

2.1 Introduction

L'étude des dommages subis à la suite des tremblements de terre aux États-Unis (San Fernando 1971, Loma Prieta 1989, Northridge 1994), au Japon (Kobé 1995), au Canada (Saguenay 1988), El Asnam 1980, Costa Rica 1991, Kocaeli 1999, Boumerdes 2003 a permis de mieux comprendre la nature des mouvements sismiques et d'identifier les faiblesses des structure et leur comportement.

Avant de commencer à parler des effets du séisme sur les constructions (structures en béton armé), il nous est nécessaire d'expliquer d'abord l'action sismique et ses composantes, et voir la composante qui a le plus d'effets dommageables sur les constructions.

2.2 L'action sismique

Lorsqu'un tremblement de terre se produit, le bâti subit un choc qui est provoqué par trois actions différentes : horizontale, verticale et de rotation. La libération d'énergie au foyer du séisme qui entraîne la propagation d'ondes de compression et de cisaillement, est la cause de ces déplacements en surface.

Le mouvement sismique (ou action sismique) peut se décomposer en la somme d'une composante horizontale (suivant deux directions principales U_x et U_y) et d'une composante verticale U_z et des rotations ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$), (figure 2.1). Il est utile de savoir que la composante verticale est, à l'aplomb de l'épicentre égale à la composante horizontale [10].

Plus nous nous éloignons de cette épicentre, plus la composante verticale est moins importante par rapport à la composante horizontale, elle perd environ 50 à 70% de son influence. L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable, que le mouvement horizontal.

D'autant plus, du fait, que les structures soient réalisées pour supporter leur poids propre, cette composante verticale est moins importante alors que la composante horizontale, elle, sera préférée pour dimensionner les structures à la résistance aux efforts horizontaux

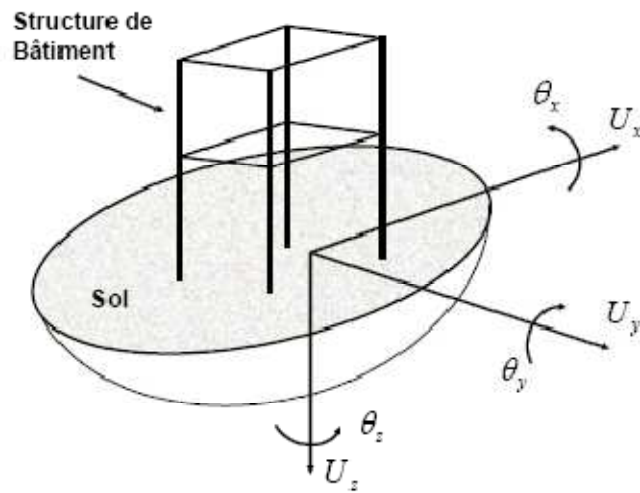


Figure 2.1 Composantes du mouvement sismique[5].

2.2.1 Oscillations horizontales : (figure 2 .2)

Ces oscillations sont relativement mal supportées par les constructions, plus particulièrement lorsque celles-ci entrent en résonance avec le sol. Bien que les constructions soient contreventées (ou auto contreventées) pour résister au vent, vis-à-vis des tremblements de terre, ce contreventement s'avère souvent insuffisant (le séisme est « dimensionnant »). Il doit donc être renforcé.

Dans le cas de la résonance avec le sol, les amplitudes d'oscillation de la construction sont très importantes et provoquent souvent l'effondrement de l'ouvrage. La résonance se produit lorsque les oscillations libres d'une construction ont une fréquence proche de celles du sol. Ses amplitudes d'oscillation s'accroissent alors d'une manière considérable, à l'instar d'une balançoire mise en mouvement par des impulsions d'une fréquence précise. Les dommages dus à la résonance sont souvent très importants.

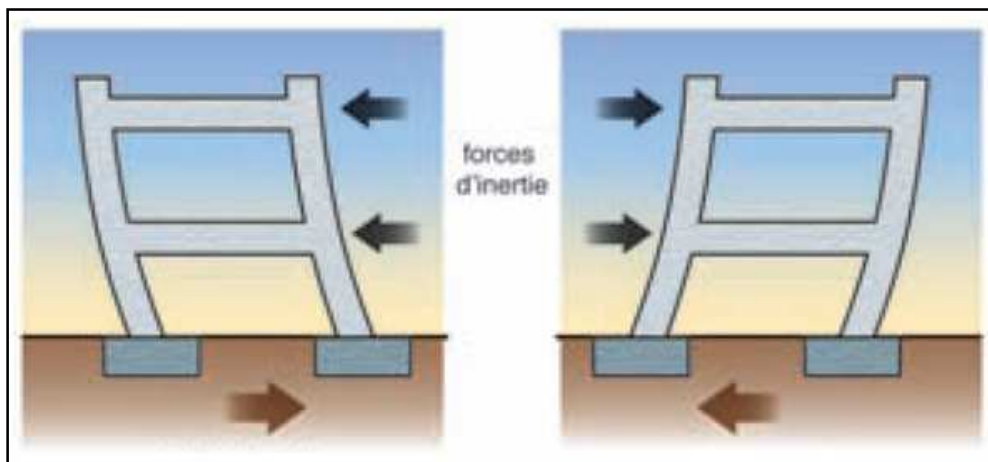


Figure 2-2- Oscillations horizontales des constructions.

2.2.2 Oscillations verticales : (figure2-3)

Ces oscillations sont bien supportées par les constructions, car elles sont conçues pour résister aux charges gravitaires, qui sont verticales. Seuls les éléments pouvant subir des déformations verticales importantes sont assez vulnérables : poutres de grande portée et balcons présentant un porte-à-faux de plus de deux mètres, plus particulièrement lorsqu'ils sont lourds ou portent une jardinière à leur extrémité.

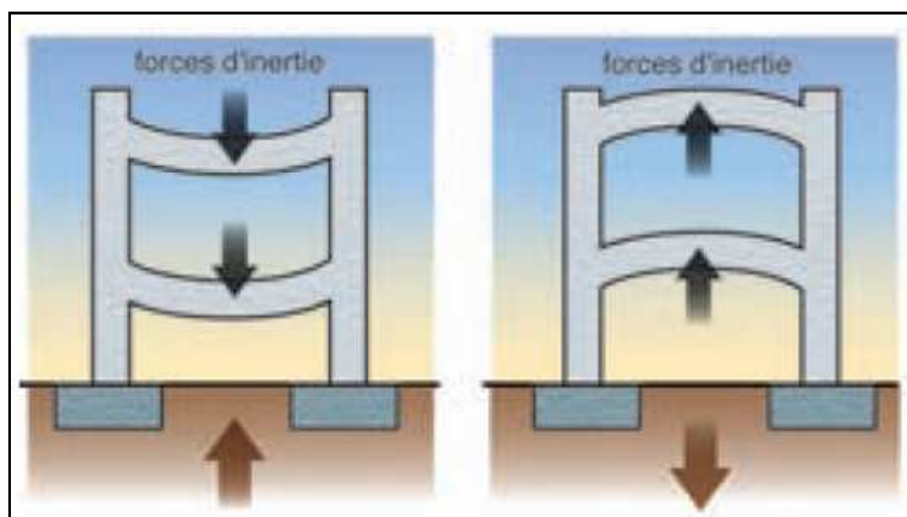


Figure 2-3- Oscillations verticales.

2.2.3 Oscillations de torsion : (figure 2-4)

Les oscillations de torsion sont dues à la « mauvaise » conception des constructions, car le sol ne tourbillonne pas. Lors des séismes, les parties plus déformables des ouvrages vrillent autour des parties plus rigides. Ce phénomène est expliqué plus loin. Les bâtiments supportent très mal les oscillations de torsion. Il s'agit d'un des phénomènes les plus destructeurs [13].

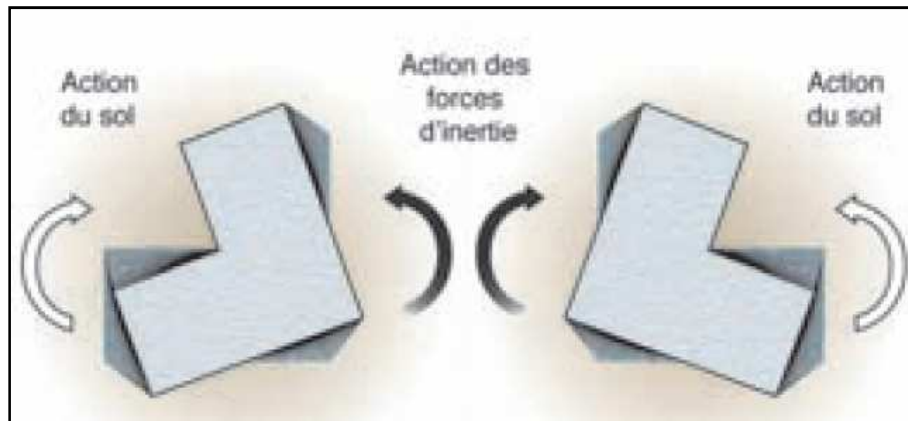


Figure 2.4 Oscillations de torsion.



Figure 2.5 Effondrement dû à la torsion, el asnam 1980

2.3 Le comportement d'un bâtiment lors d'un séisme

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un va et vient rapide dans toutes les directions du plan horizontal, ainsi que dans le sens vertical, mais dans une mesure généralement moindre. Les constructions sont liées au sol au moins par leurs fondations. Le mouvement d'une structure de génie civil, et en particulier un bâtiment, peut se décomposer en 4 (voir figure 2.5) [13]

- a- le déplacement relatif de la fondation;
- b- le basculement de la fondation (mouvement vertical) et torsion à la base (mouvement horizontal);
- c- la torsion à la base;
- d- la torsion de la structure;

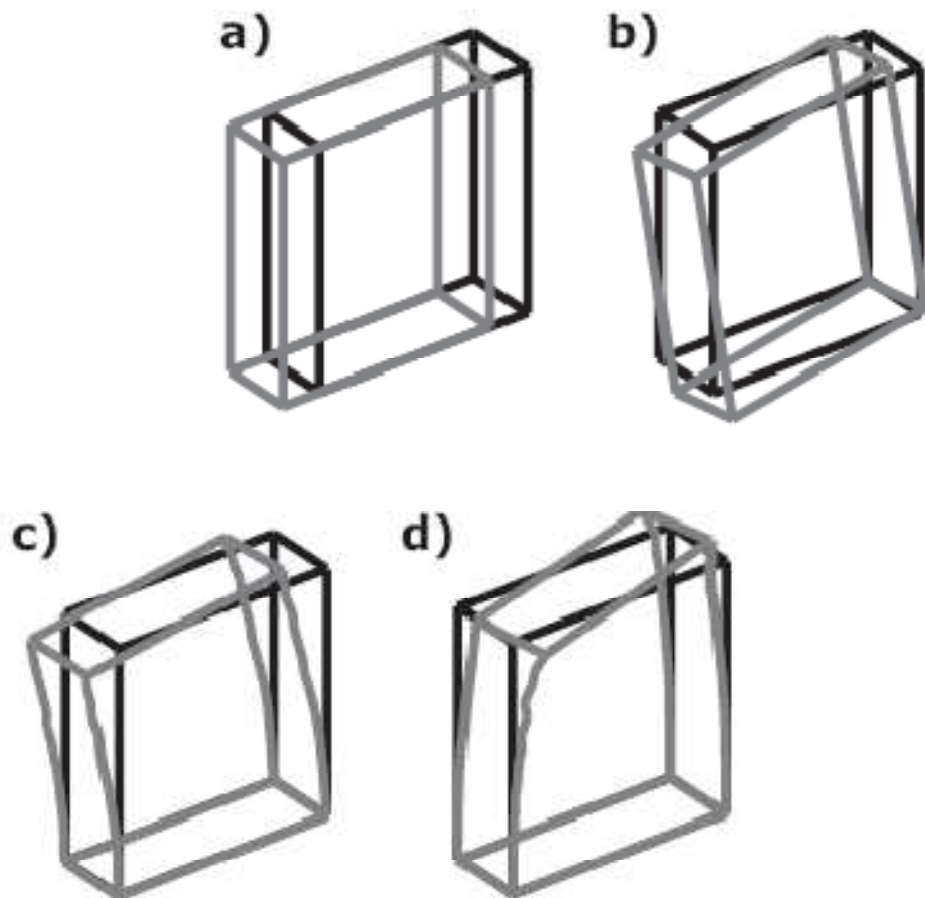


Figure 2-6 Types du mouvement d'une structure de génie civil en cas du séisme.

2.4 Comportement des bâtis existants en béton arme

Les bâtiments existants en béton armé sont considérés comme potentiellement vulnérables vis-à-vis des secousses sismiques pour plusieurs raisons qui les caractérisent comme étant des structures faiblement ductiles. Les principales caractéristiques de comportement vis-à-vis des séismes de ce type de bâtiments sont [14]:

1- ces bâtiments ont été conçus pour résister aux charges normales en générales, sans prendre en compte les charges sismiques. Par conséquent, les systèmes de contreventement de ces bâtiments sont mal ou pas du tout adaptés à la résistance aux charges latérales d'origine sismique;

2- irrégularité structurelle telle que les irrégularités des rigidités et des masses en plan et en élévation. Ces irrégularités conduisent également à une interruption du transfert des flux des charges entre les systèmes de contreventement. La structure travaille comme un système monolithique ce qui permet d'augmenter le nombre de mécanismes possibles de rupture ductiles;

3- l'armature longitudinale (de flexion) et plus particulièrement l'armature transversale (de cisaillement et de stabilisation) ou frettage du béton est en général insuffisante et inadéquate. Cette défaillance est d'autant plus remarquable dans les zones critiques telles que les jonctions poutres poteaux et à la base des murs de refends. Ceci se traduit par un faible taux d'armature, un espacement des cadres inadéquat avec une mise en oeuvre non conforme aux prescriptions de bon comportement vis-à-vis des secousses sismiques (retours d'ancrages des étriers par exemple), ancrages insuffisants, non prise en compte d'un ferrailage en tenant compte de l'aspect cyclique alterné des sollicitations agissants sur un élément de contreventement.

2.5 comportement pour un bâtiment résistant aux secousses d'un séisme futur [15]

Les secousses qui agissent sur un bâtiment provoquent des contraintes et déformations qu'il faut contrôler en comprenant bien le comportement des éléments de la construction.

2.5.1. Le roseau

Pour des raisons de « bon fonctionnement » et de stabilité générale de la construction, on ne peut pas laisser un bâtiment se déformer « comme un roseau ». C'est-à-dire beaucoup sans casser, même si cela peut sembler la solution idéale. On ne tolère pas plus de 2-3 cm par étage (moins sur les grands immeubles).

La « ductilité » : rupture « ductile » d'un poteau de béton armé. Au-delà de la limite de résistance, le béton est resté « confiné » dans les armatures. À chaque secousse il est broyé à l'intérieur des armatures, ces frottements contribuent à freiner la construction. L'effondrement ne se produit pas.



Figure 2.7 Rupture ductile.

2.5.2 Le chêne

Ainsi, les éléments de la construction sont étudiés pour « peu » se déformer. Comme les forces dues aux secousses peuvent être très élevées, ces éléments peuvent subir de fortes

contraintes auxquelles ils résistent jusqu'à un certain niveau, puis cassent brutalement, comme le chêne de la fable si on ne prend pas des dispositions constructives propres aux zones sismiques. Si la violence des secousses a mal été estimée, c'est la ruine assurée.

Le « chêne » : rupture fragile d'une structure de béton armé, au-delà de la limite de résistance, c'est l'effondrement.



Figure 2.8 Rupture fragile.

2.5.3 « Mieux » le chêne ou le roseau

L'ingénieur, au cours de la conception, des dispositions constructives et des dimensions pour chaque élément de la construction qui permettent de limiter les déformations de celle-ci. Et, qui permettent, si les secousses sont vraiment trop fortes, de contrôler leur endommagement en empêchant la rupture brutale et l'effondrement.

2.5.4 Modes de rupture

Les conséquences directes des caractéristiques de comportement vis-à-vis des séismes de ce type de bâtiments est la favorisation de modes de rupture plutôt non ductiles combinant les modes de ruptures fragile dus au cisaillement; des barres longitudinales; flambements des barres sous des contraintes de compressions élevées; écrasement du béton et éclatement du béton d'enrobage; formations de rotules dans des régions imprévisibles augmentant le risque d'instabilité du bâtiment [16].

2-5-4-1- Cisaillement alterné

L'expérience montre que les dégradations dues au cisaillement alterné de poutres ou de poteaux rendent les structures inutilisables ou causent leur effondrement. Les zones dégradées par le cisaillement alterné ont un aspect en "diabolo". (Voir figure 2.3). Ces dégradations résultent des fissurations inclinées alternées à 45° en cas de cisaillement pur générées par l'alternance des mouvements de la structure. Cet ensemble de fissures croisées transforme le matériau béton en un amas de pierres disjointes, ce qui entraîne une perte totale de résistance et de raideur tant axiale que flexionnelle de l'élément structural .

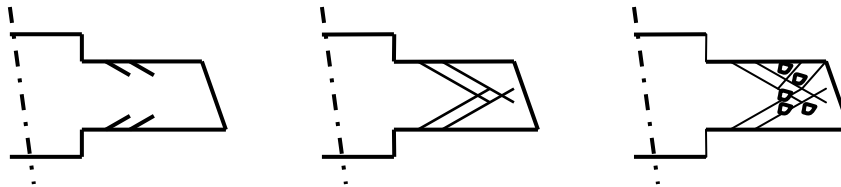


Figure 2.9 *l'absence d'armature transversale, le cisaillement alterné détruit les sections.*

2.5.4. 2 Glissement d'adhérence

Lors d'un séisme violent, l'adhérence béton - armatures, même bien réalisée, va sans doute commencer à se dégrader à certains endroits, mais ça doit pouvoir se faire progressivement à chaque secousse. Les phénomènes liés à l'adhérence acier-béton sont particulièrement importants au niveau des liaisons : manque de recouvrement, de couture ou d'ancrage, glissement des aciers dans les nœuds d'ossature. Ils tendent généralement à assouplir la structure et à faire augmenter les déplacements.

2.5.4.3 Flambements des barres

Une barre longitudinale d'un élément en béton comprimé est sujette au flambage. Le risque est accru si la contrainte dans la barre est plus élevée, ce qui est le cas dans les zones très sollicitées (flexion plastique, compression élevée). Le phénomène de flambage se produit si la barre est insuffisamment maintenue transversalement par des étriers trop espacés

2.5.4.4 Compression dans des éléments où le confinement du béton est inégal sur la section

Sous une action alternée dans le domaine plastique, un élément comprimé en béton armé se dégrade dans la partie de section qui se trouve en dehors du confinement réalisé par les armatures transversales.

Dans les sections en L ou en T où la table de compression n'est pas armée transversalement (étriers), le confinement est inégal sur la section et seule l'âme est capable d'assurer un comportement ductile du béton comprimé sous action cyclique. Un dessin particulier des armatures transversales peut seul améliorer la situation. On tient compte de ce comportement inégal de la section en limitant la largeur de dalle des poutres en T à une partie considérée comme efficace pour reprendre un moment plastique.

2.5.4.5 Instabilité

Les efforts internes réellement développés dans une structure par l'action sismique ne sont pas parfaitement connus. Dans nos approches, ils sont dépendants du modèle mathématique choisi pour représenter la structure, qui comporte toujours des approximations: les sollicitations torsionnelles des barres sont souvent négligées, les termes d'inertie (de masse) correspondant à des masses excentrées d'éléments porteurs sont ignorées, les axes neutres des éléments sont concourants dans le modèle même s'ils ne le sont pas en réalité.

Ces approximations peuvent être optimistes et conduire à sous estimer le risque d'instabilité d'éléments structuraux.

2.5.4.6 Cisaillement induit par les cloisons de remplissage

Des murs de remplissage induisent dans une ossature en portique des efforts internes différents de ceux qu'on obtiendrait dans une ossature de même masse sans remplissage. En particulier, les remplissages agissent comme des diagonales comprimées dans les cellules rectangulaires de l'ossature et introduisent des efforts dans les poutres et les colonnes (figure 2.10). Ces efforts, qui ne sont pas considérés dans un modèle mathématique "ossature en portique", peuvent entraîner des ruines fragiles par cisaillement des poteaux et poutres.

Les interactions possibles entre les ossatures en béton armé et des remplissages friables peuvent contribuer à rendre le système plus vulnérable. A cause de cette interaction, les poteaux et les noeuds doivent réagir à une sollicitation supplémentaire pour laquelle ils n'ont généralement pas été conçus. Si le remplissage présente des ouvertures ou d'autres

discontinuités, il se produit un effet de poteau court (Figure 2.5), qui aboutit à une dégradation par cisaillement des poteaux (fissures en diagonale avec flambement de l'armature des poteaux) [17]. Les remplissages, qui ne sont généralement pas ductiles, peuvent aussi introduire une réponse globale non maîtrisée de la structure en créant un niveau transparent à l'étage où ils sont ruinés en premier (Figure 2.10).

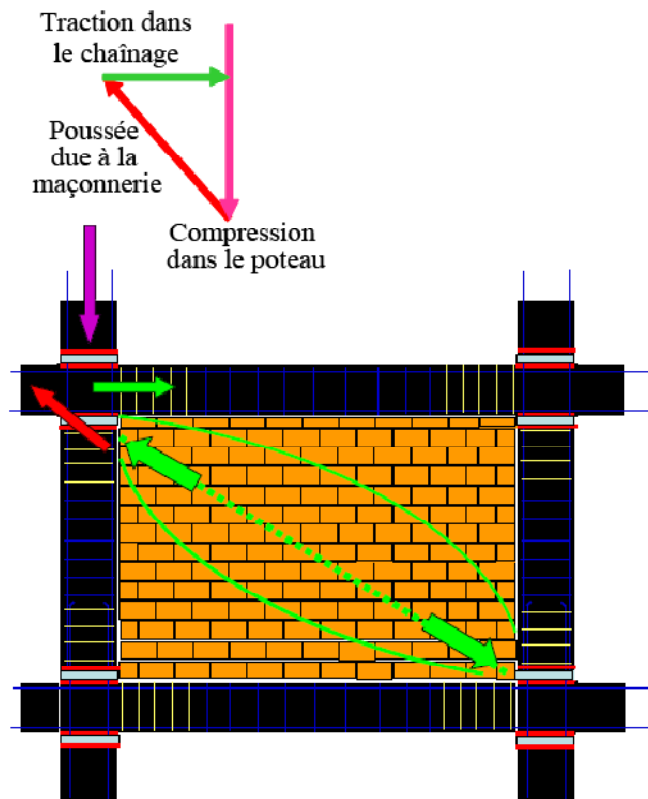


Figure 2-10 Cisaillement induit par les cloisons de remplissage

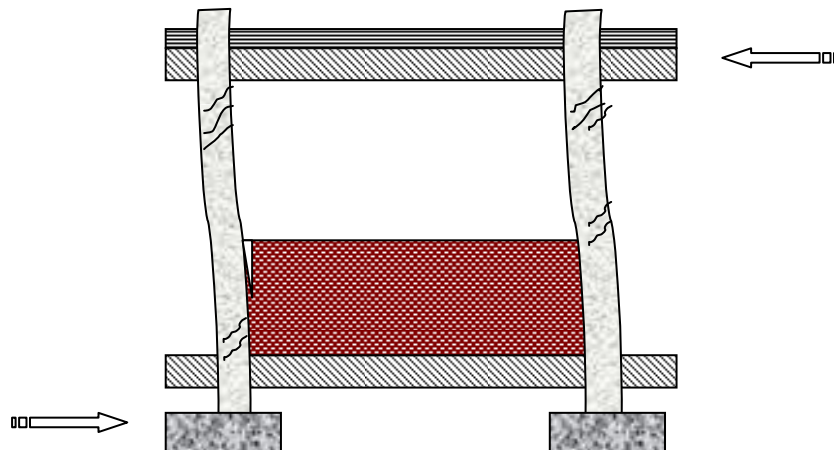


Figure 2-11 Effet de poteau court à cause de la présence de remplissage



Figure 2-12 Endommagement de remplissage causant le cisaillement des poteaux.

2.6. Conclusion

La défaillance des bâtiments à ossature en béton armé conduit souvent à des cas de dégâts spectaculaires. Les dégâts observés lors des derniers tremblements de terre offrent une expérience sur les défauts de conception typiques et sur les raisons des dégâts présentés à maintes reprises.

Le séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 montre bien le mauvais comportement des bâtiments à portiques (poteaux + poutres) comportant des murs de remplissage.

La vulnérabilité sismique des ossatures en béton armé dépend de tous les facteurs régularité, ductilité, qualité d'exécution. Ces types de bâtiments sont particulièrement vulnérables aux charges latérales.