

03+04/11 steeldoc

Construction parasismique

Conception et
dimensionnement



La construction parasismique: une exigence incontournable

Bien que la Suisse ne fasse pas partie des pays d'Europe les plus exposés aux tremblements de terre, il peut toujours s'y produire des secousses susceptibles de mettre en péril population et biens culturels. Comment appréhendait-on ces risques par le passé? Pourquoi assurer la sécurité parasismique des projets devrait-il aller de soi? Quels obstacles politiques et normatifs doivent-ils encore être surmontés? Telles sont les questions qu'aborde le présent entretien.

Sascha Roesler, architecte, s'est entretenu avec Hugo Bachmann et Monika Gisler*

Selon une étude de risques de l'Office fédéral de la protection civile, les dangers naturels les plus importants sont, en Suisse, ceux liés aux séismes. L'ampleur d'une catastrophe sismique ne dépend-elle cependant pas, dans une large mesure, des choix de l'homme? Et comment cette responsabilité a-t-elle été perçue au cours de l'histoire?

MG: La catastrophe n'est pas le tremblement de terre lui-même, mais son impact sur les bâtiments et la population. La manière dont on construit est donc déterminante, raison pour laquelle l'homme est, dans une certaine mesure, responsable de l'ampleur des dégâts. La question de sa responsabilité, l'homme se l'est d'ailleurs toujours posée. On a longtemps expliqué les tremblements de terre d'un point de vue, non pas scientifique, mais théologique: on les interprétait comme une punition ou un rappel à l'ordre.

HB: Depuis le séisme qui a dévasté Lisbonne en 1755, la question se pose en termes de théodicée: pourquoi Dieu permet-il cela? Aujourd'hui encore, certains considèrent de telles catastrophes comme un châtiement divin.

MG: Ce n'est qu'au cours du XVIII^e siècle que l'on a commencé de proposer des explications scientifiques. Dès lors, différents modèles d'interprétation coexistaient, scientifiques et théologiques. On a par exemple tenté de mettre en corrélation séismes et météo, corrélation que l'on s'efforçait de démontrer empiriquement. Vers la fin du XVIII^e siècle, une théorie avançait que les tremblements de terre étaient causés



Le tremblement de terre qui a dévasté Bâle le 18 octobre 1356 est l'un des plus forts qu'ait connus l'Europe au nord des Alpes.

par l'électricité. C'est à peu près à la même époque qu'ont été établis les premiers liens entre séismes et formation de la Terre. Ce n'est toutefois qu'à partir du début des années 1960 qu'a été formulée la théorie de la tectonique des plaques, qui prévaut encore aujourd'hui. On n'avait donc, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, aucune idée précise de ce qui provoquait les tremblements de terre et, partant, aucune stratégie de prévention efficace.

Les premières mesures constructives

Depuis quand existe-t-il un discours savant sur les mesures constructives à prendre?

MG: Du point de vue de l'histoire culturelle, c'est un thème très récent. Après le tremblement de terre de Lisbonne, en 1755, Rousseau avait critiqué la manière dont la ville était construite. De telles observations restaient toutefois très isolées. Et rien ne montre que l'on ait tiré les conséquences pratiques de tels avertissements. En ce qui concerne la Suisse, je ne connais aucune source antérieure au XX^e siècle qui fasse allusion au confortement parasismique des bâtiments. A cet égard, les tremblements de terre se distinguent des autres catastrophes naturelles. Dans le cas des inondations, par exemple, on a commencé de réfléchir beaucoup plus tôt à la manière de construire des digues.

HB: C'est sans doute lié au fait que les inondations sont relativement fréquentes. Les séismes qui provoquent des dégâts ne surviennent qu'environ tous les cent ans. En Suisse, le dernier grand tremblement de terre s'est produit en 1946, dans le Valais. Et les séismes dont les effets sont vraiment catastrophiques n'interviennent que tous les 500 à 1000 ans. Il est vrai qu'un gros tremblement de terre peut provoquer des dégâts cent fois plus importants qu'une inondation grave: si un fort séisme se produisait aujourd'hui à Bâle, il faudrait s'attendre à des dégâts de l'ordre de 100 milliards de francs. De tels événements surviennent cependant à de si grands intervalles qu'ils ne s'ancrent pas dans notre conscience collective. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles on n'a pas pris, en Suisse, de mesures constructives jusque tout récemment.

MG: Par rapport aux inondations, force est de constater que les tremblements de terre n'ont jamais fait, en Suisse, que très peu de victimes. On suppose que même le séisme qui a dévasté Bâle en 1356, et qui reste le plus fort des 1000 dernières années, n'a causé qu'assez peu de morts.

Observe-t-on, dans l'architecture vernaculaire ou ordinaire des siècles passés, des principes ou modes



de construction destinés à garantir une certaine sécurité parasismique?

HB: Rien ne témoigne de façon probante d'une prise en compte systématique des risques sismiques. Dans les villes médiévales, j'ai souvent observé que les vieilles maisons présentaient des chaînes d'angle. A Bâle, après le tremblement de terre, on a doté les bâtiments de tels éléments, que l'on retrouve d'ailleurs à Wil, à Bischofszell, à Zofingue, dans les villes zähringiennes de la région de Berne, etc. C'est mon interprétation personnelle, mais je ne vois pas pour quelle autre raison on aurait construit ces chaînes d'angle, qui contribuent en effet à la stabilité de la maçonnerie. Il s'agit peut-être des premières mesures prises, en Suisse, pour empêcher que les bâtiments ne s'effondrent en cas de séisme.

La recherche en matière de construction parasismique

Quel rôle a joué l'acier dans le développement de la construction parasismique? Et depuis quand la recherche s'y intéresse-t-elle?

HB: De ce point de vue, le tremblement de terre survenu à San Francisco en 1906 représente un jalon important. C'est sous le choc de cet événement que l'on a commencé à réfléchir à la manière d'améliorer la sécurité parasismique des bâtiments. Il en va de même du fameux séisme de 1923 à Tokyo, qui a fait 150'000 morts et provoqué – comme à San Francisco – des incendies qui ont duré des jours. On s'est alors rendu compte que la construction métallique présentait une meilleure résistance sismique que la maçonnerie – même si l'on ne comprenait pas encore très bien comment les tremblements de terre agissaient sur les bâtiments.

Ce qui se passe dans un ouvrage touché par un séisme est très complexe. On ne le comprend plus ou moins que depuis une trentaine d'années. Le génie parasismique ne s'est établi, comme discipline scientifique, que dans les années 1960, principalement en lien avec la construction des centrales nucléaires californiennes. C'est de là que sont venues, au départ, les impulsions les plus fortes. En Suisse, les premiers ouvrages pour lesquels on ait effectué une analyse sismique, sont les centrales nucléaires. Bien entendu, ces analyses

étaient, d'un point de vue actuel, rudimentaires. L'idée qu'un bâtiment doit être conçu pour résister aux tremblements de terre, je l'ai moi-même entendue pour la première fois dans les années 1960, lorsque était projetée notre première centrale atomique. C'est d'ailleurs l'industrie nucléaire qui a fourni les fonds nécessaires pour mener, dans les hautes écoles, de premiers petits projets de recherche. Au fil du temps, les connaissances acquises ont été appliquées à d'autres types d'ouvrages. Les premières normes parasismiques modernes ont été élaborées aux Etats-Unis et en Nouvelle-Zélande dans les années 1970 et 1980 – époque où l'on prenait aussi conscience des risques et des faiblesses de la technocratie.

Une nouvelle méthode: ductilité et dimensionnement en capacité

On peut donc dire que la dynamique des structures n'a commencé à se développer qu'environ un demi-siècle après les découvertes de la sismologie.

HB: Oui. La méthode qui a révolutionné le génie parasismique a été élaborée en Nouvelle-Zélande dans les années 1980: il s'agit du dimensionnement en capacité («capacity design» en anglais), qui a notamment été développé par le professeur Thomas Paulay, pour qui je travaillais à l'époque. C'est cette méthode qui a conduit à la construction dite ductile. Un ouvrage construit selon ce principe peut, en cas de séisme, se déformer sans s'écrouler. La ductilité désigne la déformabilité plastique de la structure – ce qui peut comprendre des déformations permanentes causant, localement, des dommages importants, mais en aucun cas un effondrement de la structure. Aujourd'hui, ce mode de construction est utilisé partout dans le monde.

Quel est le rôle des architectes dans la conception d'un bâtiment ductile?

HB: Les architectes détiennent les principaux leviers de commande. Dans le processus de conception, l'aspect de la sécurité parasismique devrait être pris en compte dès les premières esquisses. Cela ne requiert aucun calcul, mais simplement l'application de quelques principes fondamentaux¹. L'idéal est que l'architecte et l'ingénieur collaborent dès le début du projet. Quelques mesures intelligentes permettent

Entretien sur la construction parasismique: l'historienne des sciences Monika Gisler et le spécialiste du génie parasismique Hugo Bachmann.



déjà d'améliorer considérablement la sécurité parasismique des bâtiments. Or, si on ne les prend pas, l'ingénieur pourra faire autant de calculs qu'il voudra: l'ouvrage restera mal conçu. En calculant, dimensionnant et détaillant la construction des éléments de structure et des éléments non porteurs tels que cloisons et éléments de façade, l'ingénieur pourra certes veiller à ce que les normes soient respectées, mais celles-ci ne disent pas grand-chose sur les principes de conception fondamentaux.

Les normes parasismiques en Suisse

Qu'une société prenne ou non des mesures contre les risques sismiques dépend finalement de la manière dont elle appréhende ces risques. A propos du discours y relatif en Suisse, vous dites, Monsieur Bachmann, que l'on a «oublié» les tremblements de terre. Les normes parasismiques modernes ne sont en vigueur que depuis 1989. Avons-nous, en Suisse, un problème de perception des risques sismiques véritables? Ou sommes-nous dans la moyenne européenne?

MG: En Suisse, les normes parasismiques sont un peu plus récentes qu'en Italie, par exemple. Mais là aussi, elles ne datent que des années 1970. Lorsqu'on sait que l'Italie a régulièrement connu de forts séismes, c'est assez surprenant. Si l'on considère aujourd'hui que les risques sismiques sont à prendre au sérieux, c'est notamment parce que l'on s'efforce d'estimer les conséquences potentielles d'un nouveau tremblement de terre de forte intensité. En matière de sécurité parasismique, les réflexions sont souvent très théoriques et c'est aux institutions de veiller à ce qu'elles soient transposées dans des lois et des normes. Sinon, on n'a pour ainsi dire aucune raison de se préoccuper des tremblements de terre. Il s'agit d'institutionnaliser la perception des risques sismiques à travers un appareil normatif.

HB: Il est difficile de traduire les connaissances complexes dont on dispose par des règles simples. Par ailleurs, on a mis longtemps pour comprendre comment un tremblement de terre agit sur un bâtiment. La norme SIA de 1970 ne comprenait qu'un bref paragraphe concernant la sécurité parasismique². On ne parlait encore pratiquement pas de vibrations.

En 1980, dans le sillage des développements internationaux précédemment évoqués, j'ai été mandaté par la SIA pour élaborer, à la tête d'une commission ad hoc, une norme spécifiquement consacrée à la construction parasismique. Cette première norme parasismique suisse moderne est entrée en vigueur en 1989. Il faut cependant préciser que même sa version la plus récente représente une simple recommandation.

Les normes SIA ont en principe la même portée juridique que les statuts d'une association. Leur application relève du droit privé. Ce qui est déterminant, c'est ce que stipulent les contrats: «Les normes SIA doivent être respectées.» Or il existe toujours, à cet égard, une marge d'interprétation. Et comme les séismes ne sont pas ancrés dans la conscience collective, on continue, aujourd'hui encore, à construire d'une manière inadaptée. On sait très bien comment concevoir un bâtiment ductile. Cet aspect est désormais abordé dans les normes. Quant à savoir si les normes seront effectivement appliquées, c'est une autre histoire...

Aujourd'hui, pour les bâtiments privés, l'application des normes SIA en matière de construction parasismique n'est pas obligatoire partout en Suisse. Seuls les cantons du Valais et de Bâle-Ville l'ont imposée voici quelques années. Que faudrait-il faire pour que les normes soient mieux prises en compte au niveau suisse?

HB: En Suisse, la réglementation du domaine de la construction relève des cantons. A la différence de la protection contre les crues, la Confédération ne dispose d'aucune compétence constitutionnelle en matière de génie parasismique. On a bien tenté d'introduire un nouvel article constitutionnel relatif aux dangers naturels, qui aurait rassemblé les dispositions légales – aujourd'hui dispersées – concernant les crues, les avalanches, etc. Mais ces tentatives sont restées sans succès. Certains cantons n'ont encore rien entrepris dans le domaine de la construction privée, d'autres si. Près de la moitié d'entre eux applique désormais les normes SIA aux bâtiments publics. Et beaucoup ont commencé de vérifier la sécurité parasismique de leurs propres bâtiments. La Confédération applique elle aussi les normes SIA à tous ses bâtiments – hautes écoles, immeubles administratifs, etc. Les bâtiments publics ne représentent toutefois qu'environ 5 à 6 % du parc immobilier. Près de 90 % de ce parc sont des bâtiments privés. En matière de construction parasismique, seuls Bâle et le Valais assortissent les permis de conditions et prévoient des contrôles. D'autres cantons, comme Fribourg, Vaud ou Nidwald, vont actuellement dans ce sens. Mais dans les cantons où se situe le gros de la masse bâtie – sur le Plateau –, la plupart des bâtiments privés reste pour ainsi dire hors la loi:

si le maître d'ouvrage, l'architecte ou l'ingénieur n'appliquent pas les normes parasismiques de leur propre chef, personne ne le leur impose.

Confortement parasismique des constructions existantes

Les maîtres d'ouvrage ont-ils peur de ce que coûterait le confortement parasismique des bâtiments existants?

MG: Le seul moyen de se prémunir des conséquences des tremblements de terre, c'est la construction parasismique et le confortement parasismique des ouvrages existants. Or, une récente étude montre que renforcer les bâtiments existants – fussent-ils présenter une certaine valeur culturelle – est très onéreux. Le plus judicieux est donc de procéder à ce genre de travaux à l'occasion d'une rénovation.

HB: Nous savons que, si l'on fait bien les choses, la construction parasismique n'engendre pratiquement pas de coûts supplémentaires. Ceux-ci sont compris entre 0 et 1 % des coûts de construction. Il serait donc irresponsable de ne pas le faire. Par ailleurs, le cahier technique SIA 2018, publié en 2004, propose une excellente méthode pour vérifier la sécurité parasismique des bâtiments existants en tenant compte de critères économiques – ainsi que culturels et juridiques. Cette méthode permet de déterminer si des mesures de confortement sont ou non disproportionnées. Cela dépend bien sûr des coûts, mais aussi du taux d'occupation des bâtiments. Le but premier du génie parasismique reste en effet d'éviter les morts, ainsi que les catastrophes environnementales telles qu'en pourrait connaître la chimie bâloise.

A des séismes de quelle magnitude les bâtiments construits avant 1989 pourraient-ils résister?

HB: En Suisse, 85 à 90 % du parc immobilier n'ont jamais fait l'objet d'une analyse sismique et présentent souvent une sécurité parasismique insuffisante. On ne peut toutefois pas en tirer de conclusion générale. Chaque ouvrage est un cas particulier – surtout en Suisse. Si les risques sismiques ne sont pas pris en compte au niveau du projet, du dimensionnement et de la construction, un bâtiment peut se révéler, par hasard, très résistant, tout comme il peut déjà s'effondrer sous l'action d'un faible séisme. De légères modifications peuvent déjà améliorer ou amoindrir sensiblement la sécurité parasismique d'un ouvrage – raison pour laquelle on ne peut pas dire à quelle magnitude sismique les bâtiments existants pourraient résister.

Le confortement parasismique est donc, en Suisse, un enjeu important. Quelles sont ici les priorités?

HB: J'estime à 200 à 300 le nombre de bâtiments qui ont déjà été renforcés et présentent, désormais, une sécu-

rité parasismique plus ou moins suffisante. La Confédération a commencé de contrôler systématiquement ses propres bâtiments sous cet angle. Près de la moitié feront l'objet, lors de leur prochaine rénovation, de mesures de confortement. Certains ouvrages très exposés ont déjà été renforcés, comme le bâtiment des auditoires de l'EPFZ au Höggerberg en 1994. Le canton de Zurich, lui, a contrôlé toutes ses écoles et hôpitaux. Certains, comme l'hôpital de Winterthour, ont été renforcés depuis.

Quel est selon vous, en Suisse, le potentiel de l'acier en matière de construction parasismique?

HB: La construction parasismique n'est en principe pas une question de matériau – même si l'acier offre sans doute, à cet égard, des solutions simples et économiques. En matière de confortement des ouvrages existants, en revanche, l'acier est certainement appelé à jouer un rôle important. Les éléments en acier sont en effet faciles à façonner, à transporter et à mettre en place, ce qui les rend particulièrement adaptés au renforcement des structures existantes.

¹ Hugo Bachmann: Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités, Directives de l'OFEAG, Berne 2002

² «Les structures porteuses doivent résister aux sollicitations dues aux tremblements de terre. Le degré d'intensité VII sur l'échelle de Rossi-Forel s'applique à l'ensemble du pays. Dans les lieux exposés à des risques plus importants, l'autorité compétente peut prescrire le degré d'intensité VIII. [...] Les structures porteuses doivent être calculées pour une accélération horizontale $a = g/50$ pour le degré d'intensité VII et $a = g/20$ pour le degré d'intensité VIII ($g =$ accélération gravitationnelle).»

A propos des auteurs:

Hugo Bachmann est le doyen du génie parasismique en Suisse. Dans les années 1970, il a fait connaître la recherche internationale en Suisse et l'y a établie en qualité de professeur de dynamique des structures et de génie parasismique à l'EPFZ.

Grande connaisseuse de l'histoire des tremblements de terre en Suisse, l'historienne des sciences Monika Gisler décrit, dans sa thèse de doctorat, l'émergence d'une explication scientifique des séismes.

Sascha Roesler est architecte et chargé de cours à l'EPF Zurich pour la matière facultative «Einführung in die ethnografische Forschung der modernen Architektur».

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 Zürich

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-Nyfelner+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

**Abonnement annuel à Steeldoc pour CHF 48.–
(Étudiants gratuit) sur 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.