

CHAPITRE 01: les assemblages

Conception et calcul des assemblages

Introduction

Les structures métalliques sont largement utilisées dans les pays industrialisés et surtout ceux présentent un risque sismique important, les structures métalliques sont des systèmes structuraux qui offrent de nombreux avantages sur le plan architectural et ont généralement une grande capacité à dissiper l'énergie sismique

Pour réaliser une ossature métallique, les composantes élémentaires poutres, poteau et barres doivent être reliés entre eux par des dispositifs particulières appelés assemblages.

Ces assemblages possèdent des formes multiples liées à la nature des efforts à transmettre mais aussi aux moyens d'attaches utilisés

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et solidariser plusieurs pièces entre elles, on assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces (éléments assemblés) sans générer des sollicitations parasites notamment la torsion.

Donc les assemblages de structures en acier permettant d'assurer la continuité entre les éléments tels que les poteaux et les poutres.

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

Les assemblages actuellement utilisés en construction métallique peuvent être:

- Démontable: présente en générale l'avantage d'une démontrabilité facile (boulon ou vis) ou un peu moins facile (rivets) qui permet la transmission d'effort par contact mécanique
- permanents:
Soudage assurant une continuité d'un métal au joint).

Collage des procédés faisant intervenir une cohésion entre matériaux hétérogène, ne sont pas actuellement utilisés

1. Calcul des assemblages par boulons ordinaire

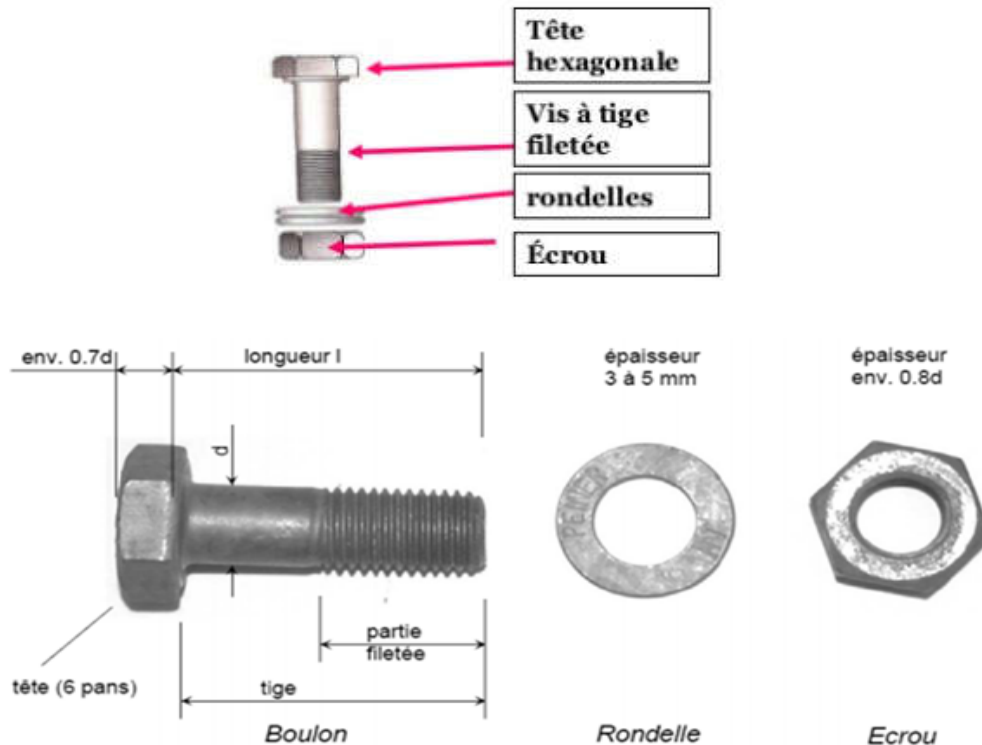
1.1. le boulonnage

Est un procédé d'assemblage utilisé en CM permettant de réaliser une liaison démontable, le boulonnage consiste à l'assemblage des éléments avec des boulons posés dans des trous percés dans les pièces, ces éléments d'attaches fonctionnent par leurs corps pour résister aux sollicitations imposées.

Les boulons peuvent être classés selon leur mise en œuvre, on distingue HR, ordinaire.

1.2. Boulons ordinaire

Sont prévus pour être mise en œuvre avec un serrage simple non contrôlée, aucune précaution particulière n'est exigée pour le serrage du fait de sa simplicité de pose et des possibilités de réglage qu'il autorise, le boulonnage est un moyen d'assemblage très utilisées.



Un boulons traditionnel est un ensemble constitué d'une vis, d'un écrou et le cas échéant d'une ou 2 rondelles, l'usage de rondelles n'est pas obligatoire, mais elle permettant d'améliorer la répartition de la pression de contact, si une rondelle est utilisée, il faut la placer sous l'élément qui sera entraîné en rotation lors du serrage (l'écrou en générale).

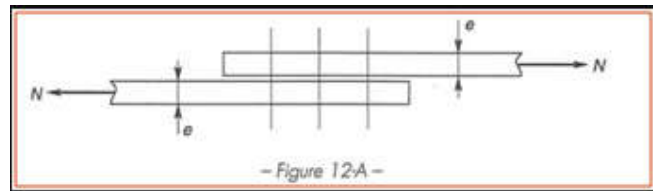
La transmission des efforts se fait par obstacle pression des boulons contre les trous des pièces assemblés par cisaillement des tiges.

Dispositions constructives

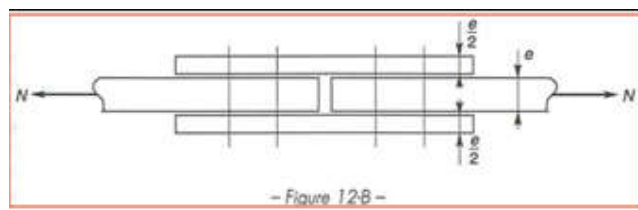
Les assemblages constituent des zones particulières plus fragiles que les zones courantes des pièces, car les sections sont réduites des faits des perçages ou perte de résistance de l'acier due à l'échauffement lors du soudage

En outre, les assemblages sont soumis à des sollicitations qui peuvent s'inverser et les contraintes peuvent changer de sens une poutre en charpente métallique peut fléchir dans le sens positifs sous charge de neige et dans le sens négatifs sous soulèvement par le vent, c'est pourquoi, il faut être particulièrement vigilant dans la conception et le calcul des assemblages afin de prémunir contre tout risque de rupture brutale, il faut assurer, au travers de l'assemblage la transmission parfaite des forces, afin de ne pas créer d'effort ou de moment secondaire parasites.

Pour cela quelques précautions élémentaires sont à prendre il faut proscrire tout assemblage par recouvrement simple et utiliser un assemblage symétrique par double couvre joint.

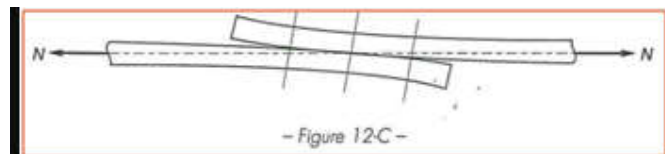


Recouvrement simple



Assemblage symétrique par double couvre joint

En effet, dans le cas défigure ci dessus la dissymétrie crée un moment de flexion parasite et l'assemblage se déforme,



La contrainte maximale de traction vaut, pour une largeur b de tôle: $\sigma = \frac{N}{S} + \frac{Mv}{I}$ SI $S = b \times e$

$M = N \times e$ et $I = \frac{be^2}{6}$, la valeur de la contrainte est donc: $\sigma = \frac{7N}{b \times e}$

Les assemblages par Boulons ordinaires peuvent être sollicités au cisaillement, à la traction ou simultanément à la traction et au cisailent.

1.3. Caractéristiques des boulons

1.3.1. Caractéristiques géométriques

Désignations	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d ₀ (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A (mm ²)	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
Section résistante A _s (mm ²)	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561

Tels que d diamètre de la partie non fileté de la vis en mm

d_0 : diamètre nominal du trou tolérance normalisée

A : section des boulons mm^2

A_s : section résistante de la partie fileté du boulon mm^2

d	d_0
M12, M14	$d+1$
M16 à 24	$d+2$
M27	$d+3$

Pour les boulons sollicités à la traction, on considère la section A_s de la partie fileté et pour les boulons sollicités au cisaillement, on considère la section nominale A

1.3.2. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques des boulons sont d'une part la limite élastique f_{yb} et la limite ultime f_{ub}

On distingue plusieurs classes de qualité selon la nuance de l'acier

Classe de qualité	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9
f_{ub} N/mm^2	240	320	300	400	360	480	640	900
F_{yb} N/mm^2	400	400	500	500	600	600	800	1000

Les classes 8.8 et 10.9 sont plutôt pour les boulons HR

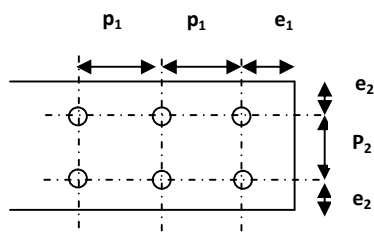
1.3.3. Coefficient partiels de sécurité

Selon le type de sollicitation le règlement à définir 2 valeurs:

- Résistance des boulons au cisaillement $\gamma_{Mb} = 1,25$.
- Résistance des boulons à la traction $\gamma_{Mb} = 1,5$.

1.4. Disposition constructive et réglementaires

1.4.1. Positions des boulons



- Les distances entre axes de boulons ' p '.
- La distance entre les axes de boulons et les bords de pièces (pince) ' e ' selon l'eurocode 3.

On a les valeurs limites sont:

$$e_1 \geq 2 d_0 \qquad e_2 \geq 5 d_0$$

$$p_1 \geq 2,2d_0 \qquad p_2 \geq 3d_0$$

Avec d_0 diamètre du trou

1.4.2. Vérification des boulons ordinaire

Résistance à la traction boulons tendus

La traction est une sollicitation parallèle à l'axe longitudinale de le vis, pour un boulons ordinaire sollicite en traction la partie soumise a la plus forte contrainte normale est celle dont la section est la plus faible c'est à dire la section A_s de la partie filetée de la vis.

La formulation réglementaire de la résistance a la traction F_{trd} d'un boulon ordinaire:

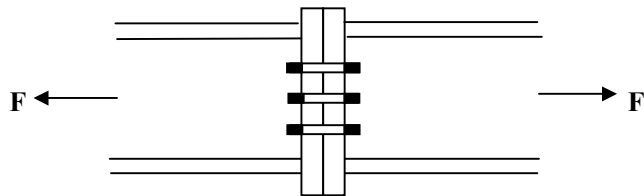
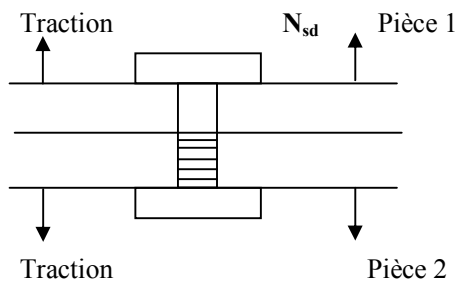
$$F_{trd} = \frac{0,9 A_s f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

A_s : l'aire résistante du boulon de la partie filetée.

$$\gamma_{Mb} = 1,5$$

Ici il ya deux modes de ruine possible

- Rupture des boulons
- Poinçonnement des plaques en contact avec la tête du boulons.

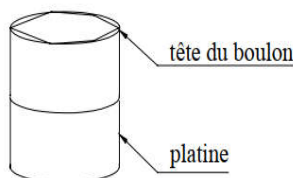


Il faut vérifier que:

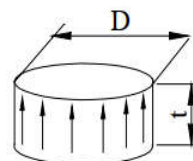
$$N_{sd} \leq F_{trd}$$

Résistance au poinçonnement des boulons de la partie filetée (B_{prd})

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



élément découpé par la tête du boulon



La résistance de calcul du cisaillement par poinçonnement:

$$B_{prd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma M_b}$$

Avec $\gamma M_b = 1.25$

t_p : épaisseur de la plaque sous la tête du boulons ou de l'écrou.

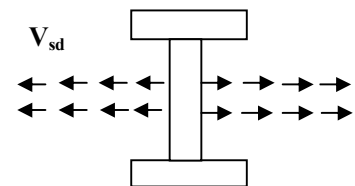
d_m : le diamètre moyen calculé entre les inscrits et circonscrit de la tête de la vis ou de l'écrou (diamètre moyen de la tête du boulons ou l'écrou).

Résistance au cisaillement (boulons cisailé)

Vérification au cisaillement

Il faut vérifier que:

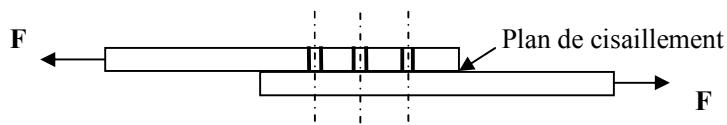
$$V_{sd} \leq F_{vrd}$$



F_{vrd} : Résistance au cisaillement

$\gamma M_b = 1.25$ dans le cas de cisaillement.

Exemple



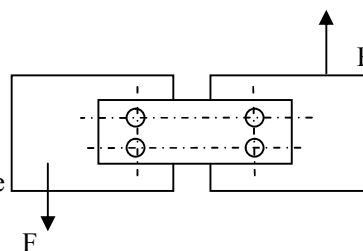
Les boulons doivent s'opposer au glissement de 2 pièces

- Le boulon est cisailé
- Les pièces travaillent en traction

Les boulons s'opposent à la translation des deux profils

- Il ya glissement plan sur plan de lame et le couvre

Joint



- Les boulons sont cisailés

Si l'effort est perpendiculaire à l'axe des boulons, donc les boulons sont cisailé

Les boulons jouent un rôle de butée. Il exerce une réaction sur les pièces assemblées pression diamétrales.

Si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du corps du boulon, l'aire A qui résiste au cisaillement vaut: $A = \frac{\pi d^2}{4}$.

En revanche, si le plan de cisaillement passe par la partie filetée, il convient alors de considérer une aire réduite A_s .

Résistance au cisaillement par plan de cisaillement

$$F_{vrd} = \frac{\alpha_V f_{bu} A}{\gamma_{Mb}}$$

F_{bu} : résistance à la traction du boulon

Lorsque le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon

$\alpha = 0.6$ —> Pour les classes du boulons 4.6-5.6 et 8.8

Pour les classes du boulons 4.8-5.8-6.8 et 10.9 qui présente des capacités de déformation plus faible —> $\alpha = 0.5$

Si le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon (lisse) —> $\alpha = 0.6$

Resistance a la traction des pièces selon la nuance

Acier	S235	S275	S355
F_u en MPa	360	430	510

$$F_{vrd} = \frac{\alpha_V f_{bu} A}{\gamma_{Mb}} \times m \quad \longrightarrow \text{le nombre de section cisaille par boulon}$$

Pression diamétrale

Il faut vérifier: $V_{sd} \leq F_{brd}$

$$F_{brd} = \frac{2.5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}}$$

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

f_u : résistance à la traction des pièces assemblées

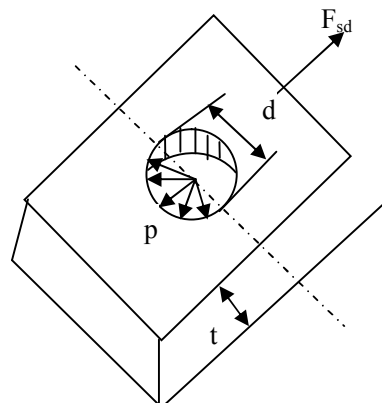
f_{ub} : résistance à la traction du boulons,

t: épaisseur de la pièce,

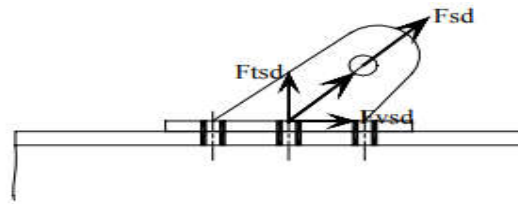
e_1 : pince longitudinale,

p_1 : entraxe des boulons.

Pression de contact $p = \frac{F}{t.d}$



Assemblage sollicité simultanément au cisaillement et à la traction



Les boulons soumis à des efforts combinés de cisaillement et de traction doivent, en outre satisfaire les conditions suivantes:

$$\frac{F_{V,sd}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

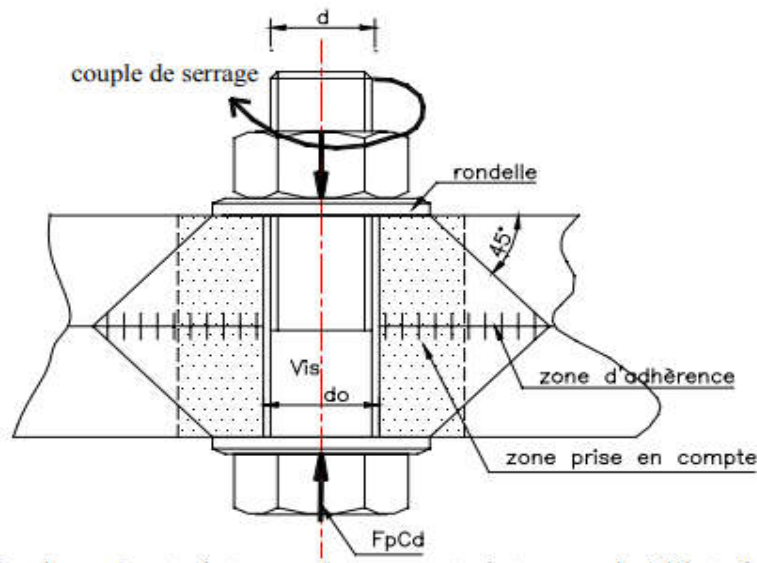
F_{tsd} : effort de traction appliqué,

F_{trd} : effort de traction résistant,

F_{vsd} : effort de cisaillement appliqué,

F_{vrd} : effort de cisaillement résistant.

2. Assemblage par boulons à serrage contrôlée (boulons précontraints)



2.1. Boulons précontraint HR

Boulons HR est constitué d'acier à haute limite élastique, lors le boulonnage, il est serré fortement ce qui a pour effet de lui communiquer un effort de précontraint qui agit parallèlement à l'axe du boulon. Contrairement aux boulons ordinaires, les boulons HR ne travail pas aux cisaillements, mais transmis les efforts par frottement.

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. 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

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.

2.2. Précautions constructives

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

- La tête du boulon ne doit pas poinçonner les pièces assemblées (d'où l'interposition d'une rondelle).
- La force de précontrainte doit bien être appliquée à sa valeur de calcul (d'où l'importance du couple de serrage et la nécessité des clés dynamométriques ou pneumatiques).
- Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Cela nécessite une préparation des surfaces, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine, de graisse, etc

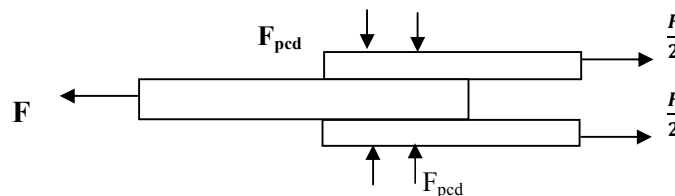
2.3. La force de précontraint

La force de précontrainte est la force normale au plan de cisaillement créée par le serrage du boulon, Valeur réglementaire de la force de précontrainte F_{pcd}

$$F_{pcd} = 0.7 f_{ub} \cdot A_s$$

L'intérêt est d'avoir une résistance à la traction f_{ub} la plus possible c'est pourquoi les boulons de classe 8,8 et 10.9 sont autorisées pour les assemblages par boulons HR.

2.4. Résistance au glissement d'un boulon précontraint



La résistance de calcul au glissement d'un boulon HR sera égale à:

$$F_{srd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{pcd}}{\gamma_{Mb}}$$

Avec k_s : coefficient de forme des trous,

n : nombre de surface d'adhérence,

μ : coefficient de frottement,

F_{pcd} : effort de précontraint.

Types de trous	k_s
Trous normalisés (tolérance normales)	1
Trous circulaire surdimensionnées et les trous oblongs courts	0.85
Trous oblongs longs	0.7

γ_{Mb} est le coefficient partiel de sécurité est donnée par le tableau ci après:

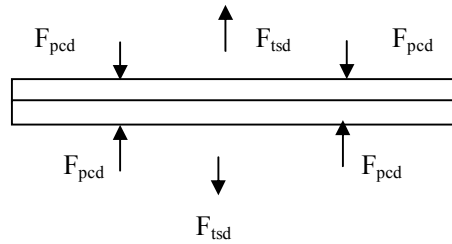
Trous normalisé et oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à la direction de l'effort	ELU	1,25
	ELS	1,10
Trous circulaire surdimensionnés et oblongs dont le grand axe de la fente est parallèle à la direction de l'effort	ELU	1.40

Type de trou	M12	M16	M20	M24	M27
Surdimensionné	3 mm	4mm	4mm	6mm	8mm
Oblongs court	4 mm	6mm	6mm	8mm	10 mm
Oblongs long	18 mm	24mm	30mm	36mm	40,5mm

□ 4 classes de surfaces sont définies selon l'EC3, et on a :

Type de surface	Classe	μ
<i>Surface décapée par grenailage ou sablage</i> <ul style="list-style-type: none"> • avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes et sans piqûres de corrosion • métallisées par projection d'aluminium • métallisées par projection d'un revêtement à base de zinc garantissant un coefficient de frottement $\mu \geq 0.5$ 	A	0.5
<i>Surface décapée par grenailage ou sablage et recouvertes d'une couche de peinture au silicate de zinc alcalin d'épaisseur 50 à 80 mm</i>	B	0.4
<i>Surface nettoyée par brossage métallique ou à la flamme avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes</i>	C	0.3
<i>Surfaces non traitées</i>	D	0.2

2.5. Résistance à la traction d'un boulon précontraint



Pour qu'il n'y ait pas découlement des pièces, il faut que l'effort de traction appliquée par boulon soit inférieur à l'effort de précontrainte.

$$F_{tsd} \leq F_{pcd}$$

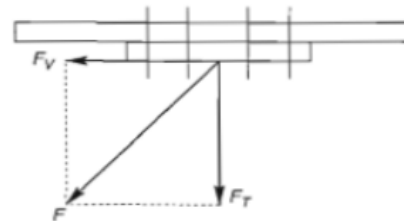
2.6. Boulons soumis à des efforts combinés de cisaillement et de la traction

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 par boulon doit être calculée selon la formule suivante:

$$V \leq F_{srd} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot \frac{F_{pcd} - 0,8F_{tsd}}{\gamma_{MS}}$$

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{F \cos \alpha}{n}$$

$$T_1 = \frac{T}{n} = \frac{F \sin \alpha}{n}$$



3. Les assemblages par soudures

La réalisation d'un cordon de soudures permet de bloquer dans toutes les directions, le cordon de soudure doit principalement travailler au cisaillement. La réalisation d'un cordon de soudure nécessite une source de chaleur puissante et régulière, un bain de métal en fusion s'unit aux pièces à relier, les assemblages soudés présentent des inconvénients tels que:

- Apparition des fissures dues au refroidissement,
- Apparition des déformations géométriques de la pièce dues aux dilations et retraits,
- Mains d'œuvre qualifiée et matériel spécifique,
- Contrainte résiduelles dans le cordon.

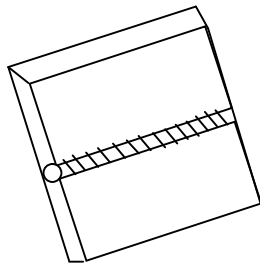
3.1. Les procédés de soudage

Sont multiple et sont utilisées selon la nature des pièces à souder on distingue:

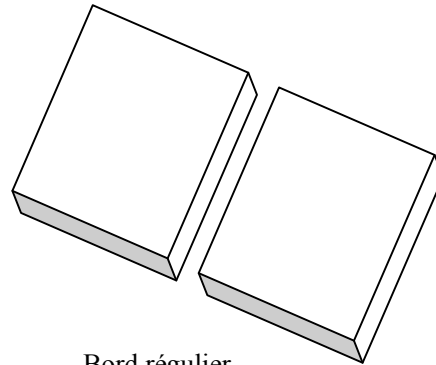
- Procédés par pression
- Procédés par arc électrique
- Procédés par résistance électrique

Disposition constructives 2 types de soudure sont souvent utilise en CM

a. **Soudure bout à bout** est la plus courante et la plus facile à utiliser comporte 2 pièces plats disposées de façon parallèle, des épaisseurs de pièces de 5 a 6 mm.



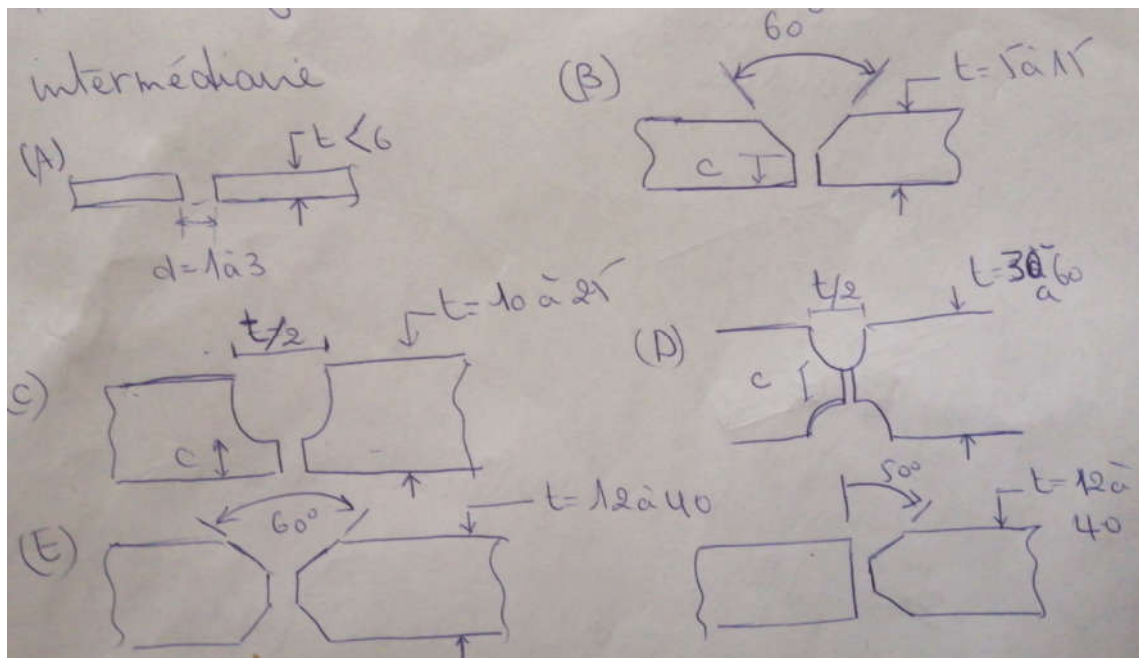
Plaque pièces parallèle



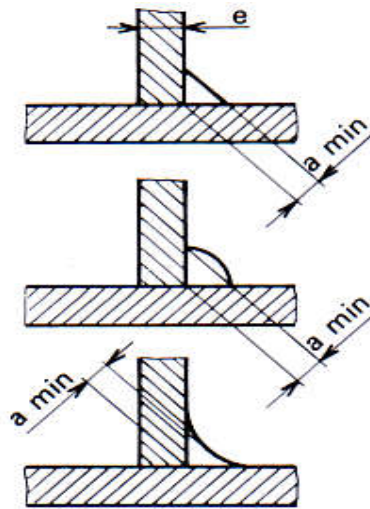
Bord régulier

Au deal de 6mm il faut réaliser des chanfreins sur les rives d'assemblage

- les chanfreins en V et en U,
- les chanfreins en double u ou en double V,
- les chanfreins en K.



- b. **Soudure d'angle ou en T** est un joint entre 2 pièces métalliques concourantes, comme son nom l'indique, les cordons peuvent être plats et ou bombés.



3.2. Précaution constructives

- ✓ Préchauffer les pièces pour éviter un refroidissement brusque,
- ✓ Soit effectuer les cordons par tronçons discontinus et espacé dans le temps,
- ✓ Eviter l'assemblage de pièce trop grande d'épaisseur, car il ya risque de déformation de la pièce la plus mince et risque de fissuration de cordon de soudure au refroidissement,
- ✓ Eviter les assemblages par soudure pour des pièces d'épaisseur supérieure à 30 mm,
- ✓ Réaliser des cordons de diamètre supérieur à 4mm et de longueur supérieur à 50 mm,
- ✓ Veuillez à une bonne corrélation entre l'épaisseur du cordon et l'épaisseur de la plus faible des pièces à assembler.

t {mm}	4	6	7	8	10	12	14	16	18
A (mm)	3	4	5	6	7	8	10	11	13

3.3. Calcul des cordons de soudure

Les soudures bout a bout ne se calculent pas, on admet que il ya continuité de matière mais il faut respecter deux conditions:

L'épaisseur de la soudure soit au moins égal à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées et que le métal d'apport ait des caractéristiques au moins égal à celle de métal de base.

Les méthodes de calcul qui vont suivre s'appliquent donc aux soudures d'angles, l'épaisseur minimal d'une soudure est 3mm.

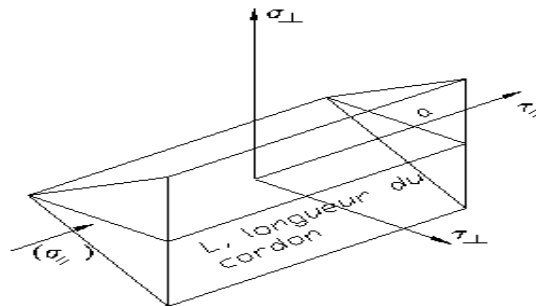
3.4. Réglementation

Les méthodes de calcul suivantes sont définies par eurcode 3

Formule fondamentale:

Elle exprime que les composants de la contraintes moyenne rapporte a la section de gorge du cordon de soudure doivent satisfaire a la condition

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$



Avec β_w facteur de corrélation variable selon la nuance d'aciers du métal de base

γ_{Mw} Coefficient partiel de sécurité

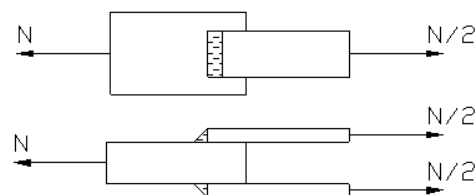
Nuances d'acier (MPa)		γ_{Mw}	β_w	$\beta_w \gamma_{Mw}$
f_y	f_u			
235	360	1,25	0,80	1,00
275	430	1,30	0,85	1,10
355	510	1,35	0,90	1,20

Les cordons reliant des pièces orthogonales, les pièces peuvent être frontaux, latéraux et obliques.

3.4.1. Cordon frontaux

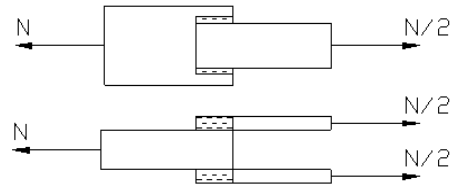
La formule fondamentale s'écrit

$$a L \geq \beta_w \gamma_{Mw} \frac{F \sqrt{2}}{f_u}$$



3.4.2. Cordon latéraux

$$a L \geq \beta_w \gamma_{Mw} \frac{F \sqrt{3}}{f_u}$$



3.4.2. Cordon obliques

$$\alpha = \tilde{\sigma}_I = \frac{N \sin \alpha}{\sqrt{2} T_a \varepsilon l}$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{N \cos \alpha}{a \varepsilon l}$$

$$a \cdot \varepsilon l \geq B_w \cdot \gamma_{Mw} = \frac{N \sqrt{3 - \sin^2 \alpha}}{f_u}$$

