpentes en bois, restreint jusqu'ici par la résistance limitée des résineux.

L'utilisation du hêtre en construction entraînera une plus-value appréciable pour ce produit de nos forêts. Il en résultera une retombée favorable tant pour la sylviculture que pour l'industrie du bois.

Adresse des auteurs:

Ernst Gehri, ing. civil SIA, assistant scientifique, et
Pierre Dubas, prof., dr. ès sc. techn., ing. SIA, chaire de statique appliquée et de construction métallique EPF Zurich

Le bois et les matériaux composites

par Jean-Pierre Marmier, Lausanne

Les problèmes énergétiques de ces dix dernières années ont provoqué un regain d'intérêt pour le bois. En effet, il s'agit d'un matériau renouvelable dont l'exploitation est de plus nécessaire à l'équilibre bien compris de nos forêts et par conséquent de notre environnement. Seule ombre au tableau: il est impossible de planifier la demande future car le cycle de croissance est de l'ordre de 70 à 100 ans pour la plupart des essences. Dans une société qui a déjà de la peine à planifier ses besoins immédiats à 1, 3 voire 5 ans, il

est utopique d'essayer de prévoir les utilisations potentielles du siècle suivant. L'homme est ainsi amené à tirer parti, en fonction de ses connaissances technologiques, des disponibilités du marché et de ses besoins, d'un matériau naturel se comportant d'une manière très diverse selon l'essence, son mode de mise en œuvre ou son utilisation.

Dans le domaine de la construction, il faut remarquer que le bois ne fait que sortir d'une ère moyenâgeuse. La charpente traditionnelle n'a subi que peu de chan-