

# RECOMMANDATIONS

## RECOMMANDATIONS POUR LE DIMENSIONNEMENT PARASISMIQUE DES STRUCTURES EN ACIER ET MIXTES NON OU FAIBLEMENT DISSIPATIVES

31/01/2013

**MEMBRES DE LA COMMISSION DE NORMALISATION**

Président : M MAITRE

Secrétariat : MME LEMAIRE – BNCM

|     |              |                                   |
|-----|--------------|-----------------------------------|
| MME | ALGRANTI     | CTICM                             |
| M   | ANTROPIUS    | JDA Consultant                    |
| M   | ARIBERT      | Consultant, INSA Rennes           |
| M   | ASHTARI      | APAVE                             |
| M   | BEGUIN       | CTICM                             |
| M   | BITAR        | CTICM                             |
| MME | BONIFACE     | EIFPAGE CM                        |
| M   | BUREAU       | CTICM                             |
| MME | CAILLAT      | AFNOR                             |
| M   | CAUSSE       | VINCI Construction Grands Projets |
| M   | CHABROLIN    | CTICM                             |
| M   | CORTADE      | Consultant                        |
| M   | COUCHAUX     | CTICM                             |
| MME | DAVAINE      | INGEROP Expertise et Structures   |
| MME | DUSSAUGEY    | CISMA                             |
| M   | ETIENNE      | SADEF France                      |
| M   | GAULIARD     | SCMF                              |
| M   | GENEREUX     | SETRA                             |
| M   | GINEYS       | GFD                               |
| M   | GOURMELON    | IGPC                              |
| M   | GREFF        | GFD                               |
| M   | HJIAJ        | INSA de Rennes                    |
| M   | HOORPAH      | MIO                               |
| M   | IZABEL       | SNPPA                             |
| M   | LAMADON      | BUREAU VERITAS                    |
| M   | LAMY         | Fédération Française du Bâtiment  |
| M   | LE CHAFFOTEC | CTICM                             |
| MME | LEMAIRE      | BNCM/CTICM                        |
| M   | LEQUIEN      | CETEN APAVE                       |
| M   | LUKIC        | CTICM                             |
| M   | MAITRE       | SOCOTEC                           |
| M   | MARTIN       | CTICM                             |
| M   | MARTIN       | SNCF                              |
| M   | MENIGAULT    | BN ACIER                          |
| M   | MOHEISSEN    | ALGECO                            |
| MME | PALISSON     | SP CONSULTANTS                    |
| M   | PAMIES       | INRS                              |
| MME | PECHENARD    | AFFIX                             |
| M   | PERNIER      | MEEDDM / CGDD                     |
| M   | RAOUL        | Consultant                        |
| M   | ROBERT       | SETRA                             |
| M   | SEMIN        | CTICM                             |
| M   | SIFFERLIN    | EDF                               |
| M   | SOKOL        | SOKOL CONSULTANTS                 |
| M   | SOMJA        | INSA de Rennes                    |
| M   | THOLLARD     | CSTB                              |
| M   | THONIER      | EGF BTP                           |
| M   | TRIQUET      | SNCF                              |
| M   | TROUART      | Fédération Française du Bâtiment  |
| M   | VILANOVA     | CAPEB                             |
| M   | VILLETTE     | BAUDIN CHATEAUNEUF                |
| M   | VÜ           | E2C ATLANTIQUE                    |
| M   | ZHAO         | CTICM                             |

## AVANT-PROPOS

Au titre de la nouvelle réglementation parasismique française, l'Eurocode 8 est appelé à remplacer, depuis le 1<sup>er</sup> mai 2011, les anciennes règles PS92. Ces Recommandations ont été rédigées afin de faciliter la compréhension et l'application de cette nouvelle norme, et plus spécifiquement l'utilisation de la classe de ductilité DCL. Elles tiennent compte des spécificités des structures en acier et mixtes acier-béton, à la fois du point de vue du comportement propre du matériau acier et des systèmes et détails constructifs couramment utilisés dans ce domaine. De ce fait, elles ne peuvent en aucun cas être extrapolées à d'autres types de structures.

Ces Recommandations ont été établies en 2012 par un groupe de travail composé de :

|     |           |                         |
|-----|-----------|-------------------------|
| M   | ARIBERT   | Consultant, INSA Rennes |
| M   | BOCH      | ALPES CONTRÔLES         |
| M   | CHABROLIN | CTICM                   |
| M   | COUCHAUX  | CTICM                   |
| M   | FOURMENT  | BAUDIN CHATEAUNEUF      |
| M   | HOSTALERY | BUREAU VERITAS          |
| MME | LEMAIRE   | CTICM                   |
| M   | LEQUIEN   | CETEN APAVE             |
| M   | MAITRE    | SOCOTEC                 |
| M   | MARTIN    | CTICM                   |
| M   | SIFFERLIN | EDF                     |
| M   | SOMJA     | INSA Rennes             |
| M   | THOLLARD  | CSTB                    |
| M   | VÜ        | E2C ATLANTIQUE          |

Le présent document a été entériné par la CNC2M (Commission de normalisation de la construction métallique et mixte), le 20 décembre 2012.

Les utilisateurs de ces Recommandations sont invités à faire connaître leurs éventuelles observations au BNCM, Centre Technique Industriel de la Construction Métallique, Espace Technologique, Immeuble Apollo, L'orme des merisiers, 91193 SAINT-AUBIN (courriel : [contact@bncm.fr](mailto:contact@bncm.fr)).

## 1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

- (1) Le présent document a pour objet de proposer des recommandations destinées à aider le dimensionnement et la réalisation des structures en acier ou mixtes acier-béton qui doivent résister aux actions du séisme par application de la norme **NF EN 1998-1** [13], [14], en étant conçues pour avoir un comportement non ou faiblement dissipatif, correspondant à la classe de ductilité **DCL** de cette norme.
- (2) Les présentes Recommandations s'appliquent à tous les bâtiments de la classe dite « à risque normal », couverts par l'Arrêté du 22 octobre 2010 [3], dotés d'une structure résistante (dite structure primaire) en acier ou mixte acier-béton, quelle que soit la zone de sismicité où ces bâtiments sont implantés. Les bâtiments isolés sismiquement à leur base ne sont pas couverts par ce document.
- (3) Ce document apporte des précisions pour une application appropriée de la classe de ductilité DCL avec une valeur de coefficient de comportement  $q$  pouvant prendre une valeur allant de 1 à 2.
- (4) L'annexe propose un tableau de synthèse pour les conditions d'application de la classe de ductilité DCL.
- (5) Sauf indication particulière dans le texte, ces Recommandations s'appliquent à la structure primaire résistant à l'action du séisme.

## 2. RÈGLES GÉNÉRALES POUR LA CLASSE DUCTILITÉ DCL

- (1) Quelle que soit la valeur du coefficient de comportement adoptée, les règles suivantes s'appliquent en classe de ductilité DCL.
- (2) Les sollicitations sismiques dans une structure de classe de ductilité DCL sont déterminées par une analyse globale élastique. La résistance des éléments et des assemblages de cette structure est vérifiée sur la base des normes **NF EN 1993** ([4] à [10]) pour les structures en acier et sur celle de la **NF EN 1994-1-1** [11], [12] pour les structures mixtes. Leur fabrication et exécution sont réalisées conformément à la norme **NF EN 1090-2** [15].
- (3) Les coefficients partiels à appliquer pour effectuer ces vérifications ont pour valeurs celles indiquées par l'Annexe Nationale de la **NF EN 1998-1** [14] (clause 6.1.3 (1) P Note 1 et clause 7.1.3 (3)) :
  - résistance des éléments en acier :  $\gamma_{M0} = 1,00$  ;
  - stabilité des éléments en acier :  $\gamma_{M1} = 1,00$  ;
  - résistance des boulons, des soudures et des plaques en pression diamétrale :  $\gamma_{M2} = 1,15$  ;
  - résistance des boulons au glissement :  $\gamma_{M3} = 1,10$  ;
  - résistance à la rupture en section nette des barres en traction :  $\gamma_{M2} = 1,15$  ;
  - résistance du béton :  $\gamma_c = 1,30$  ;
  - résistance des armatures :  $\gamma_s = 1,00$  ;
  - résistance au cisaillement des connecteurs :  $\gamma_v = 1,15$ .
- (4) La valeur du coefficient de comportement  $q$  est forfaitaire et doit s'appliquer à tout le bâtiment. Il est toutefois possible d'adopter, dans les limites permises par la classe de ductilité DCL, deux valeurs différentes du coefficient de comportement  $q$  pour les deux composantes horizontales de l'action sismique, sous réserve qu'il n'y ait pas de couplage des réponses dynamiques de la structure dans ces deux directions.

*Note :* Pour une structure vérifiant les conditions de régularité en plan de la **NF EN 1998-1**, les effets de couplage des réponses dynamiques dans les deux directions peuvent être négligés.

- (5) Il est rappelé que conformément à la clause 4.3.4 (1) de la **NF EN 1998-1**, les déplacements maximaux produits par l'action sismique sont déterminés en multipliant par le coefficient de comportement  $q$  les déplacements obtenus à partir du spectre de calcul.
- (6) Les aciers doivent être conformes aux normes indiquées dans la **NF EN 1993**.  
À défaut d'études plus précises permettant de justifier la conformité aux exigences de ténacité minimale à la rupture fragile, la qualité des aciers peut être déterminée en utilisant les indications du **Tableau 1** ci-dessous.

*Note :* Dans les cas hors du domaine d'application du **Tableau 1**, le choix de la qualité d'acier doit relever d'une étude spécifique.

Pour les structures mixtes, le béton et l'acier des armatures doivent être conformes aux exigences de la **NF EN 1992**.

**TABEAU 1 : CHOIX DE LA QUALITÉ DES ACIERS**

| Altitude                                                            | Épaisseur de la tôle (mm) | Qualité d'acier |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| <b>Structure à la température extérieure</b>                        |                           |                 |
| H < 500 m                                                           | t ≤ 50                    | JR              |
|                                                                     | 50 < t ≤ 80               | J0              |
| 500 ≤ H ≤ 1000 m                                                    | t ≤ 50                    | J0              |
|                                                                     | 50 < t ≤ 80               | J2              |
| 1000 ≤ H ≤ 1500 m                                                   | t ≤ 50                    | J2              |
|                                                                     | 50 < t ≤ 80               | K2, M, N        |
| <b>Structure (chauffée) à température contrôlée ou dans les DOM</b> |                           |                 |
|                                                                     | t ≤ 50                    | JR              |
|                                                                     | 50 < t ≤ 80               | J0              |

- (7) Toutes les soudures des assemblages de la structure primaire résistant à l'action du séisme doivent être réalisées avec un métal d'apport ayant une ténacité au moins égale à celle du métal de base.
- (8) Les éléments de la structure primaire résistant à l'action du séisme doivent être fabriqués et exécutés en respectant au minimum les exigences correspondant à la classe d'exécution EXC2 suivant la norme **NF EN 1090-2**.

### 3. RÈGLES PARTICULIÈRES POUR LA CLASSE DE DUCTILITÉ DCL AVEC $q = 1,5$

- (1) Pour les structures en acier et mixtes respectant les règles générales et particulières de ces recommandations, la classe de ductilité DCL avec la valeur  $q = 1,5$  peut être utilisée sur tout le territoire français, quelle que soit la zone de sismicité.
- (2) En zones de sismicité 3, 4 et 5, les éléments en acier de la structure primaire résistant à l'action du séisme doivent avoir une section de classe 1, 2 ou 3 selon la **NF EN 1993-1-1** [4] [6].  
  
Il est possible, dans ces zones de sismicité 3, 4 et 5, d'utiliser dans la structure primaire des éléments en acier avec une section de classe 4, à condition d'adopter un coefficient de comportement  $q$  égal à 1 et de respecter les dispositions du chapitre 5 au lieu de celles du présent chapitre 3.
- (3) En zones de sismicité 3, 4 et 5, les éléments mixtes sans enrobage de béton de la structure primaire doivent avoir une section de classe 1, 2 ou 3 selon 5.5.2 de la **NF EN 1994-1-1**. Les éléments mixtes avec enrobage ou remplissage de béton doivent vérifier les conditions d'élancement des parois du **Tableau 2** de la clause 4.2 (6) pour pouvoir être considérés en classe 3.
- (4) Comme indiqué en 6.1.2 (2) P de la **NF EN 1998-1**, il n'est pas nécessaire de réduire la valeur du coefficient de comportement  $q$  quand celle-ci est prise égale à 1,5, pour une structure irrégulière en élévation (cf. 4.2.3.3 de la **NF EN 1998-1**).

## 4. RÈGLES PARTICULIÈRES POUR LA CLASSE DE DUCTILITÉ DCL AVEC $q = 2$

### 4.1 Structures en acier

- (1) Sous réserve d'apporter les justifications appropriées, la clause 6.1.2 (1)P de l'Annexe Nationale de la **NF EN 1998-1** permet de prendre  $q = 2$  comme valeur du coefficient de comportement en classe de ductilité DCL.
- (2) La satisfaction de tous les critères donnés dans les clauses suivantes constitue une condition suffisante pour l'adoption de la valeur  $q = 2$  pour le coefficient de comportement en classe de ductilité DCL. On appellera par la suite **DCL<sup>(+)</sup>** la classe de ductilité DCL utilisée dans la cadre de ces hypothèses.
- (3) L'utilisation de la classe de ductilité DCL<sup>(+)</sup> avec  $q = 2$  n'est possible qu'en zone de sismicité pour laquelle  $\gamma_1 a_{gr} S \leq 0,25 g$  ( $2,5 \text{ m/s}^2$ ), où  $\gamma_1$  est le coefficient d'importance,  $a_{gr}$  est l'accélération maximale de référence du sol,  $g$  l'accélération de la pesanteur et  $S$  le paramètre du sol (cf. arrêté du 22/10/2010 [3] pour  $\gamma_1$  et  $a_{gr}$  et le chapitre 3.2.2 de la **NF EN 1998-1** pour  $S$ ).
- (4) Il n'est pas possible d'utiliser les systèmes de stabilité suivants pour la structure primaire résistant à l'action du séisme :
  - les ossatures à triangulation en K ;
  - les ossatures avec entretoises excentrées ;
  - les systèmes de contreventement qui ne permettent pas d'associer simultanément pour chaque niveau des diagonales tendues et comprimées.

Les **Figures 1 à 3** ci-dessous donnent des exemples de ces configurations de système de stabilité.

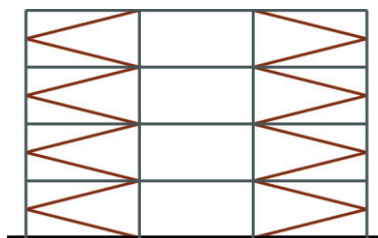


Figure 1 : Ossature à triangulation en K

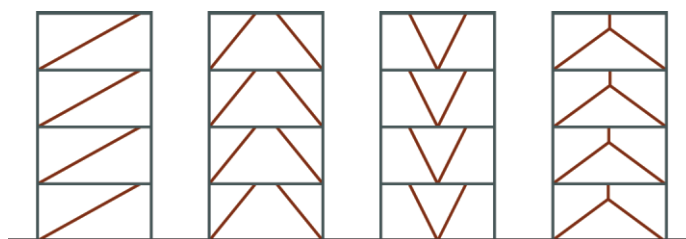
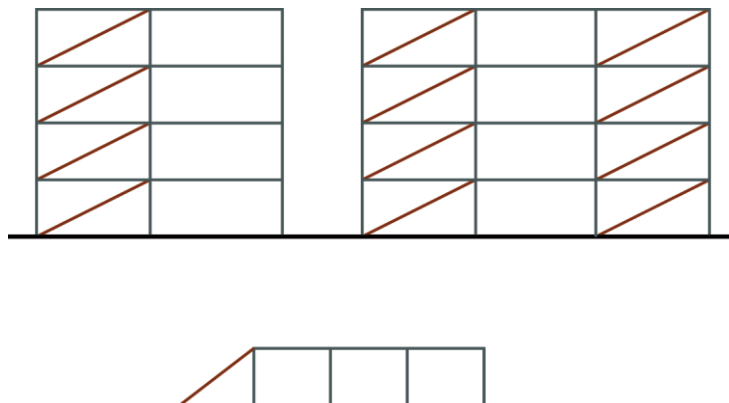
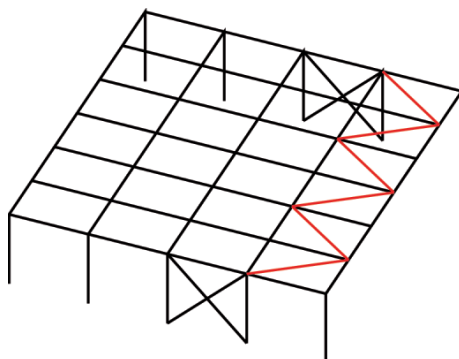


Figure 2 : Ossatures à entretoises excentrées



**Figure 3 : Systèmes de contreventement ne permettant pas d'associer simultanément pour chaque niveau des diagonales tendues et comprimées**

*Note :* Par analogie, on ne peut pas utiliser la classe DCL<sup>(+)</sup> pour une structure stabilisée par une poutre au vent transversale dont les panneaux ne comportent qu'une seule diagonale (cf. Figure 4).



**Figure 4 : Poutre au vent transversale dont les panneaux ne comportent qu'une seule diagonale**

- (5) Le bâtiment doit être régulier en élévation (cf. 4.2.3.3 de la **NF EN 1998-1**).
- (6) Les assemblages du système primaire résistant à l'action du séisme, y compris ceux des pieds de poteaux, sont dimensionnés pour résister aux sollicitations de calcul dans lesquelles la partie due à l'action sismique est majorée par un coefficient pris égal à 4/3.

Pour le dimensionnement des fondations et autres liaisons, la descente de charges doit prendre en compte cette majoration.

*Note :* L'application de la présente clause 4.1 (6) revient à dimensionner les assemblages en classe de ductilité DCL<sup>(+)</sup> avec des sollicitations identiques à celles qui auraient été obtenues en classe de ductilité DCL avec  $q = 1,5$ .

- (7) Les assemblages boulonnés de la structure primaire résistant à l'action du séisme doivent être constitués de boulons précontraints à serrage contrôlé (conformes à la **NF EN 14399** [17]) ou de boulons calibrés dans des perçages à jeu réduits (dits « plein trou », tels qu'ils sont définis en 6.6.1 de la **NF EN 1090-2**).



Quand ces assemblages travaillent en cisaillement, il convient d'utiliser l'une des catégories suivantes :

- la catégorie C définie en 3.4.1 c) de la **NF EN 1993-1-8** avec des boulons précontraints. Dans ce cas, la vérification au non-glissement de l'assemblage s'effectue à l'état limite ultime. Dans les combinaisons sismiques de calcul, il n'y a pas lieu d'appliquer la majoration de 4/3 de la partie due à l'action sismique prévue à la clause 4.1 (6) ;
- la catégorie A définie en 3.4.1 a) de la **NF EN 1993-1-8** avec des boulons calibrés, en se limitant aux seuls boulons des classes 8.8 et 10.9.

Pour les boulons travaillant en extension, il convient d'utiliser la catégorie E, définie en 3.4.2 b) de la **NF EN 1993-1-8**.

- (8) Les éléments constitutifs de la structure primaire résistant à l'action du séisme doivent avoir une section de classe 1, 2 ou 3 selon la **NF EN 1993-1-1**.

## 4.2 Structures mixtes acier-béton

- (1) Pour les structures mixtes acier béton dont tous les éléments du système primaire participant à la reprise des actions sismiques travaillent en acier seul, les dispositions du chapitre 4.1 s'appliquent.

En outre, pour une ossature fonctionnant en portique, il convient alors de s'assurer que la mixité des poutres avec dalle peut être négligée, en adoptant les dispositions suivantes :

- la dalle est totalement déconnectée à chaque extrémité de poutre dans une zone circulaire centrée sur l'axe du poteau, de rayon  $b_{eff}$  qui est la plus grande des largeurs participantes  $b_{eff,1}$  et  $b_{eff,2}$  spécifiées en 5.4.1.2 de la **NF EN 1994-1-1** ;
- la déconnexion totale de la poutre à ses extrémités implique de ne pas utiliser de connecteurs ou d'autres systèmes de fixation de la dalle et de respecter un jeu suffisant entre la dalle et les semelles du poteau ;
- il est en outre recommandé de ne pas dépasser un degré de connexion de 0,4 en partie centrale des poutres (cf. 6.2.1.3 (3) de la **NF EN 1994-1-1**).

*Note :* Dans le cas de poutres en acier partiellement enrobées de béton entre les semelles et sans dalle ou avec dalle totalement déconnectée aux extrémités, on peut se référer aux dispositions du chapitre 4.1 tout en prenant en compte la contribution du béton d'enrobage et de ses armatures longitudinales. Le béton entre semelles permet également de s'opposer au voilement de l'âme et de toute partie de la semelle acier comprimée, sous réserve de satisfaire les dispositions indiquées dans la **NF EN 1994-1-1** en 5.5.3 (2).

- (2) Pour les structures mixtes acier-béton dont les éléments du système primaire résistant à l'action du séisme fonctionnent en utilisant la mixité, la clause 7.1.2 P de l'Annexe Nationale de la **NF EN 1998-1** permet de prendre  $q = 2$  comme valeur du coefficient de comportement en classe de ductilité DCL, sous réserve d'apporter les justifications appropriées.

- (3) La satisfaction des critères donnés dans les clauses suivantes constitue une condition suffisante pour l'adoption de la valeur  $q = 2$  pour le coefficient de comportement en classe de ductilité DCL.
- (4) Les conditions des clauses (3) à (7) du chapitre 4.1 doivent être respectées.
- (5) Les poutres et poteaux de la structure primaire peuvent être mixtes ou en acier. Les diagonales des ossatures triangulées doivent être en acier seul.
- (6) Les éléments mixtes sans enrobage de béton doivent avoir une section de classe 1, 2 ou 3 selon 5.5.2 de la **NF EN 1994-1-1**.

Les sections des éléments mixtes avec enrobage de béton doivent vérifier les conditions d'élancement des parois du **Tableau 2**, dans lequel :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \text{ où } f_y \text{ est la limite d'élasticité de l'acier de la section, en MPa.}$$

**TABLEAU 2 : CONDITIONS D'ÉLANCEMENT DES PAROIS DES SECTION MIXTES AVEC ENROBAGE DE BÉTON**

|                                               |                    |
|-----------------------------------------------|--------------------|
| Section en H ou en I partiellement enrobée    |                    |
| Section en H ou en I entièrement enrobée      |                    |
| Limite d'élancement $c/t_f$                   | $20 \varepsilon$   |
| Section rectangulaire creuse remplie de béton |                    |
| Limites de $h/t$                              | $52 \varepsilon$   |
| Section circulaire creuse remplie de béton    |                    |
| Limites de $d/t$                              | $90 \varepsilon^2$ |

- (7) La classe de béton ne doit pas être inférieure à C20/25, ni supérieure à C40/50.
- (8) L'acier des barres d'armatures doit être de classe B ou C, selon le Tableau C1 de la **NF EN 1992-1-1**. Cette exigence s'applique aux barres comme aux treillis soudés. À l'exception des étriers fermés et des épingles, seules les barres à haute adhérence sont admises comme armatures.

*Note :* L'ancrage des armatures longitudinales doit être conforme au chapitre 8.4 de la **NF EN 1992-1-1**. En bord longitudinal de dalle avec présence d'une connexion, les armatures transversales de la connexion doivent être ancrées selon les spécifications données en 6.6.5.3 de la **NF EN 1994-1-1**.

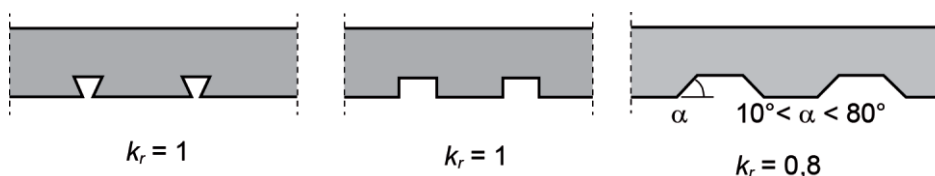
- (9) Tant pour effectuer l'analyse globale élastique de la structure que pour calculer les moments résistants d'une poutre mixte (en flexion positive ou négative), on adoptera comme largeurs participantes de la dalle béton les valeurs  $b_{\text{eff},1}$  et  $b_{\text{eff},2}$  spécifiées en 5.4.1.2 de la **NF EN 1994-1-1**.

*Note :* Faute de modèle plus précis, un poteau intermédiaire de portique multi-traverses sera censé intervenir pour la définition de la largeur participante  $b_{\text{eff},2}$  au même titre qu'un appui intermédiaire de poutre continue.

- (10) La connexion des poutres mixtes et de systèmes structuraux mixtes (avec murs en béton armé et poutres et poteaux en acier – cf. Figure 7.1 de la **NF EN 1998-1**) doit être complète ou éventuellement partielle avec des connecteurs ductiles et un degré de connexion au moins égal à 0.8.

- (11) La résistance de calcul des connecteurs est obtenue à partir de la résistance de calcul indiquée dans la **NF EN 1994-1-1** avec le coefficient partiel  $\gamma_v$  pris à égal à 1,15, multipliée par un coefficient de réduction de 0,85.

En outre, lorsqu'une tôle mince profilée en acier avec des nervures transversales par rapport aux poutres qui la supportent est utilisée, il convient de minorer le coefficient de réduction  $k_t$  de la résistance de calcul au cisaillement des connecteurs donné dans la **NF EN 1994-1-1**, en le multipliant par le coefficient d'efficacité de forme des nervures  $k_r$  défini dans la **Figure 5** ci-dessous.



**Figure 5 : Valeurs du coefficient d'efficacité de forme des nervures**

- (12) Sous flexion positive d'une poutre mixte, le rapport  $x/d$  de la distance  $x$  entre la fibre comprimée supérieure de la dalle et l'axe neutre plastique à la hauteur totale  $d$  de la section mixte ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :
- $x/d = 0,40$  lorsque l'acier de la poutrelle est de nuance S235 ou S275 ;
  - $x/d = 0,30$  lorsque cet acier est de nuance S355 ou S460.
- (13) Dans la zone d'assemblage d'une poutre mixte à un poteau de portique, des armatures doivent être placées dans la dalle transversalement à l'axe de la poutre afin de reprendre la différence d'effort axial dans la dalle de part et d'autre du poteau, par un fonctionnement bielle-tirant. Le coefficient de majoration de 4/3, applicable aux assemblages (cf. clause 4.1 (6)) doit être pris en compte pour le dimensionnement de ces armatures.

*Note : Pour déterminer la disposition et l'aire de section de ces armatures transversales, il convient de se référer à l'Annexe C de la **NF EN 1998-1** en fonction des différentes configurations possibles de poteau.*

- (14) Pour les poteaux mixtes entièrement enrobés de béton, comprimés et fléchis (dans les ossatures en portique), des armatures de confinement du béton doivent être placées sur des longueurs  $\ell_{cr}$  dites « critiques » aux deux extrémités des poteaux.

La longueur critique  $\ell_{cr}$  d'un poteau est la plus grande des trois longueurs suivantes (cf. relation (5.14) de la **NF EN 1998-1**) :

- $\ell_1 = h_c$ , où  $h_c$  est la plus grande dimension de la section transversale du poteau ;
- $\ell_2 = \ell_{cl} / 6$ , où  $\ell_{cl}$  est la longueur libre du poteau ;
- $\ell_3 = 0,45 \text{ m}$

Le rapport mécanique en volume  $\omega_{wd}$  des armatures de confinement au noyau en béton doit satisfaire la condition (7.5) de la **NF EN 1998-1**, avec  $\mu_\phi = 3$ ,  $v_d$  donné par la relation (7.6) et le coefficient d'efficacité du confinement  $\alpha = \alpha_n \alpha_s$  donné par les équations (5.16a) et (5.17a) de la norme.

L'espacement  $s$  des armatures de confinement ne doit pas dépasser la plus petite des trois valeurs suivantes (cf. relation (7.7) de la **NF EN 1998-1**) :

- $s_1 = b_o / 2$ , où  $b_o$  est la dimension minimale du noyau de béton (par rapport à l'axe des armatures de confinement)
- $s_2 = 260 \text{ mm}$  ;
- $s_3 = 9 d_{bL}$ , où  $d_{bL}$  est le diamètre minimal des armatures longitudinales.

Le diamètre des armatures de confinement est au moins de 6 mm.

- (15) Pour les poteaux mixtes partiellement enrobés de béton, comprimés et fléchis (dans les ossatures en portique), les mêmes dispositions d'armatures de confinement que celles définies à la clause précédente doivent s'appliquer pour les enrobages de béton entre les semelles acier, concernant la longueur critique  $\ell_{cr}$ , l'espacement minimal  $s$  et le diamètre minimal des armatures.

*Note :* Pour les poteaux mixtes comprimés et fléchis en profil creux remplis de béton (éventuellement renforcé par une armature longitudinale), la mise en place d'armatures de confinement n'est pas indispensable du fait de l'action du profil acier.

- (16) Pour les poteaux mixtes comprimés et fléchis, la résistance en moment fléchissant et effort normal doit être évaluée conformément à 6.7.3.6 et 6.7.3.5 de la **NF EN 1994-1-1**. En revanche, la résistance à l'effort tranchant de ces poteaux doit être évaluée sur la seule base de la section acier.
- (17) En dimensionnement parasismique, il convient de réduire par le facteur multiplicatif 0,5 les valeurs de résistance au cisaillement  $\tau_{Rd}$  données dans la clause 6.7.4.3 de la **NF EN 1994-1-1** pour l'adhérence mécanique par frottement entre l'acier et le béton de poteaux mixtes. Pour effectuer cette vérification, il n'est pas nécessaire de prendre en compte la majoration de 4/3 prévue en 4.1 (6) pour les assemblages.

Lorsque le transfert d'efforts de cisaillement entre parties en acier et en béton armé ne peut être assuré par la seule adhérence mécanique, en particulier aux extrémités des poteaux en raison des efforts tranchants provenant des poutres, des connecteurs doivent être placés sur la partie en acier pour assurer un fonctionnement mixte effectif des sections des poteaux.

- (18) Pour les systèmes structuraux mixtes (avec murs en béton armé et poutres et poteaux en acier conformément à la Figure 7.1 de la **NF EN 1998-1**), les dispositions de la clause 7.10.3 (5) de la **NF EN 1998-1** s'appliquent. Les poteaux mixtes de rive, totalement ou partiellement enrobés, doivent également satisfaire aux exigences qui précèdent.
- (19) Pour les murs mixtes avec plaque acier fonctionnant en cisaillement, il convient de raidir la plaque acier (pour se prémunir du voilement de la plaque) à l'aide d'un enrobage de béton sur une ou deux faces, fixé au moyen de connecteurs.

## 5. RÈGLES PARTICULIÈRES POUR LA CLASSE DE DUCTILITÉ DCL AVEC $q = 1$

- (1) Il est possible d'utiliser la classe de ductilité DCL avec une valeur du coefficient de comportement  $q$  prise égale à 1.

Dans ce cas, les structures sont dimensionnées sur la base d'une analyse globale élastique, pour lequel tout fonctionnement dissipatif hystérétique est *a priori* exclu. L'absorption d'énergie se fait alors essentiellement sur la base de la capacité d'amortissement visqueux du matériau constituant la structure.

- (2) La classe de ductilité DCL avec  $q = 1$  peut être utilisée quelle que soit la zone de sismicité.
- (3) En classe de ductilité DCL avec  $q = 1$ , l'action sismique doit être déterminée à partir du spectre de réponse élastique, tel que défini en 3.2.2.2 de la **NF EN 1998-1** pour l'action sismique horizontale et, le cas échéant, en 3.2.2.3 pour l'action sismique verticale.

Le spectre élastique doit être ajusté en fonction du coefficient d'amortissement  $\eta$ , lui-même donné par la relation (3.6) de la **NF EN 1998-1**, en fonction du pourcentage d'amortissement critique  $\xi$  représentatif de la structure. À défaut de valeurs plus élevées, validées sur des bases expérimentales ou théoriques, les valeurs de  $\xi$  à utiliser sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

**TABLEAU 3 : VALEURS DU COEFFICIENT D'AMORTISSEMENT**

|                             | Assemblages soudés | Assemblages boulonnés |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| Structure en acier          | $\xi = 2 \%$       | $\xi = 4 \%$          |
| Structure mixte acier-béton | $\xi = 4 \%$       | $\xi = 4 \%$          |

## 6. RÉFÉRENCES

### *Réglementation*

- [1] **Décret n°2010-1254** du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique.
- [2] **Décret n°2010-1255** du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.
- [3] **Arrêté du 22 octobre 2010** relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

### *Normes européennes*

- [4] **NF EN 1992-1-1** – Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. AFNOR – Octobre 2005.
- [5] **NF EN 1993-1-1** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. AFNOR – Octobre 2005.
- [6] **NF EN 1993-1-1/NA** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la NF EN 1993-1-1 : 2005. AFNOR – Mai 2007.
- [7] **NF EN 1993-1-5** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-5 : Plaques planes. AFNOR – Mars 2007.
- [8] **NF EN 1993-1-5/NA** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-5 : Plaques planes. Annexe Nationale à la NF EN 1993-1-5 :2007. AFNOR – Octobre 2007.
- [9] **NF EN 1993-1-8** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-8 : Calcul des assemblages. AFNOR – Décembre 2005.
- [10] **NF EN 1993-1-8/NA** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-8 : Calcul des assemblages. Annexe Nationale à la NF EN 1993-1-8 :2005. AFNOR – Juillet 2007.
- [11] **NF EN 1994-1-1** – Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier béton. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. AFNOR – Juin 2005.
- [12] **NF EN 1994-1-1/NA** – Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier béton. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la NF EN 1994-1-1:2005. AFNOR – Avril 2007.
- [13] **NF EN 1998-1** – Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. AFNOR – Septembre 2005.
- [14] **NF EN 1998-1/NA** – Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments. Annexe Nationale à la NF EN 1998-1 : 2005. AFNOR – Décembre 2007.

- [15] **NF EN 1090-2** – Exécution des structures en acier et des structures en aluminium. Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier. AFNOR – Octobre 2011.
- [16] **NF P22-101-2/CN** – Exécutions des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier - Complément national à la NF EN 1090-2:2009.
- [17] **NF EN 14399** – Parties 1 à 10 - Boulonnerie de construction à haute résistance apte à la précontrainte. AFNOR

**ANNEXE : TABLEAU DE SYNTHÈSE**

|                                                                                                             | DCL avec $q = 1$                                                                                                       | DCL avec $q = 1,5$                                                                                                   | DCL <sup>(*)</sup> avec $q = 2$                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coefficient de comportement                                                                                 | $q = 1$                                                                                                                | $q = 1,5$                                                                                                            | $q = 2$                                                                                                                                                                                                                        |
| Niveau de sismicité                                                                                         | Toutes les zones / toutes les structures                                                                               |                                                                                                                      | Les zones/structures/sols pour lesquels $\gamma_1 a_{gr} S \leq 2,5 \text{ m/s}^2$                                                                                                                                             |
| Systèmes de stabilité latérale                                                                              | Tous les systèmes                                                                                                      |                                                                                                                      | Systèmes de stabilité non autorisés :<br>Contreventement en K<br>Contreventement à triangulation excentrée<br>Contreventement ne permettant pas d'associer simultanément à chaque niveau des diagonales tendues et comprimées. |
| Condition de régularité                                                                                     | Pas de conditions                                                                                                      |                                                                                                                      | Régularité en élévation.                                                                                                                                                                                                       |
| Classes de section des éléments du système primaire (section acier ou section mixte sans enrobage de béton) | Toutes les classes                                                                                                     | Classe de section 1, 2 ou 3 en zones de sismicité 3, 4 et 5<br>Classe de section 4 autorisée en zone de sismicité 2. | Classe de section 1, 2 ou 3                                                                                                                                                                                                    |
| Élancement de parois des sections mixtes avec enrobage de béton                                             | Pas de conditions                                                                                                      | En zones de sismicité 3, 4 et 5, conditions du <b>Tableau 2</b> ;<br>En zone de sismicité 2, pas de conditions       | Conditions d'élancement du <b>Tableau 2</b>                                                                                                                                                                                    |
| Spectres de calcul                                                                                          | selon le chapitre 3.2.2.2 ou le chapitre 3.2.2.3 de la <b>NF EN 1998-1</b>                                             |                                                                                                                      | selon le chapitre 3.2.2.5 de la <b>NF EN 1998-1</b>                                                                                                                                                                            |
| Acier                                                                                                       | Normes acier de la <b>NF EN 1993</b><br>Conditions de ténacité définies par le <b>Tableau 1</b> de ces Recommandations |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                |



|                                                                                                                            | DCL avec $q = 1$                                                                                                                               | DCL avec $q = 1,5$ | DCL <sup>(*)</sup> avec $q = 2$                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Béton et armatures des structures mixtes                                                                                   | Exigences de la <b>NF EN 1992</b>                                                                                                              |                    | Classe de béton entre C20/25 et C40/50<br>Armatures de classe B ou C                                                                                                                                                           |
| Coefficients partiels                                                                                                      | Définis par les clauses 6.1.3 (1)P et 7.1.3 (3) de l'Annexe Nationale de la <b>NF EN 1998-1</b>                                                |                    |                                                                                                                                                                                                                                |
| Assemblages boulonnés de la structure primaire                                                                             | Boulons précontraints ou non, boulons calibrés plein trous                                                                                     |                    | Assemblages en cisaillement :<br>Boulons précontraints à serrage contrôlé (catégorie C) ou<br>ou boulons calibrés plein trou (catégorie A)<br>Boulons en extension :<br>Boulons précontraints à serrage contrôlé (catégorie E) |
| Vérification de la résistance des éléments et des assemblages                                                              | Selon les normes <b>NF EN 1993</b> pour les structures acier ;<br>Selon la norme <b>NF EN 1994-1-1</b> pour les structures mixtes acier-béton. |                    |                                                                                                                                                                                                                                |
| Sollicitations pour le dimensionnement des assemblages, des pieds de poteaux et des fondations de la structure primaire(*) | $E_d = E_G + E_E$                                                                                                                              |                    | Dans le cas général :<br>$E_d = E_G + 4/3 E_E$<br>Dans le cas particulier des assemblages en cisaillement avec boulons précontraints à serrage contrôlé de catégorie C :<br>$E_d = E_G + E_E$                                  |
| Classe d'exécution selon la norme NF EN 1090-2                                                                             | EXC2 minimum                                                                                                                                   |                    |                                                                                                                                                                                                                                |

(\*) :  $E_d$  : Sollicitation de calcul pour le dimensionnement de l'assemblage ou du pied de poteau/fondation

$E_G$  : Partie non sismique des sollicitations dans la combinaison de calcul

$E_E$  : Partie sismique des sollicitations dans la combinaison de calcul.

Pour les structures mixtes, les clauses (7) à (19) de 4.2 ne sont pas reprises dans ce Tableau de synthèse.