

Notre bâtiment est-il suffisamment résistant aux séismes?

Examiner et améliorer la sécurité sismique: quand et pourquoi



Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen
Fondation pour la Dynamique des Structures et le Génie Parasismique
Fondazione per la Dinamica Strutturale e l'Ingegneria Sismica



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Bibliographie

- 1 Normes SIA 260-267 sur les structures porteuses, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.
- 2 Maintenance des structures porteuses – Séismes. Norme SIA 269/8, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich 20017, remplace³.
- 3 Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants. Cahier technique SIA 2018, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich 2004.
- 4 Wenk T., Confortement parasismique de constructions. Stratégie et recueil d'ouvrages en Suisse. Connaissance de l'environnement n° 0832, OFEV, Berne, 2008.
- 5 Risque sismique pour les grands parcs immobiliers – Méthode de priorisation par étapes pour l'identification de bâtiments critiques, Connaissance de l'environnement n° 2014-F, OFEV, Berne, 2020.
- 6 Bachmann H., Duvernay B., Construire parasismique en Suisse. OFEV et Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique, dépliant n° UD-1064-F, Berne, 20121.
- 7 Bachmann H., Sécurité sismique 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 de l'Université de Fribourg, 2021.

Pour en savoir plus

- Office fédéral de l'environnement (OFEV) : www.bafu.admin.ch/seismes
- Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique : www.baudyn.ch
- Société suisse du génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB) : www.sgeb.ch

Editeurs

Office fédéral de l'environnement (OFEV) et Fondation pour la dynamique des structures et le génie parasismique

Conception et texte

Prof. Hugo Bachmann, Friederike Braune et Blaise Duvernay (OFEV)
Par souci de lisibilité, la forme masculine est utilisée dans le texte pour désigner aussi bien les hommes que les femmes.

Page de couverture

Amélioration de la sécurité sismique au Collège de l'Europe à Monthey (VS), exemple d'une collaboration réussie entre architecte et ingénieur civil avec la réalisation de contrevente-

ments spectaculaires en acier.

Photo: Philomène Hoël et Eik Frenzel

Téléchargement de la version pdf et commande d'exemplaires imprimés
www.bafu.admin.ch/ui-1065-f

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
N° de commande : 810.400.076F

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé.

Cette publication est également disponible en allemand et en italien.

© OFEV 2021, 2^{ème} édition

Dommages aux bâtiments dus aux séismes

De forts séismes à même d'endommager les bâtiments sont possibles en Suisse. Les bâtiments non conçus pour résister aux secousses sismiques sont menacés, quelle que soit la région.

- La Suisse connaît un aléa sismique modéré. Elle n'est donc pas à l'abri de forts séismes, à l'exemple de ceux de Sierre (1946), Brigue (1855), Obwald (1601) ou Bâle (1356), mais est cependant moins exposée que les régions très sismiques comme l'Italie.
- Toutes les régions de Suisse peuvent être touchées par un séisme. Les plus menacées sont le Valais, la région bâloise et le versant nord des Alpes. C'est là que les séismes sont les plus fréquents.
- Les bâtiments non conçus pour résister aux secousses risquent de s'effondrer ou de subir d'importants dommages, déjà à partir de séismes d'une intensité assez faible.
- Bien des bâtiments existants ne sont pas suffisamment résistants aux séismes en regard des exigences imposées aux nouveaux ouvrages'. Les raisons sont l'inexistence ou la non-application de normes parasismiques au moment de la construction.
- L'existence d'une irrégularité en élévation («étage faible») est un exemple d'indice de sécurité sismique insuffisante.

«Etage faible»: les parois de contreventement sont interrompues au rez-de-chaussée. Ce défaut est fréquent en Suisse.



Photo: P. Lesluzzi

Quand examiner?

Au moment de la planification d'une transformation ou d'un assainissement, il vaut la peine d'examiner le niveau de sécurité sismique d'un bâtiment par un examen général.

Projet de construction

Avant de réaliser des travaux, le propriétaire devrait demander à un ingénieur civil d'évaluer la pertinence d'examiner la sécurité sismique de son bâtiment. Les facteurs déterminants sont la nature et l'ampleur de l'intervention envisagée, le montant de l'investissement prévu, la valeur du bâtiment et sa durée d'utilisation restante.

Soupçon d'une faible sécurité sismique

La sécurité sismique devrait être examinée à chaque fois qu'il y a de bonnes raisons de croire qu'elle est faible (défauts graves manifestes).

Bâtiments importants

La sécurité sismique des bâtiments dont la fonction revêt une grande importance ou qui présentent un gros potentiel de dommages devrait être examinée systématiquement, même en l'absence de projet de travaux. Cela permet de planifier les mesures éventuellement nécessaires en fonction du risque.

Maisons individuelles ou mitoyennes

Il est généralement disproportionné d'examiner la sécurité sismique des bâtiments d'habitation de construction traditionnelle (indépendantes, jusqu'à deux étages) et n'ayant pas de défauts graves manifestes.

Priorisation au sein d'un portfolio immobilier

Les grands parcs immobiliers nécessitent de fixer des priorités en terme de planification de l'examen des différents objets dans le temps. Une approche possible est la procédure par étapes de la Confédération afin d'identifier les bâtiments critiques au sein de son parc immobilier⁵.

Comment examiner?

L'examen de la sécurité sismique est réalisé par un ingénieur civil spécialisé et se déroule en plusieurs étapes (SIA 269/8, chiffre 2.1).

Procédure

- Evaluation de l'état: acquisition d'informations de base, relevés sur l'ouvrage, détermination de la classe d'ouvrage et de la propriété des matériaux.
- Etude de la conception et des dispositions constructives de l'ouvrage.
- Etude par le calcul : action sismique, analyse structurale, éléments non-structuraux dangereux, facteur de conformité.
- Evaluation de la sécurité sismique du bâtiment en l'état sur la base du facteur de conformité et des caractéristiques de conception et de construction.
- Recommandation d'intervention: si l'état actuel est insuffisant, des recommandations de mesures d'amélioration sont à élaborer pour la prise de décision du propriétaire.

Ampleur

Le degré d'approfondissement de l'examen dépend fortement de la qualité des informations disponibles concernant le bâtiment et des résultats de l'examen général. Si les informations de base sont manquantes ou insuffisantes, des investigations sur l'ouvrage sont nécessaires. Sur le principe, un examen général qui ne permet pas de vérifier que les exigences en matière de sécurité sismique sont remplies est suivi d'un examen détaillé. Si l'examen détaillé confirme une sécurité sismique insuffisante, des réflexions sur des solutions possibles et d'éventuels concepts de mesures doivent être menées. Dans ce cas, les mesures proposées doivent se focaliser sur l'élimination des défauts constatés sur l'ouvrage.

Coûts

Les coûts d'un examen de la sécurité sismique varient fortement en fonction de la complexité du bâtiment et du travail nécessaire pour élaborer des mesures judicieuses. Les coûts de l'examen sont en général plus bas si l'ingénieur mandaté est un spécialiste du génie parasismique.

Que faire ensuite?

Les exigences minimales que les bâtiments existants doivent remplir et les critères coût utilité pour des mesures d'intervention proportionnées sont définis dans la norme SIA 269/8². La norme SIA 269/8 remplace depuis 2017 le cahier technique SIA 2018³ de 2004.*

- Pour les nouveaux bâtiments, les objectifs de protection de la norme SIA 261 sont la protection des personnes, la limitation des dommages et la préservation de la fonction des ouvrages importants. Un effondrement doit être exclu.
- Le facteur de conformité α_{eff} décrit numériquement dans quelle mesure la structure porteuse actuelle remplit les exigences de sécurité sismique imposés aux nouvelles constructions. S'il vaut 1,0 ou plus, les exigences pour les nouvelles constructions sont entièrement remplies. S'il est inférieur à 1,0, elles ne le sont que partiellement.
- Exigences minimales: pour les bâtiments existants le facteur de conformité doit être d'au moins 0,25 (0,40 pour les bâtiments des classes d'ouvrages II-s, II-i et III).
- Mesures supplémentaires: si les exigences minimales sont remplies, des mesures supplémentaires doivent être réalisées si elles sont proportionnées (appréciation du rapport coût utilité).
- Le coût des mesures d'intervention nécessaires dépend du cas considéré et varie beaucoup selon la gravité et l'ampleur des défauts. Il est notablement influencé par les synergies possibles avec d'autres travaux planifiés.

* Les principes du cahier technique SIA 2018 ont été repris dans la norme SIA 269/8.

Exemple 1 – Lycée Neufeld de Berne

Intervention localisée

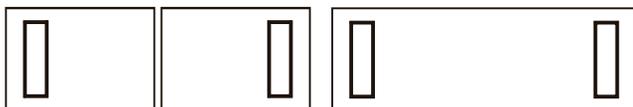
Ce bâtiment construit en 1965 comprend un sous-sol, un rez-de-chaussée et quatre étages. Sa structure porteuse se compose de colonnes en béton armé et de deux cages d'ascenseur en béton armé⁴. Il était initialement subdivisé en deux moitiés par un joint de séparation continu sur toute sa hauteur. Chaque moitié était contreventée par une cage d'ascenseur excentrée. Du fait de cette forte excentricité, l'ouvrage menaçait de s'effondrer au niveau du joint de séparation, déjà sous l'effet de faibles sollicitations sismiques.

Le joint de séparation des dalles d'étage a été fermé. Il en a résulté un ensemble contreventé symétriquement qui résiste beaucoup mieux aux sollicitations sismiques. Le lycée remplit ainsi à 50% les exigences actuelles pour les nouveaux bâtiments. Le coût à consentir pour encore améliorer sa tenue au séisme aurait été disproportionné. Le confortement parasismique du bâtiment a été réalisé dans le cadre d'un assainissement général mis en œuvre après quarante ans d'utilisation. Les coûts liés à l'aspect parasismique ont été de 0,3 million de francs, soit **0,7% de la valeur du bâtiment**.

Vue de la façade longitudinale (en bas) et vues en plan de l'état initial avec les deux moitiés de bâtiment (en haut à gauche) et de l'état amélioré avec le bâtiment contreventé symétriquement (en haut à droite).

avant

après



Joint de séparation



Photo: Wikipedia, R. Frey

Exemple 2 – Bâtiments résidentiels à Fribourg

Renforcement général

Ce complexe de trois immeubles résidentiels, construit dans les années 70, comportait un rez-de-chaussée ouvert, avec des colonnes mais sans contreventements, surmonté de sept étages avec des parois porteuses en maçonnerie⁴. Pour améliorer la tenue aux séismes, quatre parois élancées en béton armé ont été fondées dans le terrain, dressées contre les façades et ancrées dans les dalles. Ainsi, les locataires ont pu rester dans leurs appartements pendant les travaux. L'intervention a permis de remplir à 50% les exigences actuelles pour les nouveaux bâtiments. Réalisée lors d'un assainissement général, elle a coûté 1,7 million de francs, soit **7,4% de la valeur des bâtiments**.

Complexe résidentiel à Fribourg, renforcé par l'ajout de quatre parois élancées en béton armé dressées contre les façades.



Photo: E. Latetlin

Exemple 3 – Caserne des pompiers à Bâle

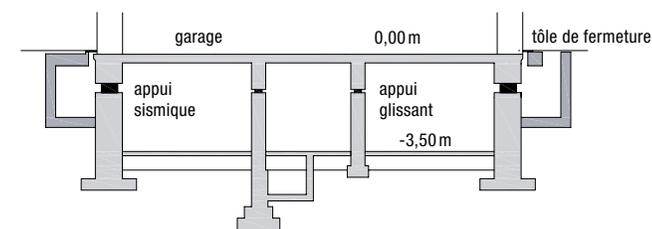
Solution spéciale

Le bâtiment principal des pompiers de Bâle-Ville, le Lützelhof, est une construction en béton armé datant de la Deuxième Guerre mondiale⁴. Le rez-de-chaussée est occupé par un garage, dont les portes sont séparées par des colonnes élancées qui s'effondreraient déjà sous l'effet d'un séisme modéré. Ce bâtiment a été amélioré en pratiquant une isolation sismique. Les étages ont été séparés du sous-sol par une coupe horizontale sous la dalle du rez-de-chaussée et posés sur des appuis sismiques. Un espace libre d'une vingtaine de centimètres a été créé tout autour du bâtiment pour qu'il puisse se déplacer librement dans le plan horizontal. Cette solution a limité au maximum l'interruption de l'exploitation pendant l'intervention. Elle permet de remplir à 100% les exigences actuelles pour les nouveaux bâtiments et de garantir la fonction après un fort séisme. L'amélioration de la sécurité sismique, réalisée à la suite d'une analyse des risques pour les principaux bâtiments du canton, a coûté trois millions de francs, soit **23% de la valeur du bâtiment**.

Vue de la façade longitudinale (en haut) et coupe à travers le sous-sol, avec les nouveaux appuis sismiques (en bas).



Photo: A. Zächmann, Bâle



Rectification de quelques idées reçues

En cas de projet de transformation ou de remise en état d'un bâtiment, on peut appliquer l'étape 1 de l'ancienne procédure d'inventaire des ouvrages de la Confédération pour évaluer si le bâtiment est sujet à un risque sismique et s'il doit être examiné.

Rectification:

l'application de l'ancienne étape 1 pour un bâtiment unique ne donne pas une appréciation de sa sécurité sismique et est méthodologiquement incorrecte. La procédure d'inventaire en trois étapes de la sécurité sismique des ouvrages de la Confédération a été développée pour prioriser les objets critiques du parc immobilier fédéral avec un coût raisonnable. Les bâtiments fédéraux non retenus dans l'étape 1 n'ont pas forcément une sécurité sismique suffisante, ils sont seulement moins critiques que d'autres du point de vue de leur potentiel de risque. Leur examen se fera systématiquement dans le cadre de projets de construction futurs.

Il incombe à l'ingénieur civil d'aborder la question de la sécurité sismique d'un bâtiment existant. Si aucun ingénieur civil n'est impliqué, la question de la sécurité sismique peut être laissée de côté.

Rectification:

Le propriétaire est responsable de la sécurité sismique du bâtiment (responsabilité du propriétaire d'ouvrage). Il est responsable des dommages corporels et matériels causés par un tremblement de terre. Il est donc responsable de faire examiner son bâtiment. Au plus tard dans le cas d'un projet de construction important, le propriétaire doit obtenir des informations sur la sécurité sismique. À cette fin, il peut engager des spécialistes qui lui doivent un conseil, une élaboration et une exécution soignée (devoir de diligence). Dans le cadre d'un projet de construction, l'architecte, en tant que représentant du maître d'ouvrage et de chef de projet, est chargé d'inclure la sécurité sismique dans la planification du projet et donc de clarifier la question de la nécessité ou de l'opportunité d'un examen de la sécurité sismique.

Tout ingénieur civil peut être mandaté pour vérifier la sécurité sismique d'un bâtiment existant et pour concevoir les mesures nécessaires.

Rectification:

le génie parasismique est une spécialité exigeante du génie civil. L'analyse de l'état d'un bâtiment, le calcul de la sécurité sismique et l'élaboration de mesures adéquates demandent de l'expérience et une connaissance approfondie du comportement d'une construction soumise à un séisme.

Bâtiment d'habitation de 1960 à Kriessern: la sécurité sismique a été examinée par un ingénieur spécialisé dans le cadre de la planification de travaux d'assainissement. La sécurité sismique a été jugée suffisante.



La présente synthèse s'adresse avant tout aux propriétaires de bâtiments, aux adjudicateurs de projets de construction et aux architectes.

Dans le cas d'un projet de construction sans intervention sur la structure porteuse, un examen peut être effectué peu avant la réalisation pour clarifier si des mesures de sécurité sismiques sont nécessaires. Si c'est le cas, l'ingénieur civil peut planifier et réaliser ces interventions indépendamment des autres travaux.

Rectification:

L'examen doit être effectué à l'avance en tant qu'étude préliminaire ou être lancé dans les premières phases d'un projet de construction plus important. De cette façon, les défauts éventuels peuvent être signalés au client à un stade précoce et les synergies avec les travaux prévus peuvent être utilisées. Cela permet de mettre en œuvre les mesures nécessaires dans le cadre du projet de construction de manière plus économique et donc plus proportionnée.

L'amélioration de la sécurité sismique d'un bâtiment implique toujours une intervention massive et très coûteuse.

Rectification:

le coût est largement influencé par les contraintes d'intégration des mesures à réaliser. Les objets renforcés à faible coût se caractérisent par une intervention très localisée, comme la fermeture d'un joint ou le renforcement d'un seul étage. Le coût augmente lorsqu'il s'agit d'ajouter des contreventements sur toute la hauteur du bâtiment et surtout s'il faut en plus renforcer les fondations. Il est important que l'architecte et l'ingénieur civil collaborent tôt dans le projet, ce qui permet, si nécessaire, d'élaborer conjointement des mesures aussi économiques que possible. Une vérification à un stade avancé du projet peut entraîner des modifications coûteuses de celui-ci. La décision de réalisation de mesures d'amélioration de la sécurité sismique au-delà des exigences minimales se fonde sur la proportionnalité de ces mesures. Pour ce faire le coût des mesures est mis en regard de la réduction du risque visée.