

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 17

Artikel: Couverture du Centre culturel et Palais des Congrès de Lucerne
Autor: Wüthrich, Willy / Wieland, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81512>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Couverture du Centre culturel et Palais des Congrès de Lucerne

(GÉNIE CIVIL)

Pour le nouveau Palais des Congrès de Lucerne implanté au bord de l'eau, l'architecte Jean Nouvel a développé comme idée de base le dialogue entre le lac et le bâtiment. D'une part, deux canaux communiquant avec le plan d'eau séparent les trois grandes unités du complexe, d'autre part, la toiture recouvrant le tout s'élançe comme une aile jusqu'au-dessus du lac et, à l'instar d'un miroir, en reflète la surface à quelque vingt mètres de haut.

Tout au long de la planification et de la réalisation du projet, le concept architectural a accompagné jusque dans les détails le travail des spécialistes, qui ont été sollicités tout particulièrement dans des domaines comme l'acoustique pour la fameuse « salle blanche », les structures porteuses pour le grand porte-à-faux de la toiture, le génie civil pour les fondations spéciales sur pieux dans un terrain extraordinairement mou, les installations techniques, ainsi que la scénographie pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble complexe du projet.

Le travail de planification a débuté en 1992, l'exécution en 1995. En août 1998, la première étape était inaugurée avec, comme pièce maîtresse, la salle de concert, conçue en collaboration avec l'acousticien Russel Johnson de New-York. Le complexe entier, comprenant le restaurant jouxtant la gare et les salles de musée, a été achevé au mois de mars de cette année.

Dans ce qui suit, nous nous limiterons aux aspects particuliers liés à la réalisation de la structure porteuse du toit.

Caractéristiques de la toiture

La toiture presque quadratique de 112,7 m sur 107,2 m recouvre tout le complexe et se prolonge du côté nord-est jusqu'au-dessus du lac. La caractéristique essentielle du toit est son porte-à-faux extraordinaire, de 36,1 m au nord et 26,6 m à l'est, ce qui représente une portée de 44,8 m sans appui en diagonale [1][2]¹.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

La structure porteuse est un grillage orthogonal dont les éléments porteurs en acier sont espacés de 5,4 m dans les deux directions. Du côté nord-est, trois poutres diagonales additionnelles assurent la rigidité nécessaire à la zone en porte-à-faux d'extrémité. Des contreventements maintiennent la stabilité du système dans le plan horizontal.

La hauteur des poutres d'acier à âmes pleines varie de 370 cm au droit des colonnes d'appui, à un minimum de 5 cm à l'extrémité libre (fig.1 et 2). Sous l'effet des charges permanentes, la surface inférieure est horizontale ce qui lui donne, vue de dessous (fig. 3), l'aspect d'une aile extrêmement mince. La structure le long du bord de la toiture est conçue de manière à résister notamment aux grands efforts de torsion dus aux turbulences qui se forment lors des tempêtes.

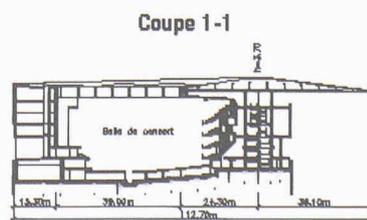
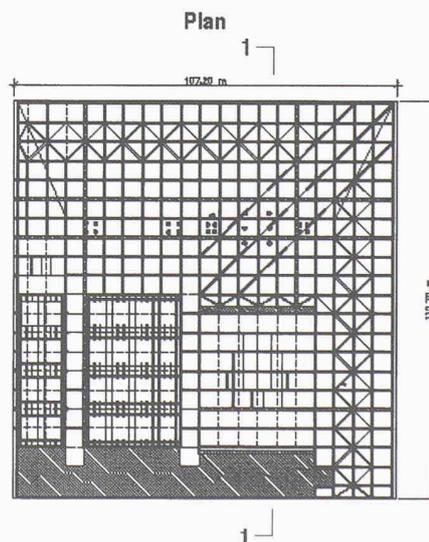


Fig. 1: Vue en plan et coupe

Fig. 2: La toiture en construction

Fig. 3: Vue de la face inférieure terminée
(Photos W. Wütrich & M. Wieland)

La couverture supérieure du toit consiste en une tôle de cuivre de 0,6 mm d'épaisseur supportée par des panneaux et des poutrelles en bois. Cette structure secondaire présente l'avantage d'avoir un poids propre très faible. La surface inférieure, bien visible par les passants, est constituée de panneaux d'aluminium (de 2,7 m sur 1,35 m) alvéolés de section sandwich, fixés au système porteur secondaire en profilés d'acier. Ces éléments sont séparés entre eux par des joints ouverts de 5 mm assurant une ventilation naturelle de l'intérieur de la toiture. Pour garantir une sécurité suffisante au risque de rupture par fatigue sous l'effet du vent, les éléments d'assemblage ont été testés rigoureusement en tenant compte des efforts statiques et dynamiques donnés par les essais sur maquette en soufflerie.

Plan de sécurité et d'utilisation

Les actions principales agissant sur la structure du toit sont:

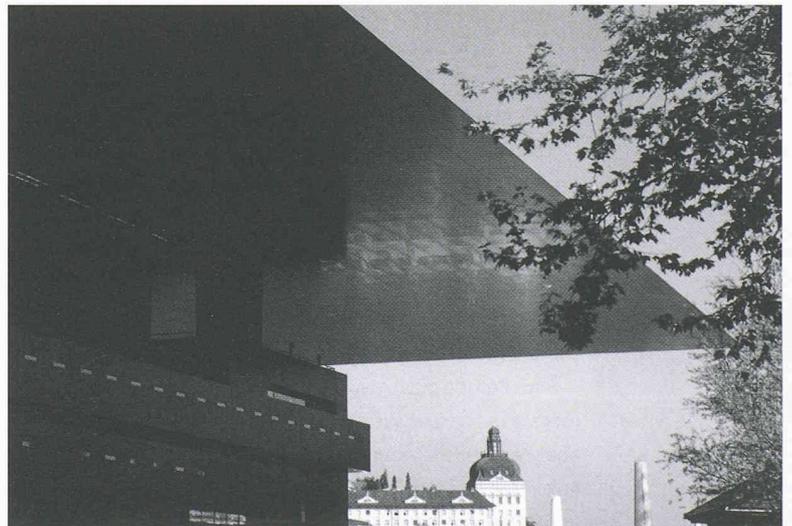
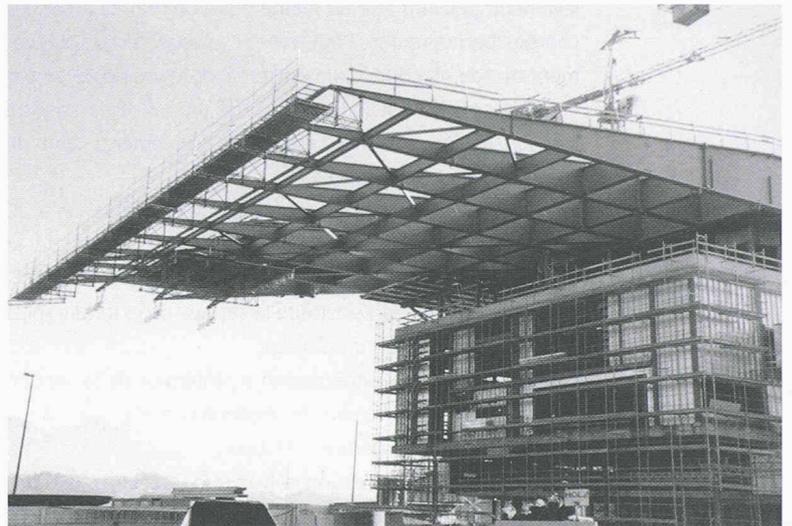
- le poids propre des structures porteuses primaires et secondaires;
- les charges permanentes dues au poids des éléments non porteurs (couvertures supérieures et inférieures);
- les charges utiles (en particulier pour permettre d'assurer l'entretien de la toiture);
- la neige, le vent et les efforts imputables aux séismes.

Les données de base concernant ces actions sont tirées des normes SIA 160.

Pour le dimensionnement des poutres d'acier du grillage, les critères de service, c'est-à-dire, dans le cas particulier, de déformation et de rigidité, furent déterminants. Les flèches du porte-à-faux nord-est sous l'action de la neige ou du vent ont été limitées à 1/200 de la portée, ce qui représente environ 25 cm en valeur absolue. D'autre part, pour éviter des effets de résonance lors d'une tempête, la fréquence fondamentale d'oscillations propres devait être supérieure à 1,0 Hz. Afin de satisfaire aux conditions de déformations et de rigidité mentionnées ci-dessus, les sections nécessaires des éléments porteurs principaux sont telles que les contraintes dues aux actions extérieures sont relativement faibles. Cela présente naturellement un avantage notable en ce qui concerne la sécurité à la fatigue du système global. Pour le dimensionnement des assemblages, en particulier des soudures et des connections boulonnées, se sont en revanche les conditions de sécurité à la fatigue sous charges dynamiques qui furent déterminantes.

Les valeurs maximales des flèches à l'extrémité nord-est de la toiture sont les suivantes:

- poids propre et charges permanentes: 28 cm
- gradient de température estivale (+20 °C): 22 cm (vers le bas)



- gradient de température hivernale (-10 °C): 11 cm (vers le haut)
- neige: 23 cm
- vent (pressions données par les essais en soufflerie): 19 cm (vers le haut) et 16 cm (vers le bas).

Ces valeurs extrêmes ne se présentant pas simultanément, elles ne doivent donc pas être cumulées. La flèche due aux charges permanentes a été éliminée durant le montage de la structure d'acier grâce aux compensations (contre-flèches) très soigneusement calculées d'avance; la tolérance par rapport à l'horizontale sous charges permanentes était de 3 cm au bord libre. Quant aux effets imputables à des séismes, ils n'ont pas été déterminants pour le dimensionnement en raison de la situation de Lucerne dans une zone sismique peu sévère. Enfin, les efforts du vent de bas en haut (effets de sou-

lèvement) peuvent être du même ordre de grandeur que les charges permanentes. Pour assurer la sécurité au soulèvement du toit, il a donc fallu ancrer la structure porteuse par des éléments de traction au droit des appuis. Les forces de traction extrêmes (niveau de dimensionnement) sont de l'ordre de 1,5 MN par appui.

En plus des actions extérieures discutées ci-dessus, on a dû tenir compte des facteurs suivants dans l'étude de la construction de la toiture:

- élimination de l'eau sur toute la surface de la toiture (plus de 10 000 m²) lors d'un orage;
- phénomènes de condensation à l'intérieur de la section (pour éviter la corrosion des matériaux métalliques ou la détérioration des éléments en bois);
- phénomènes de corrosion galvanique (présence de différents métaux);
- accès et sécurité des personnes pour l'entretien de la structure;
- élimination de la formation de glaçons au bord du toit (par l'installation d'un fil de chauffage le long du bord libre);
- évitement de sifflements (effet de flûte) dus au vent dans les joints de la couverture inférieure.

Actions dues au vent, essais sur maquette en soufflerie

Le Centre culturel étant situé au bord du lac de Lucerne, il s'avérait nécessaire d'étudier spécialement les effets du vent sur la structure de la toiture [5].

Pour l'étude d'avant-projet, les actions du vent ont été estimées en se basant sur les normes existantes, ainsi que sur une analyse spéciale tenant compte des caractéristiques propres aux vents de la région. Ces études ont justifié un dimensionnement conservateur de la structure globale et, en particulier, une surestimation des flèches dues au vent dans la zone critique nord-est.

Pour éliminer les incertitudes concernant la répartition des pressions locales dues au vent et les effets de turbulences, des essais en soufflerie ont été effectués dans les laboratoires de l'Université de Western Ontario au Canada, un centre spécialisé dans ce genre d'analyse [3].

Les essais ont été menés sur une maquette en plexiglas, fixée sur une table tournante à l'échelle 1:200. Les bâtiments voisins du projet ont été inclus dans le modèle jusqu'à une distance de 250 m et on a tenu compte des conditions de turbulence en fonction de la direction du vent. La maquette étant rigide, les déformations de la toiture n'ont pas été prises en considération dans cette simulation.

La vitesse maximale du vent simulé dans la soufflerie cor-

respondait à un vent à probabilité d'apparition moyenne de trente ans, un choix basé sur les données de la norme SIA 160. Au niveau de la toiture, c'est-à-dire à 21 m au-dessus du lac, une vitesse maximale de 44 m/s a donc été admise pour un vent soufflant depuis le lac, et de 37 m/s pour un vent soufflant de la ville.

Trois types d'analyse ont été menés à bien:

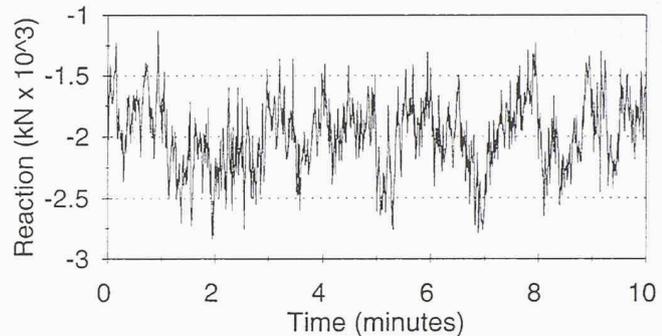
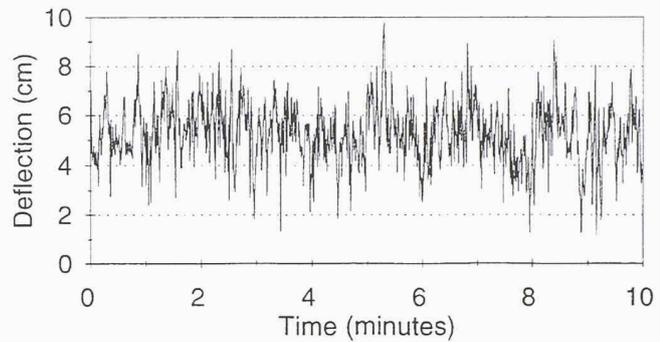
- 1) la visualisation des effets de turbulence: les turbulences créées par le vent autour du Centre ont pu être observées grâce à un élément fumant, attaché à une tige placée dans les zones critiques près de la toiture et des façades - le but essentiel de ce test était de visualiser les zones de grandes turbulences, voire d'évaluer l'influence du passage de grands bateaux à proximité du bâtiment;
- 2) la mesure des pressions locales du vent: ces pressions locales ont été mesurées simultanément en 256 positions sur les surfaces de la toiture et des façades, livrant des informations qui ont servi de bases de calcul pour les actions du vent, en particulier les efforts locaux de pression et de succion sur les éléments de la toiture et des façades - les valeurs enregistrées correspondent aux valeurs maximales apparaissant dans l'espace d'une heure;
- 3) la mesure des vitesses de vent: les vitesses du vent ont été observées en seize points - avec des résultats qui se sont avérés utiles pour repérer les zones critiques en ce qui concerne le confort des visiteurs et des piétons, dans et autour du Centre, en cas de vent violent.

Résumé des résultats de mesure

Les essais en soufflerie ont montré que les valeurs maximales de pression locale du vent sur les éléments de façade sont de l'ordre de 1,9 kPa, mais qu'elles s'élèvent à 3,9 kPa le long du bord libre du toit. Il a fallu tenir compte de ces extrêmes pour le dimensionnement d'éléments de petites dimensions dans la toiture et dans les façades, ainsi que pour celui des assemblages correspondants. Pour le dimensionnement de la structure porteuse globale, en revanche, des valeurs bien inférieures peuvent être utilisées, étant donné que les maxima n'apparaissent pas simultanément aux différents endroits du système.

Les avantages essentiels que l'on peut tirer des essais en soufflerie sont les suivants:

- les essais livrent des informations sur la répartition des pressions locales du vent, informations que l'on ne peut tirer des données figurant dans les normes;
- les valeurs de pression moyenne mesurées (sur la structure globale) sont généralement inférieures aux valeurs relativement conservatrices des normes - grâce aux essais, il est



donc possible de dimensionner de manière optimale les sections des structures porteuses dans les cas où l'influence du vent est prédominante;

- les essais en soufflerie permettent de répondre aux questions de stabilité concernant la structure globale sous l'influence des effets dynamiques dus au vent; selon les cas, il peut en effet s'avérer très difficile d'obtenir des résultats convaincants quant à la sécurité aux phénomènes de résonance par une analyse purement numérique.

Vibrations de la toiture

Les turbulences dues au vent produisent des variations de pressions locales en fonction du temps. Les fréquences dominantes des pressions agissant sur le toit du Centre sont inférieures à 0,2 Hz. La fréquence propre fondamentale de la structure étant de l'ordre de 1,4 Hz, l'influence des effets dynamiques du vent sur les vibrations de la toiture demeure donc relativement faible. Pour tenir compte de cette influence sur les efforts intérieurs et les réactions d'appuis de la structure, une analyse dynamique numérique a été effectuée: l'ordre de grandeur de ces effets est inférieur à 20% des efforts calculés sur le système pseudo-statique (fig. 4)

Surveillance à long terme

Pour suivre le comportement dynamique de la toiture à long terme, neuf jauges «strain gauges» et deux accéléromètres ont été fixés à des points névralgiques de la structure. Les valeurs mesurées sont en permanence enregistrées en même temps que la température et la vitesse du vent. Ces informations permettent de juger de l'influence du vent à long terme sur la sécurité à la fatigue en particulier des assemblages soudés et boulonnés.

Les mesures enregistrées jusqu'à présent ont confirmé la valeur calculée de la fréquence propre fondamentale: valeur mesurée 1,3 Hz (valeur théorique 1,4 Hz). Les variations de contraintes jusqu'ici mesurées dans les jauges électriques sous l'action des vents les plus violents sont de l'ordre de 4 MPa, soit bien inférieures aux valeurs théoriques calculées sous charges de dimensionnement.

Conclusions

Sur la base de l'analyse structurale, des essais en soufflerie, ainsi que des mesures de contrôle effectuées à ce jour dans la toiture, on peut avancer les conclusions suivantes :

- les essais en soufflerie ont permis un dimensionnement sûr en ce qui concerne les actions extrêmes du vent, dimensionnement qui s'avérait difficile à exécuter uniquement par méthodes analytiques;

- les valeurs extrêmes des pressions locales dues au vent, obtenues grâce aux essais en soufflerie sont, en certains endroits, plus importantes que les valeurs données dans les normes de charges;
- les flèches maximales dues aux actions du vent sont du même ordre de grandeur que celles dues au poids propre, à la neige ou aux effets de température;
- les critères de déformation sous charges de service sont ceux qui déterminent le dimensionnement de la structure dans la zone en porte-à-faux;
- les effets dynamiques dus au vent jouent un rôle secondaire grâce à une fréquence propre fondamentale supérieure à 1,0 Hz; on a tenu compte de ces effets par un facteur d'amplification des sollicitations pseudo-statiques de 15%.

Références

- [1] WIELAND M., WÜTHRICH W., MALLA S.: «Lucerne Culture and Congress Centre», *Structural Engineering International* 1/2000
- [2] WIELAND M., MALLA S., WÜTHRICH W.: «The Extraordinary Roof of the New Congress Centre in Lucerne, Switzerland», Proc. Civil and Environmental Engineering Conference (C&EEC), New Frontiers & Challenges, AIT's 40th Anniversary, Bangkok, Thailand, November 1999
- [3] WIELAND M., ISYUMOV N., EDEY B.T.: «Wind Action on the New Congress Centre, Lucerne, Switzerland», Proc. 10th International Conference on Wind Engineering, Copenhagen, Denmark, June 1999
- [4] PLÜSS E., WÜTHRICH W.: «Kultur- und Kongresszentrum Luzern - Ausgewählte Bauingenieuraufgaben», *Schweizer Ingenieur und Architekt*, Nr. 33-34/1998
- [5] WIELAND M., WÜTHRICH W.: «Kultur- und Kongresszentrum am See in Luzern, Sicherheit der Dachkonstruktion», Festschrift Prof. Dr Hugo Bachmann zum 60. Geburtstag, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, September 1995, (p. 162)