

RECOMMANDATIONS DE LA CNC2M

RECOMMANDATIONS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES ASSEMBLAGES SELON LA NF EN 1993-1-8

AVRIL 2015

MEMBRES DE LA COMMISSION DE NORMALISATION

Président : M MAITRE
 Secrétariat : MME LEMAIRE – BNCM

MME	ALGRANTI	CTICM
M	ARIBERT	INSA DE RENNES
M	BALGIU	QUALICONSULT
M	BARRAULT	FIMEC TECHNOLOGIES
M	BEGUIN	CTICM
M	BITAR	CTICM
MME	BONIFACE	EIFFAGE CM
M	BONNET	TECHNIP
M	BUREAU	CTICM
M	CAILLEAU	AFNOR
M	CAUSSE	VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
M	CHABROLIN	CTICM
M	COUCHAUX	CTICM
M	COUGNAUD	ACIM
MME	DAVAINE	INGEROP EXPERTISE ET STRUCTURES
M	DEFURNE	YVES COUGNAUD
M	DELPUECH	MEDDE/DGITM
M	DENYS	CIAN ENTREPRISE
MME	DUSSAUGEY	CISMA
MME	DUSSEQUE	BN ACIER
M	ETIENNE	SADEF
M	FOUCHE BAYLION	SOCOTEC
M	GAULIARD	SCMF
M	GENEREUX	BNTRA
M	GINEYS	GFD
M	GOURMELON	EXPERT SFN
M	GREFF	GFD
M	HENRIQUES	CSTB
M	HOSTALERY	BUREAU VERITAS
M	HOUEL	CEREMA
M	IZABEL	SNPPA
M	LAMADON	BUREAU VERITAS
M	LAMY	UNION DES METALLIERS
M	LE CHAFFOTEC	CTICM
MME	LEMAIRE	BNCM
M	LEQUIEN	APAVE
M	LUKIC	CTICM
M	MAITRE	EXPERT SFN
M	MARTIN	CTICM

M	MENIGAULT	BN ACIER
M	MOHEISSEN	EXPERT SFN
M	MONTEL	CAPEB
MME	PALISSON	SNPPA
MME	PECHENARD	AFFIX
M	PERNIER	EXPERT SFN
M	PLATZ	PROFIL DU FUTUR
M	POTRON	CAPEB
M	RAOUL	EXPERT SFN
MME	RAVONINAHIDRAIBE	CTICM
M	ROBERT	CEREMA
M	SEMIN	CTICM
M	SIFFERLIN	EDF
M	SOKOL	SOKOL CONSULTANTS
M	SOMJA	INSA DE RENNES
M	THOLLARD	TRACTEBEL ENGINEERING S.A
M	THONIER	EGF BTP
M	TRIQUET	SNCF
M	TROUART	UNION DES METALLIERS
M	VILLETTE	BAUDIN CHATEAUNEUF
M	ZHAO	CTICM

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

M	ARIBERT	INSA DE RENNES
M	COUCHAUX	CTICM
M	FLORENT	ALPES CONTROLES
M	FOURMENT	VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
M	HENRIQUES	CSTB
M	HOORPAH	MIO
M	HOSTALERY	BUREAU VERITAS
MME	LEMAIRE	BNCM
M	MAITRE	EXPERT SFN
M	SEMIN	CTICM
M	VILLETTE	BAUDIN CHATEAUNEUF

AVANT-PROPOS

Les présentes recommandations viennent en complément des différentes parties de la norme NF EN 1993 et de leurs Annexes Nationales. Elles contiennent des informations complémentaires non contradictoires, destinées à faciliter l'application des règles de l'Eurocode 3.

Elles ne présentent qu'un caractère informatif et ne sauraient être contractualisées au même titre qu'un document normatif.

Le présent document a été entériné par la CNC2M (Commission de normalisation de la construction métallique et mixte), le 13 Mars 2015.

Les utilisateurs de ces Recommandations sont invités à faire connaître leurs éventuelles observations au Bureau de Normalisation de la Construction Métallique, chargé de la gestion de la commission CNC2M.

BNCM

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique

Espace Technologique, Immeuble Apollo

L'orme des merisiers

91193 SAINT-AUBIN

courriel : bncm@cticm.com

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	6
2	ATTACHES BOULONNEES	6
2.1	<i>Résistance des boulons</i>	6
2.2	<i>Résistance des attaches boulonnées</i>	11
3	ATTACHES SOUDEES	17
4	ASSEMBLAGES POUTRE/POUTRE ET POUTRE/POTEAU PAR PLATINE D'ABOUT	19
4.1	<i>Introduction</i>	19
4.2	<i>Rigidité flexionnelle initiale des assemblages par platine d'about</i>	19
4.3	<i>Résistance d'un assemblage par platine d'about</i>	23
4.3.1	Introduction	23
4.3.2	Moment résistant	23
4.3.3	Résistance en traction d'une rangée de boulons	30
4.3.4	Efforts normaux de traction et de compression résistants de l'assemblage	35
4.3.5	Effort tranchant résistant de l'assemblage	36
4.3.6	Vérification des liaisons soudées de l'assemblage	37
5	ASSEMBLAGES DANS LES POUTRES A TREILLIS	40
6	PIEDS DE POTEAUX	41
7	REFERENCES	45
	ANNEXE A : ASSEMBLAGE COMPORTANT 4 BOULONS PAR RANGEE	46
A.1.	Introduction	46
A.2.	Moment résistant	46
A.3.	Résistance en traction d'une rangée de boulons	46

1 INTRODUCTION

- (1) Les présentes recommandations apportent des précisions et des compléments d'information destinés à aider l'utilisateur de la norme NF EN 1993-1-8 pour le calcul des structures en acier (Eurocode 3 partie 1-8).

2 ATTACHES BOULONNÉES

2.1 Résistance des boulons

- (1) En complément de la note 4 du Tableau 3.3 de la NF EN 1993-1-8 et conformément au Tableau 11 de la NF EN 1090-2, les dimensions des trous de boulons ne doivent pas dépasser les valeurs du **Tableau 1** ci-dessous :

Boulon	rond normal	rond surdimensionné	oblong court	oblong long	oblong très long ⁽³⁾
diamètre	diamètre	diamètre	largeur x longueur	largeur x longueur	largeur x longueur
12	13 ^(1) 2)	15	13 ^(1) 2) x 16	13 ^(1) 2) x 30	13 ^(1) 2) x 42
14	15 ^(1) 2)	17	15 ^(1) 2) x 18	15 ^(1) 2) x 35	15 ^(1) 2) x 49
16	18	20	18 x 22	18 x 40	18 x 56
18	20	22	20 x 24	20 x 45	20 x 63
20	22	24	22 x 26	22 x 50	22 x 70
22	24	26	24 x 28	24 x 55	24 x 77
24	26	30	26 x 32	26 x 60	26 x 84
27	30	35	30 x 37	30 x 67	30 x 94
30	33	38	33 x 40	33 x 75	33 x 105
33	36	41	36 x 43	36 x 82	36 x 115
36	39	44	39 x 46	39 x 90	39 x 126

1) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés du revêtement.
2) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés de 1 mm en respectant la clause 3.6.1(5) de la NF EN 1993-1-8 ou en présence de boulons à tête fraisée.
3) Les trous oblongs très longs sont ajoutés par rapport à la NF EN 1090-2.

Tableau 1 : Dimensions maximales des trous de boulons

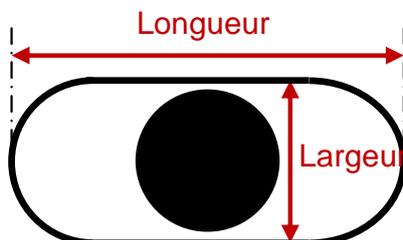


Figure 1 : Dimensions d'un trou oblong

- (2) En complément au paragraphe 3.4.1 de la NF EN 1993-1-8, la catégorie B ne peut être utilisée en présence de trous oblongs et ronds surdimensionnés.
- (3) En complément au paragraphe 3.4.1 de la NF EN 1993-1-8, les assemblages par boulons précontraints avec trous oblongs ne doivent généralement pas être utilisés pour transmettre des efforts dans le sens de la longueur.
- (4) En complément de la note 1) du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8, la résistance en pression diamétrale est :

$$F_{b,Rd} = k_b \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

où :

- k_1 : Coefficient tenant compte de la géométrie transversale à l'effort,
- α_b : Coefficient tenant compte de la géométrie longitudinale à l'effort,
- f_u : Résistance ultime en traction du plat attaché,
- d : Diamètre du boulon,
- t : Epaisseur du plat attaché,
- k_b : Coefficient donné dans le **Tableau 2** :

Type de trou	k_b
Trou rond normal	1
Trou rond surdimensionné	0,8
Trou oblong court/long	0,6
Trou oblong très long	$1,5d/L_{tr}$
L_{tr} : Longueur du trou définit à la Figure 1.	

Tableau 2 : Valeurs de k_b

- (5) En complément de la note 3 du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8, lorsque la charge appliquée sur un boulon n'est pas parallèle au bord de la pièce, la résistance en pression diamétrale doit être vérifiée en considérant une interaction pour les composants de l'effort appliqués perpendiculairement (direction x) et parallèlement (direction y) au bord :

$$\left(\frac{F_{v,x,Ed}}{F_{b,x,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,y,Ed}}{F_{b,y,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

où :

$F_{v,x,Ed}$: Effort de cisaillement suivant la direction x,

$F_{b,x,Rd}$: Résistance en pression diamétrale suivant la direction x calculée d'après le Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8,

$F_{v,y,Ed}$: Effort de cisaillement suivant la direction y,

$F_{b,y,Rd}$: Résistance en pression diamétrale suivant la direction y calculée d'après le Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8.

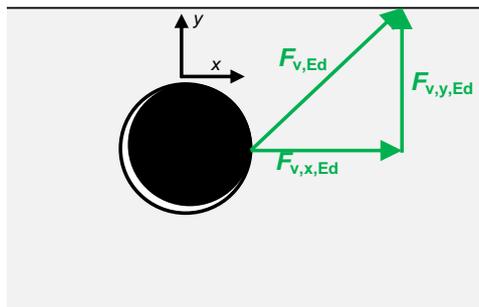


Figure 2 : Chargement oblique d'un boulon en pression diamétrale

- (6) En complément du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8, lors de l'évaluation de la résistance en pression diamétrale de boulons en quinconce (voir **Figure 3**), le coefficient k_1 est :

Pour un boulon de rive :

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{\min(L; 2\rho_2)}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

Pour un boulon intérieur :

$$k_1 = \min \left(1,4 \frac{\min(L; 2\rho_2)}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

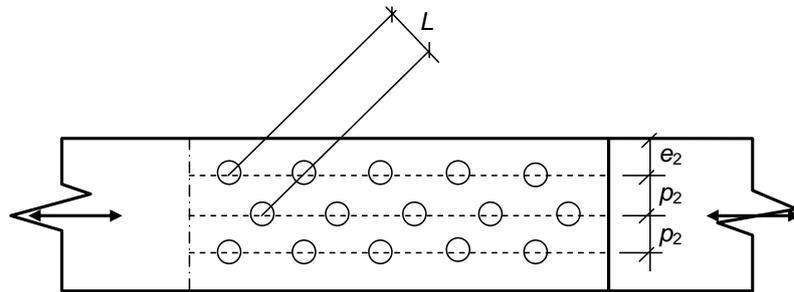


Figure 3 : Dimensions d'une file de boulons en quinconce

- (7) Lorsque des boulons précontraints à serrage contrôlé transmettant des efforts de cisaillement traversent des fourrures, il n'existe pas de limitation sur l'épaisseur cumulée de celles-ci tant que l'on respecte les conditions suivantes :
- Une même valeur du coefficient de frottement μ est garantie sur toutes les surfaces de contact;
 - Le nombre de fourrures est limité à trois;
 - La différence d'épaisseur des différents éléments de l'assemblage, D , est au maximum de 1 mm conformément au chapitre 8.1 de la NF EN 1090-2.

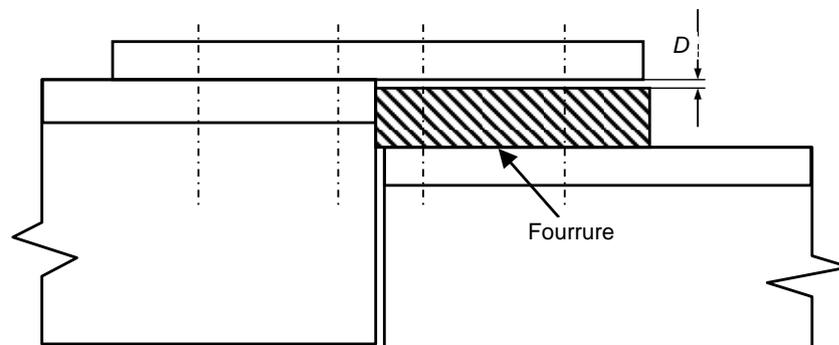


Figure 4 : Différence d'épaisseurs entre éléments d'un assemblage avec fourrure

- (8) Conformément à la clause (12) du paragraphe 3.6.1 de la NF EN 1993-1-8, lorsque des boulons non précontraints transmettant des efforts de cisaillement traversent des fourrures non soudées dont l'épaisseur de calage t_p est supérieure à $d/3$, il convient de multiplier la résistance au cisaillement $F_{v,Rd}$ par :

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \leq 1$$

Lorsque l'épaisseur de calage est supérieure à $2d$, il convient de souder des fourrures sur l'un des éléments transmettant les efforts aux boulons. Il convient alors de vérifier la résistance des fourrures conformément à la NF EN 1993-1-8 (pression diamétrale, cisaillement de bloc, section nette) et de prendre β_p égal à 1.

Lorsque l'introduction des fourrures rend l'assemblage dissymétrique (voir **Figure 5.b**), il convient de limiter le risque d'anormale distribution des efforts en rattrapant l'essentiel du décalage par des fourrures soudées.

Note : Une précaution particulière doit être apportée à l'alignement de l'axe des trous des éléments attachés.

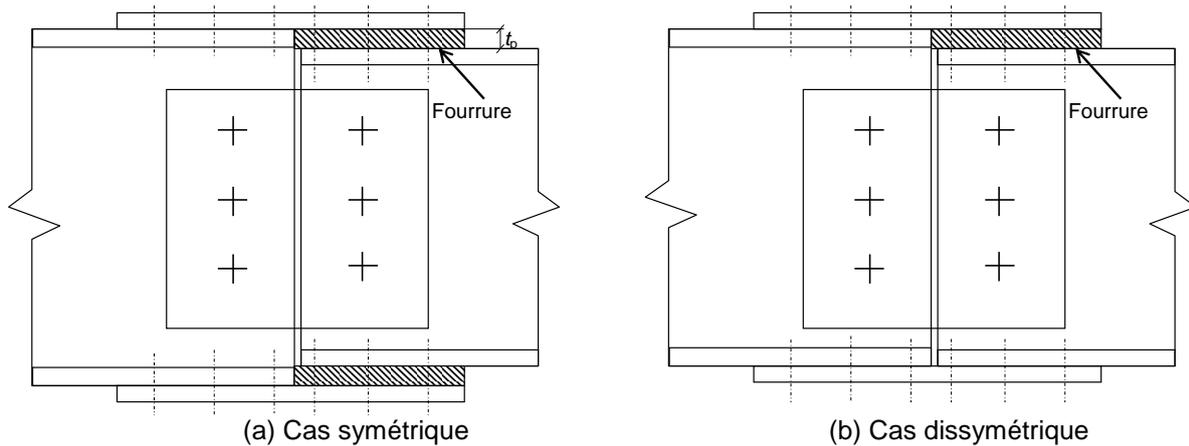


Figure 5 : Fixations traversant des fourrures

(9) En complément du Tableau 3.7 de la NF EN 1993-1-8, les coefficients de frottement du **Tableau 3** ci-dessous peuvent être utilisés.

Etat de surface	Coefficient de frottement
Surfaces grenillées ou sablées, débarrassées de toute rouille non adhérente, exemptes de piqûres	0,5
Surfaces grenillées ou sablées : — métallisées par projection d'un produit à base d'aluminium ou de zinc, — avec une peinture au zinc silicate (alcalin) inorganique d'une épaisseur de 50 µm à 80 µm.	0,4 ⁽¹⁾
Surfaces nettoyées à la brosse métallique ou au chalumeau, débarrassées de toute rouille non adhérente	0,3
Surfaces brutes de laminage	0,2
Galvanisation à chaud (600 g/m ²)	0,15
Décapage par meulage	0
1) La valeur du Tableau 3 , issue du Tableau 18 de la NF EN 1090-2, est utilisable en phase d'avant-projet et en l'absence d'essais préétablis mais doit être confirmée par essais en phase d'exécution.	

Tableau 3 : Coefficients de frottement

- (10) En présence d'efforts perpendiculaires (voir l'exemple de la **Figure 6**), la résistance au cisaillement de bloc peut être évaluée à partir de la relation suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1$$

où :

N_{Ed} : Effort de traction appliqué au groupe de boulons,

N_{Rd} : Résistance en traction correspondant au cisaillement de bloc calculé suivant le §3.10.2 de la NF EN 1993-1-8,

V_{Ed} : Effort tranchant appliqué au groupe de boulons,

V_{Rd} : Résistance à l'effort tranchant correspondant au cisaillement de bloc calculé suivant le §3.10.2 de la NF EN 1993-1-8.

Note : La contribution de la partie tendue est divisée par deux lorsque le groupe de boulons est soumis à un effort excentré conformément à la clause (3) du §3.10.2 de la NF EN 1993-1-8.

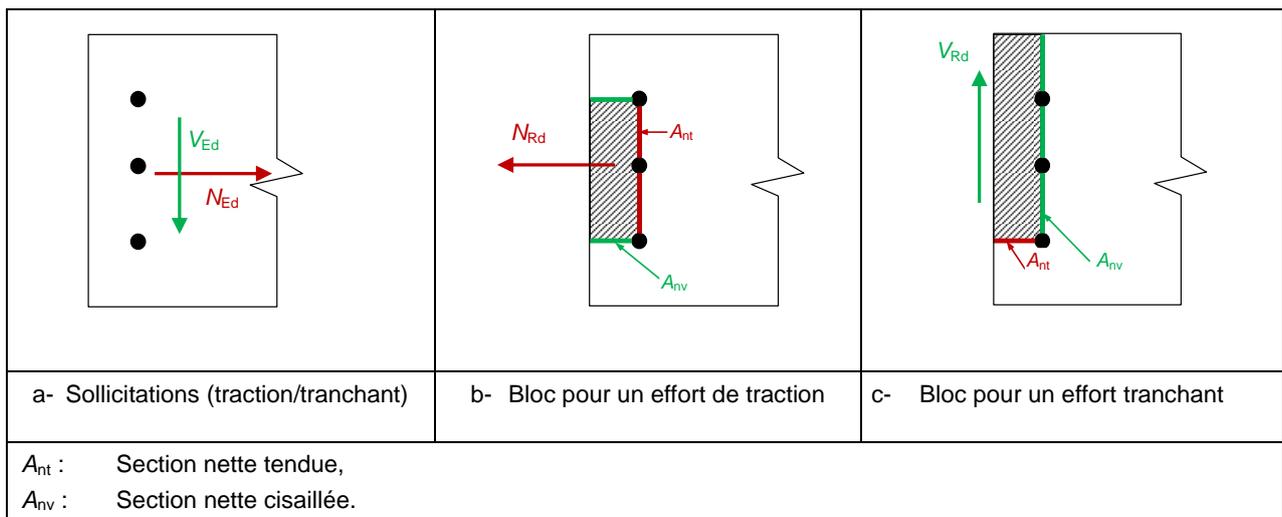


Figure 6 : Cisaillement de bloc dans deux directions perpendiculaires

2.2 Résistance des attaches boulonnées

- (1) En complément du paragraphe 3.10.2 de la NF EN 1993-1-8, l'aire nette cisailée, A_{nv} , à utiliser lors du calcul de la résistance au cisaillement de bloc de l'âme d'une poutre doit être évaluée à partir de l'épaisseur de l'âme seule sans tenir compte du congé et de la semelle (voir **Figure 7**).

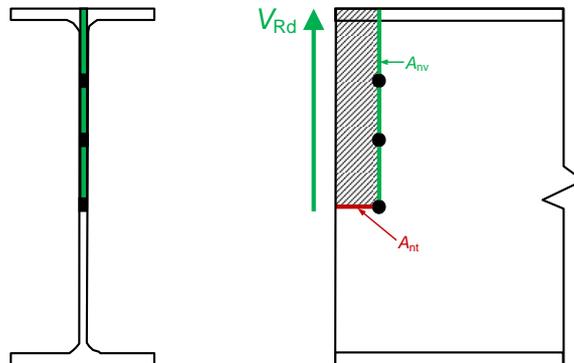


Figure 7 : Cisaillement de bloc dans l'âme d'une poutre non grugée

- (2) En complément de la clause (2) du §3.10.3 de la NF EN 1993-1-8, une cornière simple attachée par une seule rangée de boulons dans une aile peut être traitée comme chargée concentriquement et la résistance de calcul de la section nette peut être déterminée de la façon suivante :

— avec 1 boulon :

$$N_{u,Rd} = \frac{2(e_2 - 0,5d_0) t f_u}{\gamma_{M2}}$$

Dans le cas d'une cornière à ailes inégales attachée par un seul boulon sur la grande aile, il convient de vérifier également la condition générale :

$$N_{u,Rd} \leq \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

— avec 2 boulons :

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

— avec 3 boulons ou plus :

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

A_{net} : Aire nette de la cornière.

Pour une cornière à ailes inégales attachée par sa petite aile, il convient de prendre A_{net} égale à l'aire nette d'une cornière équivalente à ailes de même dimensions que la petite aile.

Entraxe	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 boulons	β_2	0,4	0,5
3 boulons ou plus	β_3	0,5	0,7

Tableau 4 : Coefficients réducteurs β_2 et β_3 pour une cornière simple

(3) La clause (2) du § 3.10.3 de la NF EN 1993-1-8 s'applique également aux cornières jumelées ou disposées en croix mais en utilisant les coefficients β_2 , β_3 et β_4 présentés dans le **Tableau 5**.

Entraxe	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 boulons	β_2	0,5	0,6
3 boulons	β_3	0,6	0,7
4 boulons ou plus	β_4	0,7	0,8

Tableau 5 : Coefficients réducteurs β_2 , β_3 et β_4 pour deux cornières jumelées ou disposées en croix

Note : Cette clause ne s'applique pas aux assemblages par cornières avec pattes d'attaches.

(4) Les assemblages par cornières ou par platine d'âme sont usuellement considérés comme articulés. Le respect des critères présentés au **Tableau 6**, par référence aux recommandations n°126 de la CECM [12], permet de considérer que leur rigidité reste effectivement négligeable.

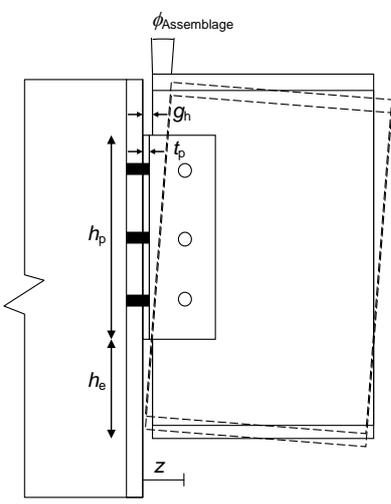
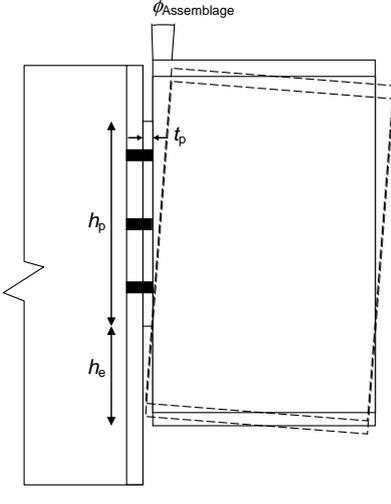
Configuration	Assemblage par cornières d'âme	Assemblage par platine d'âme
Géométrie		
Critère de ductilité	$\frac{t_p}{d} \leq 0,36 \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad (1)$	
Soudures platine/poutre portée	-	Pleine résistance (voir §3(4))
Critère en rotation	$\phi_{j,Ed} \leq \phi_{j,max}$ $\phi_{j,max} = \arcsin \left(\frac{z}{\sqrt{(z - g_h)^2 + \left(\frac{h_b}{2} + h_e\right)^2}} \right) - \arctan \left(\frac{z - g_h}{\frac{h_b}{2} + h_e} \right)$	$\phi_{j,Ed} \leq \phi_{j,max}$ $\phi_{j,max} = \frac{t_p}{h_e}$
<p>t_p : Epaisseur de la platine/cornière, d : Diamètre des boulons, f_{ub} : Résistance ultime des boulons, f_y : Limite d'élasticité de la platine/cornière, $\phi_{j,Ed}$: Rotation de la poutre sous chargement ELU supposée articulée au droit de l'assemblage, $\phi_{j,max}$: Rotation maximale de l'assemblage correspondant à l'amorce du contact entre la semelle de la poutre portée et l'élément support.</p>		
(1) Correspond à l'équation (6.32) de la NF EN 1993-1-8.		

Tableau 6 : Critères d'articulation à respecter pour les assemblages par cornières/platine d'âme

Il convient de se reporter aux recommandations n°126 de la CECM [12], pour la vérification de la résistance à l'effort tranchant de l'assemblage ; celle-ci doit en effet être effectuée en réduisant la résistance de certains éléments (boulons cisailés côté porteur, cisaillement des cornières/platine).

(5) Lorsque l'âme de la poutre est exposée au voilement local par cisaillement, soit $h_w/t_w > 72\varepsilon/\eta$, il est permis de considérer que les dispositions constructives présentées à la **Figure 8**, réalisent les conditions minimales de raidissage de cette âme (montant d'extrémité non rigide) requises pour l'applicabilité du §5 de la NF EN 1993-1-5. Il convient cependant de respecter les modalités suivantes de répartition de l'effort tranchant dans l'assemblage, en fonction de l'importance de l'effort tranchant appliqué V_{Ed} par rapport à une valeur limite V_{lim} définie ci-après :

- Si $V_{Ed} \leq V_{lim}$: répartition uniforme sur la hauteur de l'assemblage, soit sur l'ensemble des boulons dans le cas de la **Figure 8.a** ou sur la longueur totale de soudure et sur l'ensemble des boulons dans le cas de la **Figure 8.b**.
- Si $V_{Ed} > V_{lim}$, deux cas sont à distinguer :
 - cas de la **Figure 8.a**
 - ✓ répartition sur l'ensemble des boulons de l'assemblage de la part V_{lim} de l'effort tranchant,
 - ✓ répartition du complément ($V_{Ed} - V_{lim}$) sur les seules rangées situées à une distance inférieure à $0,4 h_w$ de la rangée supérieure.
 - cas de la **Figure 8.b**
 - ✓ répartition sur la longueur totale de soudure de la part V_{lim} de l'effort tranchant,
 - ✓ répartition du complément ($V_{Ed} - V_{lim}$) sur une longueur de soudure égale à $0,4 h_w$ comptée à partir du bord supérieur de la platine,
 - ✓ répartition sur l'ensemble des boulons de la totalité de l'effort tranchant V_{Ed} .

Avec :

$$V_{lim} = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_w^2} \frac{f_{yw}}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} h_w t_w$$

f_{yw} : Limite d'élasticité de l'âme de la poutre portée,

h_w : Hauteur de l'âme de la poutre portée,

t_w : Epaisseur de l'âme de la poutre portée.

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon}, \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yw}}}$$

$$\alpha = 0,27 + 0,5 \bar{\lambda}_w \quad \text{si } \bar{\lambda}_w \leq 1,46$$

$$\alpha = 1 \quad \text{si } \bar{\lambda}_w > 1,46$$

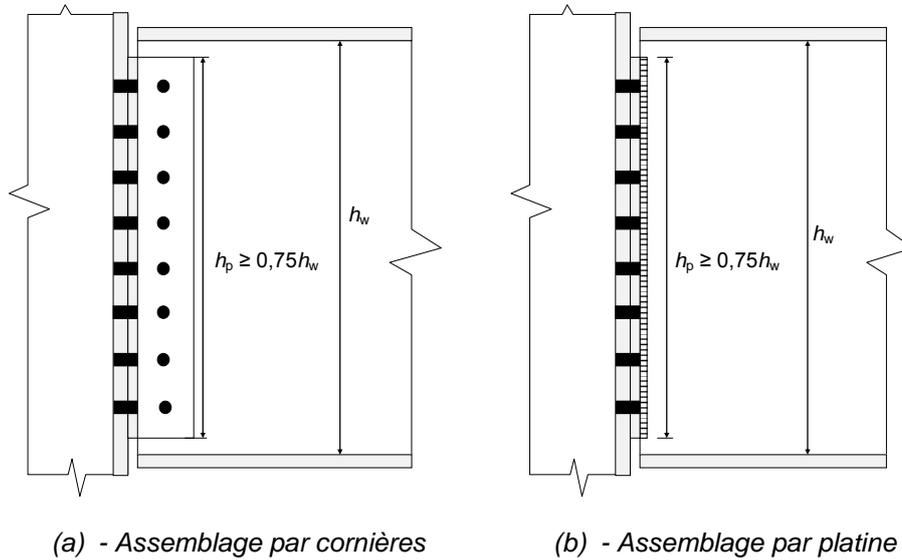


Figure 8 : Assemblages par cornières et platine d'âme

- (6) Les dispositions constructives suivantes sont recommandées pour les couvre-joints de semelle:
- La demi-longueur des couvre-joints doit être au moins égale à la largeur du profil sur lequel ils sont attachés.
 - Le nombre de rangée de boulons sur chaque profil est au moins de 2.

3 ATTACHES SOUDÉES

- (1) Lorsque la répartition des efforts est plastique dans la poutre attachée, la soudure doit être pleine résistance: c'est-à-dire qu'elle reconstitue la section attachée au niveau de chacun de ses constituants. Dans le cas contraire, la distribution des efforts dans une attache soudée doit généralement être évaluée sur l'hypothèse d'un comportement élastique.
- (2) Le choix du type de liaison soudée (cordon d'angle avec ou sans chanfrein partiel, soudure à pleine pénétration) des assemblages en T en extension doit prendre en compte:
- le niveau de sollicitations;
 - l'épaisseur des pièces assemblées;
 - l'existence de contraintes alternées ou de fatigue;
 - la nécessité d'un contrôle de compacité;
 - les conséquences d'une défaillance.
- (3) En complément à la clause (2) du §4.5.2 de la NF EN 1993-1-8, pour des aciers S235, S275 et S355, les valeurs limites des gorges peuvent être retenues :

$$\max(3; \sqrt{t_{\max}} - 0,5) \leq a \leq 0,7t_{\min}$$

avec :

$$t_{\max} = \max(t_1; t_2)$$

avec les épaisseurs des tôles assemblées en mm

$$t_{\min} = \min(t_1; t_2)$$

Note : Des QMOS spécifiques permettent de s'affranchir de ces valeurs limites (cf. NF EN 1090-2)

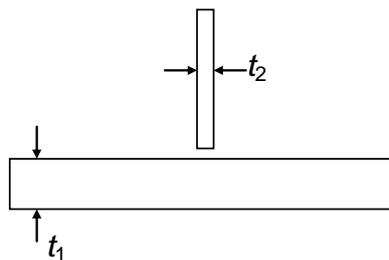


Figure 9 : Plats à souder

- (4) Pour que les deux soudures d'angle d'un assemblage en T soient pleinement résistantes quelle que soit la direction de l'effort, leur gorge doit vérifier la relation suivante :

$$\frac{a}{t} \geq \frac{f_y \beta_w \gamma_{M2}}{\sqrt{2} f_u \gamma_{M0}}$$

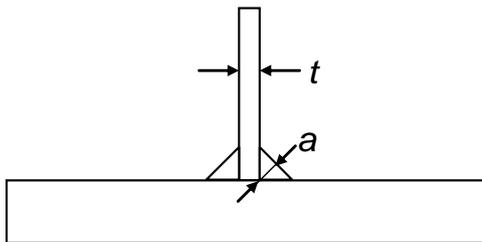
où :

f_y : Limite d'élasticité de l'âme du T attaché,

f_u : Résistance ultime en traction de la pièce attachée la plus faible,

β_w : Facteur de corrélation déterminé à partir du Tableau 4.1 de la NF EN 1993-1-8.

Note : Cette vérification permet notamment de répondre à la clause 4.9 (5) de la NF EN 1993-1-8.



Acier	Condition
S235	$a \geq 0,46t$
S275	$a \geq 0,48t$
S355	$a \geq 0,58t$
S460	$a \geq 0,74t$

Figure 10 : Plats à souder par deux cordons d'angle (pour $t \leq 40$ mm)

4 ASSEMBLAGES POUTRE/POUTRE ET POUTRE/POTEAU PAR PLATINE D'ABOUT

4.1 Introduction

- (1) Les présentes recommandations s'appliquent à des assemblages par platine d'about, symétriques par rapport à l'âme de la poutre, sollicités dans leur plan par un moment fléchissant, $M_{j,Ed}$, un effort normal, $N_{j,Ed}$, et un effort tranchant, $V_{j,Ed}$. La vérification de ce type d'assemblage doit être effectuée en deux étapes :

Etape n°1 : Vérification de l'hypothèse de modélisation (voir §4.2).

Dans le cadre d'une analyse globale élastique, cette vérification consiste à classer l'assemblage comme rigide ou semi-rigide.

Etape n°2 : Evaluation de la résistance de l'attache pour le moment fléchissant dans le plan, l'effort normal et l'effort tranchant dans le plan (voir §4.3). L'interaction de ces différentes sollicitations devra être considérée.

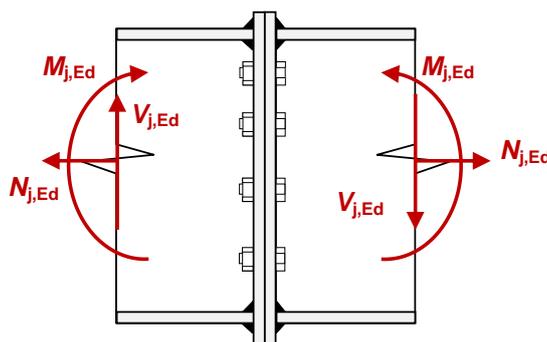


Figure 11 : Assemblages par platine d'about considérés

- (2) La résistance et la rigidité de l'assemblage sont évaluées à partir de la méthode des tronçons en T décrite dans le paragraphe 6.2.4 de la NF EN 1993-1-8. Un tronçon en T est composé d'une âme, de poutre ou de poteau, et d'une semelle perpendiculaire, platine d'about ou semelle de poteau, et d'au moins une rangée de deux boulons symétriques par rapport à l'âme.
- (3) L'écartement entre boulons extrêmes ne doit pas être supérieur à la largeur des semelles et les soudures doivent tourner autour des semelles.

4.2 Rigidité flexionnelle initiale des assemblages par platine d'about

- (1) La rigidité flexionnelle initiale, $S_{j,ini}$, permet de vérifier l'hypothèse d'un assemblage rigide à partir du §5.2.2.5 de la NF EN 1993-1-8. S'il est montré que l'assemblage est semi-rigide, la rigidité de l'assemblage devra être considérée dans l'analyse globale.
- (2) Lorsque l'effort normal est inférieur à 5 % de la résistance en section de la pièce attachée (évaluée conformément au §6.2 de la NF EN 1993-1-1), la rigidité flexionnelle initiale, $S_{j,ini}$, est calculée à partir des coefficients de rigidité des composants de l'assemblage tel qu'indiqués dans le **Tableau 7** et le **Tableau 8**.

- (3) Lorsque l'effort normal de compression est supérieur à 5% de la résistance en section de la pièce attachée, et que l'application de la méthode définie à la clause (2) conclut à un assemblage rigide, ce résultat place en sécurité et peut être conservé.
- (4) La longueur efficace nécessaire au calcul du coefficient de rigidité d'une rangée de boulons tendus doit être évaluée conformément au **Tableau 9**. Les formules du **Tableau 9** tiennent compte d'un fonctionnement soit en rangée isolée ou soit en groupe.

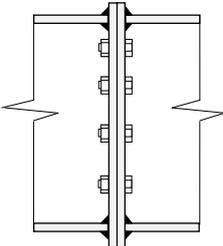
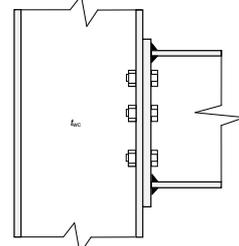
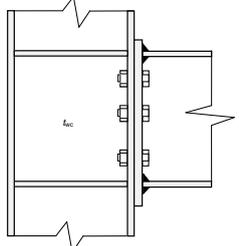
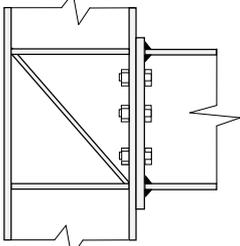
Configuration d'assemblage	Poutre/poutre	Poutre/poteau non raidi	Poutre/poteau raidi	
Bras de levier/rigidité : Référence(s) de la NF EN 1993-1-8				
Bras de levier : §6.3.3.1	$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r}$			
Rangées de boulons tendues §6.3.3.1/ Tableau 6.11	$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}$			
Panneau d'âme cisailé : Tableau 6.11	-	$k_1 = \frac{0,38 A_{vc}}{\beta z_{eq}}$		$k_1 = \infty$
Âme du poteau comprimée : Tableau 6.11	-	$k_2 = 0,7 b_{eff,c,wc} t_{wc} / d_c$	$k_2 = \infty$	$k_2 = \infty$
Rigidité flexionnelle initiale	$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 k_{eq}$	$S_{j,ini} = \frac{E z_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}}}$		$S_{j,ini} = \frac{E z_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_{eq}}}$
<p>h_r : Distance entre la rangée de boulons r et le centre de compression (situé au droit du centre de la semelle de la poutre/jarret comprimée),</p> <p>r : Numéro de la rangée de boulons,</p> <p>$k_{eff,r}$: Coefficient de rigidité de la rangée r calculé suivant le Tableau 8,</p> <p>β : Paramètre de transformation défini dans le §5.3 de la NF EN 1993-1-8, valeurs pratiques au Tableau 5.4 de la NF EN 1993-1-8,</p> <p>A_{vc} : Aire de cisaillement de l'âme du poteau calculée suivant le §6.2.6 de la NF EN 1993-1-1,</p> <p>d_c : Hauteur d'âme du poteau calculée suivant la relation (6.13c) de la NF EN 1993-1-8.</p>				

Tableau 7 : Rigidité flexionnelle initiale d'assemblages par platine d'about

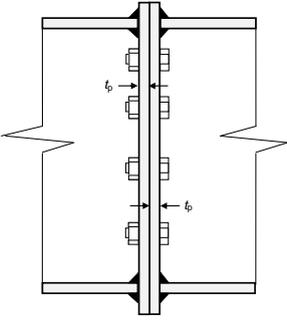
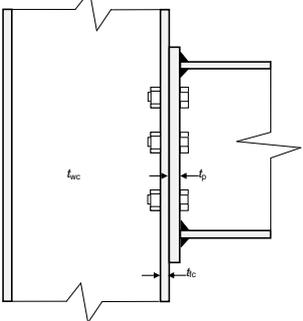
<p>Coefficients de rigidité : <i>Tableau 6.11 de la NF EN 1993-1-8</i></p>		
<p>Platine fléchie</p>	$k_5 = \frac{0,9l_{\text{eff},p} t_p^3}{m^3}$	
<p>Boulons tendus</p>	$k_{10} = \frac{1,6A_s}{L_b}$	
<p>Semelle du poteau fléchie</p>	<p>-</p>	$k_4 = \frac{0,9l_{\text{eff},fc} t_{fc}^3}{m^3}$
<p>Ame du poteau tendue</p>	<p>-</p>	$k_3 = \frac{0,7l_{\text{eff},fc} t_{wc}}{d_c}$
<p>Rangée</p>	$k_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{10}} + \frac{2}{k_5}}$	$k_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{10}} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_3}}$
<p>$l_{\text{eff},p}$: Longueur efficace calculée au niveau du Tronçon en T équivalent côté platine, m : Bras de levier calculé côté platine ou semelle du poteau à partir de la Figure 6.2 de la NF EN 1993-1-8, A_s : Section résistante d'un boulon, L_b : Longueur du boulon soumise à l'allongement calculée à partir du Tableau 6.2 de la NF EN 1993-1-8, $l_{\text{eff},fc}$: Longueur efficace calculée au niveau du Tronçon en T équivalent côté semelle du poteau.</p>		

Tableau 8 : Coefficient de rigidité d'une rangée de boulons tendus

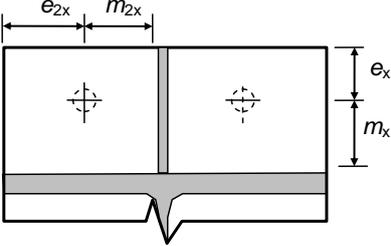
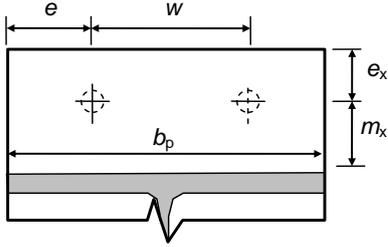
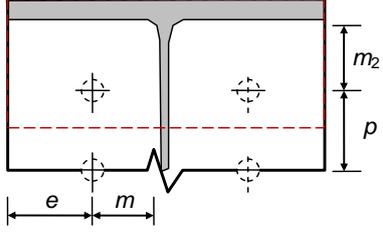
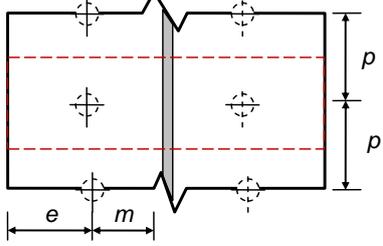
Rangée	Longueur efficace
<p>Extérieure raidie :</p> 	$l_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 2\pi m_x; \pi m_x + 2e_{2x}; \\ 2\pi m_{2x}; \pi m_{2x} + 2e_x; \\ \alpha_1 m_x; \alpha_1 m_x - 2m_x - 0,625e_x + e_{2x} \\ \alpha_2 m_{2x}; \alpha_2 m_{2x} - 2m_{2x} - 0,625e_{2x} + e_x \end{cases}$ <p>où :</p> <p>α_1 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m_x}{m_x + e_x}; \lambda_2 = \frac{m_{2x}}{m_x + e_x}$ <p>α_2 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m_{2x}}{m_{2x} + e_{2x}}; \lambda_2 = \frac{m_x}{m_{2x} + e_{2x}}$
<p>Extérieure non raidie :</p> 	$l_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 2\pi m_x; \pi m_x + w; \pi m_x + 2e \\ 4m_x + 1,25e_x; 2m_x + 0,625e_x + w/2 \\ 2m_x + 0,625e_x + e \\ b_p / 2 \end{cases}$
<p>Intérieure</p> 	$l_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + p \\ \alpha m \\ \alpha m - (2m + 0,625e) + p/2 \end{cases}$ <p>où :</p> <p>α est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m + e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$
<p>Centrale non raidie :</p> 	$l_{\text{eff}} = \min(2\pi m, p, 4m + 1,25e)$

Tableau 9 : Longueurs efficaces pour le calcul des coefficients de rigidité

4.3 Résistance d'un assemblage par platine d'about

4.3.1 Introduction

- (1) La démarche de calcul de la résistance des assemblages par platine d'about décrite dans les présentes recommandations, est établie dans l'hypothèse simplificatrice où les différentes soudures impliquées dans l'assemblage reconstituent la pleine résistance des éléments attachés (voir clause 3(4) pour le critère concernant les soudures d'angle). Suivant cette option, la résistance de l'assemblage n'est en aucun cas conditionnée par celle d'une liaison soudée, conformément à la clause 6.2.3(4) de la NF EN 1993-1-8. Des indications plus détaillées relatives aux liaisons soudées de l'assemblage sont données en 4.3.6, notamment pour le cas où une justification de la résistance de ces liaisons est nécessaire.

4.3.2 Moment résistant

- (1) Lors de l'évaluation du moment résistant de calcul, noté $M_{j,Rd}$, il n'est pas nécessaire de prendre en compte l'influence de l'effort normal si celui-ci est inférieur à 5% de la résistance en section de la poutre attachée évaluée conformément au paragraphe 6.2 de la NF EN 1993-1-1. Dans ces conditions, il est suffisant de vérifier :

$$M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$$

- (2) Si l'effort normal exercé dans la poutre attachée excède 5% de la résistance de calcul en section de la poutre attachée, la méthode suivante peut être utilisée :

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

où :

$M_{j,Ed}$: Moment fléchissant appliqué à l'assemblage,

$M_{j,Rd}$: Moment fléchissant résistant de l'assemblage en absence d'effort normal calculé suivant (3) du §4.3.2,

$N_{j,Ed}$: Effort normal appliqué à l'assemblage,

$N_{j,Rd}$: Résistance à l'effort normal en absence de moment fléchissant calculée suivant le §4.3.4.

- (3) Le moment résistant, $M_{j,Rd}$, devra être calculé en trois étapes :

Etape n°1 :

Evaluation de la résistance des composants comprimés/cisaillé. Les différents composants à calculer sont présentés dans le **Tableau 10** en fonction du type d'assemblage. La résistance minimale obtenue notée $F_{c,Rd}$ est utilisée dans l'étape n°3 lors du calcul du moment résistant final.

Configuration d'assemblage	Poutre/poutre	Poutre/poteau non raidi	Poutre/poteau raidi	
Composant : référence de la NF EN 1993-1-8				
Ame et semelle de poutre comprimées : §6.2.6.7	Pour les sections en I symétriques: $F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}}$ mais pour $h \geq 600$ mm : $F_{c,fb,Rd} \leq \begin{cases} 1,25b_{fb}t_{fb}f_{y,b}/\gamma_{M0} & \text{semelle de classe 1, 2 ou 3} \\ 1,25b_{eff}t_{fb}f_{y,b}/\gamma_{M0} & \text{semelle de classe 4} \end{cases}$ Dans le cas de semelles dissymétriques, la résistance sera prise égale au maximum de : <ul style="list-style-type: none"> la résistance de la semelle comprimée seule, la résistance calculée à partir du §6.2.6.7 de la NF EN 1993-1-8 pour la section rendue symétrique en considérant la semelle la moins résistante. 			
Ame du poteau comprimée transversalement : §6.2.6.2	-	$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$	$F_{c,wc,Rd} = \begin{cases} \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \\ + A_{st,eff} f_{y,st} / \gamma_{M1} \end{cases}$	
Panneau d'âme cisailé : §6.2.6.1	-	$V_{wp,Rd} / \beta = \frac{0,9A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}\beta} \quad (1)$	$V_{wp,Rd} / \beta = \left(\frac{0,9A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}\beta} + \frac{A_{sd,eff} f_{y,sd} \cos \theta}{\gamma_{M1}\beta} \right) \quad (1)$	
Résistance des composants comprimés/cisailés	$F_{c,Rd} = F_{c,fb,Rd}$	$F_{c,Rd} = \min(F_{c,fb,Rd}; F_{c,wc,Rd}; V_{wp,Rd} / \beta)$		
$f_{y,b}$: Limite d'élasticité minimale de la poutre, β : Paramètre de transformation défini dans le §5.3 de la NF EN 1993-1-8, valeurs pratiques au tableau 5.4 de la NF EN 1993-1-8, $A_{st,eff}$: Section efficace des raidisseurs horizontaux calculée selon la NF EN 1993-1-5, $A_{sd,eff}$: Section efficace des raidisseurs diagonaux calculée selon la NF EN 1993-1-5, $f_{y,st}$: Limite d'élasticité des raidisseurs horizontaux, $f_{y,sd}$: Limite d'élasticité des raidisseurs diagonaux, b_{fb} : Largeur de la semelle de la poutre, b_{eff} : Largeur efficace de la semelle de la poutre, h : Hauteur de la poutre attachée jarret inclus.				
(1) La contribution des raidisseurs horizontaux est ici négligée.				

Tableau 10 : Résistance des composants comprimés/cisailés

Etape n°2 :

Calcul de la résistance des rangées de boulons tendues en commençant par la rangée la plus éloignée du centre de compression. Le centre de compression est positionné au centre de la semelle de la poutre/jarret comprimée. La résistance d'une rangée ou d'un groupe de rangées correspond à la résistance minimale obtenue dans le **Tableau 11**.

Les résistances de la platine et de la semelle du poteau fléchies sont évaluées à partir de la méthode des tronçons en T décrite dans le §6.2.4 de la NF EN 1993-1-8 et dans le §4.3.3 du présent document.

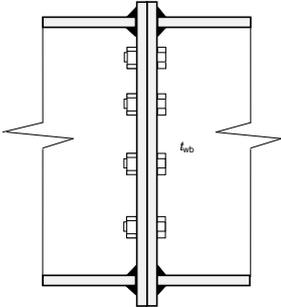
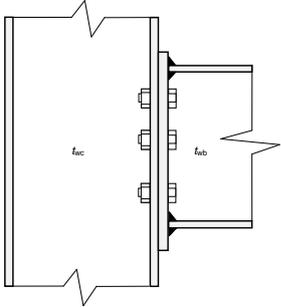
Configuration d'assemblage	Poutre/poutre	Poutre/poteau
Composant : références de la NF EN 1993-1-8		
Platine fléchie : §6.2.6.5	$F_{t,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd})$	
Partie tendue de la poutre : §6.2.6.8	<ul style="list-style-type: none"> Rangée extérieure : $F_{t,wb,Rd} = \frac{A_{t,b} f_{y,b}}{\gamma_{M0}}$ Rangées intérieure/centrale : $F_{t,wb,Rd} = \min\left(\frac{l_{eff,1} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}; \frac{A_{t,b} f_{y,b}}{\gamma_{M0}}\right)$ 	
Semelle du poteau fléchie : §6.2.6.4	-	$F_{t,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd})$
Partie tendue du poteau : §6.2.6.3	-	$F_{t,wc,Rd} = \min\left(\omega \frac{l_{eff,1} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}; \frac{A_{t,c} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}\right)$
Résistance rangée	$F_{tr,Rd} = \min(F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd})$	$F_{tr,Rd} = \min\left(\begin{matrix} F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd} \\ F_{t,fc,Rd}; F_{t,wc,Rd} \end{matrix}\right)$
<p>$A_{t,b}$: Section de poutre au droit de la rangée obtenue à partir du Tableau 12, $f_{y,b}$: Limite d'élasticité minimale de la poutre, $A_{t,c}$: Section de poteau au droit de la rangée obtenue à partir du Tableau 12, $f_{y,c}$: Limite d'élasticité minimale du poteau.</p>		

Tableau 11 : Résistance en traction d'une rangée ou d'un groupe de rangées

Rangée	Section concernée	Section tendue $A_{t,b}$ (ou $A_{t,c}$)
Rangée extérieure non raidie		$b_{fb} t_{fb} / 2$
Rangée extérieure raidie		$b_{fb} t_{fb} / 2 + b_s t_s$
Rangée intérieure sans rangée extérieure		$(\rho_1 / 2 + \rho_0) t_{wb} + b_{fb} t_{fb}$
Rangée intérieure avec rangée extérieure		$(\rho_1 / 2 + \rho_0) t_{wb} + b_{fb} t_{fb} / 2$
Rangée centrale		$(\rho_1 / 2 + \rho_2 / 2) t_{wb}$

Tableau 12 : Section physique tendue

Etape n°3 :

Calcul du moment résistant connaissant la résistance des rangées de boulons tendues mobilisées et des composants comprimés/cisaillé. Conformément au §6.2.7.2 de la NF EN 1993-1-8, le moment résistant de calcul est déterminé par :

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

où :

$F_{tr,Rd}$: Résistance de calcul à la traction efficace d'une rangée r ,

h_r : Distance entre la rangée de boulons r et le centre de compression,

r : Numéro de la rangée de boulons.

Les résistances des rangées de boulons, telles que calculées à l'étape 2, peuvent devoir être ajustées, afin d'aboutir à une répartition triangulaire des efforts de traction sur tout ou partie de la hauteur de l'assemblage. Suivant les cas, cette répartition est construite soit à partir de la rangée extérieure, soit à partir de la rangée intérieure, soit à partir de la première rangée de boulons centraux, de sorte à minimiser le moment résistant qui en résulte. La configuration déterminante assure normalement que la deuxième rangée de boulons incluse dans la répartition triangulaire, voit sa résistance effectivement amputée par rapport à celle déterminée à l'étape 2. Le **Tableau 13** illustre, suivant ce principe, les cinq configurations qui peuvent être rencontrées en pratique, avec les répartitions triangulaires qui en découlent.

La répartition triangulaire ainsi définie doit être prise en compte dans les trois cas suivants (voir clause 6.2.7.2(9) de la NF EN 1993-1-8 et de son Annexe Nationale) :

- lorsque soit la rangée de boulons extérieurs soit la rangée de boulons intérieurs atteint une résistance calculée suivant l'étape 2, supérieure à $1,9 F_{t,Rd}$, où $F_{t,Rd}$ est la résistance en traction d'un boulon, déterminée suivant le Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8 (les rangées centrales sont supposées a priori présenter des résistances sensiblement inférieures à celle des rangées extérieure et intérieure) ;
- lorsque la hauteur du profil de la poutre assemblée, jarret compris, dépasse 600 mm ;
- lorsque la somme des résistances en traction de l'ensemble des rangées de l'assemblage est supérieure à la résistance des composants comprimés/cisaillé $F_{c,Rd}$ définie au **Tableau 10**.

Lorsque la somme des résistances en traction de l'ensemble des rangées de l'assemblage, éventuellement réduites par le diagramme triangulaire défini précédemment, est inférieure à la résistance $F_{c,Rd}$, le moment résistant de calcul de l'assemblage est déterminé par :

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F'_{tr,Rd}$$

où h_r est la distance entre la rangée courante r et le centre de compression et où $F'_{tr,Rd}$ désigne la résistance affectée à la rangée courante r , après ajustement par le diagramme triangulaire.

Dans le cas où la somme des résistances en traction de l'ensemble des rangées de l'assemblage, réduites par le diagramme triangulaire défini précédemment, reste supérieure à la résistance $F_{c,Rd}$, il convient d'annuler les tractions dans les rangées les plus proches de la zone comprimée jusqu'à la rangée centrale k pour laquelle on peut établir une résistance en traction réduite satisfaisant à la relation suivante :

$$0 \leq F'_{tk,red,Rd} = F_{c,Rd} - \sum_{r=1}^{k-1} F'_{tr,Rd} \leq F'_{tk,Rd}$$

Le moment résistant de calcul de l'assemblage est alors déterminé par :

$$M_{j,Rd} = \sum_{r=1}^{k-1} h_r F'_{tr,Rd} + h_k F'_{tk,red,Rd}$$

Pour les assemblages de hauteur importante et comportant un nombre élevé de rangées centrales, la procédure décrite ci-avant pour ajuster la somme des tractions dans les boulons à la résistance $F_{c,Rd}$, peut conduire à ce que le dernier rang k de boulons centraux considéré comme actif se trouve implanté, par rapport au centre de compression, au-delà de l'axe neutre de la poutre supposée soumise à la flexion simple, une traction nulle étant affectée aux rangs suivants, plus proches de la semelle comprimée de la poutre.

En général, il convient d'éviter une telle situation qui traduit soit une résistance anormalement faible, par rapport à la poutre attachée, du composant cisailé qu'il vaut alors mieux renforcer, soit un déséquilibre de conception entre la partie tendue et la partie comprimée de l'assemblage. Dans ce second cas, la réduction du nombre de rangs de boulons et leur ré-étagement sur la hauteur de l'assemblage ou le renforcement local de la semelle comprimée de la poutre permettent normalement de rétablir une cohérence entre les résistances des deux parties de l'assemblage.

Lorsqu'il est procédé à un renforcement de la semelle comprimée, celui-ci doit s'étendre sur une longueur au moins égale à la moitié de la hauteur de l'âme de la poutre et à la largeur de la semelle (voir **Figure 12**).

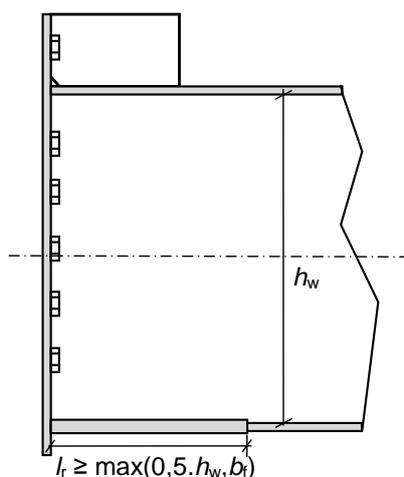


Figure 12 : Renforcement de semelle

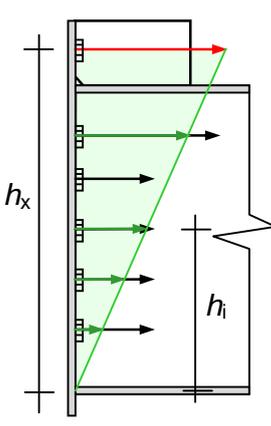
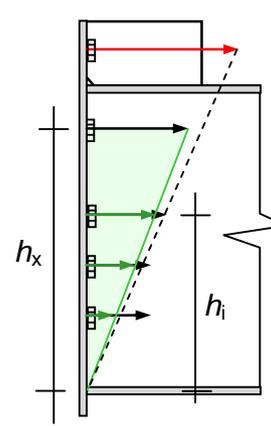
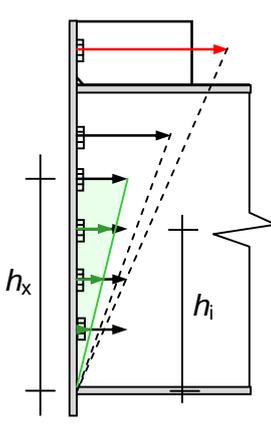
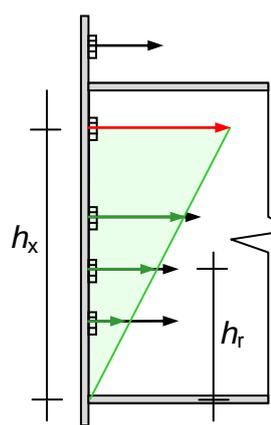
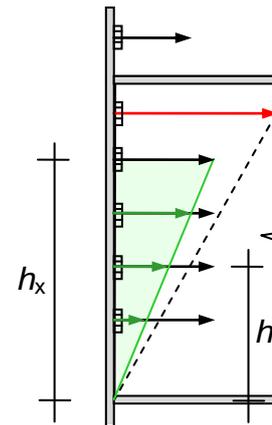
Résistance en traction de la rangée extérieure supérieure à $1,9 F_{t,Rd}$		
Répartition triangulaire à partir de		
la rangée extérieure	la rangée intérieure	la première rangée centrale
		
Résistance en traction de la rangée extérieure inférieure à $1,9 F_{t,Rd}$		
Répartition triangulaire à partir de		
la rangée intérieure	la première rangée centrale	
		
<p>Dans l'emprise de la répartition triangulaire :</p> $F'_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$		

Tableau 13 : Configurations pour la répartition triangulaire des efforts dans les rangées de boulons tendues

4.3.3 Résistance en traction d'une rangée de boulons

- (1) La résistance d'une rangée de boulons tendus, est évaluée à partir de la méthode des tronçons en T décrite dans le paragraphe 6.2.4 de la NF EN 1993-1-8. Le tronçon en T est composé d'une âme, de poutre ou de poteau, et d'une semelle perpendiculaire, platine d'about ou semelle de poteau.
- (2) Dans le cas d'assemblages par platine d'about, la résistance d'un tronçon en T peut être évaluée en considérant directement la présence de l'effet de levier. La résistance d'un tronçon en T correspond alors à la résistance obtenue en considérant la résistance minimale des modes de ruine 1, 2 et 3 indiqués dans le **Tableau 14**.

Mode de ruine	Résistance	Mécanisme de ruine
Mode 1 : Plastification totale de la semelle ou platine	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$ <p>Avec :</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff,1}^2 t_f^2 f_{y,f}}{4\gamma_{M0}}$ $l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc})$	
Mode 2 : Ruine des boulons avec plastification de la semelle ou platine	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$ <p>Avec :</p> $M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff,2}^2 t_f^2 f_{y,f}}{4\gamma_{M0}},$ $l_{eff,2} = l_{eff,nc},$ $n = \min(e_{min}; 1,25m)$	
Mode 3 : Ruine des boulons	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$	

m, e_{min} : Dimensions définies aux Figures 6.2 et 6.8 de la NF EN 1993-1-8,
 $f_{y,f}$: Limite d'élasticité de la semelle ou platine,
 $l_{eff,cp}$: Longueur efficace des modes circulaires (voir **Tableau 15** et **Tableau 16**),
 $l_{eff,nc}$: Longueur efficace des modes non circulaires (voir **Tableau 15** et **Tableau 16**),
 $F_{t,Rd}$: Résistance en traction d'un boulon tendu calculée suivant le Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8.

Tableau 14 : Résistance des modes de ruine de tronçon en T

- (3) La résistance en traction d'une rangée extérieure raidie correspond à la valeur minimale des résistances de deux tronçons en T dont l'âme est constituée soit par le raidisseur, soit par la semelle de la poutre.

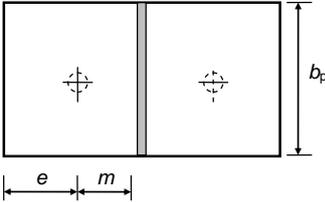
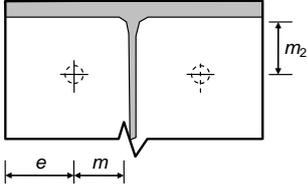
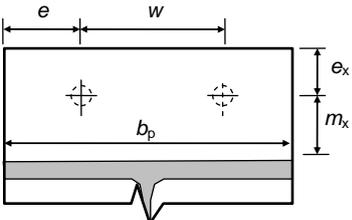
Les résistances des modes 1 et 2 du tronçon en T dont l'âme est constituée par la semelle sont :

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_x}; F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m_x + n}; n = \min(e_x; 1,25m_x)$$

Les résistances des modes 1 et 2 du tronçon en T dont l'âme est constituée par le raidisseur sont :

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_{2x}}; F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m_{2x} + n}; n = \min(e_{2x}; 1,25m_{2x})$$

- (4) Les longueurs efficaces d'une rangée isolée ou de rangées en groupe sont données respectivement dans le **Tableau 15** et le **Tableau 16**.

Rangée	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
<p>Simple non raidie :</p> 	$l_{eff,cp} = 2\pi m$	$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e, b_p)$
<p>Intérieure</p> 		$l_{eff,nc} = \alpha m \geq 4m + 1,25e$ <p>où :</p> <p>α est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$
<p>Extérieure non raidie :</p> 	$l_{eff,cp} = \min \begin{cases} 2\pi m_x \\ \pi m_x + w \\ \pi m_x + 2e \end{cases}$	$l_{eff,nc} = \min \begin{cases} 4m_x + 1,25e_x \\ 2m_x + 0,625e_x + w/2 \\ 2m_x + 0,625e_x + e \\ b_p / 2 \end{cases}$

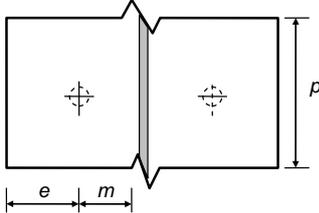
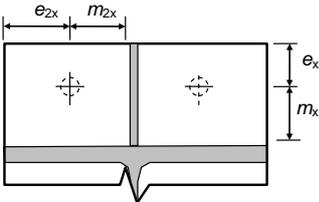
Rangée	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
Centrale non raidie : 	$l_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$	$l_{\text{eff,nc}} = 4m + 1,25e$
Extérieure raidie : 	Ame du tronçon en T au niveau de la semelle	
	$l_{\text{eff,cp}} = \min \left(\begin{array}{l} 2\pi m_x; \\ \pi m_x + 2e_{2x} \end{array} \right)$	$l_{\text{eff,nc}} = \min \left(\begin{array}{l} \alpha_1 m_x; \\ \alpha_1 m_x - 2m_x - 0,625e_x + e_{2x} \end{array} \right)$ α_1 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 : $\lambda_1 = \frac{m_x}{m_x + e_x}; \lambda_2 = \frac{m_{2x}}{m_x + e_x}$
	Ame du tronçon en T au niveau du raidisseur	
	$l_{\text{eff,cp}} = \min \left(\begin{array}{l} 2\pi m_{2x}; \\ \pi m_{2x} + 2e_x \end{array} \right)$	$l_{\text{eff,nc}} = \min \left(\begin{array}{l} \alpha_2 m_{2x}; \\ \alpha_2 m_{2x} - 2m_{2x} - 0,625e_{2x} + e_x \end{array} \right)$ α_2 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 : $\lambda_1 = \frac{m_{2x}}{m_{2x} + e_{2x}}; \lambda_2 = \frac{m_x}{m_{2x} + e_{2x}}$

Tableau 15 : Longueurs efficaces de rangées isolées

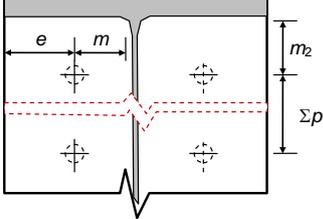
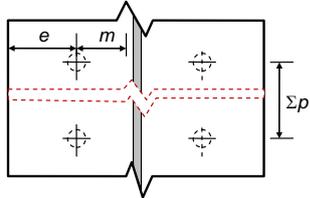
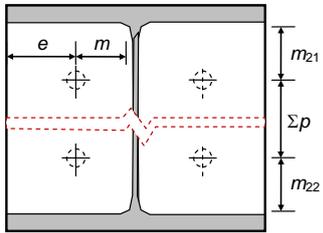
Groupe de rangées	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
Rangées intérieure et centrale(s) en groupe : 	$l_{\text{eff,cp}} = 2(\pi m + \Sigma p)$	$l_{\text{eff,nc}} = \alpha m + \Sigma p$ <p>α est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$
Rangées centrales en groupe : 		$l_{\text{eff,nc}} = 4m + 1,25e + \Sigma p$
Rangées intérieures en groupe ⁽¹⁾ : 		$l_{\text{eff,nc}} = (\alpha_1 + \alpha_2)m - 4m - 1,25e + \Sigma p$ <p>α_1 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_{21}}{m+e}$ <p>α_2 est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_{22}}{m+e}$
⁽¹⁾ Note : Ce cas se rencontre pour des assemblages de pièces tendues ou pour des encastresments avec des raidisseurs entre rangées.		

Tableau 16 : Longueurs efficaces de groupes de rangées

- (5) La résistance en traction d'une rangée centrale correspond à la valeur minimale des résistances obtenues en la considérant individuellement, puis incluse dans un groupe de rangées, composé de tout ou partie des rangées qui la précèdent. L'exemple du **Tableau 17** illustre cette clause.

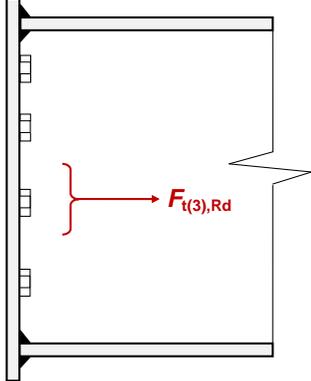
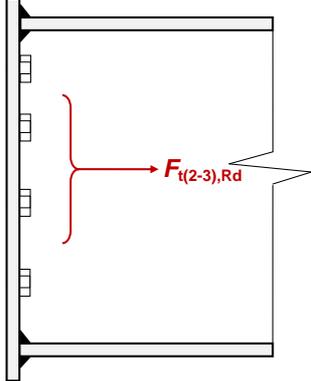
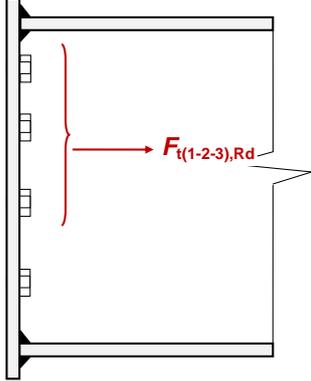
		
Rangée n°3 isolée	Rangées n°2 et n°3 en groupe	Rangées n°1 à n°3 en groupe
<p>Résistance finale de la rangée n°3 :</p> $F_{t3,Rd} = \min(F_{t(3),Rd}; F_{t(2-3),Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(1-2-3),Rd} - F_{t2,Rd} - F_{t1,Rd})$		
<p>Légende :</p> <p>$F_{t(3),Rd}$: Résistance du tronçon en T équivalent à la rangée n°3 isolée, $F_{t(2-3),Rd}$: Résistance du tronçon en T équivalent aux rangées n°2 et n°3, $F_{t(1-2-3),Rd}$: Résistance du tronçon en T équivalent aux rangées n°1 à n°3, $F_{t2,Rd}$: Résistance de la rangée n°2, $F_{t1,Rd}$: Résistance de la rangée n°1.</p>		

Tableau 17 : Exemple de calcul de la résistance d'une rangée centrale

4.3.4 Efforts normaux de traction et de compression résistants de l'assemblage

- (1) La résistance en compression de l'assemblage est présentée dans le **Tableau 18** pour différentes configurations d'assemblages.

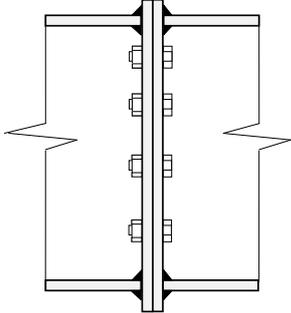
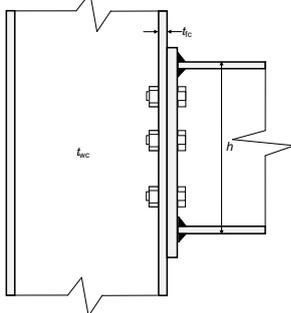
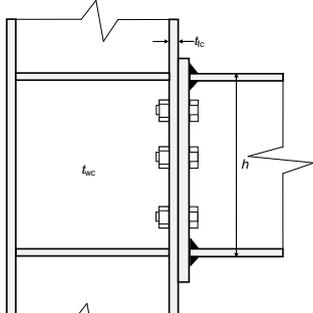
Configuration d'assemblage	Poutre/poutre	Poutre/poteau non raidi	Poutre/poteau raidi
Composant : référence normative			
Poutre comprimée : §6.2.4 EN 1993-1-1	$N_{c,Rd} = \frac{A f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \text{ (classe 1, 2 ou 3)}$ $N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \text{ (classe 4)}$		
Âme du poteau comprimée transversalement : §6.2.6.2 EN 1993-1-8	-	$N_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$	$N_{c,wc,Rd} = \begin{cases} \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \\ + \sum A_{st,eff} f_{y,st} / \gamma_{M1} \end{cases}$
Résistance en compression	$N_{j,Rd} = N_{c,Rd}$	$N_{j,Rd} = \min(N_{c,Rd}; N_{c,wc,Rd})$	
$\Sigma A_{st,eff}$:	Section efficace des raidisseurs calculée selon l'EN 1993-1-5 ;		
$b_{eff,c,wc}$:	Largeur efficace dans l'âme du poteau telle que, $b_{eff,c,wc} = h + 5(t_{fc} + s)$		

Tableau 18 : Résistance en compression d'assemblages par platines

- (2) Lorsque l'assemblage est symétrique, la résistance en traction de l'assemblage est égale à la somme des résistances des rangées de boulons obtenues à partir de la méthode des tronçons en T. Dans ces conditions, les longueurs efficaces sont déterminées à partir du **Tableau 9**.

Lorsque l'assemblage est non symétrique, la résistance en traction calculée au niveau de l'axe neutre de la poutre peut être prise égale à :

$$N_{T,Rd} = \min \left(N_{T,d,Rd} \left(1 + \frac{z_d}{z_g} \right); N_{T,g,Rd} \left(1 + \frac{z_g}{z_d} \right) \right)$$

où :

$N_{T,d,Rd}$: Résistance en traction des rangées situées à droite de l'axe neutre de la poutre,

z_d : Centre de gravité des rangées situées à droite de l'axe neutre de la poutre,

$N_{T,g,Rd}$: Résistance en traction des rangées situées à gauche de l'axe neutre de la poutre,

z_g : Centre de gravité des rangées situées à gauche de l'axe neutre de la poutre.

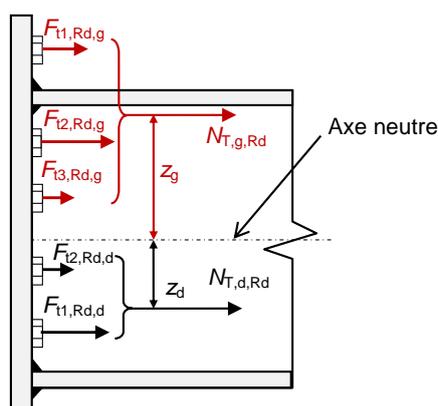


Figure 13 : Résistance en traction d'un assemblage dissymétrique

Lorsque la poutre est attachée en tête de poteau, la résistance de l'assemblage en traction ne devra pas dépasser la résistance de l'âme du poteau cisailé.

4.3.5 Effort tranchant résistant de l'assemblage

- (1) Dans le cas des assemblages boulonnés de catégorie A ou B (voir Tableau 3.2 de la NF EN 1993-1-8), la vérification de la résistance des boulons doit tenir compte de la concomitance de l'effort de cisaillement et de l'effort de traction, incluant l'effet de levier, suivant la formule d'interaction du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8.

Cette formule d'interaction permet de considérer que la résistance en traction des boulons reste pleinement disponible tant que le cisaillement par boulon n'excède pas 0,28 fois leur résistance en cisaillement $F_{v,Rd}$.

- (2) Dans le cas des assemblages boulonnés de catégorie A ou B, la résistance de l'assemblage à l'effort tranchant à l'état limite ultime peut ainsi, en sécurité, être prise égale à :

$$V_{Rd} = \min(0,28n_b F_{v,Rd}; n_b F_{b,Rd,min}; V_{pl,Rd,b} / 2)$$

où :

n_b : Nombre de boulons,

$F_{v,Rd}$: Résistance au cisaillement d'un boulon calculée à partir du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8,

$F_{b,Rd,min}$: Résistance à la pression diamétrale minimale calculée à partir du Tableau 3.4 de la NF EN 1993-1-8,

$V_{pl,Rd,b}$: Résistance à l'effort tranchant de la poutre calculée suivant le §6.2.6 de la NF EN 1993-1-1.

Note : La limitation à la moitié de l'effort tranchant résistant de la poutre permet de négliger l'effet du cisaillement dans la poutre.

- (3) Dans le cas des assemblages boulonnés de catégorie B, la résistance de l'assemblage à l'effort tranchant à l'état limite de service peut être prise égale à :

$$V_{Rd,ser} = n_b F_{s,Rd,ser}$$

où :

$F_{s,Rd,ser}$: résistance au frottement d'un boulon calculée à l'état limite de service, suivant le §3.9.1 de la NF EN 1993-1-8 pour un assemblage soumis à un moment de flexion accompagné ou non d'un effort normal de compression, ou suivant le §3.9.2 de la NF EN 1993-1-8 pour un assemblage soumis à un effort normal de traction accompagné ou non d'un moment de flexion.

- (4) Dans le cas des assemblages boulonnés de catégorie C, la résistance de l'assemblage à l'effort tranchant à l'état limite ultime peut être prise égale à :

$$V_{Rd} = \min(n_b F_{s,Rd}; n_b F_{b,Rd,min}; V_{pl,Rd,b} / 2)$$

où :

$F_{s,Rd}$: résistance au frottement d'un boulon calculée à l'état limite ultime, suivant le §3.9.1 de la NF EN 1993-1-8 pour un assemblage soumis à un moment de flexion accompagné ou non d'un effort normal de compression, ou suivant le §3.9.2 de la NF EN 1993-1-8 pour un assemblage soumis à un effort normal de traction accompagné ou non d'un moment de flexion.

4.3.6 Vérification des liaisons soudées de l'assemblage

- (1) Différentes liaisons soudées sont présentes dans un assemblage par platine d'about et subissent, sous l'effet des tractions dans les boulons, des contraintes locales qui peuvent être très importantes et se cumuler éventuellement avec d'autres effets.

Comme indiqué en 4.3.1(1), il a été supposé dans la démarche qui précède, que les différentes liaisons soudées assuraient la pleine résistance des pièces attachées, ce qui dispense de toute vérification spécifique de résistance des cordons de soudure.

- (2) Les clauses (3) à (9) ci-après apportent des précisions complémentaires pour conduire les vérifications de résistance qu'il serait nécessaire d'effectuer, une fois définis les efforts de traction dans les différentes rangées de boulons, dans le cas particulier où l'on aurait prévu des cordons d'angle n'assurant pas la condition de pleine résistance prévue en 4.3.1(1). Ces précisions sont limitées aux cas les plus courants, où le poteau comporte des raidisseurs soudés disposés en vis-à-vis des semelles de la poutre. Il est à noter que, dans le cas où les vérifications de résistance conduiraient à devoir augmenter la taille de certains cordons, on peut, en sécurité, conserver inchangés les efforts résistants établis sur la base de leur taille initiale ; il n'est donc pas indispensable de mener un calcul itératif de ces efforts résistants.
- (3) Pour la rangée de boulons extérieurs d'une part et pour la rangée de boulons intérieurs d'autre part, il peut être considéré comme suffisant d'assurer que les cordons de soudure attachant la section de poutre $A_{t,b}$ affectée à chacune de ces rangées suivant le **Tableau 12**, aient une résistance supérieure à l'effort de traction défini pour la rangée correspondante. Pour la rangée intérieure, il est prudent de ne prendre en compte, dans cette vérification, que la résistance du cordon de soudure intérieur attachant la semelle sur la platine, qu'il y ait ou non une rangée de boulons extérieurs.
- (4) Sous réserve que les deux hypothèses définies en 4.3.3(3) pour une rangée extérieure raidie, ne conduisent pas à des résistances de la rangée différant de plus de 20%, il peut être considéré que les cordons de soudure attachant le raidisseur extérieur sur la semelle tendue de la poutre, doivent résister à un effort de cisaillement longitudinal égal à la moitié de la traction définie pour la rangée extérieure, combiné à un moment de flexion égal au produit de cet effort par la distance de la rangée à l'extrados de la semelle tendue.
- (5) Les cordons de soudure attachant sur la platine la partie de l'âme de la poutre correspondant à la section tendue $A_{t,b}$ définie au **Tableau 12** pour une rangée centrale, doivent reprendre l'effort de traction affecté à cette rangée centrale, en tenant compte des contraintes de cisaillement longitudinal générées dans ces mêmes cordons par la transmission de l'effort tranchant $V_{j,Ed}$ amené par la poutre.

Suivant une approche simplifiée, il est loisible de vérifier la résistance de ces cordons de soudure vis-à-vis de l'effort de traction affecté à la rangée centrale, en considérant une contrainte ultime réduite, suivant la formule :

$$\frac{\sqrt{2}F_{tr,Rd}}{a_w(p_{r-1} + p_r)} \leq \sqrt{\left(\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}\right)^2 - 3(\tau_{//})^2}$$

où
$$\tau_{//} = \frac{V_{j,Ed}}{2a_w(h - 2t_{fb} - p_0 - 0,5p_1)}$$

$V_{j,Ed}$ l'effort tranchant transmis par la poutre,

a_w la gorge des cordons de soudure assemblant l'âme à la platine.

La gorge a_w est toutefois plafonnée à la valeur assurant la résistance propre de l'âme qui peut être obtenue à partir de la clause 3(4).

- (6) Les cordons de soudure attachant la semelle comprimée de la poutre sur la platine d'une part, et ceux disposés en vis-à-vis pour attacher sur la semelle du poteau le raidisseur d'âme d'autre part, doivent avoir une résistance supérieure à la résistance $F_{c,Rd}$ définie au **Tableau 10** ou à la somme des tractions des rangées si celle-ci est inférieure à cette résistance.

La gorge de ces soudures est toutefois plafonnée à la valeur assurant la résistance propre de la semelle qui peut être obtenue à partir de la clause 3(4).

- (7) Dans le cas où la section du poteau est un profil reconstitué soudé, et en présence d'un raidisseur en vis-à-vis de la semelle tendue, les cordons de soudure âme-semelle du profil et ceux attachant le raidisseur sur la semelle doivent offrir globalement une résistance équivalente à celle définie en (3), côté poutre. Pour la rangée intérieure, la contrainte ultime des cordons de soudure âme-semelle du profil doit néanmoins être limitée à la valeur définie en (8).

- (8) Dans le cas où la section du poteau est un profil reconstitué soudé, les cordons de soudure âme-semelle de ce profil correspondant à la section tendue $A_{t,c}$ définie au **Tableau 12** pour une rangée centrale, doivent reprendre l'effort de traction affecté à cette rangée centrale, en tenant compte des contraintes de cisaillement longitudinal générées dans ces mêmes cordons par l'effort tranchant d'encastrement V_{jc} présent dans l'âme du poteau et correspondant à la valeur minimale entre la résistance $F_{c,Rd}$ définie au **Tableau 10** et la somme des tractions des rangées.

Suivant une approche simplifiée, il est loisible de vérifier la résistance de ces cordons de soudure vis-à-vis de l'effort de traction affecté à la rangée centrale, en considérant une contrainte ultime réduite, suivant la formule :

$$\frac{\sqrt{2}F_{tr,Rd}}{a_c(\rho_{r-1} + \rho_r)} \leq \sqrt{\left(\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}\right)^2 - 3(\tau_{//})^2}$$

où
$$\tau_{//} = \frac{V_{jc}}{2a_c(h - 2t_{fb})}$$

V_{jc} l'effort tranchant d'encastrement,

a_c la gorge des cordons de soudure âme-semelle du poteau.

La gorge a_c est toutefois plafonnée à la valeur assurant la résistance propre de l'âme qui peut être obtenue à partir de la clause 3(4).

- (9) Les cordons de soudure attachant sur l'âme du poteau les raidisseurs disposés en vis-à-vis des semelles de la poutre, doivent présenter une résistance supérieure à l'effort tranchant d'encastrement V_{jc} défini en (8).

5 ASSEMBLAGES DANS LES POUTRES A TREILLIS

- (1) Pour les poutres à treillis utilisant des profilés autres que les profils creux, la prise en compte des moments dans la vérification des attaches du treillis est à apprécier en fonction de la capacité de rotation et de la ductilité des assemblages, des conditions de chargement et de la rigidité relative des éléments constitutifs de la poutre.

- (2) L'article 5.1.5 de la NF EN 1993-1-8 concerne les poutres à treillis constituées de profils creux circulaires, carrés ou rectangulaires et les poutres à treillis planes constituées de membrures en I ou en H et de barres de treillis en profils creux circulaires, carrés ou rectangulaires. Il ne s'applique pas aux poutres analogues dont les profils creux sont remplacés par des caissons reconstitués par soudure.

Conformément à la clause 7.3.1(4) de la NF EN 1993-1-8, l'application de l'article 5.1.5 impose que la résistance de calcul de la soudure par longueur unitaire de périmètre d'une barre de treillis soit au moins égale à la résistance de calcul de la section transversale de cette barre par longueur unitaire.

6 PIEDS DE POTEAUX

- (1) Les présentes recommandations s'appliquent à des pieds de poteaux liaisonnés à la fondation par des tiges lisses composées d'un acier conforme aux normes d'aciers de constructions soudables (NF EN 10025 parties 1 à 6) ou de boulonnerie (NF EN 15048 / NF EN 14399) sous réserve que la limite d'élasticité nominale, f_{yb} , n'excède pas 640 N/mm^2 lorsque les tiges d'ancrages doivent travailler en cisaillement, n'excède pas 900 N/mm^2 dans les autres cas.
- (2) Les présentes recommandations couvrent la vérification de la partie acier et du béton localement. Elles ne couvrent pas la vérification des effets de groupe et de bord dans le béton. Cette vérification comme l'étude du ferrailage relèvent d'un calcul de béton armé. Ce calcul ne peut pas être mené sans concertation entre les acteurs.
- (3) En complément de la clause (6) du §6.2.2 de la NF EN 1993-1-8, le coefficient de frottement entre l'acier et le béton, $C_{f,d}$ peut être pris égal à 0,3.

- (4) La résistance en traction de la section fileté d'une tige est :

$$F_{t,Rd} = \beta_{anc} \frac{0,9f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

où :

A_s : section résistante de la partie fileté,

f_{ub} : résistance ultime à la traction,

β_{anc} : coefficient égal à 0,85.

- (5) La contrainte ultime d'adhérence (exprimée en N/mm^2) d'une barre lisse est donnée par la formulation suivante :

$$f_{bd} = \frac{0,36 \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$$

où :

f_{ck} : valeur caractéristique de la résistance à la compression sur cylindre de béton déterminée conformément au paragraphe 3.1 de la NF EN 1992-1-1 (en N/mm^2),

γ_c : coefficient partiel pour la résistance du béton.

Note: La présence de la partie fileté ne permet pas de compter sur un supplément d'adhérence.

- (6) La résistance en traction de tiges lisses droite et en crochet ainsi que de tiges avec plaque d'ancrage est donnée dans le **Tableau 19**.

Tige	droite	crochet	Avec plaque d'ancrage
Géométrie			
Dispositions constructives	-	$r \geq 3d$ $1,5d \leq l_2 \leq 2d$	$t_t \geq 0,3r_r$
Résistance côté béton	$F_{t,c,Rd} = \pi d l_b f_{bd}$	$F_{t,c,Rd} = \pi d (l_1 + 6,4r + 3,5l_2) f_{bd}$	$F_{t,c,Rd} = 2,55 f_{cd} \pi (r_r^2 - d^2 / 4) \left(1 - \frac{r_r}{v}\right)$ $v = \min(l; d_1; \rho)$
Résistance tige	$F_{t,ancr,Rd} = \min(F_{t,Rd}; F_{t,c,Rd})$		
ρ :	Distance entre tiges,		
f_{cd} :	Résistance en compression du béton.		

Tableau 19 : Résistance en traction des tiges d'ancrage

Note: La vérification des effets de bord et de groupe n'est pas couverte par les formules proposées. Cette vérification comme l'étude du ferrailage relèvent d'un calcul de béton armé. Ce calcul ne peut pas être mené sans concertation entre les acteurs.

- (7) Il est généralement recommandé d'assurer la transmission au béton de l'effort tranchant en pied des poteaux de l'ossature principale par l'intermédiaire d'une bêche, dès lors que la mobilisation du frottement à l'interface acier-béton n'est pas suffisante. Pour des valeurs d'effort limitées, il est néanmoins possible de compter sur une transmission par cisaillement des tiges d'ancrage dans le béton. Dans ce cas, conformément à la clause (7) du paragraphe 6.2.2 de la NF EN 1993-1-8, la résistance au cisaillement d'une tige d'ancrage, dont les trous de boulons sont ronds normaux (voir **Figure 14**) est :

$$F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

où :

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 f_{yb}$$

avec f_{yb} la limite d'élasticité de la tige exprimée en N/mm^2 et $235 N/mm^2 \leq f_{yb} \leq 640 N/mm^2$

Note: La présente formule couvre la résistance locale du béton à la pression diamétrale exercée par la tige. La clause (11) donne des éléments sur la vérification des autres modes de ruine se produisant dans le béton.

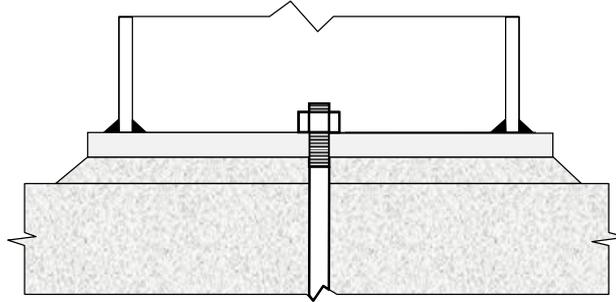


Figure 14 : Platine d'assise avec couche de scellement et trous ronds normaux

- (8) Lors de l'application combinée d'un effort de cisaillement et de traction à une tige d'ancrage, dans le cas où les trous de boulons sont ronds normaux (voir **Figure 14**), la méthode suivante plaçant du côté de la sécurité peut être utilisée :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{vb,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

où :

$F_{v,Ed}$: Effort de cisaillement appliqué à la tige,

$F_{vb,Rd}$: Résistance au cisaillement d'une tige calculée suivant la clause (7) du paragraphe 6,

$F_{t,Ed}$: Effort de traction appliqué à la tige,

$F_{t,Rd}$: Résistance en traction d'une tige calculée suivant la clause (4) du paragraphe 6.

- (9) Lorsque les tiges transfèrent du cisaillement à la fondation et que les trous sont surdimensionnés (voir **Figure 15**), la flexion de la tige doit être prise en compte. La résistance d'une tige doit être vérifiée de la sorte :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed} + F_{t,Ed,éq}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{F_{t,Ed} + F_{t,Ed,éq}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

où :

$F_{t,Ed,éq}$: Effort de traction équivalent à la flexion dans la tige tel que :

$$F_{t,Ed,éq} = F_{v,Ed} \frac{e}{d} \frac{5\pi}{6}$$

e : Excentrement tel que : $e = t_p + d/2$

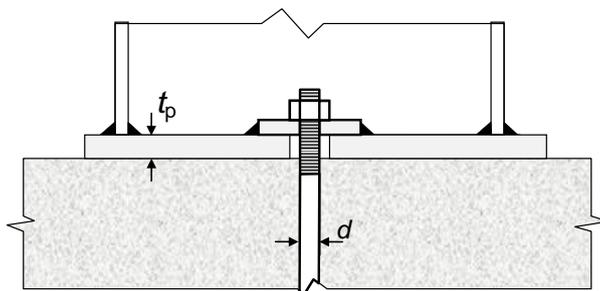


Figure 15 : Platine d'assise avec trous surdimensionnés

- (10) En présence de platines d'assise et de préscellement avec bêche, l'effort de cisaillement peut être transféré de la platine d'assise vers la platine de préscellement par cisaillement des tiges d'ancrage.

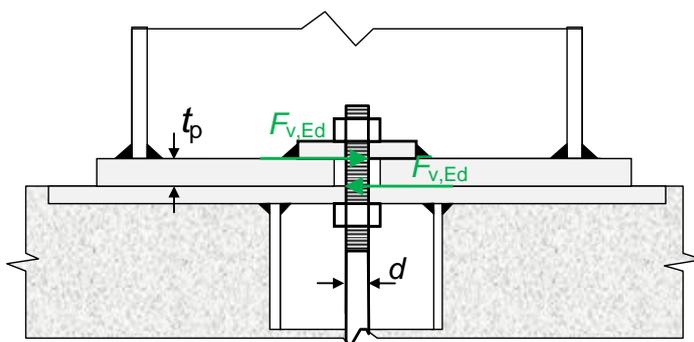


Figure 16 : Platine d'assise et platine de pré-scèlement avec bêche et trou surdimensionné

En présence de trous surdimensionnés, les tiges sont fléchies et cisillées sur l'épaisseur de la platine d'assise ; la résistance d'une tige peut être vérifiée de la sorte :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed} + F_{t,Ed,eq}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{F_{t,Ed} + F_{t,Ed,eq}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

où :

$F_{t,Ed,eq}$: Effort de traction équivalent à la flexion dans la tige tel que : $F_{t,Ed,eq} = F_{v,Ed} \frac{t_p}{d} \frac{5\pi}{6}$

- (11) Lorsque les tiges transfèrent du cisaillement à la fondation en béton (voir **Figure 14** et **Figure 15**), la résistance du béton devra être vérifiée suivant le prEN 1992-4 ou les recommandations du CEB de 1996.

7 RÉFÉRENCES

- [1] **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.
- [2] **PR EN 1992-4** - Eurocode 2 : Calcul des structures en béton. Partie 4 : Conception et calcul des éléments de fixation pour béton. AFNOR – Septembre 2013.
- [3] **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.
- [4] **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.
- [5] **NF EN 1993-1-5** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-5 : Plaques planes. AFNOR – Mars 2007.
- [6] **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.
- [7] **NF EN 1993-1-8** – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-8 : Calcul des assemblages. AFNOR – Décembre 2005.
- [8] **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.
- [9] **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.
- [10] **NF P 22-101-2/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.
- [11] **NF EN 14399** Parties 1 à 10 - Boulonnerie de construction à haute résistance apte à la précontrainte. AFNOR.
- [12] **European Recommendation for the Design of Simple Joints in Steel Structures**, ECCS, Publication n°126, First edition, 2009, J.-P. Jaspart, J.-F. Demonceau, S.Renkin, M.L.Guillaume.
- [13] **CEB, Design of fastenings in concrete**, Design Guide. Comité Euro-International du Béton. Thomas Telford Publishing, London, 1996.

ANNEXE A : ASSEMBLAGES COMPORTANT 4 BOULONS PAR RANGÉE

A.1. Introduction

- (1) La méthode des tronçons en T du §6.2.4 de la NF EN 1993-1-8 est prévue pour des assemblages comportant 2 boulons par rangée. L'objet de l'Annexe A est de présenter le calcul de la résistance des assemblages par platine d'about comportant 4 boulons par rangées (voir **Figure 17**). La résistance d'une rangée intérieure/centrale sera calculée en considérant des tronçons en T comportant 4 boulons par rangée.

L'écartement entre boulons extrêmes ne doit pas être supérieur à la largeur des semelles et les soudures doivent tourner autour des semelles.

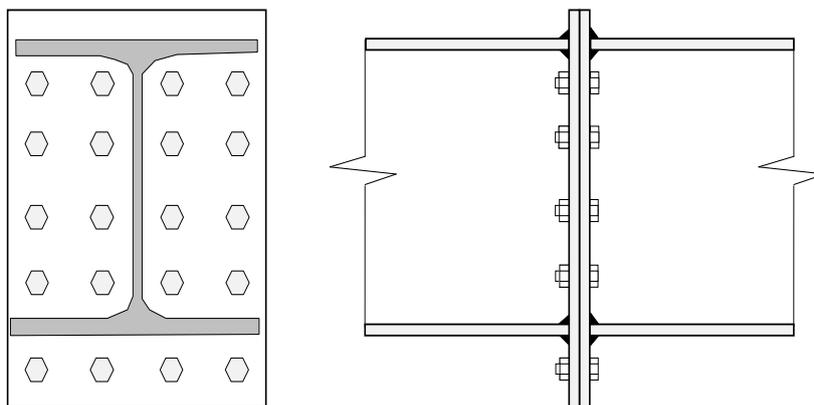


Figure 17 : Assemblages par platine d'about comportant 4 boulons par rangée

A.2. Moment résistant

- (1) Le moment résistant pourra être évalué en considérant les clauses du paragraphe 4.3.2 des présentes recommandations. Néanmoins, lors de l'application de la clause (9) du §6.2.7.2 de la NF EN 1993-1-8, la répartition triangulaire ne sera à appliquer que lorsque la résistance d'une rangée est supérieure à $3,4 F_{t,Rd}$ (au lieu de $1,9 F_{t,Rd}$).

A.3. Résistance en traction d'une rangée de boulons

- (1) La résistance d'une rangée de boulons extérieure est évaluée à partir de la méthode des tronçons en T du paragraphe 6.2.4 de la NF EN 1993-1-8 décrite dans le paragraphe 4.3.3 des présentes recommandations. Les longueurs efficaces à considérer sont présentées dans le **Tableau 20**.

Rangée	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
	$l_{\text{eff,cp}} = \min \begin{cases} 4 \pi m_x \\ \pi m_x + w + 2e_1 \\ 2\pi m_x + 2e_1 \\ \pi m_x + 2e_1 + 2e_2 \end{cases}$	$l_{\text{eff,nc}} = \min \begin{cases} 2 m_x + 0,625e_x + e_1 + e_2 \\ 4 m_x + 1,25e_x + e_1 \\ 2 m_x + 0,625e_x + e_1 + 0,5w \\ 0,5(2e_1 + 2e_2 + w) \\ 8m_x + 2,5e_x \end{cases}$

Tableau 20 : Longueurs efficaces d'une rangée extérieure

- (2) La résistance d'une rangée intérieure/centrale de boulons tendus, est évaluée en considérant un tronçon en T comportant 4 boulons par rangée (voir **Figure 18**). Le tronçon en T est composé d'une âme, de poutre ou de poteau, d'une semelle perpendiculaire, platine d'about ou semelle de poteau, et de 4 boulons par rangée.

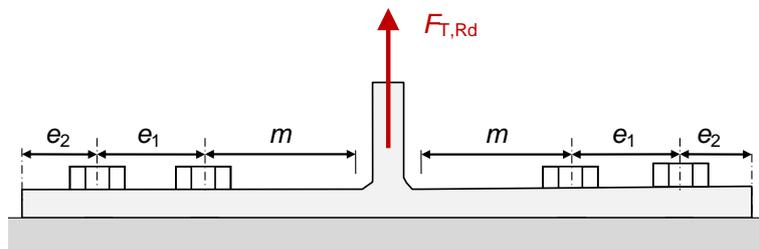


Figure 18 : Paramètres géométriques d'un tronçon en T comportant 4 boulons par rangée

- (3) La résistance d'un tronçon en T comportant quatre boulons par rangée correspond à la résistance obtenue en considérant la résistance minimale des modes de ruine 1, 2 et 3 indiqués dans le **Tableau 21**.

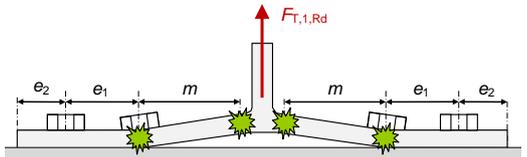
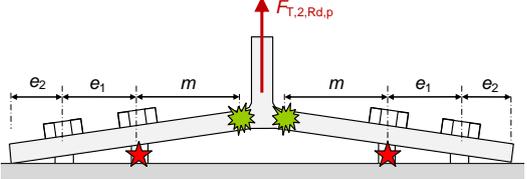
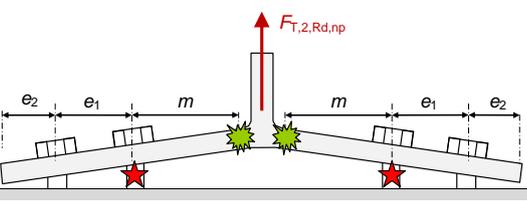
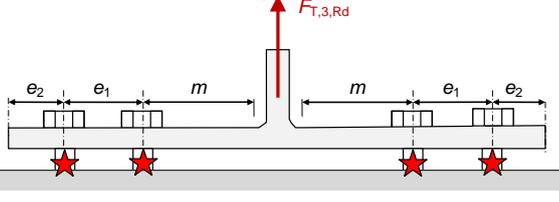
Mode de ruine	Résistance	Mécanisme
Mode 1 : Plastification totale de la semelle ou platine	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	
Mode 2 : Ruine des boulons avec plastification de la semelle ou platine	$F_{T,2,Rd} = \min(F_{T,2,Rd,p}; F_{T,2,Rd,np})$ $F_{T,2,Rd,p} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + \frac{\sum F_{t,Rd}}{2} \left(\frac{n_1^2 + 2n_2^2 + 2n_1n_2}{n_1 + n_2} \right)}{m + n_1 + n_2}$ $F_{T,2,Rd,np} = \frac{2M_{pl,1,Rd} + \frac{\sum F_{t,Rd}}{2} n_1}{m + n_1}$	 
Mode 3 : Ruine des boulons	$F_{T,3,Rd} = 0,9 \sum F_{t,Rd}$	
<p>m : dimension définie aux Figures 6.2 et 6.8 de la NF EN 1993-1-8,</p> $M_{pl,1,Rd} = l_{eff,1} \times \frac{t_f^2 f_{y,f}}{4 \gamma_{M0}}; M_{pl,2,Rd} = l_{eff,2} \times \frac{t_f^2 f_{y,f}}{4 \gamma_{M0}}; l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}); l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ <p>$f_{y,f}$: Limite d'élasticité de la semelle ou platine, $l_{eff,cp}$ et $l_{eff,nc}$: Longueurs efficaces des modes circulaires et non circulaires (voir Tableau 22 et Tableau 23), $n_1 = e_1; n_2 = \min(e_2; 1,25m + n_1)$</p>		

Tableau 21 : Résistance d'un tronçon en T comportant 4 boulons par rangée

- (4) Les longueurs efficaces d'une rangée isolée ou de plusieurs rangées en groupe sont données respectivement dans le **Tableau 22** et le **Tableau 23**.

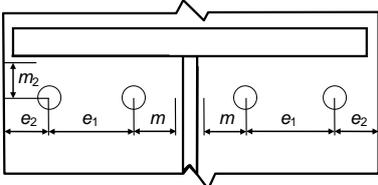
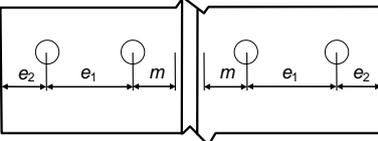
Rangée	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
<p>Intérieure</p> 	$l_{\text{eff,cp}} = 4 \pi m$	$l_{\text{eff,nc}} = \alpha m$ <p>où :</p> <p>α est calculé à partir de la Figure 6.11 de l'EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m + e_1 + e_2}, \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_1 + e_2}$
<p>Centrale</p> 	$l_{\text{eff,cp}} = 4 \pi m$	$l_{\text{eff,nc}} = 4m + 1,25(e_1 + e_2)$

Tableau 22 : Longueurs efficaces de rangées isolées

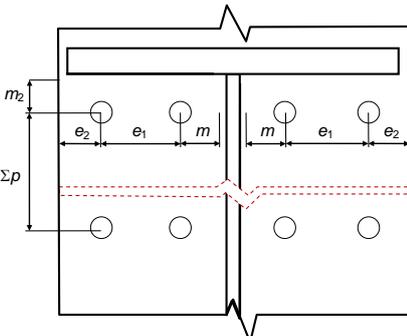
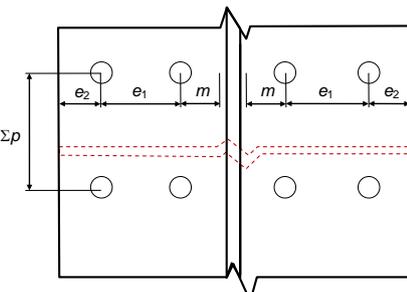
Groupe de rangées	Longueur efficace modes circulaires	Longueur efficace modes non circulaires
<p>Rangées intérieure et centrale(s) :</p> 	$l_{\text{eff,cp}} = \min \begin{cases} 4 (\pi m + \sum p) \\ 2 (\pi m + \sum p + 2e_1) \end{cases}$	$l_{\text{eff,nc}} = \alpha m + \sum p$ <p>où :</p> <p>α est calculé à partir de la Figure 6.11 de la NF EN 1993-1-8 avec :</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m + e_1 + e_2},$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e_1 + e_2}$
<p>Rangées centrales :</p> 		$l_{\text{eff,nc}} = 4m + 1,25(e_1 + e_2) + \sum p$

Tableau 23 : Longueurs efficaces de groupes de rangées