

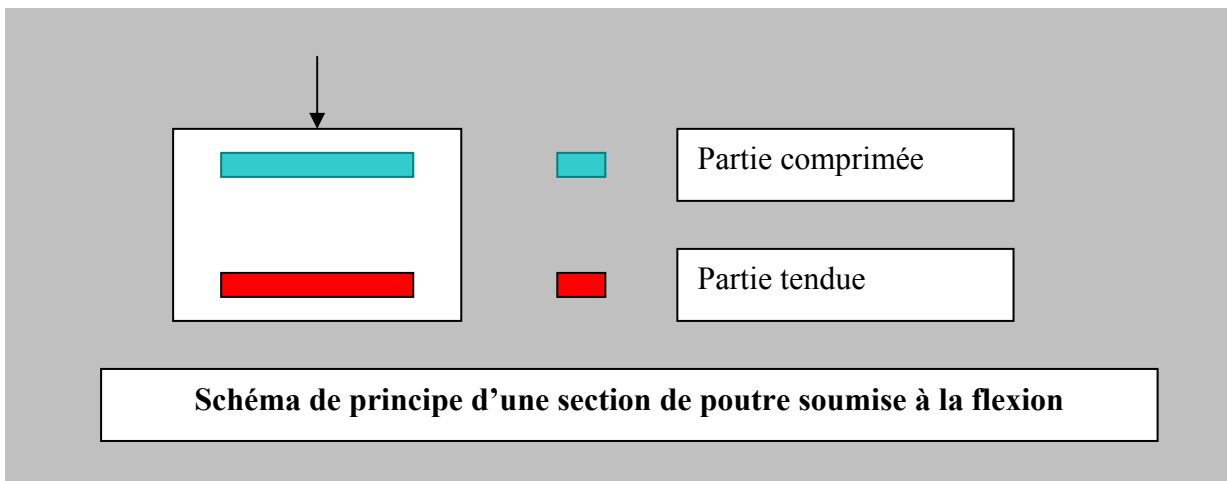
## IV. Coupes et conceptions

### IV.1. Les profilés en acier

#### *Pourquoi utilise-t-on des profilés ?*

Le développement de la production dans le milieu industriel a nécessité des bâtiments de plus en plus spacieux, avec des portées de plus en plus importantes. Les capacités du fer avaient atteints leurs limites. Le profilé en acier est un produit fini, qui est le fruit d'une optimisation de la part des industries sidérurgiques répondant aux exigences nouvelles. En effet, le profilé est un produit garantissant des qualités mécaniques bien définies et facilitant le chiffrage économique (standard).

Considérons une poutre de section quelconque soumise à la flexion. Nous constatons que la partie supérieure est comprimée alors que la partie inférieure est tendue. Le travail du reste de la section peut relativement être négligé.



Cette démonstration explique les sections en I et en H des profilés. Ainsi, les « ailes » représentent les parties travaillant en compression et traction. L'« âme » qui relie ces ailes permet de maintenir une certaine résistance à l'effort de cisaillement (minimum).

#### **A retenir ! :**

A masse égale, une section de type I ou H a une inertie plus élevée qu'une section carrée ou ronde car le calcul de l'inertie prend en compte la distance entre le centre de gravité d'une section et un point quelconque de la section et augmente en conséquence.

$$\sigma_{section} = A / Inertie$$

A coefficient en fonction de la charge.

Pour une section donnée, plus l'inertie est élevée, moins la contrainte dans la section est grande ce qui permet d'augmenter la charge.

### Les critères de choix d'un profilé.

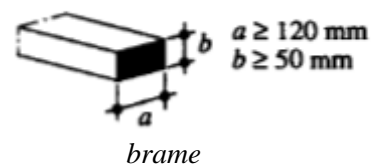
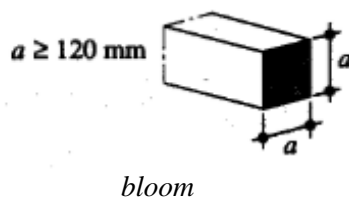
Le choix d'une section de profilé s'effectue selon 3 critères :

- Le rôle **structurel** : L'élément qui transfère les charges par la flexion nécessite un profil creux rectangulaire ou circulaire.
- Le rôle **esthétique** : Visibilité de la structure et des détails d'assemblages et encombrement du volume.

La possibilité de jouer un rôle **secondaire** : Assemblages de gaines et conduits techniques à l'intérieur des profilés.

Une fois en fusion, l'acier est coulé dans des lingotières. On obtient alors des lingots d'acier, qui une fois préchauffés sont introduits dans des laminoirs dégrossisseurs pour obtenir un produit qui est, soit de section carrée *bloom*, soit de section rectangulaire *brame*.

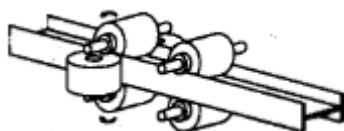
Ce sont des produits semi-finis qui restent inutilisables pour l'utilisateur (industrie).



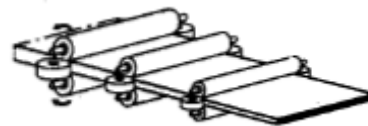
Ce passage dans un laminoir de dégrossissage est une première étape durant laquelle le métal préalablement réchauffé est écrasé par l'intermédiaire de deux cylindres, dont le sens de rotation est opposé. Cela s'appelle le laminage à chaud.

Ce laminage à chaud est complété par un deuxième passage dans un laminoir de finition, qui permet de varier la forme selon le produit fini souhaité.

Ainsi, les profilés sont obtenus grâce à l'usage de cylindres cannelés et les tôles à l'aide de cylindres lisses.

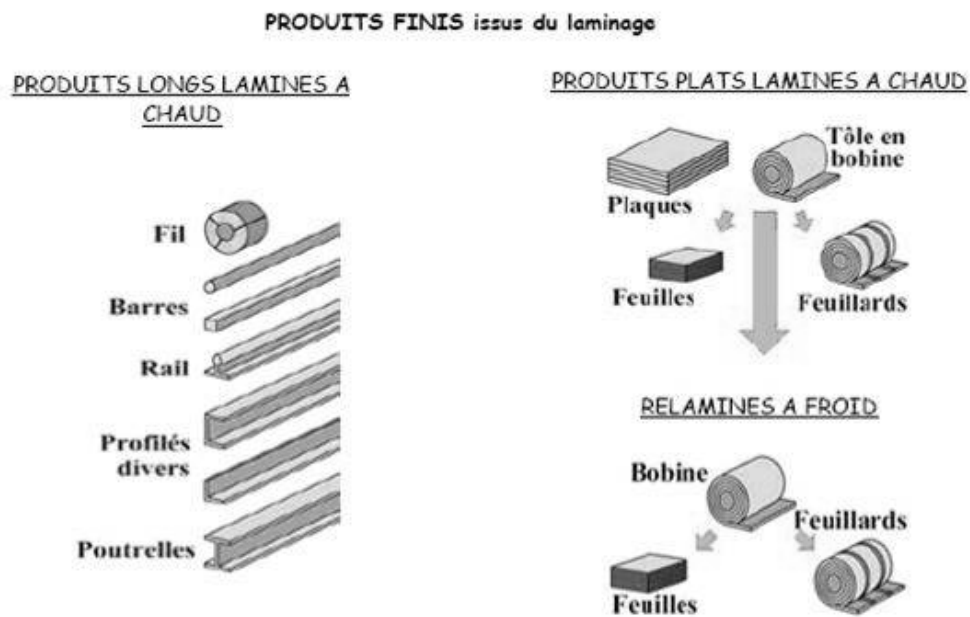


*Train de laminage de profilés*



*Train de laminage continu*

On obtient alors des produits finis.



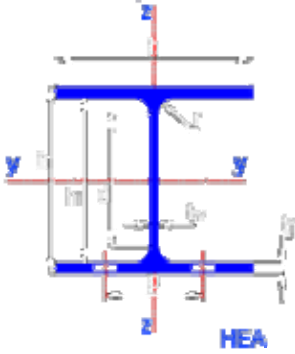
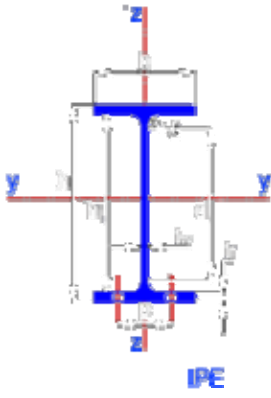
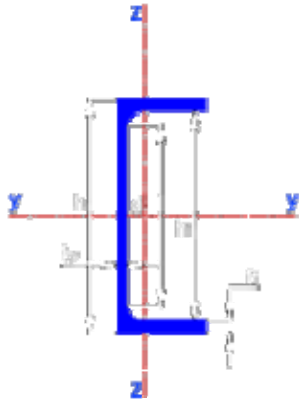

La norme divise les produits finis plats en 3 catégories :

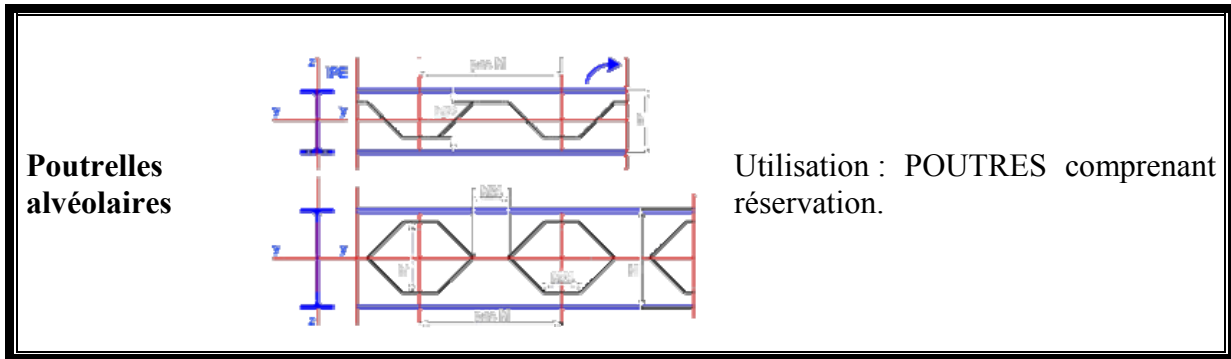
- **Les tôles dites fines** :  $e \leq 3\text{mm}$
- **Les tôles dites moyennes** :  $5\text{mm} > e > 3\text{mm}$
- **Les tôles dites fortes** :  $e > 5\text{mm}$

Certains produits plats peuvent subir, par la suite, un laminage à froid qui permet d'obtenir des épaisseurs inaccessibles à chaud ( $e \ll 3\text{ mm}$ ).

Les produits sidérurgiques utilisés dans le domaine de la construction sont généralement regroupés en trois catégories :

- Les produits longs qui sont sous la forme de barres, profilés, tubes, fils, etc, trouvent leurs usages courants dans la charpente métallique, l'ossature du bâtiment et le support du bâtiment (poutres et poteaux), mais également en fondation associé au béton.
- Les produits plats qui sont sous la forme de bobines, de feuilles, etc, revêtus ou non sont généralement utilisés dans les planchers (bac collaborant, coffrage perdu), en façade (bardage, plateau), et en couverture (couverture sèche, support d'étanchéité).
- Les aciers moulés sont des produits qui ont été coulés dans un moule à matériau réfractaire qui donne une forme et des dimensions définitives.

Désignation	Section	Caractéristiques particulières
HE	 <p>Diagram of HEA section showing dimensions and axes (Y and Z).</p>	<p>Utilisation : POTEAUX</p> <p>Moment d'inertie <math>I_z</math> plus élevé que les profilés en I. HEA, HEB et HEM permettent une progression de la capacité portante.</p>
IPE/IPN	 <p>Diagram of IPE section showing dimensions and axes (Y and Z).</p>	<p>Utilisation : POUTRES et PANNES</p> <p>Poids unitaire faible</p>
UAP/UPN/UPE	 <p>Diagram of UPE section showing dimensions and axes (Y and Z).</p>	<p>Utilisation : POUTRES, éléments secondaires.</p> <p>A hauteur de profil égal avec un I, sa masse est supérieure de 10%</p>
PRS (Poutrelles reconstituées soudées)	 <p>Photo showing PRS (Poutrelles reconstituées soudées) beams in a workshop.</p>	<p>Utilisation : Création sur mesure selon besoin.</p> <p>Crée par soudages de profilés I ou H</p>



Désignation	Dimensions						Section A (cm <sup>2</sup> )	Dimensions de construction				Val. statiques		
	G (kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r (mm)		hi (mm)	d (mm)	Ø	Pmin (mm)	Pmax (mm)	Iv (cm <sup>4</sup> )	We1.v (cm <sup>3</sup> )
HEA 120	19,9	114	120	5	8	12	25,34	98	74	M12	58	68	606,2	106,3
HEB 120	26,7	120		6,5	11	12	34,01				60	68	864,4	144,1
HEA 140	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,42	116	92	M16	64	76	1033	155,4
HEB 140	33,7	140		7	12	12	42,96				66	76	1509	215,6
HEA 160	30,4	152	160	6	9	15	38,77	134	104	M20	78	84	1673	220,1
HEB 160	42,6	160		8	13	15	54,25				80	84	2492	311,5
HEA 180	35,5	171	180	6	9,5	15	45,25	152	122	M24	86	92	2510	293,6
HEB 180	51,2	180		8,5	14	15	65,25				88	92	3831	425,7
HEA 200	42,3	190	200	6,5	10	18	53,83	170	134	M27	98	100	3692	388,6
HEB 200	61,3	200		9	15	18	78,08				100	100	5696	569,9
HEA 220	50,5	210	220	7	11	18	64,34	188	152	M27	98	118	5410	515,2
HEB 220	71,5	220		9,5	16	18	91,04				100	118	8091	735,5
HEA 240	60,3	230	240	7,5	12	21	76,84	206	164	M27	104	138	7763	675,1
HEB 240	83,2	240		10	17	21	106				108	138	11260	938,3

Exemple de tableau de caractéristiques des profilés HEA et HEB.

## IV.2. Les assemblages

On appelle « assemblage » la zone d'interconnexion de deux éléments ou plus. Sa fonction principale est de transmettre correctement les efforts entre ces éléments. On distingue deux catégories d'assemblage :

- contacts mécaniques,
- les assemblages par procédés de soudage, qui assurent une continuité entre les pièces métalliques au niveau des joints.

La résistance d'un assemblage est déterminée sur la base de la résistance individuelle de ses composants. Dans le cas où des fixations possèdent des rigidités différentes pour reprendre un effort de cisaillement, on dimensionne généralement la fixation possédant la plus grande rigidité.

La ruine d'un assemblage peut être due à un dépassement des valeurs maximales des efforts à transmettre ou à des phénomènes de fatigue.

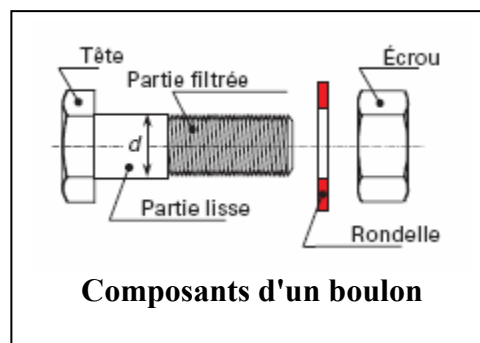
Les phénomènes de fatigue peuvent dépendre de l'acier de la structure ou bien des traitements subis lors de la mise en œuvre des assembleurs.

### IV.2.1. Les assemblages par procédés mécaniques

#### a. Les boulons traditionnels :

Le boulonnage, du fait de sa simplicité de mise en œuvre et de sa possibilité de réglage, est l'un des assemblages les plus utilisés en construction métallique. Il se fait à l'aide de pièces métalliques cylindriques qui permettent d'assembler entre elles les différents éléments d'une charpente, par exemple. Pour cela, des trous d'un diamètre légèrement supérieur à celui des boulons (afin de permettre un certain jeu) sont préalablement percés dans les pièces qui sont à assembler.

Un boulon traditionnel est composé d'une vis, d'un écrou et d'une ou deux rondelles (dans certains cas facultatives). Généralement, la tête de la vis et l'écrou sont de forme hexagonale ce qui facilite le serrage qui se fait à l'aide de clefs.



On distingue deux catégories de boulons traditionnels :

- Les boulons ordinaires :

Ils ne nécessitent pas de précaution particulière lors de leur mise en œuvre.

La qualité d'un boulon est définie par son appartenance à des classes. Ces classes sont fonction de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction ultime (ou limite de rupture) du boulon considéré.

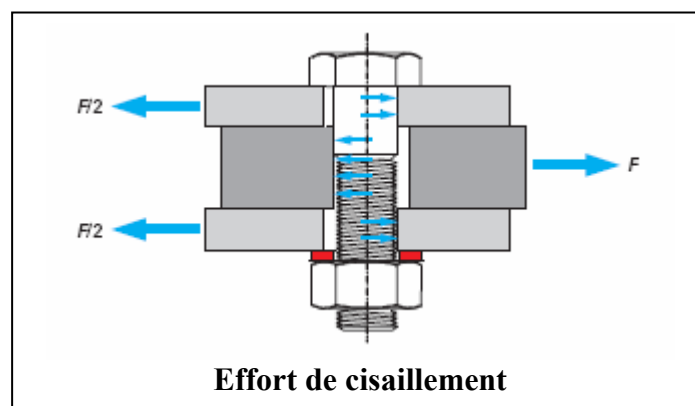
Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ ..... (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ ..... (MPa)	400	400	500	500	600	800	1 000

### Valeurs nominales de la limite d'élasticité $f_{yb}$ et de la résistance ultime à la traction $f_{ub}$ des boulons ordinaires

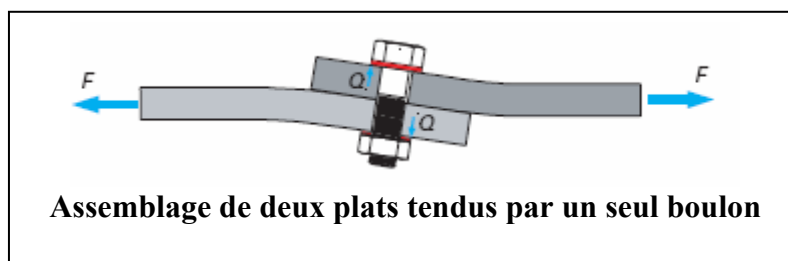
Le premier nombre représente 1/100 de la limite de rupture  $F_{ub}$ , et le produit des deux nombres est égal à 1/10 de la limite d'élasticité  $F_{yb}$  (MPa). Exemple pour un boulon 4.6  $F_{yb} = 4 \times 6 \times 10 = 240$  MPa et  $F_{ub} = 4 \times 100 = 400$  MPa.

#### Transmission des efforts :

Lorsqu'un effort est perpendiculaire à l'axe du boulon (effort de cisaillement), les pièces assemblées doivent pouvoir glisser jusqu'à rentrer en contact avec la tige de la vis. Une pression latérale dans les zones de contact entre pièces et tiges est induite et ces dernières sont cisailées au droit des surfaces de glissement, tandis que les pièces assemblées sont soumises à de la pression seulement aux points de contact.



Dans le cas d'un assemblage de deux plats tendus à l'aide d'un seul boulon, les efforts, qui ont tendance à vouloir aligner les deux pièces, provoquent la rotation du boulon ce qui induit du cisaillement et de la traction dans ce dernier. La tête et l'écrou sont aussi sollicités par des contraintes de flexion locales, ce qui favorise un mauvais comportement à la fatigue. La solution à ce problème est l'utilisation de rondelles.



Lorsque l'effort est parallèle à l'axe des boulons (effort de traction), les pièces assemblées sont soumises à un poinçonnement provoqué par la tête de la vis et l'écrou (ou les rondelles, si celles-ci sont en contact avec les pièces).

### Vérification des boulons ordinaires :

Le tableau suivant permet de calculer les résistances individuelles des boulons selon l'effort auquel ils sont soumis :

Mode de ruine	Boulons	Rivets
Résistance au cisaillement par plan de cisaillement	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>— lorsque le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon (A est l'aire de la section résistante en traction du boulon <math>A_s</math>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8 : <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 : <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> <p>— lorsque le plan de cisaillement passe par la partie non fileté du boulon (A est l'aire de la section brute du boulon) : <math>\alpha_v = 0,6</math></p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance en pression diamétrale <sup>1), 2), 3)</sup>	$F_{d,Rd} = \frac{k_1 \alpha_d f_u dt}{\gamma_{M2}}$ <p>où <math>\alpha_d</math> est la plus petite des valeurs de <math>\alpha_d = \frac{f_{ub}}{f_u}</math> ou 1,0 ; dans la direction des efforts :</p> <p>— pour boulons de rive : <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}</math> ; pour boulons intérieurs <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math></p> <p>perpendiculairement à la direction des efforts :</p> <p>— pour boulons de rive : <math>k_1</math> est la plus petite valeur de <math>(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7)</math> et 2,5</p> <p>— pour boulons intérieurs : <math>k_1</math> est la plus petite valeur de <math>(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7)</math> et 2,5</p>	<p>Avec d= diamètre de la tige t= épaisseur de la plus petite pièce assemblée d0= trou dans la pièce</p>
Résistance à la traction <sup>2)</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ud} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>où <math>k_2 = 0,63</math> pour un boulon à tête fraisée, sinon <math>k_2 = 0,9</math>.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance au poinçonnement	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Vérification sans objet
Cisaillement et traction combinés	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	
<p>1) La résistance en pression diamétrale <math>F_{d,Rd}</math> pour les boulons utilisés</p> <p>— dans des trous surdimensionnés, est 0,8 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous normaux.</p> <p>— dans des trous oblongs, lorsque l'axe longitudinal du trou oblong est perpendiculaire à la direction des efforts, est 0,6 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous circulaires normaux.</p> <p>2) Pour les boulons à tête fraisée :</p> <p>— il convient de calculer la résistance en pression diamétrale <math>F_{d,Rd}</math> avec une épaisseur de plaque t égale à l'épaisseur de la plaque attachée diminuée de la moitié de la profondeur de fraisage.</p> <p>— pour la détermination de la résistance à la traction <math>F_{t,Rd}</math> il convient que l'angle et la profondeur de fraisage soient conformes aux dispositions données en 1.2.4, Normes de Référence: Groupe 4, sinon il convient d'adapter la résistance à la traction <math>F_{t,Rd}</math> en conséquence.</p> <p>3) Lorsque la charge appliquée sur un boulon n'est pas parallèle au bord de la pièce, la résistance en pression diamétrale peut être vérifiée séparément pour les composants de l'effort appliqué au boulon parallèlement et perpendiculairement au bord.</p>		

- Vérification d'un boulon à la traction : la sollicitation en traction ne doit pas dépasser la résistance individuelle du boulon à la traction, soit  $F_t < \text{ou} = F_{t,r}$
- Vérification d'un boulon au cisaillement : on doit avoir  $F_v < \text{ou} = F_{v,r}$
- Vérification d'un boulon au cisaillement et à la traction combinés : cf tableau ci-dessus

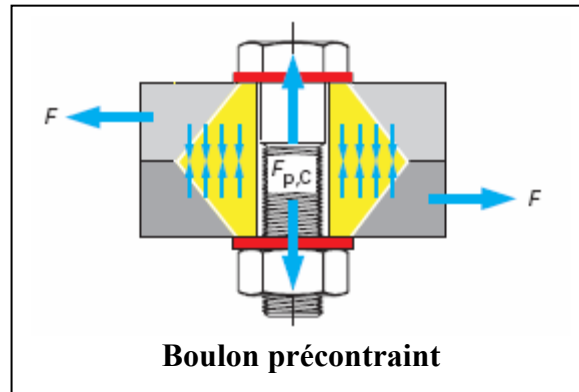
- Les boulons à haute résistance (HR) :

Ces boulons sont réalisés dans des aciers à haute limite d'élasticité. Leurs caractéristiques mécaniques sont obtenues par traitement thermique. Il est toutefois important de souligner que



pour que l'assemblage soit considéré comme HR, tous les éléments de celui-ci doivent être marqués HR.

La précontrainte de ces boulons dépend de la qualité de leur mise en œuvre, d'où la nécessité d'une main d'œuvre qualifiée. Si dans le cas des boulons ordinaires, les rondelles sont facultatives, dans le cas des boulons précontraints, une rondelle doit obligatoirement être placée entre l'écrou et l'élément à assembler.



Un assemblage de ce type est destiné à mobiliser le frottement entre les pièces assemblées, grâce à la précontrainte installée, qui assure une forte pression entre les pièces assemblées. Dans le cas d'un effort parallèle à l'axe des boulons, les pièces restent en contact tant que l'effort extérieur reste inférieur à l'effort de précontrainte.

*Vérification des boulons précontraints :*

La valeur de l'effort de serrage d'un boulon précontraint doit être égale à :

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

La résistance au glissement d'un boulon précontraint est défini par la relation suivante :

$$F_s = (K_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_p) / \gamma$$

Avec  $\gamma$  : coefficient de sécurité égale à 1,25

$n$  : nombre de surfaces de frottement

$\mu$  : coefficient de frottement des pièces assemblées. Sa valeur varie selon l'état de surface des pièces.

Classe de surfaces de frottement (voir 1.2.7, Normes de Référence : Groupe 7)	Coefficient de frottement $\mu$
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

La classe A correspond aux surfaces grenillées ou sablées

La classe B aux surfaces grenillées, sablées et peintes

La classe C aux surfaces brossées

La classe D aux surfaces non traitées

Les valeurs du coefficient  $K_s$  sont données dans le tableau suivant :

Description	$k_s$
Boulons utilisés dans des trous normaux.	1,0
Boulons utilisés soit dans des trous surdimensionnés soit dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts.	0,85
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts.	0,7
Boulons utilisés dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts.	0,76
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts.	0,63

- Comparaisons entre boulons ordinaires et boulons précontraints :

Le comportement des boulons ordinaires et boulons précontraints est différent selon l'orientation de l'effort appliqué.

Dans le cas d'efforts parallèle à l'axe, il vaut mieux utiliser un boulon HR car la contrainte de traction est plus faible pour cette catégorie de boulons.

L'Eurocode 3 définit la conception et le calcul des attaches boulonnées selon différentes catégories, allant de la catégorie A à la catégorie E.

Pour les sollicitations au cisaillement, les assemblages par boulons doivent être conformes aux catégories suivantes :

- **Catégorie A** : travaillant à la pression diamétrale.  
On utilise pour cette catégorie des boulons dont la classe est comprise entre les classes 4.6 et 10.9 incluse. Ces boulons ne nécessitent pas d'être précontraints et les surfaces en contact n'ont besoin d'aucun traitement particulier.
- **Catégorie B** : résistant au glissement à l'ELS (état limite de service)  
Il convient d'utiliser des boulons précontraints à haute résistance, de classes 8.8 et 10.9. L'effort de cisaillement à l'ELS ne doit pas dépasser la résistance de calcul au glissement.
- **Catégorie C** : résistant au glissement à l'ELU (état limite ultime)  
Comme pour la catégorie B, on utilise de boulons précontraints à haute résistance (classes 8.8 et 10.9). L'effort de cisaillement à l'ELU ne doit pas dépasser la résistance de calcul au glissement.

Pour les sollicitations à la traction, les assemblages par boulons doivent être conformes aux catégories suivantes :

- **Catégorie D** : par boulons non précontraints  
Dans cette catégorie sont utilisés les boulons de classes comprises entre 4.6 et 10.9 incluse. Il n'est pas possible d'utiliser cette catégorie si les attaches sont soumises à des variations fréquentes de sollicitations, mais

elle peut convenir pour les attaches calculées pour résister aux actions usuelles du vent.

- **Catégorie E** : par boulons précontraints

On utilise, pour cette dernière catégorie, des boulons de classes 8.8 et 10.9 à serrage contrôlé.

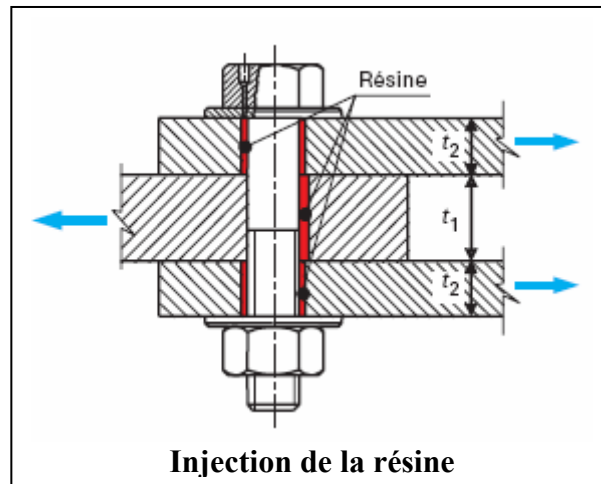
Catégorie	Critères	Remarques
<b>Attaches en cisaillement</b>		
A Pression diamétrale	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Aucune précontrainte exigée. Toutes classes de 4.6 à 10.9.
B Résistant au glissement à l'ELS	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Boulons précontraints 8.8 ou 10.9 requis. Pour résistance au glissement à l'ELS, voir 3.9
C Résistant au glissement à l'ELU	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Boulons précontraints 8.8 ou 10.9 requis. Pour résistance au glissement à l'ELU, voir 3.9 $N_{net,Rd}$ voir 3.4.1(1)c)
<b>Attaches en traction</b>		
D Sans précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Aucune précontrainte exigée. Toutes classes 4.6 à 10.9. $B_{p,Rd}$ voir Tableau 3.4.
E Avec précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Boulons 8.8 ou 10.9 précontraints requis. $B_{p,Rd}$ voir Tableau 3.4.
Il convient que l'effort de traction de calcul $F_{t,Ed}$ comprenne toute force éventuelle résultant de l'effet de levier, voir 3.11. Il convient que les boulons soumis à la fois à un effort tranchant et à un effort de traction satisfassent les critères donnés dans le Tableau 3.4.		

**Figure 1 : Catégories d'attaches boulonnées**

### b. Les boulons injectés :

Ce sont des boulons pour lesquels le jeu entre le boulon et la paroi du trou est complètement bouché après injection d'une résine.





Pour pouvoir injecter la résine, un petit trou dans la tête des boulons (ordinaires ou précontraints) est percé. Une rondelle en acier trempé dont l'intérieur a été usiné est placée sous tête. Une autre, munie d'une gorge est placée sous l'écrou pour permettre à l'air de s'échapper.

Une fois que la résine a fait prise, plus aucun glissement n'est possible. Ce type d'assemblage s'utilise donc pour le cisaillement. En effet, la transmission des efforts se fait par cisaillement et pression latérale pour les boulons injectés ordinaires et par cisaillement et frottement pour les boulons injectés HR à serrage contrôlé.

Cette technique présente certains avantages :

- la résine comble complètement le jeu entre le boulon et les pièces assemblées donc aucune corrosion interne n'est possible
- la possibilité de réaliser des jeux plus importants facilite le montage et permet ainsi un gain de temps
- dans les assemblages par boulons HR, un glissement peut survenir si il y a une surcharge. Avec les boulons injectés, aucun glissement soudain ne peut se produire.

Cependant, il est important de souligner que du fait du « collage » induit par la résine, il est difficile de démonter des boulons injectés une fois que la résine à fait prise.

*Vérification des boulons injectés :*

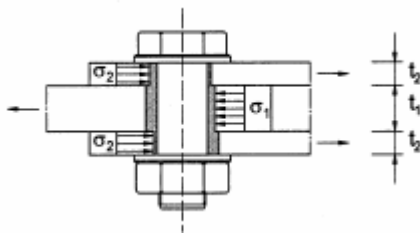
La résistance à la pression diamétrale du boulon injecté est déterminée au moyen de la relation suivante :

$$F_{b,r,resine} = (K_t * K_s * d * t_{p,resin} * \beta * f_{b,resin}) / \gamma$$

Avec :

- $K_t = 1$  à l'ELS ;  $1,2$  à l'ELU
- $K_s = 1$  pour les trous normaux
- $d$  = diamètre de la tige
- $t_{p,resine}$  = épaisseur efficace de résine en pression diamétrale (valeurs : voir tableau)
- $\beta$  = coefficient dépendant du rapport d'épaisseur des plaques attachées  $t_1/t_2$  (valeur : voir tableau)
- $f_{b,resine}$  = résistance en pression diamétrale de la résine

- $\gamma$  = coefficient de sécurité égal à 1



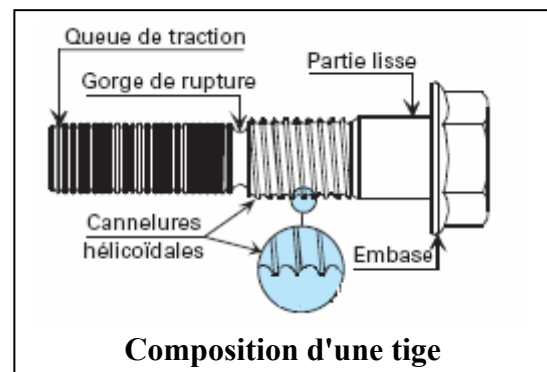
$t_1 / t_2$	$\beta$	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1 / t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1 / t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

### c. Les boulons sertis :

Les boulons sertis sont constitués de deux pièces : une tige avec une tête à une extrémité et une bague.

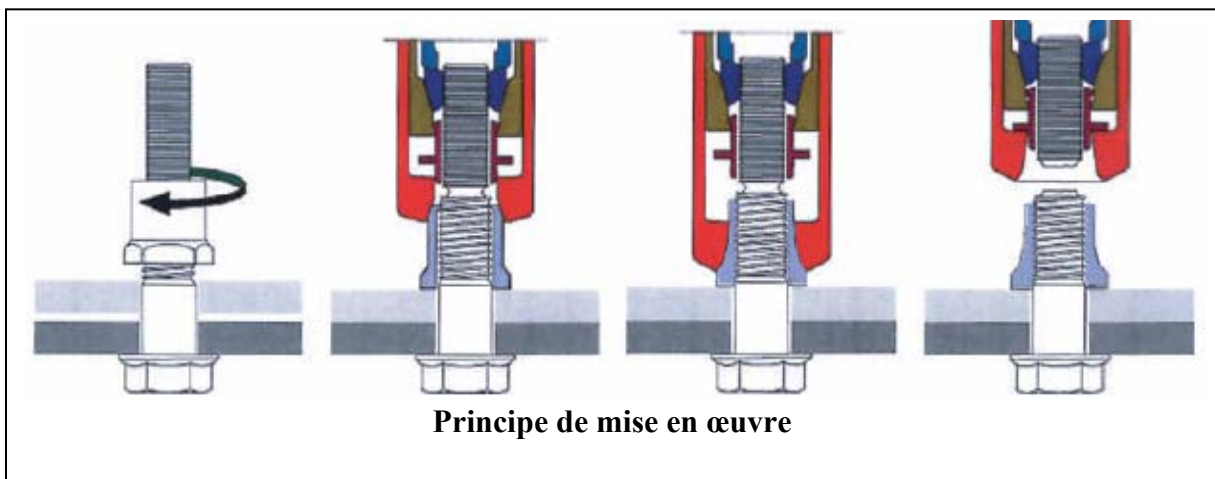
Cette dernière est sertie sur la tige à l'aide d'un pistolet hydraulique, constituant ainsi une deuxième tête.

Le pistolet hydraulique possède une bouterolle (ou nez de pose) différente pour chaque dimension de bague.



**Composition d'une tige**

Le principe de mise en œuvre est le suivant :



**Principe de mise en œuvre**

- On met en place la tige dans le trou préalablement réalisé et la bague est vissée manuellement sur la partie de la tige qui possède des cannelures hélicoïdales.
- On place le pistolet de manière à ce que la bouterolle vienne en contact avec la bague.
- Lorsque la gâchette est actionnée, des mors viennent serrer la tige et la tirent vers l'intérieur de la bouterolle. Celle-ci exerce alors une force sur la bague qui se déforme : elle vient se sertir sur les cannelures en remplissant complètement le vide qu'il y avait entre la bague et la tige.
- L'effort de traction sur la tige continue d'augmenter jusqu'à ce que celle-ci casse au niveau de sa gorge de rupture. Une fois rompue, la tige, qui a subi un allongement, a

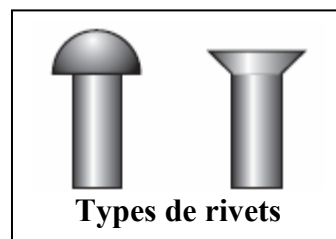
tendance à reprendre sa forme initiale mais la bague l'en empêche : les pièces sont alors comprimées et l'assemblage est assuré.

Les boulons sertis sont utilisés notamment dans le cas d'assemblages soumis à de fortes vibrations. Le fait que le boulon soit sertis signifie qu'aucun jeu n'est permis entre la bague et la tige. Il n'y a donc aucun risque que l'assemblage se dévise, contrairement au boulon traditionnel.

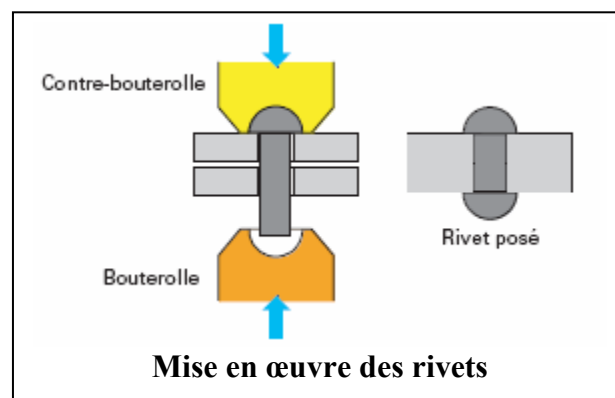
#### d. Les rivets :

Si les moyens les plus couramment utilisés aujourd'hui sont, de part leur facilité de mise en œuvre, les boulons (ordinaires et à haute résistance) et le soudage, le rivetage a longtemps été le procédé de prédilection en construction métallique. Il existe deux formes principales de rivets :

- rivets à tête ronde
- rivets à tête fraisée



Les rivets sont généralement posés à chaud (entre 900 et 950°C). Le rivet est positionné dans le trou préalablement percé. Une deuxième tête est formée à l'aide d'une bouterolle et d'une contre bouterolle. La contre bouterolle est placée du côté où se trouve la tête existante pour empêcher tout déplacement et la contre bouterolle est martelée à la main ou à l'aide d'une machine pour former la deuxième tête.



La réaction due au refroidissement augmente le serrage entre les pièces, ce qui crée une sorte de précontrainte.

#### **IV.2.2. Les assemblages par procédés de soudage**

Pour effectuer une soudure, il est nécessaire de faire fondre l'acier. Pour arriver à une telle température, il existe trois méthodes :

- la flamme oxyacétylénique

- la résistance au passage d'un courant
- l'arc électrique

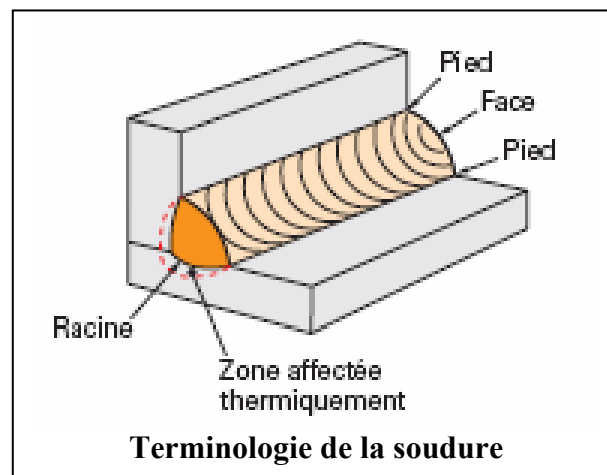
Pour l'acier de structure, le mode de soudage le plus couramment utilisé est celui de l'arc électrique.

Le soudage consiste à faire fondre un métal d'apport en même temps que les pièces à assembler. Le métal fondu provenant de chaque élément est réuni et au fur et à mesure qu'il refroidit, ce bain de fusion se transforme en lien solide et assure la continuité des pièces.

Les valeurs de limite d'élasticité, de résistance ultime à la traction et d'allongement à la rupture du métal d'apport doivent être égales ou supérieures à celle du métal de base.

### Terminologie de la soudure :

- **métal de base** : métal de l'élément à souder
- **métal d'apport** : métal de l'électrode
- **racine** : endroit de l'assemblage jusqu'où le métal d'apport a pénétré
- **face** : surface de la soudure
- **pied** : ligne de séparation entre le métal de base et le métal d'apport
- **ZAT (zone affectée thermiquement)** : partie du matériau de base qui n'est pas rentrée en fusion mais qui a subi un chaud/froid très rapide au passage de l'arc de soudage. Cette zone acquiert donc un comportement fragile.



Il existe plusieurs procédés classés en trois catégories :

- le soudage manuel (soudure d'accès difficile, petite longueur)
- le soudage automatique (la tête de soudage se déplace automatiquement le long du joint, intéressant pour des joints longs)
- le soudage semi-automatique

Le choix de procédé se fait en fonction de l'épaisseur du matériau, de l'endroit où la soudure doit être faite, de l'accès au joint, de la composition de l'acier de base et du coût comparé.

### Différents types de soudure :

- Les soudures d'angle : elles sont utilisées pour l'assemblage de pièces dont les faces forment un angle compris entre 60 et 120°. Si l'angle est inférieur à 60°, on considère la soudure comme une soudure bout à bout à pénétration partielle.
- Les soudures d'angle discontinues : on ne peut pas les utiliser en milieu corrosif.

- Les soudures bout à bout : il existe deux types de soudeure bout à bout : à pleine pénétration et à pénétration partielle.  
Une soudeure bout à bout à pleine pénétration présente une pénétration et une fusion complète des métaux d'apport et de base sur la totalité de l'épaisseur du joint.  
Une soudeure bout à bout à pénétration partielle présente une pénétration dans le joint inférieure à l'épaisseur du métal de base.
- Les soudures en entaille et en bouchon : elles sont rarement utilisées dans les structures de bâtiment. Elles ont pour fonction d'empêcher le voilement ou la séparation de pièces superposées ou de transmettre un cisaillement

### Résistance de calcul :

- soudeure d'angle : la résistance d'une soudeure d'angle est considérée comme bonne si la résultante de tous les efforts transmis par la soudeure suit la relation suivante :  
 $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$   
Où  $F_{w,Ed}$  est la valeur de calcul de l'effort exercé dans la soudeure par unité de longueur  
 $F_{w,Rd}$  est la résistance de calcul de la structure par unité de longueur
- soudeure bout à bout à pleine pénétration : on prendra pour résistance de calcul de ce type de soudeure la résistance de calcul de la plus faible des pièces assemblées.
- soudeure bout à bout à pénétration partielle : elle sera traitée comme une soudeure d'angle à forte pénétration.
- soudeure en entaille : idem soudeure d'angle

### Vérification des soudures :

Pour que la résistance d'une soudeure d'angle soit satisfaisant, il faut respecter les 2 critères suivants :

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \text{ et } \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Avec :

- $\sigma_{\perp}$  contrainte normale perpendiculaire à la gorge ;
  - $\sigma_{\parallel}$  contrainte normale parallèle à l'axe de la soudeure ;
  - $\tau_{\perp}$  contrainte tangente (dans le plan de la gorge) perpendiculaire à l'axe de la soudeure ;
  - $\tau_{\parallel}$  contrainte tangente (dans le plan de la gorge) parallèle à l'axe de la soudeure.
- $F_u$  : résistance nominale ultime à la traction de la pièce assemblée la plus faible
  - $\beta_w$  : facteur de corrélation (voir tableau)
  - $\gamma$  : coefficient de sécurité égal à 1,25



Norme et nuance d'acier			Facteur de corrélation $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

#### IV.2.3. Choix des différents assemblages

Lorsqu'un assemblage en cisaillement est soumis à des chocs, à des vibrations ou à des charges alternées, on utilise :

- le soudage
- les boulons munis de dispositif de blocage (ex : boulons sertis)
- les boulons précontraints
- les boulons injectés
- les rivets.

Lorsque aucun glissement n'est toléré dans un assemblage, on utilise :

- des boulons précontraints de catégorie B ou C
- des rivets
- des soudures.

Pour des poutres au vent et les contreventements, on peut utiliser :

- des boulons ordinaires (catégorie A).