

Évaluation et protection parasismiques des bâtiments

par D.E. Allen

Cet article indique les principaux facteurs qui déterminent l'ampleur des dommages subis par les bâtiments et celle des pertes de vies humaines, lors des tremblements de terre. Il renferme aussi des lignes directrices permettant d'évaluer et d'améliorer les bâtiments afin qu'ils résistent mieux aux séismes.

Les exigences de la partie 4 du Code national du bâtiment du Canada (CNB) relatives à la conception de bâtiments résistant aux tremblements de terre visent principalement les ouvrages à construire et sont difficiles à appliquer aux bâtiments en place. Cependant, il y a beaucoup de bâtiments anciens dont les systèmes structuraux, les composants ou les matériaux ne sont pas couverts par le CNB. Les efforts en vue d'utiliser les exigences de la

partie 4 pour rendre ces bâtiments résistants aux séismes ont souvent donné lieu à des interventions invasives, peu pratiques et coûteuses.

Plusieurs tremblements de terre importants survenus en Amérique du Nord depuis une dizaine d'années ont fait ressortir ces difficultés et le manque d'information dont disposent les consultants pour évaluer et réhabiliter les bâtiments. Afin de combler ce manque, l'Institut de recherche en construction a

décidé d'élaborer et de publier, en collaboration avec des organisations de différentes régions du Canada, trois ouvrages renfermant des lignes directrices à ce sujet. Deux de ces documents sont mentionnés dans les références du Commentaire K du *Guide de l'utilisateur - CNB 1995 Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4)*, qui indique comment appliquer les exigences de la partie 4 aux bâtiments en place¹. Cet article décrit l'objet des trois documents de l'IRC et d'une directive de l'Association canadienne de normalisation (CSA) qui est en cours d'élaboration.

Les séismes et les bâtiments

Les séismes sont causés par le coulissage soudain de deux zones de la croûte terrestre, accompagné d'une action broyante, qui provoque des mouvements se propageant dans le sol environnant. Ces mouvements du sol,

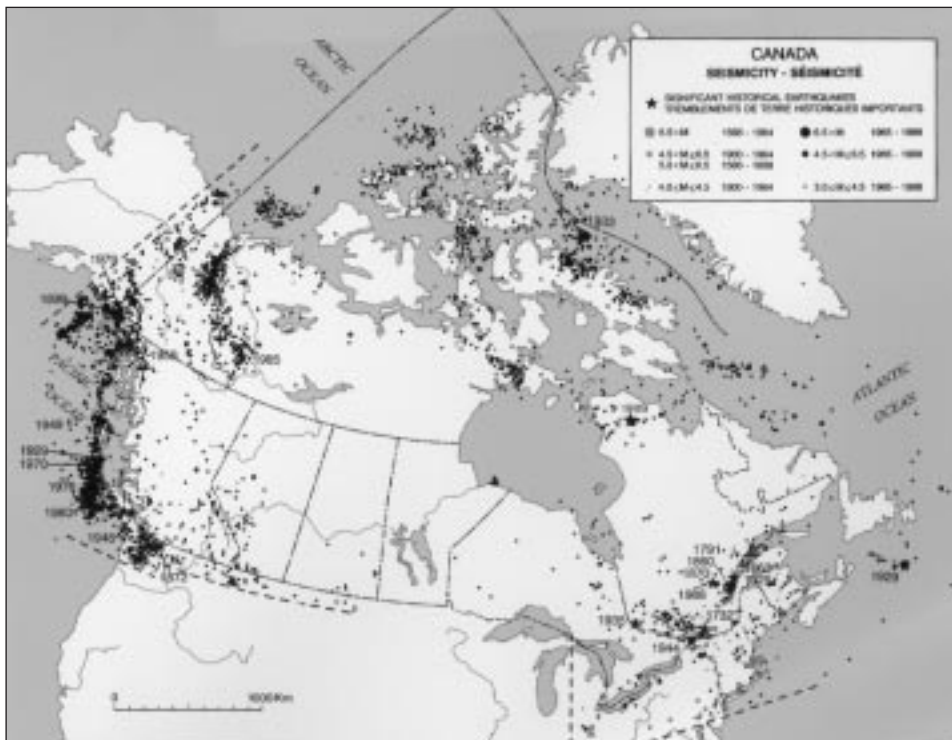


Figure 1. Historique des tremblements de terre au Canada

qui se produisent dans toutes les directions, font trembler les bâtiments et peuvent en faire tomber des composants ou en provoquer l'effondrement, ce qui constitue une menace pour les personnes. Les bâtiments peuvent aussi être endommagés au point de devenir inutilisables ou trop coûteux à réparer.

Principaux facteurs qui déterminent l'ampleur des dommages subis par les bâtiments

Le fait qu'un immeuble survit ou non à un tremblement de terre dépend d'abord et avant tout de sa tenue aux mouvements du sol qui sont produits par le séisme. Voici les principaux facteurs responsables du comportement d'un bâtiment.

La sismicité. Ce terme désigne les mouvements sismiques du sol prévus, qui sont déterminés par la magnitude des tremblements de terre et par leur taux de survenance dans les différentes régions du Canada (voir figure 1). Pour chaque endroit, le CNB indique une ampleur de mouvement du sol qui a 10 % de chances de se produire une fois en 50 ans; c'est à des secousses de cette ampleur, classées selon des zones sismiques allant de 0 (faible magnitude) à 6 (forte magnitude), qu'un bâtiment devrait résister.

L'intégrité. Ce terme désigne le degré d'interconnection des constituants d'un immeuble – ce qui l'empêche d'être démolé lors d'un tremblement de terre. Les éléments dont dépend l'intégrité d'un bâtiment ne sont pas seulement ceux qui constituent la structure (p. ex. les poutres, les poteaux, les murs ou les fondations), mais aussi ceux qui sont supportés par elle (p. ex. les cloisons et l'équipement lourds). Dans le cas d'un immeuble reposant sur un sol ferme, dans une zone de faible sismicité, le manque d'intégrité pourrait être sa seule faiblesse face aux séismes, c.-à-d. le seul facteur qui pourrait être responsable de son endommagement ou de son effondrement.

La résistance latérale et la ductilité. Les secousses horizontales produisent des forces de même direction dans tout le bâtiment; celles-ci se transmettent à la structure verticale par les planchers et pénètrent ensuite dans le sol. Une condition critique pour empêcher la dislocation d'un immeuble est la capacité de la structure verticale à s'opposer aux forces horizontales appliquées à chaque étage (c.-à-d. sa résistance latérale).

Autre facteur aussi important dans les zones de sismicité moyenne à élevée, où de très grandes forces sismiques peuvent s'exercer : la capacité de la structure verticale à céder sous l'effet de ces forces (ductilité) sans se disloquer, ainsi qu'à reporter sur d'autres

éléments les forces qui contribuent à en surcharger certains (hyperstaticité). Certains éléments du bâtiment, par exemple les cloisons en brique plâtrière servant de remplissage dans les bâtiments à ossature, ne sont pas ductiles; ils peuvent se disloquer soudainement et de manière explosive en libérant de l'énergie, ce qui favorise l'effondrement des bâtiments.

La rigidité latérale. Les forces latérales produites par un séisme déforment la structure verticale reliant les étages, ce qui peut endommager les éléments du bâtiment fixés à la charpente (p. ex. les cloisons et les branchements) et rendre l'immeuble inutilisable. La rigidité latérale de la structure verticale réduisant la déformation, elle joue un rôle critique en empêchant la dislocation des éléments fixés à l'ossature. Cela oblige souvent à recourir aux murs de contreventement, qui résistent mieux aux forces latérales que les poteaux, parce qu'ils sont beaucoup plus rigides.

Les irrégularités du bâtiment. Un bâtiment sans irrégularités est un bâtiment dont la structure verticale est symétrique en plan aux poteaux ou murs continus, de haut en bas, de sorte que les forces sismiques sont transmises directement au sol. La figure 2 fait voir certaines des irrégularités qui peuvent favoriser l'endommagement ou l'effondrement d'un immeuble.

La nature du sol formant l'assise. Les bâtiments reposant sur le roc se tirent habituellement beaucoup mieux des tremblements de terre que les immeubles fondés sur un sol mou ou instable. Un terrain mou secoué par le roc se trouvant au-dessous vibre comme un bol de gelée, amplifiant le mouvement sismique qui se produit dans le roc et soumettant le bâtiment à de grandes déformations et forces. Ainsi, lors du tremblement de terre du Saguenay, en 1988, la déformation des ossatures de bâtiments a provoqué la rupture et l'effondrement des parois en blocs de béton.

Le sol mou peut aussi être instable, et il peut se liquéfier (comme les sables mouvants) ou glisser lors d'un séisme, causant de grandes déformations du sol et endommageant sérieusement les bâtiments.

L'évaluation et la protection parasismiques des bâtiments

Les lignes directrices ci-dessous aideront les consultants en construction et les gérants d'immeubles à atténuer à moindres frais et sans trop de perturbation des activités la réponse des bâtiments aux séismes.

Sélection des bâtiments en vue de leur évaluation sismique

Le document de l'IRC *Manuel de sélection des bâtiments en vue de leur évaluation sismique*² est un outil qui permet aux gestionnaires immobiliers 1) de déterminer les bâtiments qui ont besoin d'une évaluation technique et 2) de les classer en fonction de l'importance des interventions nécessaires. La méthode est basée sur une inspection rapide (environ une heure) de chaque immeuble ou de ses plans. L'inspecteur se sert d'un formulaire afin d'obtenir une « note » pour chaque bâtiment en fonction des facteurs de risque sismique suivants :

- la sismicité
- les conditions du sol
- le type et l'âge de l'immeuble (qui influent sur l'intégrité, la résistance et la ductilité)
- les irrégularités du bâtiment
- l'utilisation (p. ex. un hôpital ou un immeuble à bureaux)

- la présence d'éléments non structuraux lourds ou dangereux, qui peuvent tomber, ou de branchements et équipements, qui peuvent cesser de fonctionner.

Le manuel présente :

- des conseils sur la façon d'organiser et d'effectuer la sélection sismique;
- l'information ou les sources d'information (p. ex. dans le cas des conditions du sol) nécessaires pour faire une évaluation;
- une démarche cohérente à l'intention des inspecteurs.

Cependant, il ne faudrait pas s'en servir pour effectuer l'évaluation technique d'un bâtiment.

Évaluation sismique

Les évaluations techniques peuvent être faites à l'aide des *Lignes directrices pour l'évaluation sismique des bâtiments existants*³. Ce document permet d'évaluer de manière cohérente, efficace et économique tous les

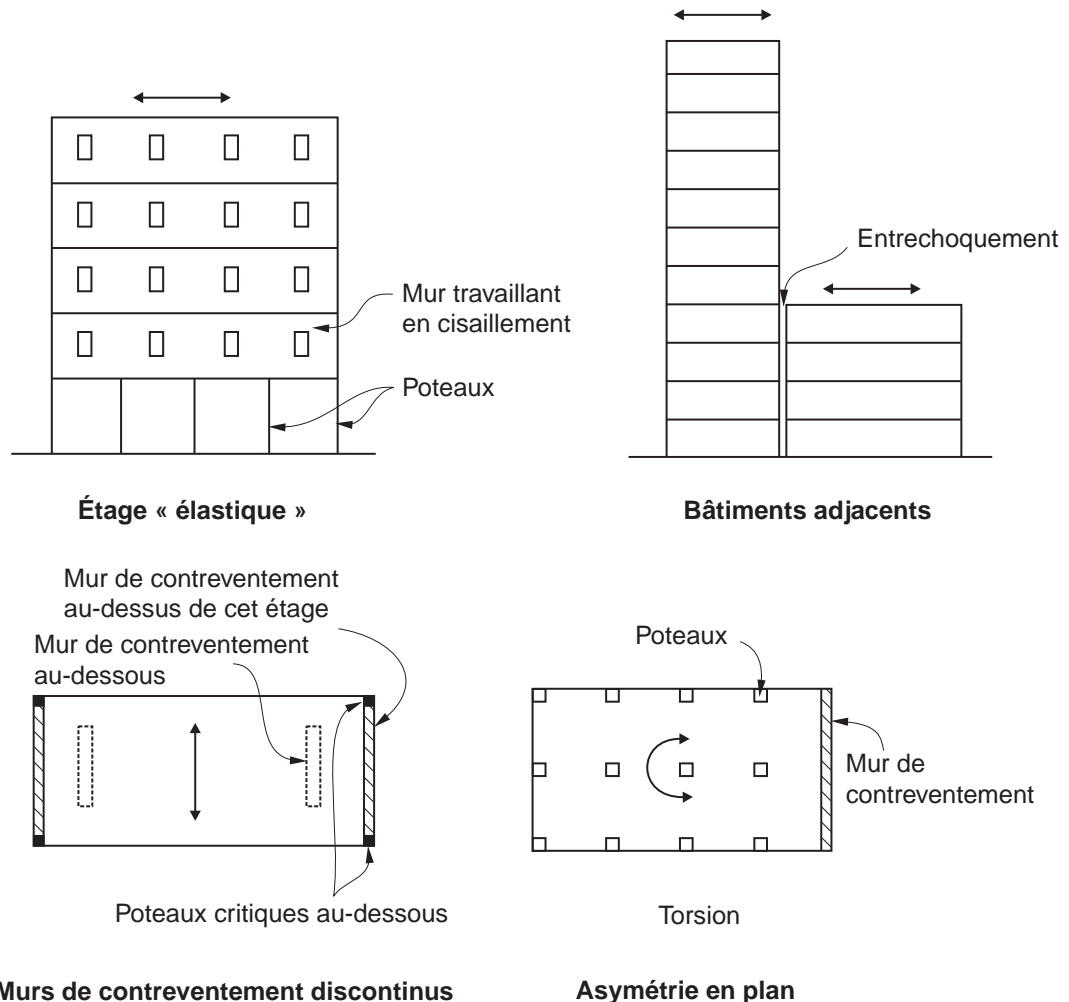


Figure 2. Irrégularités des bâtiments

bâtiments sauf les petits visés par la partie 9 du CNB. Les règles qu'il renferme peuvent être appliquées à la plupart des immeubles pour lesquels on cherche avant tout à éviter l'effondrement et les pertes de vies humaines, p. ex. les immeubles d'habitation ou de bureaux. Elles peuvent aussi servir à évaluer les bâtiments de protection civile, par exemple les hôpitaux; il faut cependant satisfaire à des exigences supplémentaires visant à faire en sorte que ces bâtiments puissent être utilisés à cette fin.

Les lignes directrices en question permettent d'effectuer une évaluation rapide au moyen d'une liste de vérification indiquant les faiblesses possibles et basée sur les dommages extrêmement graves causés lors de tremblements de terre passés, principalement en Californie et en Alaska. Certains des points mentionnés dans la liste de vérification n'exigent qu'un calcul « sur un bout de papier », qui peut être complété au besoin par une évaluation détaillée des points qui sont incertains ou se situent à la limite. Cette méthode constitue un moyen économique de déterminer les faiblesses d'un immeuble et de les classer par ordre d'importance.

De façon générale, les critères utilisés pour l'évaluation structurale d'un bâtiment en place doivent être conformes à la partie 4 du CNB. Cependant, la charge sismique indiquée dans le code est réduite de 40 % dans le cas des bâtiments existants en raison des frais élevés occasionnés par les interventions structurales, en comparaison du faible surcoût représenté

par la protection antisismique, dans le neuf. Lorsque les calculs montrent que les composants du bâtiment ne sont pas capables de résister à cette charge sismique réduite, il faudrait, dans la plupart des cas, les renforcer pour qu'ils puissent supporter la charge sismique intégrale mentionnée dans le CNB.

Ces lignes directrices décrivent une méthode spéciale qui permet d'évaluer les bâtiments en maçonnerie non armée comportant des structures de plancher et de toit en bois, type de construction qui n'est plus autorisé par la partie 4 du CNB, dans les régions exposées aux séismes.

Une norme sur l'évaluation sismique des bâtiments en place, notamment les immeubles de protection civile, est en cours d'élaboration aux États-Unis⁴. Elle renfermera une liste de vérification tenant compte des leçons tirées des tremblements de terre survenus récemment au Mexique, aux États-Unis et au Japon. Un point à surveiller de manière particulière : les ossatures rigides en acier soudé, dont bon nombre se sont rompues lors du séisme de Los Angeles, en 1994 (voir les conseils donnés dans le document mentionné à la référence 5). Pour pouvoir appliquer cette nouvelle norme au Canada, il faudra apporter des ajustements aux critères basés sur le contexte américain.

Protection parasismique

Le document de l'IRC *Lignes directrices pour la protection parasismique des structures de bâtiments existants*⁶ décrit divers moyens de protéger les immeubles contre les séismes et indique comment faire les bons choix dans le cas d'opérations particulières.

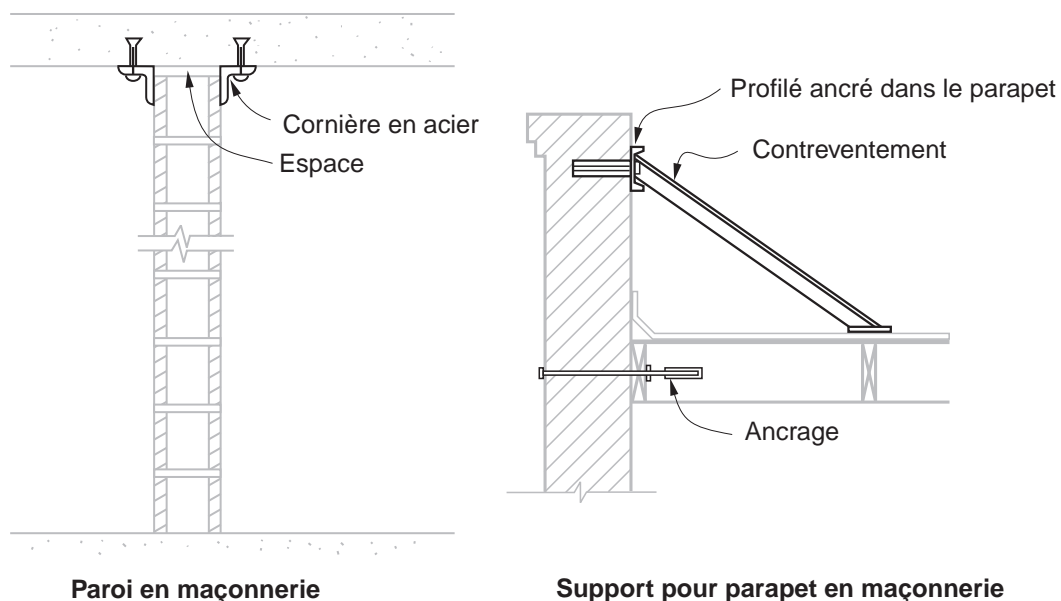
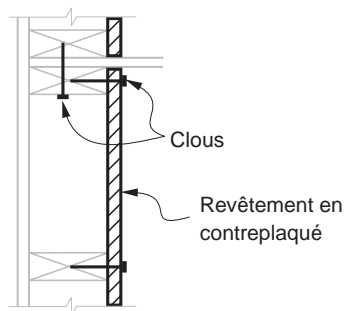
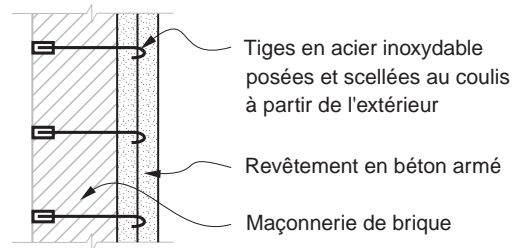


Figure 3. Support latéral pour mur en maçonnerie et ancrage dans la structure

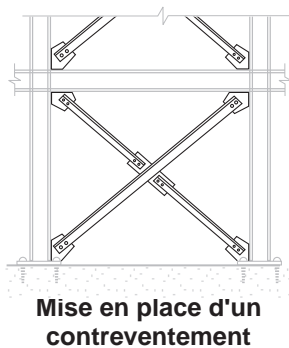


Revêtement en contreplaqué

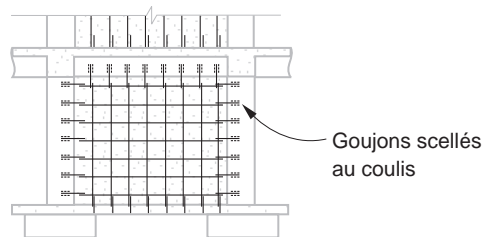


Revêtement en béton armé

Figure 4. Pose de revêtements sur les murs



Mise en place d'un contreventement



Mise en place d'un mur travaillant en cisaillement

Figure 5. Mise en place d'un mur travaillant en cisaillement ou d'un contreventement

La plupart des moyens proposés sont des techniques de construction traditionnelles :

- ancrage de la maçonnerie et des autres composants lourds dans la structure du bâtiment (figure 3);
- pose de connecteurs entre les éléments de structure déjà en place;
- liaison des nouveaux éléments de structure (membres, revêtements et remplissages) aux pièces existantes (figure 4);
- mise en place de nouveaux sous-systèmes, par exemple des murs travaillant en cisaillement, des contreventements ou des éléments additionnels de fondation, qui seront solidaires de la structure (figure 5).

Parmi les moyens spéciaux, mentionnons : la mise en place de dispositifs d'amortissement destinés à réduire les déformations et les forces dues aux tremblements de terre; la mise en place d'épais coussins flexibles (isolation à la base) entre les fondations et la superstructure afin de réduire la transmission des mouvements horizontaux du sol à la structure; les techniques de stabilisation du sol, par exemple les drains verticaux en gravier, qui visent à empêcher la liquéfaction.

Le choix du moyen de réhabilitation antisismique et de l'endroit où le mettre en oeuvre dépend non seulement de la correction des faiblesses structurales (voir « Principaux facteurs qui déterminent l'ampleur des dommages subis par les bâtiments », plus haut) mais aussi des facteurs suivants.

L'accessibilité. Il s'agit du degré de difficulté que présente, pour l'entrepreneur chargé des travaux de réhabilitation, l'accès aux éléments du bâtiment concernés. Les principaux aspects à prendre en compte sont :

- le type, le nombre et l'emplacement des actions de réhabilitation;
- la nécessité d'utiliser des échafaudages, des grues ou d'autre matériel spécial;
- les possibilités de manoeuvrer dans l'espace existant.

Plus l'accès est difficile, plus les travaux coûtent cher et perturbent les activités, et moins il y a de choix au niveau des moyens de réhabilitation. L'amélioration des fondations est particulièrement onéreuse, car l'accès est généralement très difficile; cependant, on peut souvent s'en dispenser en intégrant aux bâtis en place des éléments comme des murs travaillant en cisaillement ou des contreventements.

La perturbation des activités. Si le bâtiment doit servir pendant les travaux de réhabilitation, la perturbation des activités courantes devient un facteur important à prendre en compte. C'est pourquoi il est préférable d'effectuer les travaux de protection antisismique lors d'une grande rénovation, alors que l'immeuble n'est généralement pas occupé. Si cette option n'existe pas, il faut réaliser les travaux par étapes en déplaçant les personnes et les interventions, ou en dehors des heures

d'ouverture, mais cela occasionne dans tous les cas une augmentation des coûts. Par ailleurs, les actions de réhabilitation extérieure (par contreventement ou traitement des fondations) perturbent moins les activités que les travaux intérieurs. Dans le cas d'un hôpital, par exemple, il serait sans doute préférable de procéder par réhabilitation extérieure.

La fonction du bâtiment. L'ajout d'éléments de structure comme des murs travaillant en cisaillement ou des contreventements peut avoir des effets négatifs sur l'aménagement d'un immeuble (par conséquent sur la circulation des personnes et des biens), la lumière du jour ou l'esthétique. Il se peut donc que l'on doive plutôt opter pour des ossatures résistant aux moments, à certains endroits.

L'esthétique et la valeur patrimoniale. La préservation de l'esthétique et de la valeur patrimoniale d'un immeuble présente un défi particulier.

L'ingénieur doit collaborer étroitement avec le propriétaire, l'architecte, l'entrepreneur et tout autre spécialiste (p. ex. un consultant en conservation du patrimoine) afin de choisir une technique de réhabilitation qui permet de satisfaire le mieux possible à cet impératif.

Nouvelle directive sur les éléments non structuraux

L'Association canadienne de normalisation est en train d'élaborer une directive concernant l'évaluation et la protection parasismiques des éléments non structuraux des bâtiments⁷. Elle y proposera des méthodes et critères permettant de réduire les risques sismiques à moindres frais et sans trop de perturbation des activités.

La nécessité de cette directive s'explique ainsi : les travaux de renforcement des éléments non structuraux peuvent souvent être accomplis dans le cadre d'un programme d'entretien régulier, sans perturbation notable des activités qui se déroulent dans l'immeuble. Dans les zones de sismicité faible à moyenne, la rupture d'éléments non structuraux de bâtiments, lors d'un séisme, présente souvent de plus grands risques que la dislocation de la structure. C'est ce qui s'est produit lors du tremblement de terre du Saguenay, en 1988, la plupart des dommages ayant été causés par la rupture des parois en blocs de béton.

Références

1. Guide de l'utilisateur – CNB 1995
Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4). Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1996, 147 p. (CNRC 38826F).
2. Manuel de sélection des bâtiments en vue de leur évaluation sismique. Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1993, 90 p. (NRCC 36943F).
3. Lignes directrices pour l'évaluation sismique des bâtiments existants. Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1993, 163 p. (NRCC 36941F).
4. FEMA 310. Handbook for Seismic Evaluation of Buildings – A Prestandard. Federal Emergency Management Agency, Washington (DC), janvier 1998 (projet de norme de l'American Society of Civil Engineers – Paraîtra en 1999).
5. FEMA 267. Interim Guidelines: Evaluation, Repair, Modification and Design of Welded Steel Moment Frame Structures. Federal Emergency Management Agency, Washington (DC), 1995. FEMA-267A. Interim Guidelines, Advisory No. 1. Supplement to FEMA 267. Federal Emergency Management Agency, Washington (DC), 1997.
6. Lignes directrices pour la protection parasismique des structures de bâtiments existants. Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1995, 49 p. (NRCC 38857F).
7. Guideline for Seismic Risk Reduction of Operational and Functional Components of Buildings. Projet de norme S832-2000 de la CSA, Association canadienne de normalisation, Etobicoke (Ontario) – Paraîtra en 1999.

D.E. Allen, Ph.D., est agent de recherche invité au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

© 1999
Conseil national de recherches du Canada
Mai 1999
ISSN 1206-1239