

# Sommaire

<b>Périmètre du guide</b> .....	7	<b>7. Modélisation des structures</b> .....	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	<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
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	<b>Évaluation de la capacité résistante (calcul)</b> .....	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
<b>Reconnaissance</b> .....	29	1.3 Largeur des joints entre blocs .....	60
1. Généralités.....	29	<b>2. Bâtiments à portiques</b> .....	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	<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. Synthèse.....	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. 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.	<b>Autres vérifications pour les éléments en béton armé</b> .....	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	<b>Conclusion</b> .....	177
5.7	Flambement des armatures comprimées.....	79	<b>Annexe A : Retour d'expérience</b> .....	183
	<b>Méthodes de renforcement et adaptation aux types de bâtiments visés</b> .....	83	1. <b>Structures à portiques béton armé avec panneaux de remplissage en maçonnerie</b> ..	184
1.	<b>Description des méthodes envisageables</b> ....	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. <b>Structures à voiles en béton armé coulés en place</b> .....	192
2.	<b>Typologie des méthodes de renforcement</b> .....	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
	<b>Fiches Technique de renforcement</b>		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. <b>Structures à grands panneaux préfabriqués</b> .....	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. <b>Structures à murs en maçonneries (chaînées ou non)</b> .....	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. <b>Plancher, élément de contreventement</b> .....	199
	Renforcement des fondations - Élargissement des semelles - Chaînage - Micropieux.....	139		
	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. 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
<b>Annexe C : Techniques d'auscultation des éléments de structure</b> .....	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		
<b>Annexe D : Exemples de calculs</b> .....	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.

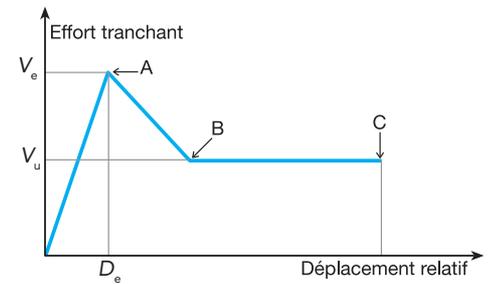


Figure 2 : Loi de comportement du panneau maçonnerie

## 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.

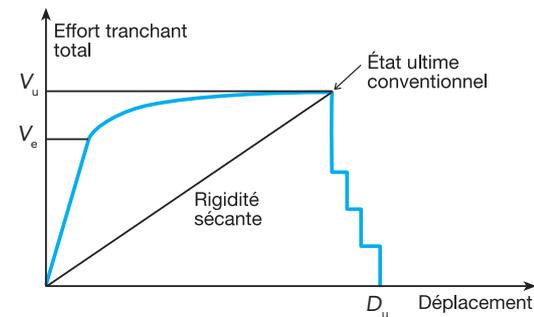


Figure 3 : Courbe de capacité

Référence  
cont

## Fiche Technique de renforcement

### Ajout de murs de contreventement Voiles béton

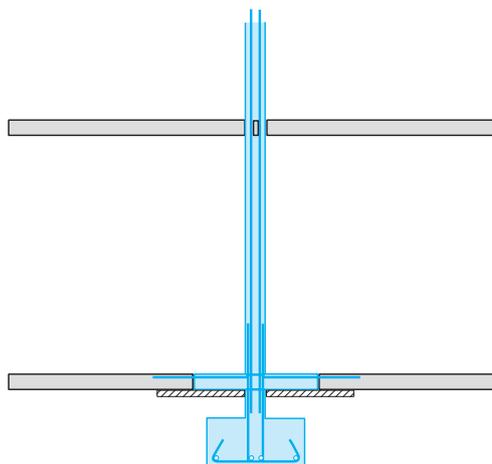


Figure 9 : Renforcement par ajout de mur

#### 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

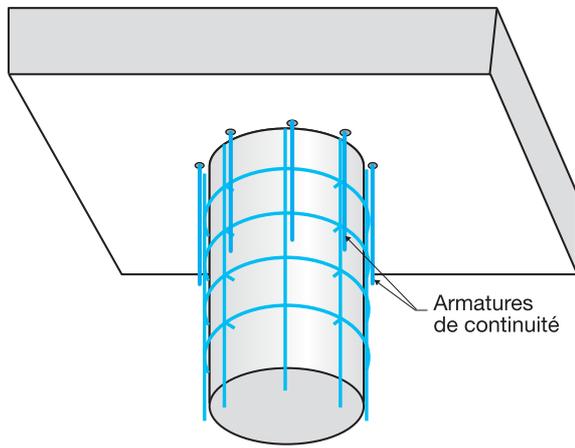


Figure 15 : Chemisage en béton armé des poteaux (ferrailage complet)

### 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 (cadre 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) :

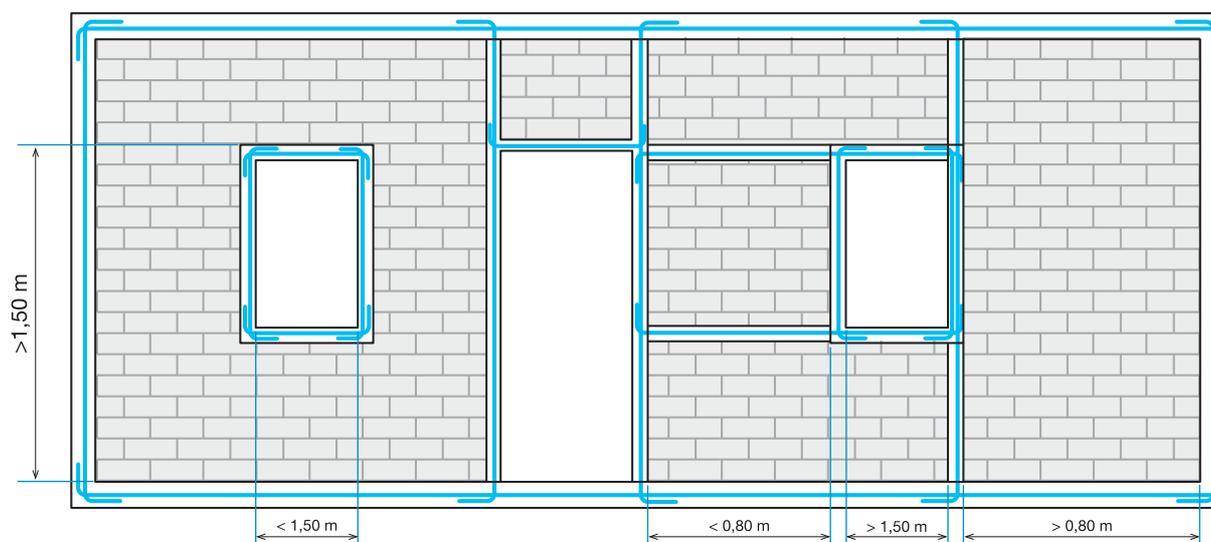


Figure 43 : Principes des chaînages verticaux en béton

### 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.

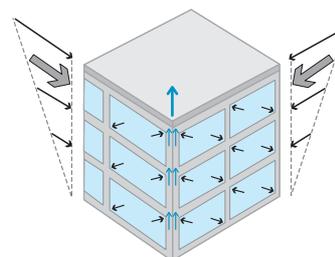
La destruction des poteaux d'angle entraîne celle des poteaux des pignons, les étages supérieurs viennent « s'asseoir » entre les poteaux de pignons après avoir broyé le rez-de-chaussée.



Figure 9 : Séisme de Boumerdès : destruction des niveaux inférieurs



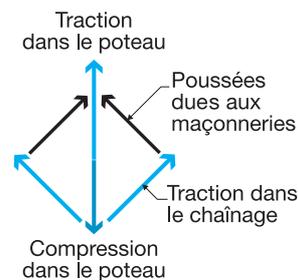
a)



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