



# Sécurité sismique des monuments historiques

Document de base du 22 juin 2018

Première version du 6 septembre 2001

## 1. Introduction

Depuis la publication en septembre 2001 du document de la CFMH « Sécurité sismique des monuments historiques », la recherche et la pratique en matière de construction parasismique ont fait de grands progrès, notamment en ce qui concerne la sécurité des ouvrages existants et la mise en œuvre des mesures de confortement parasismique.

Comme la Suisse ne compte pas parmi les principales zones sismiques, le danger y est souvent sous-estimé. La probabilité qu'une forte secousse se produise sur le territoire varie selon les régions, le Valais et Bâle étant des zones particulièrement à risque. Alors qu'aujourd'hui, les normes SIA assurent la sécurité parasismique de toute nouvelle construction, intervenir sur les bâtiments existants, et notamment les monuments historiques, pose fréquemment des difficultés. En effet, l'analyse de sécurité dépend en partie de facteurs difficilement mesurables (point 5) ; de plus, les mesures architecturales se doivent de préserver la substance et l'intégrité du bâtiment. Le présent document se penche sur cette problématique, et entend servir de référence aux services de conservation des monuments historiques, aux architectes et aux ingénieurs. Mais il s'adresse aussi aux propriétaires de bâtiments anciens, puisqu'ils sont responsables de leur sécurité parasismique.

Les normes sont faites pour les cas normaux et non pas pour les monuments historiques, bâtiments extraordinaires à de nombreux égards, et les contraintes qui leur sont liées. Il faut donc veiller, lorsqu'on met en balance les normes techniques et les aspects juridiques, à ce que les mesures de confortement parasismique prennent en compte l'aspect patrimonial du bâtiment ; celles-ci ne doivent pas porter atteinte à sa valeur historique. La planification préliminaire qui, avant même les réflexions techniques, consiste à examiner les aspects organisationnels, à établir des procédures fiables et à attribuer des mandats soigneusement élaborés, joue ici un rôle crucial. On veillera également aux principes de proportionnalité et de plausibilité et on prendra en compte,

outre la résistance sismique des structures porteuses, les propriétés de l'ensemble des mesures de confortement parasismique, par ex., la modification des dimensions ou la rigidité des matériaux. Mais on peut aussi réduire l'impact des interventions sur le monument en en limitant l'accès ou en ne le renforçant que partiellement. Bien entendu, la sécurité des personnes passe avant toute autre considération.

### **2. Contexte**

La référence en matière de sécurité parasismique des bâtiments existants est constituée par les normes SIA 269/8 « Maintenance des structures porteuses - séismes » (2017) et SIA 269 « Bases pour la maintenance des structures porteuses » (2011). Ces documents permettent de procéder à une vérification conforme à l'état actuel des connaissances. La norme SIA 269/8 aborde la question de la proportionnalité. Ce corpus de normes est complété par plusieurs publications de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et de la Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB).

Un groupe de travail interdisciplinaire réunissant l'OFEV, l'OFC, l'OFPP et divers experts a publié un guide abordant les contraintes posées par les monuments historiques dans ce domaine : « Erdbbensicherheit von Baudenkmälern – idealtypischer Prozess im Rahmen von Bauvorhaben. Interdisziplinärer Leitfaden für die Praxis » (projet du 23 février 2018). Ce guide traite des processus interdisciplinaires intervenant lors de la phase de planification des travaux, à savoir le contrôle et l'amélioration de la sécurité parasismique ; il définit, à l'aide d'exemples concrets, les bases et les conditions-cadres permettant de garantir la sécurité parasismique des monuments historiques.

L'attribution du mandat a une importance prépondérante. Le présent document propose donc une procédure différenciée garantissant un très haut niveau de qualité, et permettant de trouver la solution la mieux adaptée aux exigences de conservation.

L'ingénieur effectuant le contrôle ne doit pas se contenter d'appliquer les normes de manière dogmatique au travers de simples équations. Comme c'est le cas pour les autres disciplines, l'ingénieur civil doit s'appuyer sur une procédure par étapes telle que définie dans la norme SIA 269.

### **3. Attribution et réalisation du mandat**

La qualité de la vérification relative à la sécurité parasismique d'un monument est directement fonction des compétences engagées. L'objectif est de définir et de mettre en œuvre des mesures ne

nécessitant aucune intervention dans la substance bâtie, ou une intervention minimum. On demandera toujours explicitement de vérifier la proportionnalité des mesures de conservation, en général, et de leur pertinence en matière de sécurité, en particulier, au sens de la norme SIA 269 (points 3.4 et 5.4).

La CFMH recommande d'adopter la procédure suivante en matière de formulation et de réalisation des mandats de vérification relative à la sécurité parasismique des monuments :

En principe, l'appel d'offres et l'attribution du mandat sont structurés par étapes tel que défini dans la norme SIA 269.

1. examen général ;
2. examen détaillé ;
3. si nécessaire, examen détaillé avec le concours d'experts ;
4. si nécessaire, examens détaillés supplémentaires.

Les procédures d'analyse par variance se prêtent aussi au contrôle de qualité.

Chaque étape sera clairement définie et accompagnée d'une synthèse des résultats et de recommandations relatives à la suite des procédures ; le propriétaire du bâtiment et les services de conservation sont toujours associés au processus. L'étendue de la procédure est fonction de l'importance du bâtiment considéré. Lors de la formulation des mandats d'examen, il est donc conseillé d'échelonner les tâches (description des activités) et de faire réaliser les mandats par étapes. En principe, il faut au moins exécuter l'étape 2 « examen détaillé ».

Il est recommandé de faire appel à un collège d'experts pour les tâches requérant des compétences spécialisées ou ayant d'importantes répercussions. Par importantes répercussion, on entend des interventions invasives sur la substance bâtie et la modification de l'aspect du bâtiment. Il est souhaitable d'attribuer des mandats d'études à un panel de bureaux d'ingénieurs, ce qui permet d'évaluer les différentes options de poursuite de la procédure. Les connaissances spécifiques nécessaires à une tâche particulière peuvent aussi être réunies au cours d'un colloque inter- ou transdisciplinaire.

#### **4. Principes et stratégies**

Les monuments historiques sont l'exception et nécessitent donc un traitement spécifique. L'examen de la sécurité parasismique d'un monument n'est pas qu'une question de normes, nécessairement simplifiées, mais bien plutôt de connaissances approfondies des bases qui régissent ces normes.

Faire un relevé suffisamment précis et détaillé, au moins pour certaines parties du bâtiment, est la condition sine qua non de toute évaluation. Ce relevé permet souvent d'identifier les propriétés des éléments architecturaux masqués. La plupart du temps en effet, certaines parties des structures porteuses sont dissimulées et il n'est pas possible de mesurer leurs propriétés sans atteinte au bâtiment. On dispose dans ce cas d'une marge de manœuvre, qui doit être précisée et circonscrite par des analyses de sensibilité.

Il est judicieux de faire la distinction entre actions et résistance lorsqu'on évalue le degré actuel de sécurité parasismique et les éventuelles mesures de renforcement. Le rapport entre la résistance et les actions détermine le facteur de conformité.

En principe, l'évaluation de la sécurité parasismique repose à la fois sur une analyse quantitative et empirique. Il convient d'effectuer une analyse empirique au sens de la norme SIA 269 (art. 6.3.3) notamment lorsque la vérification quantitative de la sécurité structurale ne peut être apportée. Il peut alors être judicieux de procéder à une comparaison avec les mécanismes de détérioration affectant des types de bâtiments similaires dans des zones sismiques plus actives.

La procédure idéale d'évaluation de la sécurité parasismique consiste à comparer les déplacements auxquels le bâtiment est soumis pendant un séisme (l'effet des actions) et la capacité de déformation de ce même bâtiment (la « résistance » ou flexibilité potentielle).

S'il faut écarter toute mise en danger des personnes, on peut tolérer certains dommages sur les monuments historiques et les biens culturels, pour autant qu'ils permettent de renoncer à des mesures invasives de confortement parasismique. En effet, des confortements parasismiques partiels et une restriction d'utilisation permettent de limiter des interventions.

### **5. Renforcement et options d'analyse**

Les principaux facteurs déterminants des actions sismiques sont les suivants :

- la zone sismique ;
- le terrain (déjà partiellement recensé en Suisse grâce au microzonage des classes de sol) ;
- le spectre de réponse à la vibration (dans certains cas il peut être judicieux d'élaborer un spectre spécifique à un lieu donné. Si ce dernier se trouve à la limite de deux zones, on peut aussi se baser sur les valeurs interpolées de ces zones.) ;

- les fréquences propres (év. mesure expérimentale de la durée de vibration) ;
- la catégorie de bâtiment et, partant, le danger auquel les personnes sont exposées.

Mesures atténuant les effets d'une secousse sismique :

- modifier les dimensions du bâtiment (par ex., enlever des éléments lourds ajoutés ultérieurement, comme des chapes) ;
- fermeture ou ouverture des joints de dilatation pour obtenir une oscillation du bâtiment entier (ou d'une partie de celui-ci) lors d'un séisme;
- installer une isolation vibratoire (avec des appuis spéciaux ou un amortisseur de vibration pour les bâtiments élevés) ;
- renforcer l'amortissement des vibrations.

Les principaux facteurs d'influence de la résistance structurale sont :

- la plasticité des matériaux de construction et du bâtiment dans son ensemble ;
- la résistance des matériaux et des éléments structuraux ;
- la capacité de déformation (ductilité) des matériaux et des éléments structuraux ;
- le développement d'une éventuelle fissuration et le comportement des composants en résultant.

Mesures pour améliorer la résistance structurelle :

- modifier les propriétés des matériaux de construction et des éléments structuraux ;
- précontraindre les éléments de construction ou l'ensemble de la structure porteuse ;
- fixer de nouveaux éléments stabilisateurs ;
- remplacer des éléments de construction existants.

### **6. Types de construction**

Voici quelques propriétés caractéristiques des bâtiments en maçonneries de pierres naturelles et des bâtiments en béton ou bois auxquelles il faut prêter attention.

Les maçonneries de nombreux bâtiments faisant l'objet d'une vérification de la sécurité parasismique sont composées majoritairement de pierres naturelles. Lors de la modélisation d'un tel bâtiment, il faut établir s'il s'agit d'une structure porteuse continue et cohésive, ou d'un ensemble de plusieurs éléments désunis. En principe, on procède à un examen non destructif pour déterminer si les parois internes sont solidaires des façades ou la manière dont les plafonds en bois et leurs supports sont fixés aux parois.

Les murs en pierres naturelles sont souvent des maçonneries à double parement dont l'intérieur est rempli de matériau de moindre valeur. La paroi externe pourrait se désolidariser : le mur «éclate». Il est là aussi difficile de se prononcer sans sondage destructif. L'examen rigoureux du type et de l'état de la maçonnerie livre toujours des informations sur sa qualité interne : par exemple, on peut inspecter les joints visibles entre les pierres et leur état, ainsi que les éventuelles fissures. En fonction de la solidité des pierres et de leur agencement, des forces de traction dans le plan du mur peuvent être reportées par friction dans les joints d'assise. Il faut également relever les zones bombées sur la surface du mur ; en effet, elles indiquent un affaiblissement interne. La cohésion du mortier sera aussi évaluée.

Les données indicatives relatives à la mesure de l'élasticité d'un mur varient fortement. Il est conseillé de procéder à une comparaison avec des bâtiments similaires dont les propriétés sont connues.

La transmission des efforts au sein d'un mur en pierres naturelles est souvent complexe. Il faut donc vérifier s'il existe une possibilité de transmission d'efforts fortement excentriques (par ex., sous des dalles en béton s'incurvant), car ces dernières favorisent la dissociation des parois (dans ou sous le plan).

En plus des mesures mentionnées plus haut, les constructions en maçonnerie peuvent être renforcées comme suit :

- Confiner la paroi (perpendiculairement à son plan) avec des tirants fins relativement denses. Pour la transmission des efforts, on peut utiliser des attaches visibles avec écrous et plaques d'ancrage, des installations masquées ou un montage sans plaques d'ancrage.
- Resserrer les façades au niveau de la toiture avec des tirants. On évite ainsi que les façades basculent lors d'un séisme. Les bâtiments ou ponts anciens contiennent déjà souvent ce type de tirants.
- Par comparaison, les précontraintes verticales (par ex., dans les cheminées ou gaines) n'entraînent que de petites interventions.

Les bâtiments en béton de l'époque moderne et de l'après-guerre peuvent souvent être renforcés par un clavage solidaire des joints de dilatation. Les processus de retrait et de fluage à l'œuvre dans le béton sont inactifs depuis longtemps, de sorte que ces joints sont aujourd'hui inutiles. Ce type de structures porteuses sont souvent des ossatures renforcées par des noyaux ou des dalles. Si la résistance des parties renforcées est insuffisante, une

armature additionnelle sous forme de lamelles en acier ou en matériau composite de fibre permet de remédier au problème. Là aussi, une précontrainte verticale est en général moins invasive.

Souvent, les éléments de façade flottants ne sont pas fixés de manière à résister à un séisme. Or, remplacer les fixations est un travail de titan. Une alternative serait d'installer des dispositifs de retenue supplémentaires et/ou de relier les éléments entre eux avec une fixation concentrée.

En général, les bâtiments en bois peuvent être renforcés de multiples manières. Il est conseillé de procéder systématiquement, en commençant par recenser et évaluer l'ensemble des mesures potentielles.

Berne, 22 juin 2018

**Commission fédérale des monuments historiques**

Le Président  
Prof Dr Nott Caviezel

La Secrétaire  
Irène Bruneau

---

Commission fédérale des monuments historiques CFMH c/o OFC  
Hallwylstrasse 15, 3003 Berne  
+41 58 46 29284, [ekd@bak.admin.ch](mailto:ekd@bak.admin.ch)

## **Bibliographie et informations complémentaires**

Hugo Bachmann, Friederike Braune et Blaise Duvernay, *Notre bâtiment est-il suffisamment résistant aux séismes ? Vérifier et améliorer la sécurité parasismique : quand et pourquoi ?* dépliant, Office fédéral de l'environnement (OFEV) et Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB), 2013.

Hugo Bachmann, Blaise Duvernay, *Construire parasismique en Suisse*, dépliant, Office fédéral de l'environnement (OFEV) et Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB), 2013.

Hugo Bachmann, *Sécurité parasismique des bâtiments - Questions juridiques et responsabilités*. Dépliant, Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique, Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB), Institut pour le droit suisse et international de la construction, Université de Fribourg, 2010.

Office fédéral de l'environnement (OFEV), *Directives relatives à l'inventaire de la sécurité parasismique des ouvrages de la Confédération*, [www.bafu.admin.ch/seismes](http://www.bafu.admin.ch/seismes)

*Principes pour la conservation du patrimoine culturel bâti en Suisse*, éd. par la Commission fédérale des monuments historiques, Zurich 2007, [<http://vdf.ch/leitsatze-zur-denkmalspflege-in-der-schweiz-1597068686.html>].

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes : Cahier technique SIA 2018 : *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants*, Zurich 2004

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes : Documentation SIA D 0211 *Introduction au cahier technique SIA 2018: Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants*, Zurich 2005

Thomas Wenk, Confortement parasismique de constructions. Stratégie et recueil d'exemples en Suisse, in: *Connaissance de l'environnement*, n° 0832, Office fédéral de l'environnement, Berne 2008.