

Sommaire

Périmètre du guide	7	7. Modélisation des structures	52
1. Portée du présent document	7	7.1 Interaction sol-structure (ISS).....	52
2. Démarche et contenu du présent guide	8	7.2 Caractérisation du système de contreventement.....	53
3. Objectifs.....	9	7.3 Prise en compte des masses	54
4. Typologie des bâtiments visés.....	9	8. Procédures de calcul utilisables	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
5. Choix des bâtiments pris comme exemples.....	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	Évaluation de la capacité résistante (calcul)	59
5.3 Bâtiment de type PB3.....	19	1. Généralités sur l'évaluation de la capacité résistante	59
5.4 Commentaire sur la représentativité des bâtiments choisis	20	1.1 Les niveaux performanciers	59
6. Problématique des bâtiments existants	20	1.2 Les critères de vérification	59
Reconnaissance	29	1.3 Largeur des joints entre blocs	60
1. Généralités.....	29	2. Bâtiments à portiques	61
2. Historique codificatif en France	29	2.1 Objet.....	61
3. Investigation des éléments structuraux	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. Caractéristiques par défaut des matériaux	41	2.5 Comportement postélastique	64
4.1 Béton.....	41	3. Bâtiments contreventés par des murs en béton armé	71
4.2 Acier	41	3.1 Méthodes de conception	71
4.3 Maçonneries.....	41	3.2 Modélisation	71
5. Synthèse.....	42	3.3 Vérification des murs en béton armé.....	71
Calcul des sollicitations sismiques	47	4. Bâtiments contreventés par des murs en maçonnerie porteuse chaînée	72
1. Objectifs performanciers	47	4.1 Objet.....	72
2. Principes du calcul	48	4.2 Reconnaissance des points faibles du bâtiment et confortements préliminaires	72
3. Méthode générale	48	4.3 Méthodes d'analyse	74
4. Méthode des forces latérales.....	48	4.4 Méthodes de renforcement.....	75
5. Prise en compte de la torsion.....	49		
6. Méthodes en poussée progressive	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	Conclusion	177
5.7	Flambement des armatures comprimées.....	79	Annexe A : Retour d'expérience	183
	Méthodes de renforcement et adaptation aux types de bâtiments visés	83	1. Structures à portiques béton armé avec panneaux de remplissage en maçonnerie ..	184
1.	Description des méthodes envisageables	83	1.1 Interaction panneau - poteaux dans le plan du portique	189
1.1	Contexte et objectifs	83	1.2 Sollicitation des poteaux d'angle	189
1.2	Objectifs techniques	85	1.3 Facteurs d'incertitude	191
1.3	Stratégies	87	2. Structures à voiles en béton armé coulés en place	192
2.	Typologie des méthodes de renforcement	89	2.1 Skopje, Yougoslavie (1963)	192
2.1	Objectifs	89	2.2 Anchorage, Alaska (1964)	192
2.2	Explicitation des symboles	90	2.3 Caracas, Venezuela (1967)	192
2.3	Croisement de la typologie des bâtiments et des techniques de renforcement	91	2.4 Managua, Nicaragua (1972).....	193
2.4	Fiches techniques des méthodes de renforcement.....	96	2.5 Myagi-Ken-Okii, Japon (1978)	193
	Fiches Technique de renforcement		2.6 El Asnam (Chlef), Algérie (1980)	193
	Renforcement des poteaux par fibres de carbone ou plats métalliques collés	97	2.7 Spitak, Arménie (1988).....	194
	Renforcement par fibres des poutres	101	2.8 Boumerdès, Algérie (2003)	194
	Renforcement par fibres des murs.....	105	3. Structures à grands panneaux préfabriqués	196
	Ajout de murs de contreventement		3.1 Bucarest, Roumanie (1977)	196
	Voiles béton.....	109	3.2 Spitak, Arménie (1988).....	196
	Remplissage d'un portique en maçonnerie ou en béton armé.....	115	3.3 Boumerdès, Algérie (2003)	197
	Chemisage en béton armé des poteaux	119	4. Structures à murs en maçonneries (chaînées ou non)	197
	Chemisage des poutres en béton armé	123	4.1 San Fernando, Californie (1971).....	197
	Chemisage en béton armé des voiles et des murs.....	125	4.2 Spitak, Arménie (1988).....	197
	Ajout de croix de contreventement - Contreventement métallique	129	4.3 Facteurs d'incertitude	198
	Amortissement des portiques - Contreventement métallique amorti	133	5. Plancher, élément de contreventement	199
	Renforcement des fondations - Élargissement des semelles - Chaînage - Micropieux.....	139		
	Renforcement des planchers - Coulage d'une dalle	145		

Annexe B : Recensement de 1999 et données quantitatives sur la typologie	203	3. Type 3 : Bâtiment R+2 contreventé par voiles en béton armé	262
1. Typologie des bâtiments existants : étude bibliographique préliminaire	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. Exploitation des données du recensement de 1999	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
Annexe C : Techniques d'auscultation des éléments de structure	217	3.7 Vérification sens longitudinal.....	264
1. Caractérisation de la résistance des matériaux	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. Localisation et détermination des armatures de béton armé	220		
2.1 Le profomètre (pachomètre)	220		
2.2 Les radars hautes fréquences	221		
2.3 La gammagraphie	222		
2.4 Autres techniques.....	222		
Annexe D : Exemples de calculs	225		
1. Type 1 : Bâtiment R+2 en maçonnerie porteuse chaînée	225		
1.1 Définition du bâtiment	225		
1.2 Définition du bâtiment « test »	230		
2. Type 2 : Bâtiment portique avec remplissage	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		

Dans le cas d'une maçonnerie de remplissage, l'effort normal est faible et le panneau transmet peu d'effort par flexion avec compression. En revanche, le panneau est capable de transmettre un effort tranchant sur sa hauteur, par le moyen d'une bielle venant s'appuyer sur les poteaux l'encadrant.

La loi de comportement d'un panneau de maçonnerie vis-à-vis de l'effort tranchant peut être schématisée selon la loi présentée à la figure suivante à partir des indications données au paragraphe 2.4.5.

La résistance (obtenue en un point situé entre A et B) vis-à-vis de l'effort tranchant d'un mur en maçonnerie non armée contrôlée par l'effort tranchant peut être prise égale à : $V_f = f_{vd} D' t$

où :

D' est la longueur comprimée du mur (qui ici peut être assimilée à sa longueur totale) ;

t est l'épaisseur du mur ;

f_{vd} est la résistance moyenne au cisaillement en l'absence de charge verticale.

À défaut de résultats expérimentaux relatifs au bâtiment étudié, la distorsion correspondante peut être prise égale à 0,005. La distorsion au point A est plutôt de l'ordre de 0,002.

La valeur de la distorsion au point C est de 0,015.

2.5.3 Comportement postélastique de la structure

A - Comportement de la structure, poteaux seuls

Les poteaux étant différents, la plastification puis la rupture des rotules plastiques ne se produisent pas simultanément pour tous les poteaux. Aussi, l'accélération à laquelle le plancher supérieur est soumis atteint-elle un maximum, puis décroît à nouveau au fur et à mesure que les rotules plastiques atteignent leur rotation limite. La structure est stable tant que la fonction de portage reste assurée.

Par sécurité, la structure peut être considérée comme étant dans son état ultime lorsque la première rupture d'une rotule plastique est atteinte, ce qui peut se produire lorsque l'effort tranchant capable a atteint son maximum (V_u selon la figure 2), ou pour une valeur inférieure si la première rupture est obtenue avant que tous les poteaux ne soient plastifiés. Il convient néanmoins d'examiner dans ce dernier cas si la rupture d'un poteau seul peut être acceptable (la fonction de portage devant rester assurée) et s'il est donc possible de poursuivre plus loin le processus de plastification des autres poteaux, ce qui suppose une redistribution des efforts. Sauf cette exception, le déplacement maximal supportable par la structure est donc obtenu lorsque la rotation maximale d'une rotule plastique est atteinte pour le poteau le plus critique.

Dans ce processus, il y a lieu de s'assurer que les plastifications successives des sections les plus critiques ne conduisent pas à des déplacements trop importants du centre de raideur à chaque niveau, auquel cas on doit prendre en compte un tel phénomène dans la séquence de plastification.

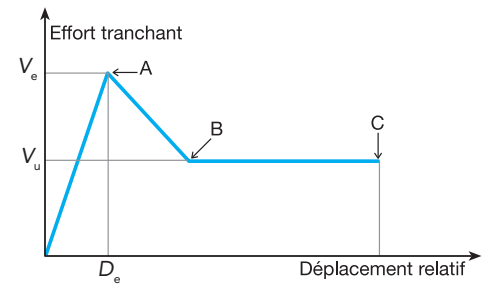


Figure 2 : Loi de comportement du panneau maçonnerie

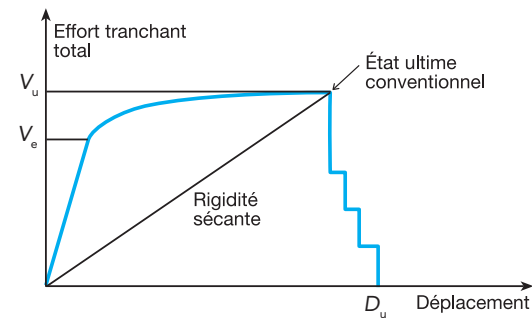


Figure 3 : Courbe de capacité

Référence
cont

Fiche Technique de renforcement

Ajout de murs de contreventement Voiles béton

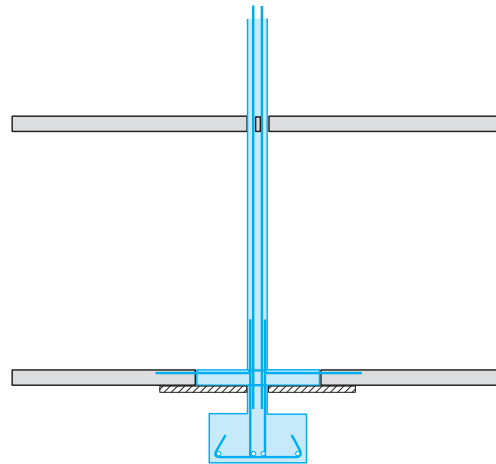


Figure 9 : Renforcement par ajout de mur

Domaine de renforcement

Contreventement.

Types de bâtiments concernés

Tous bâtiments.

Caractéristiques mécaniques visées

- Reprise des efforts horizontaux.
- Raideur d'ensemble du bâtiment.
- Diminution de l'effet de torsion.

Avantages	Inconvénients
Contribue à réduire la torsion Meilleure répartition des efforts	Peut être inacceptable architecturalement Modification des espaces intérieurs Report des charges sur des zones faibles Risque de créer des irrégularités en élévation Intervention lourde Nécessite un calcul complet du bâtiment

Commentaires

- Technique bien connue, courante.
- Présente néanmoins des effets secondaires importants.
- Les conséquences sur les fondations doivent absolument être prises en compte.

Précautions et limites d'utilisation

- Tenir compte d'une redistribution des efforts due au renforcement local d'un élément de la structure.
- Vérifier le taux de travail des fondations.
- Dans le cas de l'utilisation d'un ferrailage longitudinal, on doit assurer la continuité des armatures à tous les niveaux.

Mise en œuvre pratique

Ferrailage complet

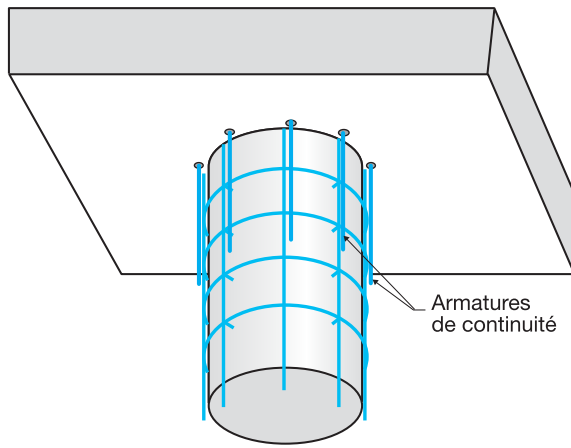


Figure 15 : Chemisage en béton armé des poteaux (ferrailage complet)

Préparation du support

- Étayer les poutres de part et d'autre du poteau afin de le soulager.
- Décaper le poteau pour enlever le revêtement et faire apparaître les armatures, détruire éventuellement le remplissage à l'interface avec le poteau.
- Percer la dalle et éventuellement les poutres pour permettre le passage des armatures de continuité.
- Bien nettoyer pour éliminer toutes les poussières.

Mise en œuvre du chemisage

- Sceller des barres courtes dans le poteau pour assurer la continuité du ferrailage.
- Mettre en place le nouveau ferrailage (cadres et armatures longitudinales) et les lier aux barres de scellement.
- Disposer les barres de continuité et les fixer au ferrailage. Pour ce qui est du plancher bas du premier niveau, les barres de continuité doivent être scellées dans les têtes de fondation. Sceller les barres de continuité à la dalle. Projeter le béton ou la gunite.

Précautions et limites d'utilisation

- Veiller au recouvrement suffisant des armatures dans les coins.
- Prévoir des cadres de cisaillement régulièrement espacés.
- Soigner la liaison entre le chaînage et les murs pour une bonne transmission des efforts.

Mise en œuvre pratique

Création d'un chaînage en béton

Il s'agit de techniques très lourdes. L'accès par l'intérieur est réservé aux cas de réhabilitation lourde en site libre. Les chaînages doivent être réalisés dans les angles et en partie courante de façon à encadrer les grandes ouvertures. On rappelle ci-dessous le principe des chaînages verticaux donné dans le guide CP-MI Antilles (dans les zones de sismicité moyenne, ces exigences peuvent être abaissées) :

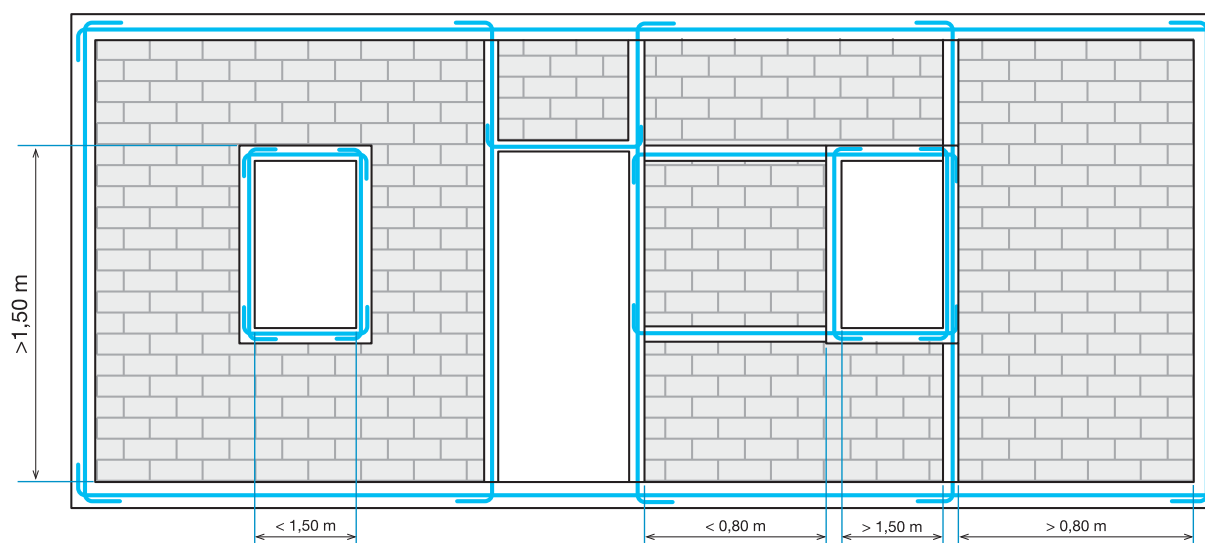


Figure 43 : Principes des chaînages verticaux en béton

Par l'extérieur

■ Préparation

- Faire une saignée verticale d'une profondeur d'au moins 15 cm et une largeur de 20 cm sur toute la hauteur du bâtiment.
- Veiller à faire apparaître les armatures des chaînages horizontaux afin de créer une liaison efficace au nœud. Dans le cas de bâtiments à dalle, cela implique de traverser celle-ci.
- Sceller des tiges verticales dans les fondations pour assurer une bonne transmission des efforts.

Bien entendu, les poteaux d'angle sont les plus vulnérables :

- parce qu'ils reçoivent le cisaillement dans les deux directions horizontales, même si les deux efforts tranchants n'atteignent pas en même temps leur valeur maximale ;
- parce qu'ils ne reçoivent comme charge verticale que le poids d'un quart de travée, alors que la poussée de la bielle qu'ils ont à équilibrer est celle qui correspond à une travée complète.

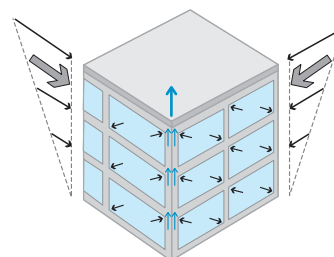
La destruction des poteaux d'angle entraîne celle des poteaux des pignons, les étages supérieurs viennent « s'asseoir » entre les poteaux de pignons après avoir broyé le rez-de-chaussée.



Figure 9 : Séisme de Boumerdès : destruction des niveaux inférieurs



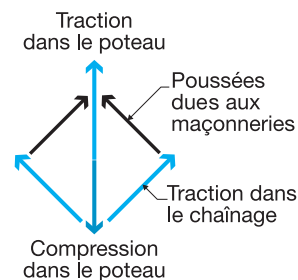
a)



b)



c)



d)

Figure 8 : Mécanisme de destruction d'un poteau d'angle
a, c) Kocaeli 1999
b) Bielles dans les panneaux situés à angle droit
d) Équilibre des forces au droit du poteau d'angle