

# 03+04/11 steeldoc

## Construction parasismique

Conception et  
dimensionnement



# Parasismique ludique

## Maître d'ouvrage

Ville de Neuchâtel, section d'urbanisme

## Architecte

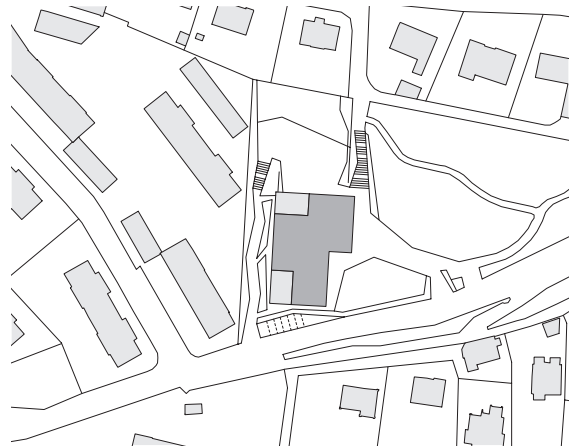
Andrea Bassi, Genève

## 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<sup>er</sup> étage. Ce choix s'est également avéré judicieux en ce qui concerne la conception parasismique de l'ouvrage par

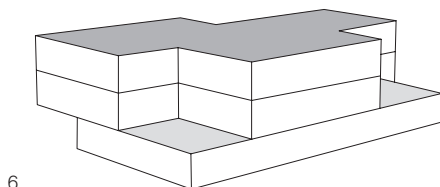
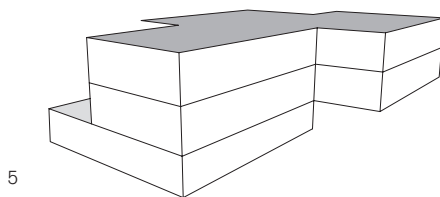
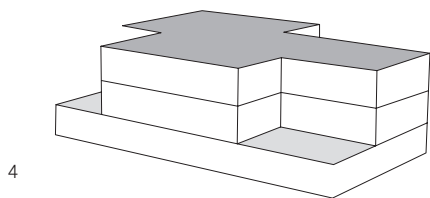
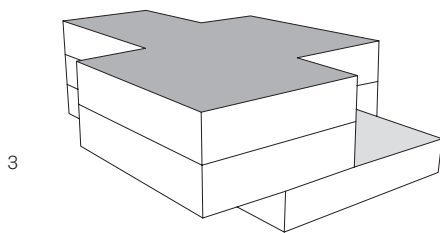
1







2



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

#### Conception parasismique

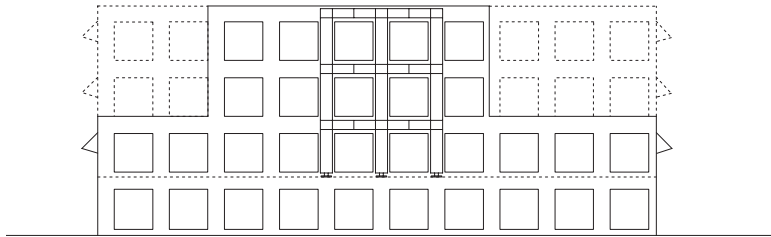
Si le choix d'une structure légère a permis de réduire les sollicitations liées aux actions sismiques (horizontales et verticales) et gravitaires (verticales) sur l'ouvrage, il n'a pas à lui seul résolu totalement ces deux problématiques majeures du projet. Il restait donc à trouver un système porteur 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.

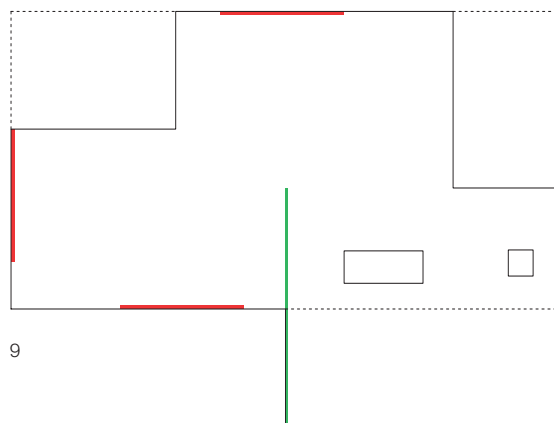
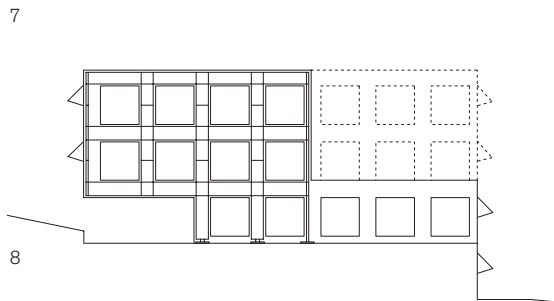
La solution commune aux deux problèmes a donc été trouvée avec le système de multi-cadres métalliques à angles rigides (poutres Vierendeel). Intégrés en façade, ces éléments ont permis la reprise du porte-à-faux et assurent la stabilité horizontale de l'ouvrage tout en préservant l'identité des façades 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.



### 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.

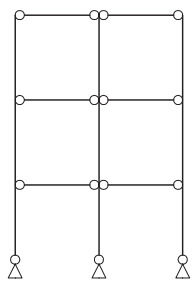
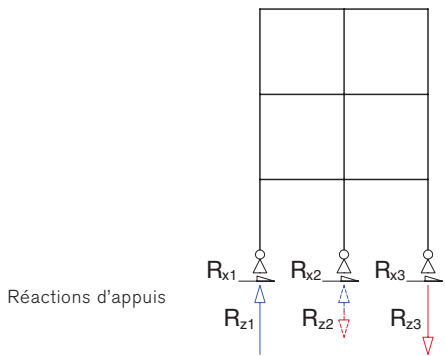
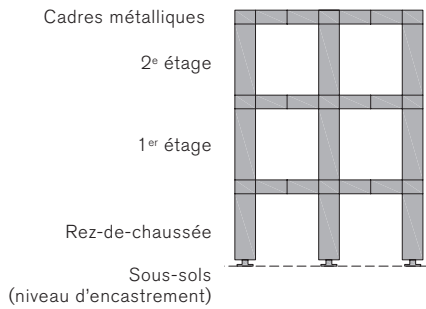
Afin de garantir une ductilité suffisante des éléments de la structure, condition primordiale pour toute structure «dissipative», la norme SIA 263 fixe des exigences supplémentaires (voir encadré).

### Éléments du dimensionnement

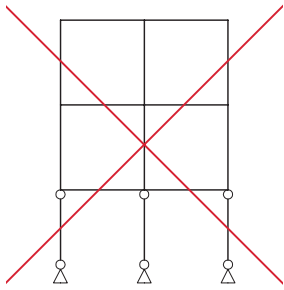
Zone sismique	Z1 (Neuchâtel)	$a_{dg} = 0.6 \text{ m/s}^2$
Classe d'ouvrage	COII	$\gamma_r = 1.2$
Classe de sol de fondation	A (sols rocheux)	
Coefficient de comportement (action horizontale)	$q = 4$	
Coefficient de comportement (action verticale)	$q = 1.5$	

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.

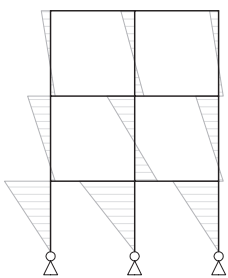




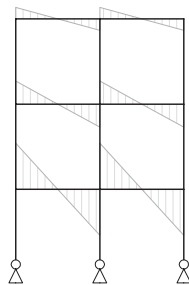
Mécanisme plastique approprié pour comportement ductile



Mécanisme plastique inapproprié pour comportement ductile



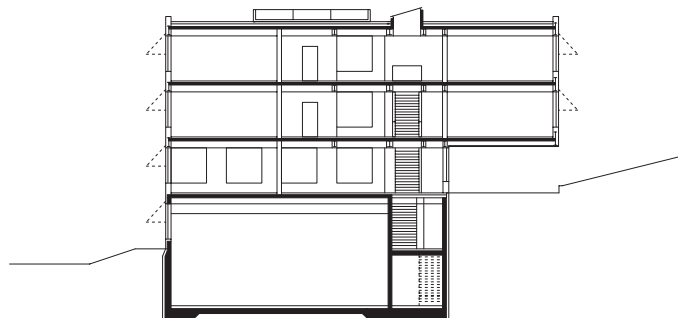
Moments de flexion traverses



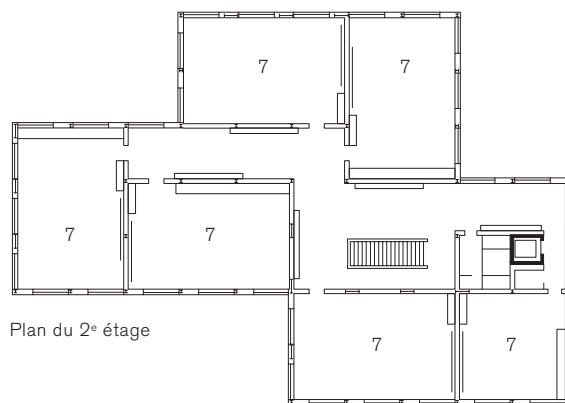
Moments de flexion montants

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

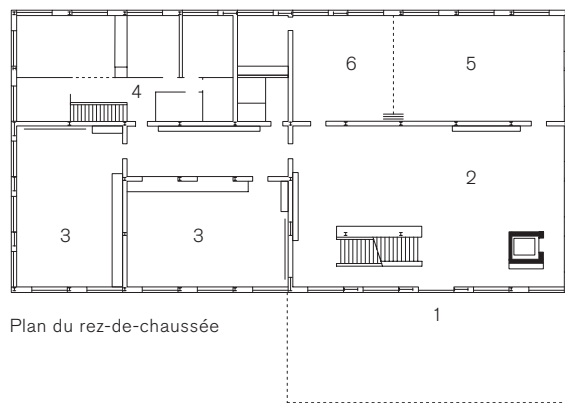
	Périodes propres [sec]	Fréquences propres [Hz]	Description du mode oscillatoire
1	0.71	1.40	Oscillation horizontale d'ensemble – sens longitudinal (Nord – Sud)
2	0.70	1.43	Oscillation horizontale d'ensemble – sens transversal (Est – Ouest)
3	0.46	2.19	Oscillation torsionnelle en plan
4	0.23	4.38	Oscillation 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

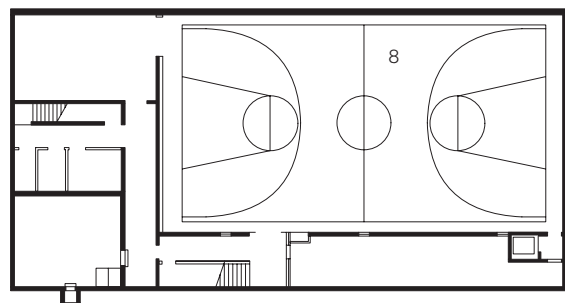


Plan du 2° étage



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).

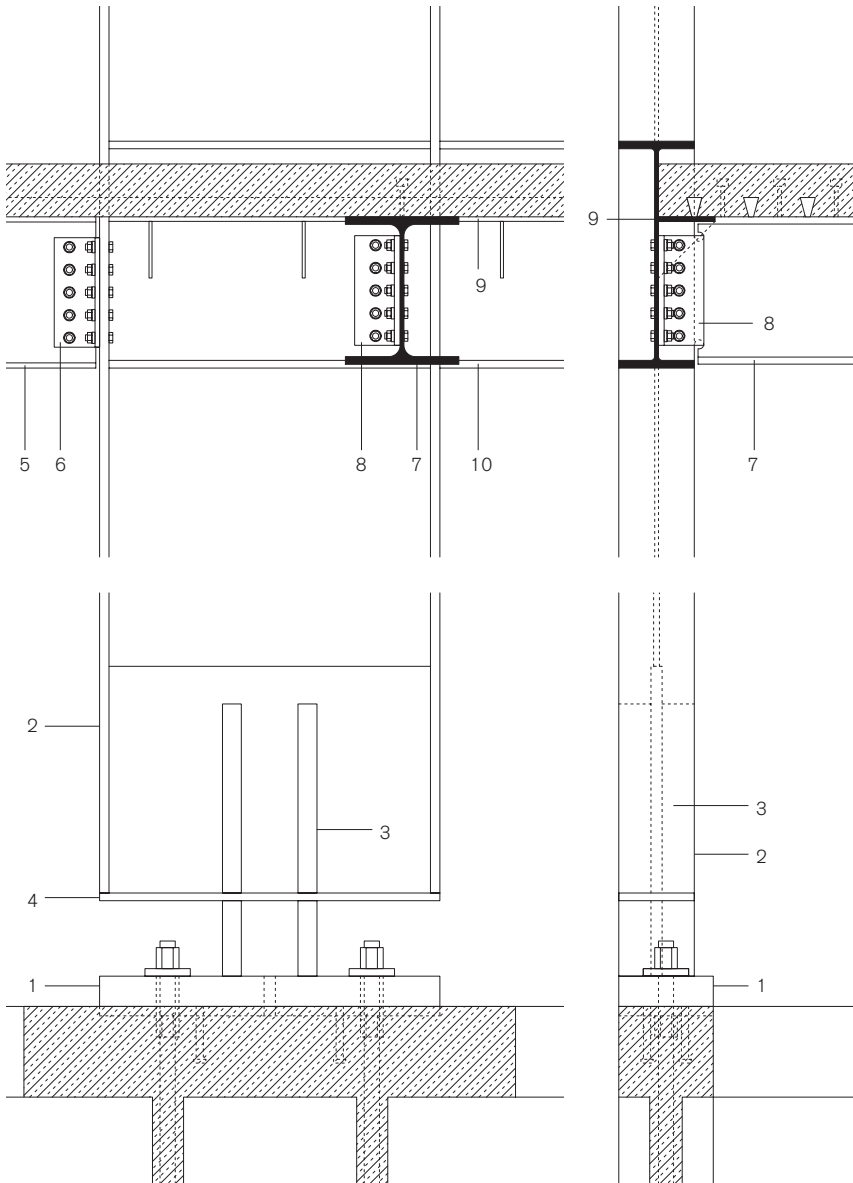
Les cadres à nœuds rigides doivent être conçus de telle façon que les rotules plastiques se forment dans les poutres (traverses) et non dans les poteaux (montants). Pour des cadres à étages multiples, les rotules plastiques sont admises seulement au pied des poteaux et dans le dernier étage supérieur (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 m<sup>3</sup>  
**Coût de construction** CHF 13,5 millions  
**Concours** 2000  
**Début des travaux** Septembre 2003  
**Fin des travaux** Octobre 2005

# Impressum

## Littérature et sources suisses

### SIA Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich:

Norme SIA 260 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich.

Norme SIA 260.801 (2004) EN 1998-1: Eurocode 8 – Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1, règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.

Norm SIA 261 (2003): Actions sur les structures porteuses

Norm SIA 263 (2003): Construction en acier

Cahier technique SIA 2018 (2004): Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants

Documentation SIA D 0180 (2004): Termes techniques des normes sur les structures porteuses – Terminologie et définitions

Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261

### Autres:

Bachmann H. (2002): Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités. Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG

Bachmann H. (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Basel.

Paulay T., Bachmann H., Moser K. (1990): Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Birkhäuser Verlag, Basel.

Smit P. (2004): Entstehung und Auswirkungen von Erdbeben. Forum 4/2004. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.

Wenk T., Lestuzzi P. (2003): Erdbeben. Dans: Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261. S. 59–66. SIA Zurich

Wenk T. (2005): Erdbebeneinwirkung. In: Dokumentation SIA D 0211, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Einführung in das Merkblatt SIA 2018. S. 9–16, SIA Zurich

Weidmann M. (2002): Erdbeben in der Schweiz. Verlag Desertina, Chur.

Lignum, Economie suisse du bois: Bâtiments en bois parasismiques de plusieurs étages. Documentation technique de Lignum, Zurich, 2010

Fondation pour la Dynamique des structures et le Génie Parasismique ainsi que l'Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG (2005): Construction parasismique en Suisse – ce qui est essentiel et pourquoi. Zurich.

Service Sismologique Suisse SED (2002): Swiss Hazard Map. (<http://www.earthquake.ethz.ch>)

Office fédéral de l'environnement OFEV (2004): L'aléa sismique en Suisse, Effets géologiques locaux (microzonage). (<http://www.bafu.admin.ch>)

Autres sources voir articles/bibliographies

## Impressum

steeldoc 03+04/11, parution mai 2012  
Construction parasismique – Conception et dimensionnement

Editeur:  
SZS Centre Suisse de la construction métallique, Zurich  
Evelyn C. Frisch, Directrice

Rédaction:  
Evelyn C. Frisch (responsable)  
Collaboration: Ann Schumacher, Virginia Rabitsch, Sascha Roesler  
Critical Review: Kerstin Pfyl-Lang Zürich; Michel Crisinel, Lausanne  
en collaboration avec les auteurs

Mise en page:  
Evelyn C. Frisch et Virginia Rabitsch, SZS  
Plans et graphiques partiellement retravaillés par cira drei, Munich

Photos et plans:  
Titre: Yves André, St-Aubin-Sauges  
Editorial: Raffaele Landolfo, Naples  
Interview: Photos: Katja Jug; Illustration: Tremblement de terre de Bâle: Erdbeben und Kulturgüter, p. 13;  
Conception et dimensionnement:  
Raffaele Landolfo, Université Federico II, Naples (aeob), sources voir article  
Principe de conception: voir article  
Ecole de la Maladière: Photos: Yves André, St-Aubin-Sauges p. 32, 33, 37; Ingeni SA, Genève, p. 35, plans et schémas: architectes et ingénieurs  
Confortement des bâtiments existants: voir article  
Bâtiment de production K90: Plans et photos mis à disposition de Gruner AG et Flubacher-Nyfeler+Partner Architekten  
Construction parasismique au Japon: voir article  
Médiathèque de Sendai: voir article

Conception graphique: Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Administration et abonnements: Giesshübel-Office, Zurich  
Impression: Kalt-Zehnder-Druck AG, Zoug

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel CHF 48.– / étranger CHF 60.–  
Numéros isolés CHF 15.– / doubles numéros CHF 25.–  
Sous réserve de changement de prix.  
A commander sur [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)

**Abonnement annuel à Steeldoc pour CHF 48.–  
(Étudiants gratuit) sur [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)**

Construire en acier / steeldoc® est la documentation d'architecture du SZS Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les informations techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. Une reproduction et la traduction même partielle de cette édition n'est autorisée qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.