



cahier 2-a

2004

collection CONCEPTION PARASISMIQUE

UN PROJET NATIONAL
OUVERT SUR LE MONDE

UNE STATION EXPERIMENTALE
AU SERVICE DE LA CONS-
TRUCTION

UNE VOCATION : L'AMÉLIORATION
DES SAVOIRS ET DES TECHNI-
QUES CONSTRUCTIVES

UN MOYEN :
L'APPROCHE INTERCULTURELLE

UNE AMBITION : DÉVELOPPER
LES SAVOIR-FAIRE ET LA QUALI-
TÉ DE LA CONSTRUCTION

GUIDE D'ÉVALUATION DE LA présomption de vulnérabilité aux seismes DES BÂTIMENTS EXISTANTS

CAS DES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE ET BÉTON ARMÉ

MILAN ZACEK

Remerciements

S'adressant aux architectes et ingénieurs, enseignants et professionnels, ainsi qu'aux étudiants et chercheurs, la **collection des cahiers parasismiques** constitue un ensemble de référence des connaissances nécessaires à la conception, la construction et la protection des édifices et des villes contre le phénomène sismique.

Cette collection a été développée avec l'aide du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable dans le cadre du programme d'actions confié aux Grands Ateliers pour améliorer l'enseignement des concepts et méthodes de la conception et de la construction parasismiques au sein des formations initiales des divers intervenants de l'acte de construire.

Elle est publiée par les **Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau**, groupement d'établissements d'enseignement supérieur d'architecture, d'ingénierie, d'art et de design, destiné à faire progresser la formation et la recherche sur la construction et les matériaux.

La collection comprend actuellement les cahiers suivants :

1. Conception parasismique, niveau avant-projet, Milan Zacek,
2. Vulnérabilité et renforcement, Milan Zacek,
- 2-a. Guide d'évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants – Cas des constructions en maçonnerie et béton armé, Milan Zacek
3. Urbanisme et aménagement territorial en zone sismique, objectifs et problématique. Patricia Balandier,
4. Sismologie appliquée à l'usage des architectes et ingénieurs, Patricia Balandier.

A paraître :

5. Comportement dynamique des structures
6. Construction parasismique, se déclinant sur les diverses technologies : béton armé, acier, bois, constructions en terre, ainsi que sur le second œuvre.

cahier 2a

évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants

CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE
ET BÉTON ARMÉ

MILAN ZACEK

Mai 2004

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
2. OBJET DU GUIDE ET METHODE UTILISEE	5
3. CARACTERE PARASISMIQUE D'UNE CONSTRUCTION	7
4. EXAMEN DE LA CONSTRUCTION A EVALUER	9
4.1. Objectif et démarche	9
4.2. Hypothèses adoptées	9
4.3. Facteurs de vulnérabilité généraux à prendre en compte	10
4.3.1. Architecture	10
4.3.2. Structure	14
4.3.3. Eléments non structuraux et équipement	15
4.3.4. Adéquation avec la nature du sol	15
4.3.5. Immeubles voisins	16
4.3.6. Site	16
5. METHODE D'EVALUATION	21
5.1. Principe	21
5.2. Définition des dommages et du niveau d'agression sismique	21
5.3. Construction en maçonnerie de pierre, briques ou blocs de béton	22
5.3.1. Description	22
5.3.2. Liste de vérification des facteurs de vulnérabilité	22
5.4. Systèmes porteurs en voiles de béton	25
5.4.1. Description	25
5.4.2. Liste de vérification des facteurs de vulnérabilité	25
5.5. Systèmes porteurs en poteaux et poutres de béton armé coulés en place et construction mixtes en ossature et voiles	27
5.5.1. Description	27
5.5.2. Liste de vérification des facteurs de vulnérabilité	27
5.6. Eléments non structuraux	30
5.7. Compilation des résultats	31
6. CONCLUSION	33
Glossaire	35
Bibliographie	39
Crédits photos et figures	39

1. INTRODUCTION

L'évaluation précise de la vulnérabilité aux séismes d'une construction nécessite en général des sondages destructifs permettant de connaître la nature des liaisons et la résistance des éléments porteurs, de même que la vérification quantitative de cette résistance. Ce travail relève de la compétence de l'ingénieur.

Toutefois, cette démarche étant " lourde ", donc coûteuse, il convient, avant d'engager des frais importants, de chercher à évaluer sommairement si une éventuelle réhabilitation parasismique est vraiment nécessaire et économiquement envisageable. Par conséquent, il est souhaitable d'effectuer au préalable une étude " légère " qualitative, appelée " évaluation de la présomption de vulnérabilité " ou prédiagnostic. Une telle étude peut être réalisée par un architecte qui n'a pas reçu de formation spécifique en construction parasismique. Cependant, en ce qui concerne la nature du sol et les effets liés au site, l'avis d'un géotechnicien peut être nécessaire.

De par leur configuration ou leur mode de construction, les bâtiments à examiner sont plus ou moins complexes et le niveau souhaité de l'étude peut être variable. Il paraît donc préférable (et cette pratique est déjà courante dans d'autres types d'évaluation des risques) de distinguer deux, voire trois niveaux d'évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes (A, B, C), correspondant à des besoins et moyens différents.

La méthode proposée est de type " A ", la plus sommaire. Elle vise à effectuer un prédiagnostic rapide de la vulnérabilité des bâtiments de forme et construction simples, sans nécessiter une vérification laborieuse de nombreux éléments. Un niveau plus élevé permettrait de différencier davantage le bâti, par exemple en faisant une distinction entre les constructions édifiées à différentes époques historiques.

La présente méthode présente un avantage pédagogique indéniable, car elle met en évidence les facteurs essentiels de vulnérabilité aux séismes d'une construction, sans requérir une formation préalable. Elle permet aussi d'acquérir une vue d'ensemble structurée et hiérarchisée de la problématique, ce qui en facilite les approfondissements ultérieurs.

Ce guide s'intègre donc dans la série de manuels édités par les Grands Ateliers de l'Isle-d'Abeau, destinés aux enseignants et étudiants des écoles d'architecture.

2. OBJET DU GUIDE ET METHODE UTILISEE

L'objet de ce guide est de proposer une méthode simple et pratique de niveau A, permettant à un professionnel du bâtiment non spécialiste d'évaluer rapidement la présomption de vulnérabilité aux séismes d'un bâtiment existant, réalisé en maçonnerie ou en béton armé. Toutefois, les bâtiments comportant des structures de grande portée (salles de sport, hangars,...) ne sont pas visés.

Le guide s'applique aux bâtiments édifiés selon des modes de construction courants en France métropolitaine. En effet, les techniques constructives d'autres pays pouvant parfois être très différentes (Amérique du Nord, Antilles,...), leur vulnérabilité aux séismes peut être due également à d'autres facteurs que ceux qui sont pris en compte dans ce texte. Disposer d'un manuel spécifique à la construction en usage dans ces pays est dans ce cas souhaitable.

Afin d'en faciliter l'utilisation, l'approche adoptée dans ce guide est synthétique et concise. L'attention est portée principalement sur les paramètres essentiels.

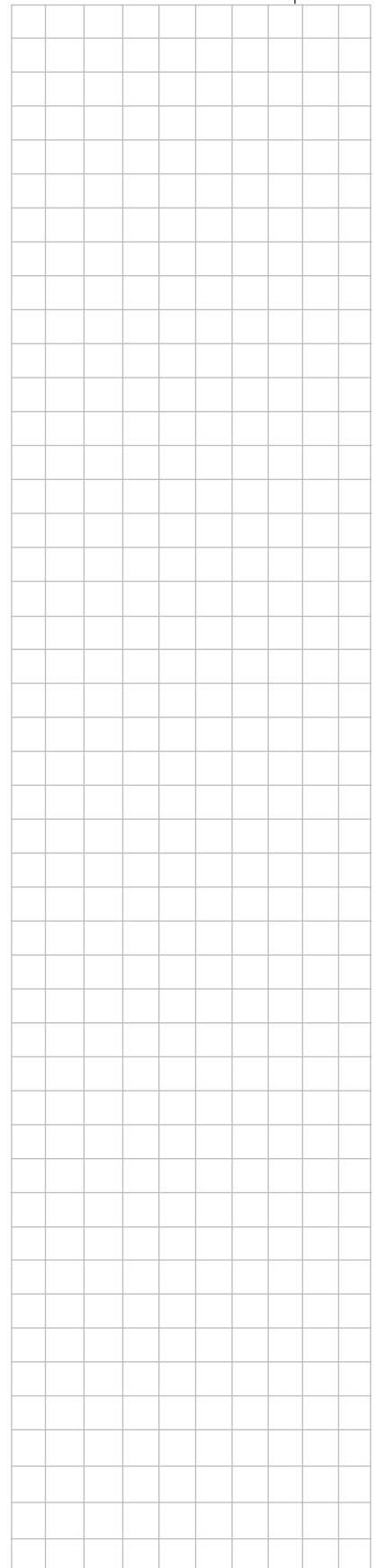
L'évaluation proposée s'effectue en quatre étapes :

1. étude des plans et autres documents disponibles (s'il y a lieu) ;
2. examen de la construction in situ ;
3. compilation des données recueillies dans des check-lists ;
4. diagnostic qualitatif de vulnérabilité aux séismes.

Le diagnostic est établi par rapport à un seul niveau de séisme (magnitude 6) et il porte sur trois degrés de dommages : effondrement, dommages structuraux importants et dommages non structuraux menaçant la vie de personnes.

Le calage, c'est-à-dire la correspondance entre la violence du séisme de référence et l'importance des dommages, est basé sur l'observation des événements passés. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que, pour une force de séisme donnée, l'étendue des dommages souffre d'une grande dispersion. De nombreux facteurs, notamment la qualité de l'exécution, l'épaisseur des joints de mortier, la quantité de ciment, la quantité d'eau utilisée pour le malaxage du béton, etc., peuvent varier fortement d'une construction à l'autre, d'où une grande différence de vulnérabilité. Le calage utilisé ici correspond à une qualité de construction moyenne observée en France métropolitaine. Par conséquent, il est possible que la vulnérabilité réelle d'un ouvrage soit supérieure ou inférieure à celle obtenue par la méthode proposée ici.

La vulnérabilité aux séismes d'un ouvrage est souvent difficile à cerner et différentes méthodes, même approfondies, peuvent parfois donner des résultats assez différents. La fiabilité de l'étude repose donc, d'une manière non négligeable, sur le jugement subjectif de l'auteur de l'étude. Les paragraphes 3 et 4 de ce guide devraient faciliter l'acquisition d'un jugement d'expert correct.



4. EXAMEN DE LA CONSTRUCTION A EVALUER

4.1. OBJECTIF ET DEMARCHE

Un examen du bâtiment à étudier doit permettre d'identifier l'absence, l'insuffisance ou la dégradation des éléments essentiels à sa résistance aux séismes, de même que la possibilité d'une interaction défavorable avec le site, qui pourrait aggraver l'action des tremblements de terre sur l'ouvrage.

La liste des éléments à vérifier pour les constructions en maçonnerie et béton armé figure dans les chapitres respectifs. Cependant, il peut arriver qu'une utilisation " aveugle " de check-lists ne permette pas de détecter une faiblesse importante de la construction car ces listes ne peuvent pas être suffisamment détaillées pour couvrir toutes les situations que l'on peut rencontrer, certaines configurations ou constructions étant complexes.

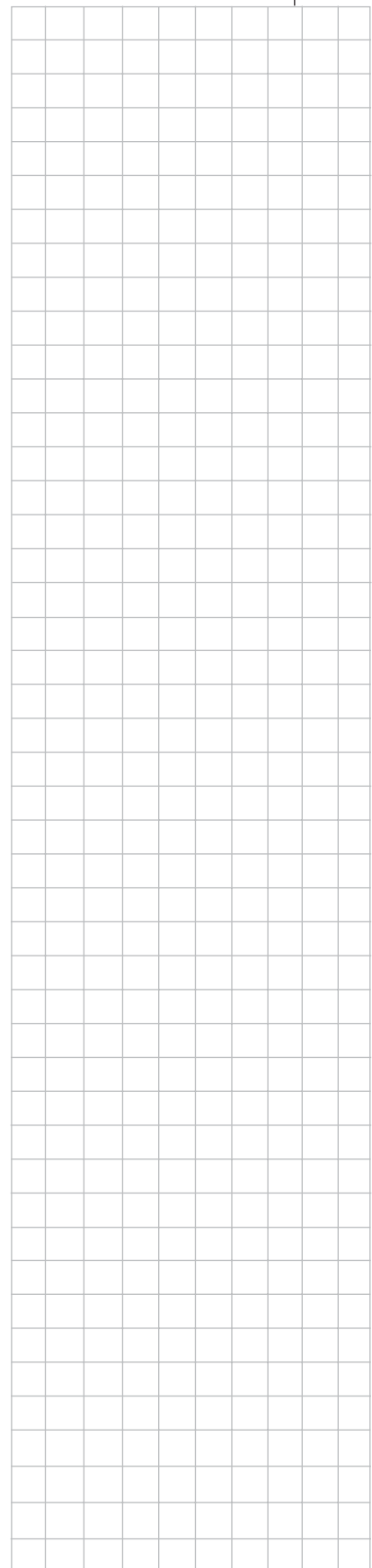
Par conséquent, pour mener à bien l'examen d'un bâtiment, il est souhaitable d'avoir une vue d'ensemble des facteurs qui interviennent dans sa résistance aux tremblements de terre.

Dans ce but, un résumé de ces paramètres est présenté au paragraphe 4.3. Ils ont été choisis en raison de leur possibilité de constituer la cause principale d'effondrement du bâtiment ou de dommages sismiques graves, et devraient donc être présents à l'esprit de l'examineur lors de l'étude des plans et de la visite du bâtiment.

4.2. HYPOTHESES ADOPTEES

Grâce à l'évolution de la réglementation technique, les bâtiments récents sont, en général, moins vulnérables que les constructions plus anciennes. Dans la présente méthode, le degré de dommages estimé correspond aux caractéristiques de construction suivantes :

- la construction n'a pas été conçue ni édifée selon des règles parasismiques (PS 69, PS 92, PS-MI 89,...) ; elle est donc antérieure à 1992
- les planchers et les charpentes sont liés aux chaînages de la manière habituelle sans ancrages spécifiquement parasismiques ;
- les chaînages verticaux sont absents ou réalisés seulement dans les angles de la construction ;
- il n'y a pas d'encadrement d'ouvertures mécaniquement continu aux angles ;
- les refends possèdent une plus grande rigidité horizontale que les façades comprenant des ouvertures ;
- la structure principale des bâtiments en béton armé ne comporte pas de planchers en bois.



4.3. FACTEURS DE VULNERABILITE GENERAUX A PRENDRE EN COMPTE

4.3.1. ARCHITECTURE

- Ailes, volumes en saillie ou retraits d'étage solidaires du bâtiments

La présence d'ailes, de saillies ou de retraits d'étages conduit, dans une direction donnée, à des différences de rigidité des diverses parties de bâtiment. Lors d'un séisme, ces parties ont tendance à osciller à des fréquences différentes et se déforment donc à certains moments dans le sens opposé, vrillant autour des zones rigides (fig. 1). Il en résulte de fortes concentrations d'efforts dans les angles rentrants.

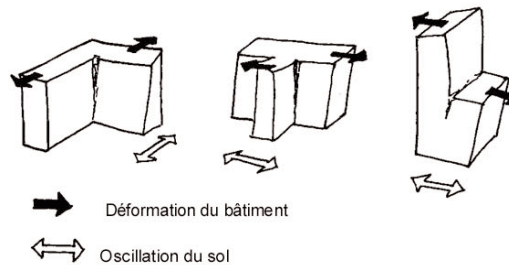


Fig. 1 - Dommages dus à des différences de rigidité.

Les volumes de rigidités différentes subissent à certains moments des déformations de sens opposé.

La différence des déformations des ailes peut être négligeable lorsque la différence de leurs rigidités dans une direction donnée est faible, en raison de la présence de murs judicieusement placés (fig. 2). L'étude des plans et la visite in situ devraient permettre d'apprécier l'importance des déformations différentielles.

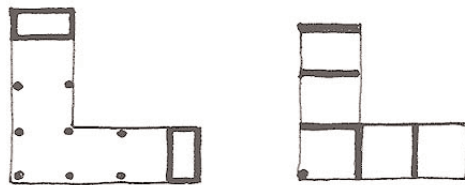


Fig. 2 - Ailes de bâtiment raidies transversalement. Les déformations différentielles peuvent rester faibles.

- Bâtiments de largeur ou profondeur variable

Lors de leurs oscillations, les parties de bâtiment plus étroites se déforment en général plus que les parties plus rigides et tendent à vriller autour de ces dernières (fig. 3a). Il s'agit d'une torsion d'ensemble, qui a pour conséquence

l'endommagement des éléments porteurs verticaux dans les zones les plus éloignées de la partie rigide du bâtiment.

La torsion est faible voire inexistante lorsque la rigidité des parties étroites est augmentée par un contreventement renforcé (fig. 3b), ce qui doit être vérifié lors d'une visite sur place.

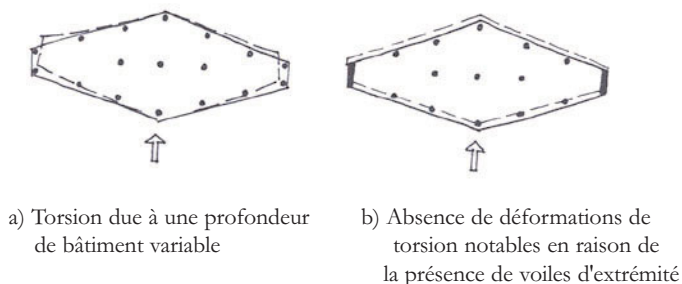


Fig. 3 - Bâtiments ayant une largeur variable

• **Elancement géométrique important**

Lorsque la hauteur du bâtiment est très grande par rapport à sa plus petite dimension horizontale, ses oscillations peuvent donner lieu à des efforts excessifs à la base des éléments porteurs verticaux des bâtiments non parasismiques, ce qui peut entraîner leur rupture et l'effondrement de l'ouvrage (fig. 4). En outre, en raison des déformations importantes des niveaux supérieurs, la chute d'éléments non structuraux est probable (éléments de façade, vitrages, cheminées, etc.).

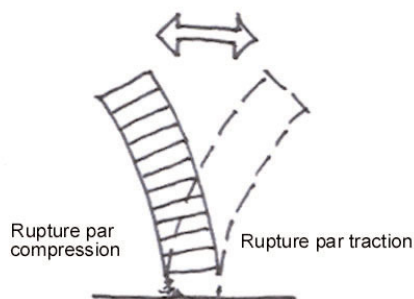


Fig. 4 - Rupture à la base des éléments porteurs verticaux des bâtiments non parasismiques élancés.

• **Présence de niveaux " souples "**

Lorsqu'un niveau possède une rigidité horizontale très inférieure à celle des autres niveaux, lors d'un séisme violent, il subit des déformations importantes, souvent fatales à la construction car elles conduisent à la rupture des poteaux et l'écrasement du niveau (fig. 5a). Les rez-de-chaussée d'immeubles abritant des commerces constituent fréquemment des niveaux souples en raison de façades largement vitrées et espaces intérieurs dépourvus de murs massifs. Il en est de même des immeubles à rez-de-





chaussée occupé par un parking couvert ou d'immeubles comportant un niveau d'une hauteur nettement plus grande que les autres.

Les constructions implantées sur une pente et possédant un niveau souple de hauteur variable sont particulièrement vulnérables car elles peuvent subir des oscillations de torsion, qui sont fréquemment à l'origine de la rupture des poteaux du niveau ouvert (fig. 6a).

Lors de l'examen du bâtiment, l'attention doit être portée sur la présence éventuelle de murs massifs ou voiles assurant le contreventement dans les deux directions principales (fig. 5b). Dans ce cas, les façades largement vitrées ou " percées ", ainsi que les niveaux ouverts des constructions en pente (fig. 6b), ne sont pas préjudiciables, car ces murs préviennent les déformations excessives.

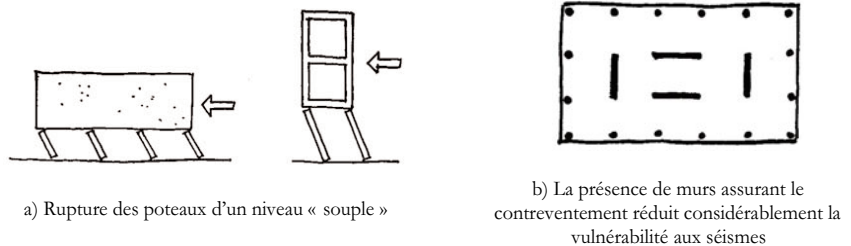


Fig. 5 - Bâtiments comportant un niveau largement ouvert.

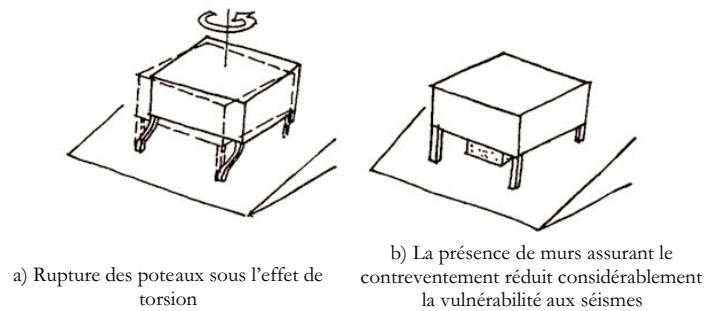


Fig. 6. -Construction implantée sur un terrain en pente

• Bâtiments reliés par des passerelles ou escaliers

Les ouvrages reliant deux bâtiments subissent des oscillations différentielles entraînant généralement leur effondrement lors de séismes d'une certaine importance (fig. 7). Ces dommages peuvent être prévenus par des liaisons autorisant des mouvements relatifs. Cependant, le recours à cette solution est très récent ; dans la quasi-totalité des bâtiments existants, les passerelles et escaliers sont mécaniquement couplés aux constructions qu'ils relient.

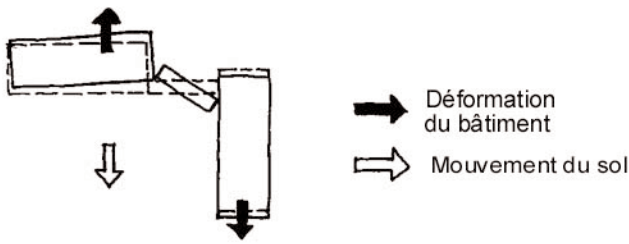


Fig. 7 - Effondrement de passerelle entre bâtiments

• **Porte-à-faux importants**

Les porte-à-faux sont vulnérables vis-à-vis des composantes verticales des secousses sismiques, plus particulièrement les dalles portant des éléments lourds à leur extrémité. La rupture de poutres en porte-à-faux est plus rare (fig. 8).

Dans un bâtiment non parasismique, les éléments en console d'une portée importante ou toute console portant un élément lourd à son extrémité (jardinière en béton par exemple), devraient être considérés comme susceptibles de s'effondrer.

• **Toitures lourdes**

Sous séisme, les toitures lourdes constituent une masse en mouvement haut placée, dont les déplacements engendrent des sollicitations particulièrement élevées dans les éléments porteurs verticaux. Les maçonneries non chaînées et les portiques en béton armé sans murs de contreventement sont particulièrement vulnérables à ces sollicitations. Dans de tels cas, leur effondrement est relativement fréquent (fig. 9).

• **Changement brutal de section d'éléments participant au contreventement**

Lorsque la section ou la largeur d'un élément porteur (mur, poteau,...) participant au contreventement est brutalement réduite, une rupture au droit du changement de rigidité est fréquente en raison des concentrations d'efforts qui s'y produisent (fig. 10). Un mur ancien épais, prolongé par une maçonnerie récente de 15 ou 20 cm d'épaisseur, entre également dans ce cas.

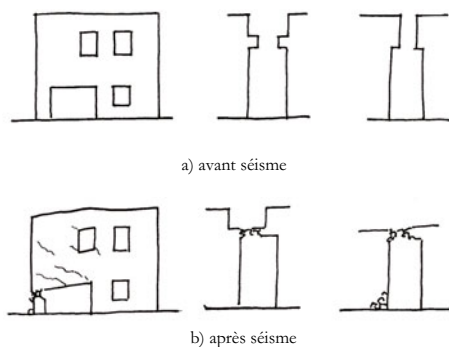


Fig. 10 - Rupture au droit d'un changement brutal de section d'un élément participant au contreventement



Fig. 8 - Rupture d'un auvent en porte-à-faux (séisme de San Fernando, Californie, 9 février 1971)

Fig. 9 - Effondrement d'ouvrages supportant une toiture lourde (séisme de San Fernando, Californie, 9 février 1971)



a) Charpente lourde portée par des murs en maçonnerie non chaînée



b) Toiture-terrasse végétalisée portée par des portiques en béton armé, dont les poteaux ont été cisailés



Fig. 11 - Effondrement d'un bâtiment dont le rez-de-chaussée n'était pas suffisamment contreventé (séisme de Kobé, Japon, 17 janvier 1995)



Fig. 13 - Effondrement d'un bâtiment par torsion en raison d'une disposition asymétrique des murs assurant le contreventement (séisme d'Anchorage, Alaska, 27 mars 1964)



Fig. 14 - Dommages dus à l'entrechoquement de deux blocs de bâtiment séparés par un joint de dilatation thermique (séisme de Tokachi-Oki, Japon, 16 mai 1968)

4.3.2. STRUCTURE

• Contreventement absent ou insuffisant

Le contreventement longitudinal des bâtiments est souvent réduit car la prise au vent des pignons est moins importante que celle de la façade principale. Or, les charges sismiques sont engendrées dans toutes les masses (les planchers constituant les masses les plus significatives) et dans toutes les directions, y compris longitudinale. Il convient donc de vérifier la présence d'un contreventement efficace dans les deux directions principales. En effet, de nombreux effondrements de bâtiments sous séismes sont dus à l'insuffisance du contreventement (fig. 11).

• Distribution asymétrique des éléments assurant le contreventement

La résultante de l'action sismique passe à peu près par le centre de gravité des planchers de chaque niveau. Si la réaction produite est décalée en raison de l'excentrement des éléments de contreventement, la construction est exposée à une torsion d'ensemble (fig. 12). Il s'agit d'un phénomène très destructeur (fig.13). Il est important de le détecter lors d'une visite in situ ou lors de l'étude de plans.

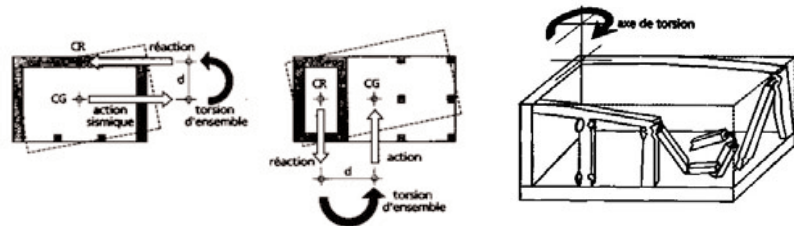


Fig. 12 - Dommages dus à la torsion d'ensemble d'une construction ayant un contreventement excentré

• Présence de joints de dilatation, de tassement ou de séparation

Lorsque deux bâtiments ou deux corps de bâtiments sont séparés par un joint, leurs mouvements sismiques sont indépendants. La largeur des joints des bâtiments non parasismiques étant faible, il se produit en général, lors d'un séisme, des entrechoquements qui peuvent entraîner des dommages graves (fig. 14).

• Hétérogénéité des éléments structuraux

Lorsque les murs ou les poteaux sont constitués de deux matériaux différents (moellons et briques pour les murs, béton et bois pour les poteaux, etc.), lors d'un séisme, une rupture peut se produire à l'interface des deux matériaux, car leur déformabilité n'est pas la même (fig. 15). Or, les effets des séismes sur les constructions sont précisément des déformations imposées.

Les cas fréquents d'hétérogénéité sont les extensions en maçonnerie contemporaine (blocs de béton de 15 ou 20 cm d'épaisseur) de bâtiments anciens en maçonnerie de pierre de forte épaisseur, réalisées sans joint de séparation.

- **Mauvais état de conservation**

Le mortier qui s'effrite, un béton dégradé, des armatures apparentes et oxydées, etc., sont des signes révélateurs d'une faible résistance de la construction aux séismes.

4.3.3. ELÉMENTS NON STRUCTURAUX ET ÉQUIPEMENT

La destruction d'éléments non structuraux ne compromet pas la stabilité de l'ouvrage. Cependant, la chute de cheminées, panneaux de façade, corniches, vitrages, climatiseurs,... ou le basculement de chauffe-eau, citernes, réservoirs, etc., peuvent blesser les personnes, parfois mortellement (fig. 16). Il s'agit donc d'une vulnérabilité d'un type particulier.

Le séisme d'Epagny du 15 juillet 1996 (dit aussi d'Annecy), d'une magnitude de 5,2 a provoqué l'effondrement de plus d'une centaine de cheminées, qui sont tombées dans des cours et sur des voies publiques, écrasant parfois des véhicules. Il n'y a pas eu de pertes de vies humaines car le séisme s'est produit à 2 h 13, heure à laquelle les rues étaient pratiquement désertes.

4.3.4. ADÉQUATION AVEC LA NATURE DU SOL

- **Possibilité de résonance avec le sol**

Lors de leurs oscillations, les bâtiments amplifient les mouvements sismiques qui leur ont été communiqués par le sol au niveau des fondations. Lorsque leur fréquence d'oscillation propre (c'est-à-dire non forcée) est la même ou proche de celle du sol, leurs amplitudes d'oscillations peuvent être très importantes et destructrices : on parle de la résonance entre le bâtiment et le sol. Ainsi, on observe que sur sols meubles, les constructions " flexibles " (bâtiments élevés, constructions basses en portiques sans murs de remplissage rigides, etc.), souffrent particulièrement ; les constructions rigides sont davantage sollicitées sur sols fermes et sur rocher.

Les bâtiments qui entrent en résonance avec le sol subissent en général des dommages très graves (fig. 17), les charges sismiques pouvant être amplifiées par un facteur 5 ou plus. Par conséquent, dans une évaluation de la vulnérabilité aux séismes, il convient de tenir compte de la nature du sol (or, ce facteur est souvent négligé).

Lors du séisme de Provence, le 11 juin 1909, les dommages les plus importants subis par le centre historique de Salon-de-Provence étaient localisés dans une zone bien délimitée, correspondant à un type de sol.



Fig. 15 - Rupture d'un mur hétérogène (séisme de Tangshan, Chine, 28 juillet 1976)



Fig. 16 - La chute de briques de parement lors du séisme de Loma Prieta, Californie, 17 octobre 1989. Cinq personnes ont été tuées dans une voiture en stationnement



Fig. 17 - Dommages dus à la résonance du bâtiment avec le sol (Mexico, séisme du Mexique, 19 septembre 1985)



Fig. 18 - Dommages dus à l'entrechoquement de bâtiments voisins (séisme de Kobé, Japon, 17 janvier 1995)



Fig. 19 - Bâtiment endommagé lors de l'effondrement d'une construction voisine (déblayée avant la prise de la photo), séisme de Ceyhan-Misis, Turquie, 27 juin 1995

• Sol très mou ou hétérogène

Lorsque les bâtiments sont fondés sur des sols hétérogènes ou de faibles caractéristiques, on observe que les dommages sismiques aux bâtiments sont particulièrement élevés. D'une part, ces sols subissent des mouvements plus importants que les sols fermes et, d'autre part, ils donnent souvent lieu à des tassements différentiels non négligeables. Afin d'y résister, les bâtiments doivent posséder une bonne rigidité, plus particulièrement les niveaux enterrés et les fondations.

Par conséquent, pour une évaluation de la vulnérabilité d'une construction aux séismes, il est important de s'informer de la nature du sol de fondation. Les sols particulièrement dangereux sont les alluvions molles, les sables lâches, les argiles molles ou silteuses et les remblais peu consolidés.

4.3.5. IMMEUBLES VOISINS

Lors d'un séisme, un bâtiment peut subir des dommages dus à l'action d'un bâtiment voisin. La nature de cette action varie avec la distance entre les deux constructions :

1. **Les deux constructions sont mitoyennes**, c'est-à-dire qu'elles possèdent un mur commun. Dans ce cas, elles forment mécaniquement un seul ouvrage et l'effondrement de l'une peut entraîner celui de l'autre. Dans la mesure du possible, il est donc souhaitable d'évaluer également la vulnérabilité du bâtiment mitoyen.
2. **Les constructions sont séparées par un joint d'une largeur inférieure à 6 cm**, non vide ou rempli de polystyrène. Dans cette situation, les séismes provoquent des entrechoquements évoqués plus haut (fig. 18). Lorsque la construction voisine est plus haute, il peut exister un danger d'effondrement sur le bâtiment étudié.
3. **La construction voisine est à une distance inférieure à sa hauteur ($L < H$)**. Dans ce cas, si elle est vulnérable, des projections d'éléments massifs ou non structuraux peuvent endommager le bâtiment étudié (fig. 19).
4. **Le bâtiment voisin est implanté à une distance supérieure à sa hauteur ($L > H$)**. Une interaction due aux séismes n'est pas à redouter dans le cas général. Cependant, il convient de vérifier l'absence d'un danger particulier (construction en amont sur une pente, tours avec des façades-rideaux, etc.).

4.3.6. SITE

• Types d'effets sismiques

Lors d'un tremblement de terre, trois types d'effets peuvent être observés sur un site :

- Amplification des mouvements sismiques communiqués par le



Fig. 22 - Immeuble enfoncé dans le sol après liquéfaction de ce dernier (séisme de Caracas, Venezuela, 1967)

Liquéfaction des sables

Les sables fins saturés d'eau, que l'on trouve fréquemment près des cours d'eau et sur le littoral, peuvent perdre presque toute leur capacité portante sous l'effet de secousses sismiques. Les constructions qui y sont fondées s'enfoncent alors dans le sol ou basculent (fig. 22). La susceptibilité de liquéfaction peut être déterminée facilement in situ par des essais SPT (standard penetration test) ou au pénétromètre statique. Le recours à un géotechnicien spécialisé est nécessaire.

Glissement de terrain

Sur les versants, les glissements de terrain déclenchés par un tremblement de terre ne sont pas rares. En général, ils entraînent la perte totale des ouvrages exposés (fig. 23). Le danger est parfois visible sur le terrain. Les pentes présentant des bourrelets ou des arbres inclinés sont souvent la proie d'un glissement lent, pouvant être précipité par un séisme (fig. 24a). De même, des terres retenues par un mur de soutènement non parasismique ou sans barbacanes (fig. 24b), ou des terrains surchargés (fig. 24c), peuvent devenir instables sous action sismique.

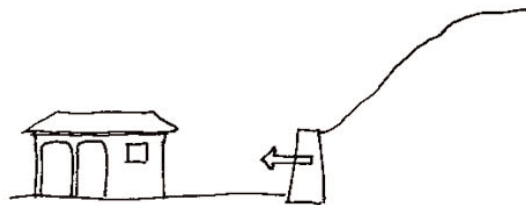
D'une manière générale, l'avis d'un géotechnicien ou géologue sur le risque de glissement est souhaitable.



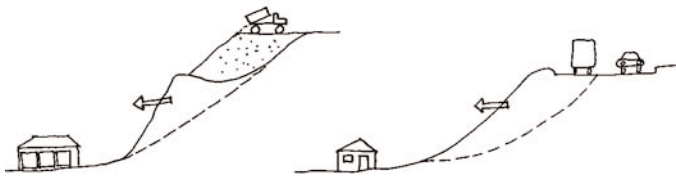
Fig. 23 - Glissement de terrain. Les constructions concernées sont emportées, qu'elles soient parasismiques ou non



a) Pentes comportant des bourrelets ou des arbres inclinés, témoins d'un glissement récent



b) Proximité d'un mur de soutènement non parasismique ou sans barbacanes, dont l'effondrement sous séisme est possible



c) Terrain surchargé

Fig. 24 - Situations pouvant donner lieu à un glissement de terrain déclenché par une action sismique

Eboulement rocheux

Les éboulements provoqués par un tremblement de terre sont fréquents dans les régions montagneuses (fig. 25). Les constructions exposées peuvent être partiellement ou totalement détruites par des blocs de pierre dévalant la pente.

Le danger d'éboulement ne peut être apprécié que par un spécialiste.

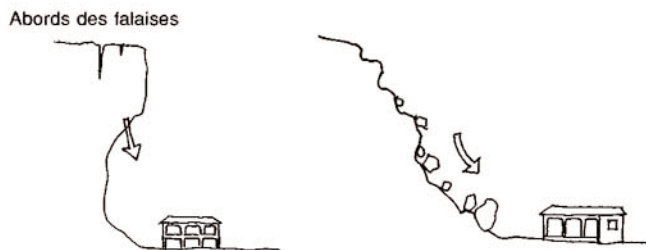


Fig. 25 - Eboulement rocheux

Tsunami et seiche

Les deux phénomènes se produisent sur des étendues d'eau :

- le **tsunami** est un raz-de-marée d'origine sismique, dont l'arrivée sur les rivages est généralement très destructeur (fig. 26a) ;
- on appelle **seiche** le ballonnement de l'ensemble de l'eau dans un bassin ou réservoir, naturel ou artificiel (fig. 26b). Les seiches peuvent également endommager les constructions situées au bord du plan d'eau.

Des tsunamis ou seiches peuvent se produire en France, mais leur occurrence est rare. Pour cette raison, ils ne sont pas pris en compte dans la présente méthode d'évaluation de vulnérabilité. Si ces phénomènes devaient être inclus dans une évaluation de vulnérabilité, en zone sismique, la plupart des constructions implantées au bord d'un lac, étang ou de la mer devraient être considérées comme menacées de ruine.

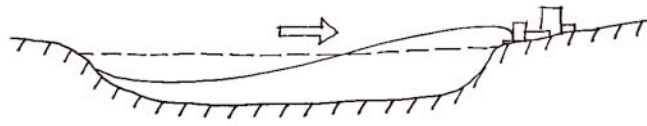
Fig. 27 - Jeux de failles



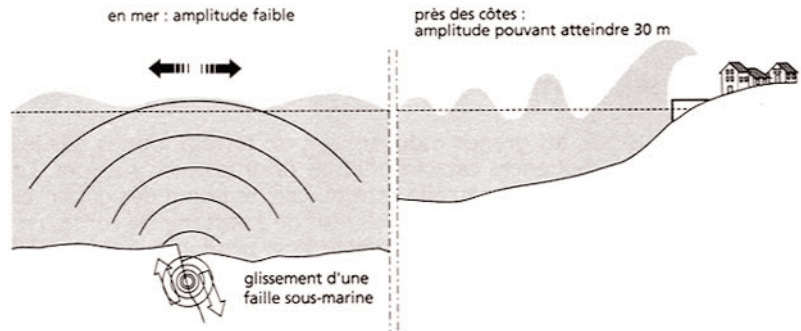
a) Décrochement vertical et horizontal (séisme de Loma Prieta, Californie, 17 octobre 1989)



b) Décrochement horizontal de 3 m qui, par chance, s'est produit à côté de la construction (séisme d'Izmit, Turquie, 17 avril 1999)



a) Tsunami : raz-de-marée d'origine sismique



b) Seiche : ballonnement de l'ensemble du volume d'eau d'un réservoir naturel ou artificiel

Fig. 26 - Effets des séismes sur les étendues d'eau

• Jeu de faille en surface

La rupture de faille apparue en surface se traduit par des rejets verticaux et des décrochements horizontaux pouvant endommager les constructions (fig. 27).

La France étant un pays de sismicité moyenne, ces phénomènes sont assez rares. En outre, l'identification d'un tracé de faille en surface n'est pas aisée; le concours d'un géologue est nécessaire.

Ce risque n'est donc pas considéré dans ce guide. Cependant, dans le cas d'une faille identifiée, l'examineur peut le prendre en compte en tant que facteur pouvant causer des dommages graves aux constructions implantées à cheval sur la faille ou à sa proximité.

Localisation très excentrée des murs de contreventement par rapport au centre de gravité G du plancher d'au moins un niveau. On peut considérer que c'est le cas lorsque la distance entre G et le barycentre R des sections des murs participant au contreventement est supérieure, dans n'importe quelle direction principale, à 30 % de la largeur du bâtiment.

Absence de chaînage horizontal ou de tirants en fer.

Pignon sans chaînage de couronnement.

Absence de tirants ou contreforts extérieurs de voûtes et coupoles.

Etage(s) porté(s) par des piliers en maçonnerie.

Toiture lourde (charpente massive) sur maçonnerie ancienne.

Charpentes exerçant des poussées sur les murs.

Planchers en bois anciens.

Murs constitués de deux parements de pierre avec un remplissage central.

Murs et trumeaux de contreventement comportant des fissures.

Murs en pierres de dimensions très différentes, éventuellement localement réparés avec des briques ou blocs de béton.

Mortier des joints pouvant être enlevé par grattage à l'aide d'une pièce métallique.

Joint de dilatation ou de tassement d'une épaisseur inférieure à 6 cm entre deux blocs de hauteurs différentes.

Voisinage

Bâtiment voisin mitoyen (mur mitoyen) ou séparé par un joint d'une épaisseur inférieure à 6 cm, possédant une hauteur différente.

Bâtiment voisin séparé du bâtiment étudié par un joint d'une épaisseur inférieure à 6 cm, les planchers des deux constructions n'étant pas aux mêmes hauteurs.

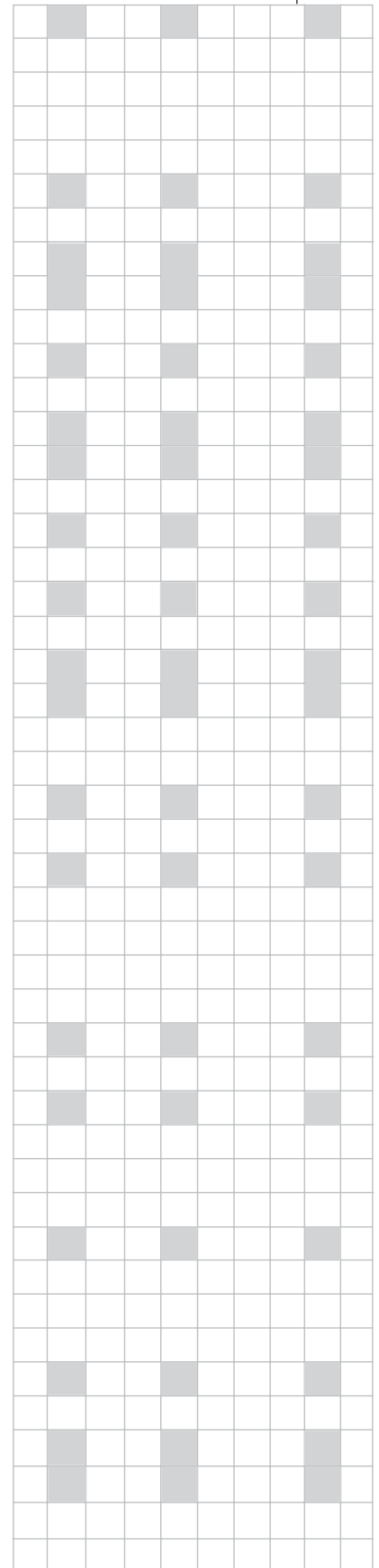
Bâtiment proche, édifié avant 1992, comportant plus de niveaux que le bâtiment étudié, situé à une distance inférieure à sa hauteur.

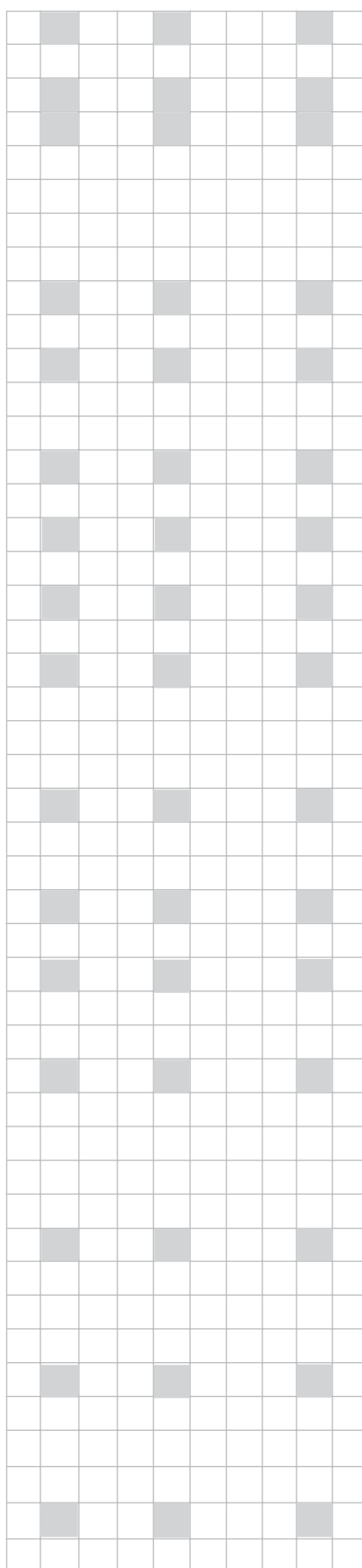
Sol et site

Construction de quatre niveaux (R + 3) ou plus, fondée sur sol très mou.

Bâtiment comportant des voûtes clavées, fondé sur sol très mou.

Sol de fondation composé d'alluvions ou d'argiles molles, de remblais peu consolidés, d'éboulis, de tourbe ou d'un matériau pulvérulent.





Sol saturé d'eau et susceptible de liquéfaction.

Terrain susceptible de glissement.

Possibilité d'un éboulement rocheux en amont.

Facteurs de type " b "

Architecture

Présence de murs de façade ou de murs intérieurs courbes.

Un ou plusieurs étages en retrait de plus de 50 % par rapport au niveau du dessous.

Ailes ou volumes en saillie de plus de 50 % de la largeur du bâtiment dans la même direction.

Largeur du bâtiment variant du simple au double ou plus.

Elancement géométrique de l'immeuble (hauteur/largeur) supérieure à 2,5 dans au moins une direction.

Niveau souple : longueur totale des murs et trumeaux assurant le contreventement dans une direction, représente 70 % à 80 % de la longueur des murs et trumeaux du niveau immédiatement supérieur.

Au rez-de-chaussée, la largeur d'un ou plusieurs trumeaux de contreventement réduite par une porte, grande fenêtre, vitrine ou coffrets encastrés.

Trumeaux d'angle d'une largeur inférieure à 120 cm.

Dalles en porte-à-faux supérieur à 2 m.

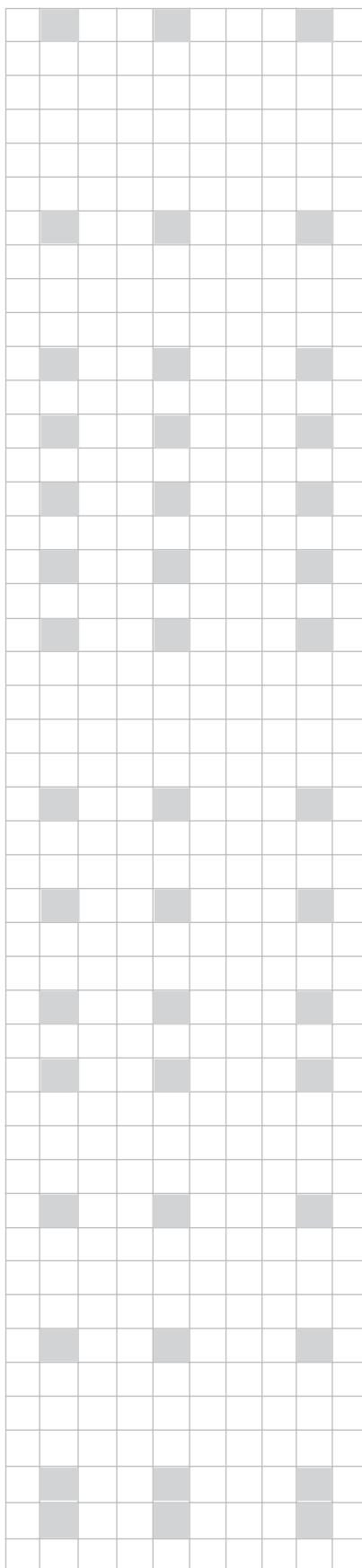
Structure

Trumeaux d'une largeur supérieure à 1 m et murs de façade en blocs de béton ou briques totalisant, à chaque niveau, moins de 30 %, 35 %, 40 % ou 45 % de la longueur de la façade, respectivement dans le cas des bâtiments à simple rez-de-chaussée, R + 1, R + 2 et R + 3 ou plus.

Trumeaux d'une largeur supérieure à 1 m et murs de façade en pierre non taillée totalisant, à chaque niveau, moins de 35 %, 40 %, 45 % de la longueur de la façade, respectivement dans le cas des bâtiments à simple rez-de-chaussée, R + 1 et R + 2.

Dans au moins un niveau, la distance entre le centre de gravité des planchers G et le barycentre R des sections des murs participant au contreventement représente, dans n'importe quelle direction principale, 20 % à 30 % de la largeur du bâtiment.

Joint de dilatation ou de tassement d'une largeur inférieure à 6 cm entre deux blocs de même hauteur.



Dans au moins un niveau, la distance entre le centre de gravité du plancher G et le barycentre R des sections des murs participant au contreventement, est supérieure, dans n'importe quelle direction principale, à 40 % de la largeur du bâtiment.

Voisinage

Bâtiment proche construit avant 1992, comportant plus de niveaux que le bâtiment étudié, situé à une distance inférieure à sa hauteur.

Sol et site

Construction de six niveaux (R + 5) ou plus, fondée sur sol mou.

Sol de fondation composé d'alluvions ou d'argiles molles, de remblais peu consolidés, d'éboulis, de tourbe ou d'un matériau pulvérulent.

Sol saturé d'eau et susceptible de liquéfaction.

Terrain susceptible de glissement.

Possibilité d'un éboulement rocheux en amont.

Facteurs de type " b "

Architecture

Niveau souple : longueur totale des murs et trumeaux assurant le contreventement dans une direction représentant 65 % à 75% de la longueur des murs et trumeaux du niveau immédiatement supérieur.

Présence de voiles transversaux divisés en deux parties par une colonne d'ouvertures superposées (fenêtres, porte-fenêtres, couloirs,...).

Largeur des trumeaux de contreventement réduite de plus de 50 % au rez-de-chaussée par une porte, grande fenêtre ou vitrine.

Dalles en porte-à-faux supérieur à 2,5 m.

Structure

Contreventement perpendiculaire aux voiles réalisé en murs de maçonnerie totalisant, dans au moins un niveau, moins de 30 %, 35 %, 40 % ou 45 % de la longueur du bâtiment dans cette direction, respectivement dans le cas des bâtiments à simple rez-de-chaussée, R + 1, R + 2 et R + 3 et plus.

Dans au moins un niveau, la distance entre le centre de gravité du plancher G et le barycentre R des sections des murs participant au contreventement représente, dans n'importe quelle direction principale, 30 à 40 % de la largeur du bâtiment.

Joint de dilatation ou de tassement d'une largeur inférieure à 6 cm.

Charpente de toiture faiblement contreventée ou faiblement ancrée.

Béton des murs dégradé ou murs fissurés.

Voisinage

Bâtiment proche édifié avant 1992, situé à une distance supérieure à sa hauteur.

Sol et site

Construction de 4 ou 5 niveaux fondée sur un sol mou.

5.5. SYSTEMES PORTEURS EN POTEAUX ET POUTRES DE BETON ARME COULES EN PLACE ET CONSTRUCTIONS MIXTES EN OSSATURE ET VOILES

5.5.1. DESCRIPTION

Les éléments porteurs verticaux sont des poteaux ou des voiles. Ces derniers peuvent constituer un ou plusieurs noyaux rigides fermés ou ouverts. Les planchers sont en dalles de béton armé avec ou sans nervures ou solives, coulées en place, semi-préfabriquées ou préfabriquées. Le contreventement peut être assuré par :

- effet de portique ;
- murs de remplissage en maçonnerie ;
- voiles de béton ;
- éléments diagonaux en béton armé ou acier (rare).

Chaque bloc d'un bâtiment fractionné doit être contreventé indépendamment.

Les systèmes mixtes en ossature et voiles ont, en général, un comportement sous séisme satisfaisant. En revanche, les ossatures comportant des remplissages en maçonnerie subissent souvent des dommages importants lors de séismes violents. De même, les ossatures non parasismiques contreventées par effet de portique ont une résistance aux séismes limitée.

5.5.2. LISTE DE VÉRIFICATION DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ

Facteurs de type " a "

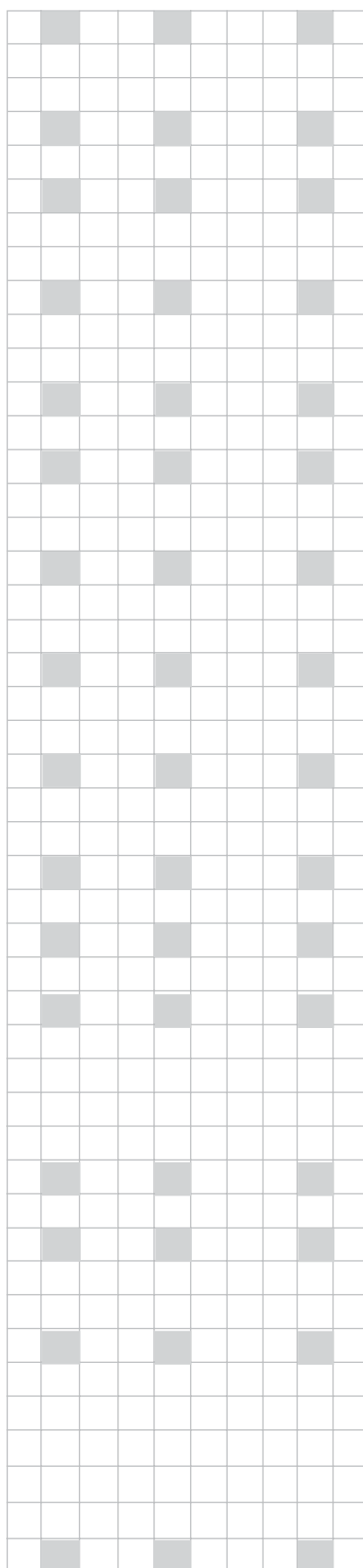
Architecture

Bâtiment en portiques sans autre contreventement, comportant des ailes non séparées par des joints de fractionnement.

Construction édifiée sur une pente avec le niveau inférieur (rez-de-jardin) contreventé principalement par portiques.

Niveau souple : bâtiment dont le rez-de-chaussée est contreventé par portiques seuls dans au moins une direction, les étages comportant des murs ou des palées de stabilité.

	OUI	NON	SO
Béton des murs dégradé ou murs fissurés.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Voisinage</i>			
Bâtiment proche édifié avant 1992, situé à une distance supérieure à sa hauteur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Sol et site</i>			
Construction de 4 ou 5 niveaux fondée sur un sol mou.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.5. SYSTEMES PORTEURS EN POTEAUX ET POUTRES DE BETON ARME COULES EN PLACE ET CONSTRUCTIONS MIXTES EN OSSATURE ET VOILES			
5.5.1. DESCRIPTION			
Les éléments porteurs verticaux sont des poteaux ou des voiles. Ces derniers peuvent constituer un ou plusieurs noyaux rigides fermés ou ouverts. Les planchers sont en dalles de béton armé avec ou sans nervures ou solives, coulées en place, semi-préfabriquées ou préfabriquées. Le contreventement peut être assuré par :			
<ul style="list-style-type: none"> - effet de portique ; - murs de remplissage en maçonnerie ; - voiles de béton ; - éléments diagonaux en béton armé ou acier (rare). 			
Chaque bloc d'un bâtiment fractionné doit être contreventé indépendamment.			
Les systèmes mixtes en ossature et voiles ont, en général, un comportement sous séisme satisfaisant. En revanche, les ossatures comportant des remplissages en maçonnerie subissent souvent des dommages importants lors de séismes violents. De même, les ossatures non parasismiques contreventées par effet de portique ont une résistance aux séismes limitée.			
5.5.2. LISTE DE VÉRIFICATION DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ			
<i>Facteurs de type " a "</i>			
<i>Architecture</i>			
Bâtiment en portiques sans autre contreventement, comportant des ailes non séparées par des joints de fractionnement.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Construction édifiée sur une pente avec le niveau inférieur (rez-de-jardin) contreventé principalement par portiques.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niveau souple : bâtiment dont le rez-de-chaussée est contreventé par portiques seuls dans au moins une direction, les étages comportant des murs ou des palées de stabilité.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Toiture végétalisée portée par des portiques sans autre contreventement (fig. 9b).

Poteaux participant au contreventement (cas des portiques) présentant des sections affaiblies par des percements ou réductions.

Poteaux courts ou bridés (élançements géométriques de la partie libre inférieure à 4) participant au contreventement.

Bâtiment en portiques sans autre contreventement, présentant un niveau en retrait de plus de 50 % de la largeur du bâtiment dans la ou les directions concernées.

Système en portiques dont les traverses sont des poutres-allèges.

Système en portiques sans autre contreventement, comportant des poteaux non superposés.

Planchers d'un même niveau situés à des hauteurs différentes : différence supérieure à 1,5 m entre la face supérieure du plancher bas et la sous-face du plancher haut.

Passerelles ou escaliers extérieurs reliant deux blocs de bâtiments.

Structure

Bâtiments de trois niveaux (R + 2) ou plus, à structure en portiques sans autre contreventement dans au moins une direction.

Bâtiment de cinq niveaux (R + 4) ou plus contreventé par des murs de remplissage en maçonnerie.

Porte-à-faux supportant deux niveaux ou plus.

Dans au moins un niveau des bâtiments contreventés (par des murs ou palées de stabilité), la distance entre le centre de gravité des planchers G et le barycentre R des longueurs des éléments de contreventement représente, dans n'importe quelle direction principale, plus de 30 % de la largeur du bâtiment.

Poteaux participant au contreventement ayant un élançement géométrique supérieur à 10.

Système en portiques sans autre contreventement dans au moins une direction, dont certains poteaux ont une largeur au moins deux fois plus grande que les poteaux courants.

Longueur totale des éléments de contreventement d'au moins un niveau inférieure à 25 %, 30 %, 35 % ou 40 % de la longueur du bâtiment dans cette direction, respectivement dans le cas des constructions à simple rez-de-chaussée, R + 1, R + 2 et R + 3 ou plus.

Joint de fractionnement d'une largeur inférieure à 6 cm, entre deux blocs contreventés par effet de portique.

Éléments de portique, notamment nœuds et poteaux, présentant des dégradations de béton, armatures apparentes ou fissures.

Voisinage

Bâtiment en portiques sans murs de contreventement perpendiculaires au bâtiment voisin, séparé de celui-ci par un joint d'une largeur inférieure à 6 cm.

Bâtiment proche édifié avant 1992, possédant un nombre de niveaux supérieur au bâtiment étudié, situé à une distance inférieure à sa hauteur.

Sol et site

Bâtiment en portiques sans autre contreventement dans au moins une direction, fondé sur un sol très mou.

Sol de fondation composé d'alluvions ou d'argiles molles, de remblais peu consolidés, d'éboulis, de tourbe ou d'un matériau pulvérulent.

Sol saturé d'eau et susceptible de liquéfaction.

Terrain susceptible de glissement.

Possibilité d'un éboulement rocheux en amont.

Facteurs de type " b "

Architecture

Bâtiments contreventés par des murs ou palées de stabilité, comportant des ailes non séparées par des joints de fractionnement.

Profondeur d'un bloc de bâtiments non fractionné, variant du simple au double ou plus.

Niveau souple : longueur totale des éléments de contreventement (murs, palées de stabilité) inférieure à 70 % de celle du niveau immédiatement supérieur.

Poutres de la structure principale non centrées sur les poteaux.

Bâtiments contreventés par des murs, présentant un niveau en retrait de plus de 50 % de la largeur du bâtiment, dans la ou les directions concernées.

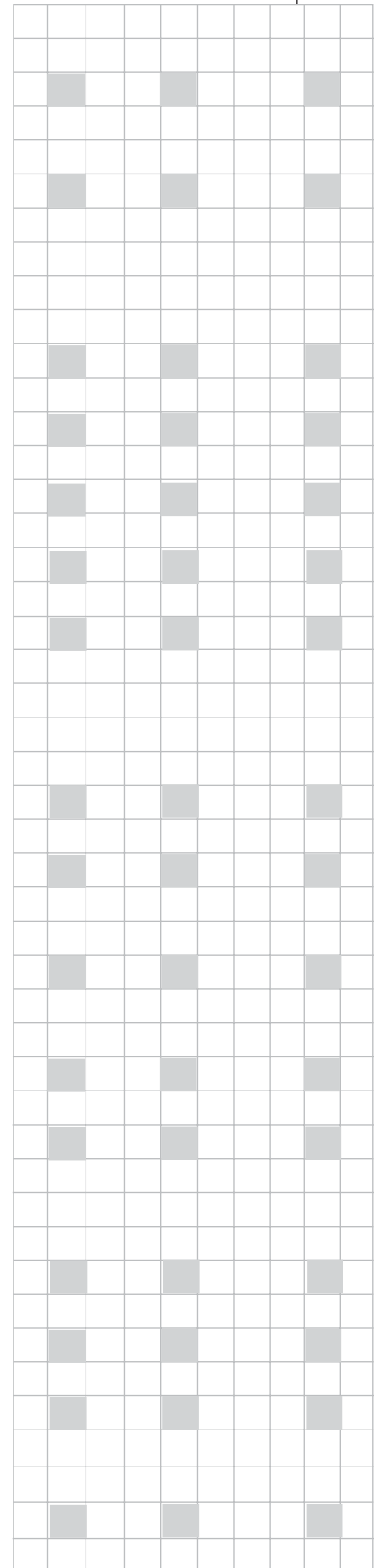
Planchers d'un même niveau situés à des hauteurs différentes : différence de 0,80 à 1,5 m entre la face supérieure du plancher bas et la sous-face du plancher haut.

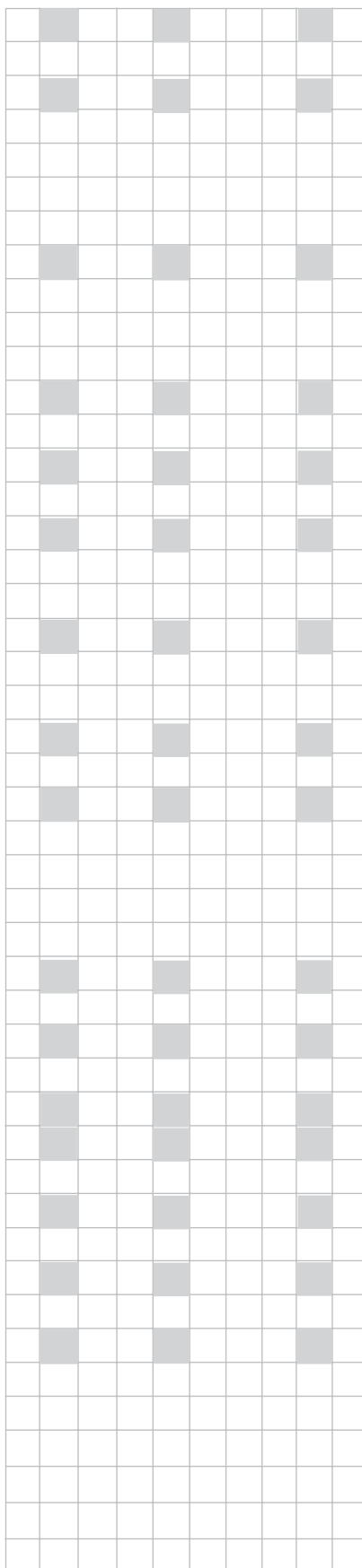
Dalles en porte-à-faux supérieur à 2,5 m.

Poutres en porte-à-faux supérieur à 3,5 m.

Structure

Bâtiment de deux niveaux (R + 1) ou plus, à structure en portiques sans autre contreventement dans au moins une direction.





Ossature contreventée par des murs de remplissage en maçonnerie.

Dans au moins un niveau des bâtiments contreventés (par des murs ou palées de stabilité), la distance entre le centre de gravité des planchers G et le barycentre R des longueurs des éléments de contreventement représentant, dans n'importe quelle direction principale, 20 à 30 % de la largeur du bâtiment.

Longueur totale des éléments de contreventement d'au moins un niveau inférieure à 30 %, 35 %, 40 % ou 45 % de la longueur du bâtiment dans cette direction, respectivement dans le cas des constructions à simple rez-de-chaussée, R + 1, R + 2, R + 3 ou plus.

Poteaux participant au contreventement ayant un élancement géométrique entre 6 et 10.

Niveau(x) en saillies portés par des éléments en porte-à-faux de plus de 2 m, repris à chaque niveau.

Joint de fractionnement d'une largeur inférieure à 6 cm entre deux blocs contreventés par des murs ou palées de stabilité.

Charpente de toiture faiblement contreventée ou faiblement ancrée.

Voisinage

Bâtiment voisin séparé par un joint d'une largeur inférieure à 6 cm.

Bâtiment proche édifié avant 1992, d'une hauteur égale ou inférieure, situé à une distance inférieure à sa hauteur.

5.6. ELEMENTS NON STRUCTURAUX

Jardinières, garde-corps en pierre ou maçonnerie, ou autre élément lourd à l'extrémité des porte-à-faux.

Acrotères en maçonnerie.

Lucarnes en maçonnerie.

Corniche en maçonnerie.

Cheminées ou conduits de ventilation maçonnés, non renforcés et ayant un élancement géométrique supérieur à 2.

Climatiseurs, brise-soleil ou autres éléments lourds en façade.

Plafonds lourds (terre cuite, grille métallique, etc.)

6. CONCLUSION

Le diagnostic de présomption de vulnérabilité aux séismes d'un bâtiment existant (le prédiagnostic) est un outil de décision sur les éventuels renforcements à entreprendre. Les situations suivantes peuvent se présenter:

- décision de ne pas renforcer le bâtiment (construction peu vulnérable ou, au contraire, très vulnérable, le renforcement représentant un coût prohibitif) ;
- renforcement préventif (travaux économiquement envisageables) ; avant les travaux, une étude quantitative est nécessaire ;
- nécessité d'un diagnostic qualitatif ou quantitatif plus approfondi (le prédiagnostic n'ayant pas permis d'identifier tous les facteurs de vulnérabilité essentiels, en raison de la complexité de l'ouvrage ou de la nécessité de sondages destructifs).

La méthode d'évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes présentée ici s'applique aux bâtiments en maçonnerie ou béton armé courants en France métropolitaine.

Cependant, en l'absence d'autres guides de ce genre sur le marché français (début 2002), elle peut être utilisée sur d'autres types de construction moyennant une interprétation judicieuse de la relation de cause à effet entre les oscillations de l'ouvrage et les dommages qui en résultent.

A ce propos, la lecture des rapports de missions postsismiques publiés et diffusés par l'Association française du génie parasismique (AFPS) est fortement recommandée. Depuis 1985, pratiquement tous les grands séismes survenus dans le monde, de même que les séismes français de Saint-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées-Orientales), d'Epagny (Annecy, Haute-Savoie) de 1996, ainsi que celui de Martinique de 1999, ont fait l'objet d'un rapport.



GLOSSAIRE

Contreventement - Ensemble d'éléments de construction assurant la rigidité et la stabilité d'un bâtiment vis-à-vis des forces horizontales engendrées par le vent, les secousses sismiques ou autres causes.

Ductilité - Capacité d'un matériau, et par extension celle d'un élément ou d'une structure, à subir avant rupture des déformations plastiques (voir **Plastique**), sans perte significative de résistance. Une ductilité importante permet :

- de prévenir une rupture brutale (fragile) de la structure et sa dislocation,
- de plafonner les charges sismiques,
- d'améliorer la résistance des éléments constructifs aux charges par redistribution des contraintes sur les sections non endommagées.

Effets de site - Amplification (cas général) ou atténuation du mouvement du sol en surface, causée par les caractéristiques locales du site : topographie, géologie, etc.

Effets induits par un séisme - Grands mouvements de sol et d'eau, pouvant être destructeurs, générés par le séisme. Il peut s'agir :

- du déclenchement d'un phénomène latent par la mise en action des sols (glissements et effondrements de terrains, éboulis,...),
- de la genèse d'un phénomène spécifique, lié au caractère ondulatoire du mouvement (liquéfaction des sols, tsunamis, seiches).

Élancement géométrique - Rapport de la longueur d'une pièce à sa plus petite dimension transversale.

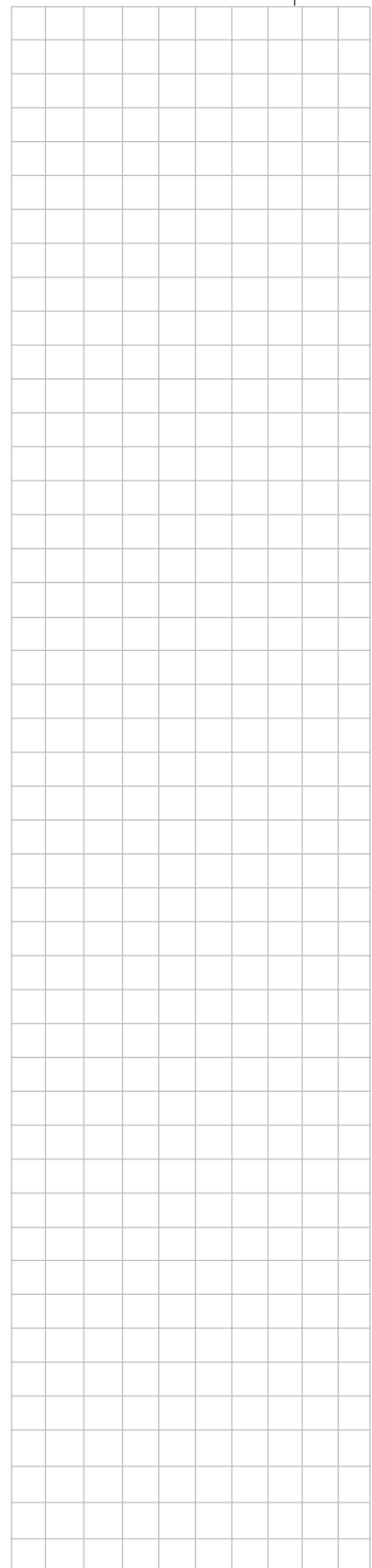
Elastique (déformation) - Déformation réversible. Le retour à la position non déformée se fait sans désordres après la suppression des charges qui ont provoqué la déformation, contrairement à la déformation plastique (voir ce terme).

Faille - Fracture de l'écorce terrestre, provoquée par un glissement relatif des parties séparées, dont les bords sont appelés " lèvres ". Le plan de glissement (plan de faille) est le plus souvent oblique.

Faille active - Faille sur laquelle un glissement s'est produit à une période géologique récente et dont on présume qu'elle peut engendrer un séisme futur.

Flambage (ou flambement) - Déformation latérale d'un élément élancé sous l'action d'une compression axiale. Les poteaux, les voiles, les barres de contreventement,..., sont sujets à flambage.

Fréquence d'oscillation - Nombre de cycles d'oscillation par seconde (unité : hertz). Elle correspond à la valeur inverse de la période d'oscillation (unité : seconde).





Fréquence propre d'oscillation (d'un bâtiment) - Fréquence à laquelle un bâtiment oscille librement dès l'arrêt des oscillations forcées et jusqu'à l'amortissement complet du mouvement. Elle est estimée pour chaque type de structure en fonction de ses caractéristiques mécaniques et géométriques. La fréquence propre d'un bâtiment est une notion importante en conception parasismique, car si elle est proche ou identique à celle du sol d'assise, le bâtiment entre en résonance avec ce dernier, ce qui peut lui être fatal. On devrait donc concevoir les constructions de manière que leur fréquence propre soit très différente de celle du sol.

Intensité macrosismique (d'un séisme) - Degré d'effets sur l'homme, les constructions et l'environnement, observés sur un site donné (l'intensité macrosismique est donc liée à un site). Etant donné que l'importance des effets sismiques décroît avec la distance de l'épicentre, l'intensité épiscopentrale est en général la plus élevée.

L'intensité est déterminée par référence à une échelle conventionnelle dite " échelle macrosismique d'intensité ". En Europe, on utilise l'échelle EMS 92 (European Macroseismic Scale), comportant 12 degrés, dérivée de l'échelle MSK 64.

Joint parasismique - Joint de fractionnement d'un bâtiment en blocs de forme simple. Il doit avoir une largeur suffisante pour prévenir l'entrechoquement des blocs adjacents (minimum 4 cm en zones Ia et Ib, 6 cm en, zones II et III) et être vide de tout matériau. En zone sismique, les joints de dilatation et de tassement doivent être traités en tant que joints parasismiques.

Liquéfaction du sol - Transformation momentanée, par un séisme, de sols fins saturés d'eau en un fluide dense sans aucune résistance au cisaillement.

Magnitude d'un séisme - Mesure de la puissance du séisme considéré à son foyer. Elle est généralement déterminée à partir de l'amplitude des secousses du sol et augmente avec l'étendue de la rupture de la faille qui a déclenché le séisme. Dans les médias, elle est en général appelée " **degré sur l'échelle de Richter** ".

Nœud d'ossature - Intersection de poteaux et de poutres.

Ossature - Structure dont les éléments verticaux sont constitués de poteaux par opposition aux murs ou voiles.

Palée de stabilité - Élément vertical de contreventement constituée par une travée triangulée (triangulation en X, V ou autre).

Plastique (déformation) - Déformation irréversible des éléments constructifs réalisés en matériaux ductiles (cf. Ductilité). Ce type de déformation se produit au-delà de la limite d'élasticité et peut donner lieu à une importante dissipation d'énergie, donc à une diminution de l'amplitude des oscillations.

Portique ou cadre rigide - Structure composée de poteaux et de poutres rigidement liés ensemble. L'angle qu'ils forment est donc conservé même lorsqu'ils sont déformés sous l'action de charges. Par opposition, les poteaux et les poutres articulés, à angles variables, forment des cadres non rigides.

Les portiques peuvent être simples (à une travée), multiples (à plusieurs travées), à étages ou multiples étages. Ils constituent des éléments de contreventement vertical des bâtiments.

Réponse d'une structure au séisme - Amplification (cas général) ou atténuation par la structure des secousses subies au niveau de ses fondations. Elle est caractérisée par les accélérations, les vitesses et les déplacements de ses éléments, notamment des principales masses que sont les planchers et les toitures.

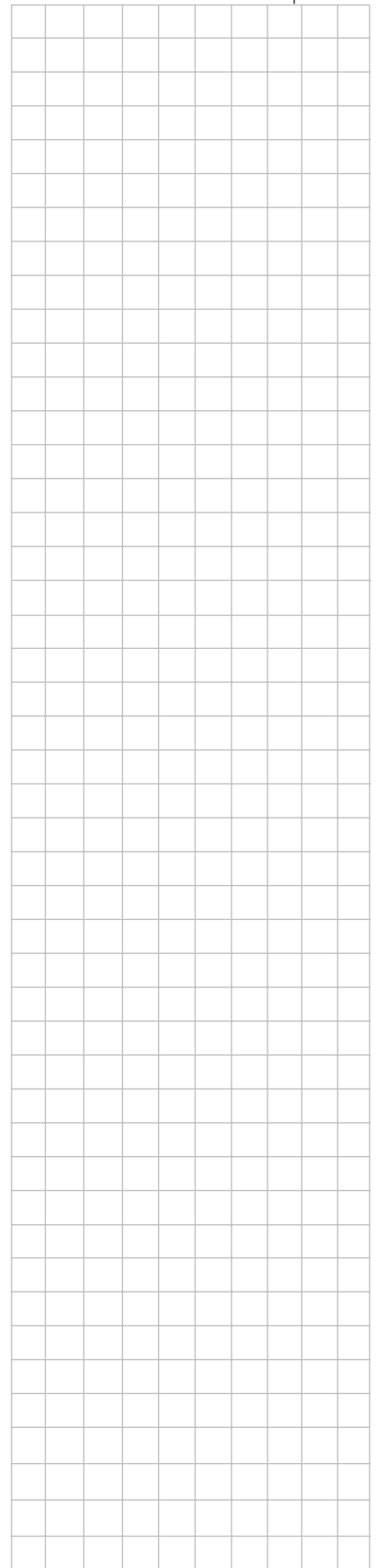
Résonance (d'un bâtiment avec le sol) - Oscillation en phase d'un bâtiment et de son sol d'assise. Elle a pour conséquence une augmentation rapide de l'amplitude des oscillations. C'est un des phénomènes les plus destructeurs lors d'un tremblement de terre.

Seiche - Oscillation de l'ensemble du volume d'eau d'un réservoir naturel (baie, lac) ou artificiel.

Stabilité de forme - Capacité d'une structure ou d'un de ses éléments à conserver sa forme sous l'action des charges, aux petites déformations élastiques près. L'instabilité de forme, qui est due à un manque de rigidité transversale, affecte les éléments élancés ou à parois minces qui sont mis hors service par cloquage, flambage, déversement, etc., avant que la résistance de leur matériau soit épuisée par ailleurs.

Tsunami - Grande onde engendrée en général par un séisme sous-marin et pouvant traverser un océan en quelques heures (raz-de-marée d'origine sismique).

Vulnérabilité d'une construction aux séismes - Importance des dommages attendus lors d'un séisme d'une intensité donnée. Elle est en général exprimée en pourcentage du coût de la construction ou sur une échelle variant de 0 (aucun dommage) à 1 (perte totale).



BIBLIOGRAPHIE

AFPS - Rapports de missions postsismiques, Association française du génie parasismique, 28, rue des Saints-Pères, 75343 Paris cedex 07

ZACEK M. - Vulnérabilité aux séismes et renforcement des bâtiments existants. Etude méthodologique, Les Grands Ateliers de l'Isle-d'Abeau, Villefontaine, 2001

ZACEK M. - Conception parasismique des bâtiments. Niveau avant-projet, Les Grands Ateliers de l'Isle-d'Abeau, Villefontaine, 1999

ZACEK M. - Construire parasismique, Editions Parenthèses, Marseille, 1996

CREDITS PHOTOS ET FIGURES

AFPS, Guide CP-MI - fig. 6a

Balandier P. - fig. 19

BARREPP - fig. 16, 27a

China academic publishers - fig. 15

EERI, University of California, Berkeley, Godden collection - fig. 9, 13, ;
Steinbrugge collection - fig. 8

Mouroux P. - fig. 27b

Weliachew B. - fig. 11, 18

Zacek M. - fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6b, 7, 10, 12, 20, 21, 23, 24, 25, 26

Droits réservés - fig. 14, 17, 22

Collection des cahiers parasismiques

Cahier 1, Conception parasismique niveau avant-projet, Milan Zacek,

Le cahier 1 porte sur la conception parasismique des bâtiments neufs, et montre l'importance de la prise en compte du phénomène sismique par l'architecte et l'ingénieur dès le début de la conception, et de l'adoption de dispositions architecturales et de principes de construction appropriés.

Cahier 2, Vulnérabilité et renforcement, Milan Zacek,

Le cahier 2 présente différentes méthodes de diagnostic de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants, et propose des stratégies de réhabilitation parasismique, ainsi que les techniques de renforcement des structures en béton armé.

Il est complété par le cahier 2-a qui propose une méthode d'évaluation de présomption de vulnérabilité, ou « pré-diagnostic » se déclinant selon la complexité de l'édifice.

Cahier 2-a, Guide d'évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants – Cas des constructions en maçonnerie et béton armé, Milan Zacek,

Le cahier 2-a, annexé au cahier 2, présente différentes méthodes de diagnostic de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants en béton armé et maçonnerie, et propose des stratégies de réhabilitation parasismique, ainsi que les techniques de renforcement des structures.

Il propose une méthode d'évaluation de présomption de vulnérabilité, ou « pré-diagnostic » se déclinant selon la complexité de l'édifice, une telle étude pouvant être réalisée par un architecte sans formation parasismique particulière, complétée, en ce qui concerne les sols et effets de site, par l'avis d'un géotechnicien.

Cahier 3, Urbanisme et aménagement territorial en zone sismique, objectifs et problématique, Patricia Balandier,

Le cahier 3 examine les dispositions en matière d'urbanisme et d'aménagement, généralement inappropriées, et propose des actions et des recommandations pour réduire le bilan des catastrophes et améliorer la préparation de la société à leur éventualité.

Résultant des observations réalisées à l'occasion de missions post-sismiques, et de l'examen de très nombreux rapports ou dépêches après séismes, ces propositions sont en grande partie généralisables pour se préparer à d'autres types de risques majeurs, naturels ou technologiques.

Cahier 4, Sismologie appliquée à l'usage des architectes et ingénieurs, Patricia Balandier,

Le cahier 4 décrit les mécanismes de la tectonique des plaques et les phénomènes sismiques, qui provoquent les différents types de séismes, leurs caractéristiques et leurs modes de propagation. La connaissance de ces phénomènes est nécessaire au constructeur pour comprendre leurs effets sur les constructions, et aborder les questions de politique de prévention. L'ouvrage aborde enfin comment la traduction réglementaire de ces études de sismologie, qui simplifie nécessairement la prise en considération des phénomènes étudiés plus haut, ne doit pas dissimuler leur complexité, mais permettre de mieux comprendre les arbitrages qui président à la mise en œuvre de la politique de mitigation du risque sismique.



BOULEVARD DE VILLEFONTAINE
BP 43, 38092 VILLEFONTAINE CEDEX
FRANCE
Tél 33 (0)4 74 96 88 70
Fax 33 (0)4 74 96 88 71

www.lesgrandsateliers.fr

S'adressant aux architectes et ingénieurs, enseignants et professionnels, la collection des cahiers parasismiques constitue un ensemble de référence des connaissances nécessaires à la conception, la construction et la protection des édifices et des villes contre le phénomène sismique.

Le présent cahier fait suite au cahier 2 qui présente différentes méthodes de diagnostic de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants, et propose des stratégies de réhabilitation parasismique, ainsi que les techniques de renforcement des structures en béton armé.

Il propose une méthode d'évaluation de présomption de vulnérabilité, ou « pré-diagnostic » se déclinant selon la complexité de l'édifice, une telle étude pouvant être réalisée par un architecte sans formation parasismique particulière, complétée, en ce qui concerne les sols et effets de site, par l'avis d'un géotechnicien.

DANS LA COLLECTION CONCEPTION PARASISMIQUE



cahier 1

CONCEPTION PARASISMIQUE
NIVEAU AVANT-PROJET
MILAN ZACEK



cahier 2

VULNÉRABILITÉ
ET RENFORCEMENT
MILAN ZACEK



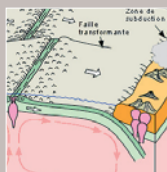
cahier 2-a

ÉVALUATION DE LA PRÉSUMPTION
DE VULNÉRABILITÉ AUX SEISMES
DES BÂTIMENTS EXISTANTS
MILAN ZACEK



cahier 3

URBANISME
ET AMÉNAGEMENT
PATRICIA BALANDIER



cahier 4

SISMOLOGIE
APPLIQUÉE
PATRICIA BALANDIER

ISBN : 2-913962-02-5



9 782913 962026