

# Le retour du bois

Autor(en): **Flach, Michael / Frenette, Caroline D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **128 (2002)**

Heft 12: **Ingénierie du bois**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80288>

## **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.

# Le retour du bois

**En forte croissance depuis quelques années, la demande de bois dans la construction est à la fois motivée par la recherche d'un habitat sain répondant à des exigences environnementales, et par des décisions politiques qui intègrent de plus en plus souvent le bois à la lutte contre l'effet de serre. En France, la nouvelle loi sur la qualité de l'air préconise notamment un usage accru du bois dans les constructions publiques, une mesure que le Danemark avait déjà adoptée auparavant. Le préjugé selon lequel l'utilisation du bois dans la construction contribue à la déforestation en Europe est en effet remplacé aujourd'hui par la conviction que le meilleur moyen pour contrôler le CO<sub>2</sub> consiste à le stocker dans le bois sous forme de biomasse pour fixer une partie des émissions dues à l'exploitation d'énergies fossiles.**

## Le choix du bois

Si le retour du bois dans la construction est manifeste sur le marché de l'habitation et des bâtiments publics, il demeure discret pour les ouvrages d'art, soit les passerelles, les ponts ou encore des murs de soutènement. Dans ce domaine et malgré de remarquables performances de résistance et de durabilité - démontrées notamment en Suisse par les projets de Grubenmann et le pont de Lucerne dont certaines pièces de bois sont en service depuis plus de 700 ans -, le matériau a en effet été chassé par l'acier et le béton.

Si les ouvrages d'art en bois, bien remarquables, restent donc relativement rares, les exemples français présentés dans cet article témoignent toutefois d'un changement et de la reconquête, par ce matériau, d'une partie de la place qu'il occupait dans le passé.

## Passerelle à Nantes

Signalons tout d'abord qu'en matière de structures de franchissement légères destinées aux piétons et cycles, le bois n'a jamais perdu son intérêt. Pour la réalisation de passerelles, le faible poids du bois lui confère un rapport

performance / poids propre qui l'emporte largement sur le béton et autorise des ouvrages filigranes très élégants.

La conception de la passerelle de Nantes (fig. 1) est née du souhait exprimé par cette commune forestière de tirer parti du bois de provenance locale. Afin de pouvoir utiliser du bois massif de sections courantes, les éléments ne devaient pas excéder 28 cm, si bien qu'il fallait limiter leur portée en flexion à 6 ou 7 m. La solution proposée fut de composer un tablier en madriers posés bord à bord pour former des plateaux en bois massif de 6,5 m de long et de 4 m de largeur. Pour assurer un franchissement autoroutier de 57 m, ces plateaux reposent tous les 6,5 m sur des traverses métalliques, elles-mêmes supportées par des tirants qui suspendent le tablier à deux pylônes en charpente bois. L'association du bois et du métal s'est avérée un choix judicieux sur un plan technique et économique, le premier reprenant les efforts de flexion et de compression tandis que les pièces métalliques constituent les assemblages et les éléments en traction. Il s'agit de liaisons par simple butée, et par brochage avec des tôles en âme. Sur le plan esthétique, les minces éléments de métal accentuent la finesse de la structure où seul le bois apparaît, donnant l'impression d'un plateau de 27 cm qui franchit une portée libre de 57 m.

Les plateaux du tablier ont été préfabriqués en atelier pendant la réalisation du gros œuvre sur le chantier. Cela a permis une pose du tablier par encorbellement successif en partant des deux rives. L'autoroute est restée ouverte durant toute la phase de montage, à l'exception d'une coupure nocturne d'une heure pour mettre en place les éléments de liaison des deux fléaux. Un revêtement en asphalte étanche recouvre le tablier et assure la protection des plateaux de bois contre les intempéries. Le bois est également présent dans les structures triangulées qui soutiennent le haubanage. Au-dessus du tablier et directement exposées aux intempéries, la protection de ces dernières justifie la toiture qui abrite aussi du mauvais temps les usagers de la passerelle.

Quant au comportement différentiel des deux matériaux face aux variations thermique et hygrométrique, son effet est négligeable car il s'agit d'une structure isostatique avec des

Fig. 1: Franchissement d'une autoroute par une passerelle de 57 m  
 Fig. 2: Tablier suspendu par haubanage pour une portée libre de 110 m (photomontage)

Fig. 3: Coupe transversale en rive

Fig. 4: Coupe transversale à mi-portée

assemblages rotulés. Les variations différentielles sont simplement absorbées par une adaptation géométrique de la structure. Pour la fabrication enfin, l'emploi de ces deux matériaux soumis aux mêmes tolérances de précision n'a posé aucun problème.

### Projet pour Grenoble

Elaboré avec l'architecte Yves Perret, le projet de concours pour une passerelle à Grenoble (fig. 2) montre que le bois est capable de franchir plus de 110 m sans perdre de sa légèreté.

Le tablier est réalisé par des nervures en bois lamellé collé, associées à des panneaux multi-plis de forte épaisseur. L'ossature primaire est constituée de quatre nervures pleines sur les travées de rive (fig. 3) et d'une poutre caisson en travée centrale (fig. 4). Composée de membrures en bois lamellé collé en Douglas et d'une âme en multi-plis renforcés par une triangulation en BLC, cette poutre occupe toute la hauteur disponible entre le gabarit conditionné par les plus hautes eaux de la rivière et l'extrados du tablier limité par une pente maximale pour les piétons.

Le point délicat de ce type d'ouvrage associant structure légère et grande portée est évidemment la maîtrise du comportement dynamique. Bien que la solution n'ait fait l'objet que d'une étude préliminaire, l'avant-projet prévoyait de limiter les vibrations excessives par un système d'amortisseurs qui les absorbe à l'interface câble-tablier, tandis qu'une étude dynamique de l'ouvrage était prévue afin d'en contrôler précisément les fréquences propres et éviter la mise en résonance. Dans cette optique, le projet associait un spécialiste en études dynamiques de l'Université UBC de Vancouver au bénéfice d'une expérience dans les ouvrages suspendus de grande portée. Dans le domaine des passerelles de grandes portées et quels que soient les matériaux utilisés, les comportements dynamiques délicats liés à la légèreté de la structure sont en effet les mêmes.

Bien que resté au stade de concours, ce projet illustre le potentiel technique et esthétique des passerelles en bois, ainsi que les difficultés auxquelles il faudrait faire face.

### Ponts routiers en bois

Les ponts routiers en bois sont encore très rares. Bien davantage sollicités que des passerelles, ces ouvrages doivent en effet reprendre des charges localisées de forte intensité qui sont plus faciles à répartir avec une dalle en béton. Le bois mérite cependant une meilleure place dans ce domaine aujourd'hui presque exclusivement réservé au béton. Sur le plan de la durabilité, des exemples de ponts en bois bien

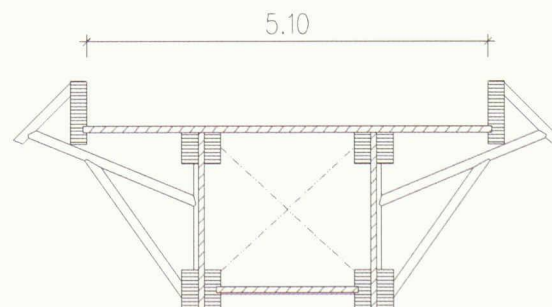
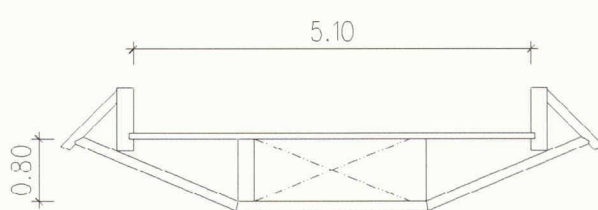
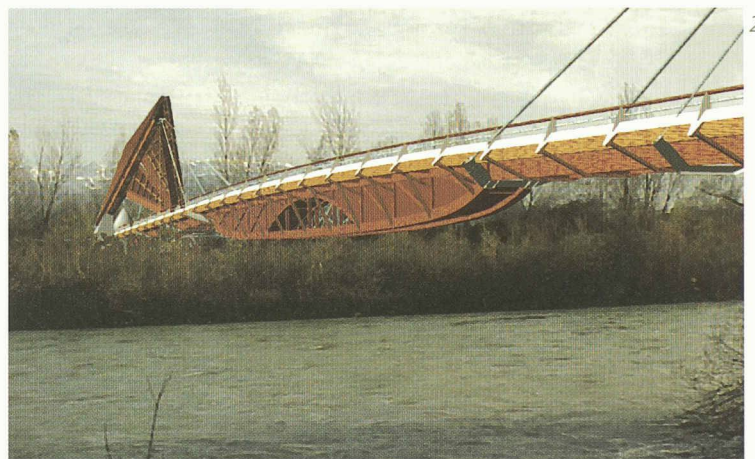


Fig. 5: Pont de Crest franchissant la Drome sur 94 m

Fig. 6: Pont de Crest: assemblage des contrefiches sur les nervures du tablier et sur l'appui béton

Fig. 7: Pont de Crest: stabilisation transversale de la structure en sous face

Fig. 8: Pont des Fayettees, structure tricomposite

construits ont en effet démontré que de tels ouvrages peuvent durer pendant des siècles avec peu d'entretien, tandis que les ponts en béton - dont les premiers datent d'une centaine d'années à peine - font l'objet d'une vaste campagne de réhabilitation et représentent une lourde hypothèque quant à leur entretien pour l'avenir. Le bois présente aussi d'autres avantages: au niveau des performances, un bois bien sélectionné est aussi résistant que le béton de qualité courante pour un poids propre cinq fois moindre et, sur le plan écologique, il est sans concurrence par son coût énergétique très faible et sa capacité de stockage de CO<sub>2</sub>. L'inconvénient majeur des ouvrages d'art en bois par rapport à leurs concurrents en acier et en béton réside dans le manque de recherches scientifiques: on ne dispose pas des connaissances fondamentales sur les phénomènes de fatigue, de fluage et de comportement dynamique liés à ce matériau. Faute d'expérience, l'administration se montre donc réservée, bien qu'un intérêt politique se manifeste de plus en plus face aux impératifs dictés par la protection de l'environnement.

#### Pont de Crest

Quelques exemples récents d'ouvrages en bois de conception moderne montrent l'intérêt d'associer bois et béton pour la construction du tablier. Une solution tout bois peut néanmoins être envisagée pour des ponts réservés aux véhicules légers, sans circulation de camions, comme celui de Crest, réalisé en 2001 sur la Drome (fig. 5 à 7).

Cet ouvrage de 94 m se distingue par sa forme arborescente: les contrefiches spatiales soutiennent le tablier comme les branches d'un arbre pour porter des nervures en bois lamellé collé de Douglas. Les puissantes piles en béton banché, base de l'arborescence, évoquent des formes animales, un thème cher à Yves Perret, l'architecte de ce pont. Des mastodontes qui peuvent faire face aux éventuels caprices de la rivière. Ces points d'appuis intermédiaires et les contrefiches spatiales permettent de réduire les portées de l'ouvrage et ainsi de diminuer l'épaisseur du tablier. Le jeu de triangulation a permis une optimisation de la structure. La disposition en «V» des contrefiches contribue à leur protection contre les intempéries et assure la transmission des efforts de contreventement (fig. 7). Les assemblages par emboîtement permettent une liaison par contact et conduisent à une ramification organique entre le tablier et son support. Afin de réduire les surfaces de contact et pour assurer la reprise en traction dans certains assemblages, des tiges (type FERWOOD) encollées dans le bois à la résine ont pour la première fois été utilisées dans un tel ouvrage.

L'autre nouveauté est la mise en œuvre de plateaux bois en

cinq plis, constitués de planches croisées et recollées à plat. Ces éléments de grand format ont été assemblés par lanquettes et fixés aux nervures par des assemblages mécaniques pour assurer le contreventement transversal du tablier. Ils supportent le complexe étanche de la chaussée et assurent la répartition des charges concentrées, la circulation étant limitée aux véhicules légers de moins de 3,5 tonnes. L'ensemble de la structure principale et le tablier sont construits en bois de Douglas purgé d'aubier de provenance locale. Grâce au triage par ultrasons, des bois de qualité C30 et plus ont été sélectionnés pour les nervures, alors que les plateaux ont été réalisés en Douglas de qualité C24.

Les trottoirs sont fixés sur des consoles en bois, qui supportent un complexe étanche protégé par un platelage en chêne posé à claire voie et renforcé par des profilés antidérapants. La structure principale est ainsi protégée par un débord latéral.

#### Pont des Fayettees

Quand il s'agit de supporter des charges lourdes telles des camions de 30 tonnes, la solution d'un tablier tout bois devient moins intéressante car ses porteurs secondaire et tertiaire prennent alors des proportions démesurées. L'approche choisie pour le pont des Fayettees (fig. 8), construit en 1998, montre une tout autre voie, qui est celle de la mixité des matériaux. Inspiré des ponts maisons traditionnels et malgré une apparence tout bois, il s'agit d'un ouvrage tri-composite de conception moderne.

Les trois matériaux, bois, acier et béton, n'étant pas seulement associés mais connectés entre eux, la difficulté réside dès lors dans l'appréciation de leur comportement différentiel. Si l'acier et le béton ont le même coefficient de dilatation thermique, le bois est deux à trois fois moins sensible à ce phénomène, mais il varie avec les changements hygrométriques.

Le tablier du pont des Fayettees est un plancher mixte bois-béton connecté. Dans la composition d'un tel plancher, le bois est un élément léger qui sert d'une part à coffrer la dalle de béton sans devoir planter une forêt de tours d'étalement dans la rivière, d'autre part à reprendre les efforts de traction du plancher en service. Il constitue également l'élément de finition apparente d'une grande qualité esthétique. Le béton assure quant à lui le rôle de plaque de répartition des charges concentrées résistant au poinçonnement, ainsi qu'aux efforts de compression du tablier et à la flexion localisée. De plus, il est agréé pour recevoir un complexe de chaussée traditionnel. Ce rôle lui convient parfaitement, car il est le matériau le moins cher pour travailler en compression

et il oppose un certain poids aux phénomènes de vibration. Les avantages d'un tel plancher mixte incluent la facilité de fabrication avec un coffrage participant à la structure, un important gain du poids propre (quelque 50% par rapport à une dalle béton de résistance égale), ainsi que l'économie réalisée sur les quantités d'armature métallique.

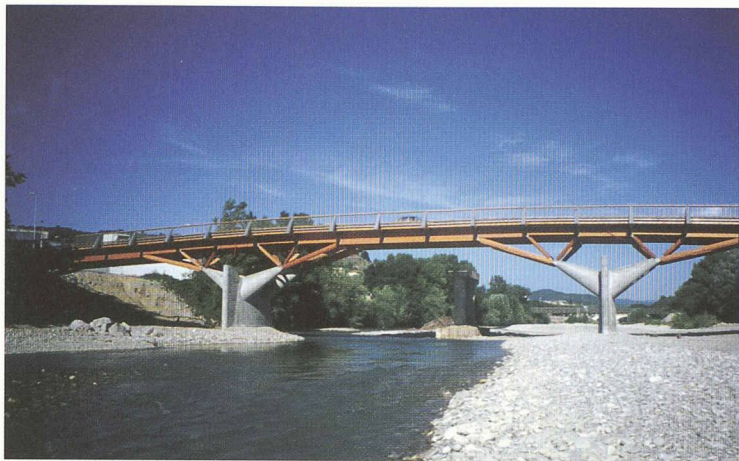
Le tablier est supporté par une structure principale formée de deux poutres treillis contreventées transversalement par des portiques et protégées par une toiture. Les contrefiches et la membrure supérieure de ces fermes sont en bois alors que la membrure inférieure est une poutre métallique reconstituée pour reprendre les efforts de traction tout en étant solidaire de la dalle béton et en permettant la soudure des attaches d'assemblage pour les membrures en bois. Afin de limiter les effets liés aux variations volumétriques différentielles entre les matériaux, le système bois-béton connecté a donc été limité à la structure secondaire, soit au plancher du tablier qui relie les fermes espacées de 7 m, tandis que dans le sens de la longueur, la dalle béton est connectée à la membrure inférieure en acier, matériau qui présente le même coefficient de dilatation thermique.

Dans cette conception, le bois, l'acier et le béton se complètent de façon optimale, chacun étant mis en œuvre selon ses capacités et connecté selon sa compatibilité. Dans ces conditions, les performances et le coût d'un pont multi-matériaux à dominante bois s'avèrent intéressants et compétitifs.

#### Pont sur l'A89

Malgré les avantages des systèmes connectés (gain de poids et meilleure utilisation de chaque matériau), il est déconseillé d'affecter des planchers mixtes bois-béton à des applications extérieures si les portées excèdent dix mètres. En effet, le comportement différentiel du bois et du béton engendre des contraintes internes élevées, notamment en cas de variation thermique et, à partir d'une certaine longueur du système connecté, ces contraintes annulent le gain de résistance dû à la connexion. Pour de très grandes longueurs, les connexions risquent même de se détériorer sous l'effet de phénomènes de fatigue dus aux variations cycliques à répétition.

Le pont routier sur l'A89 (fig. 9), dont la construction vient de se terminer, est également un exemple de pont mixte bois-béton. Il s'agit d'un ouvrage destiné au franchissement de l'autoroute sur 57 mètres, qui est accessible aux poids lourds ainsi qu'à un char de 120 tonnes. Le tablier est composé de cinq nervures longitudinales en BLC et de hourdis en béton portant transversalement (fig. 10). La connexion des deux éléments paraissait intéressante, mais la dissociation des



5



6



7



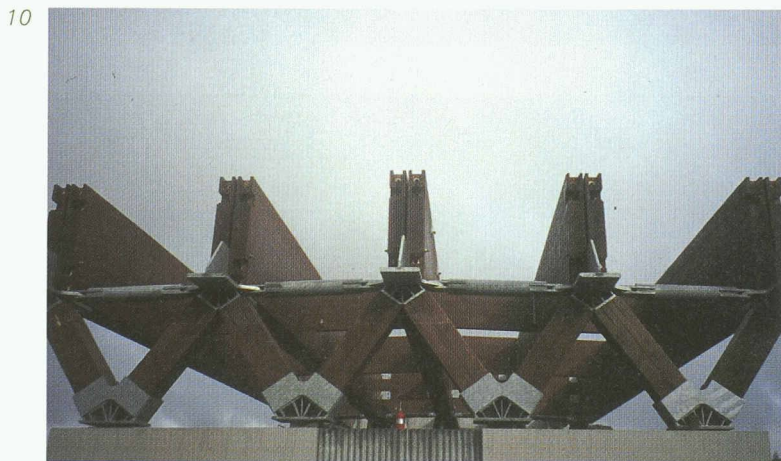
8



matériaux a été imposée pour deux raisons. D'une part, le manque d'expérience et de références ne permettait pas de garantir le bon fonctionnement de la connexion bois-béton sur une telle longueur. D'autre part, l'ancrage des glissières de sécurité de type BN4 n'est agréé, en France, que sur une dalle en béton armé.

La dalle en béton de haute performance en B50 repose donc par l'intermédiaire de plots en téflon sur les nervures en bois lamellé collé. Ces appuis permettent le glissement horizontal de la dalle par rapport à la structure en bois. Des butées, réalisées par équerres métalliques, étaient toutefois nécessaires pour relier les deux structures ponctuellement: ces liaisons ont été disposées de façon à transmettre les efforts de freinage et des chocs sur la glissière de sécurité sans empêcher la libre dilatation du tablier.

La dissociation des deux matériaux complexifie le système constructif et conduit à une hauteur statique relativement importante. La hauteur de la dalle en béton s'ajoute en effet à celle des nervures en bois sans pour autant augmenter la résistance statique. En l'occurrence, l'expérience montre qu'il est plus difficile de dissocier deux matériaux que de les connecter. Une autre difficulté rencontrée lors de la conception de l'ouvrage est liée au manque d'information et de réglementation relative à la dilatation thermique et la variation hygrométrique pour de telles structures. Ces phénomènes, habituellement négligés pour le calcul des structures en bois, ont été pris en compte avec des hypothèses relativement pessimistes, mais prudentes. Afin d'enrichir les données disponibles à ce sujet, l'ouvrage a donc été équipé d'instruments de mesure pour observer son comportement dans le temps avec la variation de l'hygrométrie et le fluage.



### Acquis et pistes à développer

L'expérience acquise sur les trois ponts routiers décrits montre que l'alliance bois béton répond mieux aux exigences posées par un ouvrage avec circulation lourde, et qu'un pont entièrement en bois n'est possible que lorsque les charges de véhicules sont limitées. La solidarisation des matériaux par connecteurs permet d'augmenter la résistance tout en évitant les problèmes constructifs - tels les phénomènes de soulèvement - relatifs à un système déconnecté, et la connexion s'avère pertinente lorsqu'elle s'applique au système porteur secondaire ou aux systèmes primaires de faible portée. Quant à la désolidarisation des matériaux, qui s'impose pour les plus grandes portées, elle conduit à des dispositifs techniques plus complexes et à des solutions qui paraissent moins performantes pour concurrencer le béton.



Fig. 9: Le pont routier franchit l'autoroute A89 sur 57 m.

Fig. 10: Nervures longitudinales en BLC

Fig. 11: Des assemblages de taille et de poids pour distribuer des efforts de 500 tonnes

Fig. 12 et 13: Un mur incliné suit des ondulations sur 170 m pour retenir un talus de 7 m de haut à Pontcharra (Savoie)

Fig. 14: L'assemblage est assuré par broches disposées aux intersections des rondins.

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par Arborescence)

Les réalisations évoquées n'en attestent pas moins que le bois - seul ou associé à d'autres matériaux - autorise des conceptions modernes adaptées à chaque cas, qui allient esthétique, performance, efficacité, durabilité et économie. La poursuite de recherches fondamentales devrait permettre de mieux appréhender le comportement d'un système mixte soumis à des variations climatiques pour élargir le domaine d'application des planchers connectés. A défaut, une autre solution consisterait à développer des dalles en bois de forte épaisseur, capables de reprendre de façon économique les charges liées au trafic lourd, tout en participant au système primaire.

### Soutènement: en bois aussi

Terminons par un ouvrage original, celui d'un mur de soutènement de 170 mètres de long et s'élevant jusqu'à 7 mètres (fig. 12 à 14). L'idée d'une telle réalisation - pour laquelle on fait habituellement appel au béton - venait du Conseil Général de l'Isère: les hommes politiques qui dirigent des communes forestières souhaitent en effet tirer un meilleur parti des ressources disponibles, le bois n'étant exploité qu'aux deux tiers de son accroissement.

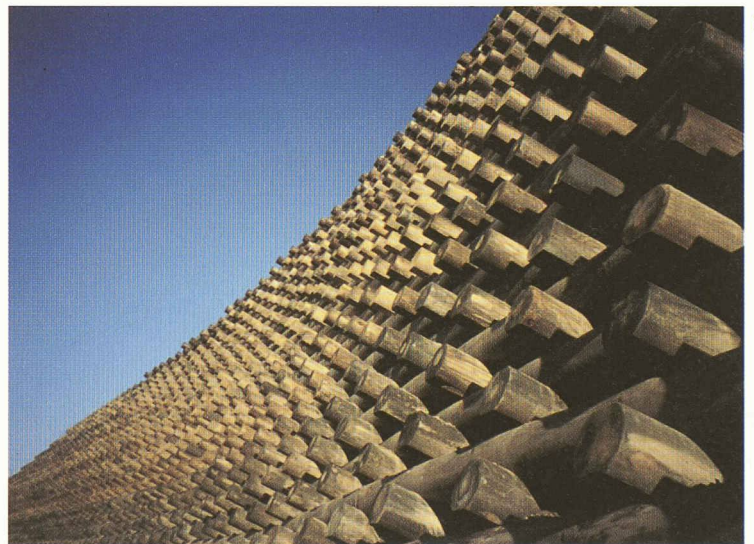
Après un concours d'idées, et une fois démontré que le coût d'un tel ouvrage en bois ne dépasse guère celui d'une réalisation en béton offrant une pérennité équivalente, le projet a été réalisé en 1999 pour le contournement d'une route nationale à Pontcharra. Le système consiste à empiler plus de dix mille rondins en pin autoclavé. Remplie par du concassé drainant, la structure forme un mur poids composé de bois et de pierres et la simplicité du système constructif a permis de réaliser un mur incliné courbe de géométrie complexe. Là encore, le dispositif s'inspire d'exemples historiques: il y a 2000 ans, les Romains utilisaient déjà ce type d'empilage pour fortifier leurs routes.

Le bois est de retour dans l'habitat grâce à ses performances écologiques, économiques et esthétiques. Quant au domaine des ouvrages d'art, il s'ouvre de nouveau à ce matériau: les réalisations illustrées dans cet article montrent que les approches et les possibilités sont variées. Il convient en l'occurrence d'associer les techniques anciennes aux technologies modernes des multi-matériaux, qu'ils soient connectés ou non. Cela dit, la clé pour optimiser l'usage du bois en combinaison avec d'autres matériaux réside dans la poursuite des efforts de recherche, un domaine où le bois n'est pas suffisamment représenté.

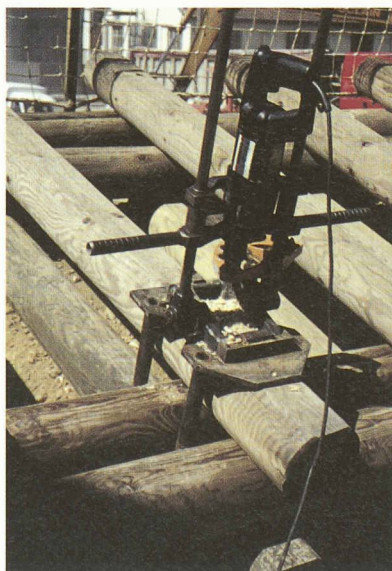
Michael Flach, Professeur à l'Université d'Innsbruck (A)  
Caroline D. Frenette, MASC de UBC/Vancouver  
Arborescence, Les Lanches  
F - 73210 Peisey-Nancroix



12



13



14