

Alain Billard

Risque sismique et patrimoine bâti

Comment réduire la vulnérabilité:
savoirs et savoir-faire



COLLECTION
EUROCODE

afnor
EDITIONS

EYROLLES

Sommaire

Avant-propos	XI
Introduction	1
CHAPITRE 1. Éléments de physique du bâtiment	5
CHAPITRE 2. Observation dans des régions à risques sismiques : éléments d'une culture de protection des bâtiments	173
CHAPITRE 3. Comprendre pour proposer des solutions de confortement : quelques cas d'étude	293
Annexes	359

Table des matières

Avant-propos	XI
Introduction	1
CHAPITRE 1. Éléments de physique du bâtiment	5
1.1 Notions de base	5
1.1.1 Les efforts et les équilibres	5
1.1.1.1 <i>Mouvements fondamentaux d'un bâtiment</i>	5
1.1.1.2 <i>Cheminement réactif aux sollicitations : recevoir l'énergie, la stocker et la dissiper</i>	6
1.1.1.3 <i>Cheminement de l'énergie et prise en charge par la géométrie des structures en portique</i>	11
1.1.1.4 <i>Rappel des quelques éléments fondamentaux de géométrie sur le cheminement des forces</i>	12
1.1.1.5 <i>Tableau de correspondances des pressions</i>	28
1.1.2 L'équilibre statique	28
1.1.2.1 <i>Définitions générales et valeurs conventionnelles des paramètres</i>	28
1.1.2.2 <i>Les descentes de charges</i>	34
1.1.2.3 <i>Valeurs réglementaires paramétrables des matériaux</i>	38
1.1.2.4 <i>Éléments de calculs approchés des constituants d'une structure</i> ...	41
1.1.2.5 <i>Annexe sur la flexion simple des planchers</i>	47
1.1.2.6 <i>Faire varier les raideurs des constituants de la structure en situation statique</i>	56
1.1.2.7 <i>Conception globale de l'équilibre statique d'un bâtiment en portiques</i>	60
1.1.3 L'équilibre dynamique	62
1.1.3.1 <i>Définition générale</i>	62
1.1.3.2 <i>Descentes de charges</i>	62
1.1.3.3 <i>Définitions des concepts de poteaux courts et de poteaux longs</i> ...	69
1.1.3.4 <i>Modes d'approche de la stabilité dynamique des structures par les raideurs</i>	72
1.1.4 Un bâtiment est une console	77
1.1.4.1 <i>Concept de console et modes de déformations</i>	77
1.1.4.2 <i>Comportement isotrope, comportement anisotrope</i>	89
1.1.4.3 <i>Porteurs courts et porteurs longs : les différents comportements en situation statique et en situation dynamique</i>	89

1.1.5	Équilibre des structures	93
1.1.5.1	<i>Définitions des différentes structures: les structures-poids, les structures en portiques et les structures spéciales ou de hautes performances</i>	93
1.1.5.2	<i>Comportements spécifiques</i>	94
1.2	Éléments de physique spécifiques à la prévention du risque sismique	108
1.2.1	Données générales	108
1.2.1.1	<i>Origine et lecture des vibrations</i>	108
1.2.1.2	<i>Fréquences et périodes</i>	115
1.2.1.3	<i>Effet de site: définitions, recommandations</i>	124
1.2.2	Données spécifiques	131
1.2.2.1	<i>Classification des sols, vitesses de cisaillement et densités</i>	131
1.2.2.2	<i>Hauteur de calcul</i>	133
1.2.2.3	<i>Critères de régularité des bâtiments</i>	134
1.2.2.4	<i>Barycentre des masses (G), barycentre des torsions (T), réduction de l'excentricité ($e_0 = GT$)</i>	147
1.2.2.5	<i>Cas particulier des bâtiments sans planchers intermédiaires</i>	154
1.2.2.6	<i>Accélération de calcul selon EC.8</i>	155
1.2.2.7	<i>Joints de rupture, joints de dilatation</i>	157
1.2.3	Force statique équivalente/forces latérales	162
1.2.3.1	<i>Détermination des paramètres soumis à des évaluations appréciables</i>	164
1.2.3.2	<i>Spectre de réponse élastique permettant de déterminer le paramètre a_s</i>	166
1.2.3.3	<i>Déplacement de calcul du sol (d_g)</i>	168
1.2.3.4	<i>Spectre de calcul pour l'analyse élastique</i>	168
1.2.3.5	<i>Coefficient de comportement: q_a</i>	170
1.2.4	Méthode algébrique pour le calcul des déplacements des niveaux	170
1.2.4.1	<i>Équation simplifiée d'équilibre</i>	170
1.2.4.2	<i>Démarche algébrique pour le calcul des déplacements</i>	171
 CHAPITRE 2. Observation dans des régions à risques sismiques: éléments d'une culture de protection des bâtiments		
2.1	Balancement et déplacement	173
2.1.1	Rigidité globale de l'édifice et mode de fondation	174
2.1.2	Types de structure portante (poteaux longs, poteaux courts) et modes de fondation	176
2.1.3	Autres paramètres	179
2.2	Terrassements et fondations	179
2.2.1	À propos des assises des colonnades du temple de Ségeste	181
2.2.1.1	<i>Les colonnades ne se sont jamais effondrées</i>	182
2.2.1.2	<i>L'ouvrage peut être fragilisé par l'effet de site</i>	184

	2.2.1.3	<i>Le premier tambour de chaque colonne est posé sur une pierre spéciale</i>	185
	2.2.2	À propos des fondations et des piliers des ponts-canaux sur les aqueducs romains	185
	2.2.3	À propos des assises des poteaux et des murs anciens en Ouzbékistan	194
	2.2.3.1	<i>Les pieds de poteaux</i>	194
	2.2.3.2	<i>Les fondations des murs</i>	198
	2.2.3.3	<i>Conclusion des observations faites sur les fondations</i>	204
Avant- Introd	2.3	Murs, poteaux et piliers dissipateurs d'énergie	205
	2.3.1	Le mur en terre façonné sur place	206
	2.3.2	Mise en œuvre en pleine masse	207
	2.3.2.1	<i>Le mur en brique</i>	207
	2.3.2.2	<i>Le mur en pierre</i>	209
	2.3.2.3	<i>Mise en œuvre en parement-coffrage</i>	210
	2.3.2.4	<i>Mise en œuvre en remplissage de portiques, le problème des contreventements</i>	213
	2.3.3	Les glissières dissipatrices d'énergie	215
	2.3.4	Les habillages dissipateurs d'énergie	225
CHAPITRE	2.4	Murs, piliers (poteaux), raidisseurs : porteurs courts et porteurs longs	227
1.1 N	2.4.1	À propos des piliers	228
1.	2.4.2	À propos des murs	237
	2.4.2.1	<i>Aparté: mur ou pilier?</i>	237
	2.4.2.2	<i>Murs porteurs courts et murs porteurs longs</i>	238
	2.4.3	À propos des mesures de confortement: portage des murs	240
	2.4.4	Contreventements et triangulation	244
	2.4.5	Bras de levier	248
	2.5	Ceinture sommitale, ceintures intermédiaires	252
	2.5.1	Ceinture sommitale, ceinture de couronnement	253
	2.5.2	Ceintures intermédiaires	255
	2.5.3	Conclusion à propos des ceintures	255
1.1.3	2.6	Percements de portes et de fenêtres	257
	2.7	Planchers, escaliers et charpentes	260
	2.7.1	Pourquoi une charpente effondrée?	263
	2.7.2	Pourquoi un plancher effondré?	266
	2.7.3	Rôles dans la stabilité de l'édifice	269
1.1.4	2.8	Régularité des volumes, solidarisation urbaine, joints de rupture	269
	2.8.1	À propos des édifices isolés	269
	2.8.2	À propos des édifices accolés le long des rues	273
	2.8.3	Solidarisation mécanique des bâtiments dans les îlots urbains de culture parasismique	275

2.8.4	Joint de rupture	278
2.8.4.1	<i>Entrechocs et martèlement : les entrechocs, le martèlement, le concept de fusible, comprendre autrement le joint de rupture</i>	278
2.8.4.2	<i>Joint de rupture urbains</i>	282
2.9	Orientation et inertie	282
2.9.1	Observations des désordres sur les édifices	283
2.9.2	Comprendre les traces des désordres	285
2.9.2.1	<i>Une démarche d'observation : un exemple, l'église paroissiale de Nay (Pyrénées-Atlantiques)</i>	<i>285</i>
2.9.2.2	<i>Modéliser les déformations pour comprendre les mouvements réactifs : un exemple, la cathédrale d'Ica (Pérou)</i>	<i>290</i>
2.9.3	Le message de l'implantation et de la disposition des bâtiments dans un village ancien	291
CHAPITRE 3.	Comprendre pour proposer des solutions de confortement : quelques cas d'étude	293
3.1	Une méthode	294
3.2	Exemple n° 1 : Une grange jadis habitée en montagne pyrénéenne construite au XIX ^e s.	297
3.2.1	Étape n° 1 : Diagnostic	297
3.2.2	Étape n° 2 : Comprendre l'édifice	300
3.2.2.1	<i>Vérification de la régularité</i>	<i>300</i>
3.2.2.2	<i>Modélisation de la structure</i>	<i>302</i>
3.2.2.3	<i>Simulation de la déformation des porteurs</i>	<i>303</i>
3.2.2.4	<i>Assimiler les murs porteurs à des portiques</i>	<i>304</i>
3.2.3	Étape n° 3 : Proposition de confortement de la structure	305
3.2.3.1	<i>À propos des murs</i>	<i>305</i>
3.2.3.2	<i>À propos des planchers</i>	<i>310</i>
3.2.3.3	<i>À propos des charpentes</i>	<i>311</i>
3.2.4	Une proposition pour améliorer la fonction d'usage : modifier la volumétrie d'une maison existante	313
3.3	Exemple n° 2 : Regroupement de deux bâtiments adossés pour n'en faire qu'un seul (XVI ^e et XIX ^e s.)	316
3.3.1	Étape n° 1 : Diagnostic	318
3.3.2	Étape n° 2 : Comprendre l'édifice	323
3.3.3	Étape n° 3 : Recherche de l'équilibre et propositions de confortement	326
3.3.3.1	<i>Recherche de l'équilibre et traduction architecturale</i>	<i>326</i>
3.3.3.2	<i>Recherches de solutions techniques pour permettre à la fois l'équilibre et sa mise en œuvre architecturale : le confortement ...</i>	<i>329</i>
3.4	Exemple n° 3 : Un immeuble d'habitation en béton armé des années 1930	338
3.4.1	Étape n° 1 : Diagnostic	339

3.4.2	Étape n° 2: Comprendre l'édifice et apporter éventuellement un premier confortement	340
3.4.3	Étape n° 3: Proposition de confortement	343
3.4.3.1	<i>Régularité</i>	343
3.4.3.2	<i>Barycentres des masses et des torsions</i>	343
3.4.3.3	<i>Force équivalente</i>	343
3.4.3.4	<i>Gestion des poteaux longs</i>	352
3.4.4	Du confortement à l'architecture	353
	Conclusion	358
	Annexes	359

Alain Billard

Risque sismique et patrimoine bâti

Comment des bâtiments anciens ont-ils pu résister aux tremblements de terre dans des régions notoirement exposées aux risques sismiques ?

Au fil de nombreuses missions dont il fut chargé, tant en France qu'à l'étranger, Alain Billard a longuement étudié les conséquences des séismes sur le patrimoine bâti. Architecte, enseignant et membre de l'Association française du génie parasismique, il a rassemblé dans ce manuel – illustré de près de 300 photographies et de 200 schémas – les observations qu'il destine à tous ceux qui ont à charge de restaurer et de protéger des bâtiments endommagés ou menacés par un séisme.

On verra que l'étape préalable est le renforcement, sachant que – rédigé pour des bâtiments neufs – l'Eurocode 8 ne s'applique pas aux édifices anciens (sauf à en repenser radicalement la structure).

Les techniques initiales de protection qui ont permis à nombre d'édifices de traverser les siècles pour nous révéler les principes de leur conception architecturale sont ici revisités. Elles ne sauraient être exhaustives mais elles offrent l'occasion de réfléchir et, enfin, de comprendre certaines des règles qui sous-tendent l'Eurocode 8, lesquelles pourront, dès lors, être relues sous un autre éclairage.

Sommaire

- I. **Éléments de physique du bâtiment** • Notions de base – Éléments spécifiques à la prévention du risque sismique
II. **Observations dans des régions à risques sismiques : éléments d'une culture de protection des bâtiments**
– Balancement et déplacement – Terrassements et fondations – Murs, poteaux et piliers dissipateurs d'énergie
– Murs, piliers, raidisseurs : porteurs courts et porteurs longs – Ceinture sommitale, ceintures intermédiaires
– Percements de portes et de fenêtres – Planchers, escaliers et charpentes – Régularité des volumes, solidarisation urbaine, joints de rupture
III. **Solutions de confortement : cas d'étude** • Méthode – Grange du XIII^e siècle en montagne pyrénéenne
– Regroupement de deux bâtiments XV^e siècle et XVI^e siècle – Immeuble d'habitation en béton armé des années 1930.

Architecte, enseignant à l'ENSAP-Bordeaux (où il a fondé le DPEA « Risques naturels majeurs et architecture ») et l'ENSA-PB (co-responsable du DSA « Architecture et risques majeurs »), **Alain Billard** s'est très tôt orienté vers la problématique de la sismicité et des bâtiments antiques. Ayant reçu une formation en écoles d'ingénieurs, diplômé d'archéologie, il a exercé un rôle d'expert ou de chargé de mission pour le compte du ministère de la Culture et celui de l'Environnement. Auteur d'un ouvrage historique et technique (*De la construction à l'architecture*, à paraître), il a traité de l'enseignement de la construction et, par ailleurs, de la stabilité des bâtiments anciens, dans de nombreux colloques internationaux.

Dans la même collection

Victor Davidovici (dir.), *Pratique du calcul sismique*.

Wolfgang & Alan Jalil, *Conception et analyse sismiques du bâtiment. Guide d'application de l'Eurocode 8 à partir des règles PS 92/2004*.

Claude Saintjean, *Introduction aux règles de construction parasismique. Applications courantes de l'Eurocode 8 à la conception parasismique*.

En couverture, de gauche à droite et de haut en bas :

Image du séisme de 2009 à l'Aquila (Italie) © Matteo Gabrielli/Shutterstock
À droite, poteaux en bois à Khiva (Ouzbékistan) © Dudarev Mikhail/Fotolia
Le minaret Kalon à Boukhara (Ouzbékistan) © Natalia Davidovich/Shutterstock
L'aqueduc romain de Ségovie (Espagne) © mirks_v/Fotolia
Ancien mur inca à Cuzco (Pérou) © Vadim Petrakov/Shutterstock
En quatrième de couverture, deuxième photo à gauche à partir du haut :
Ruines d'un mur romain à Londres © Claudio Divizia/Shutterstock

www.editions-eyrolles.com

Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif

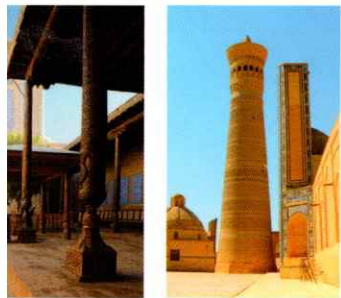
www.boutique-livres.afnor.org

60 €

Code Eyrolles : G13613
ISBN Eyrolles : 978-2-712-13613-5
Code Afnor : 3465460
ISBN Afnor : 978-2-12-465460-4



9 782212 136135



Publics
• Techniciens et ingénieurs des bureaux d'études
• Architectes
• Responsables techniques des collectivités locales
• Enseignants et étudiants (architecture, patrimoine, archéologie)

Couverture : Christophe Picard

COLLECTION
EUROCODE

afnor
EDITIONS

EYROLLES