Grandes structures novatrices en France

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 17/18

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79397

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Grandes structures novatrices en France

Par Michael Flach, ing. conseil, prof. invité à l'EPFL, à l'Ecole d'architecture de Lyon et à l'University of British Columbia (Canada), et Caroline D. Frenette, M. A. Sc., Cantercel F-34520 Lavacquerie

Introduction

Grâce à la légèreté du bois et compte tenu de la performance du bois lamellé collé, les structures en bois peuvent franchir de grandes portées. Dans les années 60 et 70, on a souvent utilisé des arcs en bois lamellé collé considérés comme un des systèmes les plus performants et économiques. Massifs, de tels arcs ont toutefois contribué à l'image d'une charpente lourde et peu élégante, et les poussées importantes qu'ils exercent sur les fondations se sont avérées pénalisantes pour le budget global de la structure, selon la nature du sol sur lequel elle doit s'appuyer.

Construit en 1985, le vélodrome de Bordeaux représente, quant à lui, une nouvelle génération de structures, caractérisée par un système filigrane composé de membrures rectilignes et associant bois et métal (fig. 1). On constate également que les réalisations récentes de grande portée font de plus en plus appel à des structures tridimensionnelles optimisées par des programmes de calcul perfectionnés. De fait, la maîtrise de telles structures de géométrie complexe et hautement hyperstatiques a été rendue possible grâce aux progrès de l'informatique : des calculs en trois dimensions, des analyses au deuxième ordre, la génération graphique des maquettes de calcul et l'intégration de la souplesse des assemblages s'effectuent aujourd'hui sans problème sur un PC et permettent d'aborder des structures de grande complexité. Le développement de maquettes informatiques dans l'espace avec une très grande précision se fait couramment avec la CAO/DAO pour servir ensuite à la fabrication assistée par ordinateur sur des chaînes de taillage robotisées.

Pour augmenter les performances des structures de grande portée, il a également fallu développer des systèmes d'assemblage capables de transmettre des efforts de plusieurs centaines de tonnes, et les grands progrès intervenus au cours des dernières années sont dus à l'utilisation de techniques composites associant différents matériaux au bois.

Inversion des charges

Légèreté de la structure

La mise en œuvre de systèmes mixtes, et notamment l'association du bois et du métal, s'avère particulièrement intéressante pour réaliser des structures légères, où chaque matériau est utilisé selon ses meilleures performances. Des systèmes sous-tendus par des câbles permettent de pousser la légèreté à l'extrême et d'obtenir des structures filigranes d'une grande transparence. Mais c'est là aussi que l'ingénieur peut se trouver piégé : cette recherche de légèreté peut en effet déboucher sur des phénomènes de soulèvement dus au vent et sur l'inversion des efforts qui rend une structure instable si certaines précautions n'ont pas été prises. Par le passé, on a souvent recouru à un ajout de masse supplémentaire en toiture pour lester la structure. La précontrainte peut aussi résoudre le problème en assurant une tension résiduelle dans les câbles, afin d'éviter la mise en compression et le flambement. Pour la charpente du centre sportif de Saint-Vulbas (fig. 2), la précontrainte a été utilisée pour compenser les phénomènes de soulèvement par l'injection des efforts internes dans la structure. L'application d'une précontrainte de 10 t environ évite en effet une mise en compression des câbles qui rendrait le système de sous-tension inefficace.

WCTE'98 - 5th World Conference on Timber Engineering

Sous ce titre, la chaire de l'EPFL IBOIS organise sous la présidence du professeur Julius Natterer la 5e conférence mondiale sur la construction en bois, qui se déroule du 17 au 20 août 1998 à Montreux.

A cette occasion, nous présentons ici le second exposé[1] sur un mode de construction qui a connu et connaît encore une grande faveur, tant en Europe que sur le continent nord-américain.

Ces deux articles sont reproduits avec l'autorisation de l'éditeur et sont extraits des actes du congrès WCTE'98 paraissant au mois d'août 1998 aux *Presses polytechniques et universitaires romandes*, que nous remercions vivement.

[1] Voir *IAS* N° 15-16, pp. 246-251 FRANCK, BRUNO M. : « Culture, history, technology and American Timber architecture ».

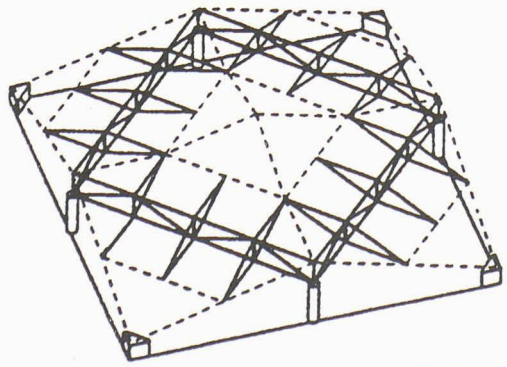

Fig. 1 – Vélodrome de Bordeaux : principe de structure

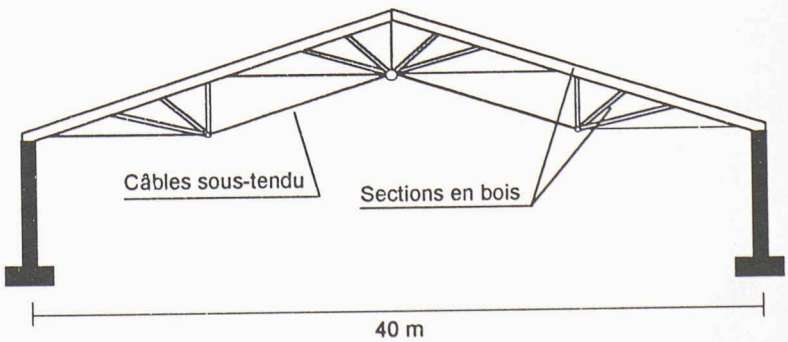

Fig. 2 – Centre sportif de St-Vulbas : structure primaire

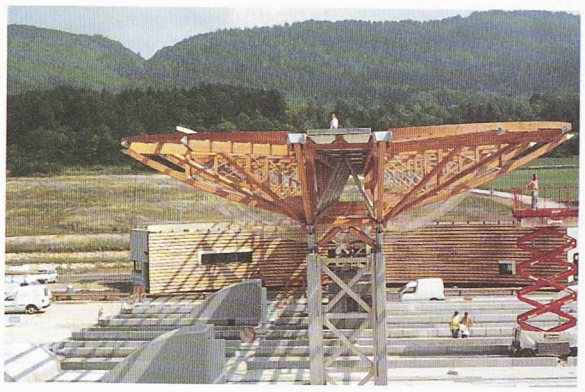

Fig. 3 – Gare de péage de Groissiat

Structure ouverte

Les structures ouvertes, comme celle de la gare de péage de Groissiat (fig. 3) [6], sont très exposées à une inversion de charges. Contrairement aux bâtiments fermés, dont l'effet de soulèvement au vent représente une portion des charges de gravité, les structures ouvertes doivent supporter les charges de même amplitude dans deux directions opposées. Pour ce type d'inversion des charges, l'ajout de lest sur la structure et la précontrainte ne suffisent pas à éviter la compression dans les minces membrures métalliques. Plusieurs techniques doivent donc être combinées pour constituer un système capable de résister aux fréquentes inversions des efforts dues au vent et aux charges de neige dissymétriques. Des sections de bois ou des tubes d'acier sont alors utilisés afin de résister aux efforts de compression comme aux efforts de traction. De plus, des contreventements formés de deux câbles métalliques croisés permettent de toujours garder un câble en traction et assurent ainsi une résistance dans les deux directions. La conception d'un tel système mixte demande souvent l'analyse d'une géométrie spatiale complexe, qui doit être traitée par un programme de calcul tridimensionnel et visualisée à l'aide de maquettes de CAO.

Importance du rapport inertie/matière

Pour franchir de grandes portées, l'efficacité d'une structure tient d'abord à son faible poids propre. Contrairement aux structures de petite ou moyenne portée, où les porteurs simples en section pleine sont couramment utilisés, il est indispensable pour des grandes portées de concevoir la structure primaire aussi bien que la structure secondaire comme des structures triangulées. Ces systèmes ont un bon rapport inertie/matière voire rigidité/poids dans la mesure où ils disposent d'une grande hauteur statique. Afin d'éviter de pénaliser les volumes par une augmentation de la hauteur de l'ouvrage, il faut, dès le départ, donner au bâtiment une forme logiquement adaptée à sa structure.

Les porteurs primaires conditionnent généralement la hauteur maximale. Ils sont disposés selon les conditions d'appui, en fonction de leur portée et suivant le gabarit d'exploitation. Le sens porteur ne correspond pas systématiquement à la plus petite portée, mais dépend aussi de la possibilité d'intégrer la structure dans le volume d'un éclairage zénithal en toiture. Pour la halle d'athlétisme de St. Gratien, près de Paris, qui couvre une surface de 6500 m², les pyramides d'éclairage zénithales sont implantées en fonction des fermes principales afin que les plus grandes hauteurs disponibles correspondent aux zones les plus sollicitées (fig. 4). La forme des pyramides correspond à un treillis bidirectionnel dont les nœuds de croisement se trouvent au centre de chaque pyramide. L'intérêt d'un treillis réside dans un report des charges suivant deux directions, afin de réduire les charges par ferme par rapport à un système linéaire. Pour la structure se-

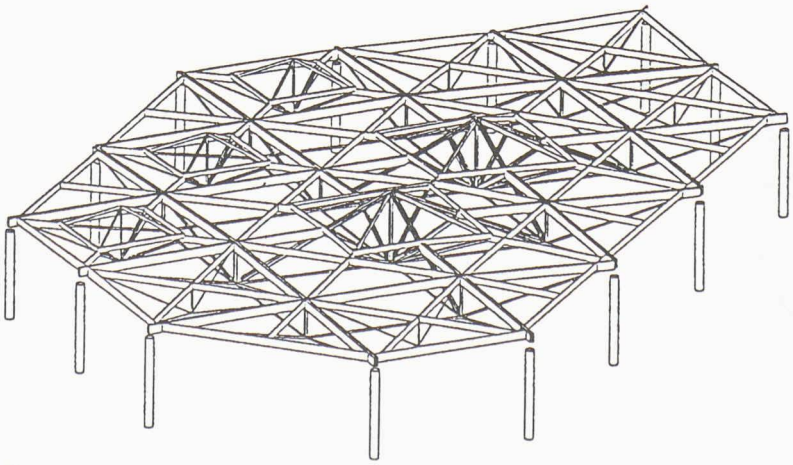

Fig. 4 – Halle d'athlétisme de St-Gratien

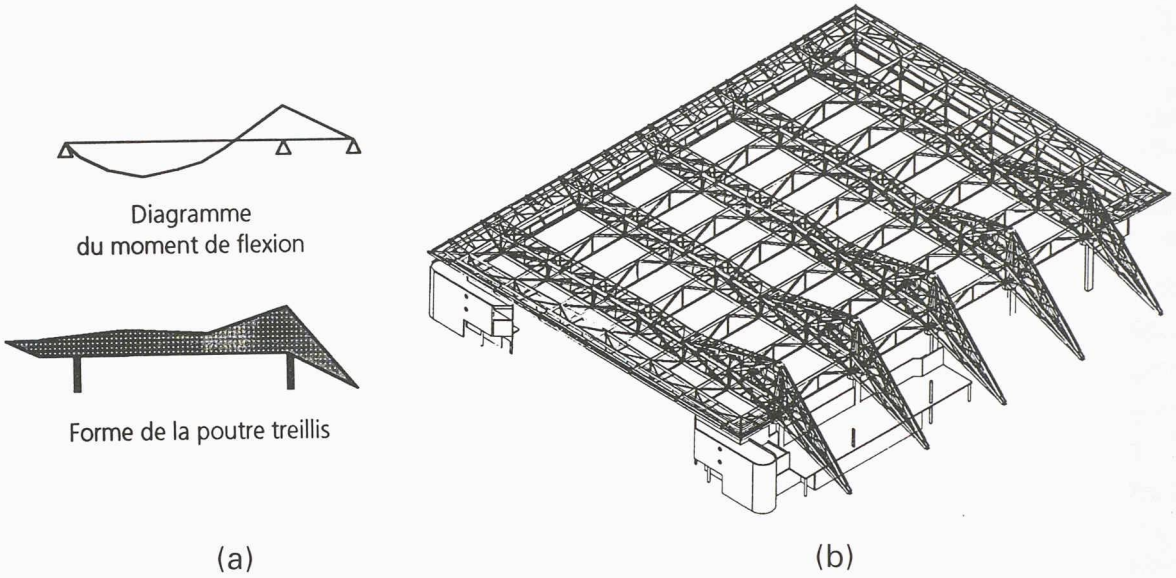

Fig. 5 – Grand hall de Martigues

condaire, il s'agit également d'une structure sous-tendue qui s'inscrit dans chaque carré de la structure primaire pour recouper les portées des pannes. Le fait de tourner le sens porteur de la structure secondaire de 45° permet de trianguler la résille dans le plan afin qu'elle contrevente le système primaire et le plan de la toiture.
La finesse de la structure a été obtenue grâce au système bidirectionnel de grande hauteur statique, mais aussi par la mise en œuvre du bois et du métal, de manière à ce que chaque matériau travaille dans des conditions mécaniques et économiques optimales. La distinction des matériaux et de leur fonction est clairement soulignée par la couleur, les tendeurs étant peints en rouge pour faciliter la compréhension du fonctionnement de la structure.

Conditions d'utilisation

L'affectation d'un bâtiment impose souvent des exigences quant à la forme et au type des structures utilisées. La structure du Grand hall de Martigues couvre une surface de 10 000 m² (fig. 5). Le choix d'une structure linéaire concentrée découle des conditions d'utilisation qui imposent un réseau de passerelles techniques. La hauteur statique de la structure primaire, sous forme d'une poutre treillis caisson portant sur deux travées, varie en fonction de la courbe des moments de flexion, pour franchir une portée libre de 60 m.
Les nervures qui dépassent le plan de la toiture et qui rejoignent le sommet de la structure au-dessus de l'appui central coïncident avec les volumes d'éclairage zénithal.
Les fermes secondaires, sous forme de treillis triangulaires qui relient transversalement les poutres caissons, ramènent les charges sur les nœuds du porteur principal et stabilisent les membrures de celui-ci. Ensemble, les système primaire et secondaire constituent une résille permettant de répartir des charges scénographiques atteignant jusqu'à 200 t, qui s'appliquent de façon aléatoire sur les fermes.

Assemblages

La capacité limitée des assemblages, particulièrement en traction, est un problème fréquemment rencontré lors de la conception de grandes structures spatiales en bois. Ainsi, pour le Grand hall de Martigues décrit ci-dessus, des efforts allant jusqu'à 250 t de traction devaient être repris de façon concentrique sur les nœuds. Pour de telles structures, différentes techniques d'assemblage sont donc mises en œuvre afin de répondre aux efforts en tenant compte de la géométrie des nœuds. La transmission des efforts de compression se fait souvent par contact avec ou sans l'aide de résines de haute résistance, tandis que les forces de faible traction et de cisaillement sont reprises par des boulons, des clous striés ou des broches. Cependant, les assemblages reprenant d'importants efforts de traction sont plus exigeants. La distribution de ces derniers dans un large groupe de connecteurs est dépendante de la mise en œuvre de chacun de ces connecteurs et peut difficilement être quantifiée. La performance et la fiabilité des systèmes dépend donc essentiellement de la minimisation des jeux d'assemblage et de la réduction du nombre de connecteurs pour éliminer les aléas de répartition des efforts. C'est pourquoi, une nouvelle génération de connecteurs pouvant

transmettre de très grands efforts sont utilisés dans les assemblages de traction bois sur bois. Les tampons de type *Bertsche* qui sont frettés par broches et injectés avec une résine de haute résistance font partie des ces types d'assemblages.
Lors de la conception des assemblages, il est aussi important d'éviter les efforts parasites dus à l'excentricité des forces ou à la rigidité à la rotation des assemblages articulés. Les systèmes spatiaux complexes créent souvent des assemblages multiples. Il est important de diriger les efforts de façon concentrique sur le nœud afin de limiter les contraintes parasites. Les maquettes informatiques tridimensionnelles développées avec la CAO/DAO aident grandement à la visualisation spatiale de tels assemblages. De plus, la fabrication assistée par ordinateur permet de les réaliser en suivant précisément les maquettes détaillées.

Conclusion

Franchir de grandes portées avec le bois sans recourir à des arcs de grande section est possible. Des structures spatiales, composées de systèmes triangulés, peuvent être étudiées pour allier différents matériaux tels le bois, l'acier, les câbles précontraints et le béton dans l'élaboration de solutions adaptées aux exigences spécifiques de chaque projet.
La conception de ces structures filigranes implique la résolution de problèmes spécifiques tels que les inversions de charges, le besoin d'une grande hauteur statique, la rencontre d'exigences relatives aux conditions d'utilisation et la capacité limitée des assemblages.
Les récents progrès informatiques en analyse des structures, maquettes informatiques de CAO, et préfabrication ont permis le développement de solutions novatrices pour résoudre ces différents problèmes. La construction de récentes « méga-structures » en France a montré que les structures filigranes sont des solutions intéressantes qui allient légèreté, élégance et économie. La réalisation de tels projets est principalement due à un travail de collaboration dès le début entre l'architecte et l'ingénieur pour permettre une conception alliant le concept architectural choisi à un système structurel logique.

Bibliographie

[1] «Charpente tridimensionnelle de 6300 m³ mixte bois/acier», *Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment,* Paris, janvier 1996, p. 72
[2] «Centre départemental de formation d'animation sportive», *Japanese architecture review,* Japon, 1995, pp. 20-23
[3] Le Govic, Claude: « Hall de rencontre, Martigues » *in* « Les assemblages dans la construction en bois », éd. Centre technique du bois et de l'ameublement (CTBA), Paris, mars 1995, pp. 124-127
[4] Le Govic, Claude: « Centre scolaire et sportif, Saint-Vulbas », *ibidem,* pp. 114-115
[5] Le Govic, Claude: « Vélodrome, Bordeaux », *ibidem*, pp. 84-87
[6] « Gare de péage en verre et bois », séquences Bois, Grands ouvrages et équipements, CNDB, Paris, juillet 1998, pp. 6-7.

Nomination à l'EPFL

Le Conseil des EPF a récemment nommé le professeur suivant à l'EPFL.

Robert G. Owens, professeur assistant en mécanique des fluides non-newtoniens
Né en 1965, originaire du Pays de Galles (Grande-Bretagne), M. Owens, a obtenu en 1988 le diplôme de mathématicien de première classe de l'Université d'Oxford, puis en 1991, après avoir travaillé pendant trois ans dans le groupe « rhéologie » du professeur K. Walters FRS, un doctorat à l'Université du Pays de Galles avec une thèse intitulée « Spectral Methods in Fluids Dynamics ».
De 1990 à 1993, il se livre à des recherches en méthodes numériques pour les écoulements de fluides non-newtoniens au Département de mathématiques de l'Université Bogazici, à Istanbul, avec le soutien d'une bourse de la Société Royale de Londres.
Il retourne en 1993 en Grande Bretagne, où il est engagé comme professeur assistant en mathématiques à l'Université d'Edimbourg. Depuis 1994 et jusqu'à sa nomination à l'EPFL, il est professeur assistant en mathématiques appliquées à *Napier University*. M. Owens apporte à l'EPFL une grande expérience d'enseignement universitaire. Ses recherches sont principalement vouées aux méthodes spectrales et à la simulation des écoulements de fluides non-newtoniens.
Marié et père d'une petite fille, il est entré en fonction le 1er septembre 1998.