

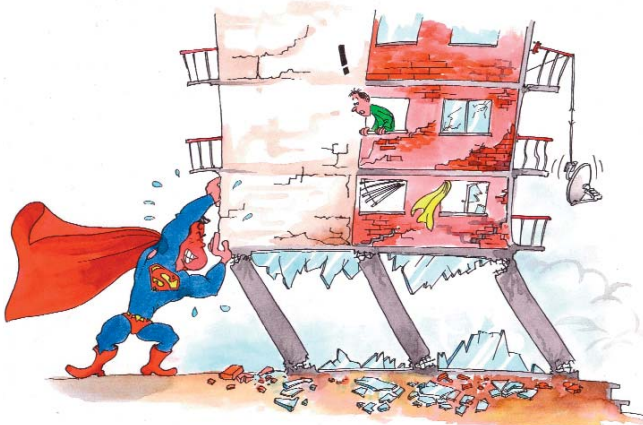
Notre maison est-elle parasismique?

Quand une vérification et un éventuel renforcement s'imposent-ils – et pourquoi?

Une brève information à l'intention des

- propriétaires immobiliers
- architectes
- ingénieurs
- autorités

avec une liste de contrôle et des renseignements juridiques



Ne comptons pas sur Superman!

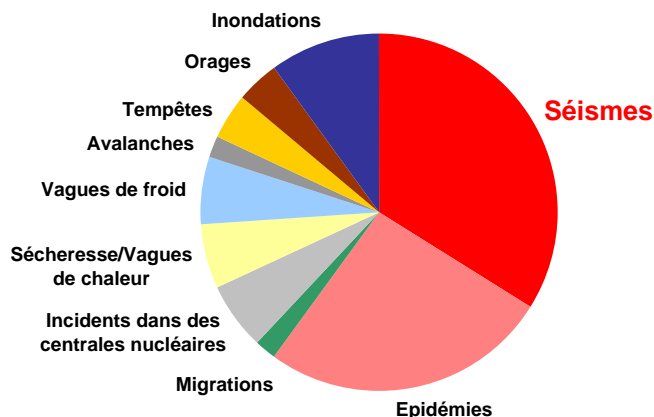
(dessin E. Rosales)

De nombreux ouvrages dangereux

Plus de 90 % des ouvrages suisses présentent une sécurité sismique inconnue et souvent insuffisante.

- Lorsque les dispositions parasismiques actuelles des normes SIA sur les structures porteuses [1] sont mises en œuvre comme il convient par les architectes et par les ingénieurs civils, aucun effondrement ne devrait se produire, même en cas de très fort tremblement de terre. Les dommages devraient également être considérablement réduits.
- Le surcoût à consentir pour qu'une nouvelle construction soit parasismique est minime; il varie généralement entre 0 et 1 % du coût de l'ouvrage [7].
- Cependant, les dispositions parasismiques des normes SIA sont encore souvent ignorées ou ne sont pas respectées intégralement. Aucun contrôle efficace n'est effectué par les autorités, sauf dans les cantons du Valais et de Bâle-Ville.
- De nombreux bâtiments ont une tenue au séisme très insuffisante si l'on se réfère aux exigences actuellement applicables aux nouveaux bâtiments. La vie de nombreuses personnes s'en trouve menacée en cas de fort tremblement de terre.

En Suisse, le risque sismique est le plus important des risques inhérents aux dangers naturels.



Contribution des divers dangers naturels à l'ensemble des risques (en tenant compte de l'aversion) selon l'étude Katarisk [4]

Recommandations

Les ouvrages particulièrement importants devraient être examinés au plus vite et renforcés si nécessaire.

Tous les autres ouvrages devraient être examinés à l'occasion d'une transformation ou d'un assainissement général et renforcés si nécessaire.

Quelles constructions faut-il examiner en premier lieu?

Les ouvrages nécessaires à la gestion des catastrophes:

- bâtiments du service du feu, centrales d'ambulances
- hôpitaux accueillant les urgences
- poste de commandement de la police
- bâtiments de l'administration

Les constructions accueillant de nombreuses personnes:

- écoles
- centres commerciaux
- cinémas et théâtres

Les constructions menaçant l'environnement:

- installations chimiques à fort potentiel de danger
- citernes avec un contenu toxique ou explosif

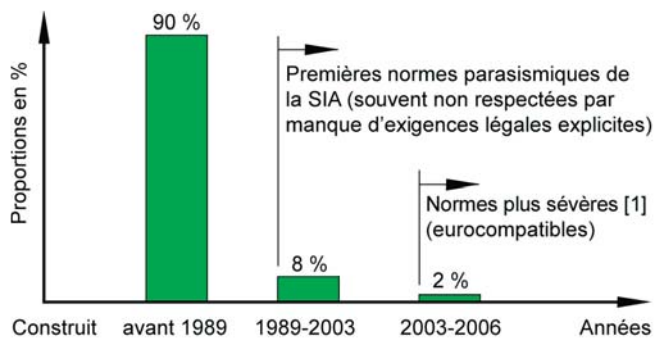
Les bâtiments où les pertes d'exploitation sont élevées:

- fabriques et industries
- entrepôts
- banques et assurances

Les bâtiments résidentiels, commerciaux et de bureaux dont le mode de construction est potentiellement dangereux:

- bâtiments à rez-de-chaussée ouvert flexible
- bâtiments à contreventement asymétrique
- constructions en maçonnerie sans refends en béton

Chaque bâtiment est un cas particulier qui requiert un examen adapté à la situation.



Année de construction des bâtiments et d'entrée en vigueur des normes parasismiques de la SIA

Qui doit procéder aux vérifications?

La vérification de la sécurité sismique des bâtiments existants est une **tâche encore plus exigeante** sur les plans de la théorie et de la construction **que la conception parasismique des nouveaux ouvrages**. Un **ingénieur civil spécialisé en génie parasismique** sera le mieux à même de l'accomplir. Il connaît notamment des matériaux et des techniques de renforcement récents ainsi que des méthodes modernes de calcul, de dimensionnement et de conception qui permettent de minimiser les coûts.

Combien coûte un renforcement sismique?

Son coût peut être faible, mais aussi très élevé. Il varie **entre 1 et 20 % de la valeur du bâtiment** [8]. L'ampleur du travail nécessaire pour procéder à la vérification, établir les plans et exécuter les mesures constructives dépend de nombreux facteurs:

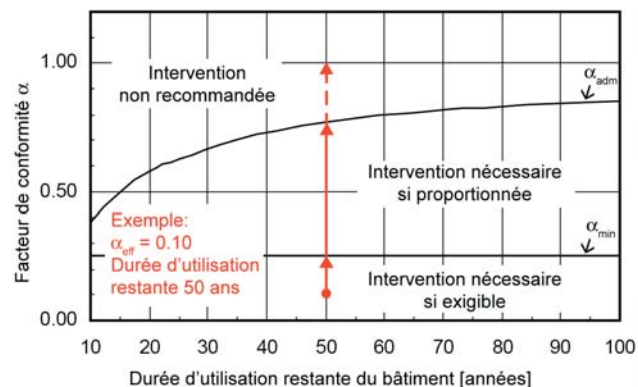
- de la structure porteuse existante, principalement pour les actions horizontales (forces et déplacements);
- des possibilités d'intervenir dans l'ouvrage en tenant compte de son utilisation future;
- du type et des matériaux de construction;
- de la classe d'ouvrage, du sol de fondation, et de la zone sismique;
- des synergies possibles avec des travaux projetés

Pour estimer les coûts, il faut identifier et évaluer la structure porteuse. D'autres facteurs doivent également être pris en compte.

Quel niveau de sécurité est nécessaire et à quel prix?

Les critères de **proportionnalité** et d'**exigibilité** selon SIA 260 à 267 [1] pour la sécurité sismique des nouvelles constructions. Basés sur les risques, ces critères ont été établis selon des méthodes scientifiques reconnues.

- Le facteur de conformité α indique dans quelle mesure la structure porteuse d'un bâtiment satisfait aux vérifications numériques des normes SIA 260 à 267 [1] pour la sécurité sismique des nouvelles constructions.
- Par exemple, lorsque le facteur de conformité « effectif » α_{eff} d'un bâtiment existant est de 0,10, sa résistance calculée au séisme est égale à 10 % de la valeur requise pour un nouveau bâtiment analogue situé au même endroit (voir exemple ci-dessous).
- Le facteur de conformité « minimal requis » α_{min} est de 0,25 pour les classes d'ouvrages I et II et 0,40 pour la classe d'ouvrage III.
- Lorsque α_{eff} est inférieur à α_{min} , le risque individuel est inacceptable et un renforcement doit être effectué si son coût est « exigible ». C'est généralement le cas.
- Le facteur de conformité « admissible » α_{adm} varie entre 0,25 et 1 selon la durée d'utilisation restante.
- Lorsque α_{eff} est supérieur à α_{min} et inférieur à α_{adm} , un renforcement doit être effectué si son coût est « proportionné », c'est-à-dire relativement modeste. Ce n'est généralement pas le cas.



Facteur de conformité et durée d'utilisation restante selon SIA 2018 [2] pour les classes d'ouvrages I et II

Exemples de renforcements

Bâtiments résidentiels en maçonnerie

Six bâtiments locatifs datant des années 1970 situés à Fribourg possédaient un rez-de-chaussée ouvert flexible en direction horizontale surmonté de sept étages munis de parois porteuses en maçonnerie. Pour les renforcer, quatre parois élancées en béton armé ont été fixées dans les fondations, dressées contre les façades et ancrées dans les dalles. L'avantage de ce procédé est que les locataires n'ont pas dû quitter leur appartement pendant les travaux. Le renforcement a été réalisé à l'occasion d'un assainissement général. Les coûts imputables au renforcement sismique se sont élevés à 7 % de la valeur des bâtiments.



Bâtiment résidentiel en maçonnerie situé à Fribourg, avec 4 parois élancées en béton armé appliquées contre les façades extérieures

Bâtiment d'auditoires

Le bâtiment d'auditoires de l'EPF Zurich situé au Höggerberg n'était contreventé qu'à l'arrière, au moyen de parois en béton armé excentrées. Il présentait en outre un rez-de-chaussée flexible sur sa face avant. Lors d'un fort tremblement de terre, sa partie supérieure aurait subi une torsion dans le plan horizontal et les colonnes auraient flambé. Pour le renforcement, des colonnes obliques en acier formant un treillis ont été disposées à l'extérieur sur trois côtés. Il a été possible d'utiliser les fondations existantes sans les renforcer notablement. Cette intervention a également amélioré la résistance contre les charges verticales en porte-à-faux. En outre, la position oblique et la configuration soigneusement étudiée du treillis représentent une solution satisfaisante sur le plan esthétique.



Bâtiment d'auditoires de l'EPF Zurich, avec le treillis apposé formé de colonnes en acier

Sous-station électrique

La sous-station électrique du Wasgenring, à Bâle, qui appartient à la classe d'ouvrages III, possédait un étage flexible en direction horizontale, si bien que sa tenue au séisme était largement insuffisante (facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} = 0,30 < \alpha_{\text{min}} = 0,40$ pour la CO III). Pour la renforcer, un contreventement en acier en forme de A et trois parois en béton armé ont été intégrés. Ces nouveaux éléments porteurs parasismiques ont été peints en jaune pour qu'ils ressortent clairement du bâtiment original et produisent un effet esthétique (photo au verso).

Liste de contrôle pour les propriétaires

- Mandatez un ingénieur civil expérimenté en génie parasismique pour vérifier votre bâtiment.
- Transmettez-lui tous les plans dont vous disposez (sans plans, l'identification de la structure porteuse requiert des sondages onéreux).
- Si l'ingénieur vous le propose, demandez des investigations ciblées sur les matériaux et sur le sol de fondation (résistance, déformabilité, etc.).
- Faites-vous expliquer par l'ingénieur la procédure qu'il a suivie pour la vérification et les résultats qu'il a obtenus (facteur de conformité effectif, etc.).
- Lorsqu'un renforcement est prévu, l'ingénieur en génie parasismique élabore un concept en veillant, en étroite collaboration avec vous, à ce qu'il soit compatible avec les impératifs d'exploitation.
- Lorsqu'un renforcement est décidé, assurez-vous que les données pertinentes à la tenue au séisme figurent dans la demande de permis de construire:
 - zone sismique, classe d'ouvrage, de sol de fondation;
 - structure porteuse, nouveaux éléments parasismiques;
 - facteur de conformité avant et après le renforcement;
 - mesures constructives prévues pour les éléments non porteurs (façades, cloisons, etc.).
- Lors de l'élaboration des plans d'exécution, prenez connaissance des mesures constructives prévues pour assurer la protection parasismique de l'ouvrage et discutez de leur réalisation avec l'ingénieur civil.
- Veillez à ce que les mesures exécutées soient documentées dans les dossiers de construction à archiver.



Bâtiment avec un rez-de-chaussée flexible (Izmit, Turquie, 1999)

Conséquences juridiques d'une sécurité sismique insuffisante

Lorsqu'un bâtiment présente une sécurité sismique insuffisante, **les conséquences** peuvent être considérables sur le plan **du droit privé** et **du droit pénal** [5].

- **Devoir de diligence:** En vertu de leur devoir de diligence, les architectes, les ingénieurs civils et les entrepreneurs sont tenus, au titre de constructeurs d'un ouvrage, de respecter les règles reconnues de l'art de la construction.
- **Caractère obligatoire des normes SIA:** La question de savoir jusqu'à quel point les normes SIA sont contraignantes est controversée [5,6]. Mais, en cas de litige, il faut s'attendre à ce qu'un tribunal considère les dispositions parasismiques des normes SIA [1,2] comme des règles reconnues de l'art de la construction, même si elles ne font pas explicitement partie des contrats ou en ont été exclues.
- **Responsabilité du constructeur:** La responsabilité de l'architecte, de l'ingénieur civil et de l'entrepreneur peut être engagée s'ils ne respectent pas intégralement les dispositions parasismiques des normes SIA lors de l'établissement des plans et lors de l'exécution.
- **Responsabilité du propriétaire de l'ouvrage:** Une carence dans la sécurité sismique peut être considérée comme un vice de construction (nouveau bâtiment) ou comme un défaut d'entretien (ancien bâtiment) et impliquer une responsabilité du propriétaire de l'ouvrage au sens de l'art. 58 CO.
- **Motifs d'une vérification:** En vertu des normes SIA en vigueur [3], la sécurité sismique d'un bâtiment existant doit être vérifiée et améliorée si nécessaire à l'occasion de transformations ou d'un changement d'affectation.

Moins-value

Une carence dans la sécurité sismique, surtout d'un nouveau bâtiment ou d'un bâtiment qui a subi des transformations ou un changement d'affectation, peut, par exemple lors d'une vente, générer une moins-value considérable en vertu de la responsabilité pour les défauts au sens de l'art. 199 CO (environ le coût d'un renforcement sismique a posteriori, soit généralement entre 1 et 20 % de la valeur du bâtiment).

- **Prise en charge du risque:** Lorsque le propriétaire d'un bâtiment refuse de procéder à un renforcement sismique, il devrait confirmer par écrit qu'il a été suffisamment informé par l'ingénieur civil et qu'il a compris l'importance et la portée de sa décision (conséquences éventuelles sur les plans privé et pénal).
- **Remise du mandat:** Si cette déclaration n'est pas fournie, l'architecte, l'ingénieur civil et l'entrepreneur devraient remettre leur mandat, car des manquements aux règles de l'art de la construction ainsi que des recours en garantie de la part du propriétaire ne sont pas exclus. Ils devraient au moins remettre une lettre de décharge.

Lettre de décharge

Si une lettre de décharge ne met pas le constructeur à l'abri de toute conséquence sur les plans privé et pénal, elle peut néanmoins en diminuer l'ampleur.

Cas juridiques envisageables

Certains cas juridiques envisageables peuvent avoir les conséquences suivantes:

- 1) Lors de la construction d'un nouveau bâtiment, les dispositions parasismiques des normes SIA en vigueur [1] sont partiellement ou complètement ignorées par l'ingénieur civil (concepteur de la structure porteuse) sans que le maître de l'ouvrage ne le sache et l'ait approuvé. Deux ans plus tard, un expert indépendant constate que la sécurité sismique est insuffisante. L'ingénieur civil est tenu de payer au maître de l'ouvrage le prix du renforcement réalisé a posteriori ainsi que le coût de ses répercussions, comme le déménagement des locataires pour la durée des travaux, les coûts d'expertise, etc.
- 2) Le propriétaire d'une maison refuse tout renforcement sismique à l'occasion d'une transformation. L'ingénieur civil lui envoie une lettre de décharge. Suite à la vente ultérieure de cette maison, l'acheteur, qui n'avait pas été informé de ce défaut, exige le remboursement d'une moins-value équivalente au coût d'un renforcement sismique a posteriori. Sa demande est sanctionnée par un jugement de tribunal. Le vendeur se retourne contre l'architecte, l'ingénieur civil et l'entrepreneur. Pour l'ingénieur civil, la portée du recours est atténuée par le fait qu'il a envoyé une lettre de décharge probante.

3) Un canton veut installer son poste de commandement de la police destiné à la gestion des catastrophes dans un bâtiment dont la tenue au séisme n'atteint que 10 % de la valeur requise par les normes SIA en vigueur [1]. Bien que les critères de proportionnalité et d'exigibilité au sens du cahier technique SIA 2018 [2] soient clairement remplis pour ce bâtiment de la classe d'ouvrages III, le canton renonce à tout renforcement sismique. L'ingénieur civil mandaté pour les transformations avait bien prévu de renforcer l'ouvrage, mais il ne remet pas son mandat et ne transmet aucune lettre de décharge. La structure porteuse subit différentes interventions prévues par l'ingénieur pour reprendre des charges de poids propre. Quelques années plus tard, un tremblement de terre provoque l'effondrement partiel du bâtiment. Des personnes sont tuées ou blessées. Lors de la procédure pénale qui s'ensuit, le conseiller d'Etat compétent (chef de département), l'architecte cantonal (chef fonctionnaire), l'ingénieur civil et l'architecte chargé des transformations sont condamnés à des peines de prison ou à des amendes. Suite à cela, les familles des victimes émettent des prétentions de droit privé à leur encontre – et à l'endroit du canton au titre de personne juridique.



Sous-station électrique avec ses nouveaux éléments porteurs parasismiques en jaune (voir paragraphe « Sous-station électrique à Bâle »)

Bibliographie et références

- [1] *Normes sur les structures porteuses*, SIA 260 à 267, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2003.
- [2] *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants*, CT SIA 2018, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2003.
- [3] *Conservation des ouvrages (SIA 469), Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants (SIA 462), Conservation des structures en béton (SIA 162/5)*, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 1994/97.
- [4] *Katarisk – Catastrophes et situations d'urgence en Suisse*, Office fédéral de la protection de la population, Berne, 2003.
- [5] SCHUMACHER R., *Zur rechtlichen Verantwortung für die Erdbebensicherung von Bauwerken*, Documentation D 0162, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2000.
- [6] *Mitigation des séismes – Mesures à prendre par la Confédération*, rapport détaillé de l'OFEV et de l'OFEV, janvier 2005.
- [7] BACHMANN H., *Construire parasismique en Suisse – Ce qui est essentiel et pourquoi*, dépliant, 2^e édition, Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique et Office fédéral de l'environnement, Berne, 2006.
- [8] WENK T., *Assainissement parasismique d'ouvrages – stratégie et recueil d'exemples en Suisse*, Connaissance de l'environnement, OFEV, Berne, 2007 (en préparation).

Contacts

- Centrale de coordination de la Confédération pour la mitigation des séismes, Office fédéral de l'environnement (OFEV). Les publications de l'OFEV peuvent être téléchargées à l'adresse www.environnement-suisse.ch/seismes > Publications sur les tremblements de terre.
- Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB), www.sgeb.ch
- Laboratoire d'informatique et de mécanique appliquées à la construction (IMAC), EPF Lausanne, imacwww.epfl.ch
- Service sismologique suisse (SED), Institut de géophysique, EPF Zurich, www.seismo.ethz.ch

Impressum

Conception et texte: Hugo Bachmann

Illustrations: Eric Lateltin, Pierino Lestuzzi, Thomas Wenk

Editeurs: Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique (www.baudyn.ch) et Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Diffusion: OFEV, Documentation, 3003 Berne; fax 031 324 02 16, docu@bafu.admin.ch, www.environnement-suisse.ch/div-7527-f

N° de commande: DIV-7527-F (version allemande: DIV-7527-D)

© Berne, OFEV 2007, 1^{re} édition