

SOMMAIRE

1.	OBJET	3
2.	DOMAINE D'APPLICATION	5
3.	DÉFINITIONS	7
4.	RAPPEL DE LA MÉTHODOLOGIE DE L'EN 1998-3	9
4.1	Démarche générale	9
4.2	Investigations préalables	11
4.3	Détermination du niveau de renforcement requis	16
4.4	Évaluation de la capacité résistante	18
5.	EXEMPLES D'APPLICATION	25
5.1	Renforcement d'éléments de structure.....	25
5.2	Renforcement du système de contreventement	68
5.3	Renforcement des liaisons	73
5.4	Ductilité locale.....	85
6.	RÉFÉRENCES	91

La première étape consiste donc à recenser la documentation disponible. Ensuite, les informations pouvant en être extraites doivent être confrontées aux données d'entrée requises par l'application de l'EN 1998-3. Ces données sont listées au paragraphe 3.2. Le tableau 4.2 ci-dessous en fait la synthèse et illustre les données requises.

Donnée	Exemple	Sources possibles						Difficulté
		plans	notes calcul	marché	règles, DTU	reconnaissance	essais	
Système structural	Portiques avec ou sans remplissage	X	X			X		
Transformations	Aggrandissement	X	X	X		X		+
Régularité	Forme du bâtiment, disposition du contreventement	X	X			X		
Type de fondations	Semelles, radier, pieux	X	X	X	X	X		++
Conditions de sol	Portance, site, nature		X			X	X	+++
Dimension de la structure	Hauteur d'étages, portées	X	X			X		+
Dimension des sections d'éléments	Type de profilés, dimensions de coffrages	X	X		X	X		++
Propriétés des matériaux	Classe d'armature, résistance sur béton, classe d'acier	X	X	X	X	X	X	+++
État des matériaux	Fissuration du béton, déformation plastique					X	X	++
Ferrailage	Type d'armature, sections, espacement enrobage	X	X		X	X	X	+++
Défaut des matériaux	Résistance insuffisante, déformation trop importante			X		X	X	++
Défaut des dispositions constructives	Poteau faible, poteaux courts, recouvrements insuffisants des armatures					X	X	var.
Critères de calcul sismique initial	Accélération nominale, coefficient de comportement		X		X	X		++
Exploitation effective du bâtiment	Charges, disposition	X		X	X	X		+
Action sismique à prendre en compte compte tenu de l'exploitation du bâtiment	Classe du bâtiment, masses				X			
Dommages sismiques existants	Fissures					X		

Tableau 4.2 : Données d'entrée requises.

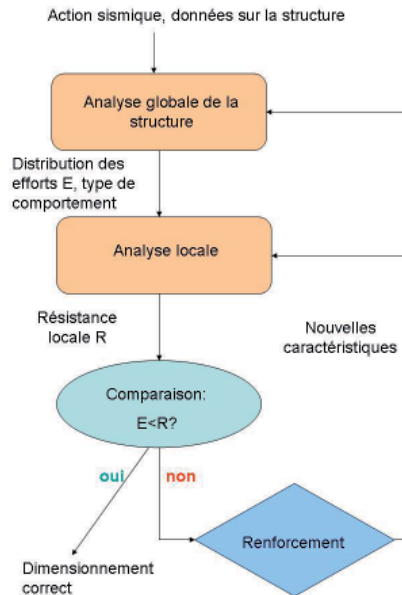


Figure 4.2 : Interaction entre les différents niveaux d'analyse.

Le paragraphe 4.5 explicite cette interaction grâce à la notion de vérification de sécurité. Ces vérifications relèvent de l'analyse locale. Le paragraphe 4.5.1 (5)P est ainsi libellé :

« La valeur de la capacité des éléments et des mécanismes ductiles et fragiles devant être comparée à la demande dans le cadre des vérifications de sécurité doit être conforme à 2.2.1 (5)P. »

Le paragraphe 2.2.1 (5)P définit le type de propriétés des matériaux à prendre en compte, à savoir la valeur moyenne issue d'essai, divisée par le coefficient de confiance pour les matériaux en place et les valeurs nominales dans le cas de matériaux ajoutés.

Ces vérifications consistent en particulier à s'assurer, pour les méthodes d'analyse linéaires, que le comportement des éléments est compatible avec les limites de la méthode et que la mobilisation de la ductilité des éléments ductiles ne provoque pas la ruine des éléments fragiles, il s'agit d'une application du principe de compatibilité des déformations.

5. EXEMPLES D'APPLICATION

Cette partie illustre les méthodes de renforcement décrites dans les annexes A, B et C. Ces annexes, qui ont un statut d'annexes informatives, présentent un certain nombre de données utiles et ont le mérite d'explicitier des méthodes pratiques de renforcement qui sont compatibles avec les principes de l'EN 1998-3. Les exemples concrets présentés ci-dessous permettent de se faire une idée de la complexité d'utilisation de ces méthodes, des données d'entrée nécessaires et des résultats qui peuvent être escomptés. Au fil du texte, des remarques ont pour but d'analyser les résultats et de guider le lecteur lorsque des choix doivent être opérés. Un des objectifs principaux de cette partie est d'illustrer le mode d'utilisation des différents Eurocodes et de montrer dans la pratique leurs interactions.

5.1 Renforcement d'éléments de structure

5.1.1 Renforcement de la résistance en flexion – Cas des poutres

Le renforcement des poutres peut viser plusieurs objectifs :

- renforcement de la résistance en flexion (en travée ou sur appui), dans le cas de la composante verticale de l'action sismique et/ou d'un contreventement en portique ;
- renforcement de la capacité en rotation, pour une poutre considérée dans son environnement (augmentation de sa ductilité).

Ce dernier point sera traité dans le paragraphe 5.3 traitant du renforcement des liaisons.

5.1.1.1 Exemple 1 : poutre en béton armé

Le renforcement de la résistance en flexion de la poutre peut être rendu nécessaire par la redistribution des charges sous action sismique ou par la modification du bâtiment. De même, un surcroît de résistance au cisaillement peut être rendu nécessaire suite à une modification du bâtiment telle que l'ajout d'un remplissage du portique. Les solutions proposées consistent essentiellement à renforcer la poutre au moyen d'un chemisage, de manière à augmenter la résistance de la section. Ce chemisage peut être effectué par ajout de béton armé, collage de bandes métalliques ou collage de fibres.

■ Description

On étudie la poutre suivante :

- section $24 \times 63 \text{ cm}^2$;
- $d = 0,6 \text{ m}$;
- position des armatures longitudinales : 3 cm du bord ;
- section d'armature longitudinale : $A = 9,42 \text{ cm}^2$, soit 3 HA20.

■ Dimensionnement du renforcement

• Démarche générale

La méthode consiste à tenir compte du renforcement dans les calculs ci-dessus. Toutefois, selon l'alinéa (4) du paragraphe A.3.3.1, lors de la réévaluation, il convient de conserver comme valeur de la résistance à l'effort tranchant de la section renforcée le minimum de la résistance calculée avec la démarche de l'estimation initiale (formules A.12 à A.16) et de la résistance donnée par l'application de l'EN 1992-1.

La démarche suivie pour tous les types de renforcement est donc la suivante :

- calcul de la résistance de la section renforcée selon l'EN 1992 ;
- calcul de la résistance de la section renforcée selon l'EN 1998-3 ;
- calcul du minimum, qui est la valeur retenue pour la résistance de la section renforcée.

On va analyser trois types de renforcement : le chemisage par béton armé, le chemisage métallique et le renforcement par fibres collées.

• Chemisage en béton armé

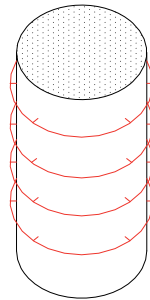


Figure 5.6 : Principe de ferrailage du chemisage béton armé pour le renforcement au cisaillement.

Selon l'alinéa (4) du paragraphe A.4.2.1, le chemisage doit être arrêté à 10 mm au moins des extrémités des poteaux, afin de ne pas gêner les rotations d'appuis.

Selon le paragraphe A.4.2.2, on peut estimer la résistance de la section renforcée en considérant qu'elle est monolithique. Cependant, la résistance de dimensionnement est limitée à 90 % de la résistance calculée, soit :

$$V_R^* = 0,9 V_R$$

En conclusion, le renforcement du poteau par un chemisage en béton armé comprenant des cadres HA6 espacés de 32 cm convient.

- Chemisage métallique

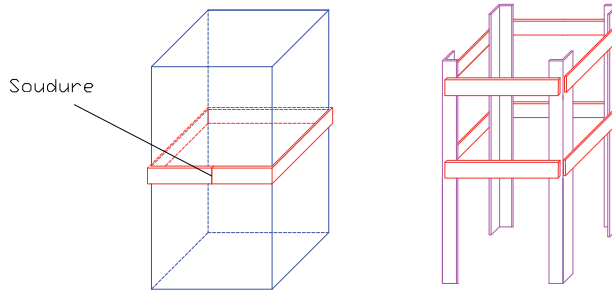


Figure 5.7 : Schéma de principe du chemisage métallique.

Selon l'alinéa (1) du paragraphe A.4.3.1, le dimensionnement de ce renforcement doit se faire en se limitant au domaine élastique de l'acier. L'alinéa (2) donne une formule qui permet d'estimer la contribution du renforcement à la résistance totale sous réserve de limiter les contraintes dans l'acier à 50 % de sa limite élastique.

On considère un acier de classe S235.

Selon le paragraphe A.4.3.1, la résistance de la section renforcée est alors :

$$V'_R = V_R + V_j$$

Avec :

- $V_R = 59,5$ kN la résistance de la section non renforcée ;
- V_j le surcroît de résistance apporté par le chemisage acier.

Remarque

Les calculs de la résistance du poteau à l'effort tranchant ont montré que, pour l'exemple étudié, le calcul selon l'EN 1992 est plus défavorable que le calcul selon l'EN 1998. Il est donc logique de prendre comme résistance initiale le minimum des deux valeurs. En effet, selon le paragraphe A.4.3.2 (1), l'objectif du chemisage en acier est de contrôler la fissuration du béton afin de garantir son intégrité et de ne pas explorer le domaine plastique des matériaux. En fait, cela revient à limiter la résistance à l'effort tranchant à celle compatible avec un fonctionnement du poteau conforme au domaine de validité de l'EN 1992.

Le principe de dimensionnement du chemisage en acier est donc très différent de celui d'un chemisage en béton armé.

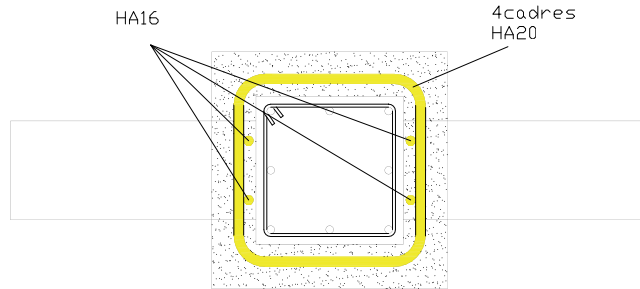


Figure 5.18 : Coupe du chemisage au niveau des poutres.

5.3.2 Liaisons entre éléments en acier

Dans ce paragraphe, ne sont traitées que les méthodes de renforcement des assemblages dans le cas où leur capacité résistante au cisaillement est insuffisante. Le paragraphe B.6.2.4 donne des méthodes de renforcement adaptées. Les notions de ductilité de l'assemblage qui sont indispensables à un bon comportement global de la structure sont explicités au paragraphe 5.4.

Le renforcement de la capacité résistante au cisaillement des assemblages métalliques ou mixtes est possible moyennant l'ajout de jarrets (cf. le paragraphe B.6.2.4.1) au niveau de la semelle inférieure des poutres. Les plus efficaces sont les jarrets triangulaires à section en T. Dans le cas de jarrets ajoutés au niveau de la semelle inférieure, leur hauteur est d'environ le quart de celle de la poutre. Des raidisseurs doivent être prévus aux endroits appropriés.

Une procédure de dimensionnement itérative des jarrets est proposée au paragraphe B.6.4.1 (8). Elle est illustrée dans l'exemple suivant.

5.3.2.1 Exemple 9 : assemblage poteaux-poutres renforcé par des jarrets

Le renforcement de cet assemblage est rendu nécessaire par la demande en cisaillement sous action sismique. La résistance en flexion, au cisaillement et la résistance locale des éléments ne sont pas vérifiées dans cet exemple. L'insuffisance de capacité résistante est donc due à l'assemblage et non à la poutre ou aux poteaux.

■ Description

On étudie le portique suivant :

- poutre : IPE360 ;
- portée : 6,85 m (entre nus) ;
- poteau : HEB 360 ;
- hauteur d'étage : 3,20 m.