



1  
© DR

# QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LE BOIS DANS LES TABLIERS D'OUVRAGES D'ART

AUTEURS : NICOLAS DIDIER, EGIS JMI - JEAN-MARC TANIS, EGIS JMI

LE BOIS CONNAÎT AUJOURD'HUI UN REGAIN DANS SON UTILISATION POUR LA CONSTRUCTION DES OUVRAGES D'ART, APRÈS AVOIR ÉTÉ QUASIMENT ABANDONNÉ PENDANT UN SIÈCLE AU PROFIT DU BÉTON ET DE L'ACIER. EN EFFET, DEPUIS UNE VINGTAINE D'ANNÉES, CE MATÉRIAU EST DE NOUVEAU UTILISÉ EN EUROPE, NOTAMMENT DANS LES RÉGIONS ALPINES, AU TITRE, IL FAUT BIEN LE DIRE, DE L'ORIENTATION EN MATIÈRE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE. LE PRÉSENT ARTICLE FAIT LE POINT SUR LES POSSIBILITÉS D'UTILISATION DU BOIS, NOTAMMENT DANS LES TABLIERS D'OUVRAGES D'ART ROUTIERS.

Un des points délicats de la conception structurelle des ouvrages d'art routiers intégrant le matériau bois est sans doute le tablier<sup>(1)</sup>. En effet, le bois ayant de faibles capacités mécaniques transversales (cisaillement, compression, traction), il est de ce fait peu apte à reprendre d'importantes charges ponctuelles. L'enjeu est donc de concevoir un tablier suffisamment rigide pour transmettre les charges à l'ensemble de la structure porteuse et de limiter ainsi les efforts de cisaillement et de flexion. Du tablier tout en bois au

## TYPES DE TABLIERS INTÉGRANT LE **MATÉRIAU BOIS** DANS LEUR STRUCTURE

- **Tabliers en bois à poutres superposées ou à poutres précontraintes.**
- **Tabliers mixtes bois-acier associant le bois dans le sens longitudinal et l'acier dans le sens transversal.**
- **Tabliers mixtes bois-béton, ces deux matériaux pouvant être dissociés ou associés.**
- **Tabliers alliant les avantages des trois matériaux bois, acier et béton.**

**De nombreuses possibilités d'association de matériaux refont aujourd'hui leur apparition, démontrant que le bois a réellement sa place pour permettre la construction des ouvrages routiers.**

tablier mixte associant béton, acier et bois, plusieurs options s'ouvrent au concepteur pour démontrer que le bois a néanmoins sa place dans les ouvrages d'art routiers.

### TABLIERS EN BOIS POUTRAISON

Une première solution structurelle pour supporter la couverture et reprendre les charges de trafic consiste à réaliser un réseau de poutres superposées. Il s'agit en général d'un ensemble hiérarchisé de la façon suivante : les poutres principales sont les poutres longitudinales



1- Pont sur la Dore à St-Gervais-Meymont (Auvergne) : premier pont en France construit en bois (1994) sans limitation de charge pour la classe routière 2.

2- Vue des poutres primaires (longitudinales) et des pièces de pont (transversales) du pont sur la Dore qui supporte un trafic routier lourd.

3- Vue de la sous-face du tablier du pont sur la Dore : poutres primaires, pièces de pont, longerons et lattes (platelage).

4- Sous-face du pont de San Nicla (Suisse), tablier précontraint transversalement.

5- Rive du tablier du pont de San Nicla et dispositif de serrage des barres de précontraintes.

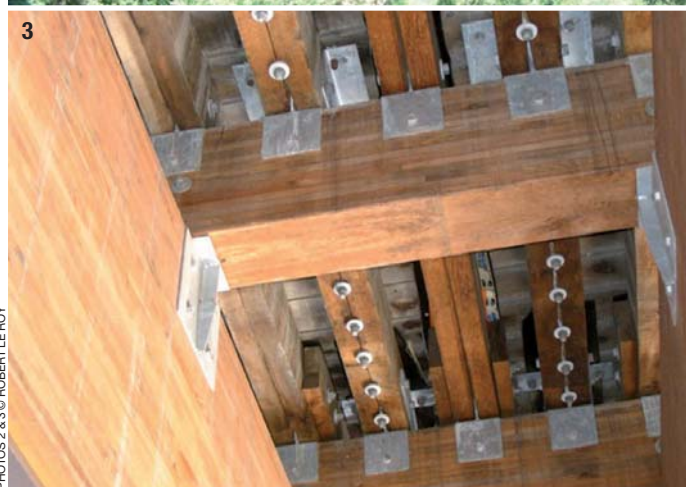
1- Bridge over the Dore at St-Gervais-Meymont (Auvergne region): first bridge in France built of wood (1994) without load limitation for road class 2.

2- View of the primary (longitudinal) beams and crosspieces (transverse girders) of the bridge over the Dore which supports heavy road traffic.

3- View of the underside of the deck of the bridge over the Dore: primary beams, crosspieces, longitudinal girders and laths (decking).

4- Underside of the San Nicla bridge (Switzerland), transverse prestressed deck.

5- Edge of the deck of San Nicla Bridge and prestressing bar clamping system.



PHOTOS 2 & 3 © ROBERT LE ROY

PHOTOS 4 & 5 © VINCENT BARBIER

qui supportent les charges sur toute la longueur de l'ouvrage. Sur celles-ci sont fixées les poutres transversales appelées pièces de pont qui reprennent les charges sur la largeur de l'ouvrage. Des poutres longitudinales secondaires (ou longerons) peuvent éventuellement compléter cet ensemble (photos 2 et 3).

#### TABLIER EN BOIS PRÉCONTRAIT

Le tablier en bois précontraint est apparu d'abord au Canada, suite aux constats de dégradation des structures en béton armé. Outre le fait que le bois n'est pas attaqué par les sels de déverglaçage, ce type de tablier présente l'avantage de combiner légèreté, résistance, rapidité d'exécution, ainsi qu'une relative facilité de réalisation.

Le principe du platelage en bois précontraint transversalement consiste à utiliser le bois comme matériau de compression sous l'effet de tiges d'acier mises en tension. Il en résulte une section composite légère, ayant un poids volumique d'environ 6 kN/m<sup>3</sup> (par rapport à 25 kN/m<sup>3</sup> pour le béton). Ce type de tablier permet de mieux répartir les charges transversalement et longitudinalement et peut posséder une résistance structurelle comparable à celle d'une dalle mince en béton armé. La mise en précontrainte se déroule généralement selon trois étapes :

→ **La première séquence** de mise en tension, avec une pression variable au manomètre, correspond au serrage grossier des madriers les uns contre les autres ;

→ **La deuxième séquence** aboutit au serrage et à la compression des madriers ainsi qu'à une faible tension des tirants d'acier ;

→ **La troisième séquence** vise à réaliser la compression maximale des madriers ainsi que la tension des tirants d'acier jusqu'à environ 60 % de la contrainte ultime.

Des étapes de resserrage peuvent parfois s'avérer nécessaire peu après le serrage initial (photos 4 et 5).

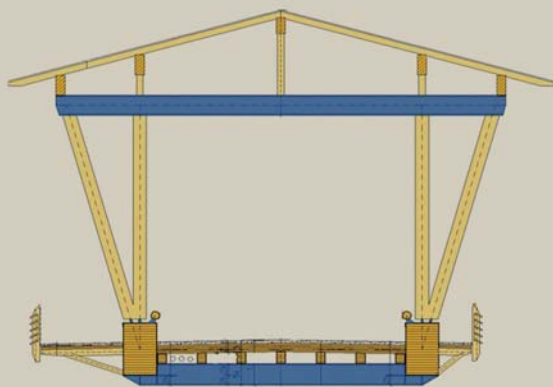
#### TABLIERS MIXTES BOIS-ACIER

Le mariage du bois et de l'acier a pour objectif d'obtenir une plus grande rigidité pour mieux transmettre et répartir les efforts. Pour éviter les problèmes liés aux écarts de variations dimensionnelles des deux matériaux vis-à-vis de la température et de l'humidité (dilatation, gonflement, retrait), le principe est de ne pas faire travailler bois et acier dans le même sens. En général, le bois est utilisé dans le sens longitudinal, et l'acier dans le sens transversal. ▷



6

### COUPE TRANSVERSALE DU PONT DE STAFFEN (BLEU : ACIER ; ORANGÉ : BOIS)



7

PHOTO 6 / FIGURE 7 © MICHAEL FLACH

Ainsi, le tablier gagne en rigidité transversale : les charges sont mieux réparties sur les différentes poutres principales. Du point de vue constructif, les connexions bois-acier sont facilitées par le fait que les assemblages des pièces en bois sont souvent des pièces métalliques. On donne ici l'exemple du pont de Staffen, dont le tablier est composé de deux poutres en bois lamellé-collé reliées transversalement par des profilés métalliques sur lesquels s'appuient des longerons. Des panneaux en bois multi-plis reposent ensuite sur ces longerons et reçoivent le complexe d'étanchéité (photos 6 et 7).

### TABLIERS MIXTES BOIS-BÉTON

Pour supporter de fortes charges de trafic, il peut s'avérer nécessaire de recourir au béton. Cette solution présente l'avantage d'une meilleure efficacité mécanique par rapport à une poutre en bois tout en limitant l'impact environnemental par rapport à une dalle pleine en béton armé. Deux options s'ouvrent alors : dissocier ou associer le bois et le béton.

### MATÉRIAUX DISSOCIÉS

Un des exemples les plus connus pour ce type de tablier est le pont de l'aire de Chavanon sur l'autoroute A89, conçu par Egis JMI, qui franchit l'autoroute grâce à une structure porteuse en bois à béquilles et un tablier mixte bois-béton. Le pont a été dimensionné pour des camions et des chars militaires de 120 tonnes.

## LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONNEXION BOIS-BÉTON

### CONNEXION PAR ORGANE MÉTALLIQUE

Dans ce cas, trois options se présentent : la connexion peut être « discrète », « semi-continue » ou « continue ».

Le connecteur discret est en général un tirefond de grande taille vissé dans le bois et dont la partie non filetée émerge et se retrouve à terme coulée dans le béton. Différents types d'éléments métalliques sont utilisés selon les brevets : pointes, vis, goujons, etc. L'espacement entre les tirefonds dépend des contraintes de cisaillement à reprendre. Dans le cas du pont d'Innenferrera, des tiges métalliques en acier HA14 ont été mises en œuvre avec collage pour empêcher le jeu entre la tige et le bois, et ainsi réduire la souplesse de la connexion. Ce type de connecteur s'inspire des connecteurs type acier-béton ; il est assez simple d'emploi.

Le connecteur semi-continu est constitué d'un tirefond ou d'un goujon sur lequel est soudée une rondelle ou une petite plaque métallique. Celle-ci est éventuellement fixée au bois par des vis tandis que le goujon est immergé dans le béton. Cette solution offre une meilleure rigidité car l'appui qu'elle autorise à l'interface bois-béton avec la plaque permet de mieux répartir les charges et de reprendre une partie des efforts de cisaillement. On gagne ainsi à la fois en rigidité (grâce à la plaque de répartition) et en résistance (grâce aux vis d'ancrage).

Enfin, le connecteur continu fonctionne sur le même principe que le connecteur semi-continu, en assemblant plusieurs tiges sur une même plaque.

### CONNEXION PAR ADHÉRENCE DES SURFACES

Les systèmes de connexion décrits précédemment utilisent des connecteurs locaux (vis, tirefonds) disposés d'une manière discontinue. L'augmentation de la résistance en cisaillement à l'interface est obtenue en ajoutant des connecteurs supplémentaires, mais ceux-ci risquent d'entraîner la rupture du bois. Pour une répartition plus uniforme et une augmentation de la résistance en cisaillement, des systèmes de connexion par adhérence ont été inventés.

Dans le brevet d'Aitcin, l'adhérence entre le bois et le béton est assurée par un filet en métal expansé fixé sur la surface du bois avant le coulage du béton. Le béton traverse les mailles du filet pour adhérer à la surface du bois. Ici, les vis servent uniquement à mettre en place le filet métallique, elles n'ont pas (ou peu) de rôle structurel dans la transmission des efforts : c'est le filet qui sert à l'ancrage du béton sur le bois. Il existe d'autres brevets fonctionnant sur le même principe, comme le système de connexion de Bathon utilisant de la colle pour fixer le filet sur le bois.

La colle seule peut également assurer la connexion bois-béton. Les résultats expérimentaux montrent un comportement rigide parfait (c'est à dire sans glissement) pour ce type de connecteur. La rigidité d'ensemble de la structure est augmentée tout en évitant d'avoir des zones de concentration de contrainte, comme c'est le cas avec les connecteurs métalliques. Le collage constitue donc une sérieuse piste en développement pour les tabliers mixtes connectés.

### CONNEXION PAR EMBRÈVEMENT

Enfin une voie prometteuse est ouverte avec la connexion par embrèvement. Elle consiste à façonner le bois pour réaliser un embrèvement bois-béton lors du coulage de la dalle : aucune pièce métallique ou colle n'est nécessaire, c'est une connexion sans connecteur. Par ailleurs, les deux matériaux travaillent alors en compression, ce qui est idéal pour l'un comme pour l'autre car cela exploite leur caractère ductile. C'est une solution intéressante également pour des raisons de main d'œuvre (si le bois a été usiné en atelier, il n'y a pas d'opération sur site à part le coulage du béton). Elle a notamment été mise en œuvre sur les ponts de Bulle. Par ailleurs, plusieurs brevets reposant sur le principe de l'embrèvement ont déjà été déposés (entre autres, le brevet de Schaub et de Martino, le brevet de Molard, le brevet de la « D-Dalle du groupe CBS-CTB »).





**8- Pont Ragoztobel (Suisse).** Pose des poutres avec leurs connecteurs, préparés en atelier.

**9- Sous-face du pont Ragoztobel :** des dalles préfabriquées avec réservations pour les connecteurs ont été utilisées pour réaliser le hourdis.

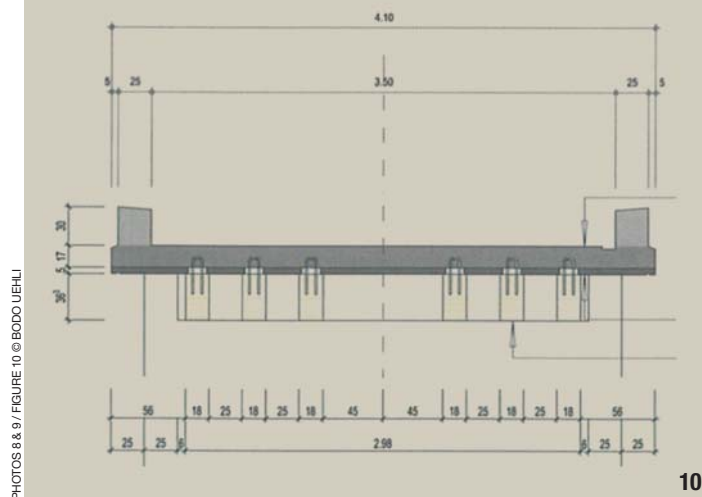
**10- Coupe transversale du pont Ragoztobel.**

**8- Ragoztobel Bridge (Switzerland).** Placing beams with their connectors, prepared in the workshop.

**9- Underside of Ragoztobel Bridge:** prefabricated slabs with grout pockets for the connectors were used to execute the deck section.

**10- Cross section of Ragoztobel Bridge.**

## COUPE TRANSVERSALE DU PONT RAGOZTOBEL



PHOTOS 8 & 9 / FIGURE 10 © BODO UEHLI

Pour ce pont, bois et béton ont été soigneusement dissociés. Cette exigence a été imposée pour deux raisons : d'une part, à cause du manque de référence concernant la connexion bois-béton sur une si grande longueur, et d'autre part, à cause de la réglementation française sur l'ancrage des glissières de sécurité

qui est uniquement agréé pour une dalle en béton armé non-connectée. Il est à noter qu'un plancher bois aurait également été exclu compte tenu des fortes charges localisées.

La dalle en béton performant B 50 repose, par l'intermédiaire d'appareils d'appui en téflon, sur des nervures en bois lamellé collé qui forment la structure principale. Ces appuis permettent le glissement horizontal de la dalle en béton par rapport à la structure en bois afin que les deux matériaux puissent se dilater librement. Des butées réalisées par équerres métalliques ont été toutefois nécessaires pour relier les deux structures ponctuellement de façon à transmettre les efforts de freinage et les chocs sur la glissière de sécurité sans toutefois empêcher la libre dilatation du tablier.

La dissociation des deux matériaux a complexifié le système constructif tout en augmentant l'épaisseur du tablier. En effet, la hauteur de la dalle en béton s'est ajoutée à la hauteur des nervures en bois sans pour autant augmenter

leur hauteur statique. L'expérience de ce pont montre qu'il est plus difficile de dissocier deux matériaux que de les connecter.

### MATÉRIAUX ASSOCIÉS

Les tabliers mixtes bois-béton connectés ont fait et continuent de faire l'objet de nombreuses études. Plusieurs ouvrages mixtes ont également été réalisés, utilisant différents types de connecteurs (tiges, goujons, etc.).

Le tablier mixte connecté permet des réalisations d'envergure, notamment dans le registre des ponts en arc où il assure une transmission équilibrée des charges de trafic à l'arc par sa rigidité : le pont de Innenferrera (Suisse) en est un bon exemple avec une portée de 60 mètres.

D'un point de vue constructif, la faisabilité est fonction du type de connecteur retenu. La solution adoptée pour le pont Ragoztobel (Suisse) semble assez intéressante de ce point de vue : de petites pièces métalliques sont insérées dans le bois, les dalles préfabriquées (avec des réservations à l'emplacement des connecteurs) sont ensuite posées sur les poutres, et la dalle est finalement coulée (photos 8, 9 et figure 10).

Quel que soit le type de connecteur retenu, il faut considérer le problème de fluage différé et la résistance à la fatigue de la connexion.

Par ailleurs, il convient aussi de s'interroger sur le découplage de la connexion en fin de vie de l'ouvrage, car le bois doit être récupéré (pour être recyclé ou utilisé en tant que combustible) si l'on veut que ce type de tablier ait véritablement un intérêt écologique.

### TABLIERS TRI-COMPOSITES BOIS-ACIER-BÉTON

Une dernière solution consiste à utiliser les trois matériaux (bois, acier, béton) ensemble pour optimiser à la fois légèreté, rigidité, robustesse.

L'emploi du bois permet ici d'économiser du béton et de l'acier, et de gagner en légèreté. L'emploi de l'acier apporte de la rigidité et réduit l'épaisseur du tablier.

Enfin, l'emploi du béton offre une bonne table de compression et facilite la mise en œuvre des équipements (étanchéité, bitume, garde-corps).

Là encore, il est possible de connecter ou de déconnecter les différents matériaux. Le pont des Fayettettes utilise les trois matériaux en les connectant (photos 11, figures 12 et 13). Ce pont peut supporter des charges lourdes correspondant à 4 camions de 30 tonnes. ▽

## OUVRAGES PRÉSENTÉS

- **PONT SUR LA DORE :** Pont routier tout trafic, France, 1994. Maître d'œuvre : BET Calvi (Dominique Calvi).
- **PONT DE SAN NICLA :** Pont routier (28 t), Suisse. Maître d'œuvre : Albert Mayer.
- **PONT DE STAFFEN :** Pont routier tout trafic, Autriche, 2000. Maître d'œuvre : BET Arborescence (M. Flach).
- **PONT DE L'AIRE DE CHAVANON :** Pont routier tout trafic, France, 2001. Maître d'œuvre : Egis JMI.
- **PONT DE RAGOZTOBEL :** Pont routier (40 t), Suisse, 2007. Maître d'œuvre : Bodo Uehli.
- **PONT DES FAYETTES :** Pont routier tout trafic, France, 2000. Maître d'œuvre : BET Arborescence (M. Flach).
- **PONT DE INNENFERRERA :** Pont routier, Suisse, 1998.

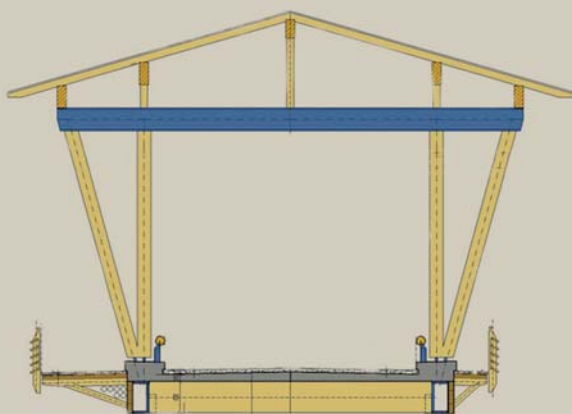


PHOTO 11 / FIGURES 12 & 13 © MICHAEL FLACH

11

## COUPE TRANSVERSALE DU PONT DES FAYETTES

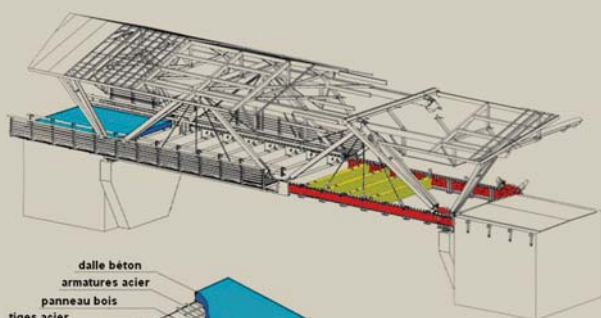
(GRIS : BÉTON ; BLEU : ACIER ; ORANGÉ : BOIS)



12

## AXONOMÉTRIE ET DÉTAIL

(BLEU : BÉTON ; ROUGE : ACIER ; JAUNE : BOIS)



13

Les trois matériaux sont connectés afin d'utiliser les meilleures capacités de chacun tout en tenant compte de leurs différences de comportement. En effet, l'acier et le béton ont le même coefficient de dilatation thermique et varient très peu sous la variation hygrométrique, alors que le bois est beaucoup moins sensible aux variations thermiques mais varie sensiblement

sous les changements hygrométriques. C'est pourquoi, béton et acier sont utilisés dans le même sens (longitudinal : dalle et poutres principales), alors que le bois est utilisé dans l'autre sens (transversal : pièces de pont). Dans ce cas, le tablier voit son poids réduit d'environ 50 % par rapport à celui d'une dalle béton traditionnelle, tout en restant apte à reprendre de fortes charges.

**11- Vue générale du pont des Fayettes (Isère).**

**12- Coupe transversale (gris : béton ; bleu : acier ; orangé : bois).**

**13- Axonométrie et détail (bleu : béton ; rouge : acier ; jaune : bois).**

**11- General view of Les Fayettes Bridge (Isère region).**

**12- Cross section (grey: concrete; blue: steel; orange: wood).**

**13- Axonometry and detail (blue: concrete; red: steel; yellow: wood).**

## CONCLUSION

La forte anisotropie du bois peut apparaître comme un obstacle à son utilisation dans les ouvrages d'art routiers. Il existe cependant un éventail de possibilités dans la conception du tablier qui permet d'employer le bois – seul ou avec d'autres matériaux – en alliant performance mécanique et élégance structurelle.

L'un des enjeux des concepteurs est d'utiliser le bois dans des configurations structurelles optimales qui le mettent notamment à l'abri des agressions liées à l'eau et aux intempéries en général. □

(1)- Par « tablier », on entend toute partie d'ouvrage constituée de la surface de roulement et des éléments qui la supportent directement ; dans le cas des ponts à poutres sous chaussée par exemple, le terme « tablier » peut inclure ces dernières.

## ABSTRACT

### A FEW THOUGHTS ON WOOD IN BRIDGE DECKS

EGIS JMI: NICOLAS DIDIER, JEAN-MARC TANIS

**Wood is now seeing renewed interest in its use for bridge construction, after being practically abandoned for a century for concrete and steel. In the past twenty years or so, this material has again been used in Europe, especially in alpine regions, clearly as part of the trend to sustainable development. One of the tricky points in the structural design of these structures is undoubtedly the deck. Since wood has weak transverse mechanical properties (shear, compression, traction), it is accordingly not very suitable for absorbing major localised loads. The challenge therefore is to design a deck that is sufficiently rigid to transmit loads to the entire loadbearing structure and thereby limit shear and bending stresses. From the all-wood deck to the composite deck combining concrete, steel and wood, the designer has several options open to him to demonstrate that wood nevertheless has its place in road structures. □**

### ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA MADERA EN LOS TABLEROS DE ESTRUCTURAS

EGIS JMI: NICOLAS DIDIER, JEAN-MARC TANIS

**Actualmente, la madera experimenta un resurgimiento en su utilización en la construcción de estructuras, después de haber estado prácticamente abandonada durante un siglo sustituida por el hormigón y el acero. Desde hace unos veinte años, este material se vuelve a emplear en Europa, particularmente en las regiones alpinas, debido, todo sea dicho, a la orientación hacia el desarrollo sostenible. Uno de los puntos delicados del diseño de estas estructuras es, sin duda, el tablero. En efecto, la madera presenta reducidas capacidades mecánicas transversales (cizallamiento, compresión, tracción) y, por este motivo, es poco apta para soportar cargas importantes puntuales. Por tanto, el reto es crear un tablero con la suficiente rigidez como para transmitir las cargas al conjunto de la estructura portante y, de este modo, limitar los esfuerzos de cizallamiento y de flexión. Desde el tablero de madera hasta el tablero mixto que combina hormigón, acero y madera, el diseñador cuenta con varias opciones para demostrar que la madera puede ocupar el lugar que le corresponde en las estructuras viales. □**