

Chapitre 1 : Rappel sur les assemblages Métalliques

1- Introduction :

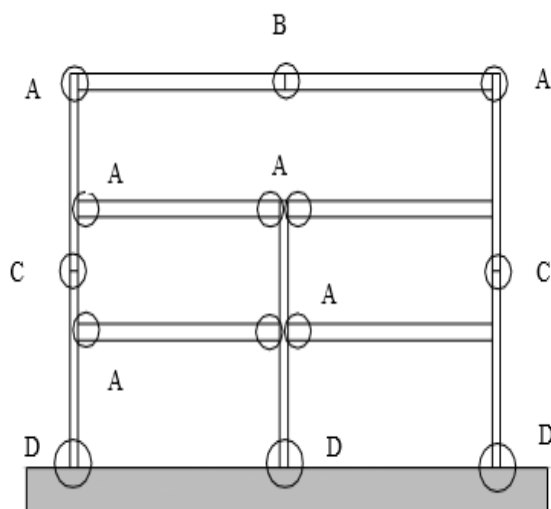
La caractéristique essentielle des constructions métalliques est d'être composées d'un ensemble d'éléments barres (**poteaux- poutres**) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (**I** ou de **H**) qu'il faut assemblés entre eux pour constituer l'ossature.

Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément **les assemblages**. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, on **assurant la transmission et la répartition** des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, **sans générer d'efforts parasites**.

Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à **l'effondrement de la structure**. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

2- Différentes formes d'assemblage en CM :

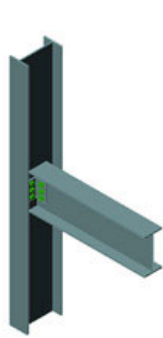
Dans les ossatures des bâtiments métalliques, les éléments structuraux sont reliés par des assemblages. Suivant la nature des éléments assemblés, on distingue (Figure 1) entre autres



- Les assemblages poutre-poteau (A)
- Les assemblages poutre-poutre (B)
- Les assemblages de continuité (C)
- Les assemblages poteau- fondation « pied de poteau » (D)
- Les assemblages dans un système en treillis « un nœud » (E)

Figure 1 : Différents types d'assemblage dans une ossature métallique

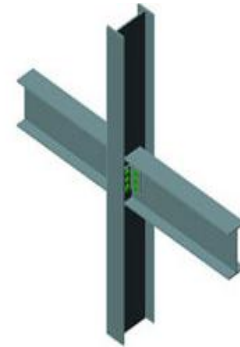
2.1. Les assemblages poutre-poteau :



Assemblage par cornière



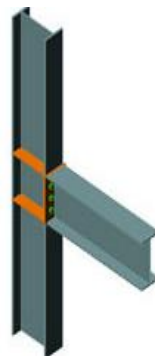
Assemblage par plat plié



Assemblage par double cornières



Encastressement par jarret

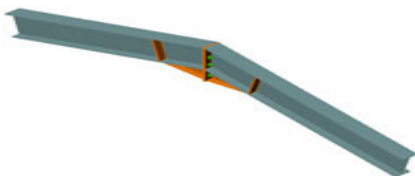


Platine de moment



Plat soudé sur coté

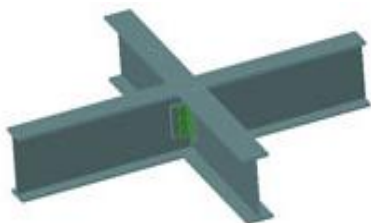
2.2. Les assemblages poutre-poutre :



Faitage



Assemblage par cornières



Assemblage par doubles cornières

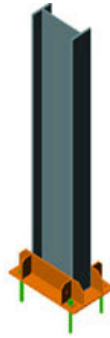


Assemblage par plat plié

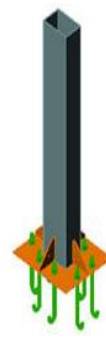
2.3. Les assemblages poteau-fondation « pied de poteau »



Pied de Poteau articulé



Pied de Poteau encasté



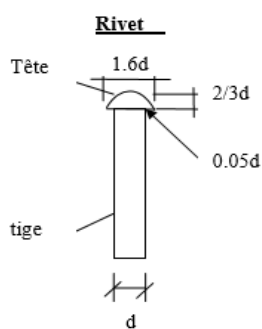
Pied de Poteau tubulaire

3- Mode d'assemblage :

Les différentes formes d'assemblages ci-dessus mentionnés sont généralement réalisées par les principaux modes d'assemblages suivants :

3.1. Le rivetage :

Les rivets ont été **le premier moyen** d'assemblage utilisé en construction métallique. Actuellement, l'emploi des rivets **est limité** et on leur préfère, dans la plupart des pays industrialisés, les boulons et la soudure. On les rencontre donc essentiellement dans des **structures anciennes**, datant du début de ce siècle .leur diamètre varie généralement de 10 à 28mm



3.2. Le boulonnage :

Les caractéristiques des différents types d'aciers utilisés pour les boulons présentes les valeurs de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction des quatre classes de qualité d'acier utilisées pour les 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
A haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

Ce tableau montre également que l'on distingue deux types de boulons, qui se différencient par leurs caractéristiques mécaniques plus ou moins élevées :

1. Les boulons de **charpente métallique**
2. Les boulons à **haute résistance**

Les boulons de **charpente métallique** s'emploient couramment pour réaliser les assemblages **faiblement sollicités** des halles et des bâtiments. Les boulons à **haute résistance** s'utilisent en général pour les assemblages de ponts, ainsi que pour les assemblages **fortement sollicités** ou soumis à des effets dynamiques. Seuls les boulons à haute résistance peuvent être précontraints.

L'euro code 3 ajoute les classes de qualité 4.8, 5.8 et 6.8 à celles données dans le tableau et utilise la notion de **boulon ordinaire** à la place de boulon de charpente.

3.3. Le soudage :

Le soudage est un procédé, qui permet d'assembler des pièces par liaison intime de la matière, obtenue par fusion ou plastification. Le soudage implique donc :

- ❖ L'existence d'une **source de chaleur** suffisante pour obtenir la fusion du matériau elle peut être d'origine électrique (résistance, arc, plasma), chimique (combustion de gaz).
- ❖ Une aptitude du matériau à être soudé, appelée **soudabilité**, la soudabilité à haute température dépend des qualités propres du matériau

Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages:

- ❖ Il assure la continuité de matière, et de ce fait garantit une bonne transmission des sollicitations
- ❖ Il dispense de pièces secondaire (goussets, attaches,.....)
- ❖ Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

En revanche, il présente divers inconvénients:

- ❖ Le métal de base doit être soudable.
- ❖ Le contrôle des soudures est nécessaire.
- ❖ Le contrôle des soudures est aléatoire.
- ❖ Le soudage exige une main-d' œuvre qualifiée et un matériel spécifique.

4. Les assemblages boulonnés

4.1- Généralités :

4.1.1- Positionnement des boulons

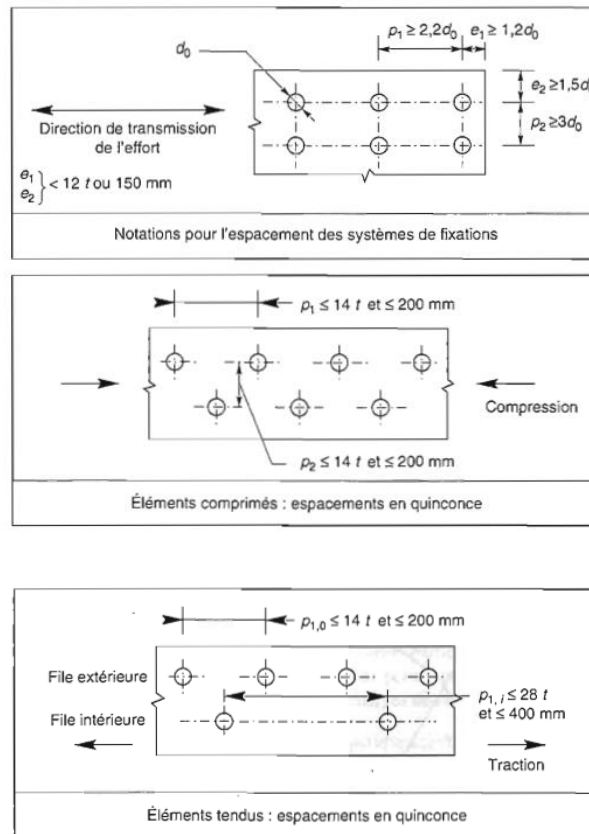
Les distances entre axes des boulons ainsi qu'entre axes des boulons et bords des pièces sont limitées par :

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
- Pour éviter des assemblages trop longs



4.1-2 Section nette-Ligne de rupture :

a) Résistance de la section transversale :

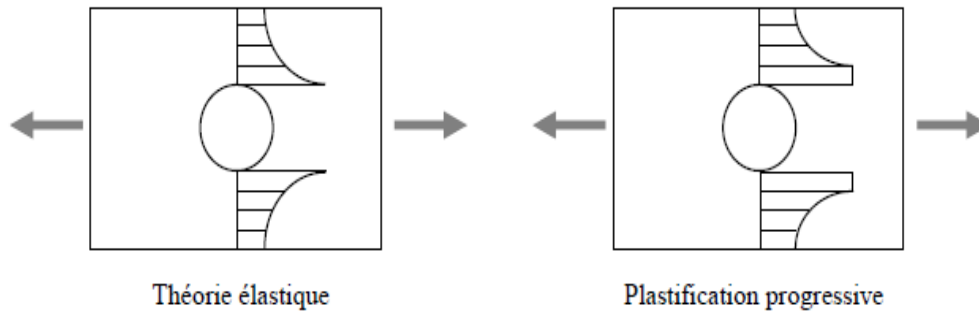
La valeur de calcul de l'effort de traction N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

Pour une qui ne comporte aucun trou, la valeur du calcul de la résistance à la traction $N_{t,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute :

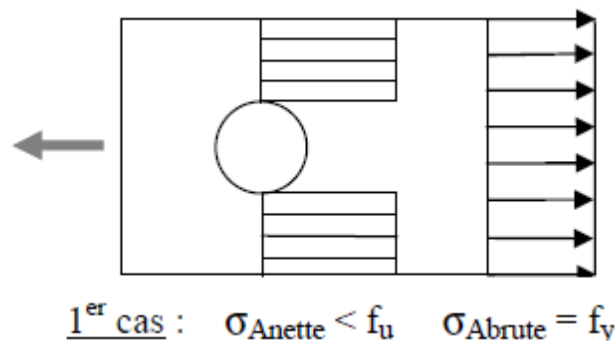
$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

Pour une section qui comporte des trous (assemblages boulonnés), la résistance de la section est affaiblie par la réduction de l'aire de section transversale due à la présence des trous (**aire nette**) et une vérification supplémentaire est exigée. Bien que les trous induisent des **concentrations de contraintes** lorsqu'on est dans le domaine élastique, une **plastification progressive** apparaît dans la section affaiblie dès que l'effort augmente.

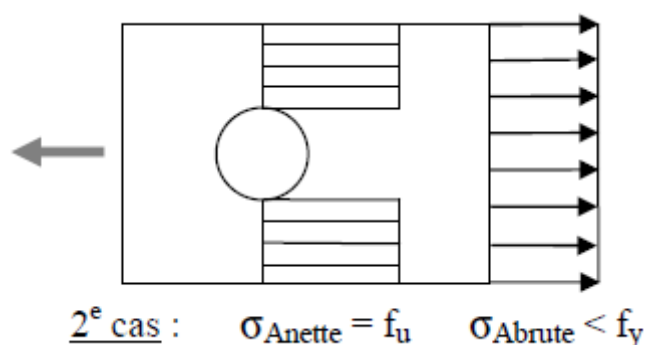


La **ductilité de l'acier** permet de supposer, qu'à l'**état limite ultime**, la **répartition des contraintes dans les sections nette et brute** est représentée par l'un des cas suivants :

- si les trous **sont peu nombreux ou de dimensions réduites**, la limite élastique sera atteinte dans la section brute avant que la limite de rupture ne soit atteinte dans la section réduite (par « déformations excessives ») :



- si les trous **sont plus nombreux ou de dimensions importantes**, la limite de rupture sera atteinte dans la section réduite avant que la limite élastique ne soit atteinte dans la section brute (par « rupture à caractère fragile ») :



En conséquence, pour une section qui comporte des trous, la valeur de calcul de la résistance à la traction $N_{t,Rd}$ doit être prise comme étant la plus petite des deux valeurs suivantes :

a) La valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute :

$$N_{pl.Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

b) La valeur de calcul de la résistance ultime de la section transversale nette :

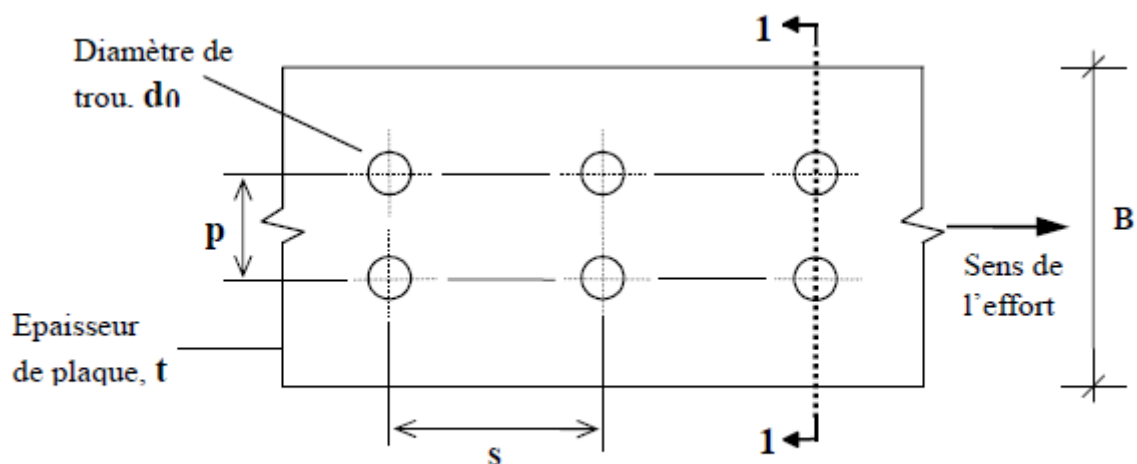
$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

b) Détermination de l'aire nette :

L'aire nette d'une section transversale est l'aire brute diminuée des trous de fixation et autres ouvertures. Pour chaque trou de fixation, la déduction est l'aire de section transversale brute du trou ($d_0.t$).

Lorsque les trous sont alignés transversalement, l'aire totale à déduire de toute section transversale perpendiculaire à l'axe de l'élément (1-1) est la somme maximale des aires de section des trous.

Exemple pour deux files de trous alignés :



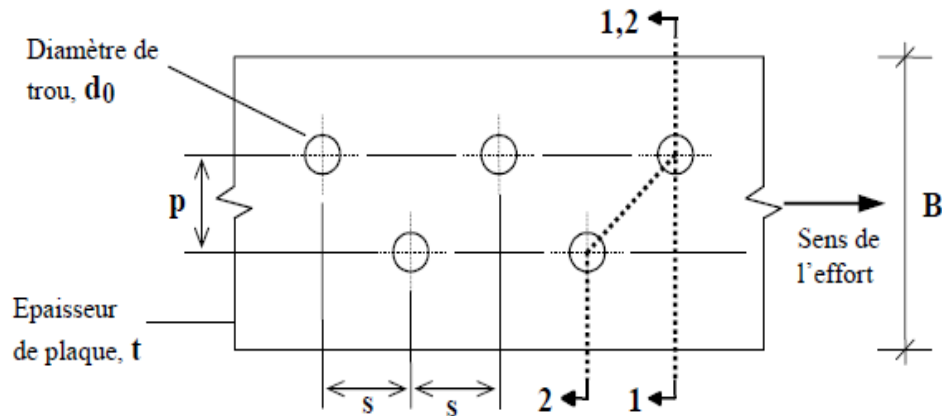
Sur la section 1-1 : Aire nette = $A_{net} = (B.t - 2d_0.t)$

Lorsque les fixations sont en quinconce, l'aire totale à déduire est la plus grande des deux valeurs suivantes :

- l'aire du ou des trous traversant une section transversale perpendiculaire (1-1),
- la somme des aires de tous les trous en ligne diagonale ou brisée (2-2) quelconque

traversant l'élément, dont **on déduit la quantité** $\frac{s^2 t}{4p}$ pour chaque intervalle dans la chaîne des trous (voir figure ci-après). Cette réduction permet de tenir compte que le long des parties inclinées des lignes, il n'existe pas un état de contrainte de traction pure.

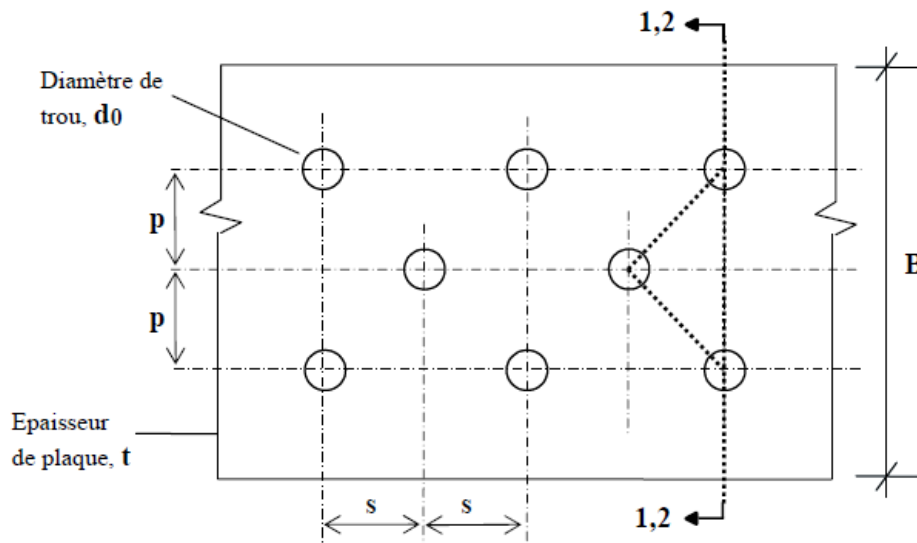
Exemple pour deux files de trous en quinconce :



Aire nette = A_{net} = la plus petite des deux suivantes :

- sur la section 1-1 : $(B.t - d_0.t)$
- sur la section 2-2 : $[B.t - (2d_0.t - \frac{s^2 t}{4p})]$

Exemple pour trois files de trous en quinconce :



Aire nette = A_{net} = la plus petite des deux suivantes :

- sur la section 1-1 : $(B.t - 2d_0.t)$
- sur la section 2-2 : $[B.t - (3d_0.t - 2\frac{s^2 t}{4p})]$

4.2. Dimensionnement des boulons ordinaires :

4.2.1. Coefficients partiels de sécurité :

- Résistance des boulons au cisaillement :

$$\gamma_{Mb} = 1.25$$

- Résistance des boulons à la traction :

$$\gamma_{Mb} = 1.50$$

4.2.2. Assemblages sollicités au cisaillement :

Dans ce cas, il convient de vérifier :

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

Résistance des boulons au cisaillement (par plan de cisaillement)

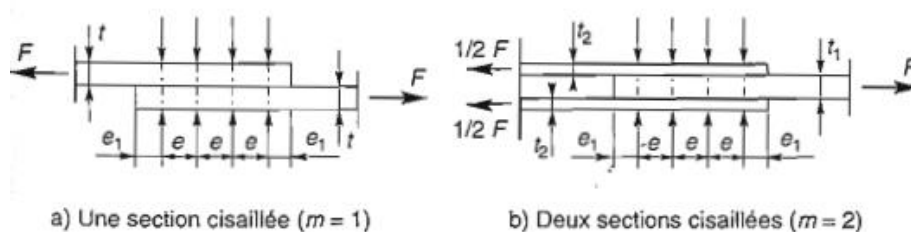
- **Pour les classes de qualité 4.6, 5.6 et 8.8 :**

$$F_v = 0.6 \times f_{ub} \times \frac{A_b}{\gamma_{Mb}}$$

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

$$F_v = 0.5 \times f_{ub} \times \frac{A_b}{\gamma_{Mb}}$$

A_b = aire de la section brute du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon.



Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées :

$$F_B = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times \frac{t}{\gamma_{Mb}}$$

Où $\alpha = 1$

4.2.3. Assemblages sollicités à la traction :

La résistance en traction des boulons vaut :

$$F_T = 0.9 \cdot f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

A_s : aire de la section résistance en traction du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon.

4.2.4. Assemblages sollicités simultanément au cisaillement et à la traction :

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

$$\frac{V}{F_v} + \frac{T}{1.4F_T} \leq 1$$

4.2.5. Valeurs de la section résistante A des boulons :

Diamètre Nominal du boulon d (mm)	14	16	18	20	22	24	27	30
Section résistante A (mm²)	115	157	192	245	303	353	459	561

4.2.6. Caractéristiques mécaniques des boulons selon leur classe d'acier :

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	1000

5. Dimensionnement des boulons précontraints :

5.1. Principe :

Bien que présentant le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (haute résistance) est **constitué d'acier à haute limite élastique** et comporte **une rondelle incorporée à la tête**. 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**, donc perpendiculairement **aux plans de contact des pièces** (c'est pourquoi les boulons HR sont aussi appelés boulons précontraints).

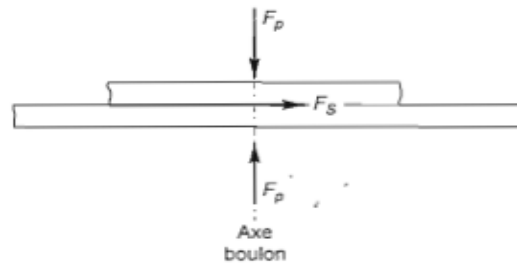
Cette précontrainte développe, par frottement mutuel des pièces, **une forte résistance à leur glissement relatif**.

Contrairement aux boulons ordinaires, **les boulons HR ne travaillent pas au cisaillement, mais transmettent les efforts par frottement**. Le coefficient de frottement μ des pièces en contact joue donc un rôle prépondérant.

Si F_p est l'effort de précontrainte axial dans un boulon et F_s l'effort de cisaillement

transmis par l'assemblage et sollicitant ledit boulon, il faut vérifier que l'interface des pièces en contact puisse transmettre l'effort tangent, sans glissement, soit :

$$F_s \leq \mu F_p$$



Les boulons HR n'étant pas conçus pour fonctionner en obstacle (au cisaillement), leurs tiges ne sont théoriquement pas en contact avec les sections droites des perçages des pièces assemblées.

Cependant, dans certains cas, les tiges peuvent venir au contact des pièces, soit en raison d'un mauvais montage, soit accidentellement par glissement des pièces (coefficient de frottement μ insuffisant ou bien effort tangent excessif). Dans ces cas, les boulons HR vont fonctionner au cisaillement.

5.2. 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 l'importance du couple de serrage et la nécessité des clés dynamométriques ou pneumatiques).
- **Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Cela nécessite une préparation des surfaces**, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine, de graisse, etc.

$\mu = 0.50$ pour les surfaces de la classe A

$\mu = 0.40$ pour les surfaces de la classe B

$\mu = 0.30$ pour les surfaces de la classe C

$\mu = 0.20$ pour les surfaces de la classe D

Classe A :

- Surfaces décapées par grenailage ou sablage, avec enlèvement de toutes les plaques

de rouille non adhérentes et sans piqûres de corrosion

- Surfaces décapées par grenailage ou sablage et métallisées par projection d'aluminium
- Surfaces décapées par grenailage ou sablage et métallisées par projection d'un revêtement à base de zinc, garanti d'assurer un coefficient de glissement qui ne soit pas inférieur à 0.5

Classe B :

- Surfaces décapées par grenailage ou sablage et recouvertes d'une couche de peinture au silicate de zinc alcalin d'épaisseur 50 à 80 μm

Classe C :

- Surfaces nettoyées par brossage métallique ou à la flamme avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes.

Classe D :

Surfaces non traitées.

Remarque :

Le serrage doit être effectué progressivement, dans un ordre préétabli, afin **de ne pas déformer les platines** d'appui et préserver leur planéité. C'est pourquoi les boulons HR ont une troisième appellation de « boulons à serrage contrôlé ».

5.3. Caractéristiques mécaniques des boulons :

Il existe deux classes de boulons HR, définies en fonctions 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

Le premier chiffre correspond à $f_{ub} / 100$ et le second chiffre correspond à $10 f_{yb} / f_{ub}$, soit :

Repère	Appellation	$f_{ub} (MPa)$	$f_{yb} (MPa)$	$\Delta L/L (\%)$
HR 1	HR 10.9	1000	900	≥ 8
HR 2	HR 8.8	800	640	≥ 12

3.4. Assemblages résistant au glissement :

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

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

Avec :

- F_p est la force de précontrainte
- 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 :

$k_s = 1.0$ pour les trous à tolérances normales, à savoir :

- 1 mm pour les boulons $\varnothing 12$ et $\varnothing 14$
- 2 mm pour les boulons $\varnothing 16$ à $\varnothing 24$
- 3 mm pour les boulons $\varnothing 27$ et plus

$k_s = 0.85$ 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 à tolérances normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort .

$\gamma_{MS} = 1.40$ 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 :**

$\gamma_{MS} = 1.10$ pour les trous à tolérances normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort.

L'effort de précontrainte :

L'effort de précontrainte autorisé dans les boulons vaut :

$$F_p = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

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 suivante :

$$F_v \leq F_s = k_s \cdot m \cdot \mu (F_p - 0.8 \cdot F_T) / \gamma_{MS}$$

