

1. LES ASSEMBLAGES

1.1. Introduction

La conception et le calcul des assemblages revêtent, en construction métallique, une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction. Les ossatures ne présentent généralement pas de redondances importantes et les assemblages constituent donc des points de passage obligés pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels ; en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause .

La conception des assemblages est aussi l'étape au cours de laquelle doivent être concrétisées, avec autant de fidélité que possible, les hypothèses de liaison entre composants de la structure telles qu'elles ont été adoptées au stade de l'analyse globale, par définition avant que les profils ne soient arrêtés avec précision.

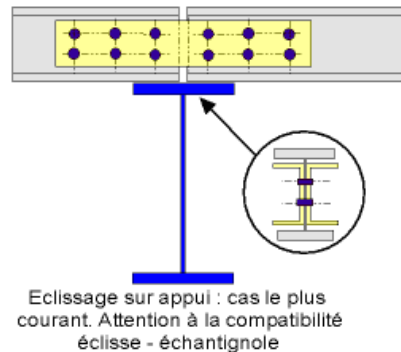
1.2. Généralités :

1.2.1. Rôle des assemblages

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitations parasites notamment de torsions.

Pour réaliser une structure métallique, on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler :

- soit bout à bout (éclissages, raboutages),



- soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes **réticulés**).

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- les assemblages articulés, qui transmettent uniquement les efforts normaux et tranchants,
- les assemblages rigides, qui transmettent en outre les divers moments.

Cette **dichotomie** est en fait une simplification pour mener les calculs, car, en réalité, les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi-articulés, semi-encastés, semi-rigides).

Les articulations, réalisées par boulonnage, n'ont pas l'apparence d'articulations classiques. Le critère caractéristique réside en fait dans la flexibilité à proximité du nœud.

1.2.2. Fonctionnement des assemblages

Les principaux modes d'assemblages sont :

- le rivetage,

- le boulonnage,
- le soudage,
- le collage,

qui correspondent à deux types de fonctionnement distincts : obstacle et/ou adhérence.

1.2.2.1. Fonctionnement par obstacle :

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

1.2.2.2. 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 collage, le boulonnage par boulons HR.

1.2.2.3. Fonctionnement mixte :

C'est le cas du rivetage (et dans les cas extrêmes, du boulonnage HR), à savoir que les rivets assurent la transmission des efforts par adhérence des pièces jusqu'à une certaine limite, qui lorsqu'elle est dépassée ; fait intervenir les rivets par obstacle, au cisaillement.

1.2.3. Précautions constructives :

Les assemblages constituent des zones particulières plus fragiles que les zones courantes des pièces ; car les sections sont réduites du fait des perçages ou la nature de l'acier affaiblie par la chauffe du soudage. En outre, les assemblages sont soumis à des sollicitations qui peuvent s'inverser et les contraintes peuvent changer de sens (une poutre de charpente peut fléchir dans le sens positif sous charge de neige et dans le sens négatif sous soulèvement par le vent).

C'est pourquoi il faut être particulièrement vigilant dans la conception et le calcul des assemblages, afin de se prémunir contre tout risque de rupture brutale.

Les Anciens ont coutume de dire qu'une charpente sous-dimensionnée, mais correctement assemblée, est préférable à une charpente correctement dimensionnée, mais mal assemblée.

Dans le premier cas, la réserve de plasticité autorisera l'apparition de grandes déformations, qui préviendront du risque possible.

En revanche, dans le second cas, aucune déformation prémonitoire ne sera observable avant la rupture brutale.

Mais un bon dimensionnement n'est pas suffisant, si la conception n'est pas correcte. Il faut assurer, au travers de l'assemblage, la transmission parfaite des forces, afin de ne pas créer d'efforts ou de moment secondaires parasites. Pour cela, quelques précautions élémentaires sont à prendre en compte :

- ▶ Il faut proscrire tout assemblage par recouvrement simple (figure 1.1.) et utiliser un assemblage symétrique par double couvre-joint (figure 1.2.) :

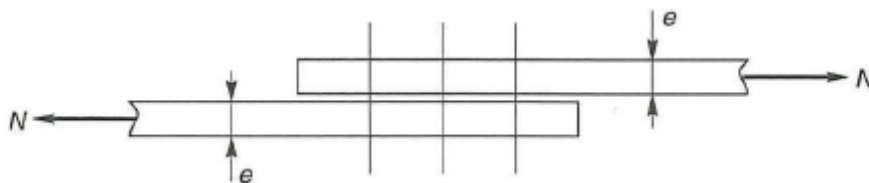


Figure 1.1. Assemblage par recouvrement simple (à exclure)

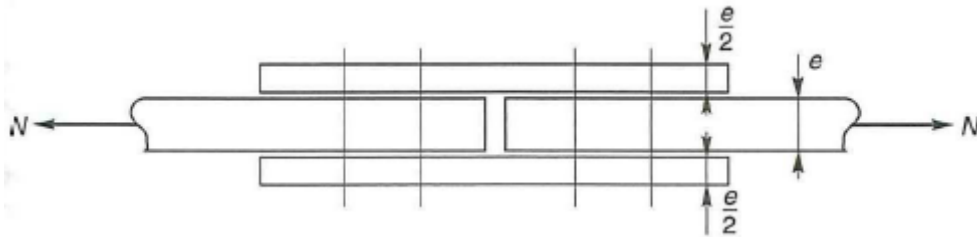


Figure 1.2. Assemblage symétrique par double couvre-joint (recommandé)

En effet, dans le cas de la figure 1.1, la dissymétrie crée un moment de flexion parasite et l'assemblage se déforme, comme le montre la figure 1.3.



Figure 1.3. Déformation possible causée par l'assemblage par recouvrement simple

- ▶ Il faut par ailleurs d'assurer que les axes neutres des barres soient concourants aux nœuds des treillis dans les systèmes réticulés. Ce n'est souvent pas le cas pour les treillis réalisés en cornières, de fait de la non-superposition des axes neutre et des axes de trusquinage. Il convient alors de prendre en compte les majorations des contraintes engendrées par les moments secondaires, tant au niveau des barres qu'au niveau du gousset.

Dans le cas de la figure 1.4, le moment secondaire vaut : $M = (F_2 - F_1) \cdot d$.

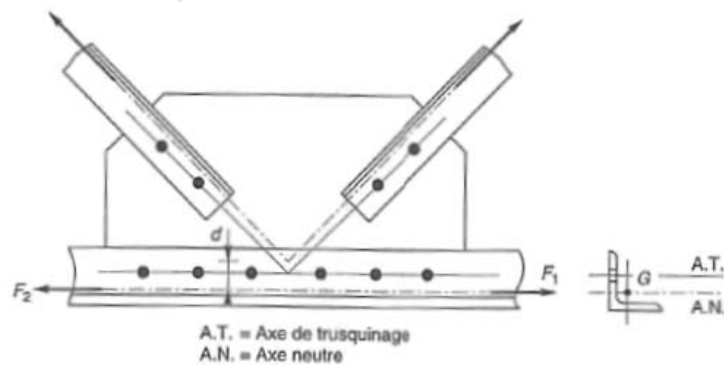


Figure 1.4. Moment parasite dans le cas des treillis réalisés en cornières

Nous allons examiner successivement :

- les assemblages par boulons ordinaires,
- les assemblages par bouillons précontraints,
- les assemblages par soudures.

Nous délaierons :

- les assemblages par rivets, pratiquement abandonnés de nos jours, du fait des difficultés inhérentes à leur mise en œuvre (particulièrement sur chantiers). Le rivetage reste cependant très utilisé pour assembler des tôles fines, les bardages, mais il s'agit dans ces cas de petits rivets « pop », scellés pneumatiquement, qui ne relèvent pas, à proprement parler, de la construction métallique.



Figure 1.5. Rivets « pop »

- les assemblages par collages, peu utilisés, car il s’agit d’une technique non encore réglementée, qui exige une préparation des surfaces particulièrement méticuleuse (assez soignée) , sans laquelle les colles (résines de synthèse), bien qu’extrêmement performantes, ne peuvent garantir la cohésion suffisante des assemblages.

1.2.4. Classification des assemblages

Les assemblages peuvent être classés en fonction de :

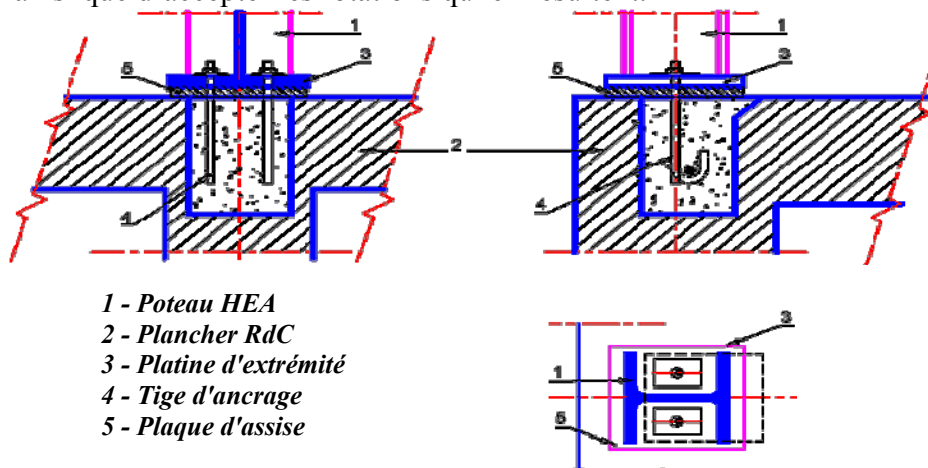
- leur rigidité,
- leur résistance.

1.2.4.1. Classification par rigidité :

Assemblages désignés comme articulations :

Un assemblage peut être considéré comme articulé s’il ne peut développer des moments significatifs qui seraient susceptibles d’exercer une influence défavorable sur les éléments de la structure.

Les assemblages de type articulé doivent être capables de transmettre les efforts calculés lors de leur conception ainsi que d’accepter les rotations qui en résultent.



- 1 - Poteau HEA
- 2 - Plancher RdC
- 3 - Platine d'extrémité
- 4 - Tige d'ancrage
- 5 - Plaque d'assise

Figure 1.6. Assemblage désigné comme articulation

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.

Les déformations des assemblages rigides ne doivent pas conduire à une réduction de la résistance de la structure supérieure à 5 %.

Les assemblages rigides doivent être capables de transmettre les efforts et moments calculés lors de leur dimensionnement.

Assemblages semi-rigides

Les assemblages qui ne satisfont pas aux critères concernant les assemblages rigides ou les assemblages articulés seront classés comme des assemblages semi-rigides.

Les assemblages semi-rigides doivent permettre de prévoir le niveau d’interaction entre les éléments structuraux, en se basant sur les caractéristiques moment-rotation des nœuds.

Ils doivent également être aptes à transmettre les efforts et moments calculés lors de leur conception.

1.2.4.2. Classification par résistance :

Assemblage de type articulé :

Un assemblage de type articulé doit transmettre les efforts calculés, sans développer de moments significatifs qui pourraient exercer une influence défavorable sur les éléments de la structure.

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 résistances des éléments structuraux connectés.

Assemblage à résistance partielle :

La résistance d'un assemblage à résistance partielle est par définition inférieure à celle de l'élément structural assemblé.

La figure 1.7 montre l'intérêt des assemblages semi-rigides (moment en travée et moment sur appuis égaux).

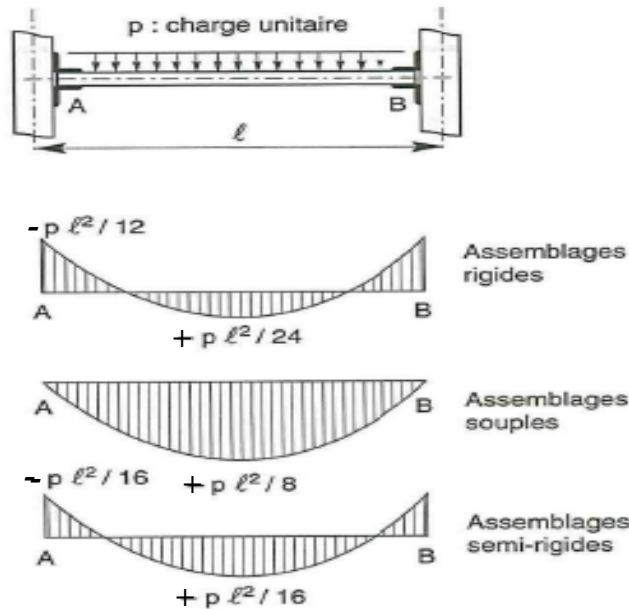


Figure 1.7. Diagramme des moments fléchissants avec divers modes de liaison

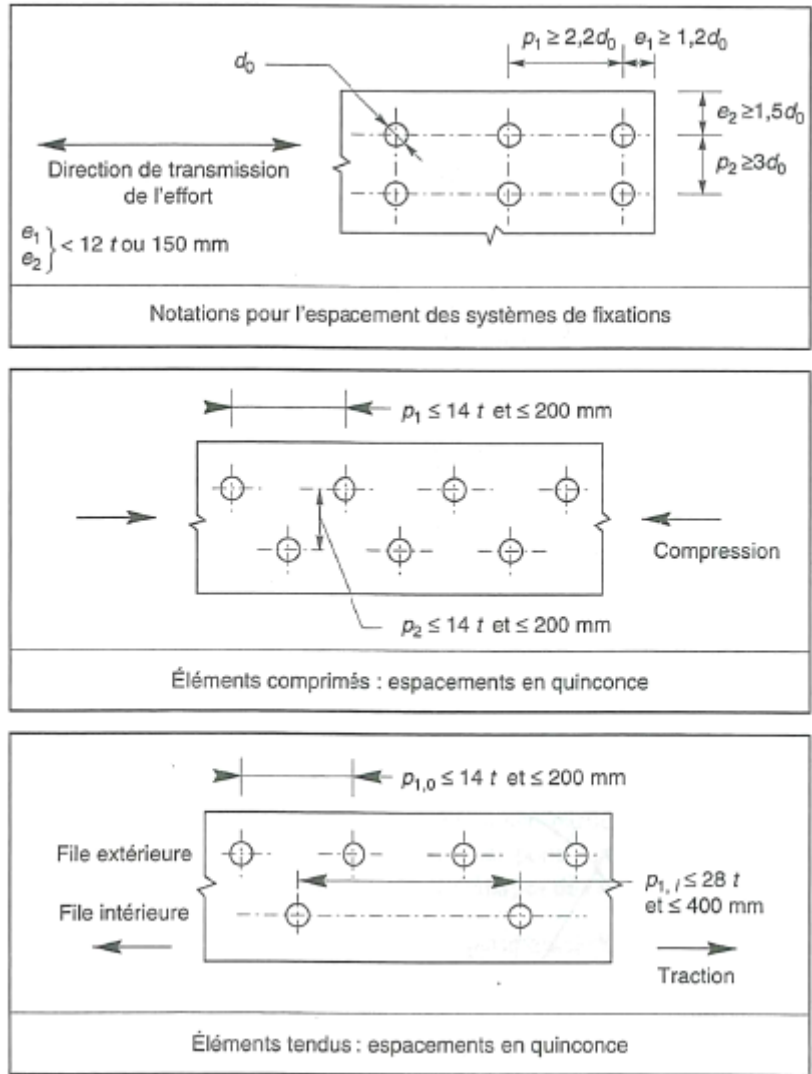
1.3. Les assemblages boulonnés

1.3.1. Positionnement des boulons

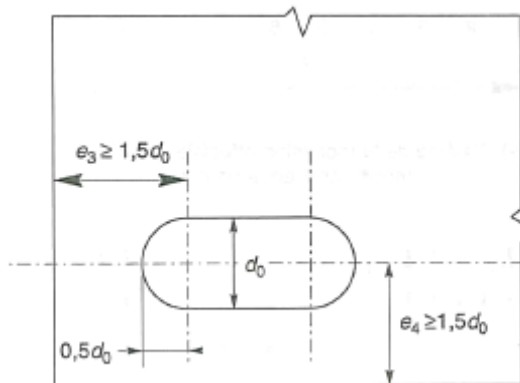
La distance entre axes des boulons ainsi qu'entre axes des boulons et bords des pièces (pinces) sont limitées par :

- des valeurs minimales :
 - pour faciliter la mise en place des boulons,
 - pour permettre le passage des clés,
 - pour éviter le déchirement des tôles (à la manière des timbres postaux).
- des valeurs maximales :
 - pour conserver un bon contact entre les pièces assemblées (ce qui augmente le frottement et limite les risques de corrosion)
 - pour éviter des assemblages trop longs (voir le paragraphe 1.3.2).

Les pinces longitudinales (e_1) et transversales (e_2) ainsi que les entraxes minimum et maximum (p_1 et p_2) pour les boulons et rivets sont donnés sur la figure 1.8. (t : l'épaisseur la plus mince des pièces assemblées).



a) trous circulaires



b) trous oblongs

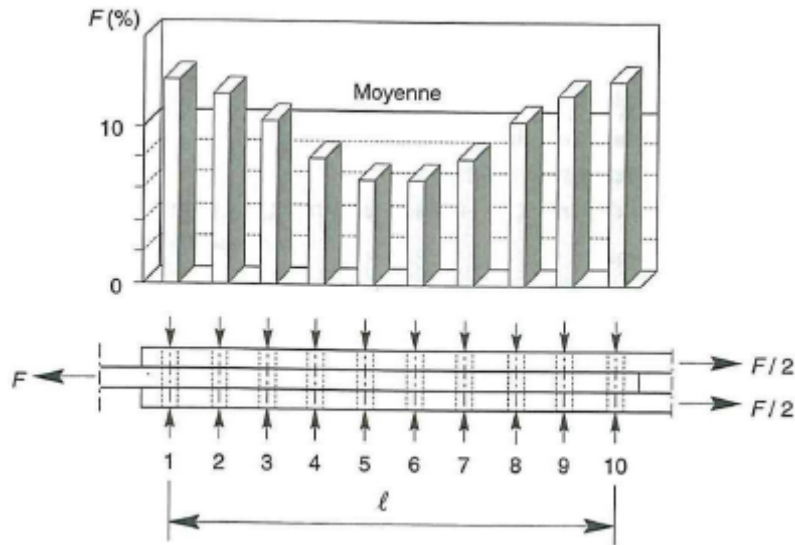
Figure 1.8. Pincés et entraxes à respecter pour un assemblage boulonné

1.3.2. Effet de la longueur de l'assemblage

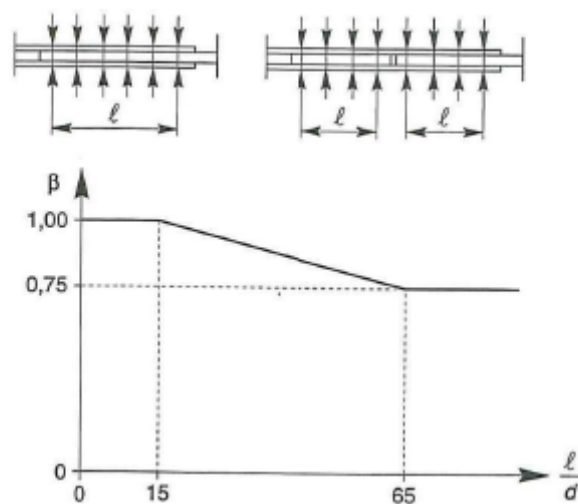
L'étude des assemblages sollicités au cisaillement a mis en évidence l'influence de la longueur de l'assemblage sur la charge de ruine. Les plus grandes déformations se situent aux extrémités de l'assemblage ; les boulons des extrémités sont donc plus sollicités que les boulons centraux.

Tous les boulons d'un assemblage sollicité au cisaillement ne transmettent pas la même charge. Lors de la vérification d'un assemblage dont la distance entre le premier et le dernier boulon d'une tôle dépasse 15 fois le diamètre d du boulon, on tiendra compte de ce phénomène en multipliant la résistance ultime théorique par un facteur de réduction β donnée par :

$$\beta = 1 - \frac{(l - 15.d)}{200.d} \text{ avec } 0,75 \leq \beta \leq 1$$



c) Schéma de la répartition effective des efforts repris par chaque boulon



d) Loi de réduction pour le calcul de la résistance ultime d'un assemblage

Figure 1.9. Influence de la longueur de l'assemblage

1.3.3. Section nette – Lignes de rupture

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

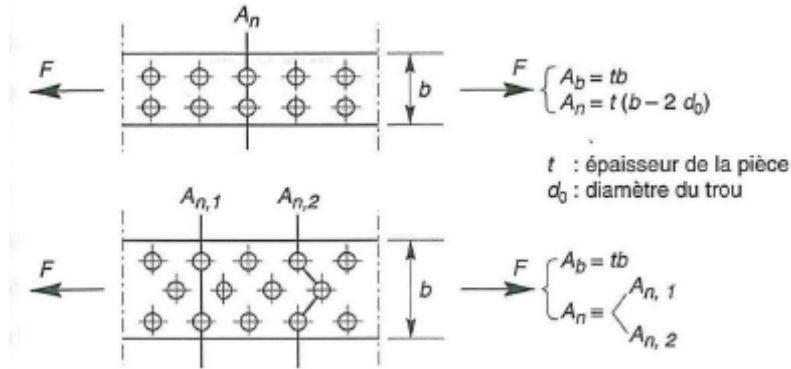


Figure 1.10. Définition de la section brute A et de la section nette A_{net}

La résistance ultime en traction vaut :

$$N_u = 0,9 \times f_u \times \frac{A_{net}}{\gamma_{M2}} \quad \text{avec } \gamma_{M2} = 1,25$$

1.3.4. Effet de levier

Un assemblage réalisé avec des tôles d'épaisseur insuffisantes, se déforme. Cette déformation conduit à une augmentation de l'effort dans le boulon, due à la force Q , appelée « force de levier ».

Cette force supplémentaire Q peut provoquer une rupture prématurée des boulons. La figure suivante montre l'évolution de la traction P_b dans un boulon précontraint, pour un assemblage sollicité à la traction. La rupture du boulon a lieu pour une force extérieure N_1 plus petite que la charge ultime N_2 d'un assemblage de tôles rigides.

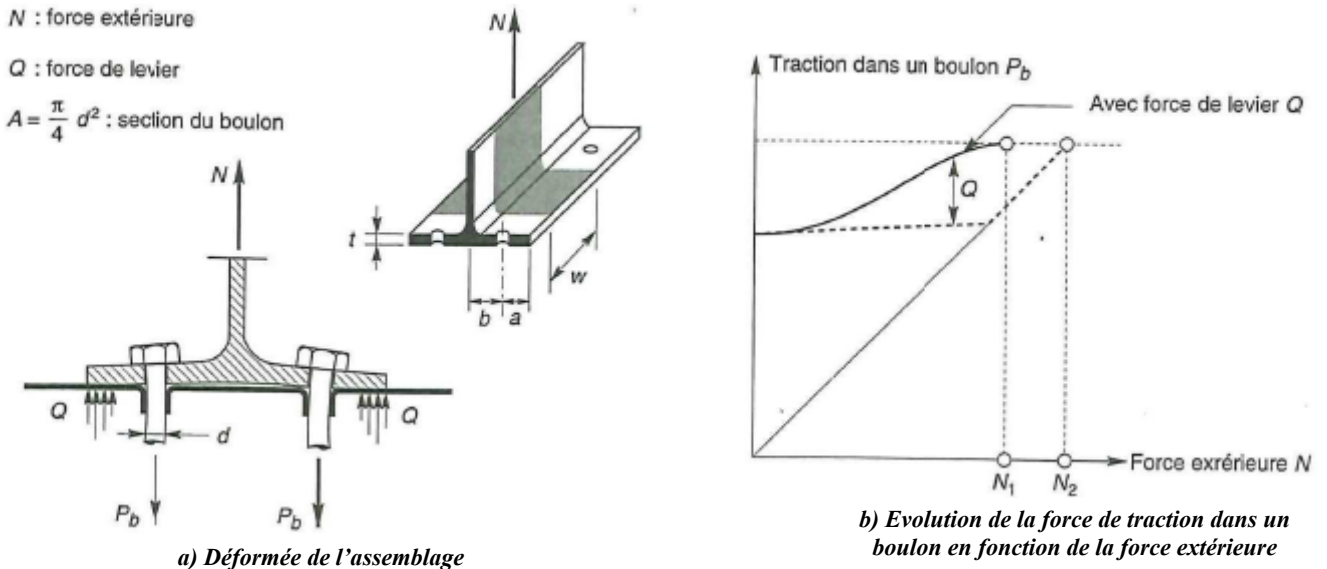


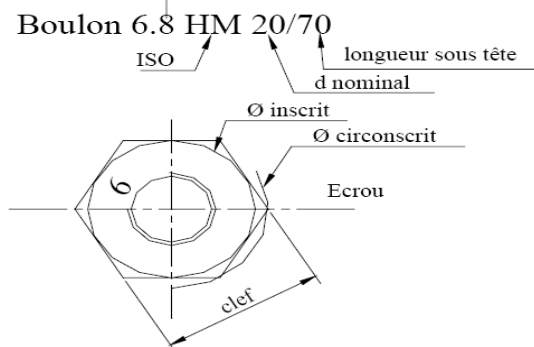
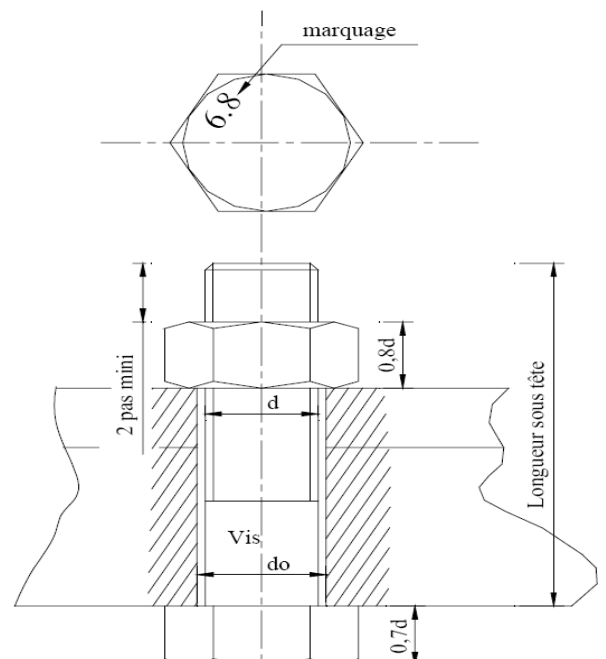
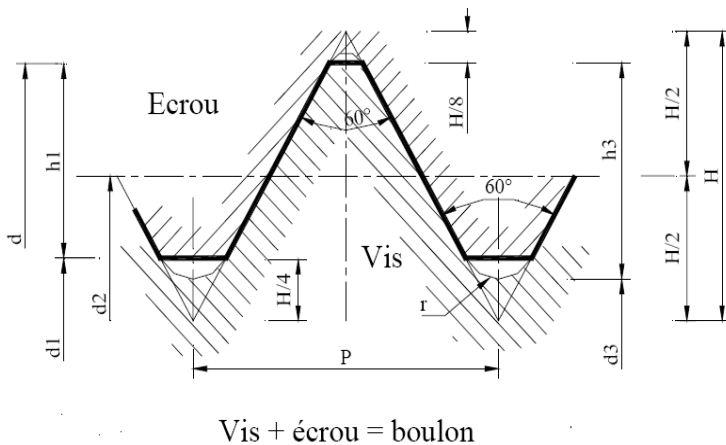
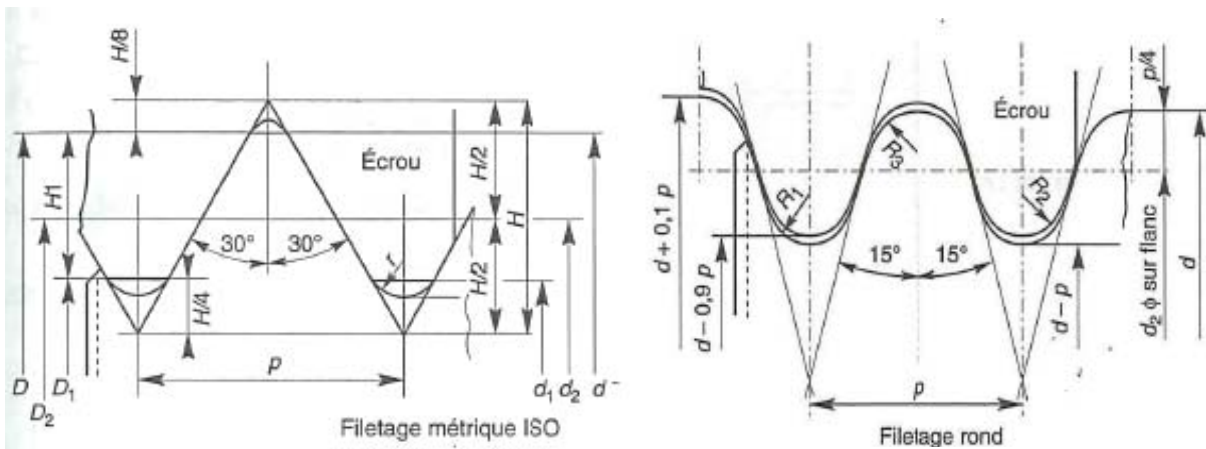
Figure 1.11. Evolution de la traction P_b dans un boulon précontraint

Une estimation de la force de levier peut être trouvée avec la formule suivante :

$$Q = \left[\frac{0,5 - \frac{w.t^4}{30ab^2.A}}{\frac{a}{b} \left[\frac{a}{3b} + 1 \right] + \frac{w.t^4}{6.ab^2.A}} \right] \cdot \frac{N}{2}$$

1.3.5. Caractéristiques géométriques des boulons

Les filetages sont ISO pour les boulons ordinaires et RONDS pour les boulons précontraints.
 La notation est, pour un boulon de 20 mm, par exemple (c'est-à-dire $d = 20\text{mm}$) sont :
 En ISO $M20$ et en ROND en ROND : $MRd\ 20$



- P : Pas**
- d : diamètre nominal**
- $d_1 = d - 1,0825 P$ (diamètre intérieur de l'écrou)
- $d_2 = d - 0,6495 P$
- $d_3 = d - 1,2268 P$ (diamètre du noyau de la vis)
- $r = 0,1443 P$

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

L'EC3 n'autorise que sept classes mécaniques de boulons. Les caractéristiques mécaniques des boulons nécessaires sont :

Valeurs de la limite d'élasticité f_{yb} et de la résistance à la traction f_{ub} des boulons							
Types de boulons	Ordinaires					Précontraints	
Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
Limite d'élasticité f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
Résistance à la traction f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Pour une classe X.Y donnée, $f_{yb} = 10 \times X \times Y$ et $f_{ub} = 100 \times X$.

Les boulons de classe 8.8 et 10.9 sont appelés boulons à Haute Résistance (ou boulons HR), ce sont les seuls autorisés pour les assemblages par boulons précontraints.

Exemple :

Lorsqu'on note : boulon **6.8 HM 20/70**

La classe est **6.8** donc : $f_{yb} = 10 \times 6 \times 8 = 480 \text{ N/mm}^2$ et $f_{ub} = 100 \times 6 = 600 \text{ N/mm}^2$.

Le diamètre nominal du boulon est : $d = 20 \text{ mm}$

La longueur du boulon sous sa tête est : **70 mm**

1.3.7. Dimensionnement des boulons ordinaires (non précontraints)

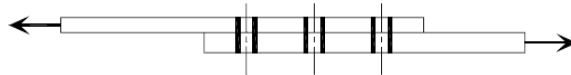
1.3.7.1. Coefficients partiels de sécurité

- Résistance des boulons sollicités à la traction : $\gamma_{Mb} = 1,50$
- Dans les autres cas (cisaillement, cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon et de l'écrou, ..) : $\gamma_{Mb} = 1,25$

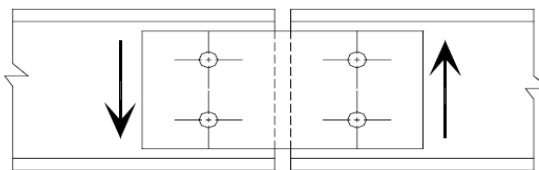
1.3.7.2. Assemblages sollicités au cisaillement :

Exemples

- 1) Les boulons doivent s'opposer au glissement des 2 pièces → Les pièces travaillent en traction → Le boulon est cisailé.



- 2) Les boulons s'opposent à la translation des 2 profils → Il y a glissement plan sur plan de l'âme et du couvre joint → Les boulons sont cisailés

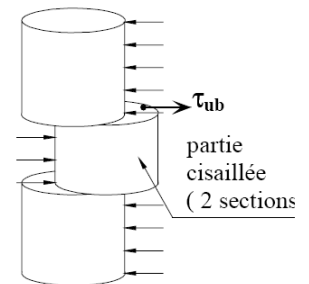


- 3) L'effort est perpendiculaire à l'axe des boulons → Les boulons sont cisailés.

Donc, le boulon joue le rôle de butée. Il exerce une réaction sur les pièces assemblées : pression diamétrale.

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.



Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement :

- pour les classes de qualité 4.6, 5.6, 6.6 et 8.8 :

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

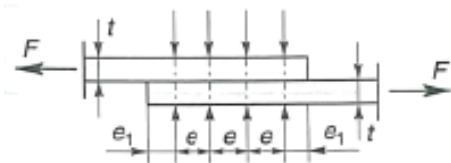
- pour les classes de qualité 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 :

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

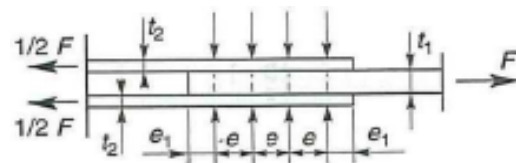
Avec :

$A_b = A$: 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.



a) Une section cisailée (m = 1)



b) Deux sections cisailées (m = 2)

Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées

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

Avec : $\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right\}$

d : diamètre du boulon

d_0 : diamètre du trou

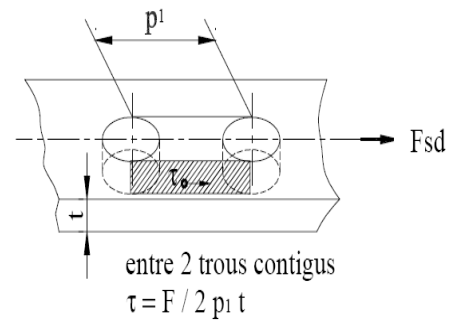
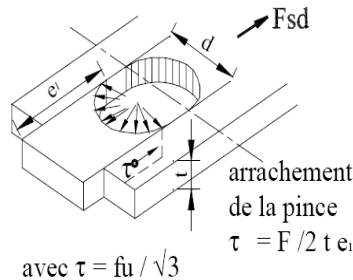
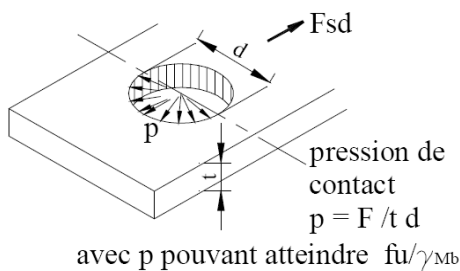
t : épaisseur de la pièce

e_1 : pince longitudinale

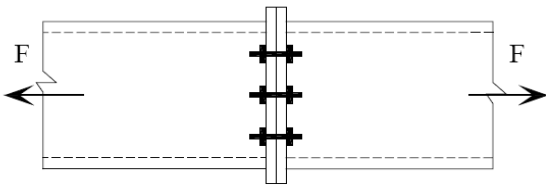
p_1 : Entraxe des boulons

f_{ub} : Résistance à la traction des boulons

f_u : Résistance à la traction de la pièce assemblée



1.3.7.3. Assemblages sollicités à la traction :



- Il y a 2 modes de ruine possible
- Rupture du boulon
 - Poinçonnement des plaques en contact avec la tête du boulon

La résistance en traction des boulons vaut :

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

La valeur de la section résistante A_s des boulons à la traction est donnée dans le tableau suivant :

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

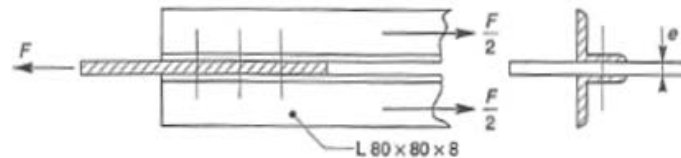
La section résistante A_s d'un boulon est : $A_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}$, d_s étant le diamètre résistant, calculé comme la moyenne arithmétique entre le diamètre en fond de filet d_1 et le diamètre sur flanc d_2 déjà définis dans le paragraphe 1.3.5.

1.3.7.4. 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 :

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

Exemple d'application : assemblage de deux cornières sur un gousset



Question :

Déterminer le nombre de boulons nécessaires pour cet assemblage.

Données :

$F = 440$ kN , $e = 8$ mm, Acier S.235, diamètre des boulons $\phi 16$ et classe 8.8.

1.3.8. Dimensionnement des boulons précontraints

1.3.8.1. Principe

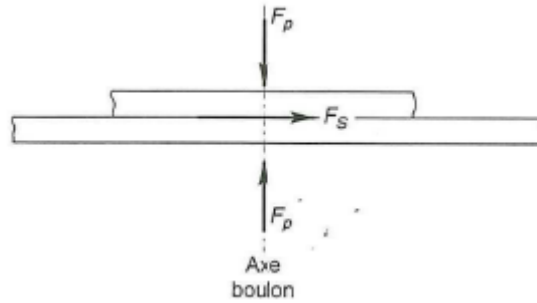
Bien que présentant le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (haute résistance) est constitué d'acier à haute limite élastique et comporte une rondelle incorporée à la tête. Lors du boulonnage, il est serré fortement, ce qui a pour effet de lui communiquer un effort de précontrainte, qui agit 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.

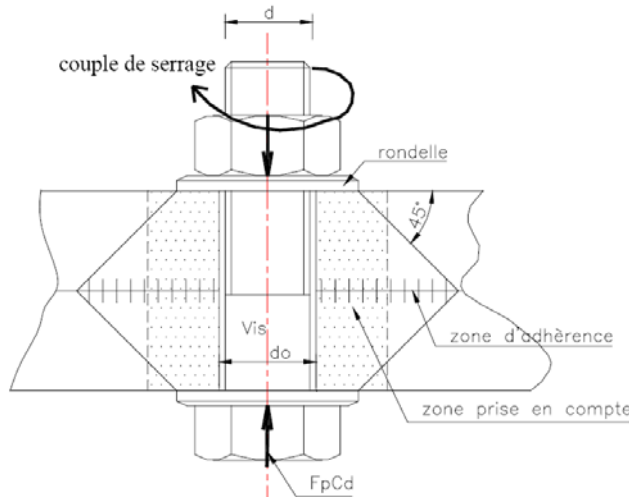
Si F_p est l'effort de précontrainte axial dans un boulon et F_s l'effort de cisaillement transmis par l'assemblage et sollicitant le boulon, il faut vérifier que l'interface des pièces en contact puisse transmettre l'effort tangent, sans glissement, soit :

$$F_s \leq \mu \cdot F_p$$



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 en 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.



Les pièces sont pincées par un effort F_p perpendiculaire au plan de contact. Le frottement est mobilisé.

F_p est obtenu par serrage des boulons qui n'ont en fait que le rôle de pincer les pièces entre elles de manière à ce que l'assemblage se réalise par frottement.

Le boulon précontraint engendre une contrainte normale à l'interface des pièces de l'assemblage.

Chaque boulon possède une zone d'action limitée que l'on peut modéliser par un cône.

Plusieurs paramètres interviennent dans la résistance de l'assemblage :

- La force de précontrainte
- L'état de surface des pièces en contact
- La forme et les dimensions du trou
- Le nombre de plan de contact

La force de précontrainte :

La force de précontrainte est la force normale au plan de cisaillement créée par le serrage du boulon. C'est aussi par principe d'action et de réaction l'effort de traction qui règne dans la vis du boulon.

L'effort de précontrainte autorisé dans les boulons vaut :

$$F_p = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

L'intérêt est d'avoir une résistance à la traction f_{ub} la plus élevée possible. C'est pourquoi seuls **les boulons de classe 8.8 et 10.9** sont autorisés pour les assemblages par boulons précontraints.

L'état de surface des pièces en contact

La transmission d'un effort perpendiculaire à l'axe du boulon repose sur le frottement à l'interface des pièces. L'état de surface des pièces en contact est donc un paramètre fondamental.

L'effort transmis peut varier de 1 à 2.5 en fonction de l'état de surface, donc du type de traitement de surface des pièces. Seuls quatre types de traitement de surface ont été retenus, qualifiés et quantifiés réglementairement.

La forme et la dimension des trous

Les boulons sont toujours montés avec un jeu. Plus le jeu est grand, plus la surface de frottement est faible donc plus la résistance de l'assemblage est faible.

Un coefficient de forme sera donc introduit réglementairement pour quantifier cette influence dans le calcul de la résistance de l'assemblage.

1.3.8.2. Précautions constructives

Un bon assemblage par boulon 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 être appliquée à sa valeur de calcul (d'où l'importance du couple de serrage et la nécessité d'utiliser 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.

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.

- Le serrage doit être effectué progressivement, dans un ordre préétabli (défini par les normes NF P.22464/466/468/469), 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 ».

1.3.8.3. 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} :

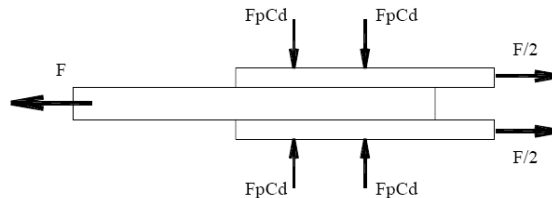
- les boulons HR 1 ou HR 10.9,

- les boulons HR 2 ou HR 8.8.

Soit :

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

1.3.8.4. 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, telle que définie au paragraphe suivant,
- μ est le coefficient de frottement des pièces,
- m est le nombre d'interfaces de frottement (nombre de surfaces d'adhérence),
- k_s est un coefficient fonction de la dimension des trous de perçage,
- γ_{MS} est le coefficient partiel de sécurité qui dépend de l'état limite examiné et de trous de perçage.

Coefficient k_s		Coefficient partiel de sécurité γ_{MS}		
		Etat limite	ELU	ELS
Trous à tolérances normales (1)	1,0	Trous à tolérances normales (1)	1,25	1,10
Trous circulaires surdimensionnés (2)	0,85	Trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort	1,25	1,10
Trous oblongs courts (3)	0,85	Trous surdimensionnés (2)	1,40	-
Trous oblongs longs (4)	0,7	Trous oblongs dont le grand axe est parallèle à l'axe de l'effort	1,40	-

(1) Trous circulaires à tolérances normales

Diamètre des boulons d en mm	Diamètre des trous d_0 en mm
12 à 14	$d + 1$
16 à 24	$d + 2$
> 27	$d + 3$

(2) Trous circulaires surdimensionnés : $d_0 = d + 3\text{mm}$ à $d + 8\text{ mm}$ suivant les diamètres.

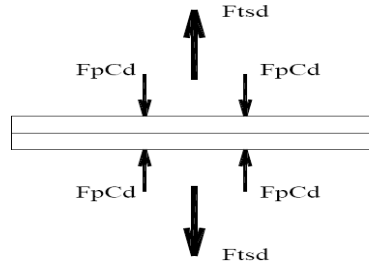
(3) Trous oblongs courts : allongés de $d + 4\text{ mm}$ à $d + 10\text{ mm}$ suivant les diamètres.

(4) Trous oblongs longs : allongés à $2,5 d$

1.3.8.5. Assemblages résistant à la traction

Un boulon précontraint est déjà, sous l'action de la force de précontrainte, tendu à environ 70% de sa résistance à la traction. Si on ne raisonne que sur les efforts, on pourrait penser qu'un boulon précontraint n'est capable d'équilibrer qu'un effort de traction égal à 30% de sa résistance à la traction.

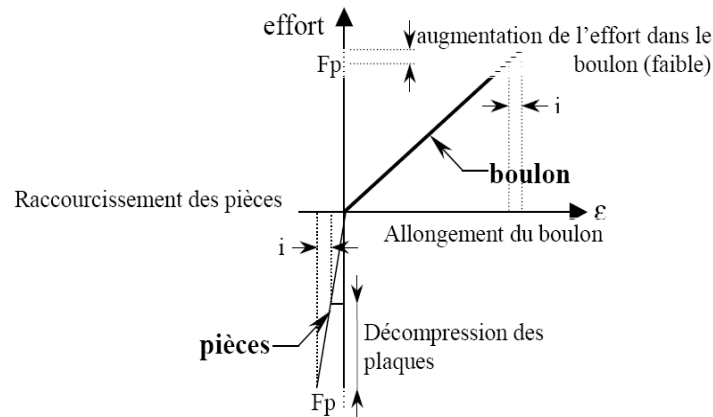
Ce raisonnement est faux car il ne prend pas en compte le comportement global du système boulons plus plaques. L'analyse doit se faire en tenant compte de la relation contraintes-déformations du système plaques- boulon.



Lorsque l'on applique un effort de traction F extérieur, les pièces vont se décompresser. La section comprimée des pièces est beaucoup plus grande que la section tendue du boulon.

La déformation des pièces i (faible) sera égale à la déformation du boulon (compatibilité des déformations).

En conséquence, l'accroissement d'effort de traction dans le boulon sera donc beaucoup plus faible que l'effort de traction appliqué à l'ensemble pièces-boulon



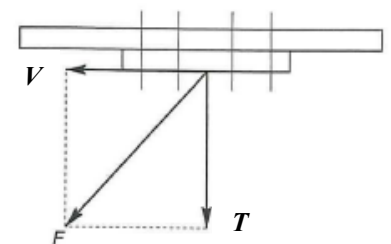
Quoi qu'il en soit, on peut retenir pour les boulons précontraints, un effort résistant en traction identique à celui admis pour un boulon ordinaire avec $\gamma_{Mb} = 1,50$

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

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

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

$$V \leq F_S = k_s \cdot m \cdot \mu \cdot \frac{(F_P - 0,8.T)}{\gamma_{MS}}$$

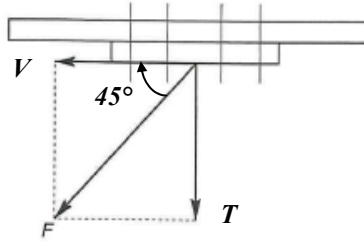


Exemple d'application :

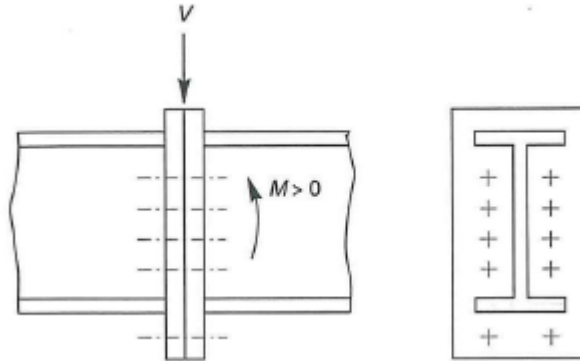
Soit l'assemblage suivant réalisé par 8 boulons HR 8.8, de 16 mm de diamètre.

Quelle est la charge maximale pondérée F que pourra supporter cet assemblage dans les deux cas suivant : 1) trous à tolérance normale, 2) trous surdimensionnés.

On donne : $\mu = 0,4$



1.3.8.7. Assemblages par platines sollicités par un moment fléchissant et un effort tranchant :



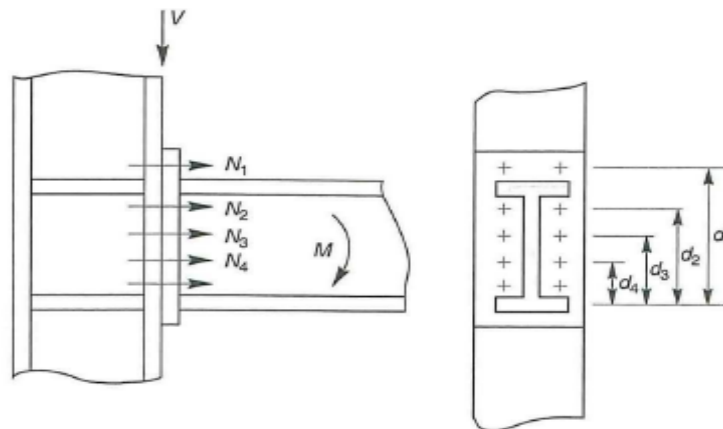
Résistance de l'assemblage à l'effort tranchant V

Il faut vérifier que l'effort de cisaillement V_1 par boulon soit tel que :

$$V_1 = \frac{V}{n} \leq F_s = k_s \cdot m \cdot \mu \cdot \frac{F_p}{\gamma_{MS}}$$

Résistance de l'assemblage au moment fléchissant

Le moment résistant M_R de l'assemblage est obtenu par la somme des produits des efforts de traction dans les rangées de boulons situés dans la zone tendue par leurs distances respectives au centre de résistance de la zone comprimée (c'est-à-dire l'axe neutre de la semelle comprimée).(voir figure suivante).



$$M_R = N_1 \cdot d_1 + N_2 \cdot d_2 + \dots = \sum N_i \cdot d_i$$

Efforts N_i dans les boulons :

La proportionnalité entre l'effort N_i et la distance d_i permet d'écrire : $\frac{N_1}{d_1} = \frac{N_2}{d_2} = \frac{N_3}{d_3} = \dots$

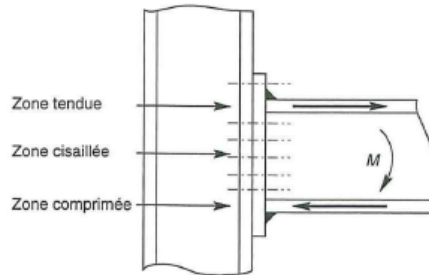
$$M_R = N_1 \cdot d_1 + N_2 \cdot d_2 + N_3 \cdot d_3 + \dots = \frac{N_1}{d_1} (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots)$$

D'où : $N_1 = \frac{M_R \cdot d_1}{\Sigma d_i^2}$, soit : $N_i = \frac{M_R \cdot d_i}{\Sigma d_i^2} \leq n \cdot F_p$

Avec n = nombre de boulons par rangée.

Il convient parallèlement de vérifier la résistance de l'âme du poteau :

- dans la zone tendue,
- dans la zone comprimée,
- dans la zone cisailée.



Résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue :

$$F_t = \frac{f_y \cdot t_{wc} \cdot b_{eff}}{\gamma_{MO}}$$

Avec : t_{wc} = épaisseur âme poteau
 $b_{eff} = p$ = entraxe rangées boulons.

Résistance de l'âme du poteau dans la zone comprimée :

- âme non raidie :

$$F_C = f_y \cdot t_{wc} \cdot \left(1,25 - 0,5 \cdot \gamma_{MO} \cdot \frac{\sigma_n}{f_y} \right) \cdot \frac{b_{eff}}{\gamma_{MO}}$$

Avec :

σ_n = contrainte normale de compression dans l'âme du poteau due à l'effort de compression et au moment fléchissant.

$$b_{eff} = t_{fb} + 2 t_p + 5(t_{fc} + r_c)$$

t_{fb} = épaisseur semelle poutre

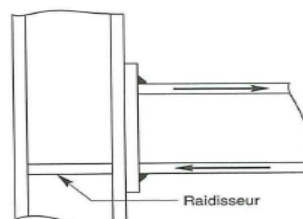
t_{fc} = épaisseur semelle poteau

t_p = épaisseur platine extrémité

r_c = rayon de raccordement âme/semelle du poteau

- âme raidie :

Aucune vérification n'est nécessaire dès lors que les raidisseurs ont une épaisseur égale à celle des semelles de la poutre



Résistance de l'âme du poteau dans la zone cisailée (âme non raidie) :

$$V_r = 0,58 f_y . h . \frac{t_{wc}}{\gamma_{MO}}$$

Si la résistance s'avère insuffisante, il faut raidir l'âme, soit par une fourrure d'âme, soit par des raidisseurs diagonaux.

