

Systemes mixtes bois-béton

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 3

PDF erstellt am: **18.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146398>

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.

Systèmes mixtes bois-béton

Les systèmes mixtes bois-béton sont des structures porteuses dans lesquelles des poutres en bois et des dalles en béton sont liées par assemblage résistant au cisaillement.

Les structures composites sont connues depuis longtemps déjà dans la construction en bois: en raison des dimensions limitées des arbres, les grands éléments de construction en bois se composaient, et se composent aujourd'hui encore, de plusieurs pièces de bois, qui initialement étaient assemblées exclusivement par des moyens de liaison mécaniques. Depuis les années cinquante, on utilise également des assemblages collés, pratiquement rigides. La mise au point de constructions mixtes bois-béton ne date pas non plus de ces dernières années. En 1939 déjà, une description de brevet portant sur des planchers mixtes composés de nervures en bois et de plaques de béton a été publiée en Allemagne. C'est en raison de la pénurie d'acier d'armature que ce genre de constructions a été mis au point [1]. Les constructions mixtes bois-béton s'utilisent pour la réfection des planchers en bois dans les anciens bâtiments. Mais elles sont de plus en plus fréquemment mises en œuvre dans la construction de nouveaux immeubles ou de ponts.

Un assemblage inhabituel

Par systèmes mixtes bois-béton, on entend ci-après des structures por-

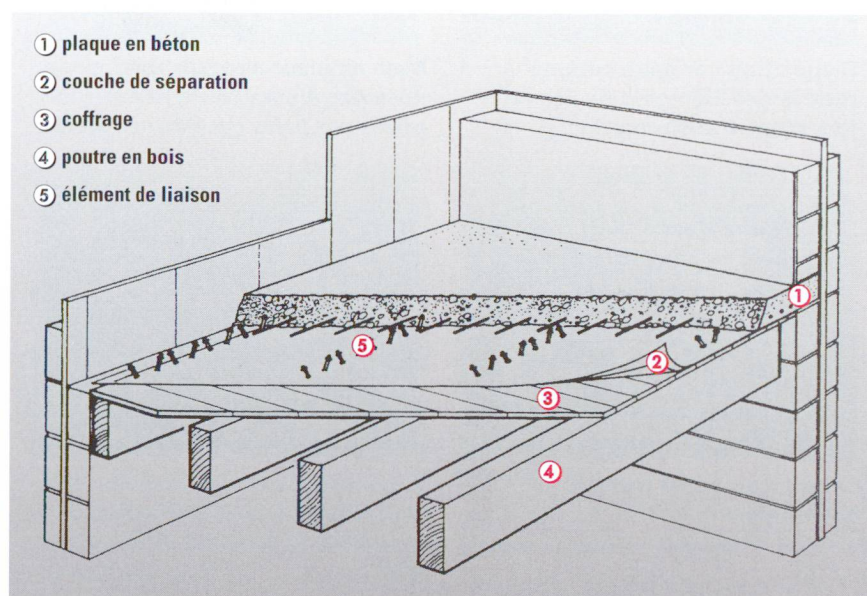


Schéma 1 Structure porteuse mixte bois-béton dans les bâtiments à l'étude ou en construction.

Dessin: SFS Provis, Heerbrugg

teuses dans lesquelles des poutres en bois et des plaques de béton sont liées par assemblage résistant au cisaillement. Bien que n'étant pas normalisées, ces structures peuvent être conformes aux règles de l'art de construire reconnues. Curieusement, il s'agit d'une combinaison de deux matériaux de construction qui ont apparemment peu de choses en commun [2]:

- le béton est minéral, donc inorganique, lourd, incombustible, imputrescible, rigide, fragile, et ne se travaille que difficilement;
- le bois est organique, léger, combustible, biodégradable, relativement tendre, élastique, et facile à travailler.

Dans l'assemblage bois-béton, les poutres en bois, avec leurs bonnes propriétés en traction par flexion, reprennent les efforts de traction, et la plaque de béton relativement mince (≥ 60 mm), généralement armée, avec ses bonnes propriétés en com-

pression par flexion, fait fonction de table de compression. Le résultat est que comparativement à des planchers uniquement en bois, la flèche, avec une hauteur de construction pareille ou plus faible, est réduite, alors que la capacité de charge est nettement augmentée. L'amélioration de l'isolation acoustique (bruit de chocs et son aérien) et de la protection contre le feu comptent parmi les autres avantages qu'offre ce mode de construction par rapport à la construction uniquement en bois.

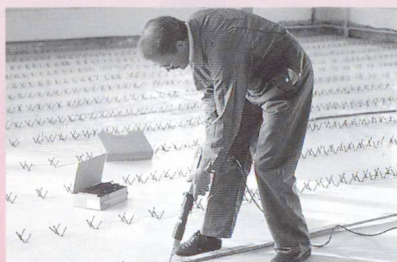
Différents systèmes de liaison

La liaison, c'est-à-dire le moyen d'assemblage, est déterminante pour le fonctionnement et la rentabilité des systèmes mixtes bois-béton. Plus une liaison est rigide, plus elle est en principe efficace. Il existe de nombreuses études à ce propos. Dans un aperçu donné ci-après, on distingue entre les quatre principaux types suivants, desquels il existe plusieurs variantes [6]:



Disposition par paire sur une rangée des éléments de liaison lors d'une transformation.

Photo: Empa, Dübendorf



Mise en place avec un appareil de pose des éléments de liaison disposés par paire sur deux rangées.

Photo: SFS Provis, Heerbrugg



Détail d'un appui avant le bétonnage.

Photo: Makiol + Wiederkehr, Lenzbourg



Bétonnage avec des moyens simples lors de la transformation de la maison du pasteur de Bassersdorf.

Photo: Empa, Dübendorf

- moyens d'assemblage en forme de tige (clous, vis à bois, chevilles, etc.)
- éléments spéciaux en acier insérés ou enfoncés (goujons, crampons, profilés en acier fraisés dans le bois, plaques cloutées, etc.)
- collages (béton collé au coffrage ou directement aux poutres)
- solidarisation (entailles fraisées dans le bois avec ou sans sûretés contre le soulèvement, etc.)

Il est difficile de comparer les nombreux types d'assemblage. Deux systèmes mixtes bois-béton sont décrits en détail ci-après:

- un système de liaison avec vis spéciales vissées de biais [2–11]
- un système de liaison avec entailles fraisées perpendiculaires à la direction des contraintes et tiges filetées précontraintes collées [12–17]

Des entreprises et instituts de recherche suisses ont participé à la mise au point des deux systèmes. On trouve

en outre une abondante littérature sur ce sujet.

Liaison au moyen de vis spéciales

Dans ce système de liaison, la mince plaque de béton (60 à 140 mm) et les poutres en bois sont assemblées au moyen de vis spéciales. Les vis sont mises en place à $\pm 45^\circ$ (voir schéma 1), ce qui fait qu'elles sont sollicitées en premier lieu en traction et compression, et non en flexion et cisaillement.

L'élément de liaison – une vis à double tête en acier à haute résistance

avec traitement de surface spécial – est représenté dans le schéma 2. Il peut être fixé directement dans le bois, sans préperçage, au moyen d'une visseuse à main avec butée de profondeur, et peut également être vissé à travers des coffrages ayant jusqu'à 30 mm d'épaisseur.

Il résulte d'essais effectués à l'Empa que les constructions mixtes bois-béton de ce genre témoignent d'une capacité de charge élevée ainsi que d'une grande rigidité, même sous charge de longue durée. Le comportement à la déformation des planchers mixtes bois-béton est toutefois complexe. Des effets se superposant, et parfois se compensant, telles que les variations de température et de taux d'humidité, et que le fluage dans le béton, dans le bois et dans la zone de la liaison, influent sur la répartition des contraintes, en fonction de la charge, dans la section [2].

Il n'existe pas de norme SIA pour le calcul des constructions mixtes bois-béton. Il est cependant possible d'ef-

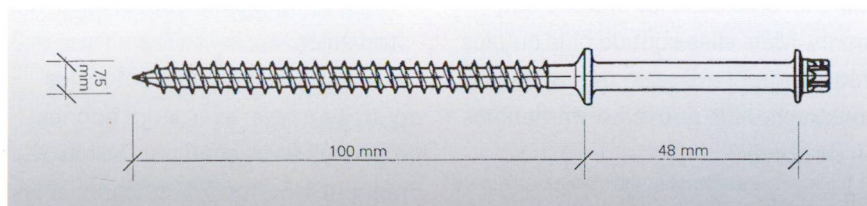


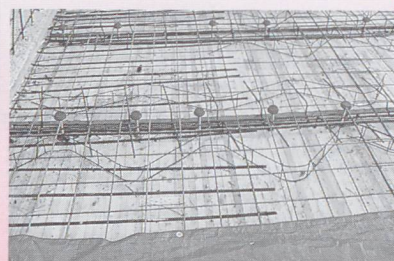
Schéma 2 Élément de liaison «SFS VB-48-7,5 x 100» avec filet spécial et embase médiane, laquelle limite la pénétration dans le bois.

Dessin: SFS Provis, Heerbrugg

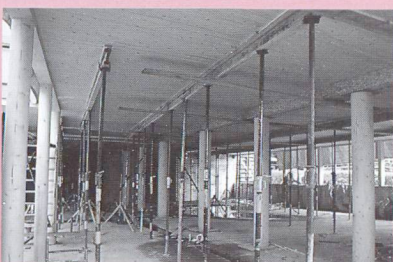
Assemblages par forme



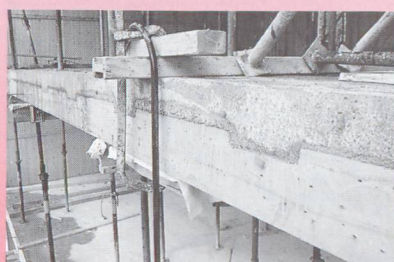
Eléments en planches clouées juxtaposées avec détail du joint des éléments.



Avant le bétonnage.



Etagage pendant le bétonnage.



Zone des entailles après le bétonnage.

Photos: Bois Consult Natterer SA, Etoy

fectuer des calculs précis à l'aide de la théorie de la liaison élastique (voir encadré «Calcul de poutres mixtes bois-béton»). Des dimensionnements d'ingénieur peuvent être effectués en utilisant les normes SIA 161 (Constructions métalliques) [18], 162 (Ouvrages en béton) [19] et 164 (Constructions en bois) [20]. Des diagrammes existent pour le prédimensionnement, mais ne remplacent pas le calcul de l'ouvrage définitif par l'ingénieur. Le béton se prêtant à la fabrication de plaques minces armées est un béton 35/25, avec des granulats de diamètre maximal de 16 mm, et un facteur eau/ciment aussi bas que possible. L'étanchéité du bétonnage est assurée par une couche de séparation (par exemple feuille de polyéthylène, papier paraffiné) posée sur le solivage.

Assemblages par forme

Dans ce système de liaison, représenté dans le schéma 3, des entailles faites transversalement dans le bois ainsi que des ancrages collés dans le bois assurent la solidarisation du bois et du béton.

Les ancrages d'injection (voir schéma 4) sont fixés dans le bois au moyen d'un mortier époxy. Après le durcissement du béton, ils sont précontraints, et garantissent une solidarisation à peu près intégrale du bois

et du béton dans les entailles. La longueur des chevilles dépend de la construction. Elle se situe entre 170 et 235 mm. La profondeur de perçage va de 80 à 140 mm.

Pour la chape, un béton B 25/15 armé (selon norme SIA 162), avec un fac-

teur eau/ciment d'environ 0,6, a fait ses preuves. La section du béton est d'environ $\frac{2}{3}$ de la section du bois. Des feuilles de séparation entre bois et béton sont superflues. Aucune expérience n'a encore été faite avec du béton léger [14]. Comme avec les

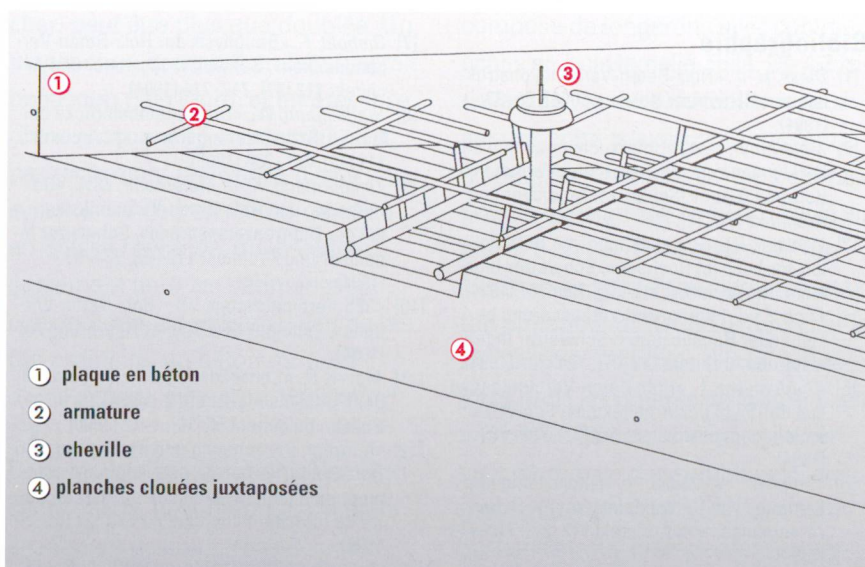


Schéma 3 Structure d'un système mixte bois-béton avec chevilles dans les entailles.

Dessin: Bois Consult Natterer SA, Etoy

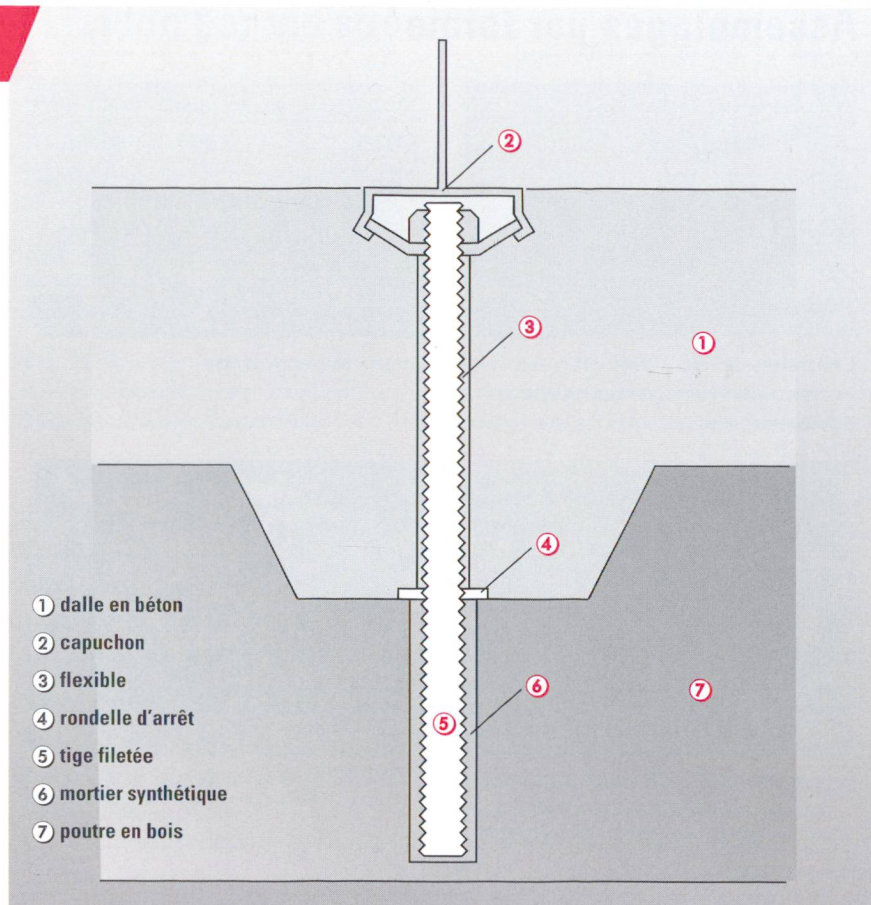


Schéma 4
Structure d'une
cheville
d'injection
montée (selon
[16, 17]).

Dessin: TFB / S. Einfalt ZSD

autres systèmes mixtes bois-béton, les conduites pour les installations techniques du bâtiment peuvent être posées dans la chape.

Le bois est choisi en fonction des nombreuses possibilités. Les concepteurs de ce système mixte bois-béton donnent leur aval pour toutes les variantes de planches clouées juxtapo-

sées [14]. Relativement coûteuse, la mise en place des chevilles exige les opérations suivantes [17]:

- percer un trou dans le bois,
- fileter le trou avec une taraudeuse,
- injecter le mortier synthétique,
- monter l'ancrage à la main,
- une fois le béton durci, enlever le recouvrement de la calotte en plas-

tique de la cheville, et précontraindre la cheville avec un moment de torsion de 50 Nm.

Contrairement aux autres systèmes mixtes, le système présenté ici s'utilise actuellement surtout dans les bâtiments en construction, où il a parfois permis des distances entre appuis considérables (13,5 m) [12].

Aucune crainte du feu

Les planchers mixtes bois-béton ont un comportement au feu qui diffère de celui des planchers uniquement en bois ou en béton armé. En cas d'embrasement général, l'armature des dalles en béton atteint rapide-

Bibliographie

- [1] Blass, H.-J., «Holz-Beton-Verbundkonstruktionen», Schweizer Holzbau **60** [8], 30–33 (1994).
- [2] Meierhofer, U. A., «Untersuchungen und Entwicklungen zum mechanischen Verbund von Holz und Beton», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 715–718 (1994).
- [3] Wieland, H., «Anwendungen von Holz-Beton-Verbund im Hochbau», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 700–704 (1994).
- [4] Frick, F., «Erhaltung und Verbesserung bestehender Bausubstanz», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 704–708 (1994).
- [5] Göddemeyer, L., «Holz-Beton-Verbunddecke aus der Sicht des Architekten», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 708–709 (1994).
- [6] Thomi, M., et Waibel, H., «Entwicklung und Fertigung von Verbundelementen», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 710–711 (1994).
- [7] Diebold, F., «Bauphysik der Holz-Beton-Verbunddecken», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [37], 712–714 (1994).
- [8] Stadelmann, W., «Die Ronatobelbrücke bei Furna», Schweizer Ingenieur und Architekt **111** [12], 207–208 (1993).
- [9] Timmermann, K., et Meierhofer, U. A., «Berechnung von Holz-Beton-Verbundbalken mit der Differenzenmethode», Schweizer Ingenieur und Architekt **112** [45], 931–936 (1994).
- [10] «SFS Verbundsystem VB – Holz-Beton-Verbund», édité par SFS Stadler Heerbrugg AG (1994).
- [11] Meyer, B., «Consolidation avec du béton léger d'anciens planchers à solives en bois», Bulletin du ciment **58** [10], 1–12 (1990).
- [12] «Konzept, Berechnung und Bemessung von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen», documentation pour le séminaire no 1007 du Centre de formation continue du TFB du 16 mai 1995.
- [13] Jung, P., «Altbausanierung mit Holz-Beton-Verbunddecken», dans [12].
- [14] Jung, P., «Varianten und Möglichkeiten der HBV-Decke», dans [12].
- [15] Hoefft, M., «Zur Berechnung von Verbundträgern mit beliebig gefügtem Querschnitt», thèse no 1213 (1994), EPFL.
- [16] Natterer, J., et Hoefft, M., «Holz-Beton-Verbundkonstruktionen: Entwicklung eines neuen Verbundsystems», rapport de recherche CERS no 1638 (1992).
- [17] Mauthe, P., «Injektionssystem HIT- Systemaufbau, Leistungsprofil und Anwendung im Holz-Beton-Verbund», dans [12].
- [18] Norme SIA 161: «Constructions métalliques» (1990).
- [19] Norme SIA 162: «Ouvrages en béton» (1993).
- [20] Norme SIA 164: «Constructions en bois» (1992).
- [21] «Constructions en bois: Exigences de résistance au feu des structures porteuses et du compartimentage coupe-feu», fiche technique éditée par Lignum (décembre 1994).
- [22] «Dalle mixte bois-béton économique», Journal Suisse des Entrepreneurs **92** [37], F6-F7 (1993).

Calcul des poutres mixtes bois-béton

Les données statiques fondamentales des constructions mixtes bois-béton avec liaison élastique peuvent être décrites au moyen d'une équation différentielle du 6e degré [9, 12]:

$$(E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2) \cdot \frac{\delta^6 w}{\delta x^6} - [(E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2) \cdot \omega^2 + e^2 \cdot k] \cdot \frac{\delta^4 w}{\delta x^4} - \frac{\delta^2 F}{\delta x^2} + \omega^2 \cdot F = 0$$

$$\omega^2 = k \cdot \frac{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2}{E_1 \cdot A_1 \cdot E_2 \cdot A_2} \quad k = \frac{C}{e'}$$

E_1, E_2 : module d'élasticité du béton et du bois
 I_1, I_2 : moment d'inertie du béton et du bois
 A_1, A_2 : superficie de la section du béton et du bois
 w : flèche
 e : distance entre centres des sections du bois et du béton
 F : charge répartie
 C : rigidité au cisaillement du moyen de liaison
 e' : espacement des moyens de liaison

Cette équation peut être résolue si l'on connaît avec précision les propriétés mécaniques des matériaux d'assemblage et de la liaison des matériaux, ainsi que les conditions limites [12].

Un autre procédé de calcul, basé sur ce qu'on appelle la «méthode des différences», permet de calculer avec une précision suffisante les constructions mixtes bois-béton. Il est décrit dans [9].

ment des températures qui entraînent une forte diminution de la résistance de l'acier, alors que dans les planchers mixtes bois-béton, l'armature et le moyen d'assemblage sont protégés pendant longtemps contre les grandes élévations de température [10]. Selon l'art. 11.2 de la norme de protection incendie de l'AEAI, il est possible, après entente avec les autorités de police du feu, de remplacer les planchers en bois avec revêtement par des planchers mixtes bois-béton sans revêtement [21].

Rénovation d'anciens bâtiments

Lors de la rénovation d'anciens bâtiments, il faut souvent remplacer les planchers en poutres de bois existants, parce que leur capacité de charge n'est plus suffisante. Au lieu de démolir ces planchers, on peut souvent réaliser une construction mixte, composée des poutres de bois existantes et d'une dalle en béton or-

dinaire ou en béton léger. Les poutres restant visibles dessous, ce procédé peut également être utilisé lorsqu'elles sont décorées, ou qu'elles sont travaillées d'une façon leur donnant une valeur historique.

Avec la construction mixte, la charge admissible du plancher (charge utile plus surcharge telle que sous-plancher) peut être plus que doublée. Un plancher uniquement en béton serait beaucoup plus lourd, et en présence d'une maçonnerie en mauvais état, pas facilement réalisable. (Dans un système mixte bois-béton répandu en Suisse romande, qui convient également pour les bâtiments en construction, on utilise au lieu de béton ordinaire, un béton mousse d'une densité d'environ 1600 kg/m³ [22].)

Dans les anciens bâtiments, les planchers mixtes bois-béton permettent également de supprimer des désagréments, tels que la vibration du plancher lorsqu'on marche dessus, et

que l'isolation acoustique généralement insuffisante.

Construction de ponts

Les constructions mixtes bois-béton s'utilisent principalement à l'intérieur des bâtiments. A l'extérieur, les grandes variations de température et du taux d'humidité du bois provoquent des contraintes secondaires, qui ne doivent pas être négligées. La protection contre la corrosion des moyens d'assemblage doit être particulièrement soignée.

Le pont de Ronatobel près de Furna, dans le canton des Grisons, est un exemple de construction mixte réalisée à l'extérieur [8]. Il a une longueur de 50 m. La structure porteuse se compose de longerons avec contre-fiches en bois lamellé-collé. De 4,2 m de largeur, la dalle du tablier repose sur des entrails exécutés sous forme de poutres jumelées. Comme coffrage pour la dalle armée en béton coulé sur place (B 35/25) d'une épaisseur de 12 cm, on a utilisé des éléments en béton préfabriqués (B 35/25) de 8 cm d'épaisseur. Des tôles d'acier encastées dans les poutres en bois et fixées au moyen de boulons spéciaux servent de moyen d'assemblage. L'élément débordant dans le béton comporte des trous pour des fers ronds servant à la transmission des forces de cisaillement. *Kurt Hermann, TFB*