

Séismes et ouvrages en Suisse

Les ingénieurs en génie parasismique et les sismologues lancent un avertissement:

La Suisse peut aussi subir des tremblements de terre catastrophiques!

- En Suisse, il peut y avoir des séismes aussi violents qu'en Californie, au Japon, en Nouvelle-Zélande, en Turquie, etc., mais ils y sont plus rares.
- La Suisse a régulièrement subi des séismes de forte intensité, provoquant des effondrements et des dommages importants aux ouvrages, par exemple à Kaiseraugst (Augusta Raurica) en 250 apr. J.-C., à Bâle en 1356 et à Viège (VS) en 1855.
- En Suisse, les ouvrages sont beaucoup moins aptes à y résister qu'en Californie, au Japon, en Nouvelle-Zélande, etc.
- La Suisse ne dispose de normes de construction parasismique modernes que depuis 1989, tandis que la Californie, le Japon, la Nouvelle-Zélande, etc., en ont depuis de nombreuses décennies.
- Plus de 90 % des ouvrages suisses présentent une sécurité parasismique inconnue, souvent insuffisante.
- Les dispositions parasismiques des normes SIA sont souvent ignorées ou respectées seulement partiellement.
- On ajoute constamment de nouvelles constructions sismiquement vulnérables au bâti qui l'est déjà.
- Il en résulte que le risque sismique croît de jour en jour en Suisse.

Les **nouveaux ouvrages** doivent impérativement être conçus et construits en appliquant les prescriptions parasismiques des normes SIA.

Il y a lieu de vérifier la sécurité parasismique des **ouvrages existants** et de les renforcer si nécessaire, le mieux étant à l'occasion d'un assainissement général ou d'une transformation.

Combien coûte la sécurité parasismique?

Le surcoût à consentir pour construire parasismique dépend essentiellement de:

- la démarche suivie par l'architecte et l'ingénieur civil pour concevoir la structure porteuse et les éléments non porteurs (façades, cloisons etc.);
- les méthodes appliquées pour calculer et dimensionner les éléments de construction et concevoir leurs détails.

Le surcoût est aussi influencé par:

- la zone d'aléa sismique (intensité du séisme);
- la classe de sol de fondation (caractéristiques locales du sol, p. ex. roche, sable/gravier ou sol «mou»);
- la classe d'ouvrage (importance de l'ouvrage);
- le type de construction et les matériaux utilisés (béton armé, acier, maçonnerie, etc.).

Il est primordial que:

- l'architecte et l'ingénieur civil collaborent étroitement dès les premiers coups de crayon et appliquent les principes modernes de la conception parasismique;
- l'ingénieur applique des méthodes modernes pour calculer et dimensionner les éléments de construction et concevoir leurs détails (dimensionnement en capacité, méthodes basées sur les déformations).

Lorsque ces conditions sont satisfaites, le surcoût à consentir pour qu'une construction soit parasismique varie en général **entre 0 et 1% du coût de l'ouvrage**.

En revanche, si l'ingénieur est impliqué tardivement dans l'établissement du projet et des plans et qu'il utilise des méthodes dépassées, le surcoût peut atteindre 2 à 3 % du coût de l'ouvrage, sans même que sa sécurité parasismique ne soit suffisante.

L'application de méthodes modernes pour le calcul, le dimensionnement et la conception des détails constructifs exige que l'ingénieur civil bénéficie d'une formation et d'une expérience adaptée en génie parasismique. Mais le supplément de coût occasionné par son intervention est généralement plus que compensé par les économies réalisées dans la construction.

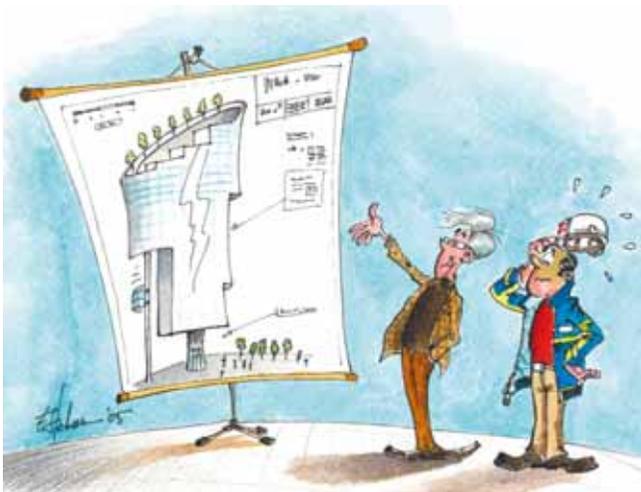
Construction parasismique en Suisse

Ce qui est essentiel – et pourquoi

Une brève information à l'intention des

- architectes
- maîtres d'ouvrages
- autorités
- autres intéressés

avec des check-lists et des principes de base importants



Architecte et ingénieur: «Non, pas comme ça !» (dessin E. Rosales)

Zones d'aléa sismique, classes de sols de fondation et classes d'ouvrages selon la norme SIA 261



Carte des zones d'aléa sismique selon la norme SIA 261 [2]

Le dimensionnement est fondé sur un séisme qui se produit statistiquement une fois tous les 500 ans. Des facteurs de multiplication de l'accélération sismique de dimensionnement traduisent l'influence des:

Zones d'aléa sismique	Facteur
1 Fort séisme rare	0.6
2 Fort séisme moins rare	1.0
3a Fort séisme plus fréquent	1.3
3b Fort séisme assez fréquent	1.6

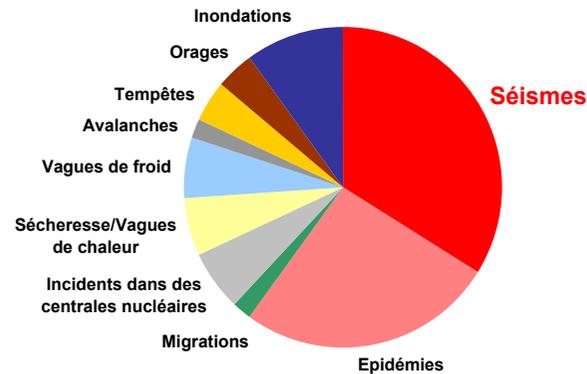
Classes de sol de fondation [3]	Facteur (pour 1 Hz)
A Roche	1.0
B Sable/gravier compacté ou cimenté	1.5
C Sable/gravier non cimenté et/ou moraine	1.7
D Sol meuble sans cohésion	2.6
E Couche alluviale superficielle	1.7

Classes d'ouvrages	Facteur
I Bâtiment «courant»	1.0
II Avec grands rassemblements de personnes	1.2
III Infrastructure ayant une fonction vitale	1.4

Les ouvrages doivent être conçus en fonction de l'aléa déterminant (zone d'aléa sismique, classe de sol de fondation) à l'endroit où ils se trouvent et de leur importance (classe d'ouvrage). Ils sont calculés, dimensionnés et conçus dans le détail par l'ingénieur civil.

Ce dont nous avons trop peu conscience

En Suisse, le risque sismique est le plus important des risques naturels!



Contribution des divers dangers naturels à l'ensemble des risques, en tenant compte de l'aversion à ces dangers, selon l'étude KATA-RISK [4]

Le risque est égal à la somme des dommages attendus durant une période de référence, p. ex. de 100 ans:

Risque = aléa sismique x vulnérabilité x valeur

L'aléa sismique décrit l'intensité et la probabilité d'occurrence d'un séisme.

La vulnérabilité d'un ouvrage dépend du type de construction et des mesures constructives mises en œuvre pour assurer sa protection parasismique.



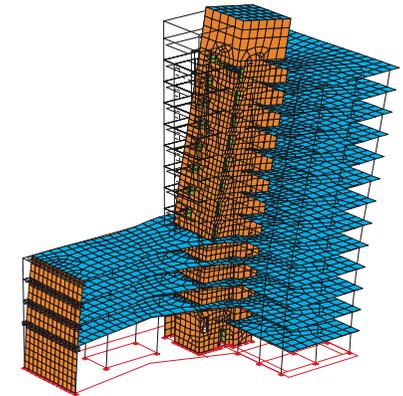
Bâtiment avec des étages flexibles (Izmit, Turquie, 1999, tiré de [5])

Qu'est-ce que le génie parasismique?

On entend par génie parasismique **la science et la mise en pratique de la construction parasismique.**

Il comprend les domaines principaux suivants:

- **Dynamique des structures** = théorie de l'oscillation des ouvrages et des structures porteuses.



Simulation par ordinateur des oscillations d'un bâtiment soumis à un séisme [8]

- **Comportement des matériaux** soumis à des mouvements de va-et-vient cycliques: comportement élastique et élasto-plastique des éléments de construction avec dissipation d'énergie.
- **Méthode de dimensionnement** pour divers modes de construction: détermination de la forme et des dimensions sur la base de la résistance et de la capacité de déformation sous l'effet de sollicitations cycliques.
- **Conception des détails constructifs** de la structure porteuse et des éléments non porteurs, tels que façades, cloisons intérieures et installations, visant à déterminer leur comportement physique sous l'effet d'un séisme et à s'assurer qu'ils soient réalisables sur le chantier.

Le génie parasismique est une branche très exigeante du génie civil. Il requiert une formation qualifiée de la part de l'ingénieur.

Check-list pour les architectes

- Attirez l'attention du maître de l'ouvrage sur le fait que le surcoût imputable à la construction parasismique est minimal et que la solution la plus simple et la plus efficace sera trouvée si l'ingénieur est impliqué dès que vous dessinez vos premières esquisses.
- Veillez à ce que la question des tremblements de terre soit traitée explicitement dans la convention d'utilisation selon la norme SIA 260 [1].
- Elaborez avec l'ingénieur – en appliquant les principes de la conception parasismique – la solution optimale aux plans technique, esthétique et de l'exploitation pour assurer la protection parasismique de la structure porteuse et des éléments non porteurs (façades, cloisons intérieures, installations, etc.).
- Expliquez au maître de l'ouvrage, avec l'ingénieur civil, les mesures constructives prévues pour assurer la protection parasismique de l'ouvrage.
- Fournissez au minimum, dans la demande de permis de construire, les données essentielles suivantes concernant la protection parasismique:
 - zone d'aléa sismique
 - classe de sol de fondation
 - classe d'ouvrage
 - structure porteuse et éléments porteurs en regard des séismes
 - ductilité choisie (coefficient de comportement q)
 - mesures constructives prévues pour les éléments non porteurs
- 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.
- En cas de modification des plans, en particulier pour pratiquer des évidements dans la structure porteuse (chauffage, ventilation, climatisation), veillez à ce que l'ingénieur civil soit toujours consulté.
- Au début du chantier, assurez-vous que la direction des travaux est au courant des mesures constructives de protection parasismique et vérifiez avec l'ingénieur que les contrôles requis sont bien effectués.
- Veillez à ce que les mesures constructives de protection parasismique soient documentées comme il convient dans le dossier de construction à archiver.

Check-list pour les maîtres d'ouvrages

- Stipulez que la conception parasismique et le respect des normes SIA pertinentes sont incluses dans les prestations de l'architecte et de l'ingénieur civil.
- Assurez-vous que la question des tremblements de terre est traitée explicitement dans la convention d'utilisation selon la norme SIA 260 [1].
- Veillez à ce que l'ingénieur civil soit impliqué dès que l'architecte dessine ses premières esquisses.
- Avant l'élaboration des plans définitifs, à joindre à la demande de permis de construire, faites-vous expliquer les mesures constructives prévues pour assurer la protection parasismique de l'ouvrage, lors d'une séance commune avec l'architecte et l'ingénieur.
- Assurez-vous que la demande de permis de construire contient les données essentielles concernant la protection parasismique (cf. check-list pour les architectes).
- Lors de l'élaboration des plans d'exécution, faites-vous expliquer en quoi la conception de la structure porteuse et des éléments non porteurs (façades, cloisons intérieures, installations, etc.) est parasismique, et suivez leur réalisation sur le chantier.



Bâtiment équipé d'un contreventement dissymétrique (Kobe, Japon, 1995) [5]

Principes importants pour concevoir des bâtiments parasismiques

La conception et le choix des détails constructifs de la structure porteuse et des éléments non porteurs (façades, cloisons intérieures, etc.) jouent un rôle déterminant dans la tenue des bâtiments (comportement avant la rupture) et leur vulnérabilité face aux séismes (sensibilité à l'endommagement).

Aussi poussés soient-ils, les calculs d'ingénieur et le dimensionnement ne sont pas à même de compenser a posteriori les erreurs ou les défauts de conception parasismique.

La conception parasismique permet d'obtenir une bonne protection contre les tremblements de terre moyennant un surcoût faible, voire nul.

Le document [5] comprend une présentation détaillée des principes suivants, assortie de nombreux exemples et illustrations.

Eviter les rez-de-chaussée flexibles!

La situation est par exemple dangereuse lorsque les contreventements équipant les étages supérieurs sont tous supprimés au rez-de-chaussée pour laisser place à des halls d'entrée, magasins ou parkings. Le rez-de-chaussée ne comprend donc que des colonnes porteuses. Il en résulte un niveau «mou», très flexible vis-à-vis des forces horizontales. Lorsque le sol va et vient sous l'effet d'un tremblement de terre, les colonnes ne peuvent pas absorber les oscillations et elles flambent.

Eviter les contreventements dissymétriques!

Les parois ou autres contreventements (p. ex. treillis) en position dissymétrique par rapport au centre du plan horizontal induisent une torsion de l'ouvrage. Les colonnes risquent de flamber dans les secteurs dépourvus de parois, ce qui provoque généralement l'effondrement de la structure porteuse.

Deux parois porteuses élancées en béton armé par direction principale!

Les parois porteuses en béton armé sont les mieux adaptées pour renforcer les constructions à ossature. Si les murs peuvent être relativement courts horizonta-

lement – par exemple de 3 à 6 m, soit 1/5 à 1/3 de la hauteur du bâtiment –, ils doivent être continus de bas en haut. En général, il suffit de disposer deux parois dans chacune des directions principales. Elles devraient être situées à la périphérie du bâtiment (façades).

Eviter les systèmes mixtes colonnes-maçonnerie porteuse!

Les systèmes mixtes ont un comportement très défavorable lors de tremblements de terre. Les forces sismiques sont essentiellement reprises par les parois en maçonnerie relativement rigides, alors qu'elles sont impropres à cela. Rapidement endommagées, elles cèderont aussi sous l'effet des charges verticales.

Eviter de remplir les cadres de maçonnerie!

Les cadres (p. ex. formés de dalles en béton armé et de colonnes) remplis de maçonnerie représentent une combinaison défavorable de deux types de construction très différents. Si les colonnes du cadre sont fortes, la maçonnerie est détruite et tombe hors du cadre. Quant aux colonnes minces, elles sont cisailées par la maçonnerie, ce qui provoque souvent leur effondrement.

Des parois porteuses en béton armé pour renforcer les bâtiments en maçonnerie!

En général, les bâtiments en maçonnerie «pure» ne peuvent pas remplir les critères de sécurité parasismique, même en zone Z1. Une mesure appropriée consiste à les renforcer – comme les constructions à ossature – en disposant deux parois porteuses élancées en béton armé dans chacune des directions principales.



Immeuble en maçonnerie, renforcé par des parois en béton armé [5]

Harmoniser la structure porteuse et les éléments non porteurs!

Pour éviter que des dommages surviennent déjà lors d'un tremblement de terre de faible intensité, il faut harmoniser la rigidité de la structure porteuse dans le plan horizontal et la déformabilité des cloisons intérieures et des éléments de façade non porteurs.

Appliquer une armature en acier ductile!

Pour permettre le développement de zones plastiques, déformables, suffisamment grandes dans les structures porteuses en béton armé, il faut appliquer des armatures en acier ductile (cf. B450C de la norme SIA 262).

Pas d'évidements ni ouvertures dans les zones plastiques!

Les zones plastiques, situées par exemple au pied de parois en béton armé équipant des constructions à ossature, doivent être très déformables. Pour y parvenir, il faut assurer une transmission continue des efforts et une répartition régulière de l'allongement. C'est pourquoi on ne doit y pratiquer aucun évidement ni ouverture pour des installations, gaines de climatisation, etc.

Ancrer les éléments de façade contre les forces horizontales!

Les éléments de façade ne doivent pas être simplement posés sur des consoles ou autres appuis et fixés légèrement. Ils seront ancrés solidement, sur tout leur pourtour, pour résister également aux forces horizontales.

Bien fixer les faux-plafonds et les luminaires!

La chute de faux-plafonds, luminaires, etc., représente un grave danger pour les personnes. Il faut donc prévoir des fixations aptes à résister non seulement à leur poids propre, mais également aux efforts additionnels horizontaux et verticaux et aux vibrations qui les accompagnent.

Retenir les installations et les équipements!

Dans les bâtiments devant rester opérationnels après un tremblement de terre (surtout de classe d'ouvrage III), les conduites, sprinklers, appareils de laboratoire, récipients, armoires, casiers, etc., ainsi qu'éventuellement les chaînes de fabrication, doivent être assurés solidement au moyen de fixations, renforcements, etc.

Bibliographie et références

- [1] «Bases pour l'élaboration des structures porteuses». Norme SIA 260, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2003.
- [2] «Actions sur les structures porteuses». Norme SIA 261, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 2003.
- [3] «Carte des sols de fondation» dans «Principe pour l'établissement et l'utilisation d'études de microzonage en Suisse». Directives de l'OFEG, Berne, 2004.
- [4] «KATARISK – Catastrophes et situations d'urgence en Suisse». Office fédéral de la protection de la population, Berne, 2003.
- [5] Bachmann, H.: «Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités». Directives de l'OFEG, Berne, 2002.
- [6] Weidmann, M.: «Tremblements de terre en Suisse». Editions Desertina, Coire, 2003.
- [7] Bachmann, H.: «Erdbebensicherung von Bauwerken». 2. Auflage, Birkhäuser Verlag Basel Boston Berlin, 2002.
- [8] Lüchinger P., Meyer D.: «Dynamische Berechnungen SIA-Haus». Zürich, 2005.

Contacts

- Centrale de coordination pour la mitigation des séismes, Office fédéral de l'environnement (OFEV). Toutes les directives de l'OFEV peuvent être téléchargées sous www.environnement-suisse/seismes
- 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/indx.jsp
- Service sismologique suisse (SED), Institut de géophysique, EPF Zurich, www.seismo.ethz.ch

Impressum

Conception et texte: Professeur Hugo Bachmann

Éditeur: 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).

Commande: OFEV, Documentation, CH-3003 Berne; Fax 031 324 02 16, docu@bafu.admin.ch, <http://www.environnement-suisse.ch/publications>

2^e tirage, Berne 2006. Numéros de commande: DIV-7523-F / DIV-7523-D

© OFEV 2006