

Contraintes de traction transversale dans les poutres lamellées-collées: directives pour la construction

Autor(en): **Marchand, Gustave E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 20

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73982>

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.

Contraintes de traction transversale dans les poutres lamellées-collées

Directives pour la construction

par Gustave E. Marchand, Lausanne

L'utilisation toujours plus fréquente du bois lamellé-collé dans les ouvrages de grande portée montre que les études relatives à la détermination des contraintes de traction transversale $\sigma_{z\perp}$ sont rares et donnent peu d'informations sur leur calcul. C'est pourquoi des programmes de recherche ont été mis sur pied tout récemment en Allemagne fédérale afin de mieux maîtriser ce problème et d'apporter des directives adéquates pour la construction. Le but du présent article est de rendre accessibles aux spécialistes de la branche quelques-uns des résultats obtenus jusqu'à ce jour, dans la perspective de la prochaine parution des nouvelles normes de construction en bois SIA 164.

Dans les anciennes normes, datant de 1953, le paragraphe traitant des contraintes admissibles perpendiculaires aux fibres mentionne :

« Les contraintes de traction doivent être évitées ».

Dans le projet de révision — SIA 164 E (novembre 1979) — les contraintes de traction transversale admissibles sont limitées à $\sigma_z = 0,15 \text{ N/mm}^2$ pour les bois lamellés-collés.

Le bois collé a l'avantage considérable de pouvoir être façonné aux dimensions désirées ; il est courant de faire des entailles et des évidements dans la poutre ou de lui donner une courbure, ce qui entraîne inévitablement des contraintes de traction perpendiculaire aux fibres. Ces contraintes dépassent fréquemment les contraintes admissibles, extrêmement limitées, et peuvent entraîner des dommages importants.

Cela ne doit toutefois pas être une raison pour renoncer au bois et porter son choix sur un autre matériau à seule fin d'éviter cette difficulté. Il est de loin préférable de déterminer ces contraintes transversales et s'y pallier par des dispositions adéquates.

Le présent article mentionne quelques possibilités de construction et quelques méthodes de calcul pour la détermination des contraintes transversales de traction dans différents cas usuels.

1. Entaille près des appuis

Souvent, le constructeur est obligé de recourir à des entailles dans les poutres à cause d'une limitation de hauteur près des appuis ou pour des raisons architectoniques.

Selon différentes sources [1]¹ [2] [3], la vérification des contraintes dans la section restante se limite au calcul de la contrainte tangentielle majorée suivante (fig. 1)

$$\tau_{\text{eff}} = 1,5 \frac{Q}{b \cdot h_1} \cdot \frac{h}{h_1}$$

Une étude plus poussée de Mistler [4] montre en revanche que les contraintes tangentielles restent du même ordre de grandeur que

$$\tau_{\text{eff}} = 1,5 \frac{Q}{b \cdot h_1}$$

et ne sont donc pas amplifiées par le facteur h/h_1 , (fig. 2).

La contrainte de traction transversale élevée au droit de l'entaille est déterminante pour la résistance ultime d'une poutre entaillée près des appuis. Cette remarque est confirmée par les dommages constatés dans la pratique.

Un meilleur comportement est obtenu par une entaille en biseau, comme le montrent les diagrammes des contraintes de la figure 2.

Outre les caractéristiques géométriques, les défauts du bois près des entailles ont une grande influence ; alors que les fissures de retrait et un bois altéré exercent une influence défavorable sur la résistance de la poutre, les nœuds apportent au contraire un effet favorable.

Pour éviter des pointes de contrainte au droit de l'entaille, il est possible d'arrondir les angles. Des essais [5] ont montré que ce n'est que pour des très grands rayons que la résistance ultime de la poutre est nettement améliorée. Une meilleure solution consiste à créer des entailles obliques (en biseau) qui donnent alors des résultats plus satisfaisants. Ainsi, la résistance obtenue par une entaille en biseau d'inclinaison $a/s = 1/5$ est augmentée de l'ordre de 50 % par rapport à une entaille perpendiculaire aux fibres. Les réflexions qui suivent se rapportent aux différents détails de construction concevables pour la reprise des efforts de traction transversaux aux fibres.

La figure 3 montre le renforcement d'une entaille par un boulon M 16 conformément aux normes DIN 1052.

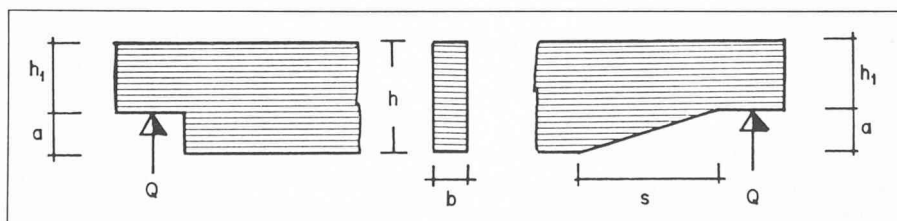


Fig. 1. — Entailles près des appuis.

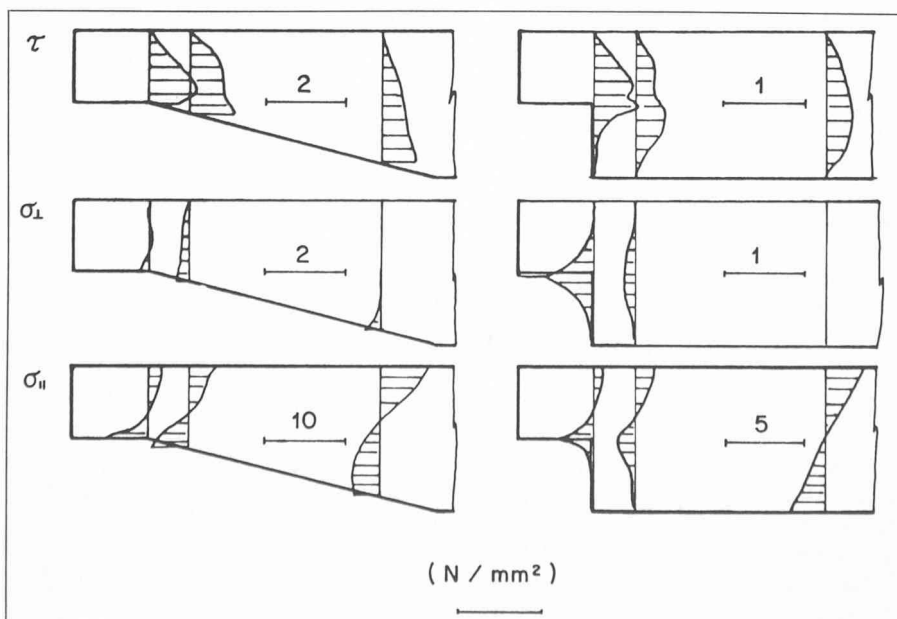


Fig. 2. — Répartition des contraintes près des entailles selon H. L. Mistler [4].

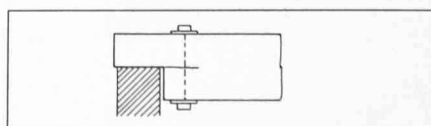


Fig. 3. — Renforcement de l'appui selon DIN 1052.

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

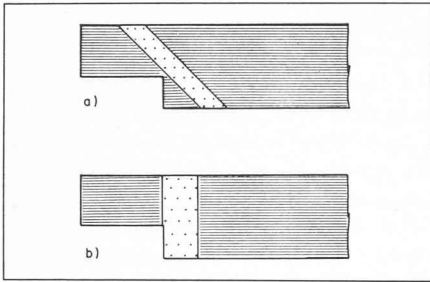


Fig. 4. — a) Renforcement par des tôles clouées en diagonale.
b) Renforcement par des tôles clouées verticalement.

ration obtenue correspond à peu près à une entaille en biseau. Toutefois, cette variante doit être évitée, car le boulon ne reprend pas suffisamment d'effort, étant donné qu'il ne peut être resserré : de plus son coût est élevé.

La solution comprenant des diagonales en tôle clouées (fig. 4a) permet une charge de rupture à peu près deux fois plus importante que celle correspondant à l'entaille non renforcée. Il est nécessaire de clouer les diagonales sur toute leur longueur.

Des tôles d'acier verticales (fig. 4b) donnent également de bons résultats, cependant un peu inférieures à ceux des tôles disposées en diagonale. L'inconvénient de ces deux solutions réside dans la formation de fissures avant que la charge de rupture ne soit atteinte ; la flexibilité des moyens d'assemblage doit être prise en considération dans le calcul.

Une autre solution est constituée par des tiges filetées encollées (fig. 5) qui ont l'avantage d'augmenter considérablement la charge de rupture sans entraîner une fissuration prématurée ; de plus, cette disposition est favorable du point de vue architectonique.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec un renforcement de l'entaille par des panneaux contreplaqués collés et cloués (fig. 6). En effet, la charge de rupture est trois fois supérieure à celle de la poutre non renforcée. Plus le renforcement est continu et rigide, plus son efficacité est grande, étant donné que les contraintes transversales de traction peuvent être re-

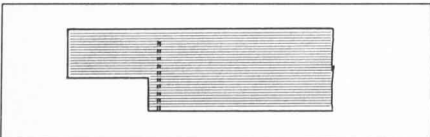


Fig. 5. — Renforcement par des vis encollées.

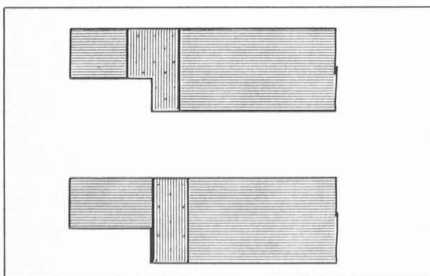


Fig. 6. — Renforcement par du bois contreplaqué collé et cloué.

prises immédiatement ; la formation des fissures est empêchée, car la distance entre les clous est très courte. Cette disposition permet de constituer un modèle pour le dimensionnement du renforcement (fig. 7).

Les hypothèses sont les suivantes :

- appuis de la poutre exempts de moments de flexion ;
- pas de bord chargé dans la partie inférieure de l'entaille ;
- bois protégé (à l'abri des intempéries).

Vérification des contraintes

$$\tau_{\text{eff}} = 1,5 \frac{Q}{b \cdot h_1} \cdot \frac{1}{k} \quad \text{ou}$$

$$Q_{\text{adm}} = 2/3 \cdot b \cdot h_1 \cdot k \cdot \tau_{\text{adm}}$$

k = facteur d'atténuation tenant compte des effets simultanés de l'effort tranchant et de l'effort de traction perpendiculaire aux fibres.

Pour des entailles droites :

$$k = 1,0 - 2,8 a/h \quad \text{pour } 0 \leq a/h \leq 0,25$$

$$k = 0,3 \quad \text{pour } 0,25 \leq a/h \leq 1,0$$

Pour des entailles en biseau, $k = 1,0$ si

$$s/a \geq 14 \quad (\text{classe de qualité I selon DIN 1052})$$

$$s/a \geq 10 \quad (\text{classe de qualité II selon DIN 1052})$$

En outre, il faut toujours que $s \geq 2,5 h$. De plus, il est nécessaire de considérer la combinaison des contraintes le long du bord oblique, car elle peut être déterminante.

La commission chargée de l'établissement des normes DIN 1052 a limité le rapport a/h à la valeur maximale 1/4.

Dimensionnement du renforcement

Conformément aux recherches en cours [5 et 6], les panneaux contreplaqués en chêne AW 100 (DIN 68705, partie 3) sont seuls autorisés pour le renforcement de l'entaille. Ils doivent être appliqués au moyen de colle résorcine et soumis à une pression de serrage de l'ordre de 0,6 N/mm². De plus, la densité maximale de clous est fixée à 1 clou/6000 mm², le perçage préalable étant obligatoire. Il est très important également que la direction des fibres des placages de couverture soit perpendiculaires à celle des fibres de la poutre (fig. 8).

Les contraintes de traction dans la section A-A du panneau contreplaqué doivent être vérifiées pour l'effort Z :

$$Z = Q_{\text{adm}} \left[3 \left(\frac{a}{h} \right)^2 - 2 \left(\frac{a}{h} \right)^3 \right]$$

La surface $a \cdot c$ est déterminante pour la vérification du cisaillement dans le joint collé. Ce modèle de calcul permet d'admettre une répartition uniforme des contraintes, ce qui n'est en réalité pas le cas (voir fig. 2). Pour cette raison, les contraintes admissibles doivent être réduites lors de cette vérification simplifiée :

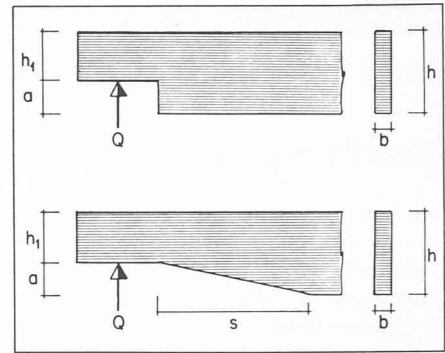


Fig. 7. — Données géométriques.

$$\sigma_{Z//\text{adm}} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{et } \tau_{A \text{ adm}} = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

ce qui permet alors de déterminer c nécessaire ;

$$c_{\text{nec}} = \frac{Z}{d \cdot \sigma_{Z//\text{adm}}} \quad \text{et } c_{\text{nec}} = \frac{Z}{2 \cdot a \cdot \tau_{A \text{ adm}}}$$

d représente l'épaisseur totale du renforcement ; l'épaisseur minimale du contreplaqué ne doit pas être inférieure à 10 mm ($d/2 \geq 10$ mm).

2. Contraintes tangentielles et contraintes transversales de traction dans la poutre

La teneur en eau du bois a une influence considérable sur les caractéristiques de résistance du bois comme le confirment les rapports du LFEM [7,8]. Il faudrait à vrai dire parler d'un cas de charge relatif à l'humidité dans la construction en bois. En effet, les variations d'humidité engendrent des contraintes dépassant dans la plupart des cas la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres et entraînant la formation de fissures [4]. Nous allons maintenant discuter les différentes possibilités permettant d'éviter ces fissures et les dommages qui en découlent, afin de retrouver la résistance totale. Nous admettons des fissures traversant toute la largeur de la poutre et se développant sur une certaine longueur. La figure 9 propose trois solutions, avec des liaisons réalisées au moyen de broches, de tôles clouées ou de plaques à griffes. Si l'une de ces variantes est utilisée, la vérification des contraintes sera faite en tenant comp-

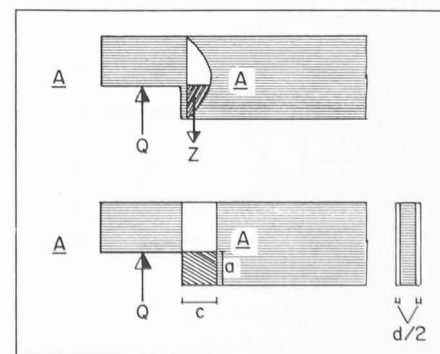


Fig. 8. — Modèle pour le dimensionnement du renforcement.

te de moments d'inertie et de résistance réduits selon la flexibilité du moyen d'assemblage.

Les tiges filetées encollées, mentionnées plus haut, donnent également des résultats satisfaisants. Une autre solution peut consister en des diagonales de tôles clouées ; cette possibilité donne de bons résultats, confirmés par les résultats de différentes recherches (fig. 10).

Pour le dimensionnement de ces tôles, il est conseillé de se référer à un modèle de poutres à treillis, comme dans les éléments massifs. Les diagonales sont inclinées à 45°, si bien que leurs extrémités se superposent.

L'effort dans la diagonale vaut : $D = \frac{Q_{eff}}{\sqrt{2}}$

La diagonale ne doit être reliée qu'aux membrures ; la hauteur conseillée de chaque membrure peut être admise à $h/4$. Pour éviter l'éclatement du bois, il faut utiliser autant que possible des clous de faible diamètre (recommandé : $\varnothing 3,1$ mm). Le nombre de clous nécessaire s'obtient par la relation,

$$n = \frac{Q_{adm}}{\sqrt{2} \cdot F_n}$$

avec $Q_{adm} = Q_{adm}$ de la section pleine

$F_n =$ charge admissible d'un clou

Le nombre de clous déterminé et la hauteur limitée de la liaison à $h/4$ permettent de fixer la largeur de la diagonale.

L'épaisseur de la tôle se détermine à partir de

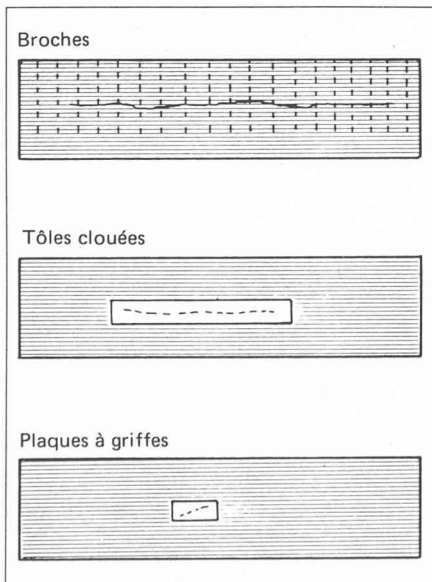


Fig. 9. — Possibilités de renforcement de poutres fissurées a) par des broches, b) par des tôles clouées, c) par des plaques à griffes.

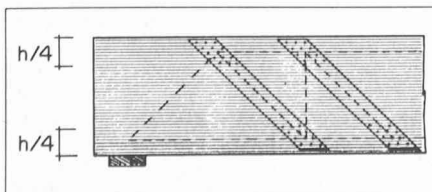


Fig. 10. — Prévention des fissures par des diagonales en tôle.

$$t_{nec} = \frac{Q_{adm} \cdot 1,13}{b_{eff} \cdot \sigma_F}$$

avec $b_{eff} =$ largeur nette de la diagonale

$\sigma_F =$ limite élastique de l'acier

Les efforts de traction effectifs dans les diagonales sont plus petits que la force théorique D . Comme un petit moment de flexion parasite agit sur la diagonale, il est recommandé de dimensionner l'assemblage pour l'effort théorique D total. Avec les diagonales en tôle, les efforts transversaux admissibles de la section pleine peuvent être repris avec une marge de sécurité suffisamment grande. La rigidité à la flexion reste cependant plus faible que celle correspondant à la section pleine, à cause de la flexibilité des moyens d'assemblage.

L'utilisation de panneaux contreplaqués collés est également une bonne solution (fig. 11). En ce qui concerne le matériau, il faut rappeler, comme mentionné au début, les points suivants :

- faces supérieures au moins brosées ou mieux, légèrement polies avant le collage ;
- diamètre recommandé des clous : $\varnothing 3,1$ mm.

Avec les hypothèses mentionnées, on peut admettre une contrainte de cisaillement dans le joint collé de

$$\tau_{L adm} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

On suppose une répartition parabolique des contraintes tangentielles dans la section admise non fissurée (fig. 12) et la hauteur nécessaire du joint collé h_L , à partir de la fissure est donnée par

$$h_L = 0,75 b \frac{\tau_{eff}}{\tau_{L adm}}$$

avec $\tau_{eff} =$ contrainte tangentielle dans la section non fissurée ;

$b =$ largeur de la poutre

L'épaisseur du contreplaqué se détermine à partir des contraintes tangentielles et de traction transversale sans facteur de réduction

$$t_{nec} = \frac{b}{2} \left[\frac{\tau_{max}}{\tau_{cpl adm}} + \frac{\sigma_{Z \perp max}}{\sigma_{Z cpl adm}} \right]$$

avec $\tau_{max} =$ contrainte tangentielle maximale de la section non fissurée ;

$\tau_{cpl adm} =$ contrainte tangentielle admissible du contreplaqué ;

$\sigma_{Z \perp max} =$ contrainte transversale de traction maximale dans la section transversale

$\sigma_{Z cpl adm} =$ contrainte admissible du contreplaqué *

* fonction de la direction des fibres des placages extérieurs.

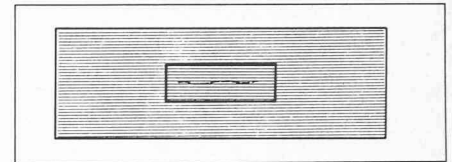


Fig. 11. — Prévention des fissures par des panneaux contreplaqués collés.

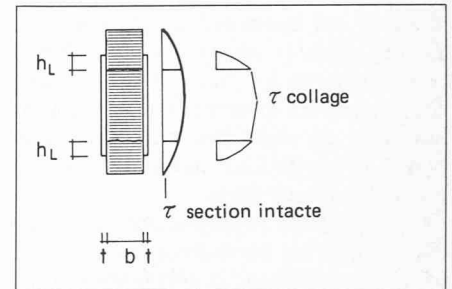


Fig. 12. — Répartition des contraintes tangentielles dans la section.

Il est recommandé que les fibres des placages extérieurs soient parallèles aux fibres de la poutre.

Pour les contraintes admissibles du contreplaqué, on peut admettre :

$$\tau_{\perp cpl adm} = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Z // adm} = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Z \perp adm} = 4 \text{ N/mm}^2$$

La largeur du bois contreplaqué peut se déterminer à partir du schéma de fissuration ; elle devrait déborder de part et d'autre de la fissure d'une distance équivalente à :

$$b_{suppl} = \frac{b \cdot \sigma_{Z \perp max}}{3}$$

Ce procédé est particulièrement favorable pour la réfection de poutres anciennes, car le contreplaqué n'a pas besoin d'être disposé sur l'appui même.

3. Contraintes transversales dues aux efforts de déviation

Actuellement, les poutres lamellées-collées sont fabriquées sous des formes diverses. Des poutres courbes ou de hauteur variable engendrent des contraintes transversales de traction.

Les méthodes de calcul pour la détermination de ces contraintes transversales de traction sont connues. En revanche, les possibilités aptes à empêcher la formation de fissures sont encore relativement peu développées. Il faut signaler les tiges filetées encollées et les panneaux contreplaqués, qui perturbent le moins l'esthétique. En Allemagne, de grandes entreprises fabriquent des poutres courbes systématiquement renforcées par des bois contreplaqués, alors même que les calculs montrent que cela n'est pas nécessaire ; cette précaution est prise à la suite de mauvaises expériences.

4. Ouvertures et passages

Si des passages à travers la poutre ne peuvent être évités, des renforcements sont nécessaires selon les essais de l'Entwicklungsgemeinschaft Holzbau i.d. Deutsche — FMFA Stuttgart — EGH [11].

On se rapporte aux mêmes réflexions relatives aux constructions massives ; la poutre, dans la région du trou, fonctionne comme un cadre (fig. 13). Les efforts dans les membrures supérieure et inférieure se rejoignent dans la partie pleine et entraînent alors des efforts transversaux aux fibres.

Les contraintes transversales de traction résultantes conduisent alors à des fissures et réduisent la résistance ultime de la poutre. Ces contraintes doivent être reprises par des renforcements.

Comme renforcement, on peut également utiliser du contreplaqué en chêne, dont l'épaisseur totale ($t/2$ par côté) est déterminé par les contraintes tangentielles effectives dans la poutre (tableau 1).

TABLEAU 1

$\tau_{eff} = 1,5 Q/bh$ N/mm ²	t épaisseur totale du renfor- cement	c_{adm} d_{adm}
0,0	0,10 b	
0,4	0,35 b	$c \leq 1,0 \cdot h$
0,8	0,50 b	
1,2	0,65 b	$d \leq 0,4 \cdot h$

b = largeur de la poutre.

Les dispositions recommandées pour la construction sont les suivantes :

- angle arrondi $R = 25$ mm
- fibres extérieurs du contreplaqué parallèles aux fibres de la poutre
- épaisseur minimale du contreplaqué : 10 mm
- collage et clouage selon recommandations mentionnées
- ouvertures si possible sur l'axe de la poutre
- distance au bord $\geq 0,3 h$
- éviter les influences climatiques.

5. Conclusion

Etant donné qu'une poutre comprend dans la plupart des cas des liaisons avec

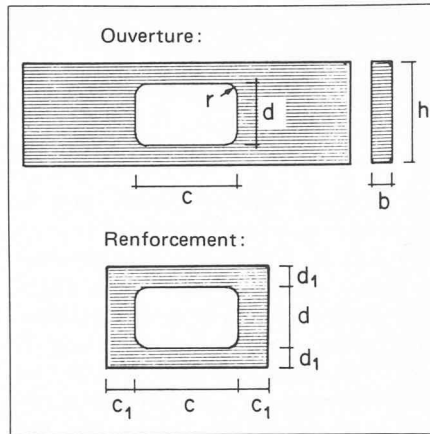


Fig. 13. — Ouverture et renforcement.
 $d_1 \geq 0,40 d$ $c_1 \geq 0,25 c$
 $\geq 0,10 h$ $\geq d_1$

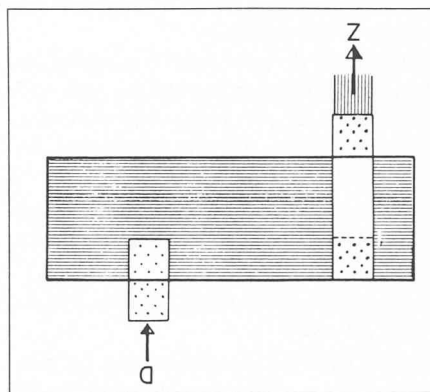


Fig. 14. — Disposition des liaisons en traction et en compression.

Article paru en allemand dans « Schweizer Ingenieur und Architekt ». Traduction et adaptation par Daniel Richardet, ing. EPFL-SIA, 1^{er} assistant à la Chaire de construction en bois de l'EPFL.

d'autres éléments, il faut respecter le conseil suivant :

- éviter de charger les bords par une traction transversale en reportant la charge sur le côté opposé.

Avec cette disposition, les moyens d'assemblage n'entraînent pas des contraintes transversales de traction due à la pression latérale (fig. 14).

Il est recommandé, pour éviter les fissures, de prévoir un percement préalable pour les clous et de choisir de grands écartements entre les clous dans la direction des fibres.

Si, malgré tout, une liaison engendrant des contraintes de traction transversales est inévitable, sa hauteur doit être la plus faible possible.

Bibliographie

- [1] American Institute of Timber Construction. Timber Construction Manual. 1. Ed. 1966 + 2. Ed. 1974. New York, John Wiley + Sons.
- [2] BOOTH, L. G., REECE, P. O. : *The Structural Use of Timber*. A commentary on the British Standard Code of Practice CP112. London : E. + F. N. Spon Ltd : 75, 76, 1967.
- [3] BLUMER, FLUHMAN, GEHRI, u. a. : *Bemessung und Ausführung von Brett-schicht-Konstruktionen*. Zürich, Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, S. 97-100, 1976.
- [4] MISTLER, H. L. : *Karlsruher Forschungsarbeiten und Versuche im Ingenieurholzbau von 1972 bis 1977*. Bauen mit Holz 5/77, 1977.
- [5] MÖHLER, K., MISTLER, H. L. : *Untersuchungen über den Einfluss von Ausklinkungen im Auflagerbereich von Holzbiegeträgern auf die Tragfestigkeit*. Forschungsbericht Universität Karlsruhe (TH), 1978.
- [6] MÖHLER, K., MISTLER, H. L. : *Ausklinkungen am Endauflager von Biegeträgern*. Holzbau - Statik - Aktuell. Folge 4, 1979.
- [7] MEIERHOFER, U., SELL, J. : *Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen*. Holz als Roh- und Werkstoff 37, Seite 227-234, 1979.
- [8] MEIERHOFER, U. : *Zeitabhängige Verformungen von Holzbauteilen unter mechanischer und klimatischer Beanspruchung*. Schweiz. Bauzeitung. 94. Jahrgang, Heft 25 Juni 1976.
- [9] ZORNIG, H. F., VICK, C. P. : *Methods of Nailing and Adhesive Consistency*. Affect the Strength of Nailed-Glued Construction Joints.
- [10] MÖHLER, K., RATHFELDER, H. : *Konstruktive Möglichkeiten zur Aufnahme von Schub- und Querzugspannungen*. Forschungsbericht Universität Karlsruhe (TH), 1978.
- [11] Holzbau - Statik - Aktuell 1976. Information zur Berechnung von Holzkonstruktionen. Folge 1, 1976.

Adresse de l'auteur :

Gustave E. Marchand, ing. EPFZ-SIA
Chaire de construction en bois
Ecole polytechnique Fédérale
1015 Lausanne

Bibliographie

Les pièges de l'orthographe dans les écrits professionnels
Les pièges de la grammaire dans les écrits professionnels

par Michelle Fayet et Aline Nishimata. Editions d'Organisation, Paris, 1979. Deux volu-

mes au format 13,5x21 cm, brochés, 144 et 224 pages. Prix : Fr. fr. 58.—resp. 65.—. Ces deux ouvrages sont des outils de travail auxquels il est facile de se reporter lors de la rédaction d'une lettre ou de tout autre document professionnel : leur objectif est d'offrir une solution rapide et claire aux problèmes les plus fréquemment rencontrés, à l'aide de nombreux tableaux, exemples

et exercices avec corrigés, après un bref rappel des règles de grammaire et d'orthographe.

Ouvrages reçus

Umweltschutz-Bezugsquellenregister 1980

Catalogue de fournisseurs édité par la revue «Umweltschutz Gesundheitstechnik». 1 volume

de 244 pages, format A5, broché. Au sommaire : Wasserwirtschaft, Abfall- und Müllbeseitigung, Luftthygiene, Bädertechnik, Sportstättenbau, Lärmbekämpfung, Tankanlagen, Diverses. Registre des articles et des fournisseurs. Adresses d'organismes, offices, organisations suisses. Prix : Fr. 14.—. Adresse pour les commandes : BAG Brunner Verlag AG, Postfach, 8036 Zurich.