

CHAPITRE 3 :

LES ASSEMBLAGES PAR BOLONNAGE

assemblages :

Les principaux **modes d'assemblage** sont :

- **Le soudage**
- **Le boulonnage**

qui correspondent à deux types de fonctionnements distincts : **Obstacle** et /ou **adhérence**.

Fonctionnement par obstacle:

C'est le cas des boulons ordinaires, dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnent en cisaillement.

Fonctionnement par adhérence:

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage, le boulonnage par boulons Haute Résistance.

1.3. Précautions Constructives :

❑ Il faut proscrire tout assemblage par recouvrement simple (**figure 1**) et utiliser un assemblage symétrique par double couvre-joint (**figure 2**)

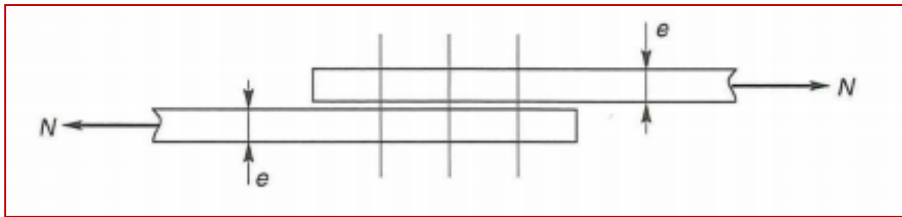


Figure. 1

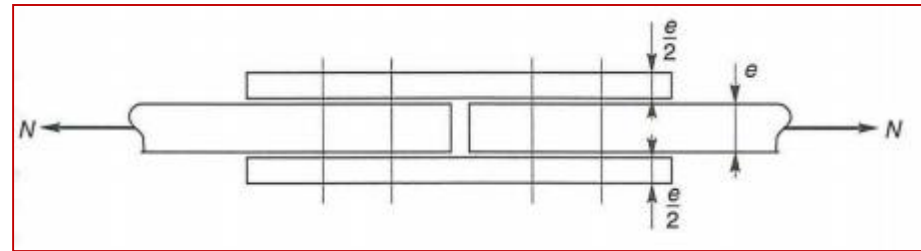


Figure. 2

En effet, dans le cas de la **figure 1**, la dissymétrie crée un moment de flexion parasite et l'assemblage se déforme, comme le montre la **figure 3**.



Figure. 3

1.4. Classification des Assemblages :

Les assemblages peuvent être classée en fonction de :

- **Leur rigidité.**
- **Leur résistance.**

1.4.1. Classification par rigidité :

A- Assemblages désignés comme articulations

- Un assemblage de type articulé doit être capable de transmettre les efforts calculés lors de leur conception ainsi que d'accepter les rotations qui en résultent.

B- Assemblages rigides

- Un assemblage peut être considéré comme rigide si sa déformation n'a pas d'influence significative sur la répartition des efforts et des moments dans la structure , ni sur la déformation d'ensemble de celle-ci.

1- GENERALITES

1.4. Classification des Assemblages :

1.4.2. Classification par résistance :

A- Assemblage de type articulé

La capacité de rotation d'un assemblage de type articulé doit être suffisante pour permettre la formation de toutes les rotules plastique nécessaire sous les charges de calcul.

B- Assemblage à résistance complète

On peut considérer qu'un assemblage est à résistance complète si sa résistance de calcul est au moins égale à la plus grande des résistance des éléments structuraux connectés.

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉS

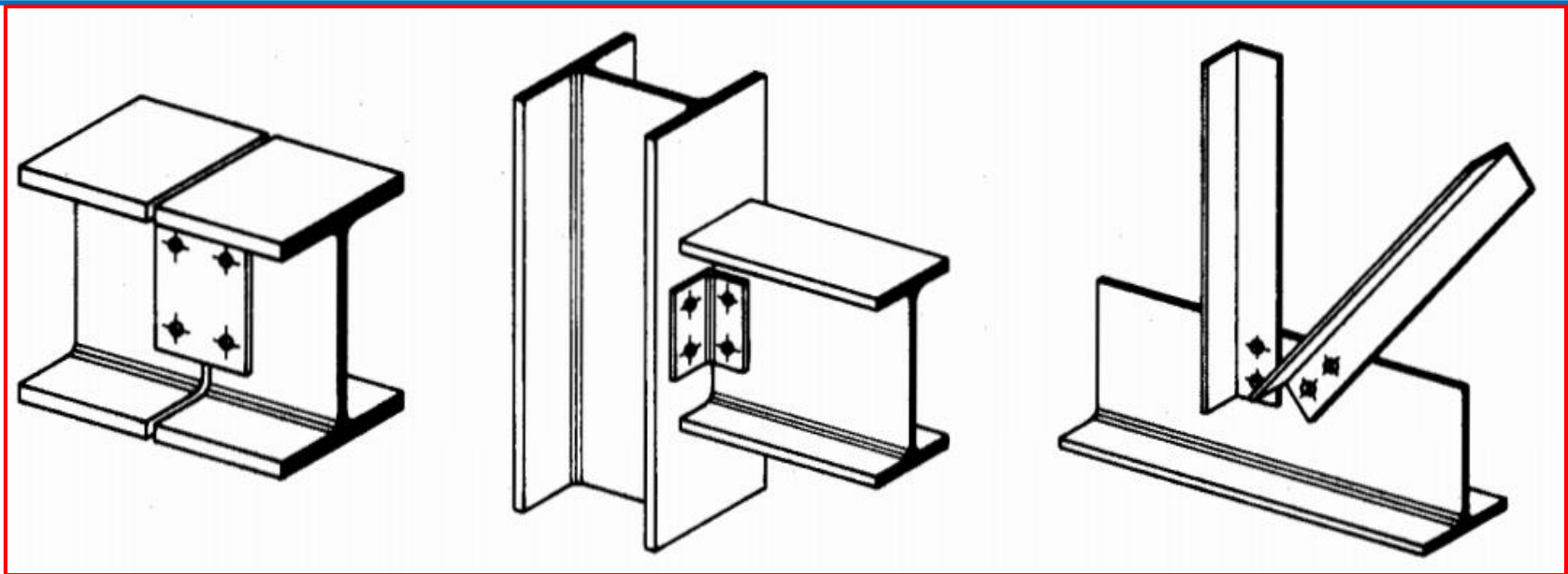


Figure. 5: Exemples d'assemblages boulonnés

Boulons			Pièces assemblées		Assemblage	
Cisaillement	Traction	Interaction	Pression latérale	Section nette / brute	Non précontraint	Précontraint

Figure. 6: Vérification à effectuer pour le dimensionnement des boulons

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.1. Dispositions constructives

2.1.1 Positionnement des boulons

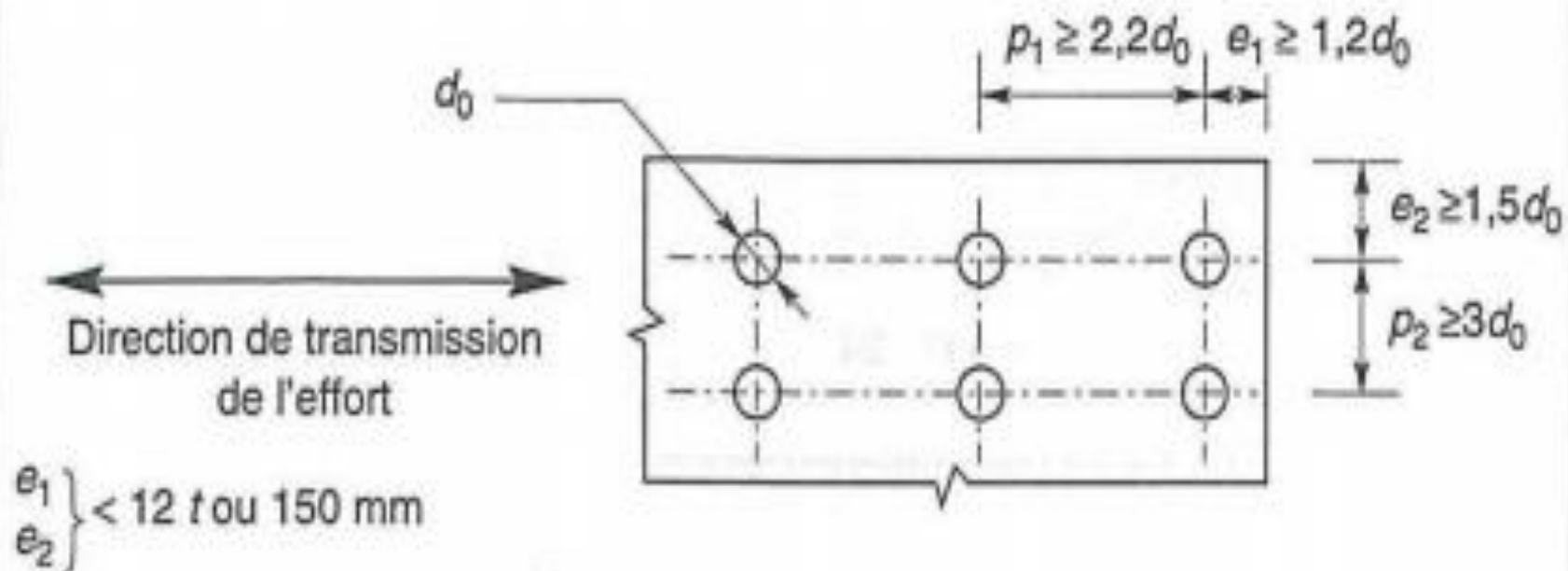
Il sont réglementés par l'Eurocode 3, La distance entre axes des boulons ainsi qu'entre axes des boulons et bords des pièces (pinces) sont limitées par :

- Des valeurs minimales:

- Pour faciliter la mise en place des boulons,
- Pour permettre le passage des clés,
- Pour éviter le déchirement des tôles.

- Des valeurs maximales :

- Pour conserver un bon contact entre les pièces assemblées (ce qui augmente le frottement et limité le risque de corrosion.
- Pour éviter des assemblages trop longs



Notations pour l'espacement des systèmes de fixations

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉS

2.1. Dispositions constructives

2.1.1 Positionnement des boulons

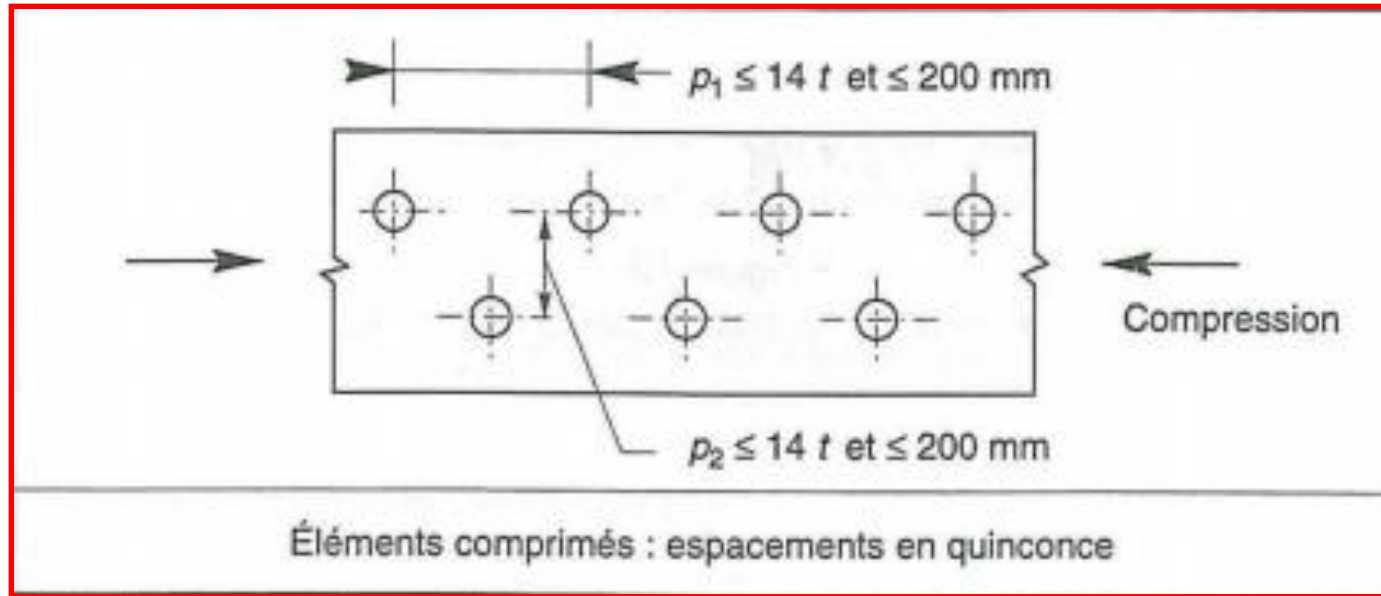


Figure 8. Éléments comprimés

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.1. Dispositions constructives

2.1.1 Positionnement des boulons

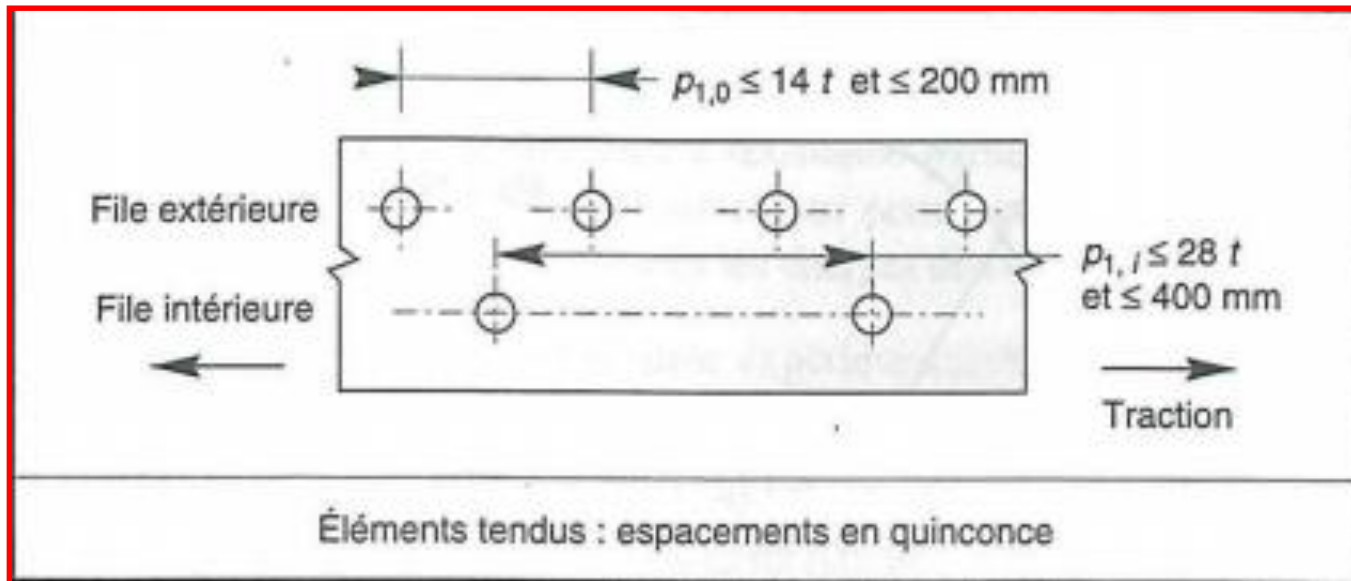


Figure 9. Éléments Tendus

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.1. Dispositions constructives

2.1.2. Effet de la longueur de l'assemblage

L'étude des assemblages sollicités au cisaillement a mis en évidence l'influence de la longueur de l'assemblage sur la charge de ruine. Les plus grandes déformations se situent aux extrémités de l'assemblage. Les boulons des extrémités sont donc plus sollicités que les boulons centraux.

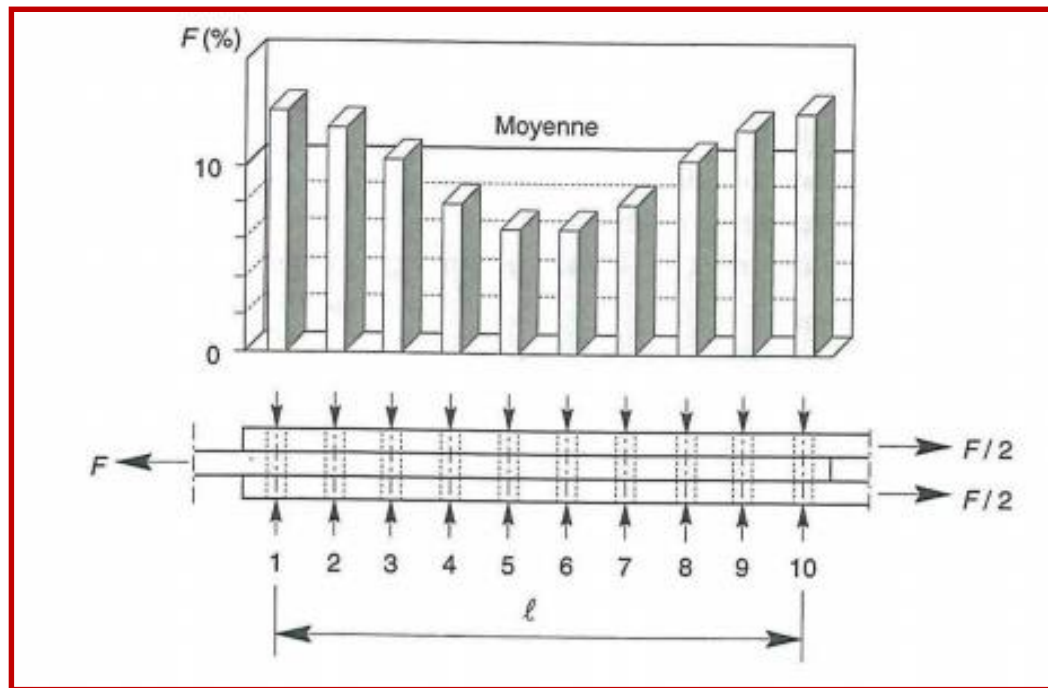


Figure 10. Schéma de la répartition effective des efforts repris par chaque boulon

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.1. Dispositions constructives

2.1.3. Section Nette-Ligne de rupture

La section nette A_{net} est la section qui présente la plus courte ligne du rupture. Elle est, bien sure, inférieur à la section brute A et dépend du nombre de trous qu'elle traverse et de leur disposition.

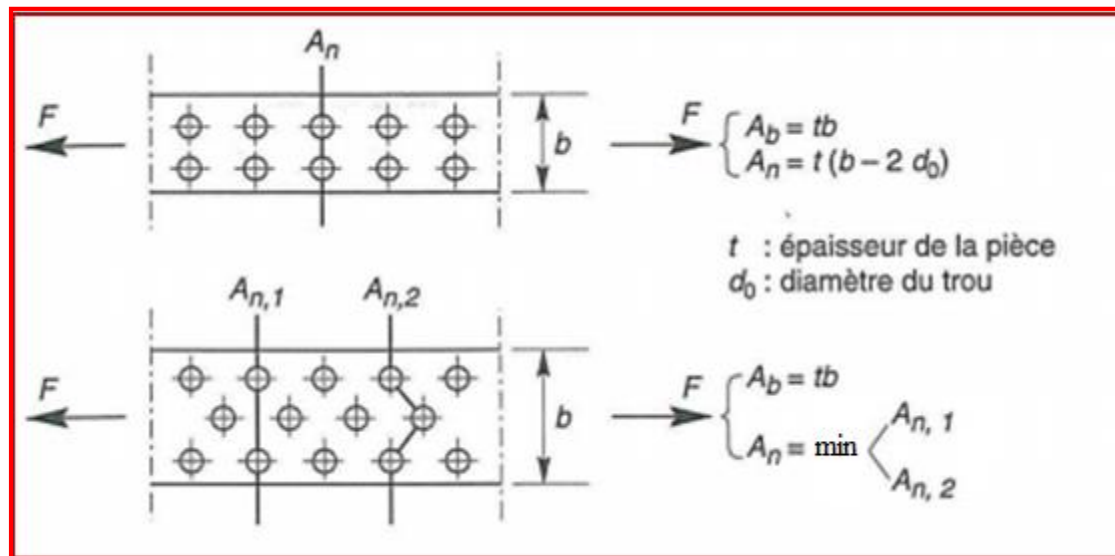


Figure 11. Définition de la section brute A et de la section nette A_{net}

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.1. Dispositions constructives

2.1.4 Classes des Boulons

Boulons	Classe de qualité	f_{yB} [N/mm ²]	f_{uB} [N/mm ²]
de charpente	4.6	240	400
	5.6	300	500
à haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

Figure 12. Caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.2. Dimensionnement des boulons ordinaires (Non précontraints)

2.2.1. Coefficient partiel de sécurité

- ✓ Résistance des boulons au cisaillement : $\gamma_{Mb} = 1.25$
- ✓ Résistance des boulons à la traction : $\gamma_{Mb} = 1.5$

2.2.2. Assemblage sollicités au cisaillement

Dans ce cas, il convient de vérifier:

- d'une part, la résistance au cisaillement des boulons,
- d'autre part, la résistance à la pression diamétrale des pièces

A- Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement

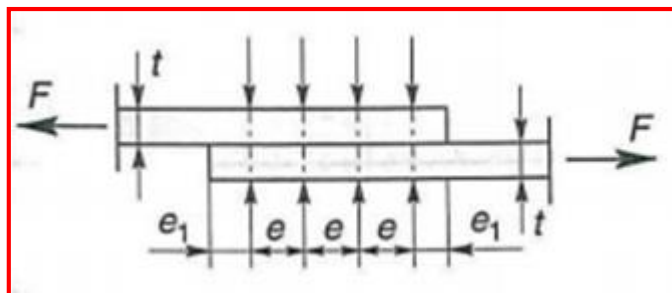
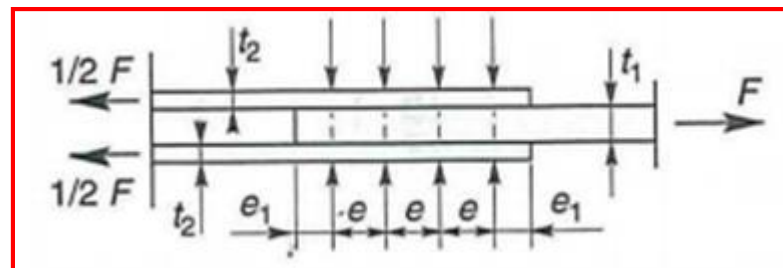
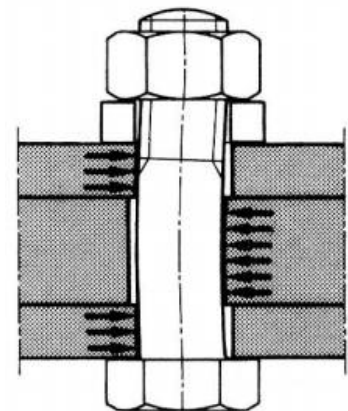


Figure 13/a. Une section cisailée (m=1)



13/b. Deux section cisailées (m=2)

Sollicitation d'un boulon



2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.2. Dimensionnement des boulons ordinaires (Non précontraints)

A- Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement

Pour les classes de qualité 4.6, 5.6 et 8.8 :

$$F_v = 0,6 \times f_{ub} \times \frac{A_b}{\gamma_{Mb}}$$

Pour les classes de qualité 4.8, 5.8 , 6.8, et 10.9 :

$$F_v = 0,5 \times f_{ub} \times \frac{A_b}{\gamma_{Mb}}$$

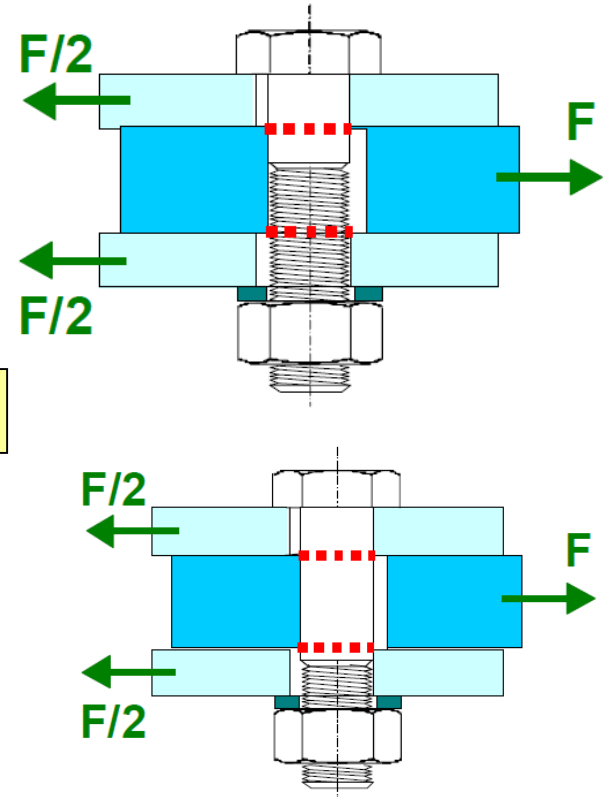
Avec :

$$\gamma_{Mb} = 1.25$$

f_{ub} : La résistance à la traction des boulons(voir tableau 2)

$A_b = A$ Aire de la section brute du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon

$A_b = A_s$ Aire de la section résistante en traction du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon (voir tableau1).



2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.2. Dimensionnement des boulons ordinaires (Non précontraints)

A- Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement

Diamètre nominal du boulon d (mm)	14	16	18	20	22	24	27	30
Section résistante A_s (mm ²)	115	157	192	245	303	353	459	561

Tableau 1 : Valeur de la section résistante A_s des boulons à la traction

Valeurs de la limite d'élasticité f_{yb} et de la résistance à la traction f_{ub} des boulons							
Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1 000

Tableau 2: Caractéristiques Mécaniques des Boulons selon leur classe d'Acier

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.2. Dimensionnement des boulons ordinaires (Non précontraints)

B- Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées

La résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées est donnée par

:

$$F_B = 2,5 \times \alpha \times f_u \times d \times \frac{t}{\gamma_{Mb}}$$

Ou α est la plus petite des valeurs suivantes :

$$\frac{f_{ub}}{f_u}, 1$$

$$\gamma_{Mb} = 1.25$$

f_u : La résistance à la traction de la pièce

d : Diamètre du boulon

t : Epaisseur de la pièce à assembler

2- LES ASSEMBLAGES BOULONNÉES

2.2. Dimensionnement des boulons ordinaires (Non précontraints)

2.2.3. Assemblages sollicités à la traction

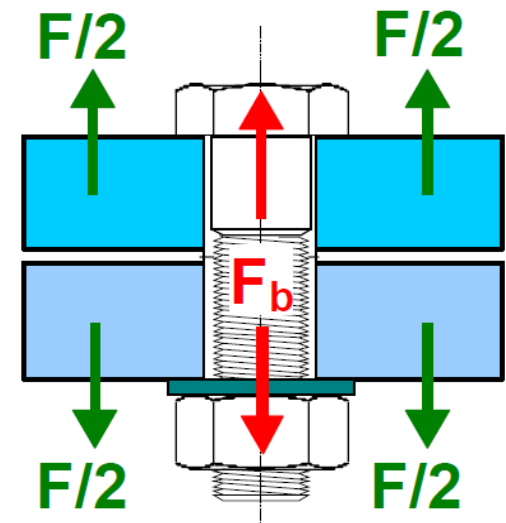
La résistance en traction des boulons vaut :

$$F_T = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

Avec :

$$\gamma_{Mb} = 1.5$$

A_s Aire de la section résistante en traction du boulon



Résistance au poinçonnement des pièces assemblées

$$: B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

2.2.4. Assemblages sollicités simultanément au cisaillement et à la traction

Les boulons soumis aux efforts combinés de cisaillement **V** et de traction **T**, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

$$\frac{V}{F_v} + \frac{T}{1,4F_T} \leq 1$$

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.1. Principe

- Un boulon **HR (Haute Résistance)** est constitué d'acier à haute limite élastique. Lors du boulonnage, il est serré fortement, ce qui a pour effet de lui communiquer un effort de précontrainte, qui agit parallèlement à l'axe du boulon, (c'est pourquoi les boulons HR sont aussi appelés **boulon précontraints**).
- Cette précontrainte développe, par frottement mutuel des pièces, une forte résistance à leur glissement relatif.

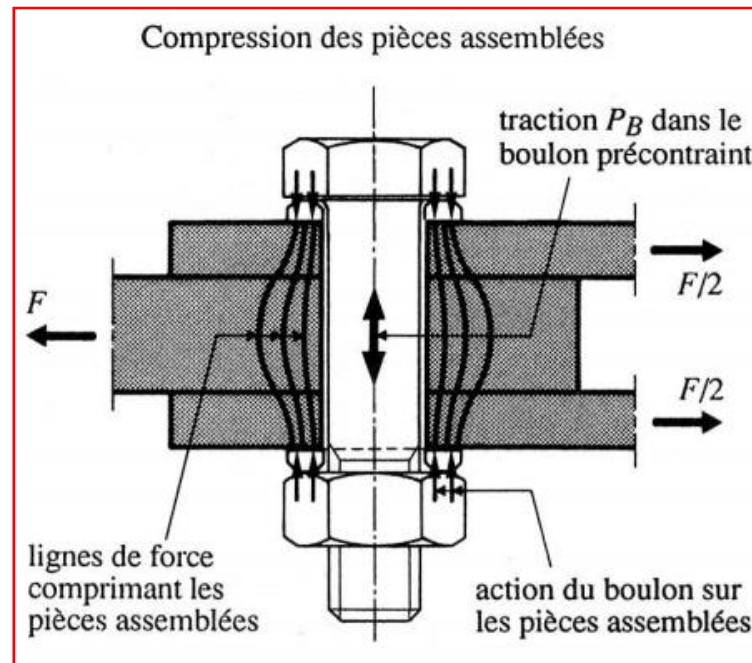


Figure 14: Mécanisme d'un boulon HR

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.2 .Précautions constructives

Un bon assemblage par boulons HR exige que des précautions élémentaires soient prises, notamment:

- ✓ La tête du boulon ne doit pas poinçonner les pièces assemblées (d'où l'interposition d'une rondelle).
- ✓ La force de précontrainte doit bien être appliquée à sa valeur de calcul (d'où la nécessité d'utiliser des clés dynamométriques ou pneumatiques).
- ✓ Le serrage doit être effectué progressivement, afin de ne pas déformer les platines d'appui et préserver leur planéité.

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.3. Caractéristiques mécaniques des boulons.

Il existe deux classes de **boulons HR**, définies en fonction de leur contrainte limite d'élasticité f_{yb} et de leur contrainte de rupture f_{ub}

- Les boulons HR 1 ou HR 10.9
- Les boulons HR 2 ou HR 8.8

Soit :

Repère	Appellation	f_{ub} (MPa)	f_{yb} (MPa)	$\Delta L / L$ (%)
HR 1	HR 10.9	1 000	900	≥ 8
HR 2	HR 8.8	800	640	≥ 12

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.4. Assemblages résistant au glissement .

A- Résistance au glissement

La résistance au glissement F_s d'un boulon HR précontraint vaut :

$$F_s = \frac{k_s \times m \times \mu \times F_p}{\gamma_{MS}}$$

Avec :

- F_p : est la force de précontrainte autorisée. $F_p = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$
- μ : est le coefficient de frottement des pièces
- m : est le nombre d'interfaces de frottement
- k_s : est un coefficient fonction de la dimension des trous de perçage et vaut :
 - **Ks=1** pour les trous à tolérance normales.

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.4. Assemblages résistant au glissement .

A- Résistance au glissement

- **$K_s=0,85$** pour les trous circulaires surdimensionnés et pour les trous oblongs courts.
- **$K_s=0,7$** pour les trous oblongs longs.

- **γ_{MS}** : est le coefficient partiel de sécurité qui vaut :

à l'ELU:

$\gamma_{MS} = 1,25$ pour les trous de tolérance normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort.

$\gamma_{MS} = 1,4$ pour les trous surdimensionnés, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est parallèle à l'axe de l'effort.

à l'ELS:

$\gamma_{MS} = 1,1$ pour les trous à tolérances normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort

2.3. Dimensionnement des boulons précontraints

2.3.5. Assemblages sollicités simultanément au cisaillement et à la traction

Si un assemblage résistant au glissement est soumis à un effort de traction F_T concomitant avec un effort de cisaillement F_V , qui tend à provoquer le glissement, la résistance au glissement par boulon doit être calculée selon la formule ci-après:

$$F_V \leq F_s = \frac{k_s . m . \mu . (F_p - 0.8 . F_T)}{\gamma_{MS}}$$

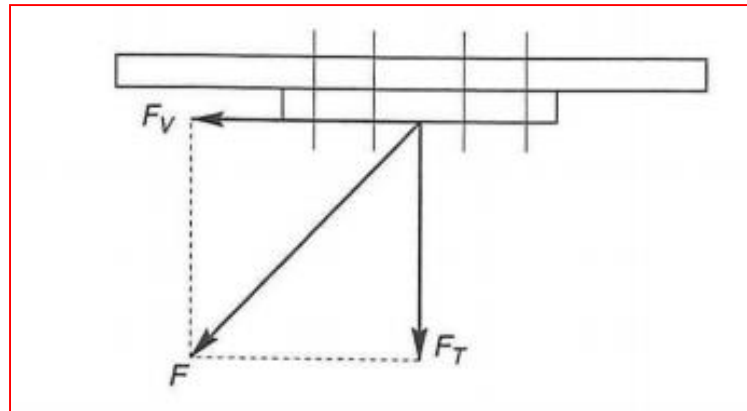


Figure 18

Effort perpendiculaire à l'axe des boulons

▪ Résistance au cisaillement par plan de cisaillement :

- si le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon :
$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

avec : $\alpha_v = 0,6$ pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8

$\alpha_v = 0,5$ pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9

- si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon :
$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

avec $\alpha_v = 0,6$ quelle que soit la classe du boulon.

▪ Résistance à la pression diamétrale :

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

avec α_b est la plus petite valeur de $\alpha_d \frac{f_{ub}}{f_u}$ ou 1,0 .

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

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 ; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 ; 2,5 \right) \text{ pour les boulons de rive}$$

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

Effort parallèle à l'axe des boulons

- Résistance à la traction des boulons :
$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

avec $k_2 = 0,9$ sauf pour les boulons à tête fraisée où $k_2 = 0,63$.

- Résistance au poinçonnement des pièces assemblées :
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Effort oblique par rapport à l'axe des boulons

- Vérification sous cisaillement et traction combinés :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0 \text{ mais aussi } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

- Résistance à la pression diamétrale : $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$

- Résistance au poinçonnement des pièces assemblées : $B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$

