

Parasismique ludique

Maître d'ouvrage

Ville de Neuchâtel, section d'urbanisme

Architecte

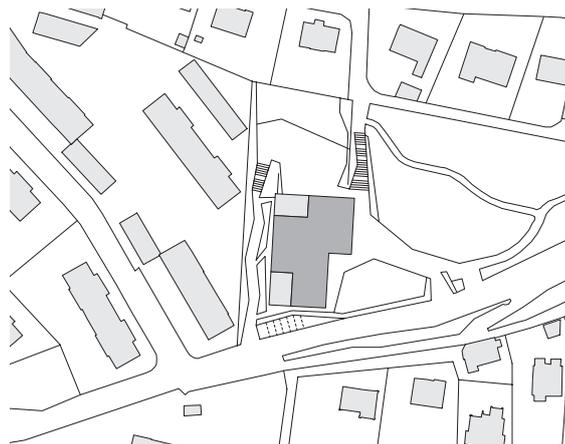
Andrea Bassi, Genève

Ingénieur structures

Ingeni SA, Genève

Construction

2005



Plan de situation, échelle M 1:2500

L'école de la Maladière, à Neuchâtel, se distingue par l'ingéniosité de sa conception parasismique. La structure métallique de l'enveloppe, à l'épreuve des tremblements de terre, offre une grande liberté dans la composition des façades et dans l'agencement des locaux. Le présent article en décrit de manière détaillée la construction et le fonctionnement.

L'école est implantée dans le parc d'un ancien cimetière – un environnement privilégié auquel le bâtiment réagit par une composition volumétrique différenciée. Tantôt, un porte-à-faux crée un généreux préau couvert devant l'entrée, tantôt un retrait des étages supérieurs génère une terrasse d'où l'on a une vue sur le lointain. Avec ses grandes ouvertures carrées, la structure porteuse correspond à la trame stricte des façades, tout en servant de support à une mise en couleurs ludique. Du fait de l'empilement des locaux sur quatre niveaux, l'emprise au sol du bâtiment est réduite au maximum (voir documentation dans Steeldoc 03/09).

Le plan se développe autour d'un unique escalier ouvert. Situés aux étages inférieurs, la salle de gymnastique, l'école enfantine, la salle polyvalente et l'appartement du concierge possèdent des accès indépendants. Les salles de classes de l'école primaire se trouvent aux étages supérieurs. La distribution par un couloir central et la désarticulation du plan engendrent de multiples possibilités d'orientation tout en offrant différentes qualités de lumière naturelle et des vues variées sur le parc et le lac. La matérialité du bâtiment et l'emploi de couleurs découlent de la volonté de faire apparaître l'école comme un objet ludique.

Conception générale de la structure porteuse

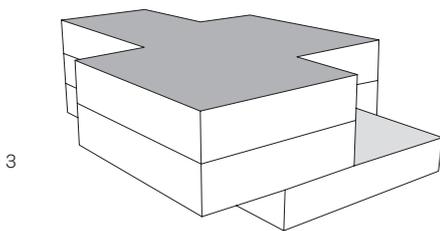
Alors que la structure des deux niveaux de sous-sols est en béton-armé formant un socle rigide, le volume des trois étages supérieurs est composé d'une ossature mixte acier-béton. Ce choix, issu de la conception établie entre l'ingénieur et l'architecte, a permis d'uti-

liser de façon judicieuse les performances de ces deux matériaux.

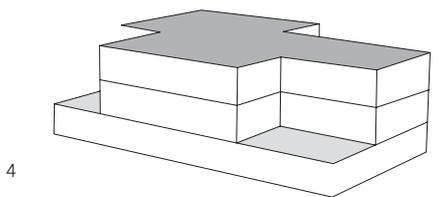
Cette légèreté pour les niveaux hors-sol permet, dans un premier temps, de réduire les charges à reprendre par les discontinuités de porteurs entre les étages. En effet, la structure mixte acier-béton des planchers, dont le poids propre total est équivalent à celui d'une dalle plate de 16 cm d'épaisseur, a facilité les reprises du porte-à-faux, de la dalle sur salle de gymnastique ainsi que d'autres descentes de charges indirectes entre les porteurs du rez-de-chaussée et du 1^{er} étage. Ce choix s'est également avéré judicieux en ce qui concerne la conception parasismique de l'ouvrage par

1

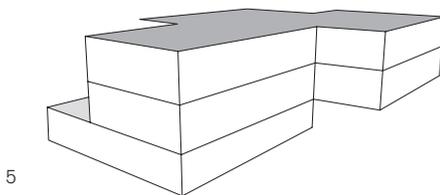




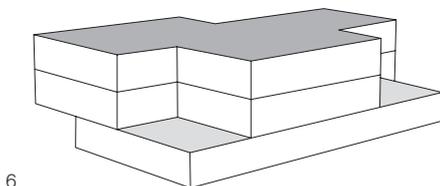
3



4



5



6

la réduction de l'action sismique liée à la diminution des masses.

Conception parasismique

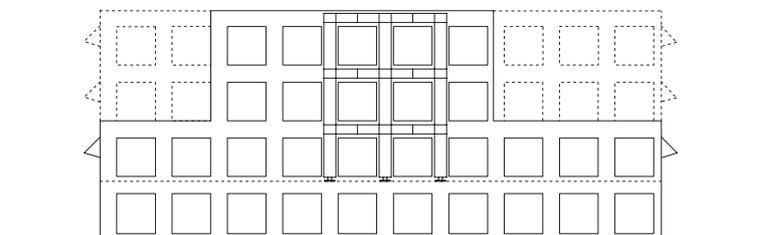
Si le choix d'une structure légère a permis de réduire les sollicitations liées aux actions sismiques (horizontales et verticales) et gravitaires (verticales) sur l'ouvrage, il n'a pas à lui seul résolu totalement ces deux problématiques majeures du projet. Il restait donc à trouver un système porteur qui reprenne les sollicitations horizontales (vents et séismes) ainsi que le porte-à-faux tout en respectant les qualités architecturales du projet.

Des différentes variantes envisagées, la poutre treillis était probablement la façon la plus efficace de reprendre le porte-à-faux mais celle-ci aurait dénaturé les façades par ses diagonales derrière les parties vitrées. De même, la stabilisation horizontale de l'ouvrage par des refends en béton armé ou une structure treillis intégrée aux cloisons intérieures a rapidement été abandonnée de par l'insuffisance de continuité verticale offerte par l'aménagement des espaces intérieurs.

La solution commune aux deux problèmes a donc été trouvée avec le système de multi-cadres métalliques à angles rigides (poutres Vierendeel). Intégrés en façade, ces éléments ont permis la reprise du porte-à-faux et assurent la stabilité horizontale de l'ouvrage tout en préservant l'identité des façades et libérant les espaces intérieurs de tout autre système de contreventement. Il est intéressant de relever que cette structure s'est adaptée aux parties opaques offertes par les façades sans engendrer de modification de celle-ci.

1/2 Les cadres métalliques s'adaptent aux parties opaques offertes par les façades.

3-6 Volumétrie hors-sol



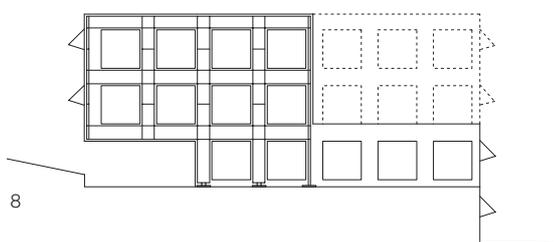
Systèmes de cadres destinés à la stabilisation horizontale de l'ouvrage et à la reprise du porte-à-faux, échelle 1:500.

7 Façade Ouest

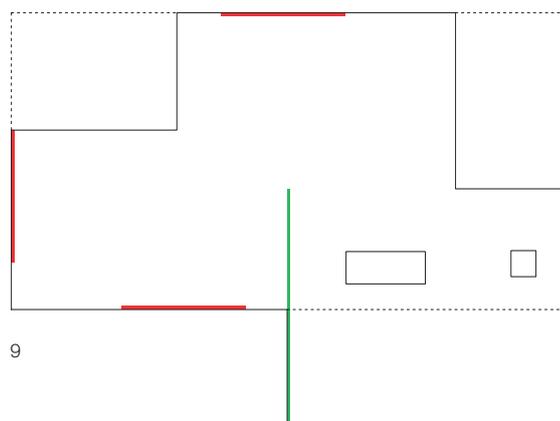
8 Façade Nord

9 Systèmes de cadres destinés à la stabilisation horizontale de l'ouvrage et à la reprise du porte-à-faux.

7



8



9

Conception ductile, structure dissipative

L'action sismique correspond à des mouvements imposés aux structures par les tremblements de terre dont les composantes sont horizontales et verticales. Par son caractère cyclique et dynamique, le niveau de sollicitation de l'action sismique est influencé par la réponse de la structure, c'est-à-dire par la rigidité de son système de stabilisation horizontale. Une structure offrant une capacité de déformation dans le domaine plastique pendant un séisme est appelée «dissipative» ou «ductile». Cette caractéristique permet à ces structures, par leur comportement ductile, de dissiper par des déformations plastiques une part de l'énergie appliquée à l'ouvrage.

L'effet favorable de la capacité d'une structure à dissiper l'énergie introduite sous forme de déformations plastiques ainsi que sa surrésistance sont pris en compte dans la norme SIA 263 par un facteur global de réduction de résistance, le coefficient de com-

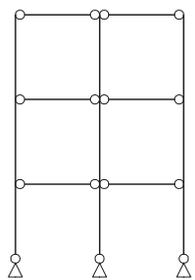
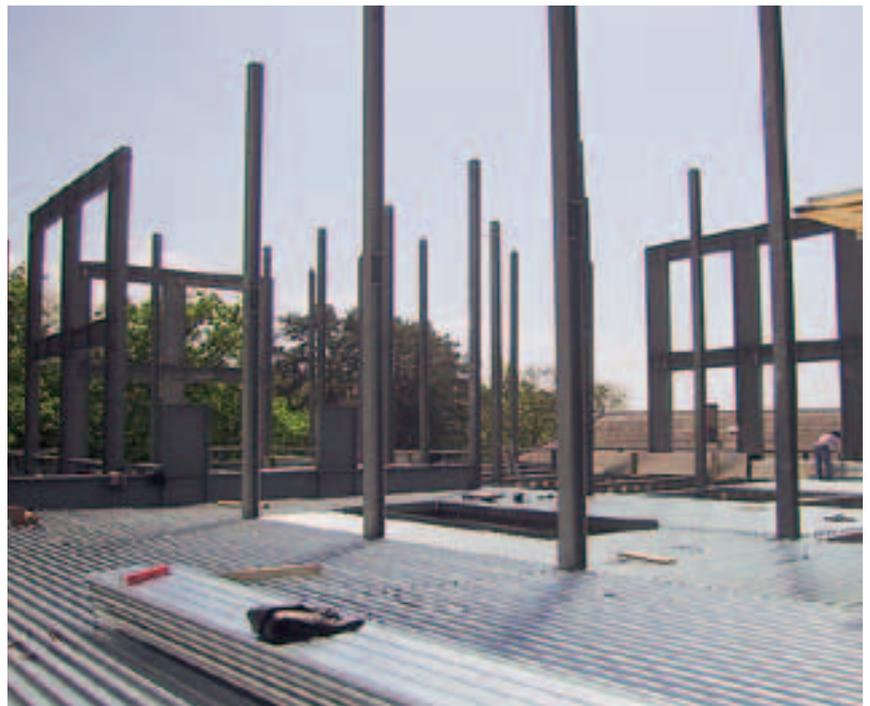
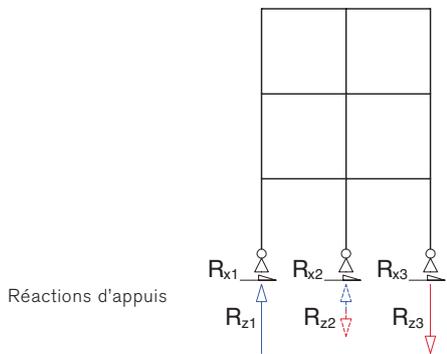
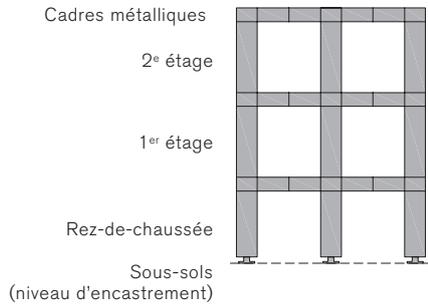
portement q . Plus la structure est capable de dissiper l'énergie sous forme de déformations plastiques, plus le coefficient de comportement est élevé. Le coefficient de comportement q intervient dans le spectre de dimensionnement pour réduire la force sismique de remplacement élastique et, par ce fait, les efforts dans la structure. A noter que les déplacements de la structure basés sur le spectre de dimensionnement réduit par le coefficient de comportement correspondent à la partie élastique du déplacement réel élasto-plastique. Comme la définition des coefficients de comportement est basée sur l'hypothèse de déplacements égaux dans la structure réelle (élasto-plastique) et dans la structure élastique de référence, les déplacements «effectifs» selon l'action sismique sont trouvés en multipliant par le coefficient de comportement les déplacements obtenus avec le spectre de dimensionnement réduit.

Afin de garantir une ductilité suffisante des éléments de la structure, condition primordiale pour toute structure «dissipative», la norme SIA 263 fixe des exigences supplémentaires (voir encadré).

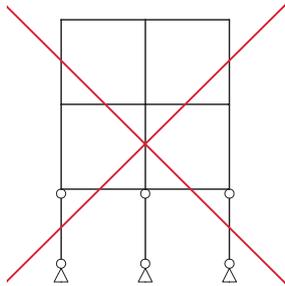
Éléments du dimensionnement

Zone sismique	Z1 (Neuchâtel)	$a_{dg} = 0.6 \text{ m/s}^2$
Classe d'ouvrage	COII	$\gamma_r = 1.2$
Classe de sol de fondation	A (sols rocheux)	
Coefficient de comportement (action horizontale)	$q = 4$	
Coefficient de comportement (action verticale)	$q = 1.5$	

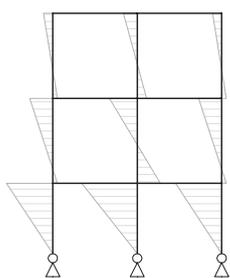
Des vérifications pour la composante verticale de l'action sismique sont nécessaires dans des cas particuliers comme des porte-à-faux, des systèmes de grande portée ou des poutres supportant des poteaux. Dans ce cas, la norme SIA 261 stipule à l'article 16.2.4.2 que le coefficient de comportement q est admis égal à 1.5, c'est-à-dire correspondant à un comportement non-ductile, et que les valeurs du spectre de dimensionnement doivent être multipliées par un facteur égal à 0,7.



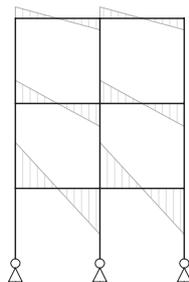
Mécanisme plastique approprié pour comportement ductile



Mécanisme plastique inapproprié pour comportement ductile



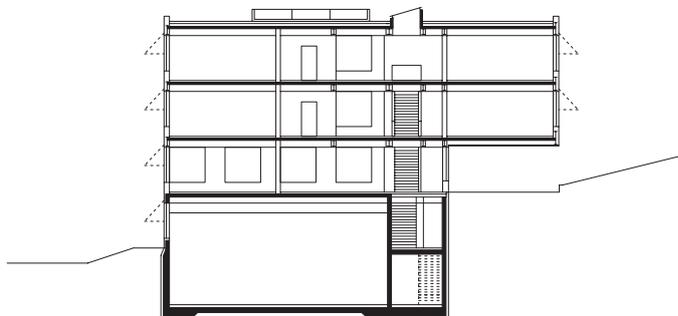
Moments de flexion traverses



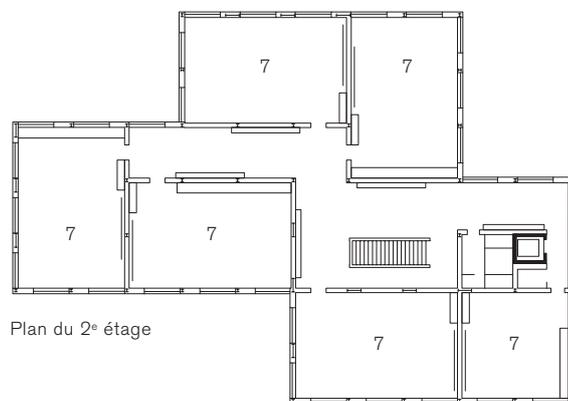
Moments de flexion montants

Fréquences et périodes propres de la structure (Modèle 3D)

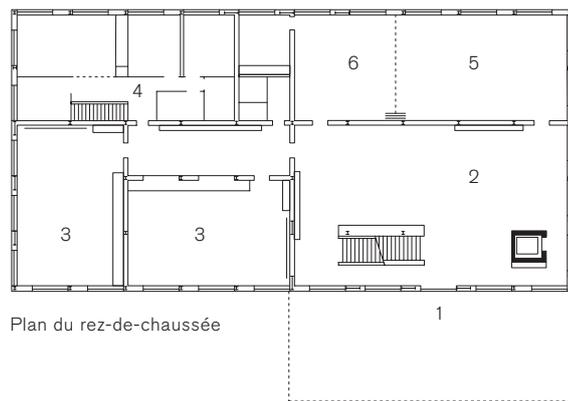
	Périodes propres [sec]	Fréquences propres [Hz]	Description du mode oscillatoire
1	0.71	1.40	Oscillation horizontale d'ensemble – sens longitudinal (Nord – Sud)
2	0.70	1.43	Oscillation horizontale d'ensemble – sens transversal (Est – Ouest)
3	0.46	2.19	Oscillation torsionnelle en plan
4	0.23	4.38	Oscillation verticale du porte-à-faux
5	0.19	5.24	Oscillation horizontale mixte – sens longitudinal (Nord – Sud)
6	0.15	6.53	Oscillation verticale du porte-à-faux



Coupe transversale

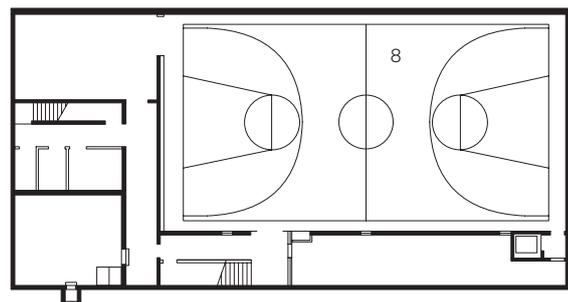


Plan du 2° étage



Plan du rez-de-chaussée

Plan du 2° sous-sol



Plans et coupe, échelle 1:500

- 1 Entrée
- 2 Hall
- 3 Salles enfantines
- 4 Appartement du concierge

- 5 Salle polyvalente
- 6 Salle polyvalente (devoirs et infirmerie)
- 7 Salle de classe
- 8 Salle de gymnastique

SIA Norm 263

L'acier doit satisfaire les exigences de ductilité de l'article 3.2.2.3. De plus, pour tous les boulons sollicités en traction, il faut employer les boulons des classes de résistance 8.8 ou 10.9 et les précontraindre (voir article 4.9.1.4).

Les assemblages doivent être dimensionnés pour une valeur de résistance supérieure de 20 % à celle des éléments assemblés. Les joints des poutres à soudures complètement pénétrées de la classe de qualité B satisfont en général cette condition (voir article 4.9.1.5).

En principe, les systèmes de cadres doivent être conçus de telle façon que la dissipation de l'énergie puisse se réaliser de façon continue sur toute la hauteur de la construction (voir article 4.9.2.1).

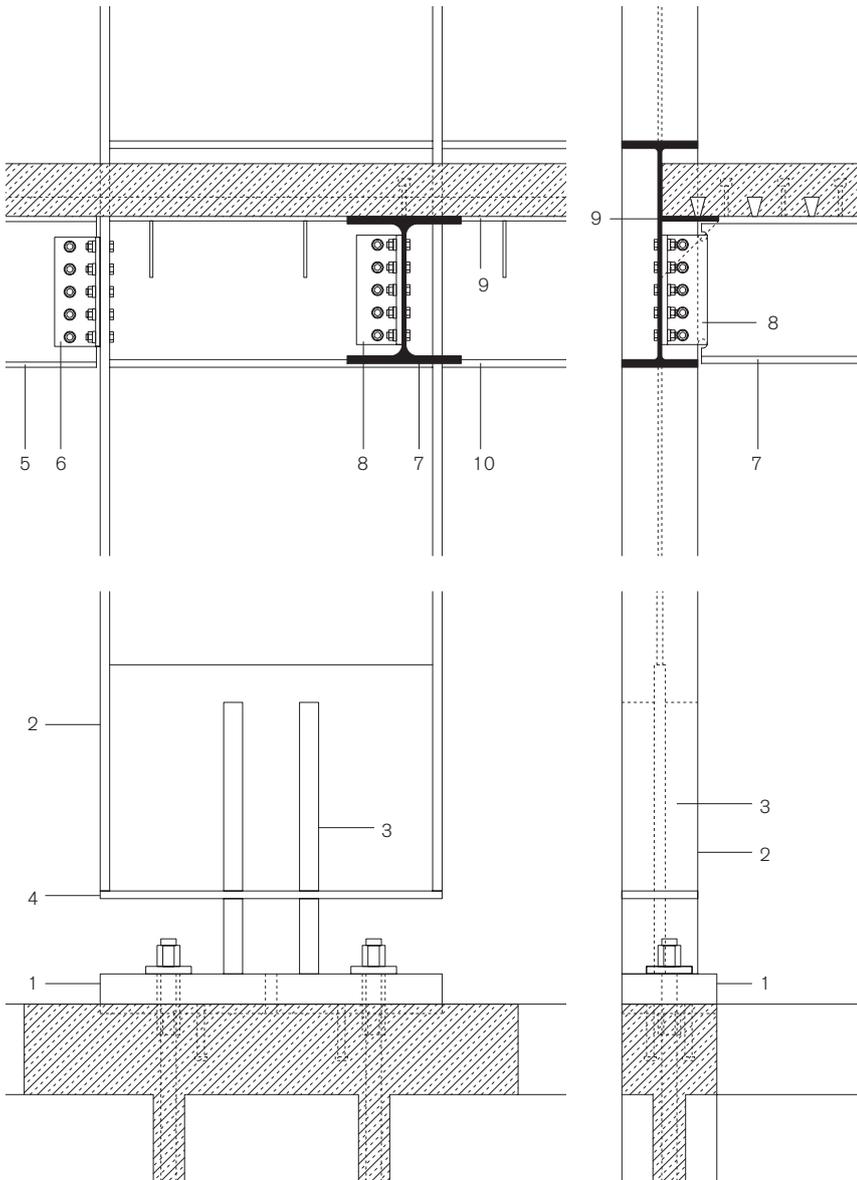
Les cadres à nœuds rigides doivent être conçus de telle façon que les rotules plastiques se forment dans les poutres (traverses) et non dans les poteaux (montants). Pour des cadres à étages multiples, les rotules plastiques sont admises seulement au pied des poteaux et dans le dernier étage supérieur (voir article 4.9.2.2).

Limitation des efforts de compression et de cisaillement dans les traverses (voir article 4.9.2.3).

Ancrage des poteaux dans les fondations dimensionné avec une augmentation de 20 % de la sollicitation en flexion due à des actions sismiques dans la situation de risque «séisme» (voir article 4.9.2.4).

Limitation de la valeur de calcul de la force d'appui due à la situation de risque «séisme» (voir article 4.9.2.5).

Auteur: Marcio Bichsel Ingénieur civil HES REG A SIA INGENI SA Genève www.ingeni.ch



Coupes de détail, échelle 1:20

- 1 Plaque de base 250/900/80 mm
- 2 Poteau soudé 200/900 mm
Aile 25/200 mm
Ame partie inférieure 850/30 mm
Ame partie supérieure 850/15 mm
- 3 Raidisseur 4 x 85/500/50 mm
- 4 Plaque d'acier 200/900/20 mm
- 5 IPE 400
- 6 Pièce d'assemblage
2 x L 120/80/12 mm
- 7 HEA 400
- 8 Pièce d'assemblage
2 x L 120/80/15 mm
- 9 Appui pour tôle Holorib
150/12 mm
- 10 Poutre soudée 200/600 mm
Semelle 200/20 mm
Ame 560/10 mm

Lieu Faubourg du Lac 3, Neuchâtel
Maitre d'ouvrage Ville de Neuchâtel, section d'urbanisme
Architecte Andrea Bassi, Genève
Ingénieur structures Ingeni SA, Genève
Ingénieur façades BCS, Neuchâtel
Façades Sottas, Bulle
Construction métallique Steiner, La Chaux-de-Fonds
Volume SIA 14'500 m³
Coût de construction CHF 13,5 millions
Concours 2000
Début des travaux Septembre 2003
Fin des travaux Octobre 2005