

CHAPITRE I : CALCUL DES ASSEMBLAGES

1.GENERALITES

1.1.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).

1.2. FONCTIONNEMENT DES ASSEMBLAGES

Les principaux modes d'assemblage sont:

- *le rivetage,*
- *le boulonnage,*
- *le soudage,*

— *le collage*, qui correspondent à deux types de fonctionnement distincts : obstacle et/ou adhérence.

➤ **FONCTIONNEMENT PAR OBSTACLE**

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

➤ **FONCTIONNEMENT PAR ADHÉRENCE**

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

➤ **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.

1.3. 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.

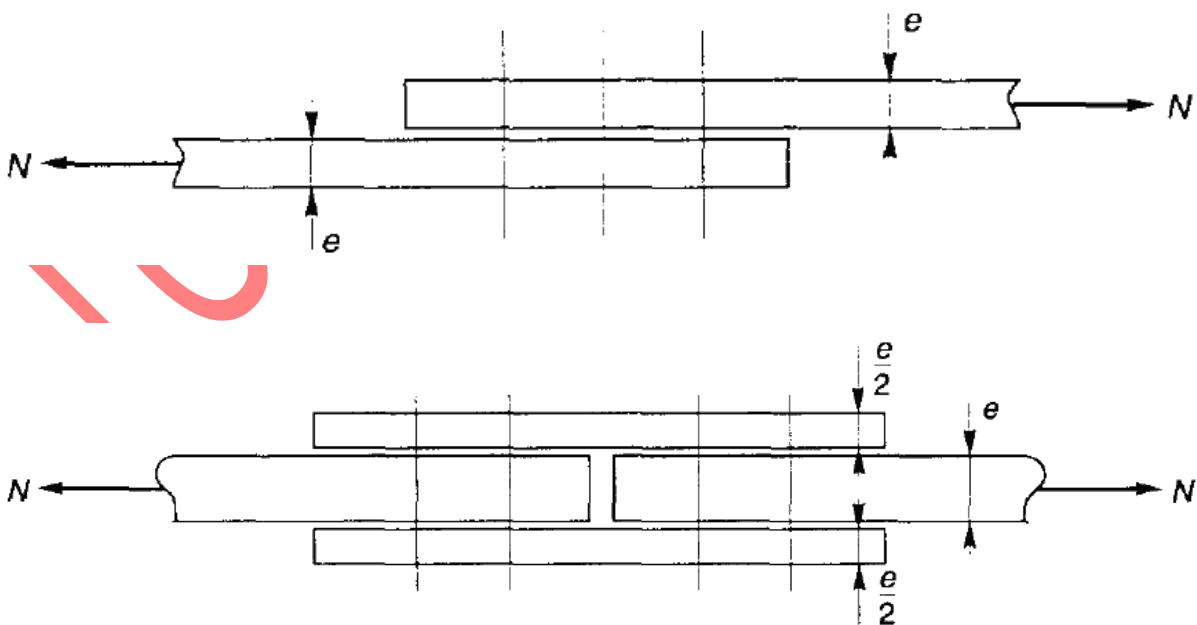
Les *assemblages* peuvent être considérés comme autant de “talons d’Achille” dans une structure, et les Anciens ont coutume de dire qu’une charpente sous-dimensionnée, mais correctement assemblée, est préférable à une charpente correctement dimensionnée, mais mal assemblée.

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

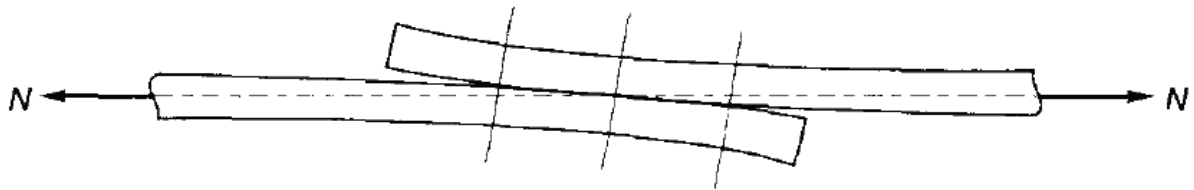
En revanche, dans le second cas, aucune déformation prémonitoire ne sera observable avant la rupture brutale.

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 moments secondaires parasites. Pour cela, quelques précautions élémentaires sont à prendre:

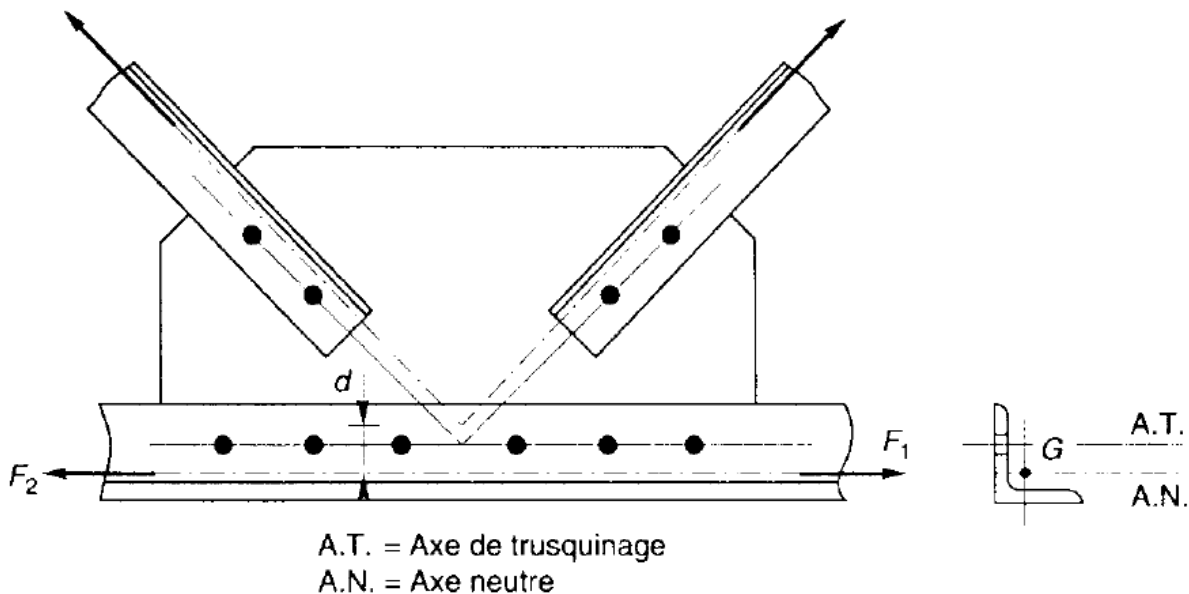
Il faut proscrire tout assemblage par recouvrement simple (figure A) et utiliser un assemblage symétrique par double couvre-joint (figure B).



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



Il faut par ailleurs s'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, du fait de la non-superposition des axes neutres 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 (ligne de déchirure). Dans le cas de la figure D, le moment secondaire vaut: $M = (F_2 - F_1) \cdot d$.



Nous allons examiner successivement:

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

1.4.DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DES ASSEMBLAGES–Eurocode3

Trous standards de perçage pour les boulons:

Trous nominaux	
Jeu (mm)	Diamètre boulon
1	M12 et M14
2	M16 à M24
3	≥ M27

Trous oblongs longs	
Dimensions (mm)	Boulon
2,5 d	tous

Positionnement des trous pour boulons : des espacements minimums sont imposés selon le type de sollicitations; l'indice (1) indique que la distance voulue est parallèle à l'effort, l'indice (2) indique que la distance voulue est perpendiculaire à l'effort.

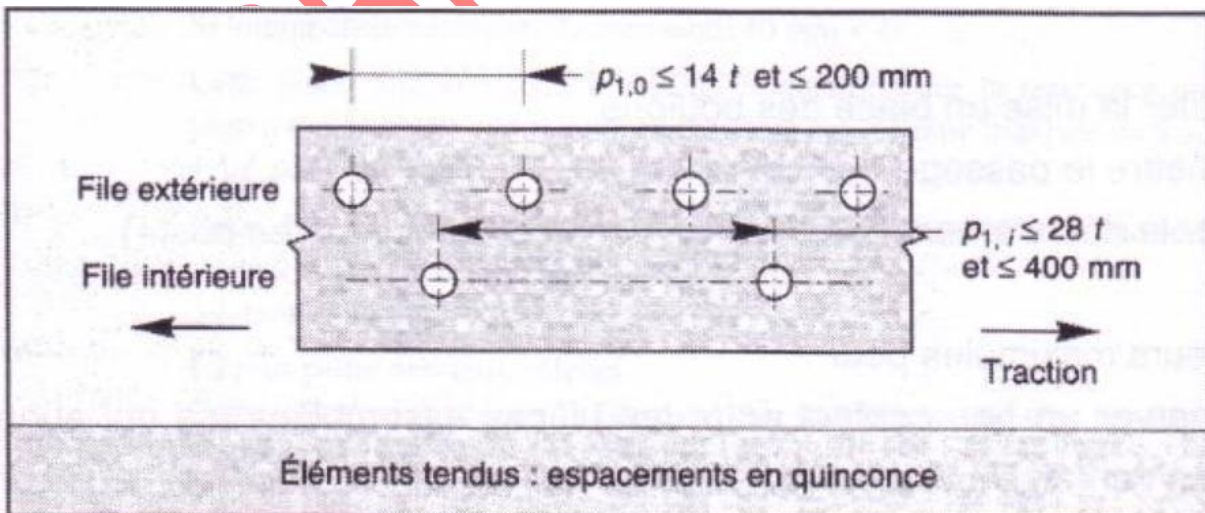
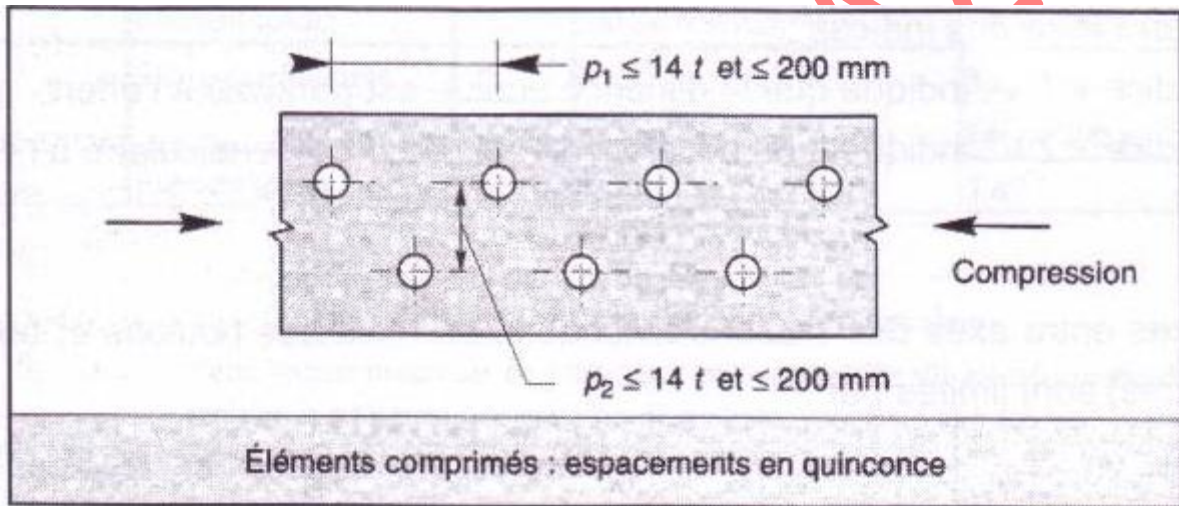
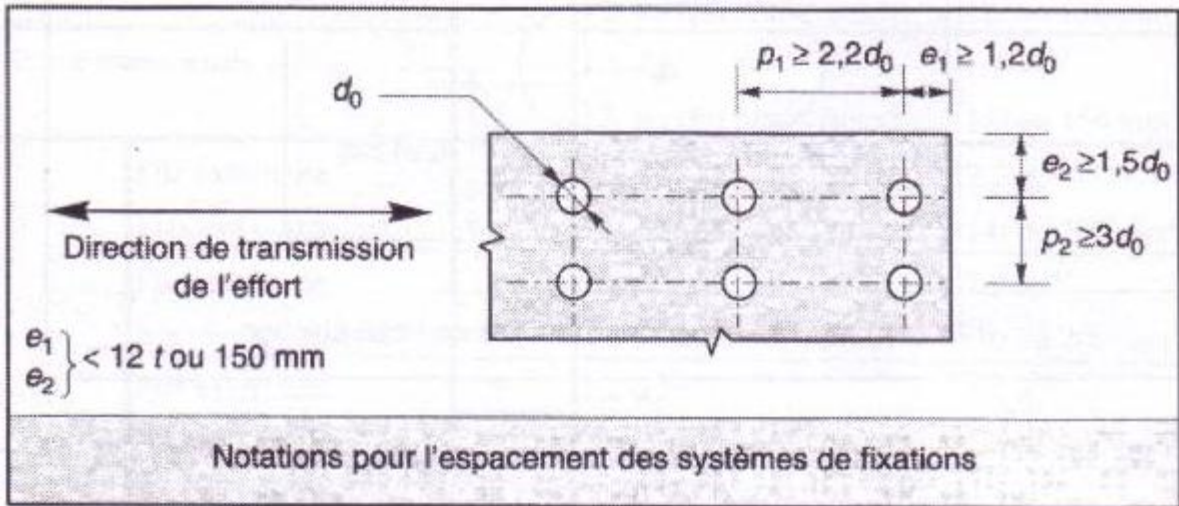
Les distances entre axes des boulons ainsi qu'entre axes des boulons et bords des pièces (pinces) sont limitées par:

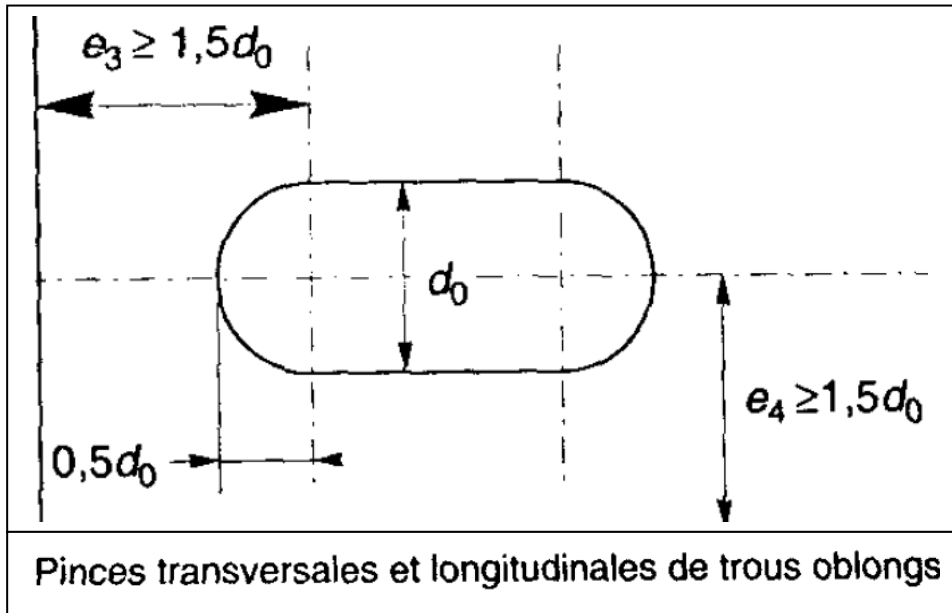
➤ **des valeurs minimales:**

- 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-poste);

➤ **des valeurs maximales:**

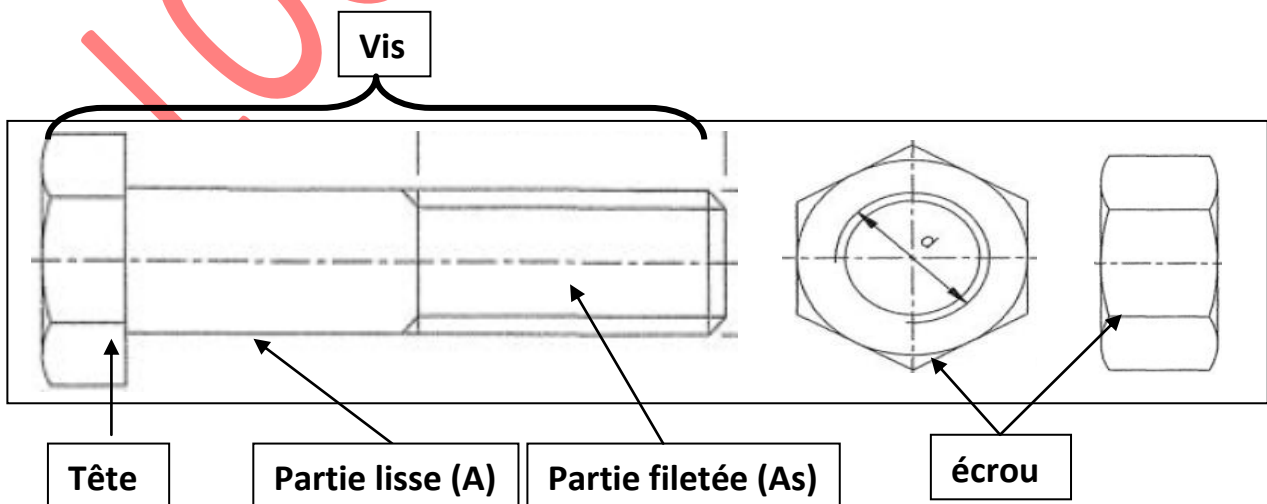
- pour conserver un bon contact entre les pièces assemblées (ce qui augmente le frottement et limite les risques de corrosion),
- pour éviter des assemblages trop longs

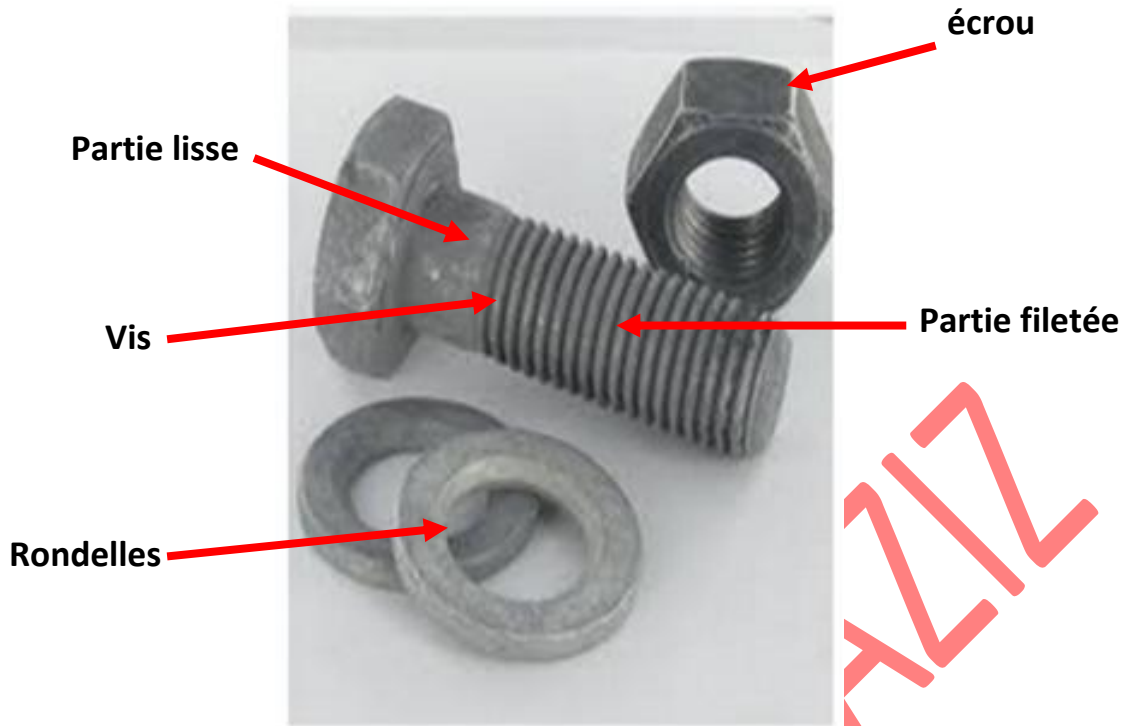




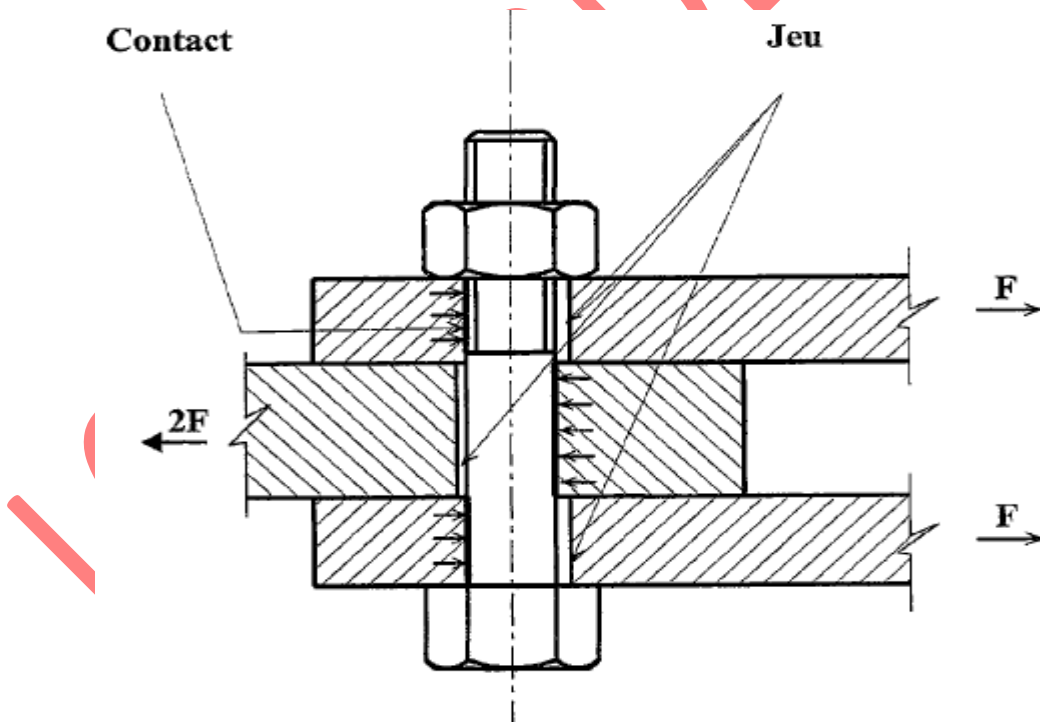
2. DIMENSIONNEMENT DES BOULONS ORDINAIRES

Définition : Les boulons ordinaires, sont mis en œuvre avec un serrage simple, non contrôlé; ils ne sont pas prévus pour subir une précontrainte, leur aptitude au serrage ne faisant l'objet d'aucun contrôle en fabrication. La reprise des efforts perpendiculaires à l'axe des vis s'effectue par cisaillement direct de celles-ci et pression diamétrale sur l'épaisseur des pièces. L'existence d'un jeu, indispensable au montage, entre le diamètre du trou et celui du boulon autorise un glissement de l'assemblage au cours de sa mise en charge en cisaillement.





longueurs de la vis: $L = E_p(\text{pièces à assembler}) + E_p(\text{rondelle}) + E_p(\text{écrou}) + 5\text{mm}$.



Transmission d'effort

- cisaillement
- pression
- traction

Les boulons ordinaires sont disponibles en 8 classes de résistance :4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.6, 6.8, 8.8 et 10.9. La codification des classes de boulons reflète les contraintes limites caractéristiques utilisées dans les calculs : le premier nombre du code est le dixième de la limite de rupture et le produit des deux nombres du code correspond à la limite d'élasticité (contraintes exprimées en daN/mm²). Les valeurs nominales de la résistance limite d'élasticité ainsi que celles de la résistance à la traction (limite de rupture) des différentes classes de boulons sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

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

2.1. ASSEMBLAGES SOLLICITÉS AU CISAILLEMENT

Dans ce cas, il convient de vérifier:

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

Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement :

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

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

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

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

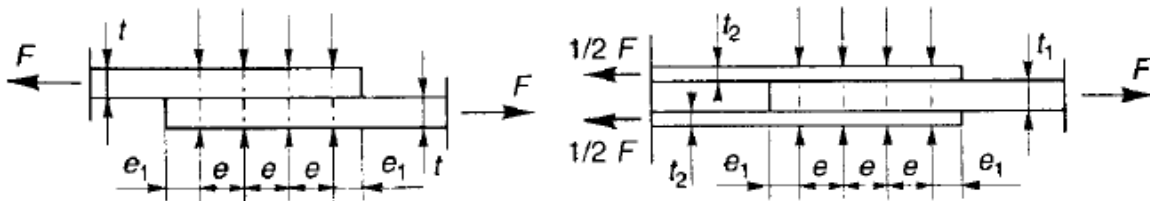
avec :

$A_b = A$: aire de la section brute du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée (lisse) du boulon;

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

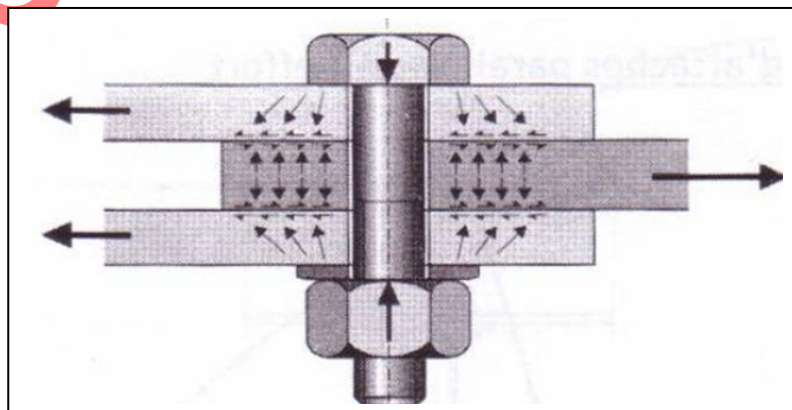
Résistance des boulons au cisaillement:

Coefficient partiel de sécurité au cisaillement: $\gamma_{Mb} = 1,25$



a) Une section cisillée ($m = 1$)

b) Deux sections cisillées ($m = 2$)



VALEURS DES SFCTEONS DES BOULONS (As et A)

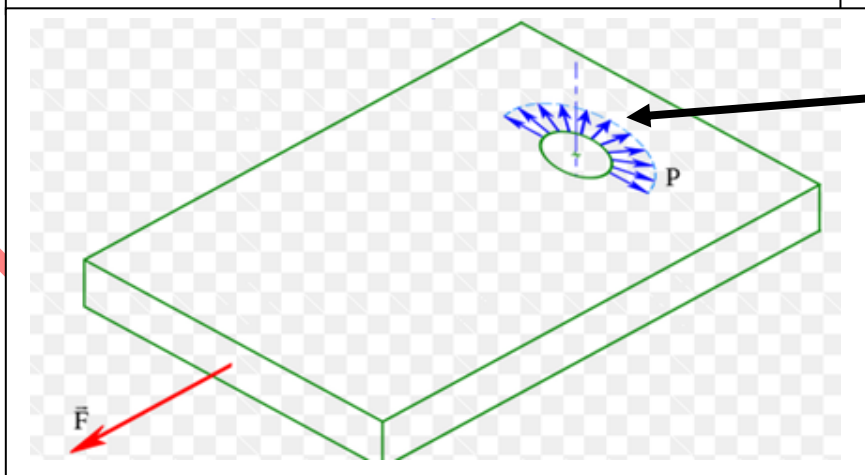
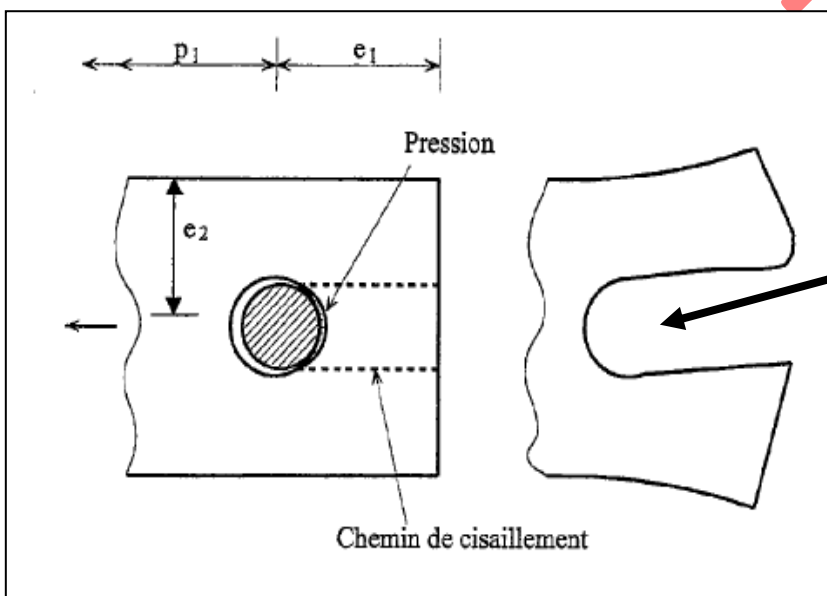
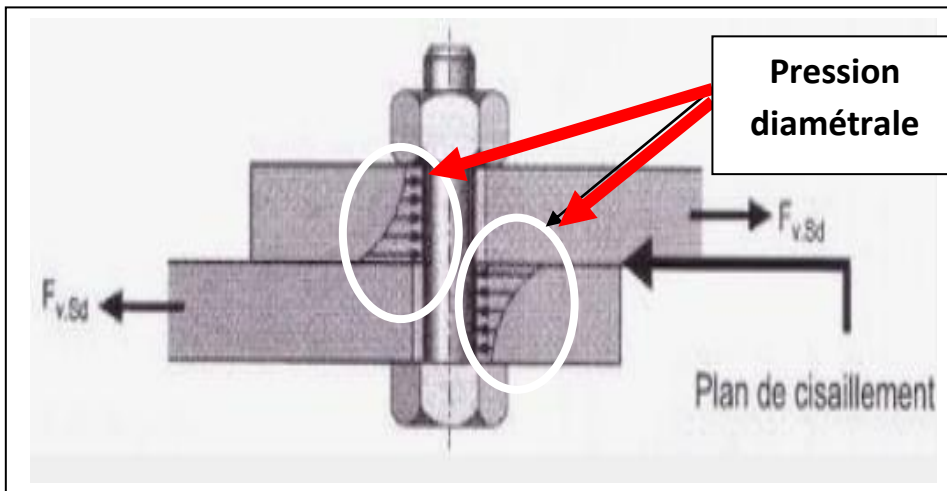
Aire de la section du boulon (A_b)		
Diamètre nominal d_b (mm)	Aire nominale A (mm ²)	Aire résistante A_s (mm ²)
8	50,3	36,6
10	78,5	58,0
12	113	84,3
14	154	115
16	201	157
18	254	192
20	314	245
22	380	303
24	452	353
27	573	459
30	707	561

CARACTERISTIQUES MECANQUES DES BOULONS SELON LEUR CALSSE 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	1 000

Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées :

La pression diamétrale est une pression (effort) exercée par la tige du boulon sur la paroi interne du trou.



On doit vérifier :

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

Où (α) est la plus petite des valeurs suivantes :

$$\alpha = \min \left\{ \frac{\ell_1}{3 d_0}, \frac{P_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right\}$$

2.2. ASSEMBLAGES SOLLICITÉS À LA TRACTION

La résistance en traction des boulons vaut:

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

Résistance des boulons à la traction: $\gamma_{Mb} = 1,50$

2.3. 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 :

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

3. DIMENSIONNEMENT DES BOULONS PRÉCONTRAINTS

3.1. PRINCIPE

Les boulons à serrage contrôlé, *dits* aussi boulons précontraints ou boulons à haute résistance (HR), sont fabriqués spécifiquement pour garantir une aptitude au serrage.

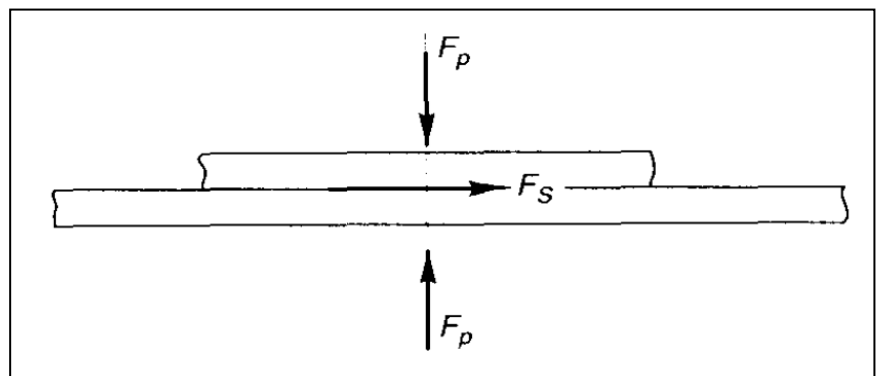
Bien que présentant le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (haute résistance) est constitué d'acier à haute limite élastique et comporte une rondelle incorporée à la tête. Lors du boulonnage, il est serré fortement, ce qui a pour effet de lui communiquer un effort de précontrainte, qui agit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

3.2. PRÉCAUTIONS CONSTRUCTIVES

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

- la tête du boulon ne doit pas poinçonner les pièces assemblées (d'où l'interposition d'une rondelle),
- la force de précontrainte doit bien être appliquée à sa valeur de calcul (d'où 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 grenaillage, 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 découpées par grenaillage 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 base de zinc, garanti d'assurer un coefficient de glissement qui ne soit pas inférieur à 0,5.

Classe B:

Pas de recommandations.

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 des boulons (HR)

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.

3.3.CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES BOULONS

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

- **les boulons HR 1 ou HR 10.9,**
- **les boulons HR2 ou HR 8.8.**

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

3.4. ASSEMBLAGES RÉSISTANT AU GLISSEMENT

Résistance au glissement

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

$$F_S = k_s \cdot m \cdot \mu \cdot F_P / \gamma_{MS}$$

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,
- 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.

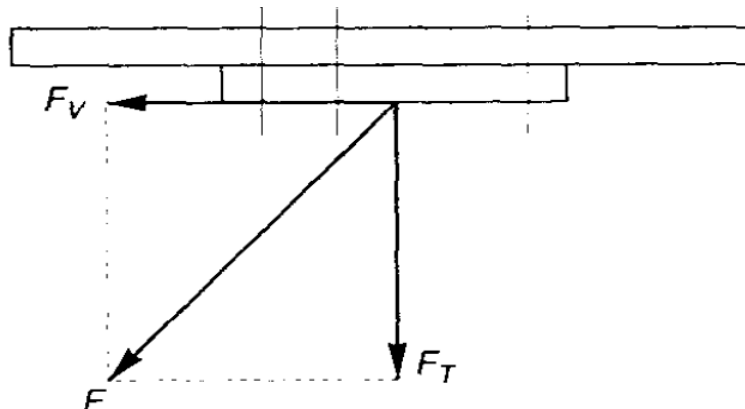
Précontrainte : L'effort de précontrainte autorisé dans les boulons vaut:

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

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 ci-après :

$$F_V \leq F_S = k_s \cdot m \cdot \mu \cdot (F_p - 0,8 \cdot F_T) / \gamma_{MS}$$



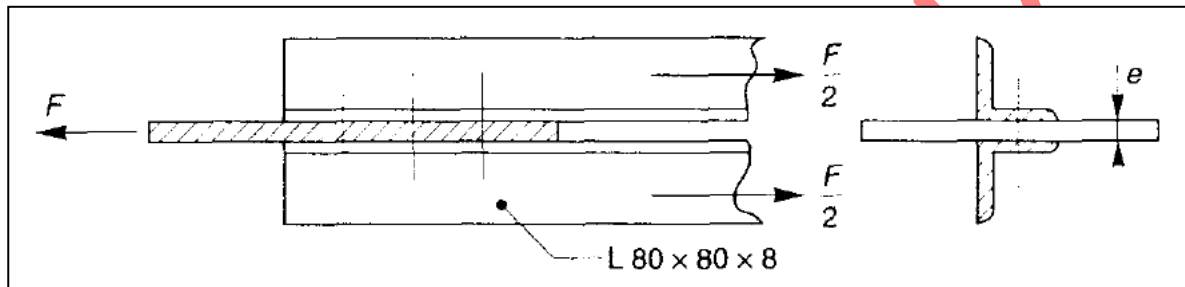
4.APPLICATIONS :

Boulons ordinaires

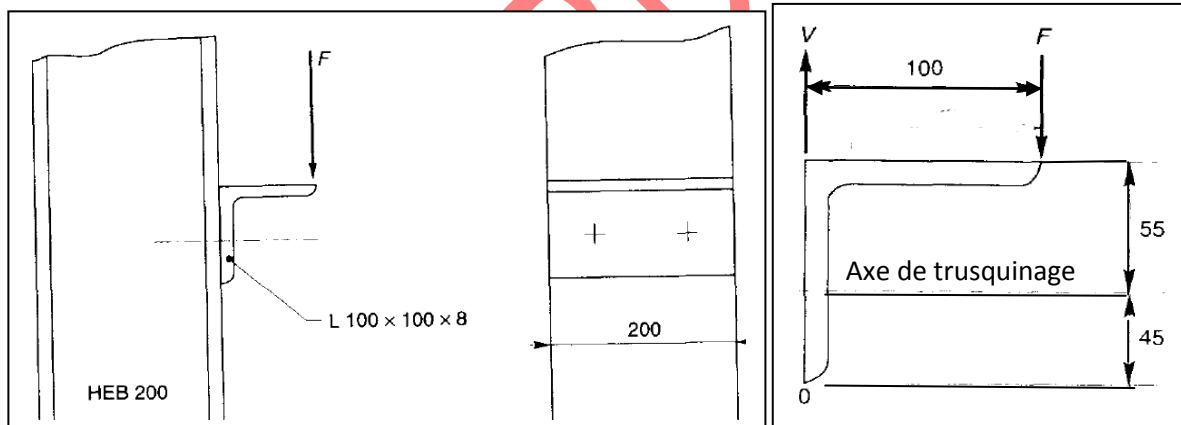
Exercice 1 : attache de deux cornières sur un gousset

- Déterminer le nombre de boulons nécessaire.

Données : $F=440\text{KN}$, $e=8\text{mm}$, Acier S235, boulons ($\phi 16$ classe 8.8)



Exercice 2 :assemblage d'une cornière en console sur un poteau



- Calculer le diamètre des boulons.

Données : Poteau HEB200, cornière 100x100x8, effort pondéré (majoré) $F = 6 \text{ kN}$, acier S.235, nombre de boulons $n = 2$.

Boulons HR

Exercice 1: attache d'une cornière sur un gousset

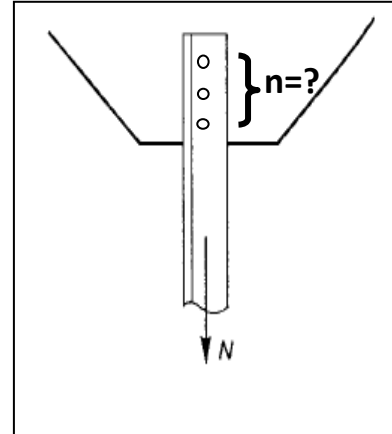
Cornière L 70 x 70 x 7

Épaisseur gousset = 8 mm

Acier S.235 , $\mu = 0,30$, Boulons HR 8.8.

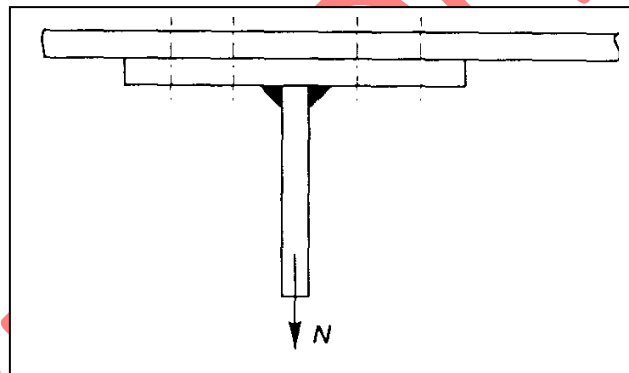
N pondéré (majorée) = 190kN

Calculer le diamètre et le nombre des boulons



Exercice 2: vérification d'un T à l'arrachement

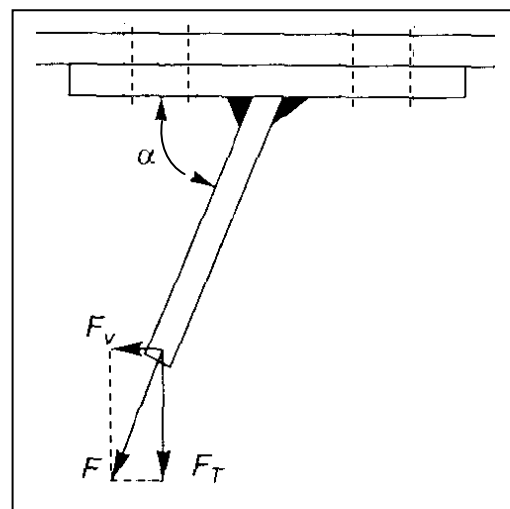
- Soit un T fixé par 8 boulons HR 8.8, de diamètre 16 mm. Quelle charge maximale pondérée peut supporter cet assemblage?



Exercice 3: vérification d'un assemblage sollicité selon deux directions

8 boulons HR 10.9, de diamètre 16 mm ,

$\alpha = 60^\circ$, $\mu = 0,3$.



4.ASSEMBLAGES SOUDES

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), mécanique (friction);

— une aptitude du matériau à être soudé, appelée soudabilité. La soudabilité à haute température dépend des qualités propres du matériau, mais également de divers paramètres limitatifs, tels que :

- les modifications de la structure physico-chimiques du matériau.
- l'apparition de fissurations et de criques au refroidissement,
- l'apparition de déformations géométriques dues aux effets de dilatation retrait,
- la naissance de contraintes internes,
- etc.,

qui nécessitent donc de prendre une série de précautions sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

4.1.AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

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 secondaires (goussets, attaches, etc.);
- 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 et onéreux;

- le contrôle des soudeurs est aléatoire;
- le soudage exige une main-d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique.

4.2. PRÉCAUTIONS CONSTRUCTIVES

Le soudage de l'acier exige des températures élevées qui vont provoquer une dilatation locale des pièces. Lors du refroidissement de la zone du cordon de soudure, le retrait va :

- soit provoquer des déformations dans les pièces, si ces dernières sont librement dilatables (figure 40) ;
- soit générer des contraintes internes dans les pièces, si ces dernières sont bridées (figure 41).

Dans le premier cas, pour remédier aux déformations, il est possible: soit de donner aux pièces des pré- déformations initiales inverses, qui compensent les déformations de retrait;

- soit de redresser les pièces à froid, sous presse;
- soit d'effectuer les cordons par tronçons discontinus et espacés dans le temps;
- soit de préchauffer les pièces pour éviter un refroidissement brusque.

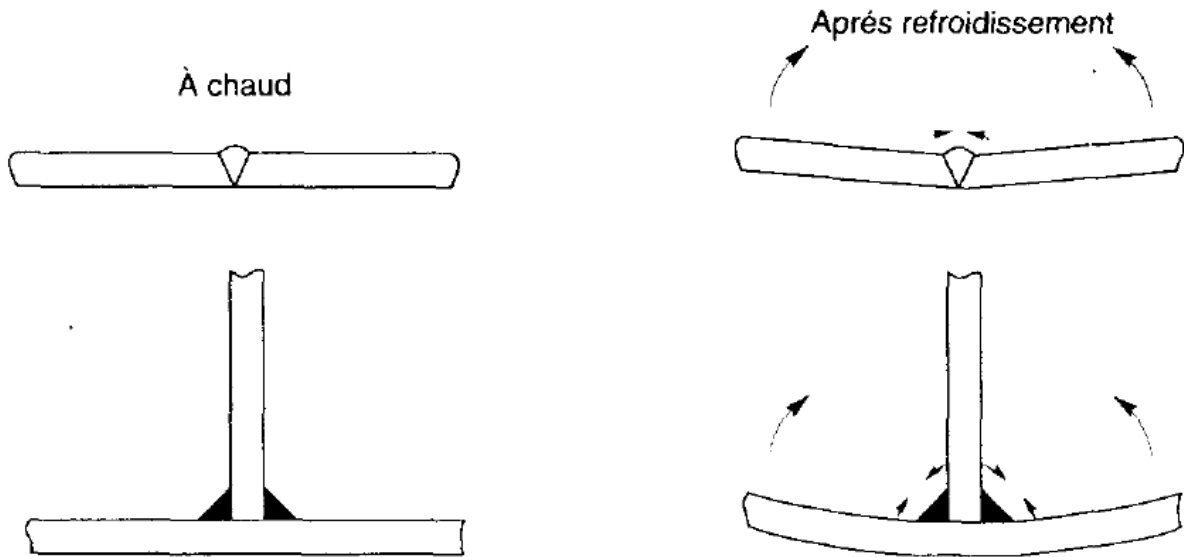
Dans le second cas (pièces bridées), pour limiter les contraintes internes, il est possible:

- soit d'assouplir le bridage, ce qui autorisera de faibles déformations, acceptables;
- soit de postchauffer les pièces.

Quelques autres précautions élémentaires doivent être prises:

- éviter l'assemblage de pièces de trop grande différence d'épaisseurs, car il y a risque de déformation de la pièce la plus mince et risque de fissuration du cordon de soudure au refroidissement;
- éviter les assemblages par soudure pour des pièces d'épaisseur supérieure à 30 mm;

- réaliser des cordons de diamètre supérieur à 4 mm ($a \geq 4$ mm) et de longueur supérieure à 50mm ($l > 50$ mm ou $10a$);
- veiller à une bonne corrélation entre l'épaisseur du cordon et l'épaisseur de la plus faible des pièces à assembler (figure 42).



4.3.CALCUL ET VERIFICATION DES CORDONS DE SOUDURE SELON L'EUROCODE 3 :

avec des coefficients β_w et γ_{Mw} variables selon la nuance d'acier :

Nuances d'acier		γ_{Mw}	β_w	$\beta_w \cdot \gamma_{Mw}$
f_y	f_u			
235 MPa	360 MPa	1,25	0,80	1,00
275 MPa	430 MPa	1,30	0,85	1,10
355 MPa	510 MPa	1,35	0,90	1,20

Nous allons établir ci-après des formules de calcul pour des cordons reliant:

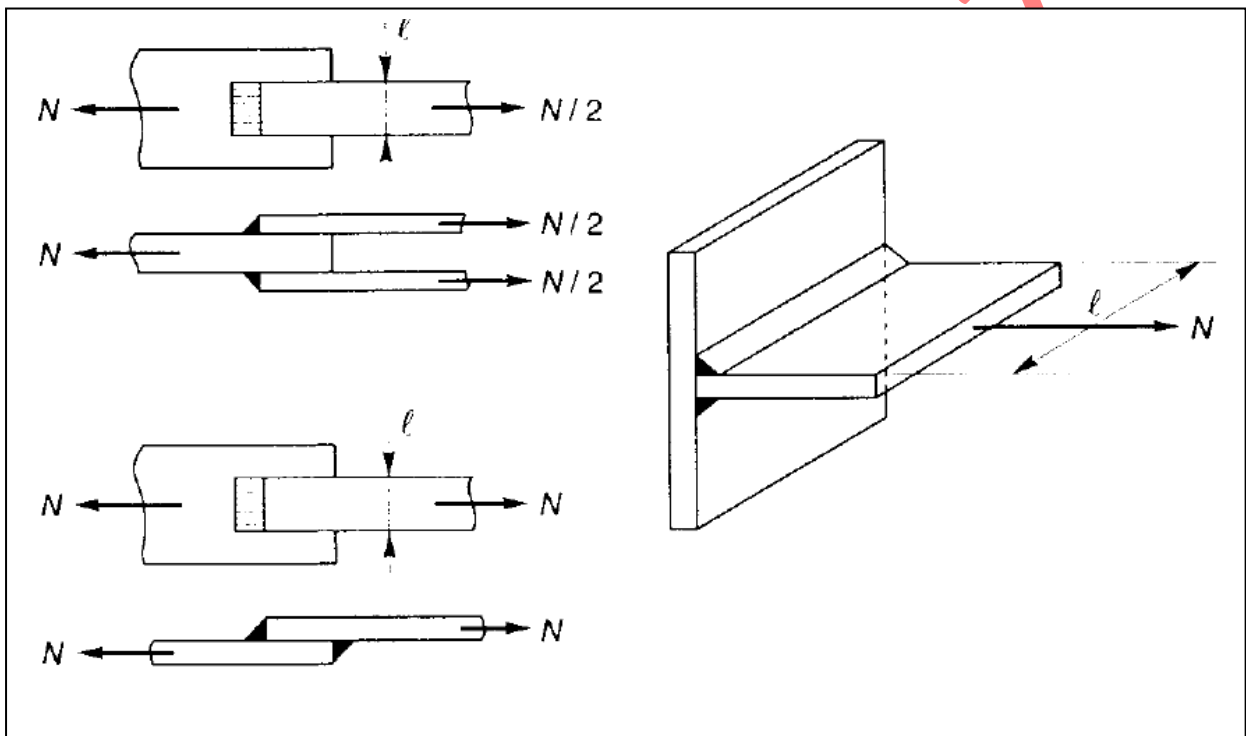
- soit des pièces orthogonales,
- soit des pièces obliques.

A- Cordons reliant des pièces orthogonales

Les cordons peuvent être frontaux, latéraux, obliques.

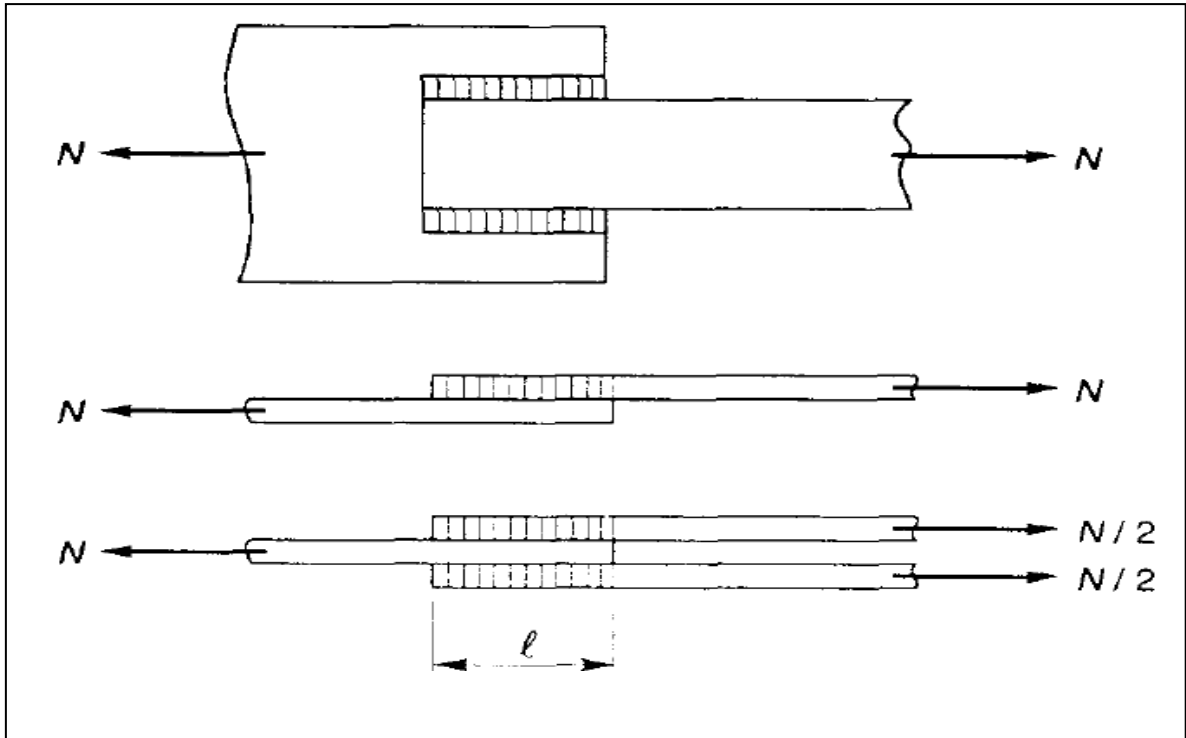
1. Cordons frontaux

On doit vérifier :
$$a \cdot \Sigma \ell \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{2}}{f_u}$$



2. Cordons latéraux :

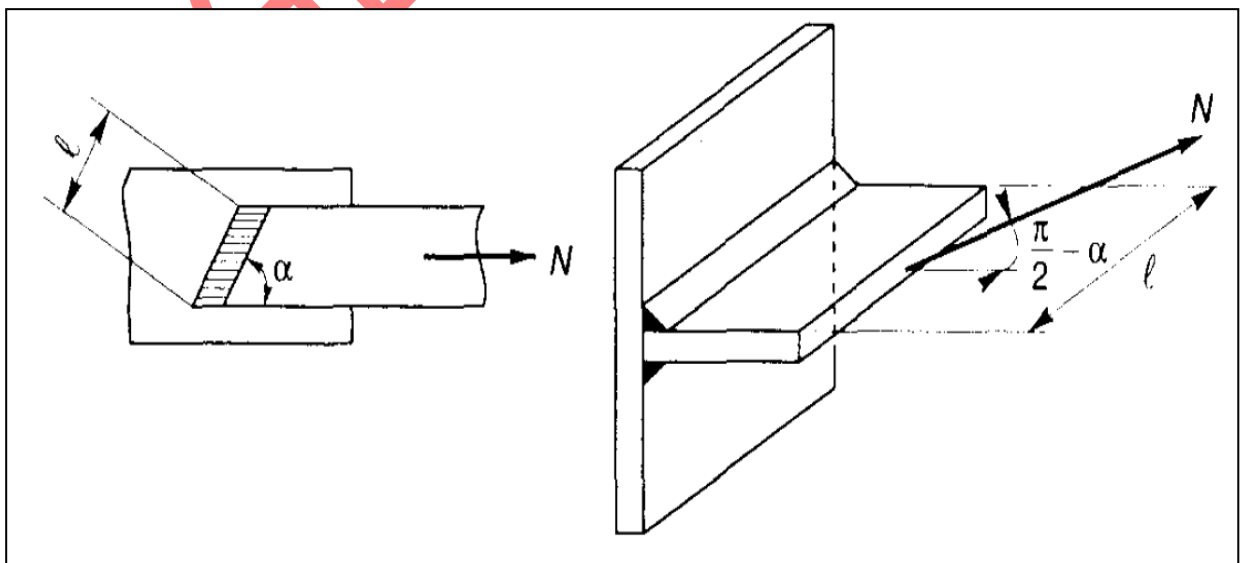
on doit vérifier :
$$a \cdot \Sigma \ell \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{3}}{f_u}$$



3. Cordons obliques :

On doit vérifier :

$$a. \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N \sqrt{3 - \sin^2 \alpha}}{f_u}$$



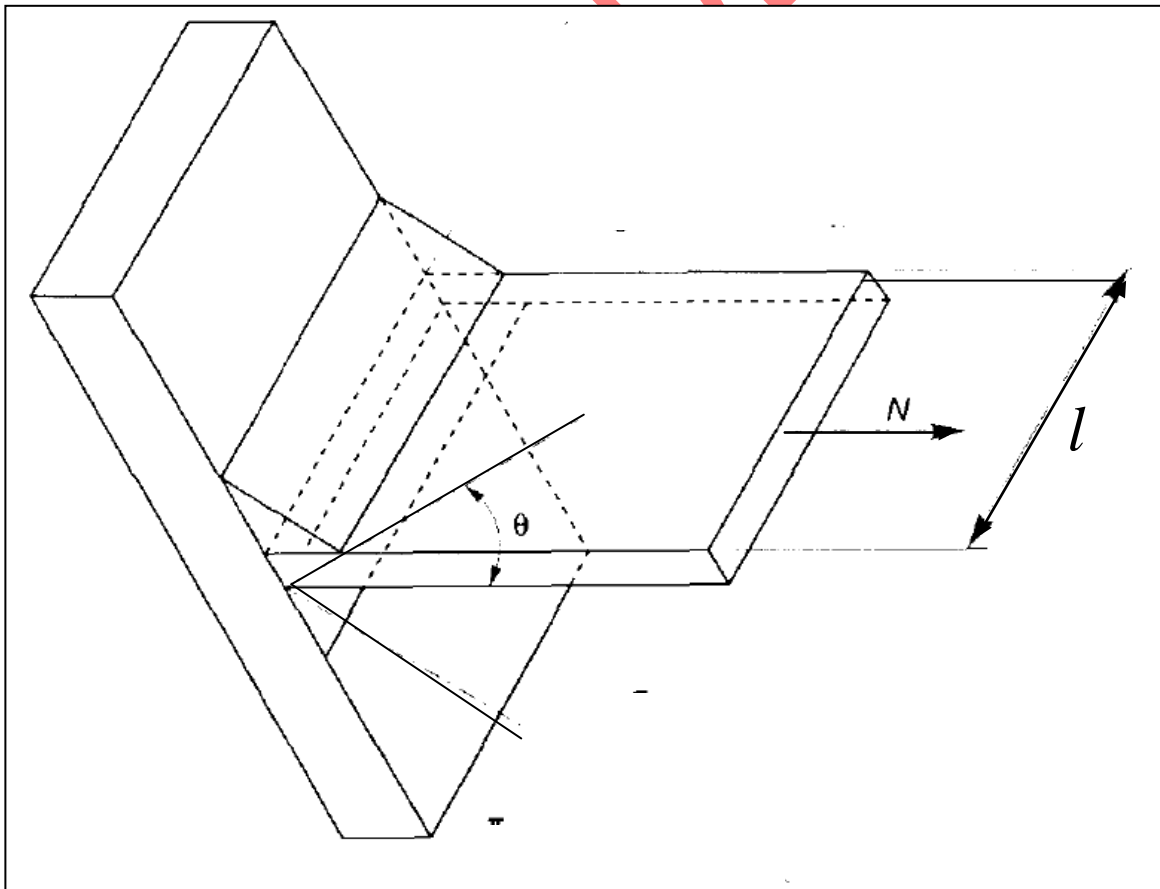
4. Formule enveloppe

Il existe une formule enveloppe, qui dispense de tous les calculs précédents, qui place en sécurité, quelle que soit l'orientation de l'effort et du cordon de soudure:

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{3}}{f_u}$$

B- Cordons reliant des pièces obliques

(θ) : Désignant l'angle d'une des faces d'assemblage avec la perpendiculaire à l'autre face, on distingue de la même façon des cordons frontaux, latéraux et obliques.



1. Cordons frontaux

Pour l'angle obtus on doit vérifier que:

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{2 - \sin \theta}}{f_u}$$

Pour l'angle aigu on doit vérifier que :

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{2 + \sin \theta}}{f_u}$$

2. Cordons latéraux

De la même façon que pour des pièces orthogonales, on vérifie quel que soit l'angle, obtus ou aigu, que:

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{3}}{f_u}$$

3. Cordons obliques

Dans le cas de cordons obliques, faisant un angle α avec la direction de l'effort, on établit:

• Pour un angle obtus:

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N\sqrt{3 - (1 + \sin \theta) \cdot \sin^2 \alpha}}{f_u}$$

Pour un angle aigu on doit vérifier que :

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N \sqrt{3 - (1 - \sin \theta) \cdot \sin^2 \alpha}}{f_u}$$

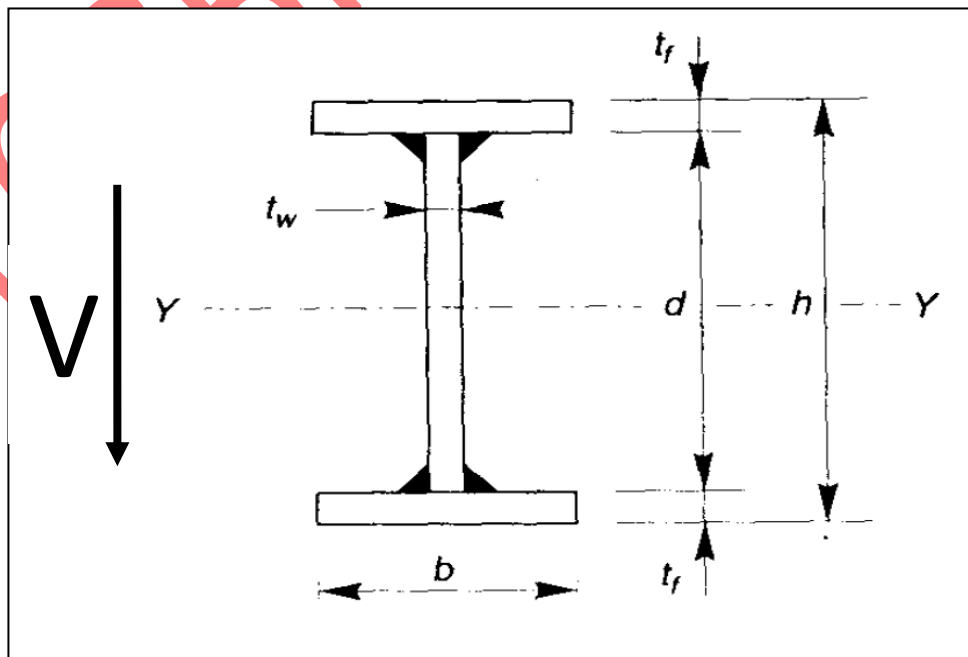
4. Formule enveloppe

Il existe une formule enveloppe, qui dispense de tous les calculs précédents, qui place en sécurité, quelle que soit l'orientation de l'effort et du cordon de soudure:

$$a. \Sigma l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N \sqrt{3}}{f_u}$$

5. Assemblage de pièces fléchies (PRS)

(cordons entre âme et semelles d'une poutre reconstituée soudée (PRS))



- Soit (V) l'effort tranchant,
- Considérons l'attache d'une semelle sur l'âme (soit deux cordons).

➤ L'effort tranchant maximal (V) doit vérifier

$$V \leq \frac{f_u \cdot d \cdot t_w}{\sqrt{3}}$$

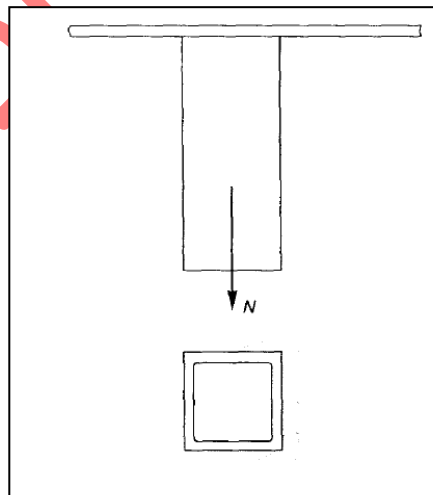
➤ L'épaisseur utile du cordon de soudure doit vérifier :

$$a \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{t_w}{2}$$

Applications :

Exercice 1 : attache d'un tube sur une platine

Soit un tube 80 x 80 x 5, soudé sur une platine par un cordon périmétrique d'épaisseur $a = 5$ mm. Quel effort axial pondéré N peut-il supporter? Acier S.235 ($f_u = 360 \text{ N/mm}^2$).

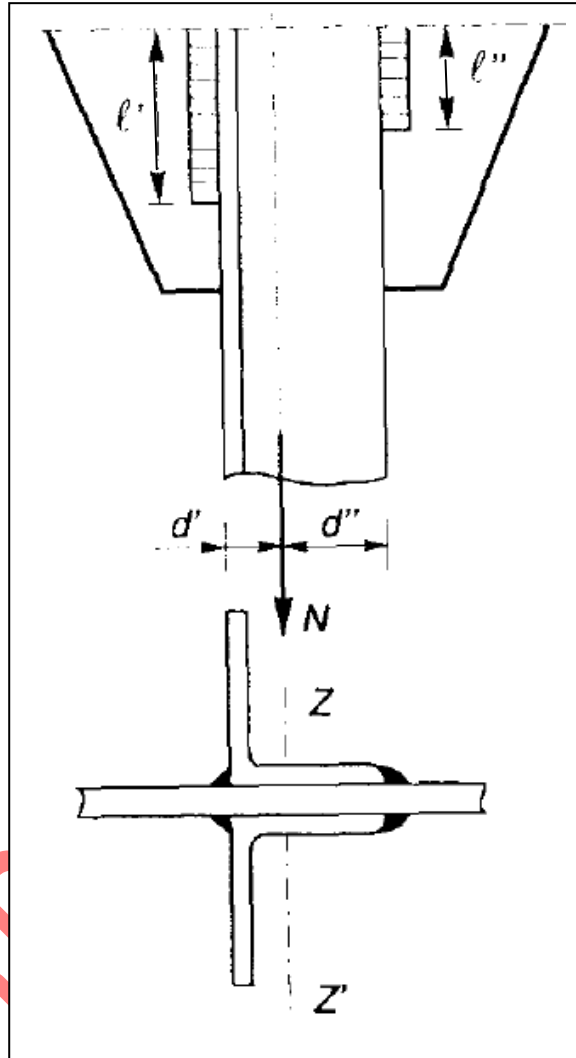


Exercice 2 : attache de deux cornières sur un gousset

— Soient deux cornières 80x80x8, soudées sur un gousset par des cordons d'épaisseur $a = 4$ mm.

— L'effort de traction pondéré N appliqué sur l'axe neutre vaut $N = 40\,000$ daN
 - $d' = 23$ mm et $d'' = 57$ mm. Acier S.235.

Calculer la longueur des cordons de soudure.



Exercice 3 : attache d'une diagonale de treillis sur un gousset

Soit une diagonale de treillis, constituée d'une double cornière L 120 x 80 x 10, reprenant un effort de traction pondéré $N = 800$ kN (Soit 400 kN pour chacune des cornières).

Dimensions du gousset:

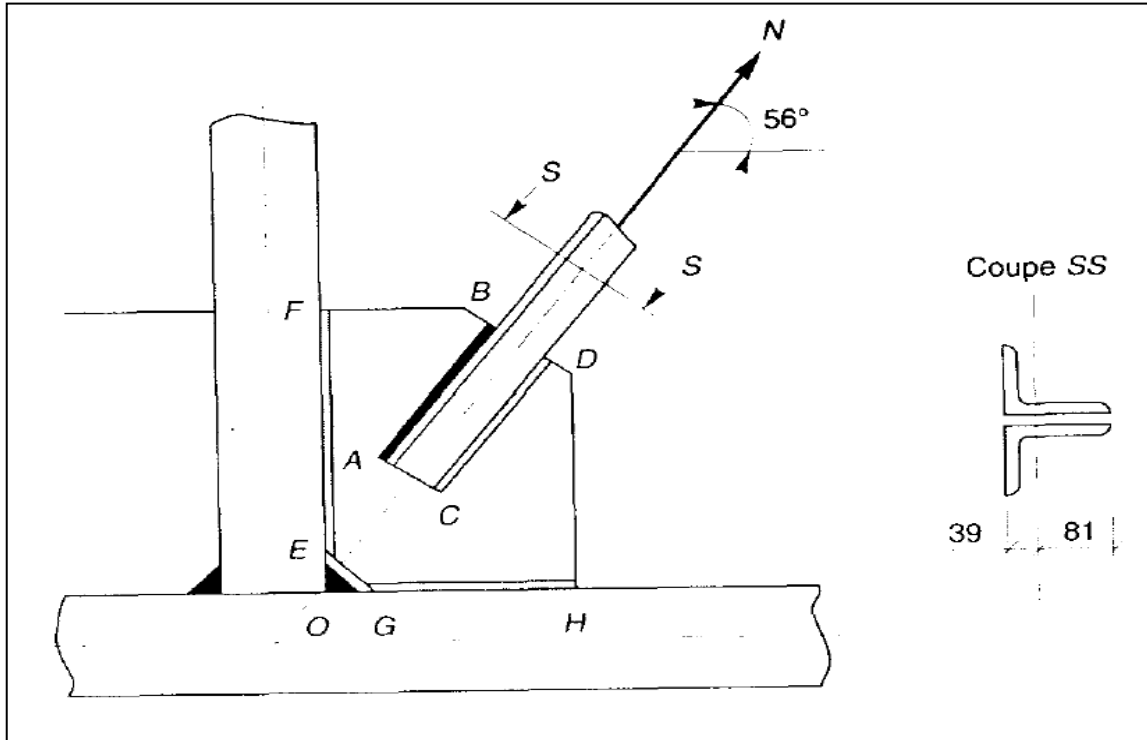
OE = OG = 50 mm

EF=400mm

GH=250mm

épaisseur: $t = 14 \text{ mm}$

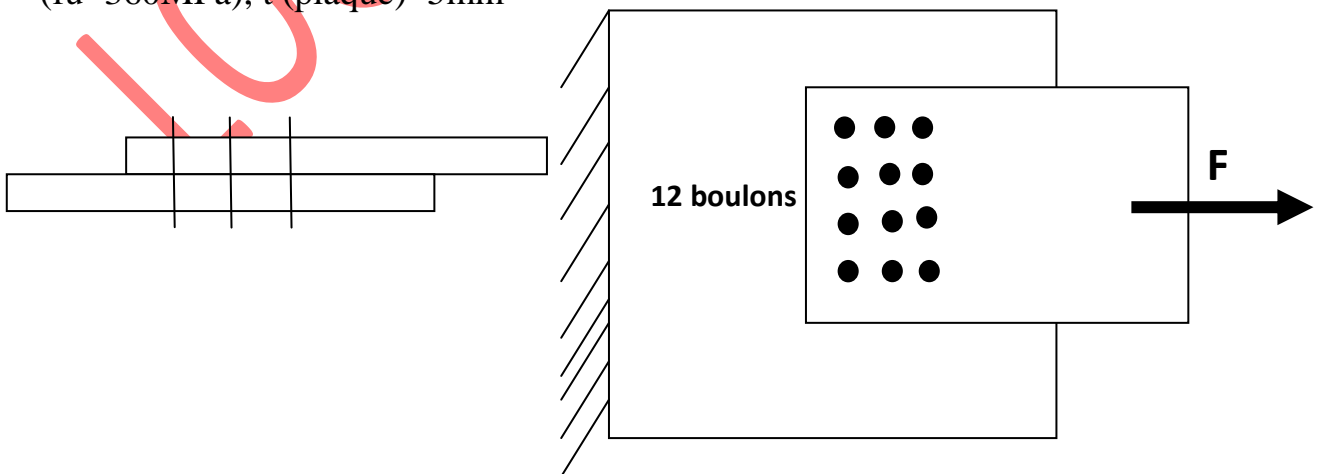
- Calculer les cordons de soudure



Exercice 4 :

- Calculer la résistance de l'assemblage suivant dans les deux cas suivant :

Assemblage boulonné : 12 boulons ordinaire ($\phi 16$) classe 6.8, acier S235, ($f_u=360\text{MPa}$), t (plaque)=5mm

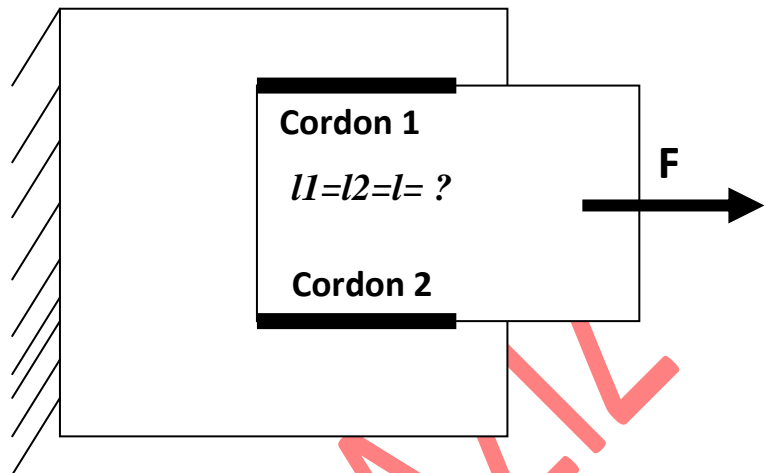


2^{ème} cas assemblage soudé :

- si on remplace les boulons par deux cordons de soudure, calculer la longueur (l) du cordon.

Données : $a_1=a_2=a=5\text{mm}$

$l_1=l_2=l= ?$



Exercice 5 :

- Calculer la résistance de l'assemblage suivant dans les trois cas:

1^{er} cas : $\alpha=0^\circ$

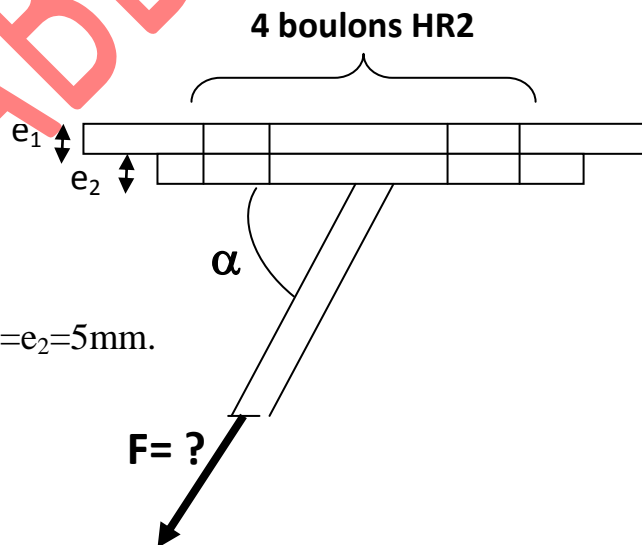
2^{ème} cas : $\alpha=90^\circ$

3^{ème} cas : $\alpha=60^\circ$

Données :

4 boulons HR2, $\phi 14$, $\mu=0,3$

Acier S235, $f_u=350\text{N/mm}^2$, $e_1=e_2=5\text{mm}$.



5.LES MODES D'ASSEMBLAGE

Le choix du système porteur doit s'adapter au type de bâtiment, à sa configuration, à ses contraintes spécifiques. Plus on cherche de la continuité entre deux éléments à assembler, plus les liaisons sont sollicitées.

Nous distinguons trois familles d'assemblages dont dépendent les hypothèses de calculs :

5.1.LES ENCASTREMENTS

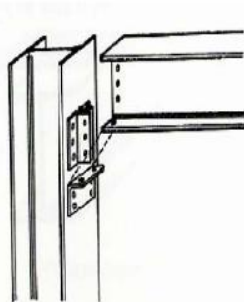
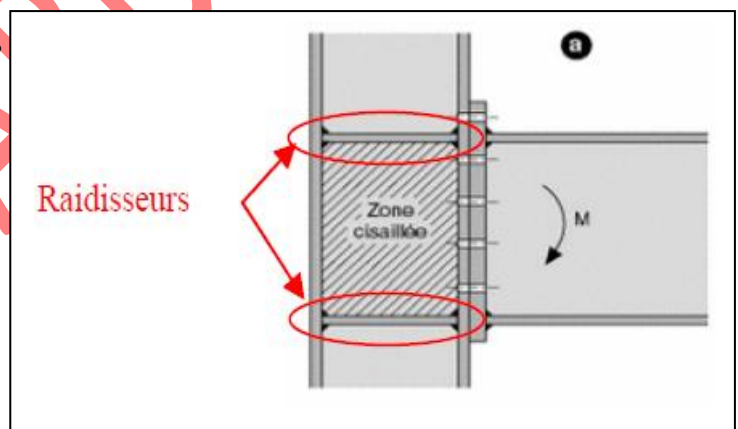
L'encastrement → C'est une liaison qui fixe complètement les éléments entre eux. Aucune translation, aucune rotation ne peut se produire. Ce type de liaison transmet les moments.

➤ Encastrement Poteaux / Poutre

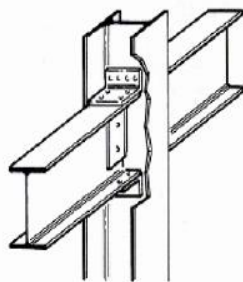
Raidisseurs disposés dans les âmes du poteau au droit des semelles de poutre.

Les raidisseurs reprennent les fortes sollicitations de traction et de compression dans les membrures supérieures de la poutre, qui endommageraient le poteau.

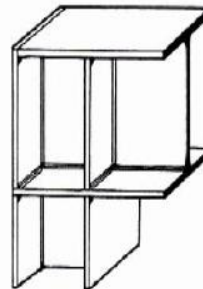
Autres exemples d'encastements :



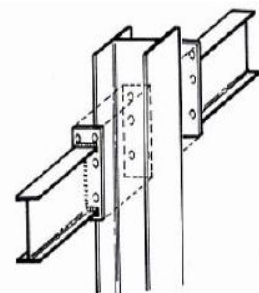
Eclisses en cornières boulonnées



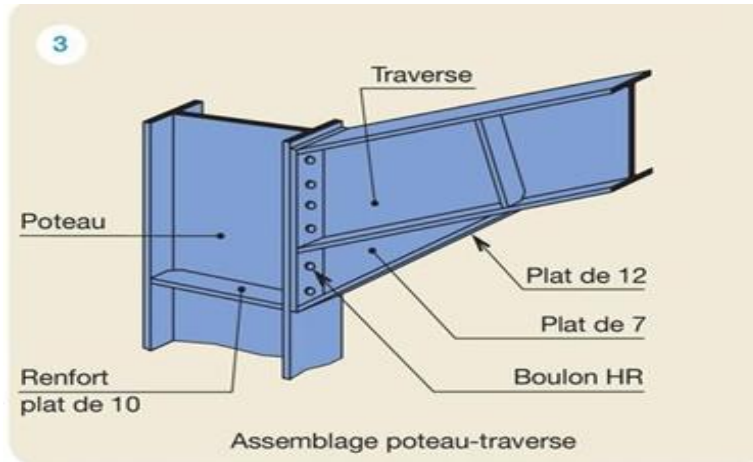
Eclisse soudée et cornière boulonnée



Angle entièrement soudé



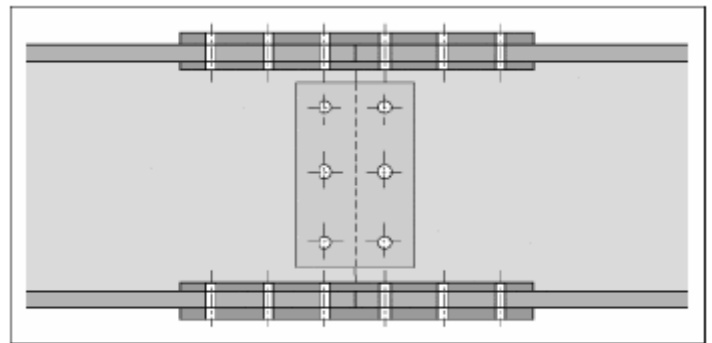
Plaque d'about



➤ **Encastrement Poutre / Poutre**

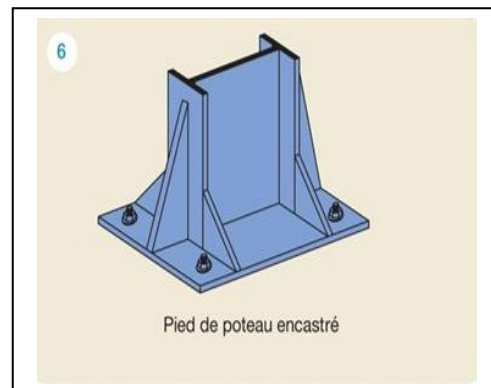
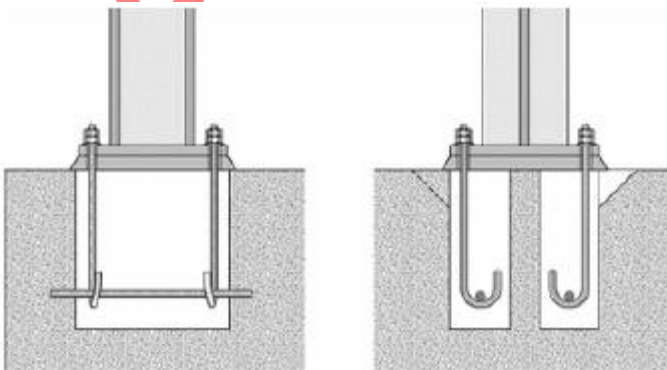
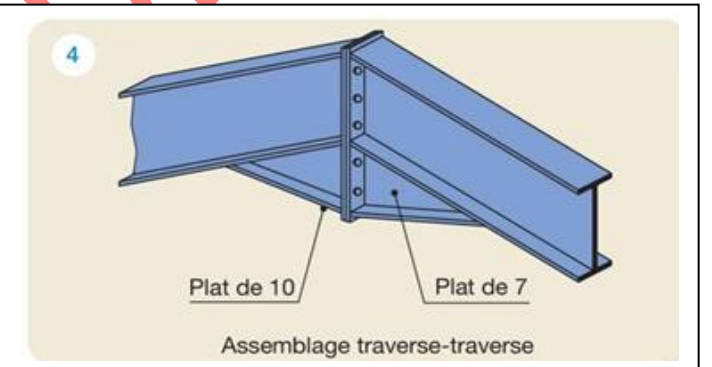
Assemblage de continuité boulonnée. Continuité des ailes assurée par des plaques et contreplaques boulonnées.

La continuité des âmes est assurée par des plaques d'éclissage.

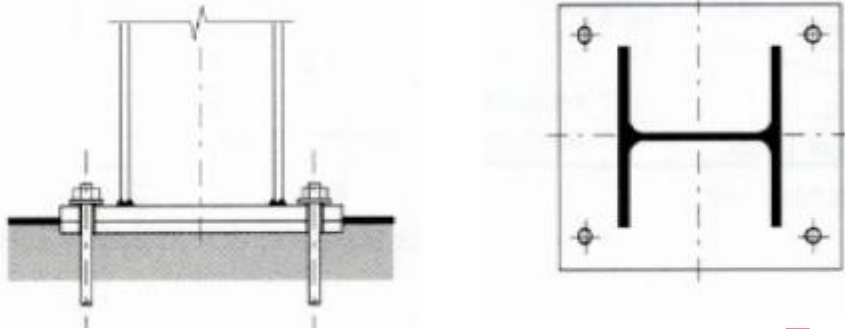


➤ **Encastrement Pied de poteau.**

Encastrement pied de poteau avec tige et clefs (clames) métalliques d'ancrage. Les tiges sont placées avec la platine, puis scellées par le béton dans le massif de fondation.



Plaque soudée au profilé et scellée au sol par goujons



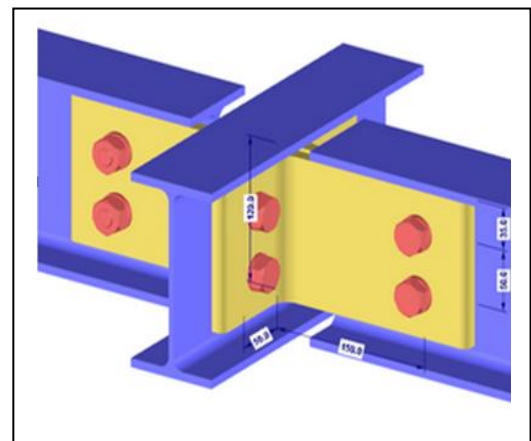
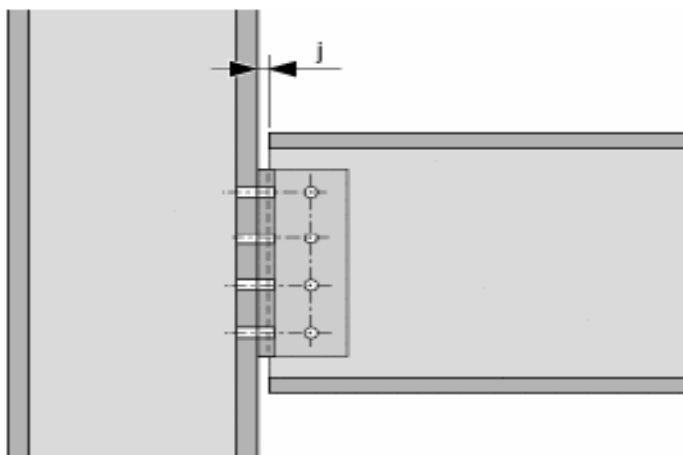
5.2.LES ARTICULATIONS

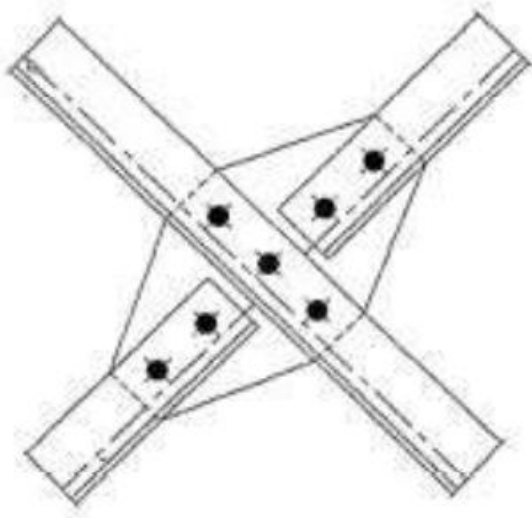
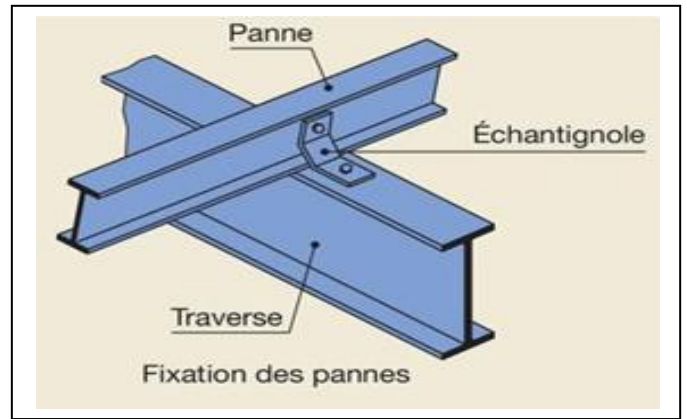
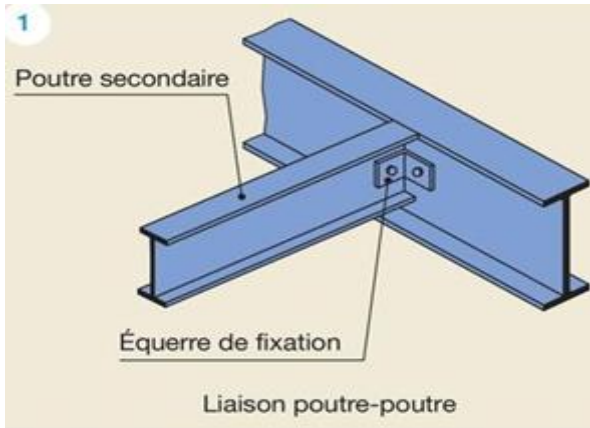
L'articulation → C'est une liaison non rigide entre au moins deux éléments.

Seules les rotations autour de l'axe de l'articulation (plan) ou autour de son centre (espace) sont autorisées.

a. Articulation Poteau / Poutre et poutre /poutre

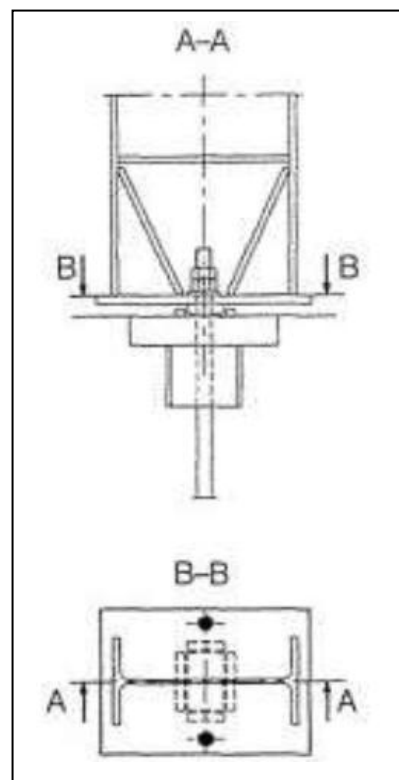
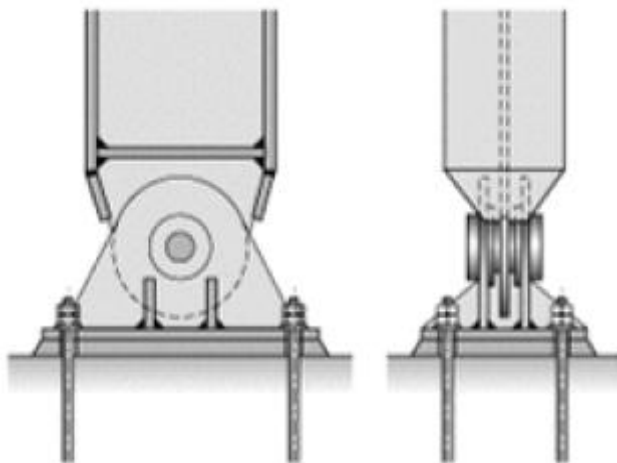
Assemblage articulé, l'âme de la poutre est fixée au moyen d'une cornière à l'aile du poteau. *Un jeu est laissé entre la poutre et le poteau afin de permettre un comportement correct de la structure*





b. Articulation en pied de poteau

Une cornière platine est pré-scellée dans le massif de fondation. La platine de poteau vient se fixer ensuite dessus.

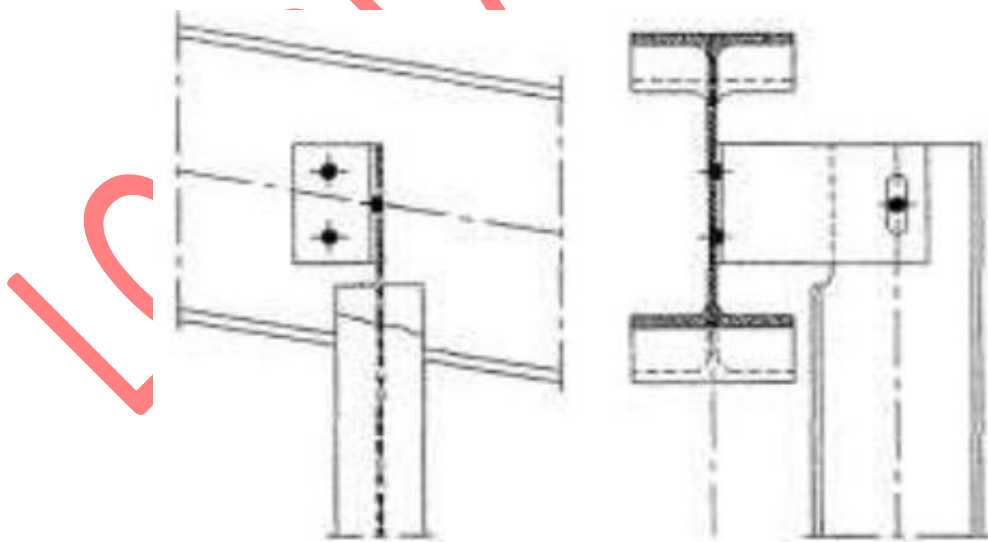
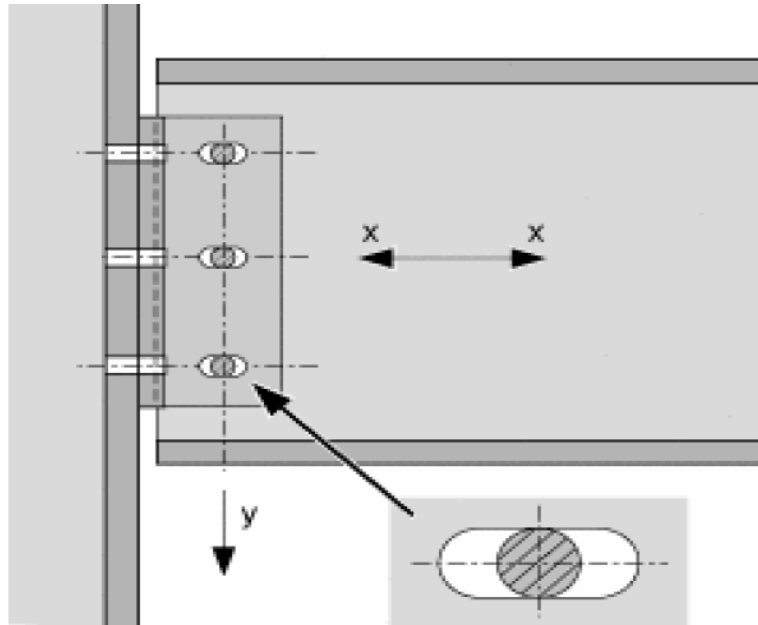


5.3.LES APPUIS SIMPLES

Les liaisons ne permettent qu'une réaction perpendiculaire au plan de l'appui.

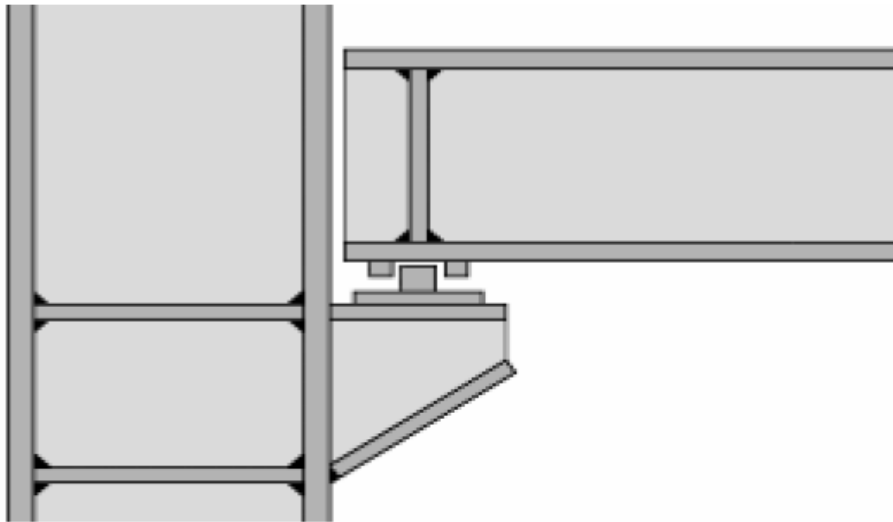
➤ Appui simple :

Le déplacement de la poutre métallique est rendu possible grâce à ses ouvertures oblongues.



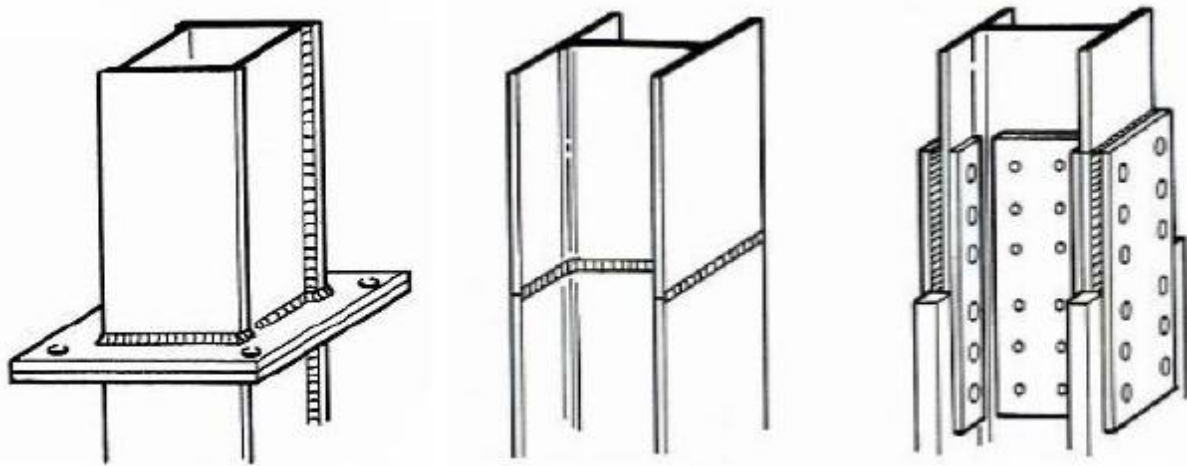
➤ **Appui simple sur console :**

Des butées sont réglées pour limiter le déplacement horizontal.



5.4.LES JONCTIONS DES POTEAUX

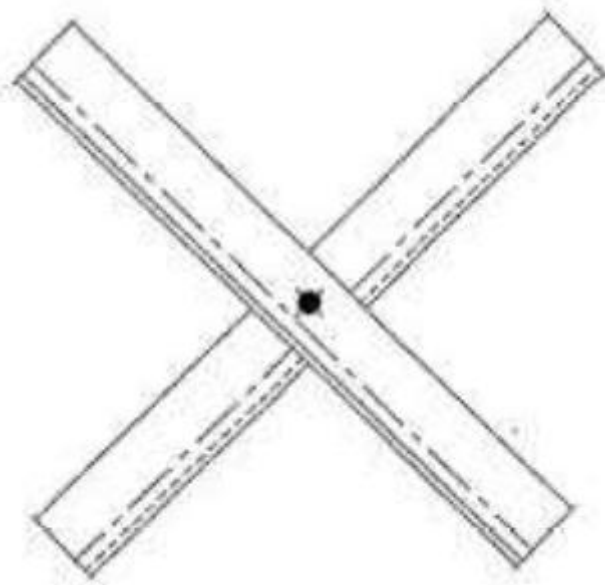
Quelques exemples de jonctions de poteaux.



Exemple de jonction entre les poteaux

- 1 – Joint par plaques d'extrémités soudées
- 2 – Soudage bout à bout des tronçons
- 2 – Joint par éclisses boulonnées

5.6. BOULON (PAS DE LIAISON) : liaison entre deux diagonales continues de grande longueur :



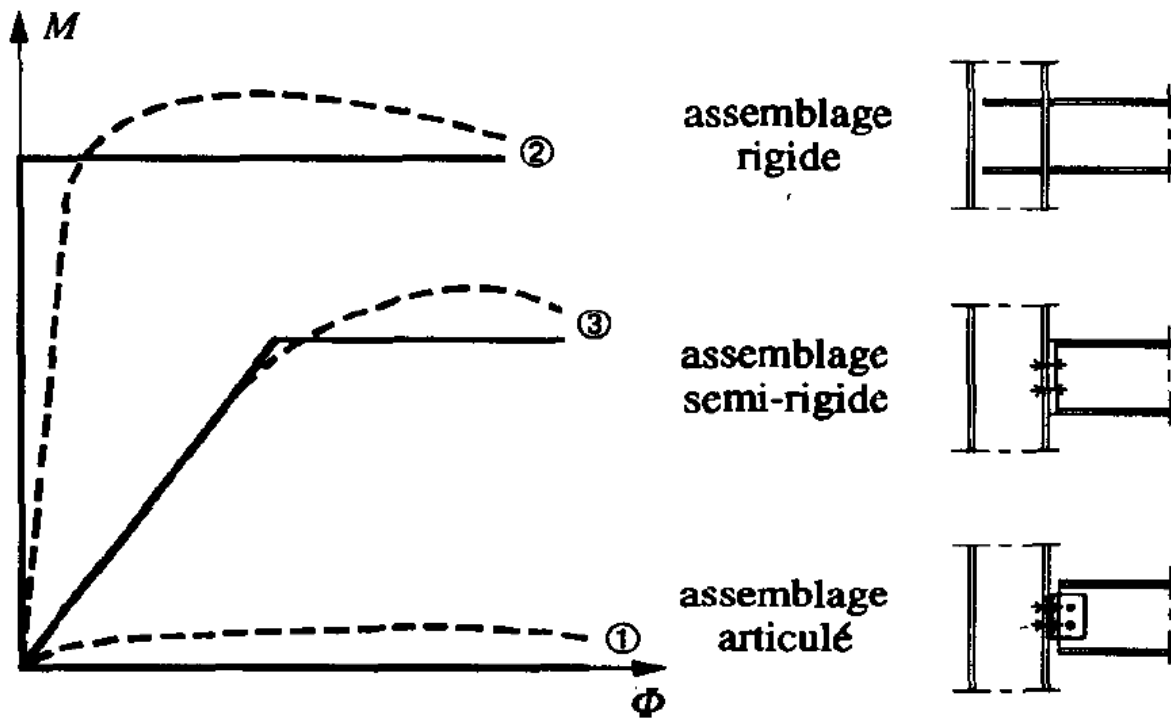
5.7. RIGIDITE DES ASSEMBLAGES

En ce qui concerne les principes de dimensionnement des assemblages eux-mêmes, il est nécessaire de relever l'importance de certaines de leurs caractéristiques, à savoir :

- leur rigidité,
- leur résistance,
- leur capacité de rotation.

Ces différentes caractéristiques, influencent directement le comportement des assemblages. Ceci est illustré ci-dessous avec les relations de moments de flexion de trois types d'assemblages fléchis constituant une liaison poutre / poteau.

- La courbe (1) de la figure concerne le cas d'un assemblage ne transmettant qu'un effort tranchant : il s'agit d'un assemblage articulé qui ne présente pas de rigidité à la flexion.



- La courbe (2) correspond à un assemblage capable de transmettre un certain moment de flexion déjà pour une faible rotation : on parle alors d'assemblage rigide à cause de la rigidité à la flexion qu'il présente.
- Il existe aussi des assemblages moins rigides que celui de la courbe (2) : on parle alors d'assemblages semi-rigides, dont le comportement illustré par la courbe (3) montre qu'une grande rotation est nécessaire pour atteindre le moment de flexion à transmettre.
- La rigidité des assemblages a bien évidemment une influence sur la déformation d'une structure. Les assemblages doivent donc posséder une rigidité comparable à celle admise dans le calcul de la structure : il est donc particulièrement important que la modélisation des assemblages corresponde à leur comportement réel.
- On relèvera que cette rigidité est influencée par les déformations des éléments minces comme les ailes des profilés ou les plaques frontales, les jeux des boulons ainsi que par les effets de levier.