

Complexe du Pommier: structures en béton précontraint

Autor(en): **Starrenberger, Daniel / Farra, Bicher / Luce, Damien**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **131 (2005)**

Heft 17: **Béton**

PDF erstellt am: **28.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99406>

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.

Complexe du Pommier : structures en **béton précontraint**

GÉNIE CIVIL

Pour le complexe scolaire du Pommier, le choix du béton apparent pour les structures de grandes portées découlaît de la cohérence architecturale des matériaux utilisés. Les deux structures en béton précontraint présentées dans cet article illustrent des solutions développées dans le respect de l'intention architecturale. La toiture de la salle de gym et la dalle de l'aula sont représentatives des solutions que le béton peut offrir aux défis d'une architecture moderne.

Le récent développement de la commune du Grand-Saconnex a induit la construction d'un important complexe comprenant une école de seize classes, une grande aula, un bâtiment complémentaire (crèche de nonante places, deux salles d'art martiaux et locaux pour diverses sociétés), ainsi qu'une salle polyvalente implantée sur un parking souterrain de deux niveaux. Une piscine couverte équipée d'un bassin de 25m doit par ailleurs être réalisée en 2007-2008.

Les bâtiments réalisés rassemblent, avec une géométrie simple et un rythme régulier, des structures traditionnelles en béton armé et des structures plus audacieuses en béton précontraint.

Toiture de la salle polyvalente

La salle polyvalente comprend trois terrains de sport mitoyens (occupant une surface au sol de 45 m par 27 m), des gradins de 400 places assises (extensibles à 1000), des vestiaires, des locaux de rangement, ainsi que deux niveaux de parking en sous-sol.

La conception architecturale exigeait une toiture végétalisée en béton, sous forme d'une plaque mince posée sur un nombre minimal de poteaux dans la zone des terrains de sports.

La structure qui en résulte est composée d'un réseau orthogonal de poutres principales et secondaires (fig. 1). Espacées de 15 m, les quatre poutres principales définissent deux travées inégales de 27 m et 9 m et ont une section en double T. D'une hauteur statique de 1,6 m, elles sont en béton précon-

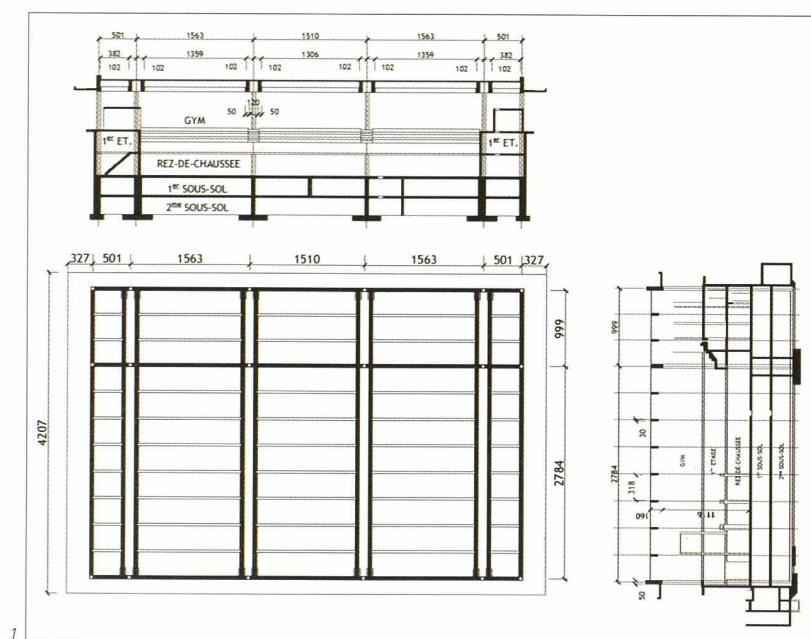


Fig. 1: Plan, coupes longitudinale et transversale de la salle de gym

Fig. 2: Vue de l'intérieur de la salle de gym, avec les structures en béton de la toiture

Fig. 3: Précontrainte de la poutre longitudinale

Fig. 4: Coupe type des poutres principales en double T

traint. Le système secondaire se compose de poutres simples préfabriquées en béton armé qui reposent sur les poutres principales. Elles ont une portée de 13,50m pour une hauteur statique de 80cm (fig. 2).

Chaque poutre principale s'appuie indirectement sur un poteau circulaire par l'intermédiaire d'un sommier intérieur et de sommiers de rive suivant le pourtour de la toiture. Ces derniers reprennent en outre les moments des porte-à-faux des avant-toits (3 m).

Analyse structurale

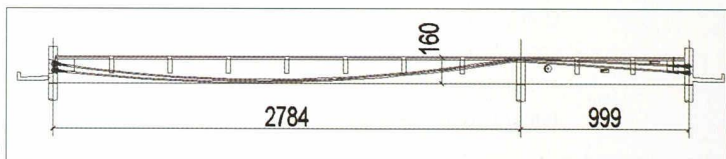
Le modèle statique de la toiture est un cadre spatial composé du réseau de poutres et des poteaux. Les dalles d'étage servent d'appuis horizontaux aux poteaux. Ces dalles sont distantes de 2,60 à 3,0m, à partir de la dalle sur le premier étage pour les poteaux les moins élancés ($\lambda_k = 26$) et à partir de la dalle sur le premier sous-sol pour les plus élancés ($\lambda_k = 44$). Ces valeurs ont été obtenues en faisant l'hypothèse défavorable de négliger l'appui créé par le bandeau intermédiaire. L'élancement des poteaux peut donc être considéré comme relativement faible. Les sollicitations du poteau le plus chargé correspondent à un effort normal N_d de 8800 kN combiné avec un moment M_d de 520 kNm, ce dernier étant engendré par une déformée initiale et par les charges horizontales (vent et séisme).

La précontrainte a été analysée par la méthode des charges équivalentes (forces de déviation et d'ancrage), une méthode qui a l'avantage de permettre à l'ingénieur de sentir le comportement de la structure sous l'effet de la précontrainte. L'utilisation de cette dernière a permis de réduire fortement le besoin en armature passive pour garantir la sécurité structurale: vu la place à disposition et les croisements, le recours à un acier traditionnel - imposant des sections plus grosses et moins concentrées - aurait été difficile, voire impossible.

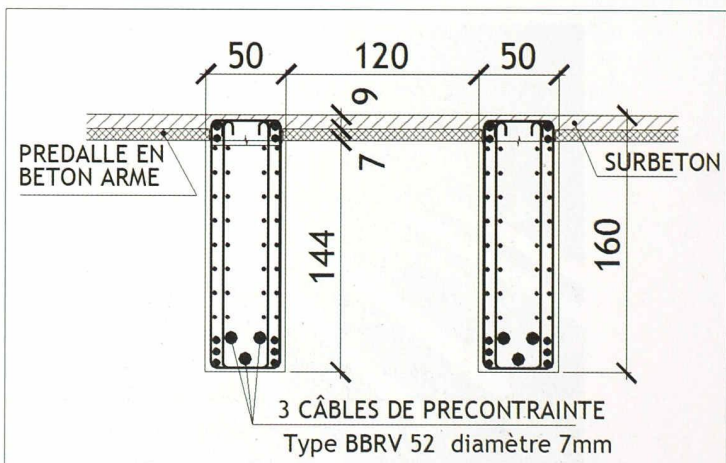
Le dimensionnement de la précontrainte des poutres principales est basé sur une limitation des flèches à mi-travée: la flèche à long terme, avec les effets de la précontrainte, est de l'ordre de 40 mm, ce qui correspond à un facteur de compensation des déformations sous charges permanentes - y compris la terre végétale - de l'ordre de 0,8. Chaque poutre comprend six câbles (type BBRV, $P_0 = 2400$ kN avec un tracé parabolique) auxquels s'ajoute une armature passive pour limiter les fissures et garantir la sécurité structurale (fig. 3 et 4). Un modèle en treillis simple a été utilisé pour vérifier la résistance à l'effort tranchant des sections des sommiers, ces derniers étant localement affaiblis par les nombreux percements pour le passage des équipements techniques.



2



3



4

Stabilisation horizontale

Pour des raisons d'ordre architectural, il n'a pas été possible d'utiliser les classiques croix de St-André pour assurer la stabilité horizontale sous l'effet du séisme ou du vent. La stabilisation est assurée uniquement par l'encastrement de 14 piliers de 50 cm de diamètre, préfabriqués en béton armé à haute résistance B80/70.

Cela autorise l'absence de tout contreventement dans les façades, donnant à la toiture une impression de légèreté malgré son poids considérable. Cette impression est encore renforcée par l'intégration du faux-plafond dans le gabarit d'espace offert par les poutres principales, qui réduit la part apparente de ces dernières (fig. 2).

Exécution

La solution retenue pour permettre une exécution rapide de la toiture est le résultat de la collaboration entre l'entreprise adjudicataire des travaux et l'ingénieur civil. Les poutres principales ont été coffrées et coulées sur des tours d'échafaudage de 11,5 m de hauteur. Afin de pouvoir décoffrer après trois jours et appliquer la précontrainte définitive après sept jours (autorisant ainsi un démontage rapide des tours), on a eu recours à un béton B55/45 à haute résistance au jeune âge. Dosé à 375 kg/m³ de ciment *Normo5* avec 1 % de fluidifiant, il garantit une mise en place aisée à la benne (consistance du béton par affaissement du cône de $S = 12$ cm).

L'exécution s'est déroulée selon les étapes suivantes :

- sous-échafaudage des dalles d'étage pour transmettre les charges des tours d'échafaudage directement aux fondations ;
- coffrage des poutres principales sur les tours d'échafaudage ;
- mise en place des poutres secondaires préfabriquées, directement sur le coffrage des poutres principales (fig. 5) ;



5

- bétonnage des poutres principales ;
- mise en place de prédalles de 7 cm d'épaisseur en béton armé entre chaque solive préfabriquée pour éviter le coffrage de la dalle de compression (fig. 6) ;
- bétonnage de la dalle de compression de 9 cm d'épaisseur ;
- mise en tension des câbles de précontrainte en une étape avec mesure du décollement par rapport aux tours d'échafaudage ;
- démontage des tours.

Les détails d'armature ont fait l'objet d'une étude détaillée pour garantir une pose aisée des câbles de précontrainte, des prédalles et des éléments préfabriqués, tout en supprimant les conflits entre les étriers, la précontrainte et les armatures passives. Les zones les plus critiques se situaient naturellement aux intersections des poutres et des poteaux, qui accueillent des croisements selon les trois directions ainsi que l'ancrage des câbles.

Dalle précontrainte de l'aula

D'une longueur de 100 m pour une largeur de 15 m, l'école comprend un sous-sol et trois planchers sur rez-de-chaussée. Sa structure principale est faite de planchers-dalles en béton armé de 34 cm d'épaisseur, portant sur deux travées de 9 m et 5 m et s'appuyant sur des poteaux intermédiaires et en façade.

La présence d'une aula de 160 places au premier sous-sol a imposé la suppression de quatre poteaux intermédiaires, exigeant ainsi que les importantes charges des poteaux du rez soient transmises aux murs par l'intermédiaire de la dalle. La solution retenue est une dalle à caissons de 80 cm d'épaisseur pour 15 m de portée, précontrainte dans les deux directions. L'espace entre les nervures est de 1,60 m selon les deux directions (fig. 7).



6

Fig. 5 : Poutres préfabriquées mise en place sur le coffrage des poutres principales. On distingue également les tours d'échafaudage de ces dernières.

Fig. 6 : Eléments de dalle préfabriqués pour la toiture de la salle de gym

Fig. 7 : Dalle nervurée du plafond de l'aula

Fig. 8 : Vue en plan de la dalle à caisson avec le tracé des câbles

Fig. 9 : Détail du croisement entre les barres et les câbles de la dalle nervurée

Cette solution a été adoptée pour réduire le poids propre, mais également pour répondre au souhait de l'architecte de faire participer la structure apparente à l'expression spatiale (fig. 11).

Les calculs ont été effectués sur la base d'un modèle en grille de poutres en T simplement appuyé. Le degré de balancement de la précontrainte par rapport aux charges permanentes est de 0,60. La précontrainte des nervures a permis de limiter la flèche à long terme à 25 mm ($L/600$) sous la charge de service des quatre poteaux du rez ($N_{ser} = 1100$ kN par poteau à l'état final).

Les câbles de précontrainte sont au nombre de sept dans le sens le plus sollicité et suivent un tracé en V. Perpendiculairement, huit câbles - un par nervure - suivent un tracé trapézoïdal (fig. 7).

Pour intégrer la variation de la charge sur la dalle, due au bétonnage successif des dalles d'étages, la mise en tension des câbles a été réalisée en deux étapes. Un tiers environ de la force de précontrainte a été appliquée après le bétonnage de la dalle sur sous-sol, la mise en tension totale ($P_o = 1900$ kN) n'étant effectuée qu'après le bétonnage de la toiture.

Exécution

Les nervures prévues par l'architecte sont en béton apparent à faces verticales, sans fruit. Ce choix rendait quasiment impossible un décoffrage de la dalle nervurée par le bas et a imposé le mode d'exécution suivant :

- bétonnage des nervures à l'aide de caissons « bakélisés » (fig. 11),
- décoffrage des nervures par le haut,
- pose de prédalles en béton armé de 6 cm d'épaisseur sur les nervures,
- bétonnage d'une dalle de compression de 9 cm d'épaisseur.

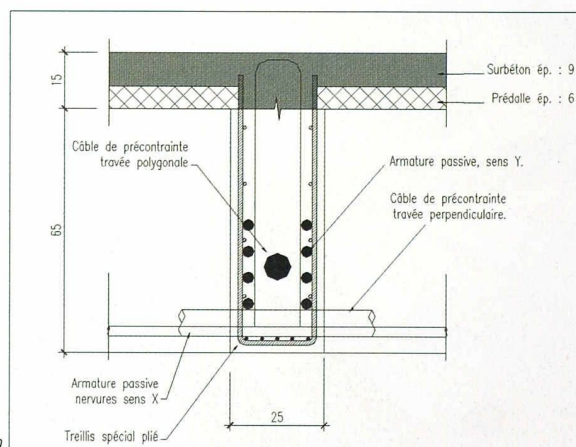
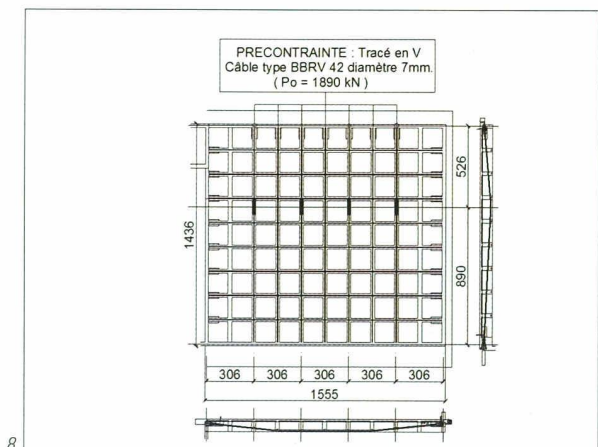


Fig. 10 : Ferrailage d'une dalle nervurée

Fig. 11 : Coffrage d'une dalle nervurée

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs et le pool de mandataires POM)



Le ferrailage des nervures a été particulièrement délicat, impliquant une étude minutieuse des étriers ainsi que des croisements entre les câbles et les barres d'armature dans les deux directions (fig. 9). La disposition adoptée, de concert avec l'entreprise adjudicataire, a permis d'éviter de nombreux conflits entre les barres et les câbles et une bonne mise en place du béton malgré la forte densité d'acier (fig. 10).

Le même principe de dalle à caisson précontraint a été appliqué pour la dalle située sur les deux salles d'arts martiaux du premier sous-sol du bâtiment complémentaire. Continue sur deux travées, cette dalle supporte, uniquement dans une de ses deux travées, des charges concentrées issues de deux des poteaux du rez-de-chaussée.

10 Efficacité de la précontrainte

Les deux structures présentées ici illustrent à quel point le béton précontraint peut se révéler performant pour interpréter un parti architectural strict - béton pour les structures, pas de contreventements en croix de St-André, suppression de poteaux aux niveaux inférieurs - tout en respectant les lois de la statique et les exigences de construction.

Si la mise au point de telles solutions nécessite une conception globale au stade de l'avant-projet, voire du concours, la réussite de l'exécution des structures ainsi projetées est aussi le fruit de l'engagement et de la collaboration active de l'entreprise avec l'ingénieur civil et le pool de mandataires.

Daniel Starrenberger, ing. civil dipl. EPF/SIA
Bicher Farra, dr sc. tech. ing. civil dipl. EPF/SIA
Damien Luce, ing. civil dipl. EPF
B+S SA ingénieurs conseils
Ch. Rieu 8, CH - 1208 Genève



11 Principaux acteurs du projet

Maître de l'ouvrage : Commune du Grand-Saconnex, représenté par M. Jean Chappuis, Service technique

Pool de mandataires POM

Pilote et direction générale du projet : AUA Architectes & Urbanistes Associés Sàrl - Lorenzo Lotti arch. EPF-SIA
Ingénieurs civils : B+S SA ingénieurs conseils
Ingénieur électricité : Perrin & Speath SA
Ingénieur CVS : Rigot & Rieben SA