

NCCI : Conception et calcul des assemblages de jarret de portiques

Ce NCCI donne des informations sur la méthode de calcul des assemblages de jarret encastres, par platine boulonnée. Il comprend plusieurs simplifications, expliquées tout au long du document, qui permettent des calculs plus simples et plaçant du côté de la sécurité.

Sommaire

1.	Modèle de calcul	2
2.	Paramètres	4
3.	Calcul de la soudure	6
4.	Résistances potentielles des rangées de boulons dans la zone tendue	7
5.	Evaluation de la zone comprimée	12
6.	Panneau d'âme de poteau en cisaillement	14
7.	Âme de la traverse en compression	15
8.	Distribution des efforts dans les rangées de boulons	15
9.	Evaluation de la résistance en cisaillement	19
10.	Limites d'application	20
11.	Références	21

1. Modèle de calcul

1.1 Rigidité

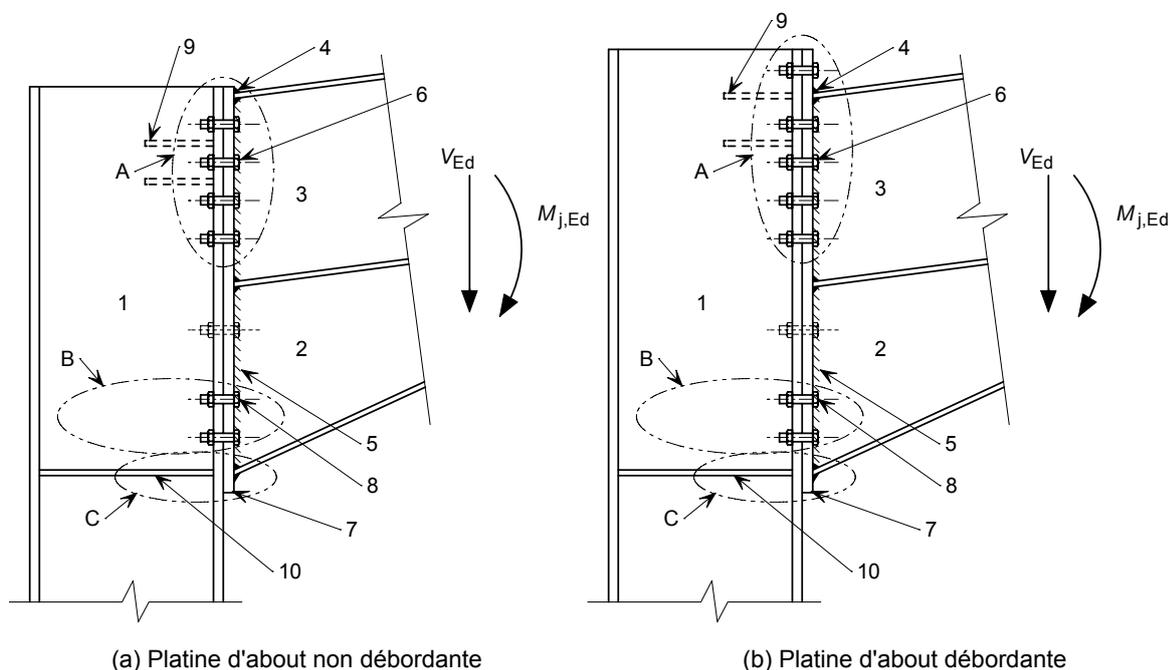
Selon le §5.2.2.1(1) de l'EN 1993-1-8, un assemblage peut être classé comme étant rigide, nominalement articulé, ou semi-rigide en fonction de sa rigidité en rotation, en comparant sa rigidité initiale, $S_{j,ini}$, avec les limites de classification données au §5.2.2.5 de l'EN 1993-1-8. La rigidité initiale d'un assemblage entre des sections en H ou en I peut être calculée conformément aux règles données au §6.3.1 de l'EN 1993-1-8.

Un assemblage peut être classé sur la base de preuves expérimentales, de cas similaires ayant donné satisfaction en terme de performance, ou par calcul basé sur des preuves obtenues suite à la réalisation d'essais.

1.2 Résistance

1.2.1 Modèle général

La résistance en flexion $M_{j,Rd}$ et la résistance au cisaillement $V_{j,Rd}$ de l'assemblage dépendent des barres assemblées et des composants de base de l'assemblage qui contribuent à la résistance de ce dernier : boulons, âme et semelles du poteau, âme, semelles et soudures du renfort de jarret et de la traverse (Figure 1.1). Le §6.1.3 et le Tableau 6.1 de l'EN 1993-1-8 fournissent les informations permettant d'identifier les composants de base de l'assemblage.



Légende :

- | | | | |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Poteau | 4. Soudure de la semelle | 7. Platine d'about | 9. Raidisseurs tendus facultatifs |
| 2. Renfort de jarret | 5. Soudure de l'âme | 8. Boulons en cisaillement | 10. Raidisseur comprimé |
| 3. Traverse | 6. Boulons | | |

A. Zone tendue

B. Zone sollicitée en cisaillement

C. Zone comprimée

Figure 1.1 Assemblages de jarret de portique par platine d'about boulonnée

Dans certains pays, les boulons de la zone tendue et de la zone sollicitée en cisaillement sont traités comme un seul groupe de boulons. Par conséquent, des boulons supplémentaires (identifiés par une * sur la Figure 1.1) peuvent être tenus de satisfaire aux exigences d'espacement du [Tableau 3.3 de l'EN 1993-1-8](#). Dans d'autres pays, ils sont traités comme deux groupes de boulons distincts, et l'ajout de boulons supplémentaires n'est pas nécessaire.

Selon le [§6.2.7.2 de l'EN 1993-1-8](#), une fois que les composants de base ont été identifiés, la valeur de calcul de la résistance en flexion des assemblages de jarret avec attache boulonnée par platine d'about peut être déterminée à partir de :

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd}$$

Où :

$F_{tr,Rd}$ est la résistance efficace de calcul à la traction de la rangée de boulons r ,

h_r est la distance entre la rangée de boulons r et le centre de compression ; celui-ci peut être considéré comme étant situé au milieu de la semelle comprimée du jarret.

r est le numéro de la rangée de boulons.

L'assemblage doit satisfaire à la condition suivante :

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0$$

La procédure de détermination de la résistance de l'assemblage est présentée au Tableau 1.1.

Tableau 1.1 Procédure de détermination de $F_{tr,Rd}$ et de la résistance de l'assemblage

Etapes	
1. Calculer la résistance potentielle en traction de chaque rangée de boulons située dans la zone tendue	$F_{t,Rd(\text{rangée})}$
2. Calculer la résistance en compression dans la zone comprimée	$F_{c,Rd}$
3. Calculer la résistance en cisaillement du panneau d'âme du poteau	$V_{wp,Rd}$
4. Calculer la résistance efficace en traction de chaque rangée de boulons	$F_{tr,Rd}$
5. Calculer la résistance en flexion de l'assemblage	$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd}$
6. Evaluer les efforts de cisaillement verticaux	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$

1.2.2 Simplifications

Plusieurs simplifications ont été apportées dans ce NCCI afin de faciliter le calcul des assemblages de jarret de type encastré, ce qui conduit à une approche sécuritaire. Elles sont décrites ci-dessous :

- Dans le calcul complet, il convient de calculer la résistance à l'effort de solidarisation des rangées de boulons en les considérant de manière individuelle, puis comme faisant partie de groupes de rangées de boulons, et enfin de retenir la résistance minimale obtenue.

Dans le cadre de cette approche simplifiée, seules les rangées de boulons individuelles sont prises en compte. Nous aboutissons ainsi à des résultats sécuritaires, mais permettant d'économiser beaucoup de temps et d'efforts par cette méthode.

- ❑ La longueur efficace de chaque tronçon en T pour calculer la résistance à l'effort de solidarisation de la rangée de boulons est prise comme étant égale à la longueur efficace la plus petite possible afin d'éviter de superposer les longueurs efficaces des différentes rangées de boulons. Ceci est illustré à la section 4.1 de ce document.
- ❑ Selon le §6.2.2(2) de l'EN 1993-1-8, la zone tendue et la zone sollicitée en cisaillement sont traitées séparément. On suppose que les boulons situés dans la zone tendue ne reprennent que des efforts de traction et aucun effort de cisaillement. De même, les boulons situés dans la zone sollicitée en cisaillement ne reprennent que des efforts de cisaillement et aucun effort de traction.
- ❑ Le §4 de l'EN 1993-1-8 donne les règles relatives au calcul des soudures. Le calcul des soudures est habituellement effectué après le calcul de la résistance de l'assemblage. Ce NCCI fournit cependant des règles simples pour le dimensionnement initial des soudures. Il recommande de réaliser des soudures « à pleine résistance », ce qui conduit à une procédure de calcul simple. D'autres méthodes de calcul de soudure sont données dans l'annexe A de ce NCCI.

2. Paramètres

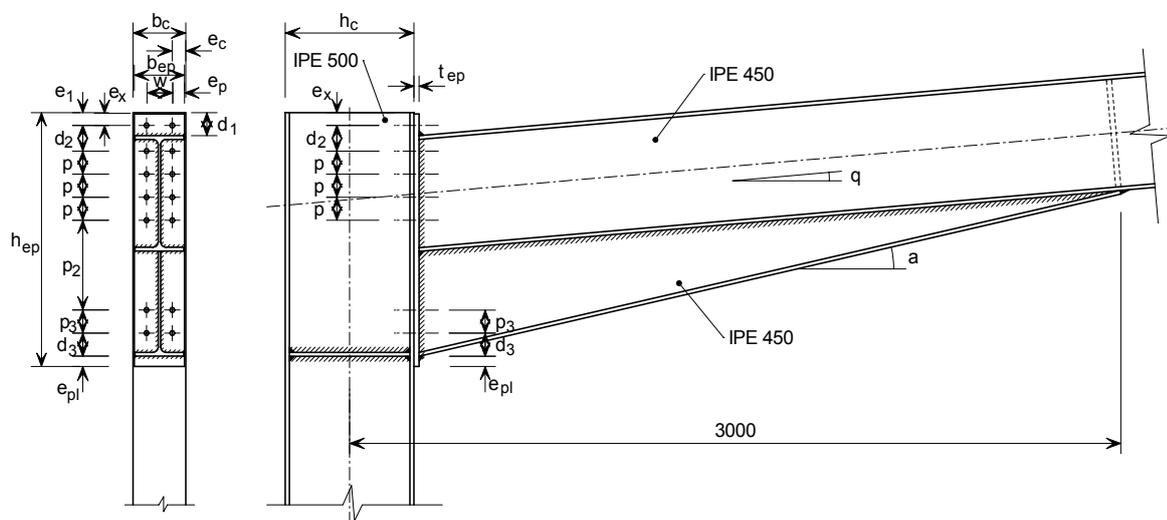


Figure 2.1 Jarret de portique : définition des paramètres

- a épaisseur efficace de la gorge de la soudure
- A_{fb} section transversale de la semelle de la traverse
- b_p largeur de la platine d'about
- d_1 distance entre le sommet de la semelle tendue de la traverse et le bord de la platine d'about
- d_2 entraxe entre la rangée de boulons située dans la zone débordante de la platine d'about et la première rangée de boulons située sous la semelle tendue de la traverse

d_3	distance entre la dernière rangée de boulons en cisaillement et le bord inférieur de la semelle comprimée du jarret
e_1	distance verticale entre le bord de la semelle du poteau et la première rangée de boulons
e_c	distance horizontale entre le bord de la semelle du poteau et la file de boulons
e_p	distance horizontale entre le bord de la platine d'about et la file de boulons
e_{pl}	distance entre le bord inférieur de la semelle comprimée du jarret et le bord de la platine d'about
e_x	distance verticale entre le bord de la platine d'about et la première rangée de boulons
f_{ub}	résistance ultime en traction du boulon
$f_{u,b}$	résistance ultime en traction de la traverse
$f_{u,c}$	résistance ultime en traction du poteau
$f_{u,h}$	résistance ultime en traction du renfort de jarret
$f_{u,p}$	résistance ultime en traction de la platine d'about
$f_{y,b}$	limite d'élasticité de la traverse
$f_{y,c}$	limite d'élasticité du poteau
$f_{y,h}$	limite d'élasticité du renfort de jarret
$f_{y,p}$	limite d'élasticité de la platine d'about
h_c	hauteur de la section du poteau
h_p	hauteur de la platine d'about
m	distance entre l'axe d'un boulon et un point situé au cinquième de la longueur du pied de la soudure de la traverse renforcée adjacente à la platine d'about, ou distance entre l'axe d'un boulon et un point situé au cinquième de la longueur du fond de filet de l'âme du poteau (tel qu'illustré à la Figure 6.2 de l'EN 1993-1-8).
n_s	nombre de boulons sollicités en cisaillement
n_t	nombre de rangées horizontales de boulons sollicités en traction
p	espacement des rangées de boulons dans la zone tendue
p_2	entraxe entre le dernier boulon tendu et le premier boulon sollicité en cisaillement
p_3	espacement des rangées de boulons dans la zone sollicitée en cisaillement
r	est le numéro de la rangée de boulons ; les rangées de boulons sont numérotées en commençant par la rangée de boulons la plus éloignée du centre de compression ;
w	écartement (c'est-à-dire distance entre files de boulons)
t_{fb}	épaisseur de la semelle de la traverse
t_{fc}	épaisseur de la semelle du poteau
t_p	épaisseur de la platine d'about
t_{wb}	épaisseur de l'âme de la traverse
t_{wc}	épaisseur de l'âme du poteau

2. Calcul de la soudure

2.1 Soudure de la semelle tendue sur la platine d'about

Pour se placer du côté de la sécurité, une soudure « à pleine résistance » est appropriée. Cette exigence est satisfaite si l'épaisseur de la gorge de la soudure est telle que :

$$a \geq t_{fb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right)$$

Où :

f_y est la limite d'élasticité de la section de la traverse

f_u est la résistance ultime en traction nominale de la partie la plus faible de l'assemblage (c'est-à-dire la platine d'about ou la section de la traverse)

β_w est le coefficient de corrélation tiré du [Tableau 4.1 de l'EN 1993-1-8](#)

Lorsque $\gamma_{M0} = 1,0$ et $\gamma_{M2} = 1,25$:

$$a \geq 0,46 \cdot t_{fb} \text{ pour une traverse de nuance d'acier S235}$$

$$a \geq 0,48 \cdot t_{fb} \text{ pour une traverse de nuance d'acier S275}$$

$$a \geq 0,55 \cdot t_{fb} \text{ pour une traverse de nuance d'acier S355}$$

D'autres méthodes de calcul sont données dans l'Annexe A de ce NCCI.

2.2 Soudure de l'âme sur la platine d'about

Pour se placer du côté de la sécurité, les soudures de l'âme de la traverse dans la zone tendue doivent être « à pleine résistance ». Il est par ailleurs raisonnable d'utiliser cette soudure à résistance pleine pour la totalité de la hauteur de l'âme.

Cette exigence est satisfaite si l'épaisseur de la gorge de la soudure est telle que :

$$a \geq t_{wb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right)$$

Où :

f_y est la limite d'élasticité de la section de la traverse

f_u est la résistance ultime en traction nominale de la partie la plus faible de l'assemblage (c'est-à-dire la platine d'about ou la section de la traverse)

β_w est le coefficient de corrélation tiré du [Tableau 4.1 de l'EN 1993-1-8](#)

Lorsque $\gamma_{M0} = 1,0$ et $\gamma_{M2} = 1,25$

$a \geq 0,46 \cdot t_{wb}$ pour une poutre de nuance d'acier S235

$a \geq 0,48 \cdot t_{wb}$ pour une poutre de nuance d'acier S275

$a \geq 0,55 \cdot t_{wb}$ pour une poutre de nuance d'acier S355

2.3 Soudures de la semelle comprimée

Si l'extrémité de la semelle comprimée a été sciée proprement, une soudure nominale est suffisante et les épaisseurs de gorge suivantes sont recommandées :

- soudures d'angle de 5 mm, ou
- soudures d'angle de 4 mm pour des poutres dont l'épaisseur de la semelle est inférieure ou égale à 12 mm

Dans d'autres cas, la soudure doit être calculée pour pouvoir reprendre la totalité de l'effort de compression attendu dans la semelle du jarret.

3. Résistances potentielles des rangées de boulons dans la zone tendue

REMARQUE : l'EN 1993-1-8 utilise le symbole $F_{t,Rd}$ pour faire référence à la fois à la résistance en traction d'une rangée individuelle de boulons et à la résistance en traction d'un seul boulon. **Dans ce document $F_{t,Rd(rangée)}$ a été utilisé pour faire référence à la résistance en traction de la rangée.**

Pour chaque rangée de boulons, la valeur de calcul de la résistance potentielle en traction est donnée au [§6.2.7.2\(6\)](#) de l'EN 1993-1-8 :

$$F_{t,Rd(rangée)} = \min(F_{t,fc,Rd}; F_{t,wc,Rd}; F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd})$$

Tableau 2.1 Composants de l'assemblage - Détermination de la résistance de calcul potentielle d'une rangée de boulons

Composant		Numéro de paragraphe
Semelle du poteau sollicitée en flexion	$F_{t,fc,Rd}$	4.1
Ame du poteau sollicitée en traction transversale	$F_{t,wc,Rd}$	4.2
Platine d'about sollicitée en flexion	$F_{t,ep,Rd}$	4.3
Ame de la traverse sollicitée en traction	$F_{t,wb,Rd}$	4.4

Les valeurs de calcul de la résistance potentielle en traction, $F_{t,Rd(rangée)}$, de chaque rangée de boulons doivent être déterminées les unes après les autres, en commençant par la rangée de boulons la plus éloignée du centre de compression (première rangée de boulons) et en progressant vers la suivante (deuxième rangée de boulons) jusqu'au calcul de la dernière,

c'est-à-dire la plus proche du centre de compression (Figure 4.1). On suppose que le centre de compression est situé au centre de la semelle comprimée du jarret.

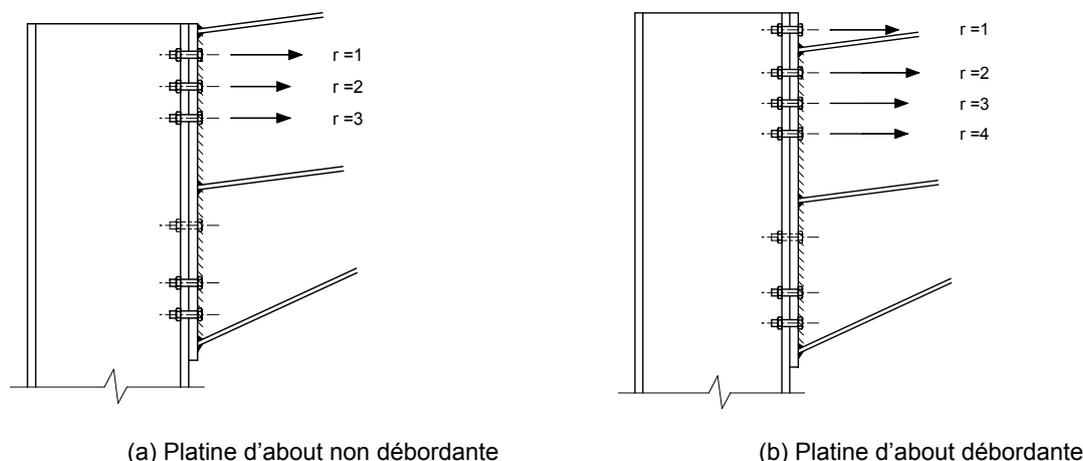


Figure 4.1 *Ordre de détermination de la valeur de calcul de la résistance potentielle en traction des rangées de boulons dans les assemblages de jarret*

Pour simplifier et faciliter les calculs, la résistance potentielle en traction de chaque rangée de boulons suppose qu'il n'existe pas de recouvrement avec d'autres rangées de boulons.

Cette approche simplifiée aboutit à des résultats qui placent du côté de la sécurité si l'on suppose que la longueur efficace ℓ_{eff} du tronçon en T est déterminée en conséquence, voir l'exemple d'application [SX031](#).

La valeur de calcul de la résistance efficace en traction $F_{tr,Rd}$ de chaque rangée de boulons peut être inférieure à la valeur de calcul de la résistance potentielle en traction $F_{t,Rd(rangée)}$

4.1 Semelle du poteau sollicitée en flexion

La résistance de calcul et le mode de ruine d'une semelle de poteau non raidie sollicitée en flexion transversale, et des boulons tendus associés, doit être prise comme étant similaire à celle d'une semelle équivalente de tronçon en T.

$F_{t,fc,Rd} = \min (F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$; cette formule tient compte des effets de levier et des trois modes de ruine (voir le Tableau 2.2 ci-dessous). Il s'agit du même tableau que le [Tableau 6.2 du §6.2.4 de l'EN 1993-1-8](#) :

Tableau 2.2 *Modes de ruine et résistance de calcul*

Mode de ruine		Résistance de calcul
Mode 1	Plastification totale de la semelle	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$
Mode 2	Ruine de boulons avec plastification de la semelle	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Mode 3	Ruine de boulons	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Où :

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \text{ est la résistance en traction de boulons non fraisés.}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2F_{t,Rd} \quad \text{c'est-à-dire deux boulons par rangée}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \quad \text{mais} \quad n \leq 1,25m, \text{ voir la } \text{Figure 6.2 de l'EN 1993-1-8}$$

$\sum \ell_{eff}$ peut être déterminé à partir de la [Figure 6.2](#), de la [Figure 6.9](#) et du [Tableau 6.4](#) (pour des poteaux non raidis) ou à partir du [Tableau 6.5](#) (pour des poteaux raidis) de l'EN 1993-1-8.

Il est également possible d'adopter l'approche sécuritaire simplifiée présentée ci-dessous.

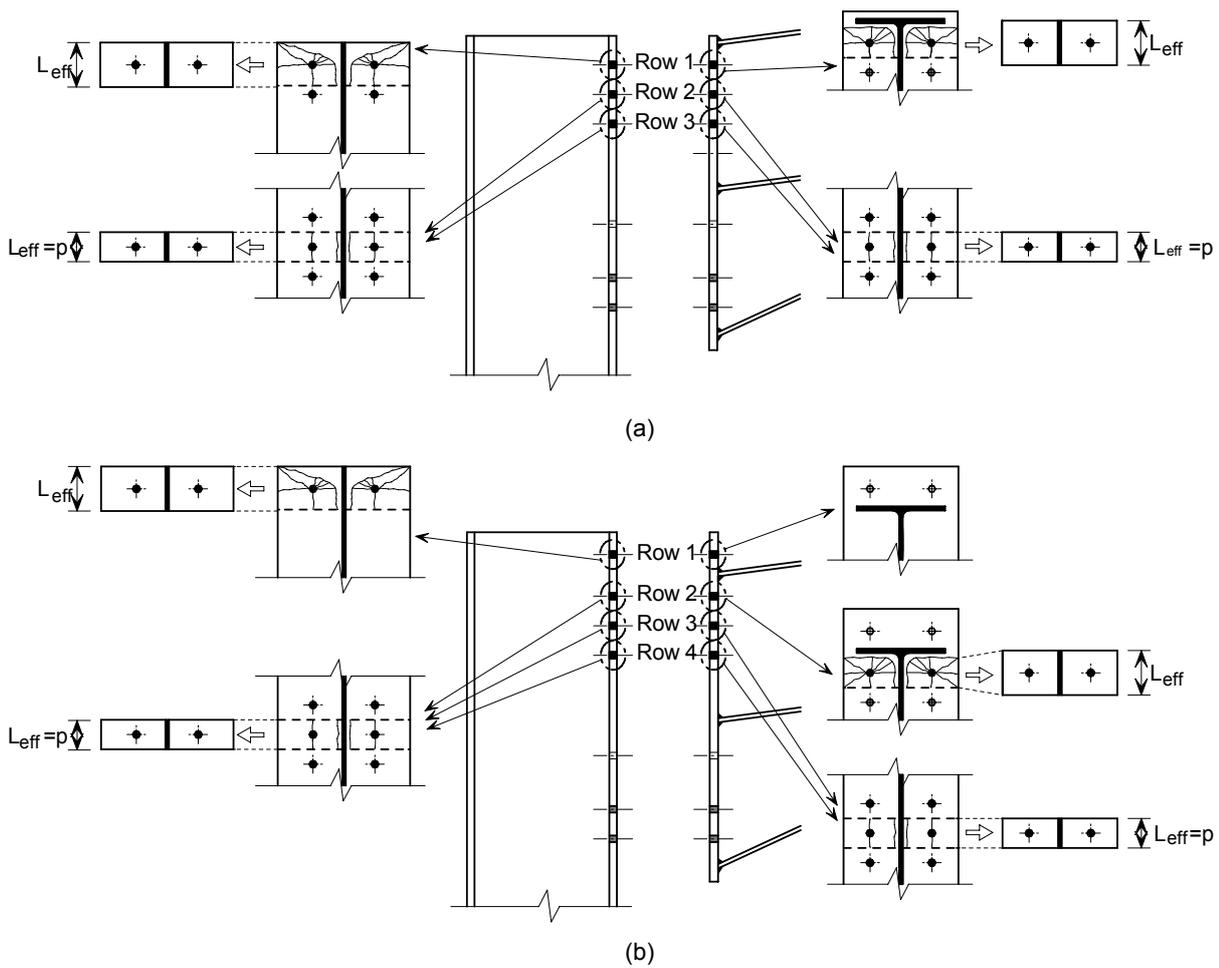
Pour une rangée individuelle de boulons, la simplification suivante peut être faite :

$$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,2} = L_{eff} \quad \text{comme illustré à la Figure 2.2 ci-dessous}$$

$$\sum \ell_{eff,1} \quad \text{est la valeur de } \sum \ell_{eff} \text{ pour le mode 1}$$

$$\sum \ell_{eff,2} \quad \text{est la valeur de } \sum \ell_{eff} \text{ pour le mode 2}$$

Cette méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle la longueur efficace est toujours limitée à une valeur maximale de l'entraxe des boulons. La Figure 2.2 et le Tableau 2.3 illustrent cette approche.



Légende : Row = Rangée

Figure 2.2 Longueurs efficaces du tronçon en T dans des assemblages avec :
(a) platine d'about débordante
(b) platine d'about non débordante.

Tableau 2.3 Longueur efficace pour chaque rangée de boulons

Rangée de boulons d'extrémité	Rangée de boulons intérieure	Rangée de boulons d'extrémité adjacente à un raidisseur (semelle de poteau raidie) ou située à l'extérieur de la semelle tendue de la traverse (platine d'about)	Rangée de boulons intérieure adjacente à un raidisseur (semelle de poteau raidie) ou située sous la semelle tendue de la traverse (platine d'about)
		$2\pi m$	$2\pi m$
		$\pi m + 2e_1$	αm
		$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	$\pi m + p$
$2\pi m$		$2\pi m_x$	$0,5 + \alpha m - (2m + 0,625e)$
$\pi m + 2e_1$	$2\pi m$	$\pi m_x + 2w$	
$4m + 1,25e$	$4m + 1,25e$	$\pi m_x + 2e$	
$2m + 0,625e + 0,5p$	p	$4m_x + 1,25e_x$	
$e_1 + 0,5p$		$e + 2m_x + 0,625e_x$	
		$0,5b_p$	
		$0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	

3.1 Ame de poteau tendue transversalement

La résistance en traction transversale d'une âme de poteau non raidie est donnée au [§6.2.6.3 de l'EN 1993-1-8](#) comme étant égale à :

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$$\text{Où : } \omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$$

est le coefficient de réduction qui tient compte de l'interaction avec le cisaillement dans le panneau d'âme du poteau.

A_{vc} est l'aire de cisaillement du poteau, voir le [§6.2.6\(3\) de l'EN 1993-1-1](#). Pour des sections laminées en I et en H, elle peut être prise, en se plaçant du côté de la sécurité, comme étant égale à $h_w t_w$.

$b_{\text{eff},t,wc} = l_{\text{eff}}$, se reporter au paragraphe 4.1.

3.2 Platine d'about fléchie

La résistance de calcul et le mode de ruine d'une platine d'about fléchie, et des boulons tendus associés, peut être déterminée en adoptant la méthodologie décrite à la section 4.1 de ce document pour la semelle du poteau sollicitée en flexion, et en utilisant le [Tableau 6.6](#) au lieu du [Tableau 6.4 de l'EN 1993-1-8](#).

$$F_{t,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd})$$

3.3 Ame de la traverse tendue

La résistance de l'âme de la traverse sollicitée en traction, si l'âme n'est pas raidie, peut être calculée selon le [§6.2.6.8 de l'EN 1993-1-8](#), comme suit :

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}$$

Où : $b_{\text{eff},t,wb} = l_{\text{eff}}$, se reporter au paragraphe 4.1.

4. Evaluation de la zone comprimée

La résistance de calcul en compression de la zone comprimée peut être calculée comme suit :

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fh,Rd})$$

Pour $F_{c,wc,Rd}$ et $F_{c,fh,Rd}$ se reporter aux paragraphes 5.1 et 5.2 ci-dessous.

Il est par ailleurs nécessaire de s'assurer que : $F_{c,Ed} \leq F_{c,Rd}$

Etant donné que les renforts de jarret de portiques sont habituellement suffisamment longs, la composante de l'effort de compression dans la direction du jarret peut être considérée comme étant la composante horizontale agissant dans l'âme du poteau, laquelle est la somme des résistances en traction des boulons :

$$F_{c,Ed} = \sum F_{t,Rd(\text{rangée})}$$

Tableau 5.1 Composants de l'assemblage impliqués dans l'évaluation de la zone comprimée

Composant		Numéro du paragraphe
Ame du poteau sollicitée en compression	$F_{c,wc,Rd}$	5.1
Semelle et âme du jarret sollicitées en compression	$F_{c,fh,Rd}$	5.2

5.1 Ame du poteau en compression transversale

5.1.1 Nécessité de prévoir un raidisseur

Un raidisseur est nécessaire lorsque l'âme comprimée du poteau n'est pas suffisamment résistante pour reprendre l'intégralité de l'effort de compression. Le raidisseur prévient également le flambement de l'âme du poteau.

Le raidisseur améliore en outre la stabilité du poteau, en particulier si une rotule plastique doit se former à cet endroit.

Dans la plupart des cas pratiques, un raidisseur est nécessaire vis-à-vis de la compression.

5.1.2 Ame de poteau avec raidisseur vis-à-vis de la compression

La résistance de calcul d'un poteau raidi sollicité en compression transversale peut être obtenue à partir du [§9.1\(3\)](#) de l'EN 1993-1-5.

5.1.3 Ame de poteau sans raidisseur

La résistance de calcul d'une âme de poteau non raidie sollicitée en compression transversale est donnée au [§6.2.6.2 de l'EN 1993-1-8](#) :

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left(\frac{\omega k_{wc} b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} ; \frac{\omega k_{wc} \rho b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \right)$$

Où :

ω est un coefficient de réduction, voir le paragraphe 4.2

$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p$; est la largeur efficace de l'âme du poteau comprimée pour des assemblages par platine d'about boulonnée.

a_p est la gorge de la soudure.

s_p est la longueur obtenue selon un angle de diffusion à 45° à travers la platine d'about (au moins égale à t_p et, si tant est que la longueur de la platine d'about sous la semelle est suffisante, pouvant atteindre $2t_p$).

ρ est le coefficient de réduction pour le voilement de l'âme du poteau :

Si $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$ alors $\rho = 1,0$

Si $\bar{\lambda}_p > 0,72$ alors $\rho = \frac{(\bar{\lambda}_p - 0,2)}{\bar{\lambda}_p^2}$

Où

$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$ est l'élanement de l'âme du poteau.

Pour un poteau constitué d'un profil laminé en I ou en H : $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$

Pour un poteau constitué d'un profil soudé en I ou en H : $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

k_{wc} est un coefficient de réduction qui tient compte de la contrainte de compression longitudinale maximale $\sigma_{\text{com,Ed}}$ résultant de l'effort normal et du moment fléchissant dans l'âme du poteau (adjacent au congé pour une section laminée ou au pied de la soudure pour une section soudée)

Si $\sigma_{\text{com,Ed}} \leq 0,7 f_{y,wc}$ alors $k_{wc} = 1,0$

Si $\sigma_{\text{com,Ed}} > 0,7 f_{y,wc}$ alors $k_{wc} = 1,7 - \sigma_{\text{com,Ed}} / f_{y,wc}$

Il convient, dans les calculs préliminaires, de prendre $k_{wc} = 1,0$, et de vérifier cette valeur par la suite, une fois que la contrainte longitudinale est connue. La valeur de $k_{wc} = 0,7$ peut cependant être utilisée de façon sécuritaire.

5.2 Semelle et âme de jarret en compression

La résistance à la compression de la semelle du jarret est donnée dans le [§6.2.6.7](#) de l'EN 1993-1-8 par l'expression suivante :

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})}$$

h est la hauteur de la poutre, y compris la traverse et le renfort de jarret

$M_{c,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance en flexion de la section de la poutre (traverse + renfort), réduite si nécessaire pour tenir compte du cisaillement. Se reporter au [§6.2.5 de l'EN 1993-1-1](#). $M_{c,Rd}$ peut être calculé en négligeant la semelle intermédiaire.

t_{fb} est l'épaisseur de la semelle du jarret assemblé.

Si la hauteur de la poutre (traverse + renfort) dépasse 600 mm, la contribution de l'âme de la traverse à la résistance de calcul en compression doit être limitée à 20 %. Cela signifie que si la résistance de la semelle est $t_{fb}b_{fb}f_{y,fb}$, alors :

$$F_{c,fb,Rd} \leq \frac{t_{fb}b_{fb}f_{y,fb}}{0,8}$$

6. Panneau d'âme de poteau en cisaillement

Si l'élançement de l'âme du poteau satisfait à la condition suivante : $\frac{d}{t_w} \leq 69\varepsilon$, la résistance en cisaillement du panneau d'âme du poteau pour un poteau non raidi, selon le [§6.2.6.1 de l'EN 1993-1-8](#), est :

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9f_{y,wc}A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

Où :

A_{vc} est l'aire de cisaillement du poteau ; voir le [§6.2.6\(3\) de l'EN 1993-1-1](#) et le paragraphe 4.2 de ce document.

7. Ame de la traverse en compression

La résistance de calcul et le mode de ruine de l'âme comprimée de la traverse, du fait du renfort du jarret, peut être déterminée selon la méthode donnée au paragraphe 5.1 pour une âme de poteau sollicitée en compression transversale :

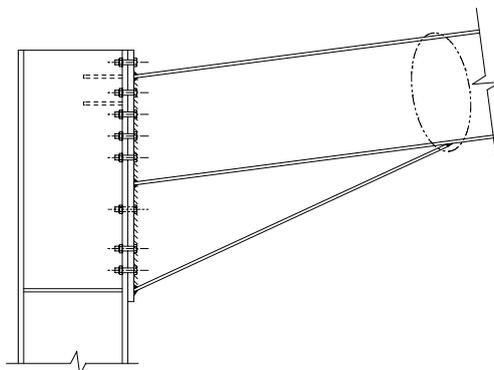


Figure 7.1 Ruine de l'âme de la traverse par compression

$$F_{c,wb,Rd} = \min \left(\frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}; \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M1}} \right)$$

Si cette résistance n'est pas suffisante pour reprendre l'effort de compression qui agit dans l'âme de la traverse, il convient de prévoir un raidisseur.

8. Distribution des efforts dans les rangées de boulons

La résistance potentielle de chaque rangée de boulons $F_{t,Rd}$ (voir le paragraphe 4) est calculée pour une rangée à la fois, en commençant par la rangée du haut et en progressant vers le bas. L'effort permis dans une rangée quelconque de boulons repose sur sa résistance potentielle et non sur son bras de levier. Les rangées de boulons situées à proximité d'un point de rigidité, tel que la semelle de la poutre ou un raidisseur, attirent un effort plus important et ont une résistance potentielle plus élevée.

Distribution plastique

Une distribution plastique des efforts entre les rangées de boulons est permise, mais n'est possible que si la déformation de la semelle du poteau ou de la platine d'about peut avoir lieu.

La résistance efficace en traction des boulons doit satisfaire à deux conditions (voir les Figures 8.1(a) et 8.2(a)) :

Selon le §6.2.7.2(7) de l'EN 1993-1-8, la résistance en compression ou la résistance en cisaillement du panneau d'âme du poteau doit être supérieure à la somme des résistances en traction de tous les boulons :

1. Compression :
$$\sum F_{t,Rd(\text{rangée})} \leq \min(F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}; F_{c,wb,Rd})$$

2. Panneau d'âme de poteau sollicité en cisaillement :
$$\sum F_{t,Rd(\text{rangée})} \leq \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$$

Se reporter aux paragraphes 5 et 6 pour le calcul de la résistance à la compression et de la résistance en cisaillement du panneau d'âme.

$\beta = 1$ est le paramètre de transformation, selon le [§5.3\(8\) de l'EN 1993-1-8](#)

Si les conditions mentionnées ci-dessus ne sont pas satisfaites, des modifications sont alors nécessaires (Figures 8.1(b) et 8.2(b)).

Limite triangulaire

Selon le [§6.2.7.2\(9\) de l'EN 1993-1-8](#), aucune rangée de boulons ne doit avoir une résistance potentielle en traction supérieure à 1,9 fois la résistance efficace en traction de l'une des rangées de boulons ci-dessous :

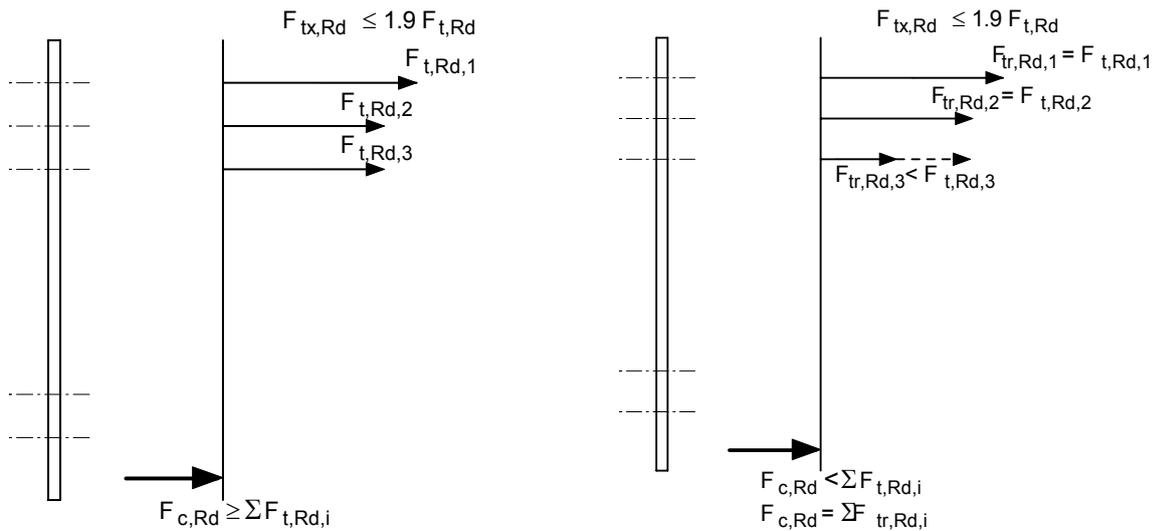
$$F_{tx,Rd} \leq 1,9F_{t,Rd}$$

Où :

$F_{tx,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance efficace en traction de la rangée de boulons x

x est la rangée de boulons la plus éloignée du centre de compression ayant une résistance efficace en traction supérieure à 1,9 fois la résistance efficace en traction de l'un des boulons en dessous.

Si la résistance potentielle d'une rangée de boulons est gouvernée par le troisième mode de ruine (c'est-à-dire la ruine de boulon) (donnée comme étant égale à $F_{t,Rd(\text{rangée})} \geq 1,9F_{t,Rd}$), la distribution plastique n'est alors pas possible. Par conséquent, la résistance potentielle est modifiée pour assurer qu'elle ne dépasse pas la distribution triangulaire pour les rangées situées sous la semelle de la traverse (Figures 8.1 et 8.2).

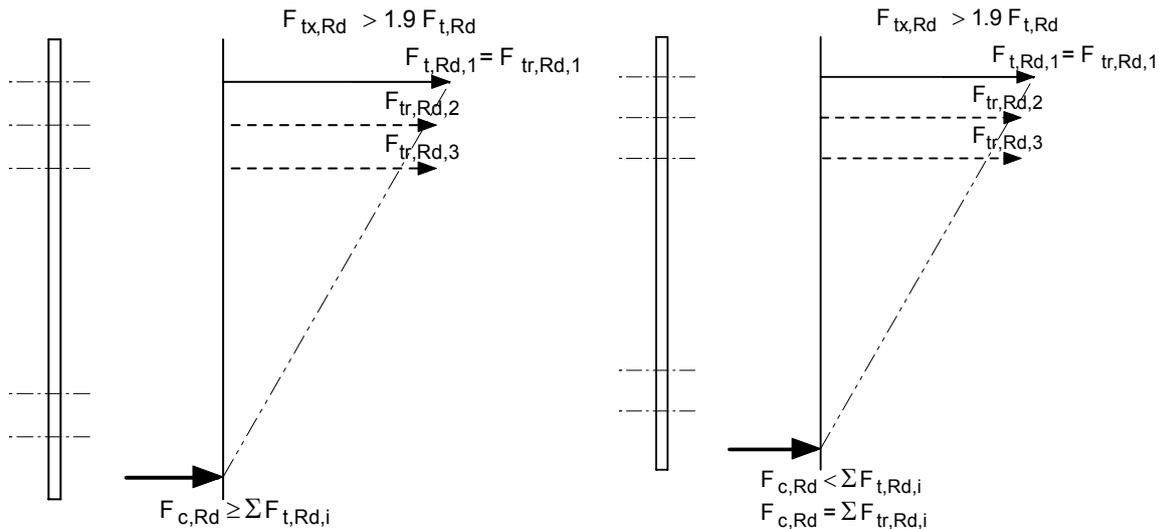


(a) Distribution plastique

(b) Distribution plastique modifiée

- Etant donné que $F_{c,Rd}$ et $V_{wp,Rd} \geq F_{t,Rd,i}$, la résistance efficace en traction ($F_{tr,Rd}$) est égale à la valeur de calcul de la résistance potentielle ($F_{t,Rd,i}$)

- Etant donné que $F_{c,Rd}$ et/ou $V_{wp,Rd} < F_{t,Rd,i}$, les résistances efficaces en traction ($F_{tr,Rd}$) doivent être réduites en commençant par celle du boulon le plus proche du centre de compression :



(c) Limite triangulaire

(d) Limite triangulaire

- Etant donné que $F_{tx,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$, la résistance efficace en traction doit être réduite :

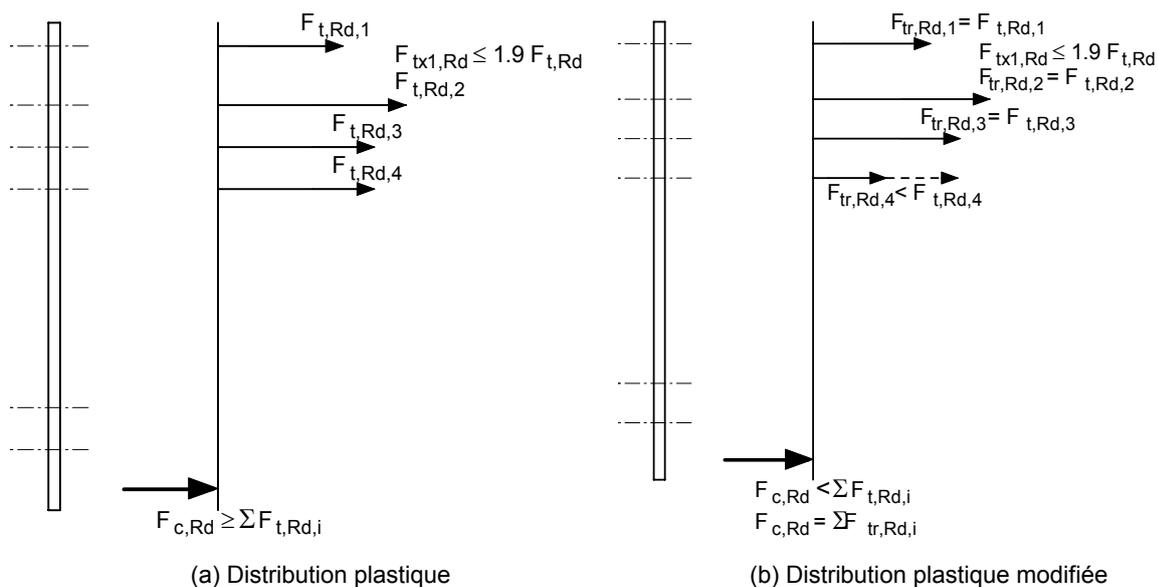
$$F_{tr,Rd} = F_{tx,Rd} \frac{h_T}{h_x}$$

- Etant donné que $F_{tx,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$, la résistance efficace en traction doit être réduite :

$$F_{tr,Rd} = F_{tx,Rd} \frac{h_T}{h_x}$$

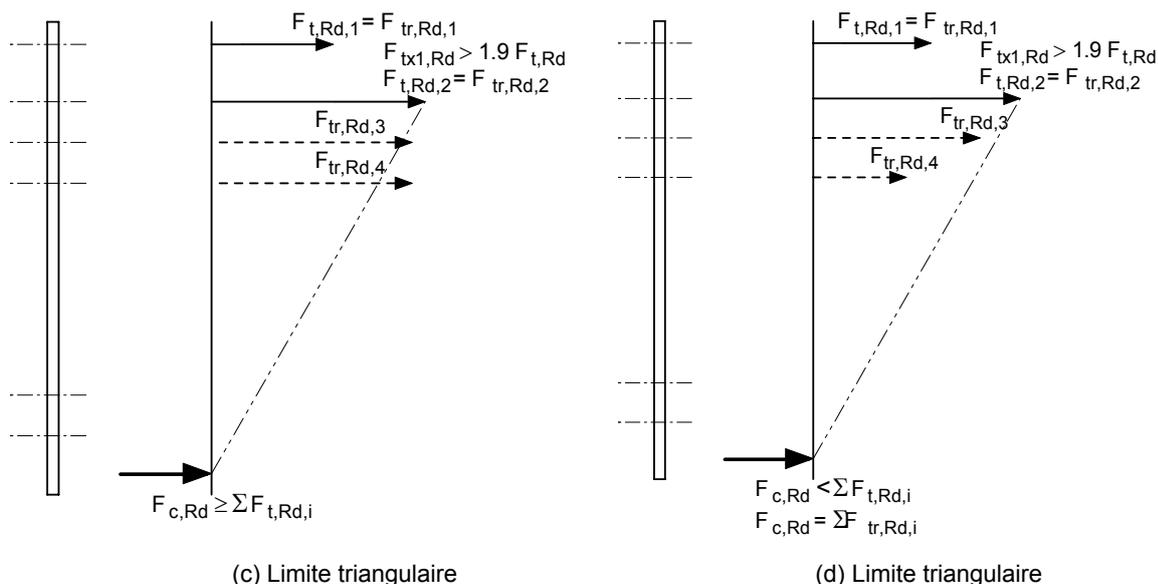
- Puisque $F_{c,Rd}$ et/ou $V_{wp,Rd} < F_{t,Rd,i}$, les résistances efficaces en traction ($F_{tr,Rd}$) doivent être réduites, en commençant par celle du boulon le plus proche du centre de compression

Figure 8.1 *Platine d'about non débordante – Distribution des efforts dans les rangées de boulons.*



- Etant donné que $F_{c,Rd}$ et $V_{wp,Rd} \geq F_{t,Rd,i}$, la résistance efficace en traction ($F_{tr,Rd}$) est égale à la valeur de calcul de la résistance potentielle ($F_{t,Rd,i}$)

- Etant donné que $F_{c,Rd}$ et/ou $V_{wp,Rd} < F_{t,Rd,i}$, les résistances efficaces en traction ($F_{tr,Rd}$) doivent être réduites, en commençant par celle du boulon le plus proche du centre de compression



- Etant donné que $F_{tx,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$, la résistance efficace en traction doit être réduite :

$$F_{tr,Rd} = F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

- Etant donné que $F_{tx,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$, la résistance efficace en traction doit être réduite :

$$F_{tr,Rd} = F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

- Puisque $F_{c,Rd}$ et/ou $V_{wp,Rd} < F_{t,Rd,i}$, les résistances efficaces en traction ($F_{tr,Rd}$) doivent être réduites, en commençant par celle du boulon le plus proche du centre de compression

Figure 8.2 Platine d'about débordante – Distribution des efforts dans les rangées de boulons.

9. Evaluation de la résistance en cisaillement

La valeur de calcul de la résistance aux efforts de cisaillement verticaux de l'assemblage doit être déterminée en tenant compte des contributions des composants de base appropriés :

$$V_{Rd} = n_s \min(F_{v,i,Rd}; F_{b,i,fc,Rd}; F_{b,i,ep,Rd}) ; \text{ voir le Tableau 9.1}$$

Où :

n_s est le nombre de boulons qui doivent résister au cisaillement, voir le [§6.2.2\(2\) de l'EN 1993-1-8](#)

Tableau 9.1 Composants de l'assemblage impliqués dans l'évaluation de la résistance au cisaillement

Composant		Numéro du paragraphe
Boulons en cisaillement	$F_{v,Rd}$	9.1
Boulons en pression diamétrale sur la semelle du poteau	$F_{b,c,Rd}$	9.2
Boulons en pression diamétrale sur la platine d'about	$F_{b,ep,Rd}$	9.3

9.1 Boulons en cisaillement

La résistance de calcul de boulons en cisaillement est donnée au [§3.6 de l'EN 1993-1-8](#) comme étant égale à :

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Où :

A_s est l'aire de la section résistante en traction du boulon

$\alpha_v = 0,6$ pour des boulons de classe 4.6, 5.6 et 8.8

$\alpha_v = 0,5$ pour des boulons de classe 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9

9.2 Boulons en pression diamétrale sur la semelle du poteau

La résistance de calcul des boulons en pression diamétrale sur la semelle du poteau est donnée par l'expression suivante, selon le [Tableau 3.4 de l'EN 1993-1-8](#).

$$F_{b,c,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Où : } \alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

- dans la direction des efforts :

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} \quad \text{pour les boulons de rive ; } \alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \quad \text{pour les boulons intérieurs}$$

- perpendiculaire à la direction des efforts :

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \quad \text{pour les boulons de rive}$$

$$k_1 = \min\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) \quad \text{pour les boulons intérieurs}$$

9.3 Boulons en pression diamétrale sur la platine d'about

La résistance de calcul des boulons sollicités en pression diamétrale sur la platine d'about peut être déterminée en suivant la méthode donnée au paragraphe 9.2 pour des boulons en pression diamétrale sur la semelle du poteau :

$$F_{b,ep,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t_p}{\gamma_{M2}}$$

10. Limites d'application

L'application de ce document doit se faire en conformité avec les règles et les limites d'application appropriées présentées dans l'EN 1993-1-8. Un résumé de ces dernières est présenté ci-dessous :

- Il convient de concevoir les renforts de jarret selon le [§6.2.6.7\(2\) de l'EN 1993-1-8](#) :
 - la nuance d'acier du renfort de jarret doit être la même que celle de la traverse ;
 - les dimensions de la semelle et l'épaisseur de l'âme du renfort de jarret ne doivent pas être inférieures à celles de la traverse ;
 - l'angle formé par la semelle du renfort de jarret et la semelle de la traverse ne doit pas être supérieur à 45°;
 - la longueur d'appui rigide s_s devrait être prise comme étant égale à l'épaisseur de la semelle du renfort de jarret parallèle à la poutre.
- Selon le [§6.2.6.7\(2\) de l'EN 1993-1-8](#), la méthode donnée dans le présent document pour la détermination de la valeur de calcul de la résistance en flexion d'un assemblage $M_{j,Rd}$ ne doit pas être utilisée si l'effort normal qui agit dans la traverse assemblée dépasse 5 % de la résistance plastique de calcul de sa section transversale $N_{pl,Rd}$.
- Selon le [§6.2.6.7\(3\) de l'EN 1993-1-8](#), la méthode sécuritaire suivante peut être utilisée, si l'effort normal N_{Ed} qui agit dans la traverse assemblée dépasse 5 % de la résistance de calcul, $N_{pl,Rd}$:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0$$

Où :

$M_{j,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance en flexion de l'assemblage, en supposant qu'il n'y a pas d'effort normal ;

$N_{j,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance axiale de l'assemblage, en supposant qu'il n'y a pas de moment appliqué.

- On suppose que les boulons de la zone tendue assurent l'intégralité de leur résistance de calcul en traction et que la résistance totale en cisaillement est assurée par les boulons de la zone sollicitée en cisaillement.

11. Références

Les règles du présent NCCI sont basées sur :

- (1) *EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-8: Design of Joints. CEN.*
- (2) *EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN.*
- (3) *ENV 1993-1-1:1992 and ENV 1993-1-1 AC:1992, Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: General rules and rules for Buildings. CEN.*
- (4) *Joints in Steel Construction – Moment Connections (P207). The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association Ltd., 1995.*

Annexe A

Soudure entre la semelle tendue et la platine d'about

1. Calculer une soudure pouvant reprendre la capacité en traction de la semelle

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{fb} f_y}{\gamma_{M0}}$$

2. Calculer une soudure pouvant reprendre l'effort de traction total dans les trois rangées de boulons supérieures pour une platine d'about débordante :

$$\sum F_{tr,Rd} = F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd}$$

ou l'effort de traction total dans les deux rangées de boulons supérieures pour une platine d'about non débordante :

$$\sum F_{tr,Rd} = F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd}$$

Conformément à la méthode simplifiée donnée au [§4.5.3 de l'EN 1993-1-8](#), la résistance de calcul de la soudure par unité de longueur, $F_{w,Rd}$, est :

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a$$

Où :

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$F_{w,Ed}$ est la valeur de calcul de la résistance de la soudure par unité de longueur ;

$f_{vw,d}$ est la valeur de calcul de la résistance de la soudure au cisaillement :

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

f_u est la résistance ultime en traction de la partie assemblée la plus faible

β_w est le coefficient de corrélation, voir le [Tableau 4.1 de l'EN 1993-1-8](#).

La longueur de la soudure qui est à multiplier par la valeur de calcul de la résistance par unité de longueur pour obtenir la valeur de calcul totale de la résistance de la soudure est :

$$b_{eff} = b - 2a$$

Où :

b est la longueur totale de la soudure

a est la gorge de la soudure

Si les dimensions de la soudure sont trop importantes ($a \geq 12$ mm), l'utilisation de soudures bout à bout à pénétration partielle renforcées par des soudures d'angle superposées est recommandée. La résistance de calcul des soudures bout à bout est donnée au [§4.7 de l'EN 1993-1-8](#).

Enregistrement de la qualité

TITRE DE LA RESSOURCE	NCCI : Conception et calcul des assemblages de jarret de portiques		
Référence(s)			
DOCUMENT ORIGINAL			
	Nom	Société	Date
Créé par	Jaime Grijalvo	LABEIN	
Contenu technique vérifié par	Jose Antonio Chica	LABEIN	
Contenu rédactionnel vérifié par			
Contenu technique approuvé par les partenaires :			
1. Royaume-Uni	G W Owens	SCI	23/05/06
2. France	A Bureau	CTICM	23/05/06
3. Suède	B Uppfeldt	SBI	23/05/06
4. Allemagne	C Müller	RWTH	23/05/06
5. Espagne	J Chica	Labein	23/05/06
Ressource approuvée par le Coordonnateur technique	G W Owens	SCI	11/09/07
DOCUMENT TRADUIT			
Traduction réalisée et vérifiée par :		eTeams International Ltd.	07/11/06
Ressource traduite approuvée par :	A. Bureau	CTICM	30/07/07