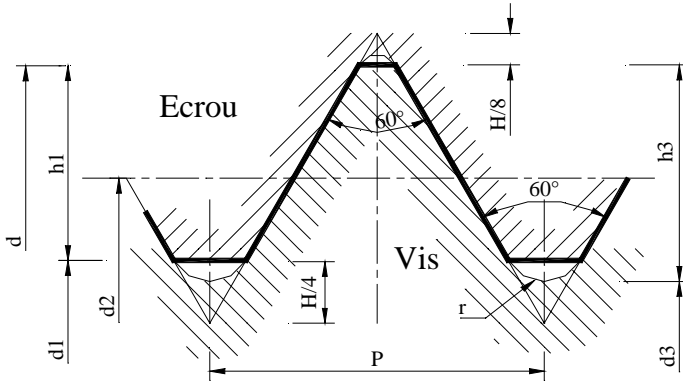


# Assemblage par boulons

## 1. Caractéristiques géométriques



Vis + écrou = boulon

P: Pas

d: diamètre nominal

$d1 = d - 1,0825 P$

$d2 = d - 0,6495 P$

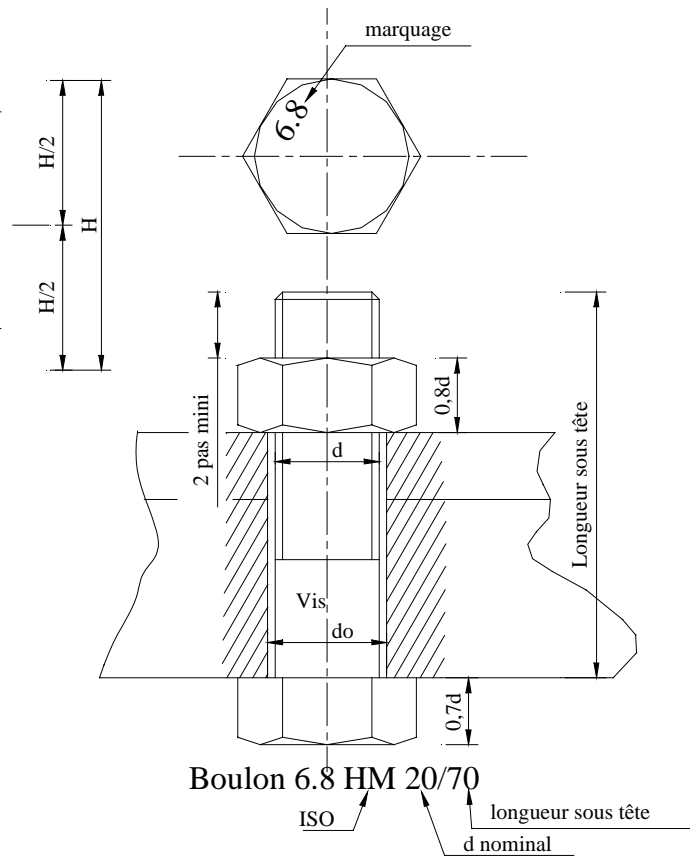
$d3 = d - 1,2268 P$

$r = 0,1443 P$

Diamètre des trous  $d_o$

Diamètre du boulon  $d$

d	$d_o$
M 12, 14	$d+1$
M 16 à 24	$d+2$
>M 27	$d+3$

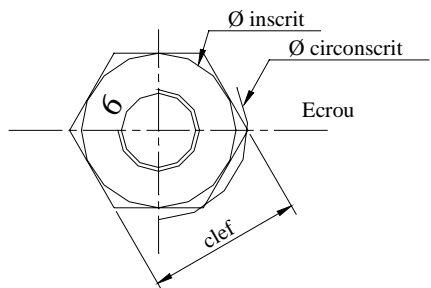


Boulon 6.8 HM 20/70

ISO

longueur sous tête

d nominal



Diamètre nominal d	Pas P	Clef	Diamètre du noyau de la vis d3	Diamètre intérieur de l'écrou d1	Diamètre de la rondelle	Section résistante As	Diamètre moyen dm	Tôle usuelle	Cornière usuelle
8	1.25	13	6.466	6.647	16	36.6	14	2	30
10	1.5	17	8.160	8.376	20	58.0	18.3	3	35
12	1.75	19	9.853	10.106	24	84.3	20.5	4	40
14	2	22	11.546	11.835	27	115	23.7	5	50
16	2	24	13.546	13.835	30	157	24.58	6	60
18	2.5	27	14.933	15.294	34	192	29.1	7	70
20	2.5	30	16.933	17.294	36	245	32.4	8	80
22	2.5	32	18.933	19.294	40	303	34.5	10.14	120
24	3	36	20.319	20.752	44	353	38.8	>14	>120
27	3	41	23.319	23.752	50	459	44.2	-	-
30	3.5	46	25.706	26.211	52	561	49.6	-	-
33	3.5	50	28.706	29.211		694		-	-
36	4		31.093	31.670		817		-	-

## 2. Caractéristiques mécaniques des boulons

L'EC3 n'autorise que sept classes mécaniques de boulons. Temporairement, en France subsiste la classe 6.6.

Les caractéristiques mécaniques des boulons nécessaires sont :

$f_{yb}$  : limite d'élasticité

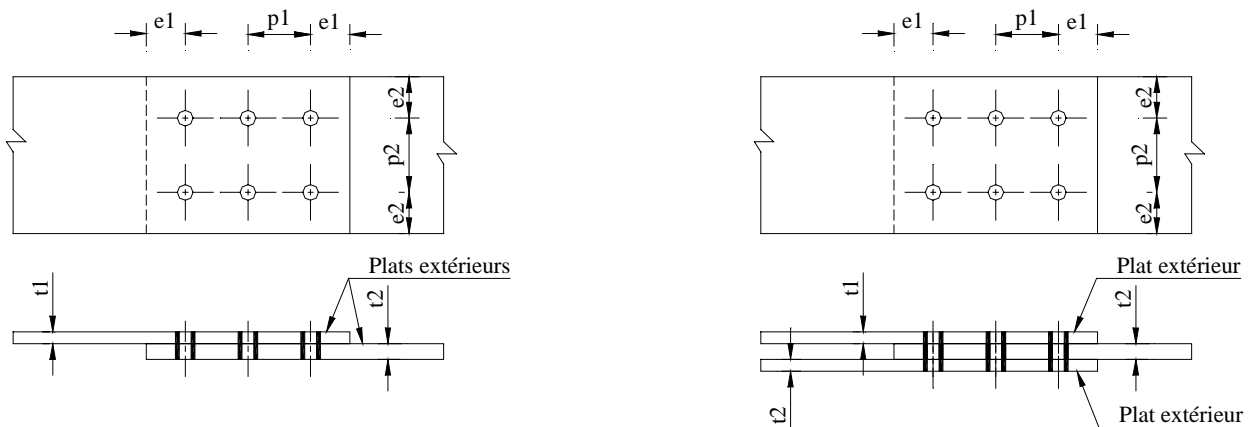
$f_{ub}$  : résistance à la traction

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	6.6
$f_{yb}$ (Mpa)	240	320	300	400	480	640	900	360
$f_{ub}$ (Mpa)	400	400	500	500	600	800	1000	600

Pour une classe XY donnée,  $f_{yb} = 10 XY$ ,  $f_{ub} = 100X$ .

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.

## 3. Dispositions constructives réglementaires



$d_0$  diamètre du trou

$t$  épaisseur du plat extérieur le plus mince (min de  $t_1$  ou  $t_2$ )

$1,2d_0$ ( $1,5 d_0$ pour serrage contrôlé)	$\leq$ Pince longitudinale $e_1 \leq$	maxi (12t ou 150 mm)
$1,5 d_0$	$\leq$ Pince transversale $e_2 \leq$	maxi (12t ou 150 mm)
$2,2 d_0$	$\leq$ entraxe $p_1$ (cas général) $\leq$	mini (14t ou 200 mm)
$2,2 d_0$	$\leq$ entraxe $p_1$ (file intérieure, élément tendu) $\leq$	mini (28t ou 400 mm)
$3 d_0$	$\leq$ entraxe $p_2 \leq$	mini (14t ou 200 mm)

La valeur minimale de  $e_1$  doit être augmentée s'il est nécessaire d'obtenir une résistance adéquate à la pression diamétrale.

Si intempéries ou risques de corrosion :

$$e_1 \leq 40\text{mm} + 4t$$

$$e_2 \leq 40\text{mm} + 4t$$

## 4. Résistance de calcul des boulons

$\gamma_{Mb}$  : coefficient partiel de sécurité sur l'acier

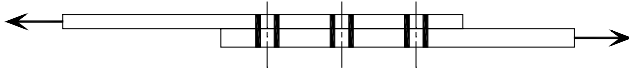
$\gamma_{Mb} = 1.50$  pour la résistance de boulons sollicités en traction

$\gamma_{Mb} = 1.25$  dans les autres cas (cisaillement, cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon et de l'écrou, ..)

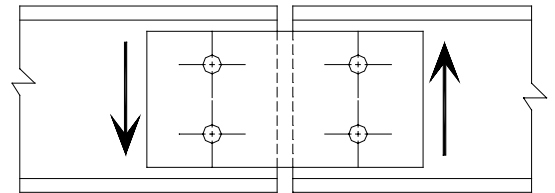
### Assemblage par boulons obstacles

#### 1. Boulons cisillés

Exemples



Les boulons doivent s'opposer au glissement des 2 pièces  
Le boulon est cisillé.  
les pièces travaillent en traction

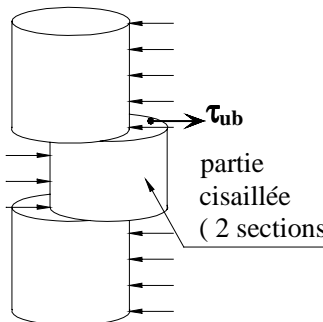


Les boulons s'opposent à la translation des 2 profils.  
Il y a glissement plan sur plan de l'âme et du couvre joint.  
Les boulons sont cisillés

L'effort est perpendiculaire à l'axe des boulons  
Les boulons sont cisillés

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

**Résistance au cisaillement par plan de cisaillement ( $F_{v,Rd}$ )**



$f_{ub}$  résistance à la traction du boulon  
 $0.6 f_{ub}$  résistance au cisaillement ( $\tau_{ub} = f_{ub}/\sqrt{3}$ )

▪ Si le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon  
As section résistante du boulon

• Pour les classes 4.6, 5.6 6.6 et 8.8

$$F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A_s / \gamma_{Mb} \text{ avec } \gamma_{Mb} = 1.25$$

• Pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 qui présentent des capacités de déformations plus faibles

$$F_{v,Rd} = 0.5 f_{ub} A_s / \gamma_{Mb} \text{ avec } \gamma_{Mb} = 1.25$$

▪ Si le plan de cisaillement passe par la partie non fileté du boulon

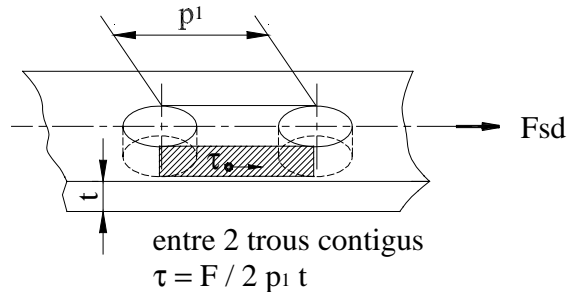
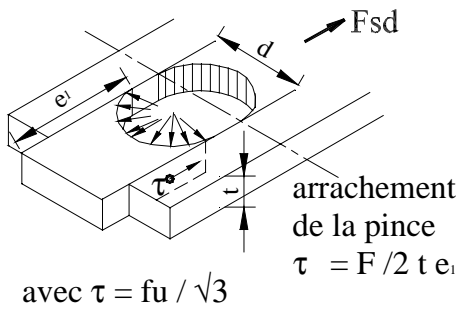
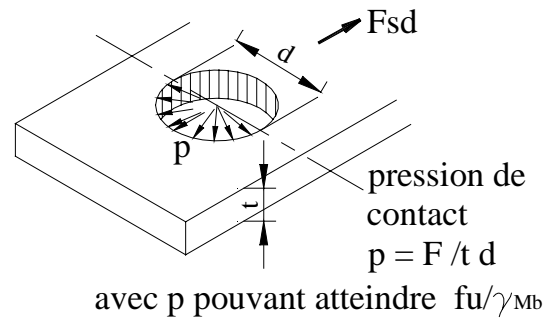
$$F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A / \gamma_{Mb} \text{ avec } \gamma_{Mb} = 1.25$$

## Résistance à la pression diamétrale

$$F_{bRd} = 2.5 \alpha f_u d t / \gamma_{Mb} \quad \text{avec } \gamma_{Mb}=1.25$$

Avec  $\alpha$  mini de :  $\{ e_1/3d_0 ; p_1/3d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u \text{ ou } 1 \}$   
 Avec :

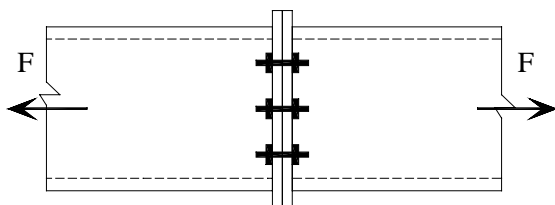
d diamètre du boulon  
 d<sub>0</sub> diamètre du trou  
 t épaisseur de la pièce  
 e<sub>1</sub> pince longitudinale  
 p<sub>1</sub> Entraxe des boulons  
 f<sub>ub</sub> Résistance à la traction des boulons  
 f<sub>u</sub> Résistance à la traction de la pièce  
 assemblée



## Résistance à la traction des pièces

Acier	S235	S275	S355
f <sub>u</sub> en Mpa	360	430	510

## 2. Boulons tendus



Il y a 2 modes de ruine possible

- Rupture du boulon
- Poinçonnement des plaques en contact avec la tête du boulon

## Résistance en traction du boulon ( F<sub>t,Rd</sub> )

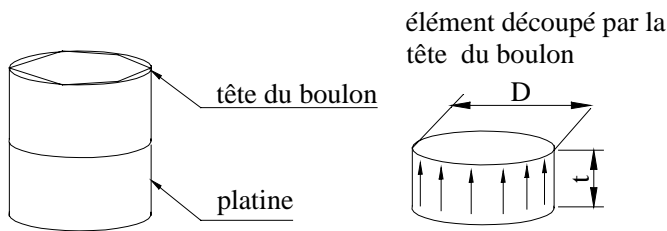
Soit A<sub>s</sub> la section la plus faible du boulon ( suivant les cas, section résistante ou section à fond de filet). L'effort de traction résistant est de A<sub>s</sub> f<sub>ub</sub> après de nombreux essais, cette valeur est minorée par un coefficient 0.9 et on applique un coefficient de sécurité sur l'acier.

$$F_{t,Rd} = 0.9 A_s f_{ub} / \gamma_{Mb} \quad \text{avec } \gamma_{Mb} = 1.5$$

4

### Résistance au poinçonnement de la pièce ( $B_{pRd}$ )

Si les boulons sont beaucoup plus résistants que les plaques, la tête de vis ou l'écrou peut poinçonner les pièces.



Pour qu'il n'y ait pas de coupe de la plaque, il suffit que  $\tau_u$  (contrainte de résistance au cisaillement) à la périphérie du cylindre puisse s'opposer à l'action du boulon sur la plaque

$\tau_u = 0.6 f_u$       aire  
du cylindre  $\pi D t$   
L'effort résistant au cisaillement

vaut :  $0.6 \pi D t f_u$

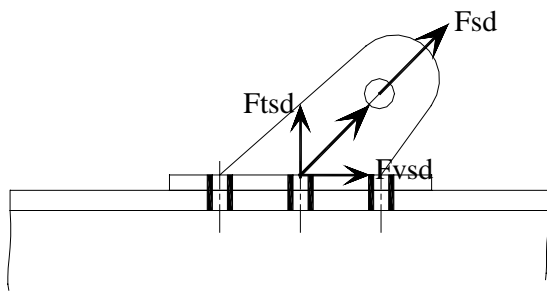
Réglémentairement :

$$B_{pRd} = 0.6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{Mb} \quad \text{avec } \gamma_{Mb} = 1.25$$

Avec :

- $T_p$     épaisseur de la plaque sous la tête du boulon ou de l'écrou
- $D_m$     diamètre moyen de la tête du boulon ou de l'écrou (voir tableau)

### 3. Boulons soumis à des efforts combinés de traction et de cisaillement



Les boulons soumis à des efforts combinés de cisaillement et de traction doivent, en outre, satisfaire à la condition suivante :

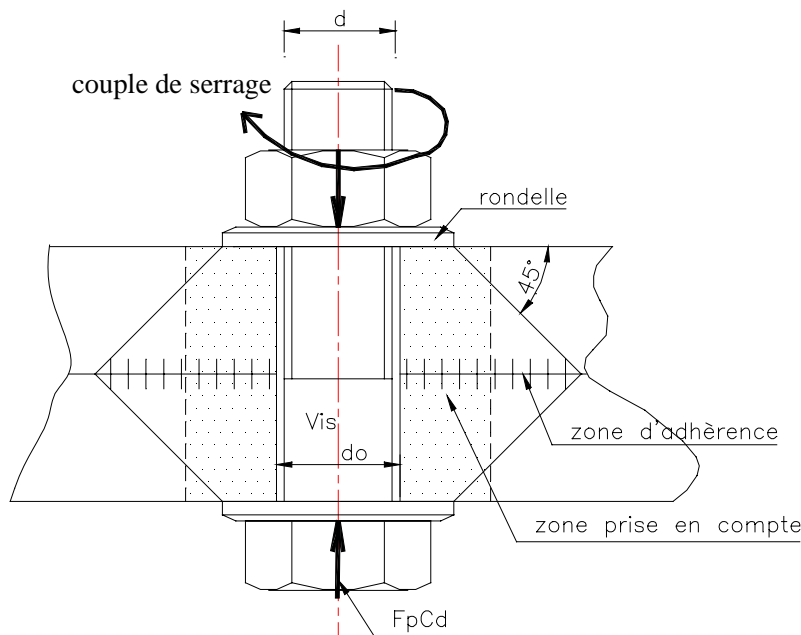
$$F_{v,Sd} / F_{v,Rd} + F_{t,Sd} / 1.4 F_{t,Rd} \leq 1$$

- $F_{t,Sd}$     Effort de traction appliqué
- $F_{t,Rd}$     Effort de traction résistant
- $F_{v,Sd}$     Effort de cisaillement appliqué
- $F_{v,Rd}$     Effort de cisaillement résistant

La vérification à la pression diamétrale et au poinçonnement doivent être faits avec les efforts respectifs de cisaillement et de traction.

# Assemblage par boulons à serrage contrôlé

## Boulons précontraints



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. Valeur réglementaire de la force de précontrainte  $F_{pCd}$

$$F_{pCd} = 0.7 f_{ub} A_s$$

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.

### Mise en œuvre de la force de précontrainte

Le serrage des boulons précontraints est une opération délicate sur le chantier. En effet un excès de précontrainte peut s'avérer aussi préjudiciable qu'un manque de précontrainte.

Trois méthodes sont actuellement utilisées :

- Le contrôle du couple de serrage
- La méthode du « tour d'écrou »
- L'utilisation de rondelles de mesures

### Le couple de serrage

La relation entre le couple de serrage C et l'effort de précontrainte est :

$$C = 0.9 K d P$$

Avec K coefficient de frottement vis écrou au niveau du filet ( valeur moyenne 0.2 )  
d diamètre du boulon  
P effort de précontrainte

C est appliqué au moyen d'une clef dynamométrique manuelle ou pneumatique. Ces clefs déclenchent ou débrayent automatiquement lorsque la valeur C est atteinte.

C'est la méthode la plus utilisée mais elle peut présenter une certaine imprécision.

### La méthode du tour d'écrou

Un premier pré serrage est fait à la clef dynamométrique (40 ou 60% par exemple). Puis le serrage sera terminé par une clef manuelle en appliquant une rotation de l'écrou d'un angle bien défini ( 60, 90 ou 120°).

### La méthode par rondelles de mesures

Elle consiste à utiliser des rondelles avec des bossages . Les bossages de l'écrou vont se déformer lors du serrage de l'écrou. L'évaluation du serrage se fait par la mesure de déformation des bossages ou plutôt du jeu après écrasement.

## L'état de surface des pièces en contact

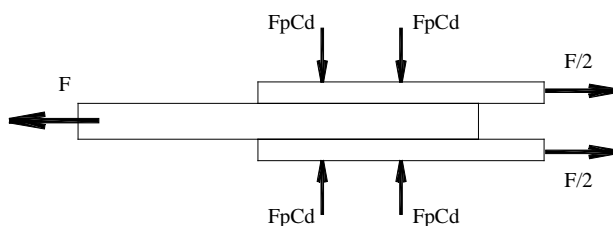
La transmission d'un effort perpendiculaire à l'axe du boulon repose sur le frottement à l'interface des pièces . L'état de surface des pièces en contact est donc un paramètre fondamental . L'effort transmis peut varier de 1 à 2.5 en fonction de l'état de surface, donc du type de traitement de surface 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. Résistance au glissement d'un boulon précontraint



La résistance de calcul au glissement d'un boulon précontraint HR (Haute Résistance) sera égale à :

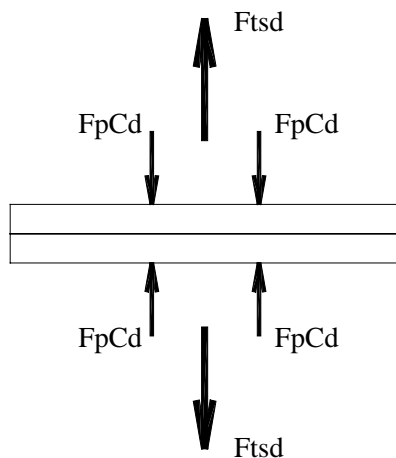
$$F_{s,Rd} = k_s n \mu F_{pCd} / \gamma_{Ms}$$

Avec  $k_s$  coefficient de forme des trous  
 $n$  nombre de surfaces d'adhérence  
 $\mu$  coefficient de frottement  
 $F_{p,Cd}$  effort de précontrainte

Coefficients	trou nominal	trou surdimensionné	trou oblong
$k_s$	1	0.85	0.7
$\gamma_{Ms,ser}$ ELS	1.20	1.20	1.20
$\gamma_{Ms,ult}$ ELU	1.10	1.25	1.25

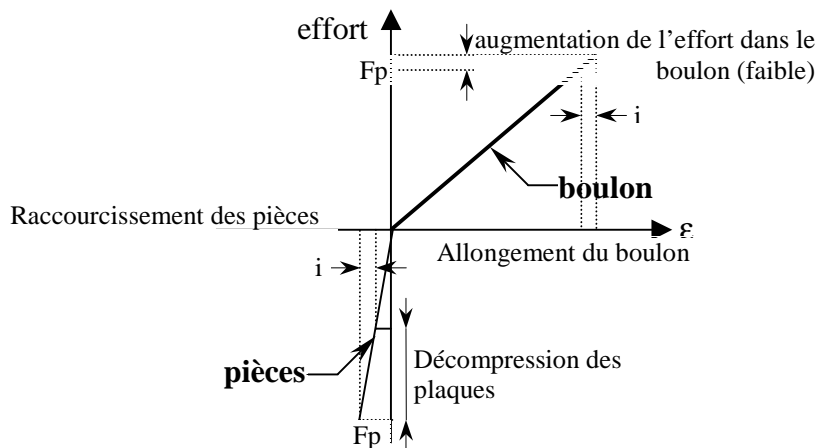
Classe de surface	$\mu$ coefficient de frottement	état de surface
A	0.5	Grenailé ou sablé
B	0.4	Grenailé, sablé et peint
C	0.3	Brossé
D	0.2	Non traité

## 2. Résistance à la traction d'un boulon précontraint



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

Pour qu'il n'y ait pas décollement des pièces, il faut que l'effort de traction appliqué par boulon soit inférieur à l'effort de précontrainte, soit :

$$F_{t,Sd} \leq F_{pCd}$$



### 3. Boulons soumis à des efforts combinés de traction et de cisaillement

Assemblage résistant au glissement à l'ELS :

$$F_{s.Rd.ser} = k_s \mu n (F_{p.Csd} - 0.8 F_{t.sd.ser}) / \gamma_{Ms.ser}$$

Assemblage résistant au glissement à l'ELU

$$F_{s.Rd} = k_s \mu n (F_{p.Csd} - 0.8 F_{t.sd}) / \gamma_{Ms.ult}$$

Avec  $F_{p.Csd}$  effort de précontrainte  
 $F_{t.sd}$  effort de traction à l'ELU  
 $F_{t.sd.ser}$  effort de traction à l'ELS