

# Structure métallique de la halle 6

Autor(en): **Babel, Charles / Petignat, Jean-H.**

Objektyp: **Article**

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

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

Heft 09

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80277>

## **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.

# Structure métallique de la halle 6

GÉNIE CIVIL

La structure en acier du type triangulé qui constitue la toiture de la halle 6 (fig. 1) s'appuie sur quatre tours évidées, en béton armé, de 8x8 m et 13 m de hauteur depuis le niveau d'exposition. Traversant la plate-forme, ces porteurs s'encastrent dans le sol par l'intermédiaire de fondations sur pieux forés.

## Système primaire

Le système statique primaire comprend deux portiques perpendiculaires à la direction de l'autoroute Lausanne-Genève

(fig. 2). Leurs traverses sont des poutres à treillis (poutres principales) dont les extrémités s'appuient sur des arêtiers composés de quatre barres obliques. Les portiques étant isostatiques, ils n'exercent pas de poussée horizontale au sommet des tours sous l'effet des charges de gravité. Un des quatre appuis articulés est fixe dans le plan horizontal, deux sont guidés dans une direction et le dernier est libre de se déplacer dans tous les sens. Grâce à ces dispositifs, les déplacements horizontaux dus aux variations de température ne sont pas entravés. Chacune des poutres principales servant de traver-

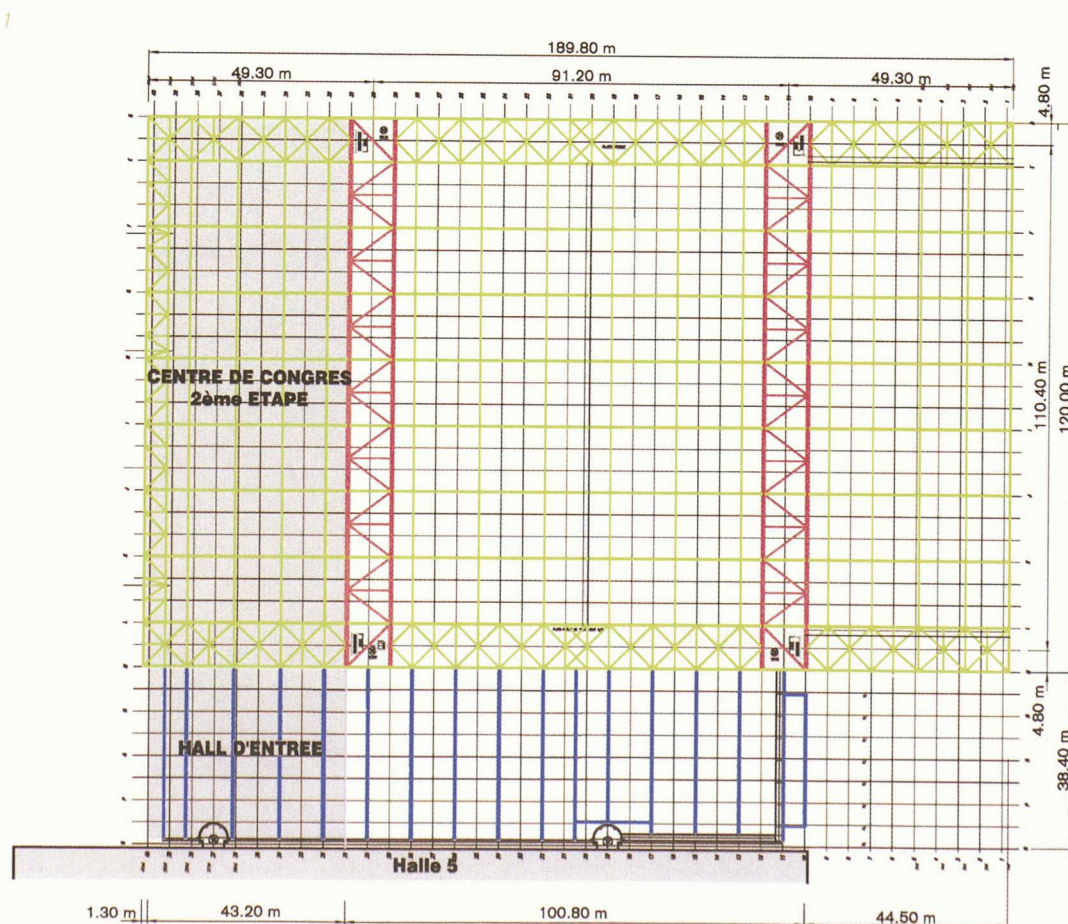


Fig. 1 : Vue en plan de la structure

Fig. 2 : Coupe longitudinale

Fig. 3 : Coupe transversale

se aux portiques est constituée de deux doubles poutres triangulées d'une longueur totale de 110,4 m et d'une hauteur hors tout d'environ 8 m.

Etant donné l'importance du poids propre et du poids mort de la structure, des contre-flèches de l'ordre de 35 centimètres ont été prévues. Toutes les barres des treillis sont des caissons dont les parois présentent des épaisseurs variant entre 30 et 80 mm en fonction des efforts à reprendre.

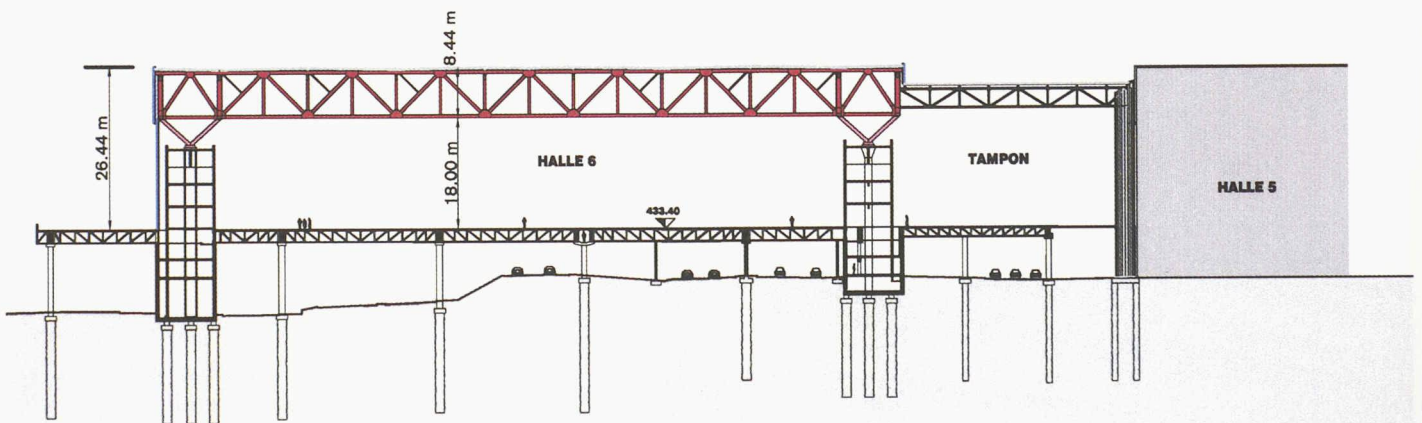
Les différents éléments ont été fabriqués dans un acier à grain fin de la nuance Fe E460 qui a été choisi pour sa haute résistance, afin de contribuer à restreindre le poids de la charpente. Toutes les tôles ont fait l'objet d'un contrôle rigoureux de qualité et ont été réceptionnées en usine. L'assemblage par soudure des barres constituant les poutres principales a été réalisé sur le chantier, et l'ensemble des joints soudés à cœur a fait l'objet de contrôles de qualité par ultrasons et magnétoscopie. Ces derniers ont été effectués par le laboratoire de contrôle interne au consortium d'entreprises et ponctuellement vérifiés par un organisme extérieur mandaté direc-

tement par le maître de l'ouvrage et placé sous les ordres de la direction technique des travaux.

Pour assurer la reprise des charges horizontales agissant parallèlement à l'axe de l'autoroute (essentiellement l'effet du vent et des accélérations dynamiques d'origine sismique), les deux poutres triangulées qui composent les traverses des portiques ont été contreventées horizontalement deux à deux aux niveaux des membrures inférieures et supérieures, de manière à créer un caisson. Les diagonales du contreventement sont des tubes circulaires dont l'assemblage sur les membrures a été réalisé par boulonnage sur des goussets.

Les arêtiers servant de support aux poutres principales forment des pyramides renversées dont le rôle est de diriger les réactions d'appuis au centre de chacune des tours. Ils sont composés de caissons en forme de losange, eux-mêmes faits de tôles soudées dont l'épaisseur varie de 40 à 50 mm. Cette géométrie a été adoptée parce qu'elle garantit une bonne transmission des efforts entre les faces des membrures des poutres et celles des arêtiers.

2



3

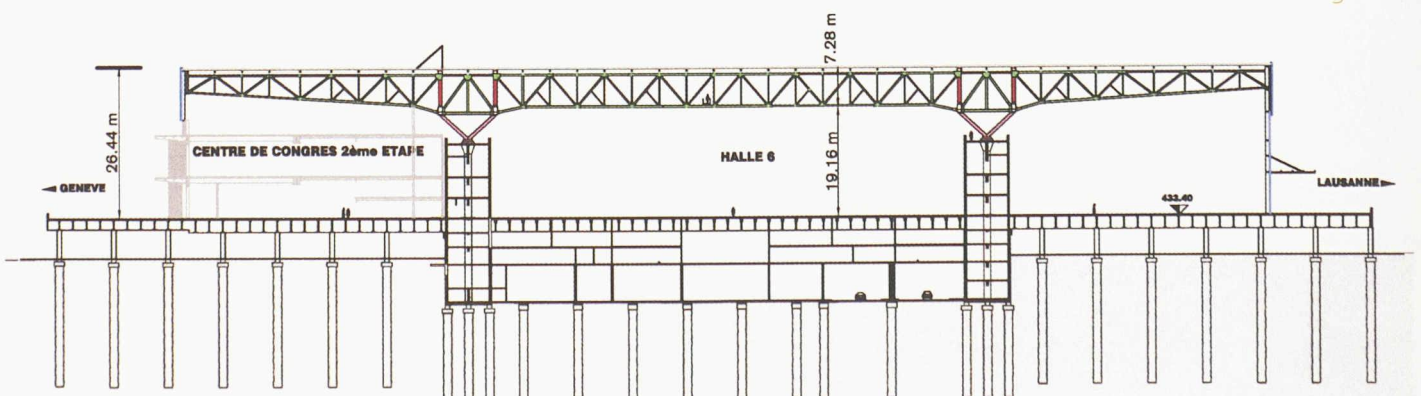


Fig. 4 : Détail du dispositif pendulaire

Fig. 5 : Appui des pannes sur les poutres secondaires

Fig. 6 : Liaison entre les raidisseurs et les façades



### Système secondaire

Un réseau de dix poutres secondaires sont disposées perpendiculairement aux poutres principales. Egalement triangulées sur des hauteurs variant entre 3 et 6 m, elles ont une longueur totale de 200 m et s'appuient sur les poutres principales, espacées longitudinalement de 100 m, ce qui crée deux porte-à-faux de 50 m à chaque extrémité (fig. 3). Les barres constituant les poutres secondaires sont des profilés laminés dont les dimensions sont adaptées aux efforts à reprendre, et qui ont tous été assemblés au moyen de boulons à haute résistance.

Afin de reprendre les efforts horizontaux agissant perpendiculairement à la direction de l'autoroute, les poutres secondaires de bord sont contreventées deux à deux aux niveaux des membrures inférieures et supérieures à l'aide de diagonales boulonnées sur le chantier. Les barres des contreventements sont soit des tubes, soit des cornières étrésoilonnées.

A l'instar de ce qui a été fait pour les poutres primaires et pour les mêmes raisons, des contre-flèches de 35 cm ont également été appliquées aux extrémités des porte-à-faux. La valeur de la contre-flèche varie d'un porte-à-faux à l'autre en fonction de sa position sur les poutres principales, soit près des pyramides ou en travée: certains porte-à-faux ont reçu une contre-flèche absolue de 35 cm alors que d'autres intègrent encore les contre-flèches de la poutre principale, avec quelque 70 cm. Ces différences ont dicté une géométrie (longueur des barres) variable pour les éléments constituant les poutres secondaires.

Les poutres secondaires sont chargées par des pannes espacées de 4,80 m qui supportent des tôles nervurées (fig. 5). Ces profilés, posés sur les membrures des poutres secondaires, sont assemblés par des plaques frontales de façon à créer un système continu. Parallèles aux membrures supérieures des poutres principales, les pannes ne sont pas sollicitées en compression grâce à un dispositif de barres pendulaires qui permet un mouvement perpendiculaire aux poutres secondaires (fig. 4).

Les tôles nervurées, fixées sur les pannes comme support pour la toiture, ont été zinguées et sont perforées pour des raisons d'absorption phonique. Leurs épaisseurs varient entre 0,88 et 1,25 mm en fonction des portées et des charges à reprendre.

Compte tenu des impératifs dictés par le planning, les tôles ont été clouées sur les pannes avant le levage de la structure. De ce fait, elles sont soumises aux mêmes déformations que les membrures supérieures des poutres secondaires, ce qui est susceptible de provoquer d'importantes sollicitations de traction et/ou compression dans leurs plans. Afin de véri-

fier le comportement des tôles et de leur fixation, des essais en vraie grandeur ont été effectués dans les ateliers de l'entreprise. Ils ont montré que si les tôles ne se déchiraient et ne se voilaient pas, les trous s'ovalisaient en revanche autour des clous, ce qui risquait de diminuer l'efficacité des clous sous l'action de charges de succion dues au vent. La résistance à l'arrachement a par conséquent également été testée et s'est révélée suffisante. Toutefois, compte tenu de l'ovalisation des trous, il a été décidé de ne pas compter sur les tôles pour empêcher le déversement des pannes et de prévoir des tirants horizontaux pour garantir leur stabilisation.

En plus des éléments porteurs, un réseau de passerelles de service ainsi que des sommiers destinés à supporter les importantes charges des monoblocs de ventilation et de réfrigération ont été intégrés dans la structure (fig. 7). Toutes les barres susceptibles de flamber ou de déverser sous l'effet de combinaisons de charges défavorables ont été stabilisées par des tirants.

## Façades

Les façades sont constituées par des réseaux de barres verticales et horizontales sur lesquelles seront fixés des peaux en bardages isolés et des éléments translucides en *Profilit*.

Servant d'appuis aux extrémités des porte-à-faux des poutres secondaires, les raidisseurs verticaux de la façade pignon côté Lausanne ont en outre été dimensionnés pour supporter une marquise d'une largeur de 6 m sur la façade. Et lors de l'exécution du futur Centre de congrès, les extrémités des poutres secondaires côté Genève s'appuieront sur des colonnes.

Quant aux raidisseurs des façades longitudinales, ils ne servent pas de support à la structure, pas plus que ceux de la façade perpendiculaire à l'autoroute côté Genève. Dans ce dernier cas, les liaisons entre la structure et les sommets des raidisseurs ont été conçus pour ne transmettre que les charges perpendiculaires aux façades. Les mouvements dans les autres directions sont possibles grâce à des dispositifs de glissement réalisés en acier inoxydable et néoprène (fig. 6) Les mouvements relatifs verticaux peuvent atteindre +/- 25 cm.

## Toiture de liaison avec la halle 5

A l'exception des pannes qui sont des profilés laminés du commerce, cette structure est composée de poutres en treillis.

Une poutre primaire continue, parallèle à la façade de la halle 5, s'appuie sur sept colonnes tubulaires collées à cette dernière. Cette poutre triangulée, d'une hauteur de 6,1 m,

est faite de barres en profilés, assemblées au moyen de boulons sur le chantier. Les poutres secondaires ont une portée de 38 m pour 3,2 m de hauteur. Elles sont fixées sur la poutre primaire parallèle à la façade de la halle 5 et aux montants de la poutre secondaire extérieure de la toiture de la halle 6. Quant aux pannes en profilés laminés supportant les tôles de toiture, elles sont espacées de 4,80 m et fixées directement sur les membrures supérieures des poutres secondaires.

La stabilité horizontale est assurée par des contreventements de toiture, réalisés en tubes et prenant appui sur l'ossature de la halle 6.

## Montage de la toiture de la halle 6

La géométrie en plan des poutres principales et secondaires de la toiture a été définie pour qu'il soit possible d'effectuer la mise en place au niveau définitif par le procédé dit du levage. Celui-ci consiste à effectuer - sur la plate-forme de la halle 6 - le montage complet de la structure (y compris les

6





7

installations techniques et les passerelles de service), puis de la soulever d'un bloc jusqu'à sa position définitive (fig. 8 et 9). Cette solution a été retenue comme la plus avantageuse, tant du point de vue de la sécurité, que des délais et des coûts. En effet, les coûts spécifiques liés au matériel de levage (tours provisoires, vérins et câbles) auxquels s'ajoutent les frais de manutention (main-d'œuvre) se trouvent largement compensés par les avantages suivants:

- La faible hauteur des étais (limitée à 5 m, face aux 18 m de vide sous la halle) en fait des éléments légers qu'il n'est pas nécessaire de stabiliser au moyen de haubans, lesquels auraient constitué des entraves importantes à la circulation des engins de levage et donc une augmentation considérable des risques d'accident durant le montage.
- La diminution de la hauteur d'étais entraîne aussi des économies importantes par l'utilisation de camions-grues moins grands et moins puissants pour la mise en place des éléments secondaires de structure tels que pannes, filières et diagonales de contreventement.
- L'accès des monteurs et des soudeurs avec leur matériel est nettement facilité et peut se faire au moyen de nacelles motorisées et d'élévateurs à ciseaux classiques.
- L'accessibilité nettement plus aisée de la structure constitue une source d'économie supplémentaire non négligeable pour la mise en place et la fixation de la couverture, des équipements sanitaires et électriques, ainsi que ceux de chauffage et de ventilation.
- Le processus a permis un gain de temps considérable sur l'ensemble des travaux de construction, puisque la structure a pu être assemblée sur site en six mois.
- Enfin, les tours en béton armé ont pu être complètement réalisées avant le début du montage de la charpente.

Transportée par camions entre les usines de préfabrication et le chantier, la structure métallique a ainsi été montée et assemblée sur la plate-forme préalablement construite sur l'autoroute. L'assemblage a été effectué sur des étais provisoires situés à une hauteur d'environ 5 m au-dessus du futur

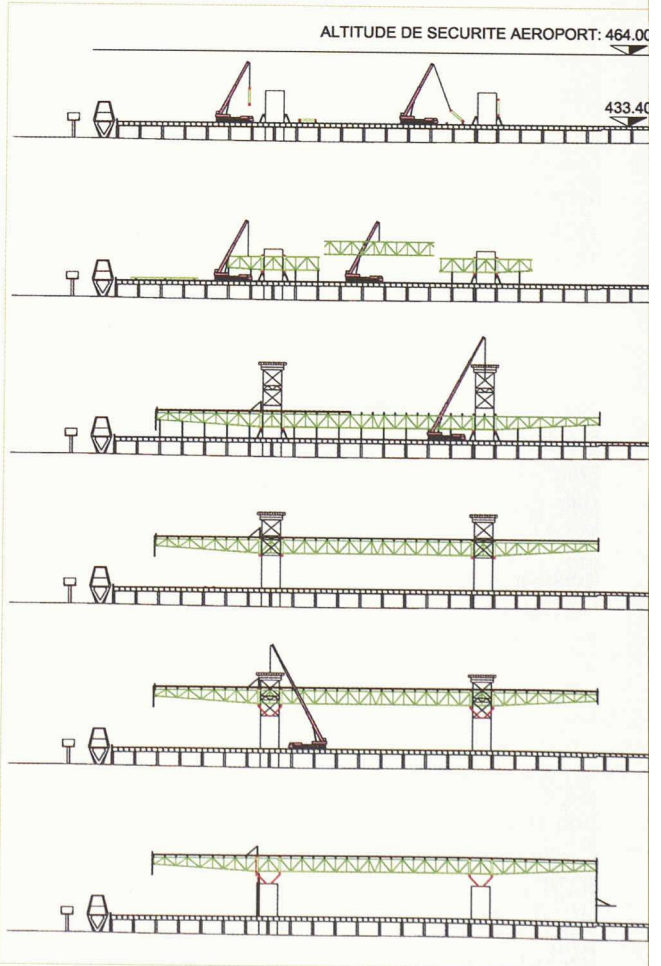




Fig. 7 : Passerelles de service et installations techniques

Fig. 8 et 9 : Montage et levage de la structure

niveau d'exposition. La manutention et la pose des éléments de la structure ont été exécutées à l'aide de camions-grues sur pneus. Les poutres primaires et secondaires ont été préalablement assemblées au sol par soudage ou boulonnage, puis mises en place sur les étais par tronçon de poutres dont le poids maximum était de 87 tonnes (fig. 10 et 11).

Les pannes, les contreventements, les passerelles et les sommiers de support des installations techniques ont été assemblés au moyen de boulons, de même que l'ossature d'un lanterneau dont la surface en plan est de 106,6 x 4,8 m. Les tôles de couverture ont été clouées sur la toiture, l'isolation et l'étanchéité étant également complétées avant le levage de la structure.

Simultanément au montage, l'entreprise a procédé à la mise en place des tours de levage, soit des structures en acier d'une hauteur de 18 m prolongeant les quatre tours en béton (fig. 12).

Au sommet de chacune des tours de levage, une plateforme de travail a été construite pour servir de support aux batteries de vérins hydrauliques (six par tour, d'une capacité de 330 tonnes chacun) qui ont assuré le levage de la structure sur une hauteur de 13 m. La suspension de la structure a été réalisée au moyen de câbles d'acier accrochés aux membrures supérieures des poutres principales, où des réservations avaient été spécialement prévues pour trois attaches par membrure.

#### Levage de la toiture terminée et finitions

Le poids total au levage - incluant le poids propre, l'isolation, l'étanchéité et les équipements (monoblocs de ventilation, climatiseurs, gaines et tuyaux de distribution de ventilation, chauffage, sanitaires, etc.) - atteint 5500 tonnes. Compte tenu des risques de chutes de neige liés à la période planifiée pour l'opération, une charge supplémentaire de 1500 tonnes avait été prise en compte dans le dimensionnement des vérins et des câbles de suspension.



10

Le levage et les finitions se sont déroulés selon les étapes suivantes:

- décollage de la structure des étais de montage et contrôles divers dans une situation d'appuis très comparable au système définitif,
- levage jusqu'à la cote définitive,
- pose des arêtiers en pyramides, assemblés puis soudés sur les dispositifs d'appui provisoirement suspendus à la structure (fig. 13),
- détente des câbles de suspension après scellement des appuis et durcissement du béton à haute performance,
- démontage des tours de levage,
- pose des escaliers d'accès à la toiture et de la tour d'ascenseur,
- fermeture de la toiture au-dessus des zones d'appuis.

### Centre des congrès (2<sup>e</sup> étape)

Le porte-à-faux de la toiture du côté ouest de la halle 6 servira de toiture du Centre de congrès prévu en deuxième étape (fig. 3). L'édifice sera appuyé en façade sur des colonnes porteuses construites dans le prolongement de celles supportant la plate-forme. Il en ira de même pour les colonnes intérieures supportant les planchers du futur Centre, si bien que la descente des charges s'effectuera directement sur les fondations sans provoquer aucun effort supplémentaire dans la structure de la plate-forme.

Encastrées au sol, les parois en béton autour des cages d'escaliers et d'ascenseurs compléteront le système porteur vertical et assureront la stabilité horizontale de la structure, en particulier pour les charges dues aux séismes.

11





Fig. 10 : Mise en place des poutres principales

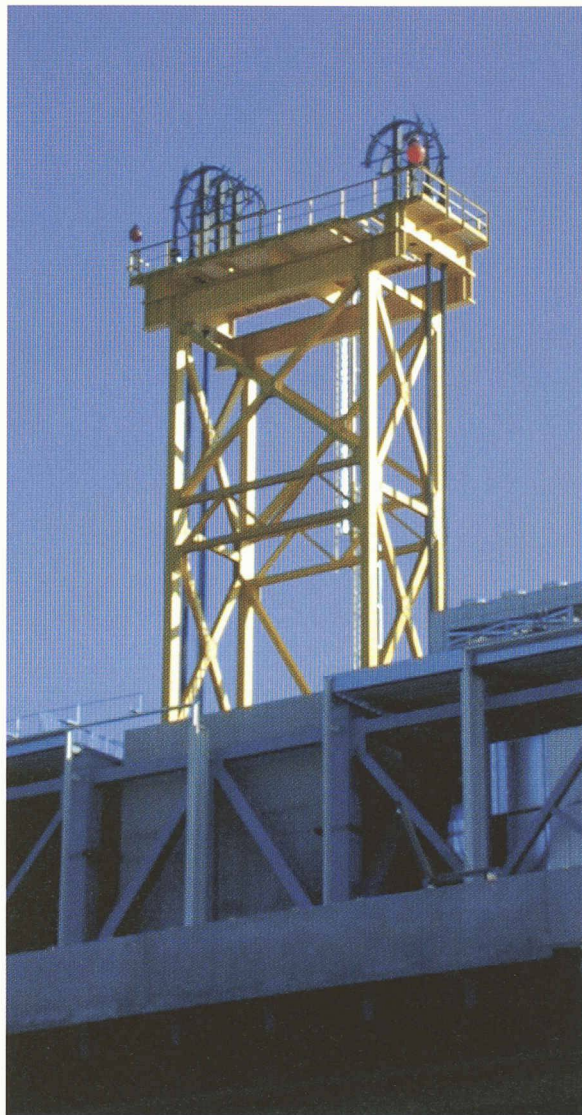
Fig. 11 : Montage de la structure

Fig. 12 : Tour de levage

Fig. 13 : Mise en place des arêtiers

12

La structure horizontale des deux planchers et de la mezzanine sera composée de sommiers primaires continus en profilés composés soudés. Variant selon leur espacement et leurs portées, la hauteur maximale de ces sommiers atteindra 1,5 m. Le système secondaire sera constitué par un réseau de profilés métalliques espacés de 2,4 m, qui seront fixés entre les sommiers primaires par des assemblages boulonnés. Ces poutres, également des profilés composés soudés, supporteront un plancher mixte fait de tôles nervurées sur lesquelles le béton sera mis en place par pompage, tandis que la liaison entre le plancher mixte et les poutres sera assurée par des connecteurs soudés.



### Particularités de la toiture de la halle 6

De par ses dimensions sortant de l'ordinaire - portées de 110 m reposant sur seulement quatre tours, avec les importantes déformations tant verticales qu'horizontales qui en découlent -, la structure présente un certain nombre de particularités.

Tout d'abord, en raison du procédé du levage retenu et en vue de la construction du futur Centre des congrès, le système statique et la disposition des appuis se voient modifiés à quatre reprises, ce qui a conduit à un dimensionnement par étapes successives. Ensuite, une attention particulière a dû être accordée à l'étude de la compatibilité des déformations

entre les éléments d'habillage et ceux de la structure. Enfin, un nombre considérable de cas de charge était à envisager, soit quelque vingt-six situations différentes, puisqu'outre le poids propre, le poids mort et les surcharges climatiques, il a notamment été tenu compte de surcharges d'exploitation variables pour la suspension de matériel et d'objets lors des expositions, d'éventuelles cellules photovoltaïques sur une partie du toit et de la suspension de cabines d'interprètes au-dessus du futur Centre de congrès.

Ces complications ont pu être maîtrisées en grande partie par des moyens informatiques, plus particulièrement par des logiciels fiables et performants au moyen desquels il a été

13



Fig. 14 : Assemblages boulonnés

Fig. 15 : Vue d'ensemble après fermeture de la toiture

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par le bureau Sumi, Babel, Petignat SA)

14



possible de déterminer les efforts et les déformations des quelque cinq mille barres dont la structure est constituée et ce, pour divers cas de charge et différents systèmes statiques.

En ce qui concerne les déformations sous poids propre et poids mort, il faut mentionner que les mesures effectuées lors du levage ont confirmé de façon quasi parfaite les résultats obtenus par calcul. Outre le caractère performant de la modélisation informatique, cela démontre également la très haute qualité de l'exécution des assemblages boulonnés (fig. 14), qui se caractérisent par des jeux très réduits entre les diamètres des percements dans les diverses barres et goussets.

#### QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

Surface levée	24 000 m <sup>2</sup>
Poids de la charpente (1 Boeing 747 = 350 t)	3500 tonnes
Poutres principales (4)	2600 kg/ml, soit 312 tonnes/pièce
Longueur des composés-soudés	1,6 km
CV	1,25 km
Epaisseur des tôles	30 à 80 mm
Poutres secondaires (10)	620 kg/ml, soit 124 tonnes/pièce
Longueur des profils	9,6 km
CV	3,35 km
Pannes	4,8 km
Tirants	4,8 km
Poids au levage (charpente + couverture + installations techniques)	5500 tonnes
Durée du montage (sur la plate-forme avant levage)	6 mois

15

