

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 132 (2006)
Heft: 11: Le complexe de la Maladière

Artikel: Dynamique de la structure des salles de gymnastique
Autor: Gorgé, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99477>

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: 17.03.2025

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

Dynamique de la structure des salles de gymnastique

Le concept architectural du complexe de la Maladière accorde aux halles de gymnastique une importance particulière: elles dominent l'entrée principale du stade sur toute sa largeur. Si cette solution marque à coup sûr l'accès à l'arène, leur réalisation à l'aide de porte-à-faux d'une portée supérieure à douze mètres a engendré des contraintes statiques et dynamiques particulièrement sévères.

Géométrie de l'ouvrage

L'ensemble des salles de gymnastique se compose de deux grands espaces, qui peuvent chacun être divisés en trois halles de 15,60 par 28,10 m. La longueur totale est de 115,36 m pour une largeur de 31,65 m, dont 12,50 m en porte-à-faux. Le plancher des salles se situe au niveau E+4. Il sert en outre de toiture aux divers locaux (bureaux, salles de presse, vestiaires, etc.) de l'étage E+3. Surplombant l'entrée du stade, les étages E+3 et E+4 ont une hauteur totale d'un peu plus de 14 mètres (fig. 1 et 2).

Le projet initial prévoyait une réalisation mixte acier-béton pour les dalles. Toutefois, il s'est avéré que les exigences liées à la protection incendie d'une structure mixte engendreraient des coûts plus importants qu'une solution en béton.

Par ailleurs, compte tenu des fortes poussées vers le haut engendrées par la nappe phréatique, la variante en béton présentait en outre l'« avantage » d'être sensiblement plus lourde, et donc de diminuer les risques de soulèvement du bâtiment.

Concept statique

La structure des salles de gymnastique – et des locaux sous-jacents – utilise comme éléments de base trois noyaux en béton situés sur les façades sud et nord et au centre de l'ouvrage. Composés principalement de voiles en béton de 40 cm disposés d'est en ouest, ils servent de liaison verticale entre les différents étages et reposent sur la base du complexe, au niveau E+2. Ces éléments s'appuient sur des voiles à leur extrémité ouest, sur des piliers en béton au milieu, la partie est, d'une longueur de 12,50 m, constituant le porte-à-faux. La zone supérieure des voiles est précontrainte pour limiter les déformations et la fissuration, alors que la stabilité des noyaux est assurée par le biais de dalles en béton.

En plus de ces trois noyaux, les principaux éléments porteurs verticaux des salles sont :
– à l'ouest (axe 21), un mur voile de 25 cm courant sur toute la hauteur de l'ouvrage; ce mur s'appuie sur des piliers situés à l'étage E+2,

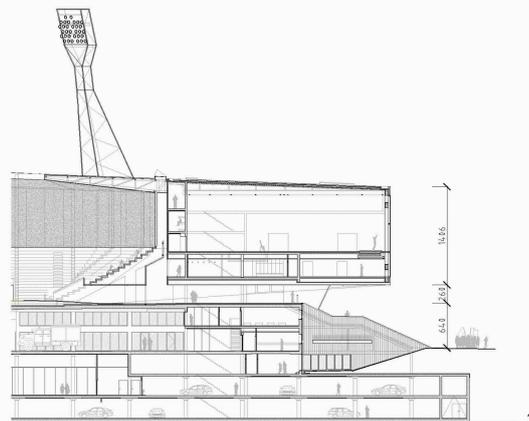
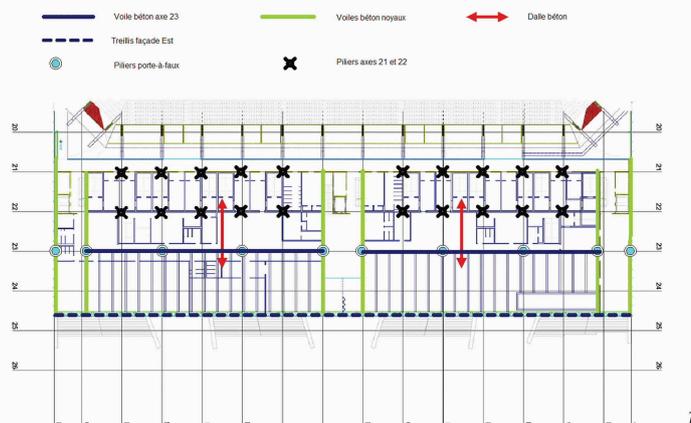


Fig. 1 : Principe statique des halles

Fig. 2 : Coupe transversale des halles

- au milieu (axe 23), un voile de 35 cm d'épaisseur sur toute la hauteur de l'étage E+3 (4,25 m),
- sur la façade est, l'élément porteur principal est constitué d'une poutre à treillis avec diagonales en forme de X et montant verticaux (fig. 3). Les barres présentent une section transversale en forme de caisson.

Entre les axes 21 et 23, les étages sont constitués de dalles plates reposant sur des piliers préfabriqués. Dans la partie en porte-à-faux, les dalles sont faites de sommiers préfabriqués et précontraints par fils adhérents, sur lesquels des pré-dalles ont été posées pour accueillir un sur-béton coulé *in situ*, assurant l'homogénéité de l'ensemble. Cette solution dans la zone des porte-à-faux permettait d'éviter d'avoir à mettre en place des étayages compliqués sur de grandes hauteurs.

Quant à la toiture, elle est conçue comme structure métallique portant sur toute la largeur des halles : disposées tous les quatre mètres, des poutres HEA 700 (S355) supportent des tôles nervurées type SP 111.

Modèle de calcul et dimensionnement

Le système complexe des éléments constituant la structure des salles de gymnastique (voiles en béton, dalles et treillis de façade) a été modélisé par éléments finis, en utilisant des coques et des barres (fig. 4). Pour simuler la précontrainte dans les coques, on a disposé des barres externes, liées rigidement aux voiles, et dans lesquelles on a appliqué les efforts de la précontrainte.

Un des éléments déterminants pour la conception de la structure de halles de gymnastique dont le plancher ne repose pas directement sur le sol, est leur réponse aux charges dynamiques induites par les activités humaines.

Pour obtenir une solution satisfaisante, on peut chercher à concevoir la structure de façon à ce que les fréquences

propres de l'ouvrage soient supérieures à 7 ou 8 Hz, ce qui permet d'éviter tout phénomène de mise en résonance du bâtiment avec les sollicitations résultants des activités humaines. Pour des grandes portées, cette façon de procéder conduit généralement à définir des structures très massives. En effet, dans le cas d'une poutre simple, les fréquences propres sont définies par la formule suivante :

$$f_m = \frac{m^2 \cdot \pi}{2 \cdot L^2} \sqrt{\frac{EI}{\mu}}$$

avec : $m = 1, 2, \dots$

EI rigidité de la poutre simple

L portée de la poutre simple

μ masse par unité de longueur

La portée étant fixée, seul le choix de EI et de μ peut influencer la fréquence propre. Le choix d'une poutre à treillis de très grande hauteur statique a permis de combiner une grande rigidité avec une masse faible, ce qui tend à augmenter la valeur des fréquences propres.

Au cas où les fréquences propres de la structure demeurent inférieures à 7 Hz, le dimensionnement de la structure implique de procéder à une analyse dynamique sous charge variable. Cette procédure vise à s'assurer que les mouvements de la structure – déformations dynamiques, vitesse ou accélération – respectent des valeurs limites admises pour les halles de gymnastique.

Analyse dynamique

Dans le cas présent, il s'est avéré que le dimensionnement du treillis métallique de la façade dépendait des sollicitations dynamiques résultant des activités humaines. Ce sont elles qui vont dicter la rigidité de la structure nécessaire pour assurer l'aptitude au service.

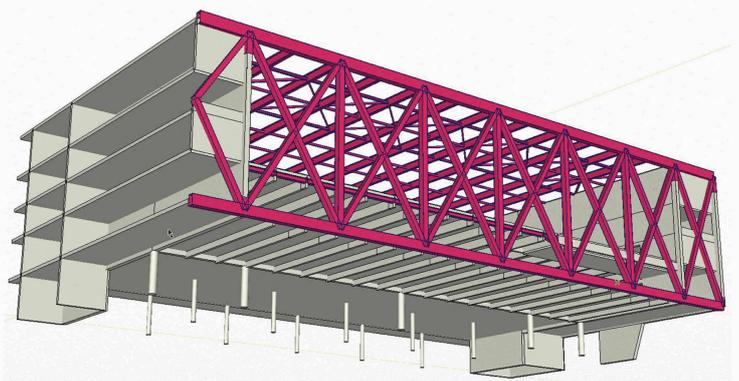


Fig. 3 : Poutre à treillis de la façade est

Fig. 4 : Modèle de calcul

Fig. 5 : Premier mode vibratoire de la poutre à treillis

Fig. 6 : Facteurs d'amplification

Fig. 7 : Résultats du calcul dynamique

La détermination des fréquences propres de la structure porteuse des halles de gymnastique a été réalisée à partir du modèle d'éléments finis utilisé pour le calcul statique. Les résultats obtenus montrent l'existence de plusieurs modes vibratoires distincts : la fréquence la plus basse (5,07 Hz) correspond au mouvement du treillis de la façade est (fig. 5). Les dalles des bureaux vibrent selon des fréquences allant de 6 à 6,4 Hz alors que celles des dalles des halles sont comprises entre 6,9 Hz et 7,9 Hz.

L'analyse dynamique (calcul des déformations sous charges variables) a été réalisée pour des sollicitations correspondant à un groupe de dix personnes de 80 kg (G) sautant sur place avec une fréquence f_p comprise entre 1,5 Hz et 3,5 Hz. Cette charge a été placée de manière à engendrer les déformations statiques maximales du treillis.

La charge de saut F_p est simulée au moyen d'une fonction périodique de la forme :

$$F_p(t) = \begin{cases} G \cdot \sin(\pi t / t_p) & \text{pour } t \leq t_p \\ 0 & \text{pour } t_p < t \leq T_p \end{cases}$$

avec : T_p période du saut (égale à $1/f_p$)
 t_p temps du contact des pieds avec le sol (admis égal à 0,2 s)

La charge ainsi définie peut ensuite être décomposée par transformation de Fourier en une partie constante et des parties harmoniques. En introduisant ces éléments dans l'équation différentielle du mouvement forcé sous charge extérieure, il est possible de calculer les facteurs de participation de chaque harmonique et de recomposer le facteur d'amplification dynamique global (DLF : Dynamic Load Factor). Le calcul tenait compte d'un facteur d'amortissement de 1,0 % pour la structure.

On obtient ensuite les déformations dynamiques :

$$\delta_{\text{dynamique}} = \delta_{\text{statique}} \cdot \text{DLF}$$

à partir desquelles on peut déduire la vitesse (v) et l'accélération (a) :

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot \delta_{\text{dynamique}}$$

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot \delta_{\text{dynamique}}$$

Pour la poutre à treillis de la façade est (fréquence propre de 5,07 Hz) les facteurs d'amplification obtenus pour différentes fréquences d'excitation (f_p) sont représentés sur la figure 6. Les valeurs maximales des facteurs d'amplification correspondent à des fréquences de résonance. Les vitesses et les accélérations résultantes sont présentées à la figure 7.

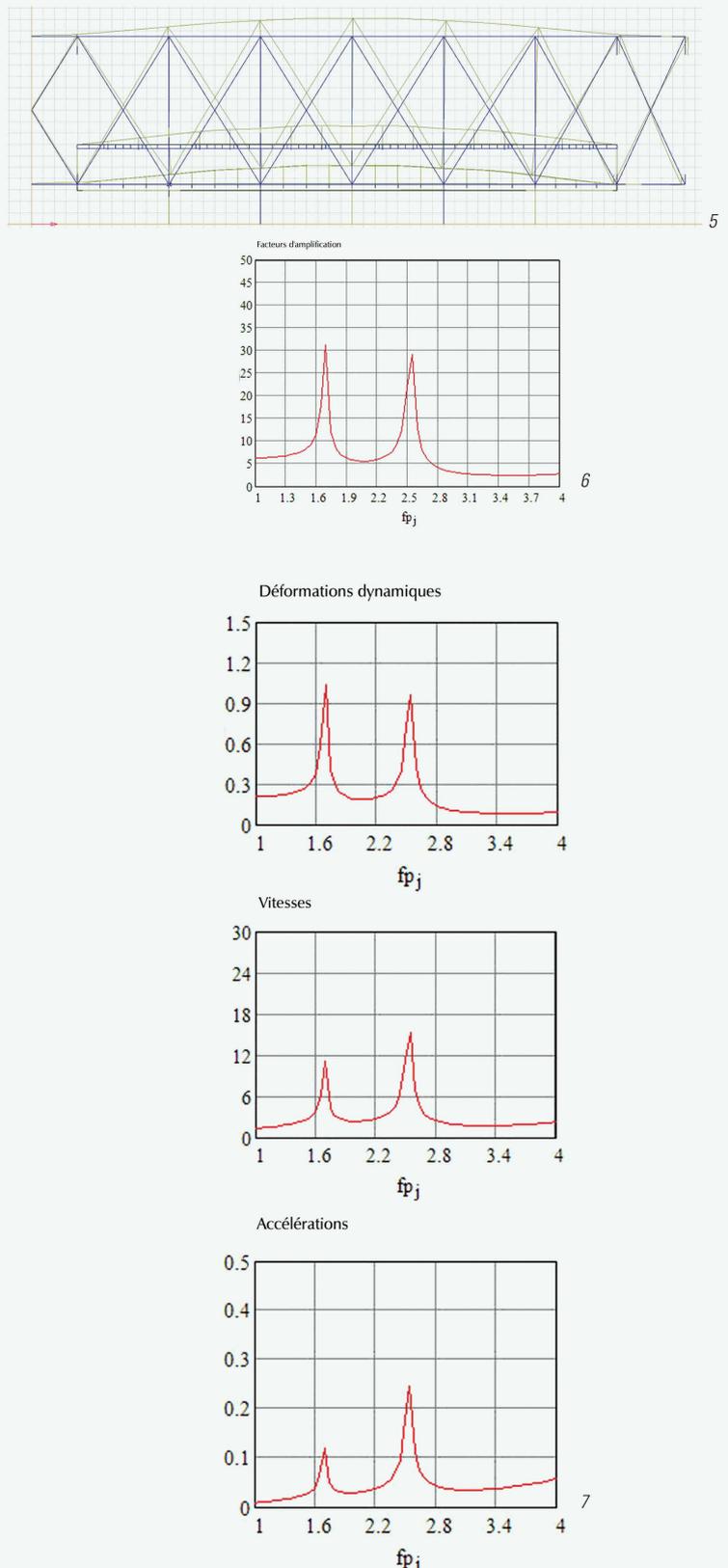


Fig. 8 : Mise en place de la partie centrale de la poutre

Fig. 9 : Réalisation des dalles en porte-à-faux

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteur)

L'analyse dynamique des halles de gymnastique montre que les accélérations subies par la structure restent limitées entre 2 % et 5 % de l'accélération terrestre g , ce qui n'est pas considéré comme gênant pour une activité sportive. Les normes canadiennes admettent des valeurs allant jusqu'à 5 % de g pour les salles de sport. Les normes ISO 2631(1980) acceptent une accélération de $1,25 \text{ m/s}^2$ (12,7 % de g) pendant une heure pour une fréquence propre de la structure de 5 Hz¹.

¹ Schwingungsprobleme bei Bauwerken (AIPC), Hugo Bachmann et Walter Ammann

Concept de sécurité au feu

Les éléments métalliques de la façade ont dû être l'objet d'une vérification de leur résistance au feu. En fonction de la présence ou non de matières inflammables, des charges thermiques différentes ont été définies pour les bureaux, les halles de gymnastique et la toiture.

Le caisson constituant la membrure inférieure de la poutre métallique est en grande partie situé à l'extérieur de la construction, avec pour conséquence que seule sa face supérieure peut être en contact direct avec le feu. Ce caisson a été rempli avec un béton C30/37, une façon de faire qui lui garantit une résistance F60.

Montage des salles de gymnastique

Compte tenu du système statique prévu, la construction des salles de gymnastique a commencé par la réalisation, en béton coulé sur place, des trois noyaux situés au nord, au centre et au sud de la façade est. Chaque noyau est composé de deux murs voiles de 14 m de hauteur, précontraints dans leur partie supérieure et reliés entre eux par cinq dalles intermédiaires. Les murs voiles ont été bétonnés en deux étapes de 7 m, en ayant recours à l'utilisation de béton auto plaçant.

Une fois la mise en précontrainte des voiles effectuée, on a pu procéder au montage de la poutre métallique de la façade est, d'un poids total de 226 tonnes. Les cinq éléments composant le treillis ont été assemblés au sol, avant leur mise en place. Celle-ci a commencé par la pose des trois éléments reposant directement sur les appuis (fig. 8), suivi de celle des deux éléments centraux. Ces opérations ont nécessité l'utilisation simultanée de quatre autogrues.

Le reste des dalles, sur une portée de 12 mètres, a alors pu être construit selon une technique similaire à celle utilisée dans les parties souterraines, à savoir avec de sommiers et de prédalles (fig. 9), sur lesquelles du béton est coulé. Cette technique a notamment permis de terminer les dalles formant le porte-à-faux sans aucun étayage.



La charge thermique la plus importante concerne les bureaux situés au niveau de l'étage E+3. Toutefois, compte tenu de la grande hauteur de la poutre, seule la partie inférieure des diagonales et des montants verticaux de la ferme risque d'être soumise à un incendie. Le remplissage des caissons avec un béton de fibres métalliques jusqu'à un mètre au-dessus du sol des halles de gymnastique permet ici aussi de garantir une résistance au feu F60².

Il faut en outre souligner que, par sa forme (diagonales en X) et du fait que la structure est peu sollicitée statiquement (son dimensionnement dépend essentiellement de la prise en compte des effets dynamiques), la suppression de la résistance d'une diagonale ou d'un montant vertical en cas de feu ne conduirait pas à la ruine du treillis.

Concernant le caisson de la membrure supérieure et le reste des diagonales et des montants, ils se situent dans une zone où la charge thermique reste faible en raison de l'absence de matériaux inflammables. A cet endroit, la réserve de résistance résultant de la grande rigidité dictée par les effets dynamiques fait que l'échauffement de la structure ne conduirait pas à une ruine des éléments.

Pierre Gorgé, ing. dipl. EPF
GVH St-Blaise SA
Rue des Moulins 16, CH – 2072 St-Blaise

² Cette façon de procéder a été validée par des essais de résistance au feu réalisés sur des profils RHS remplis de béton avec fibres métalliques.

Pompes à chaleur



Mazout



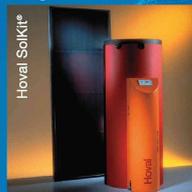
Gaz



Bois



Energie solaire



Ventilation



INSTALLATION SOLAIRE,
GÉOTHERMIE,
CHAUFFAGE À BOIS,
À GAZ, À MAZOUT...
TOUS LES SYSTÈMES
SONT CHEZ HOVAL!

Outre des chauffages à gaz et à mazout d'une grande efficacité énergétique et respectueux de l'environnement, Hoval propose également une gamme étendue de systèmes de chauffage avec des énergies renouvelables, à savoir le soleil, la géothermie, les bûches et les granulés de bois. Hoval a choisi de mettre en avant ces systèmes, en vous proposant, par exemple, des installations solaires ou des pompes à chaleur clés en main. Bénéficiez ainsi d'une prestation complète: du générateur de chaleur au chauffe-eau, en passant par la régulation. Besoin d'air frais? Hoval, vous propose dans les domaines de la ventilation et de la climatisation, des produits et solutions innovants spécialement conçus pour les professionnels et les particuliers. Nous vous offrons des conseils approfondis et un service après-vente qualifié, compris dans nos prestations! Hoval Herzog SA, case postale 225, 1023 Crissier 1, tél. 0848 848 363, fax 0848 848 767, crissier@hoval.ch, www.hoval.ch.

Hoval

Économie d'énergie – protection de l'environnement