

STRUCTURES EN ACIER

8	STRUCTURES EN ACIER	129
8.1	Conditions d'application	
8.2	Systèmes de contreventement	
8.3	Ossatures en portiques	
8.4	Palées de contreventement à barres centrées	



8. STRUCTURES EN ACIER

8.1 Conditions d'application

La conception, le dimensionnement ainsi que l'exécution des ossatures métalliques de bâtiments, en zones sismiques, doivent satisfaire simultanément aux règles énoncées dans le présent document technique réglementaire et à celles prescrites par les autres règlements en vigueur.

La conception, le dimensionnement, ainsi que l'exécution des ossatures métalliques, fabriquées à partir d'aciers de construction laminés à chaud, doivent respecter les dispositions énoncées aux § 8.3 et § 8.4. Les aciers de construction, utilisés dans les éléments de ces ossatures, doivent être conformes aux normes en vigueur et doivent respecter les exigences, énoncées dans les règles, en vigueur, de conception et de calcul des structures en acier.

Quelques recommandations pour la conception, le dimensionnement, ainsi que l'exécution des constructions en profilés formés à froid sont proposées en Annexe E.

8.2 Systèmes de contreventement

8.2.1 Types de Structures

Les prescriptions et indications nécessaires au dimensionnement des ossatures en portiques sont développées au paragraphe 8.3.

Les prescriptions et indications nécessaires au dimensionnement des ossatures avec palées de contreventement à barres centrées sont développées au paragraphe 8.4.

Pour les ossatures en portiques, avec palées de contreventement à barres centrées, il y a lieu de se référer aux § 8.3 et § 8.4.

8.2.2 Prescriptions pour le choix des classes de sections en fonction de du coefficient de comportement

Il convient d'assurer une ductilité locale suffisante des éléments qui dissipent l'énergie par compression ou/et par flexion, par la limitation du rapport largeur sur épaisseur (b/t), selon les classes de sections précisées dans les règles CCM en vigueur. Ces dernières sont fixées en fonction de la valeur du coefficient de comportement R (cf. Tableau (8.1)).

Coefficient de comportement, R	Classes de la section
$R > 4$	1
$2 \leq R < 4$	1 ou 2
$R \leq 2$	1, 2 ou 3

Table 8.1: : Prescriptions pour le choix des classes de sections selon la valeur du coefficient, R

8.3 Ossatures en portiques

8.3.1 Principes généraux

Cette section énonce les dispositions régissant la conception, le dimensionnement, ainsi que l'exécution des portiques, lesquels sont classés en deux catégories :

- Les ossatures en portiques, sans remplissage en maçonnerie ou avec remplissage en maçonnerie isolé
- Les ossatures en portiques, avec remplissage en maçonnerie rigide

8.3.2 Assemblages

Les assemblages doivent respecter plusieurs exigences:

- Chaque assemblage poteau-poutre, d'un portique, doit être de type rigide et être capable de développer, dans la poutre, la capacité plastique totale de cette dernière.
- Dans le cas où les assemblages poteaux-poutres d'un portique sont boulonnés, ces assemblages doivent être conçus, calculés et réalisés comme des assemblages travaillant au cisaillement, de type résistant au glissement à l'état- limite ultime sous l'action sismique, et utilisant des boulons précontraints à haute résistance et à serrage contrôlé.
- Pour les aciers de construction dont la résistance ultime spécifiée est de moins de 1.5 fois la résistance limite d'élasticité spécifiée, les rotules plastiques devant se former dans les poutres, pendant les déformations inélastiques du portique, ne doivent pas apparaître en des endroits où l'aire de la semelle a été réduite, par exemple par des trous pour boulons. A titre indicatif, cette condition est remplie pour les aciers de nuances FE 360 et FE 430 mais elle ne l'est pas nécessairement pour la nuance FE 510.
- Les cordons de soudure des assemblages soudés des portiques doivent être contrôlés par des méthodes de contrôle non destructif conformes aux normes y afférentes, et ce, particulièrement pour les ouvrages des groupes 1A et 1B implantés en zone sismique IV, V et VI.

8.3.3 Règles détaillées de vérification pour les portiques

Critères particuliers

Pour s'assurer d'un minimum de ductilité globale de la structure, il convient de satisfaire aux règles données au § 8.3.3 afin d'obtenir le schéma exigé de formation des rotules.

Poutres

Il convient de vérifier que les poutres disposent d'une sécurité suffisante, vis-à-vis de la ruine par flambement latéral ou par déversement, conformément aux règles CCM, en supposant que le moment plastique se forme à une extrémité de la poutre (l'extrémité la plus sollicitée dans la situation sismique de calcul).

Au droit des rotules plastiques des poutres, il convient de vérifier que le moment complet de résistance plastique et la capacité de rotation ne sont pas réduits par l'effort de compression et par l'effort tranchant. Dans ce but, il convient de vérifier les inégalités suivantes aux endroits où les rotules plastiques sont censées se former :

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} \leq 1.0 \quad (8.1)$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \leq 0.15 \quad (8.2)$$

$$\frac{V_{G,Sd} + V_{M,Sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 0.5 \quad (8.3)$$

avec :

- N_{Sd} : valeur de calcul de l'effort axial
- M_{Sd} : valeur de calcul du moment fléchissant
- $N_{pl,Rd}, M_{pl,Rd}, V_{pl,Rd}$: valeurs de calcul des efforts et moments résistants plastiques, conformément aux règles CCM
- $V_{G,Sd}$: valeur de calcul de l'effort tranchant dû aux actions non sismiques
- $V_{M,Sd}$: valeur de calcul de l'effort tranchant dû à l'application des moments résistants $M_{Rd,A}$ et $M_{Rd,B}$ avec des signes différents aux extrémités A et B de la poutre

Commentaire :

Pour les sections appartenant à la classe 3, il convient de vérifier la condition (8.1) en remplaçant $M_{pl,Rd}$ par $M_{el,Rd}$.

Poteaux

Les poteaux doivent être vérifiés en compression, en prenant en compte la combinaison la plus défavorable de l'effort normal et des moments fléchissant. Pour les vérifications, il convient de calculer N_{Sd} , M_{Sd} et V_{Sd} comme suit :

$$N_{Sd} = N_{Sd,G} + 1.1\gamma_{ov}\cdot\Omega\cdot N_{Sd,E} \quad (8.4)$$

$$M_{Sd} = M_{Sd,G} + 1.1\gamma_{ov}\cdot\Omega\cdot M_{Sd,E} \quad (8.5)$$

$$V_{Sd} = V_{Sd,G} + 1.1\gamma_{ov}\cdot\Omega\cdot V_{Sd,E} \quad (8.6)$$

avec:

- $N_{Sd,G}(M_{Sd,G}, V_{Sd,G})$: effort de compression (respectivement, moment fléchissant et effort tranchant) dans le poteau, dû aux actions non sismiques incluses dans la combinaison d'actions pour la situation sismique de calcul
- $N_{Sd,E}(M_{Sd,E}, V_{Sd,E})$: effort de compression (respectivement, moment fléchissant et effort tranchant) dans le poteau, dû à l'action sismique de calcul
- γ_{ov} : coefficient de sur-résistance de matériau qui prend en compte l'éventualité d'une limite d'élasticité réelle de l'acier supérieure à la limite d'élasticité nominale; la valeur est prise égale à $\gamma_{ov} = 1.25$ sauf justification spécifique.
- Ω : valeur minimale de $\Omega_i = \frac{M_{pl,Rd,i}}{M_{Sd,i}}$ de toutes les poutres dans lesquelles se situent des zones dissipatives ; $M_{Sd,i}$ est la valeur de calcul du moment fléchissant, dans la poutre i dans la situation sismique de calcul, et $M_{pl,Rd,i}$ est le moment plastique correspondant.

Il convient que la vérification de la résistance des poteaux soit faite conformément aux règles CCM.

Il y a lieu que la transmission des efforts des poutres aux poteaux respecte les règles de calcul données dans le règlement CCM.

Il convient que l'effort tranchant des poteaux, V_{Sd} , résultant de l'analyse de la structure, respecte la condition suivante :

$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} \geq 0.5 \quad (8.7)$$

Dans les panneaux d'âme d'assemblages poutre-poteau de portiques (cf. Figure (8.1)), il convient de vérifier la condition suivante :

$$\frac{V_{wp,Sd}}{V_{wp,Rd}} \geq 1.0 \quad (8.8)$$

avec:

- $V_{wp,Sd}$: valeur de calcul de l'effort tranchant dans le panneau d'âme, due aux effets des actions
- $V_{wp,Rd}$: valeur de calcul de la résistance à l'effort tranchant du panneau d'âme

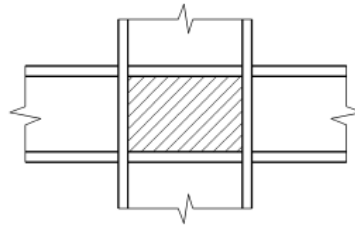


Figure 8.1: Panneau d'âme bordé par des semelles et des raidisseurs

Il convient également de vérifier que la résistance au voilement, par cisaillement des panneaux d'âme, est assurée.

Spécifications pour les nœuds poteaux –poutres

Il convient de vérifier pour les portiques participant au système de contreventement, et pour chacune des orientations possibles de l'action sismique, le critère suivant :

$$\frac{\sum M_{c,Rd}}{\sum M_{b,pl,Rd}} \geq 1.3 \quad (8.9)$$

où:

- $\sum M_{c,Rd}$: est la somme des valeurs de calculs des moments résistants des poteaux connectés à un nœud. Le moment résistant, $M_{c,Rd}$, dans un poteau doit être pris égal à la valeur minimale des valeurs réduites du moment résistant en fonction de l'effort normal, dû à la situation sismique de calcul, le long de ce poteau.
- $\sum M_{b,pl,Rd}$: est la somme des valeurs de calculs des moments résistants des poutres connectées à ce nœud.

Cette disposition tend à faire en sorte que les rotules plastiques se forment de préférence dans les poutres plutôt que dans les poteaux.

Il peut être dérogé à cette prescription à la base du portique, au dernier plancher des bâtiments à étages multiples, et dans le cas des bâtiments à un seul niveau.

8.4 Palées de contreventement à barres centrées

8.4.1 Principes généraux

La conception et le dimensionnement des palées de contreventement à barres centrées doivent respecter les dispositions énoncées dans ce paragraphe.

8.4.2 Palées de contreventement à barres centrées

Les palées de contreventement à barres centrées autorisées sont de 2 types:

- **Palées en X** : Dans ce type de palée, il est admis de considérer que seules les barres tendues, pour un sens donné de l'action sismique, interviennent avec efficacité dans la résistance dissipative de l'ossature.
- **Palées en V** : Dans ce type de palée, le point d'intersection des diagonales se trouve sur la barre horizontale. La résistance à l'action sismique est fournie par la participation conjointe des barres tendues et des barres comprimées. Le comportement dissipatif global de ce type de palée est de moindre efficacité.

A titre indicatif, les ossatures métalliques représentées dans les Figures (8.2) et (8.3) illustrent le cas des palées triangulées centrées.

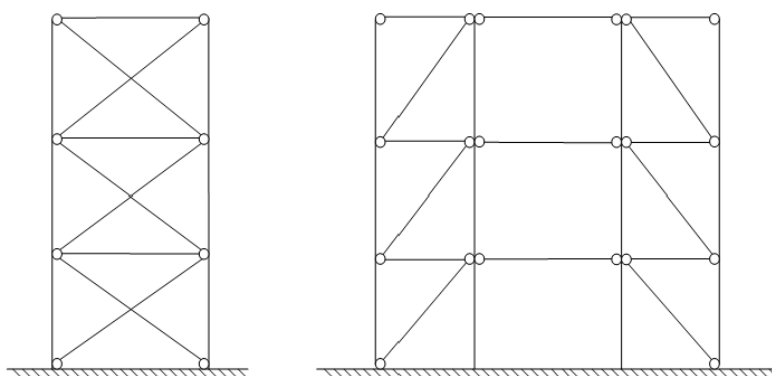


Figure 8.2: Palées de contreventement à barres centrées en X

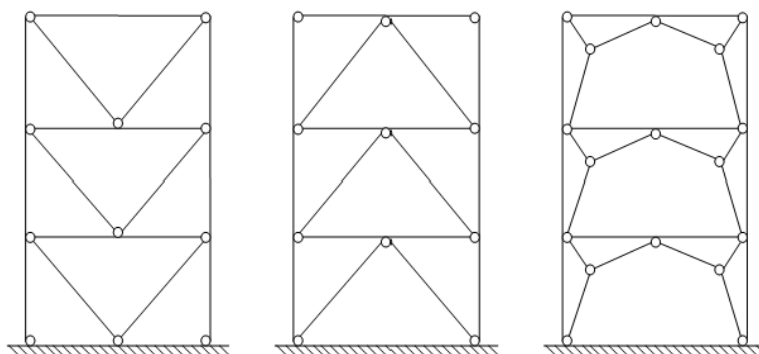


Figure 8.3: Palées de contreventement à barres centrées en V

8.4.3 Règles de vérification pour les contreventements à diagonales centrées

Critères particuliers

Les contreventements à diagonales centrées doivent être dimensionnés de telle sorte que la plastification des diagonales tendues se produise avant la plastification ou le flambement des poutres ou des poteaux et avant la ruine des assemblages.

Il convient de placer les éléments diagonaux des contreventements de telle sorte que l'ossature présente des comportements de type force/déplacement semblables, sous les inversions d'efforts, pour chaque niveau de plancher et pour chaque direction de contreventement. Dans ce but, il convient de respecter la règle suivante, étage par étage :

$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0.05 \quad (8.10)$$

où : A^+ et A^- sont les aires projetées horizontalement (sur la verticale), des sections des diagonales tendues, lorsque les actions sismiques horizontales agissent dans une direction et dans l'autre (positivement et négativement : cf. Figure (8.4)).

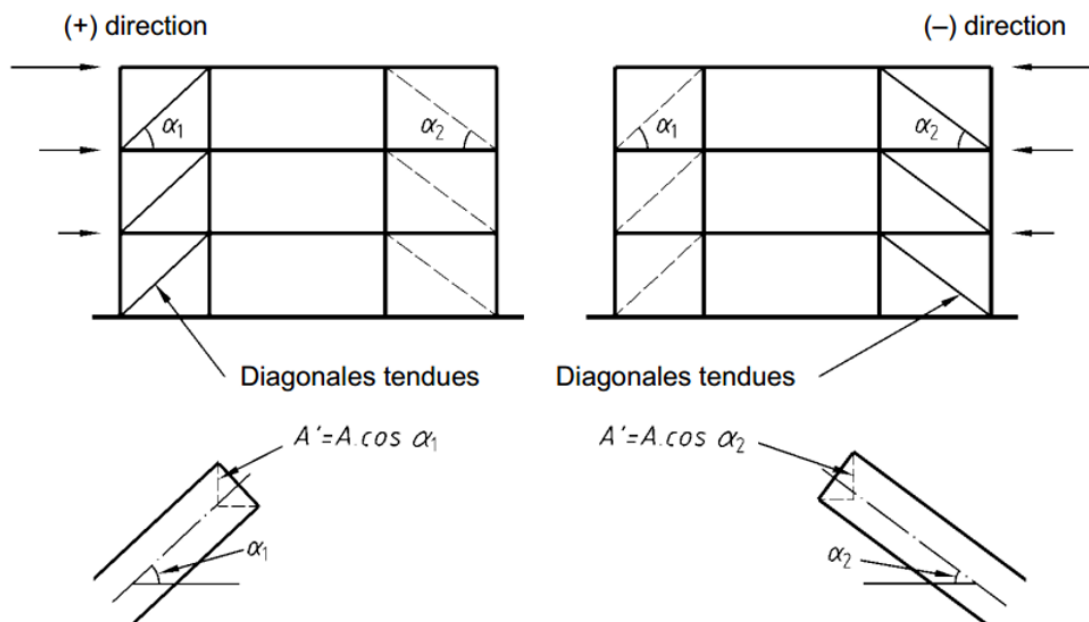


Figure 8.4: Exemple d'application de l'expression (8.10)

Diagonales

Pour les diagonales des palées en X, il convient de limiter l'élancement réduit, défini dans les règles CCM à $(\bar{\lambda} \leq 2)$ afin d'éviter une dégradation trop rapide par suite de flambement répété. Il convient également de limiter, inférieurement, l'élancement réduit par la condition $(\bar{\lambda} \geq 1.3)$ pour conserver une certaine souplesse rendant possible la plastification des diagonales tendues.

Il convient de limiter l'effort de traction N_{Sd} à la résistance plastique de calcul $N_{pl,Rd}$ de la section brute.

Dans les contreventements en V, il convient de dimensionner les diagonales comprimées vis-à-vis de la résistance en compression, conformément aux règles CCM. La condition d'élancement réduit des diagonales se limite simplement à $(\bar{\lambda} \leq 2)$.

Pour les assemblages entre les diagonales de contreventement et tout autre élément, il convient de satisfaire à la condition de sur-résistance :

$$R_d \geq 1.20 N_{pl,Rd} \quad (8.11)$$

avec :

- R_d : résistance de l'assemblage
- $N_{pl,Rd}$: résistance plastique de calcul de la section brute (en traction et en compression) de la diagonale de contreventement

Poutres et poteaux

Il convient que les poutres et les poteaux, soumis à des efforts normaux, respectent la prescription de résistance minimale suivante :

$$N_{Rd}(M_{Sd}) \geq N_{Sd,G} + 1.1 \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Sd,E} \quad (8.12)$$

avec :

- $N_{Rd}(M_{Sd})$: résistance de calcul au flambement de la poutre ou du poteau, conformément aux règles CCM, en tenant compte de l'interaction avec le moment fléchissant M_{Sd} pris à sa valeur de calcul en situation sismique.
- $N_{Sd,G}$: valeur de calcul de l'effort normal dans la poutre ou dans le poteau, due aux actions non sismiques incluses dans la combinaison d'actions, pour la situation sismique de calcul.
- $N_{Sd,E}$: valeur de calcul de l'effort normal dans la poutre ou dans le poteau, due à l'action sismique de calcul.
- Ω : valeur minimale de $(\Omega_i = \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Sd,i}})$ pour toutes les diagonales du système de contreventement à barres
- $N_{Sd,i}$ est la valeur de calcul de l'effort normal dans la diagonale i dans la situation sismique de calcul
- $N_{pl,Rd,i}$ est la résistance plastique de calcul de la section brute de la même diagonale i .

Dans les contreventements en V, il convient que les poutres soient dimensionnées pour résister à toutes les actions non sismiques (incluses dans la combinaison sismique d'actions) sans considérer l'appui intermédiaire dû aux diagonales de contreventement.