	E4	Ch14-Attaches boulonnées
		0-Cours

1.	Introduction.....	2
2.	Dispositions constructives.....	2
2.1.	Pas et pinces mini et maxi.....	2
2.2.	Diamètres de perçage.....	2
3.	Résistance individuelle de calcul EC3-1.8-§3.6.....	3
3.1.	Les boulons.....	3
3.2.	Catégories d'attaches §3.4.....	4
3.3.	Attaches en cisaillement.....	5
3.3.1.	Cisaillement du boulon $F_{v,Rd}$ (catégorie A).....	5
3.3.2.	Pression diamétrale $F_{b,Rd}$ (catégorie A).....	5
3.3.3.	Exemple.....	6
3.4.	Attaches tendues.....	7
3.4.1.	Traction du boulon $F_{t,Rd}$ (catégorie D).....	7
3.4.2.	Poinçonnement $B_{p,Rd}$ (catégorie D et E).....	7
3.4.3.	Exemple.....	7
3.5.	Traction et cisaillement combinés.....	7
4.	Résistance d'un groupe de boulons.....	8
4.1.	Principe de vérification.....	8
4.2.	Distribution des efforts dans un groupe de boulons.....	8
4.2.1.	Cas de l'effort centré.....	8
4.2.2.	Cas général.....	9
4.2.3.	Cas d'une cornière avec 2 boulons → effet de l'excentrement.....	10
4.3.	Cisaillement de bloc.....	11

1. Introduction.

Les liaisons boulonnées sont utilisées pour assembler des éléments sur chantier.

Les vérifications à effectuer sont décrites dans l'EC3-1.8 :

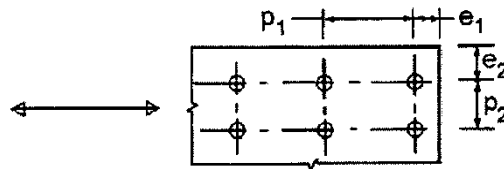
- §3 – Attaches par boulons
- §6 – Assemblages structuraux des sections en I ou H (cas particulier des liaisons rigides et pied de poteau)

2. Dispositions constructives.

2.1. Pas et pinces mini et maxi.

Par rapport à la direction de l'effort, on définit pour l'assemblage un sens longitudinal (1) et transversal (2).

- ✓ e = pince → distance entre l'axe du trou et un **bord libre**
- ✓ p = pas → entraxe entre 2 trous



L'EC3-1.8-§3.5 impose des valeurs :

- ✓ mini ($e_1=e_2 \geq 1.2 \cdot d_0$, $p_1 \geq 2.2 \cdot d_0$, $p_2 \geq 2.4 \cdot d_0$) justifiées par des critères de résistance.
- ✓ maxi (fonction du degré d'exposition aux intempéries) pour garantir le contact entre les pièces assemblées et limiter la corrosion (en limitant l'espace entre les boulons on garantit un bon contact entre les pièces assemblées).

2.2. Diamètres de perçage.

Les diamètres de perçage sont définis dans l'EN1090-2 (exécution des structures en acier) :

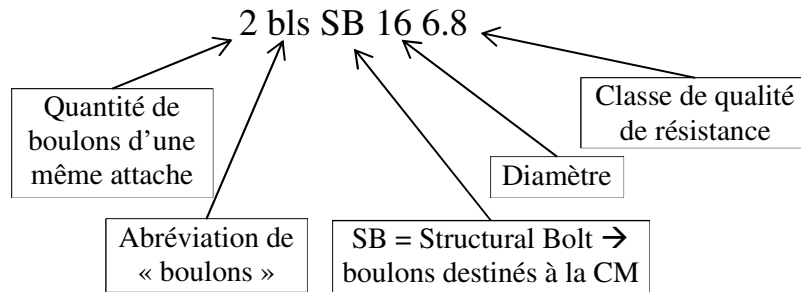
- ✓ $\Phi 10$ à 14 : $d_0 = d + 1 \text{ mm}$
- ✓ $\Phi 16$ à 24 : $d_0 = d + 2 \text{ mm}$
- ✓ $\Phi 27$ et + : $d_0 = d + 3 \text{ mm}$

3. Résistance individuelle de calcul EC3-1.8-§3.6.

3.1. Les boulons.

→ On se limitera ici aux boulons ordinaires (non précontraints).

→ Désignation



→ Classe de qualité de résistance des boulons.

L'EC3 permet l'utilisation des boulons de classe 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9.

Classe X . Y

X désigne la résistance ultime : $f_{ub} = X \cdot 100$

Y désigne la résistance élastique : $f_{yb} = X \cdot Y \cdot 10$

Exemple : boulon 5.6 : $f_{yb} = 10 \cdot 5 \cdot 6 = 300$ MPa et $f_{ub} = 100 \cdot 5 = 500$ MPa.

Remarque : indice b pour « bolt » (= boulon en anglais).

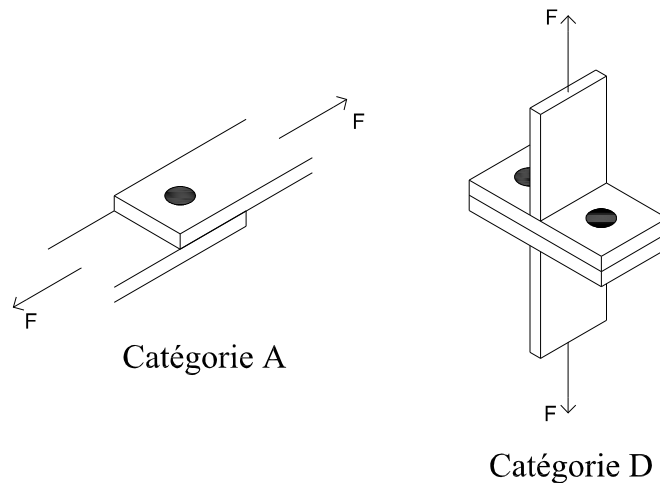
3.2. Catégories d'attaches §3.4.

On définit :

- La manière dont le boulon travaille : traction ou cisaillement
- Les modes de ruine possibles pour chaque catégorie.

Le §3.4 (voir p202 et 203 du Doc CM) définit les catégories d'attache :

Cat	Type d'attache	Mode de ruine	Résistance fonction
A	Attache en cisaillement : <i>C'est le corps du boulon qui s'oppose aux efforts par appui sur les pièces, le frottement n'est pas pris en compte.</i>	Cisaillement du boulon	De la classe du boulon Du diamètre du boulon
		Pression diamétrale = <i>pression du corps du boulon sur les pièces</i>	Du diamètre du boulon De l'épaisseur des pièces De la nuance des pièces De la pince
D	Attaches en traction	Traction du boulon	De la classe du boulon Du diamètre du boulon
		Poinçonnement = <i>effort de la tête de boulon ou de l'écrou sur les pièces</i>	Du boulon De l'épaisseur des pièces De la nuance des pièces



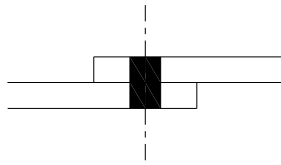
3.3. Attaches en cisaillement.

3.3.1. Cisaillement du boulon $F_{v,Rd}$ (catégorie A).

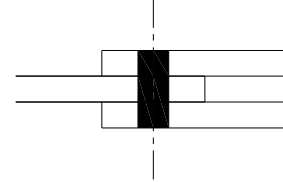
$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$F_{v,Ed}$ = sollicitation par plan de cisaillement

$F_{v,Rd}$ = résistance au cisaillement d'un plan de cisaillement → voir tableau 3.4 p208



1 plan de cisaillement



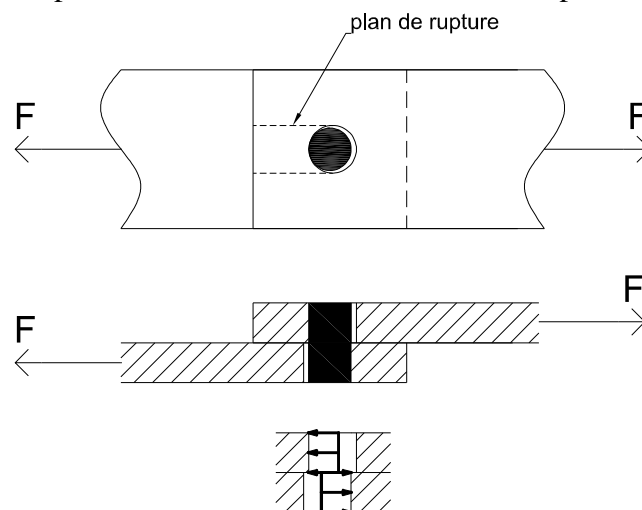
2 plans de cisaillement

3.3.2. Pression diamétrale $F_{b,Rd}$ (catégorie A).

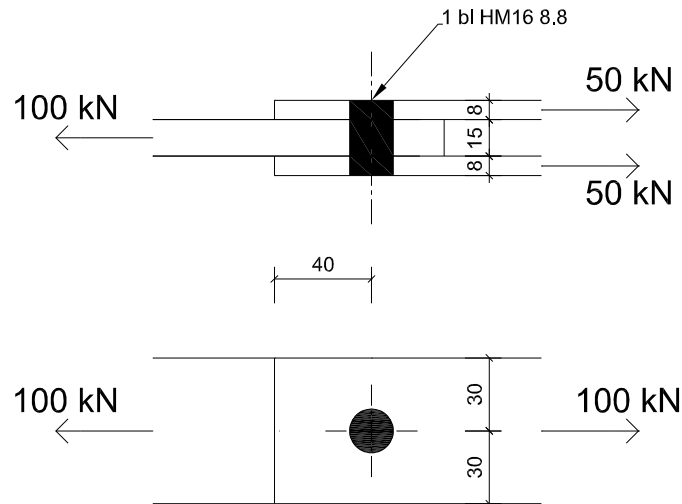
$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$F_{v,Ed}$ = sollicitation par épaisseur assemblée

$F_{b,Rd}$ = résistance en pression diamétrale → voir tableau 3.4 p208



3.3.3. Exemple.



Acier S235.

Attache de catégorie A

Critère EC3-1.8-§3.6 - cisaillement :

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

$$F_{v,Ed} = 100.00 / 2 = 50.00 \text{ kN} \rightarrow 2 \text{ plans de cisaillement}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 10^3 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1.25} = 60.29 \text{ kN}$$

$\alpha_v = 0.6 \rightarrow$ classe 8.8 + plan de cisaillement passe par la partie fileté

$f_{ub} = 800 \text{ MPa} = 800 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$ classe 8.8

$A = A_s = 157 \text{ mm}^2 = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$F_{v,Ed} = 50.00 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 60.29 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

Critère EC3-1.8-§3.6 – pression diamétrale :

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Vérification sur le plat $t = 15$ (plus défavorable que sur les 2 plats $t = 8$)

$$F_{v,Ed} = 100.00 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.74 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0.016 \cdot 0.015}{1.25} = 127.87 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left[2.8 \cdot \frac{30}{18} - 1.7 ; 2.5\right] = 2.5$$

$$\alpha_b = \min\left[\frac{40}{3 \cdot 18} ; \frac{800}{360} ; 1\right] = 0.74$$

$$F_{v,Ed} = 100.00 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 127.87 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

3.4. Attaches tendues.

3.4.1. Traction du boulon $F_{t,Rd}$ (catégorie D).

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

$F_{t,Ed}$ = sollicitation de traction

$F_{t,Rd}$ = résistance en traction → voir tableau 3.4 p208

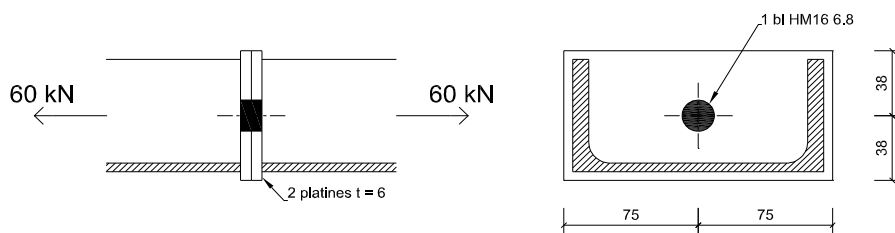
3.4.2. Poinçonnement $B_{p,Rd}$ (catégorie D et E).

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$F_{t,Ed}$ = sollicitation de traction

$B_{p,Rd}$ = résistance au poinçonnement → voir tableau 3.4 p208

3.4.3. Exemple.



Critère EC3-1.8-§3.6 - traction :

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

$$F_{t,Ed} = 60.00 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1.25} = 67.82 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0.9$$

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa} = 600 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{classe 6.8}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Ed} = 60.00 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 67.82 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

Critère EC3-1.8-§3.6 - poinçonnement :

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$F_{t,Ed} = 60.00 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot 0.02586 \cdot 0.006 \cdot 360 \cdot 10^3}{1.25} = 84.23 \text{ kN}$$

$$d_m = 25.86 \text{ mm}$$

$$t_p = 6 \text{ mm}$$

$$F_{t,Ed} = 60.00 \text{ kN} < B_{p,Rd} = 84.23 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$

Remarque : pour les attaches en traction formant un T, d'autres modes de ruines sont à envisagés (voir §6), notamment la flexion de la platine. On se limitera ici aux vérifications ci-dessus.

3.5. Traction et cisaillement combinés.

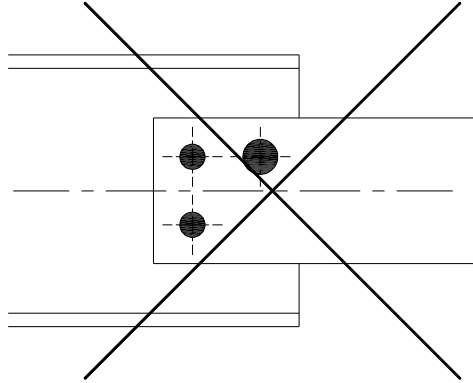
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

4. Résistance d'un groupe de boulons.

Un groupe de boulon est un ensemble de boulons qui servent à assembler les mêmes pièces.

Lors de la conception d'une attache assemblée par un groupe de boulons, on respectera ce qui suit :

- Tous les boulons ont le même diamètre et la même classe,
- Les boulons sont disposés de manière symétrique par rapport aux axes des pièces à assembler.



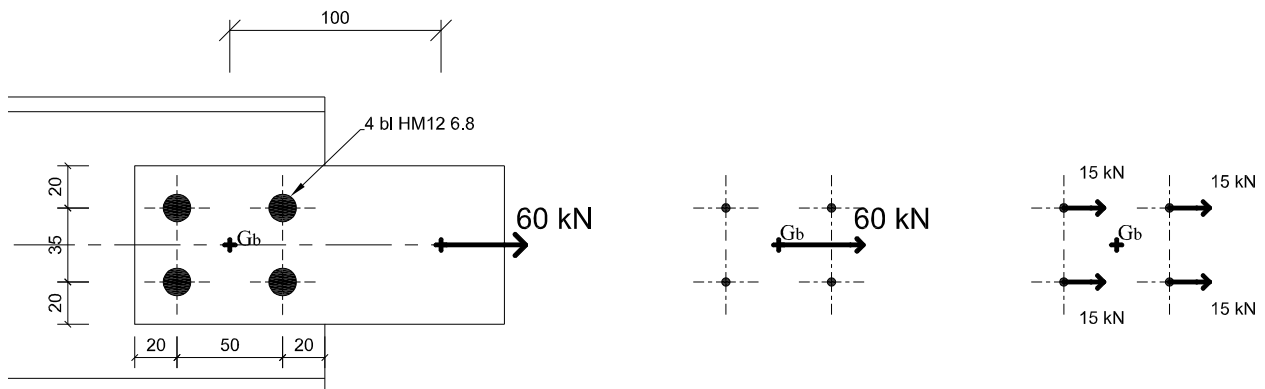
4.1. Principe de vérification.

- On écrit le bilan des actions au centre de gravité des boulons.
- On distribue ces actions entre les boulons.
- On vérifie les boulons individuellement.

4.2. Distribution des efforts dans un groupe de boulons.

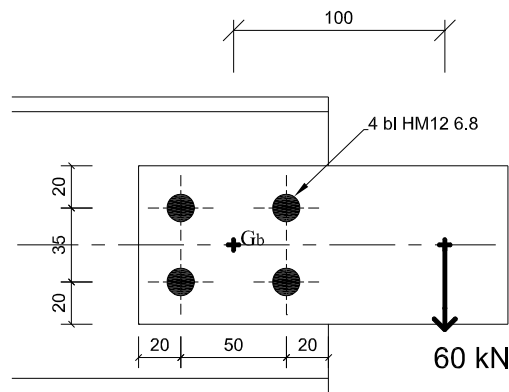
4.2.1. Cas de l'effort centré.

L'effort est uniformément réparti entre les boulons.

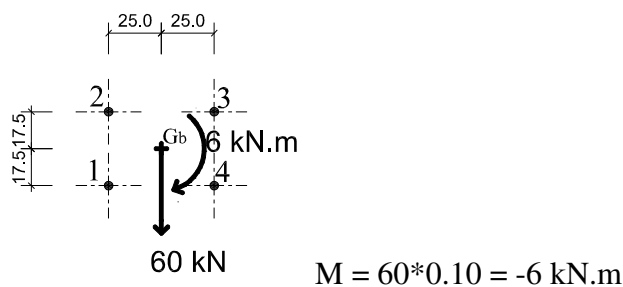


4.2.2. Cas général.

Exemple



→ Bilan des actions au centre de gravité des boulons.



→ Distribution des efforts entre les boulons :

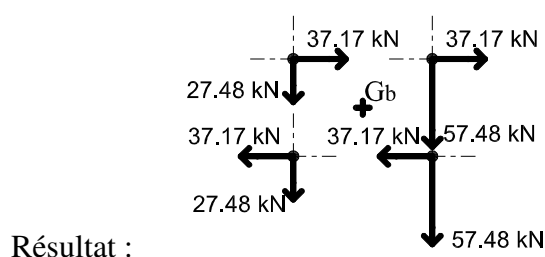
EC3-1.8-§3.12

- ✓ L'effort est uniformément réparti entre les boulons.
- ✓ Le moment est réparti en fonction de la distance boulon / cdg.

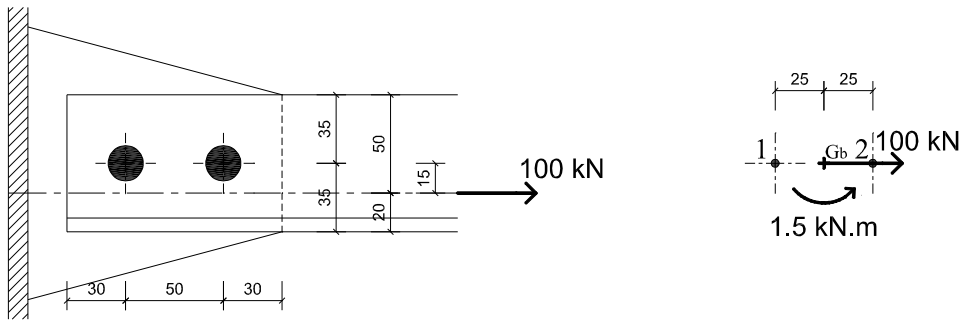
Utilisation de la méthode p214

$F_{x,Ed} = 0 \text{ kN}$; $F_{y,Ed} = -60 \text{ kN}$; $M_{z,Ed} = -60 \cdot 0.10 = -6 \text{ kN.m}$; $n = 4$

Bl	x_i [mm]	y_i [mm]	$x_i^2 + y_i^2$ [mm ²]	$F_{V,x,Ed,j} = \frac{F_{x,Ed}}{n} - \frac{M_{z,Ed}}{\sum_i(x_i^2 + y_i^2)} \cdot y_j$ [kN]	$F_{V,y,Ed,j} = \frac{F_{y,Ed}}{n} + \frac{M_{z,Ed}}{\sum_i(x_i^2 + y_i^2)} \cdot x_j$ [kN]
1	-20	-17.5	706.25	$\frac{0}{4} - \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot -0.0175 = -37.17$	$\frac{-60}{4} + \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot -0.020 = 27.48$
2	-20	17.5	706.25	$\frac{0}{4} - \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.0175 = 37.17$	$\frac{-60}{4} + \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot -0.020 = 27.48$
3	20	17.5	706.25	$\frac{0}{4} - \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.0175 = 37.17$	$\frac{-60}{4} + \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.020 = -57.48$
4	20	-17.5	706.25	$\frac{0}{4} - \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot -0.0175 = -37.17$	$\frac{-60}{4} + \frac{-6}{2825 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.020 = -57.48$
			2825		



4.2.3. Cas d'une cornière avec 2 boulons → effet de l'excentrement.



$$F_{x,Ed} = 100 \text{ kN}$$

$$F_{y,Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 100 \cdot 0.015 = 1.5 \text{ kN.m}$$

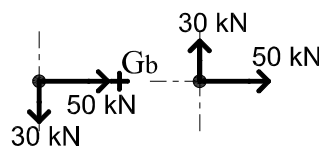
$$n = 2$$

Bl	x_i [mm]	y_i [mm]	$x_i^2 + y_i^2$ [mm ²]
1	-25	0	625
2	25	0	625
			1250

$$F_{V,x,Ed,1} = F_{V,x,Ed,2} = \frac{F_{x,Ed}}{n} - \frac{M_{z,Ed}}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)} \cdot y_j = \frac{100}{2} - \frac{1.5}{1250 \cdot 10^{-6}} \cdot 0 = 50 \text{ kN}$$

$$F_{V,y,Ed,1} = \frac{F_{y,Ed}}{n} + \frac{M_{z,Ed}}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)} \cdot x_j = \frac{0}{2} + \frac{1.5}{1250 \cdot 10^{-6}} \cdot -0.025 = -30 \text{ kN}$$

$$F_{V,y,Ed,2} = \frac{F_{y,Ed}}{n} + \frac{M_{z,Ed}}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)} \cdot x_j = \frac{0}{2} + \frac{1.5}{1250 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.025 = 30 \text{ kN}$$

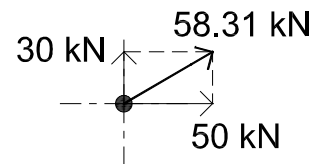


Peut-on négliger l'excentrement ?

→ Sans l'excentrement : $F_{V,Ed} = 50.00 \text{ kN}$

→ Avec excentrement : $F_{V,Ed} = \sqrt{50^2 + 30^2} = 58.31 \text{ kN}$

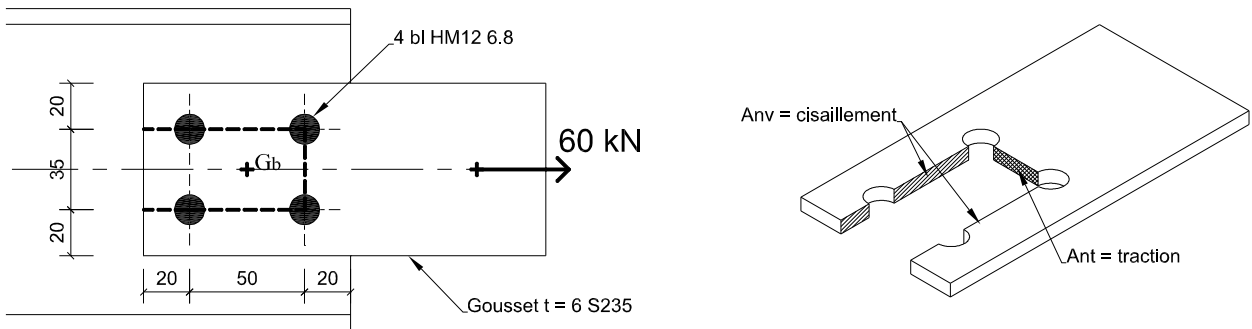
Soit 17% de différence : sauf indication contraire, on ne néglige pas l'excentrement.



4.3. Cisaillement de bloc.

Le cisaillement de bloc est un mode de ruine concernant les pièces assemblées. Il envisage la rupture au niveau du groupe de boulons.

Il tient compte de la résistance en cisaillement et en traction des différentes zones de l'assemblage.



Critère EC3-1.8-§3.10.2 – cisaillement de bloc :

Vérification sur le gousset :

$$F_{v,Ed} \leq V_{eff,1,Rd} \text{ (chargement centré)}$$

$$F_{v,Ed} = 60.00 \text{ kN}$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1/\sqrt{3} \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^3 \cdot 132 \cdot 10^{-6}}{1.25} + \frac{1/\sqrt{3} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot 606 \cdot 10^{-6}}{1.0} = 120.24 \text{ kN}$$

$$A_{nt} = \left(35 - 2 \cdot \frac{13}{2}\right) \cdot 6 = 132 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \cdot (50 + 20 - 1.5 \cdot 13) \cdot 6 = 606 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Ed} = 60.00 \text{ kN} < V_{eff,1,Rd} = 120.24 \text{ kN} \rightarrow \text{vérifié}$$