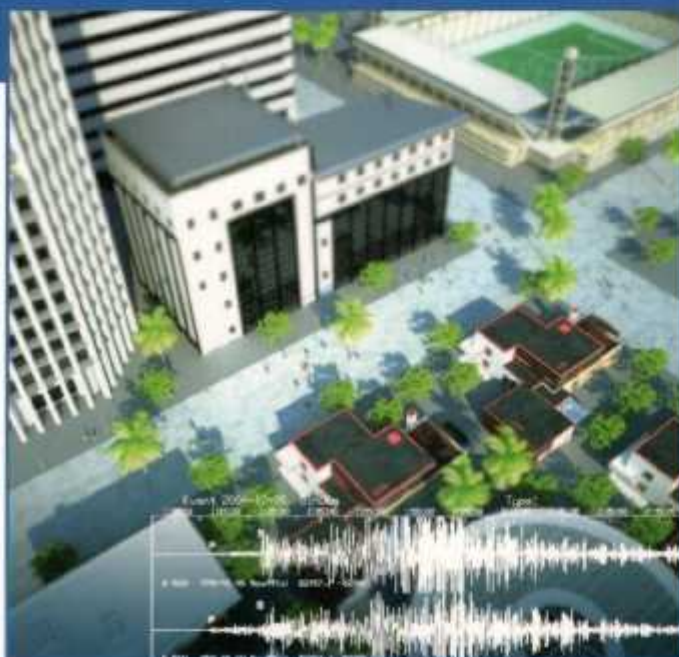


70

# Renforcement parasismique des bâtiments



Guide méthodologique  
pour le renforcement préventif  
du bâti existant

- Évaluation de la résistance des bâtiments
- Présentation des méthodes de renforcement parasismique

Acteur public indépendant, au service de l'innovation dans le bâtiment, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) exerce quatre activités clés - recherche, expertise, évaluation, diffusion des connaissances - qui lui permettent de répondre aux objectifs du développement durable pour les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Le CSTB contribue de manière essentielle à la qualité et à la sécurité de la construction durable grâce aux compétences de ses 850 collaborateurs, de ses filiales et de ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux.

---

Le présent guide ne se substitue en aucun cas aux textes de référence, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...), normatifs (normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, « CPT »...) qui doivent être consultés.

Le CSTB décline toute responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes de toute nature qui pourraient résulter de toute interprétation erronée du contenu du présent guide.

---

*Les photos contenues dans cet ouvrage proviennent des collections personnelles des auteurs.*

---

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

# Sommaire

<b>Périmètre du guide</b> .....	7	<b>7. Modélisation des structures</b> .....	52
1. <b>Portée du présent document</b> .....	7	7.1 Interaction sol-structure (ISS).....	52
2. <b>Démarche et contenu du présent guide</b> .....	8	7.2 Caractérisation du système de contreventement.....	53
3. <b>Objectifs</b> .....	9	7.3 Prise en compte des masses .....	54
4. <b>Typologie des bâtiments visés</b> .....	9	<b>8. Procédures de calcul utilisables</b> .....	55
4.1 Limites de la typologie.....	10	8.1 État de la structure après séisme.....	55
4.2 Critères retenus .....	10	8.2 État de connaissance des structures .....	55
<b>5. Choix des bâtiments pris comme exemples</b> .....	16	8.3 Méthode du coefficient de comportement .....	56
5.1 Bâtiment de type MI2.....	16	8.4 Méthode de la poussée progressive .....	56
5.2 Bâtiment de type PB5.....	17	<b>Évaluation de la capacité résistante (calcul)</b> .....	59
5.3 Bâtiment de type PB3.....	19	1. <b>Généralités sur l'évaluation de la capacité résistante</b> .....	59
5.4 Commentaire sur la représentativité des bâtiments choisis .....	20	1.1 Les niveaux performanciels .....	59
<b>6. Problématique des bâtiments existants</b> .....	20	1.2 Les critères de vérification .....	59
<b>Reconnaissance</b> .....	29	1.3 Largeur des joints entre blocs .....	60
1. <b>Généralités</b> .....	29	<b>2. Bâtiments à portiques</b> .....	61
2. <b>Historique codificatif en France</b> .....	29	2.1 Objet.....	61
3. <b>Investigation des éléments structuraux</b> .....	33	2.2 Méthode du coefficient de comportement .....	61
3.1 Reconnaissance préliminaire .....	33	2.3 Exposé général de la méthode d'évaluation proposée .....	61
3.2 Investigations complémentaires.....	34	2.4 Analyse élastique de la structure sous l'action du séisme.....	62
4. <b>Caractéristiques par défaut des matériaux</b> .....	41	2.5 Comportement postélastique .....	64
4.1 Béton.....	41	<b>3. Bâtiments contreventés par des murs en béton armé</b> .....	71
4.2 Acier .....	41	3.1 Méthodes de conception .....	71
4.3 Maçonneries.....	41	3.2 Modélisation .....	71
5. <b>Synthèse</b> .....	42	3.3 Vérification des murs en béton armé.....	71
<b>Calcul des sollicitations sismiques</b> .....	47	<b>4. Bâtiments contreventés par des murs en maçonnerie porteuse chaînée</b> .....	72
1. <b>Objectifs performanciels</b> .....	47	4.1 Objet.....	72
2. <b>Principes du calcul</b> .....	48	4.2 Reconnaissance des points faibles du bâtiment et confortements préliminaires .....	72
3. <b>Méthode générale</b> .....	48	4.3 Méthodes d'analyse .....	74
4. <b>Méthode des forces latérales</b> .....	48	4.4 Méthodes de renforcement.....	75
5. <b>Prise en compte de la torsion</b> .....	49		
6. <b>Méthodes en poussée progressive</b> .....	49		
6.1 Le principe.....	49		
6.2 Courbe de capacité.....	50		
6.3 Recherche du déplacement objectif .....	51		
6.4 Résumé de la méthode .....	51		

5. Autres vérifications pour les éléments en béton armé .....	75	Renforcement des planchers - Solidarisation des solives - Augmentation de la surface d'appui des planchers .....	151
5.1 Généralités .....	75	Chaînage horizontal - Création ou réparation d'un chaînage en tête de bâtiment .....	155
5.2 Vérification des poteaux à la flexion composée et loi de comportement .....	76	Chaînage vertical - Création ou réparation d'un chaînage .....	159
5.3 Rotation et confinement des rotules plastiques .....	76	Encadrement des ouvertures - Création ou réparation de linteaux et de montants .....	165
5.4 Vérification effort tranchant .....	77	Renforcement de la structure secondaire : Cheminées, balcons, marquises, éléments de façade .....	169
5.5 Longueurs d'ancrage .....	77	Solidarisation des éléments de structure par ajout de précontrainte extérieure .....	175
5.6 Longueurs de recouvrement .....	78		
5.7 Flambement des armatures comprimées .....	79		
<b>Méthodes de renforcement et adaptation aux types de bâtiments visés .....</b>	<b>83</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>177</b>
1. Description des méthodes envisageables .....	83	<b>Annexe A : Retour d'expérience .....</b>	<b>183</b>
1.1 Contexte et objectifs .....	83	1. Structures à portiques béton armé avec panneaux de remplissage en maçonnerie ..	184
1.2 Objectifs techniques .....	85	1.1 Interaction panneau - poteaux dans le plan du portique .....	189
1.3 Stratégies .....	87	1.2 Sollicitation des poteaux d'angle .....	189
2. Typologie des méthodes de renforcement .....	89	1.3 Facteurs d'incertitude .....	191
2.1 Objectifs .....	89	2. Structures à voiles en béton armé coulés en place .....	192
2.2 Explicitation des symboles .....	90	2.1 Skopje, Yougoslavie (1963) .....	192
2.3 Croisement de la typologie des bâtiments et des techniques de renforcement .....	91	2.2 Anchorage, Alaska (1964) .....	192
2.4 Fiches techniques des méthodes de renforcement .....	96	2.3 Caracas, Venezuela (1967) .....	192
		2.4 Managua, Nicaragua (1972) .....	193
<b>Fiches Technique de renforcement</b>		2.5 Myagi-Ken-Okii, Japon (1978) .....	193
Renforcement des poteaux par fibres de carbone ou plats métalliques collés .....	97	2.6 El Asnam (Chlef), Algérie (1980) .....	193
Renforcement par fibres des poutres .....	101	2.7 Spitak, Arménie (1988) .....	194
Renforcement par fibres des murs .....	105	2.8 Boumerdès, Algérie (2003) .....	194
Ajout de murs de contreventement		3. Structures à grands panneaux préfabriqués .....	196
Voiles béton .....	109	3.1 Bucarest, Roumanie (1977) .....	196
Remplissage d'un portique en maçonnerie ou en béton armé .....	115	3.2 Spitak, Arménie (1988) .....	196
Chemisage en béton armé des poteaux .....	119	3.3 Boumerdès, Algérie (2003) .....	197
Chemisage des poutres en béton armé .....	123	4. Structures à murs en maçonneries (chaînées ou non) .....	197
Chemisage en béton armé des voiles et des murs .....	125	4.1 San Fernando, Californie (1971) .....	197
Ajout de croix de contreventement - Contreventement métallique .....	129	4.2 Spitak, Arménie (1988) .....	197
Amortissement des portiques - Contreventement métallique amorti .....	133	4.3 Facteurs d'incertitude .....	198
Renforcement des fondations - Élargissement des semelles - Chaînage - Micropieux .....	139	5. Plancher, élément de contreventement .....	199
Renforcement des planchers - Coulage d'une dalle .....	145		

<b>Annexe B : Recensement de 1999 et données quantitatives sur la typologie</b> .....	203	<b>3. Type 3 : Bâtiment R+2 contreventé par voiles en béton armé</b> .....	262
1. <b>Typologie des bâtiments existants : étude bibliographique préliminaire</b> .....	205	3.1 Description du bâtiment.....	262
1.1 Étude de cas : influence des règles de construction sur la tenue des bâtiments au séisme.....	205	3.2 Principe de l'étude.....	262
1.2 Séisme de Californie : influence du type et de la structure du bâtiment sur sa tenue au séisme.....	207	3.3 Hypothèses sismiques.....	262
2. <b>Exploitation des données du recensement de 1999</b> .....	209	3.4 Calcul des masses.....	262
2.1 Le nombre d'étages.....	209	3.5 Calcul des efforts sismiques.....	262
2.2 Les matériaux de construction.....	212	3.6 Vérification sens transversal.....	264
<b>Annexe C : Techniques d'auscultation des éléments de structure</b> .....	217	3.7 Vérification sens longitudinal.....	264
1. <b>Caractérisation de la résistance des matériaux</b> .....	217	3.8 Conclusion sur l'existant.....	266
1.1 Principe.....	217	3.9 Confortement.....	267
1.2 Échantillonnage.....	218		
1.3 Essais.....	218		
2. <b>Localisation et détermination des armatures de béton armé</b> .....	220		
2.1 Le profomètre (pachomètre).....	220		
2.2 Les radars hautes fréquences.....	221		
2.3 La gammagraphie.....	222		
2.4 Autres techniques.....	222		
<b>Annexe D : Exemples de calculs</b> .....	225		
1. <b>Type 1 : Bâtiment R+2 en maçonnerie porteuse chaînée</b> .....	225		
1.1 Définition du bâtiment.....	225		
1.2 Définition du bâtiment « test ».....	230		
2. <b>Type 2 : Bâtiment portique avec remplissage</b> .....	241		
2.1 Présentation de l'exemple.....	241		
2.2 Modélisations et calculs élastiques : principales caractéristiques et données numériques.....	243		
2.3 Approche simplifiée.....	243		
2.4 Comportement postélastique.....	254		
2.5 Comparaison avec le calcul éléments finis.....	260		