

Chapitre 3. Assemblages

3.1 Généralités

Les constructions métalliques sont un ensemble d'éléments barres (poteaux et poutres) qui sont assemblés entre eux pour former une ossature. De ce fait les assemblages jouent un rôle très important dans ce type de construction.

Un assemblage est un dispositif (moyen) de liaison qui permet de réunir et de solidariser plusieurs éléments métalliques entre eux, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations (N_{sd} , M_{sd} , et V_{sd}) entre les éléments assemblés sans générer de sollicitations parasites.

Dans la plupart des constructions métalliques, les différents types d'assemblages que l'on rencontre sont représentés sur la figure suivante :

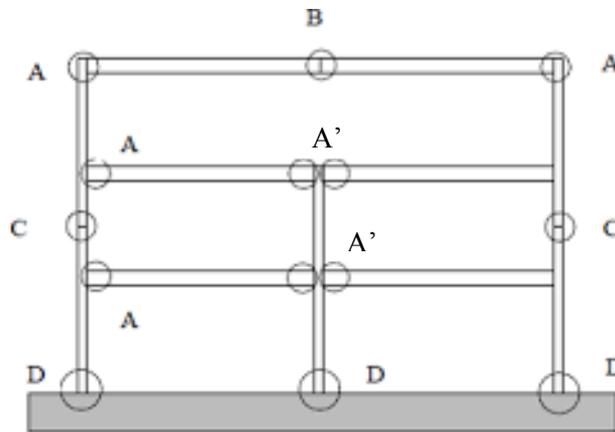


Figure (3.1) Différents types d'assemblage dans une structure métallique

On trouve les assemblages du type :

- Configuration unilatérale d'assemblage poutre-poteau (**A**);
- Configuration bilatérale d'assemblage poutre-poteau (**A'**);
- Assemblage de continuité de poutre (**B**);
- Assemblage de continuité de poteau (**C**);
- Pied de poteau (**D**).

3.2 Fonctionnement des assemblages

3.2.1. Fonctionnement par obstacle

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

3.2.2. Fonctionnement par adhérence des pièces assemblées

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.

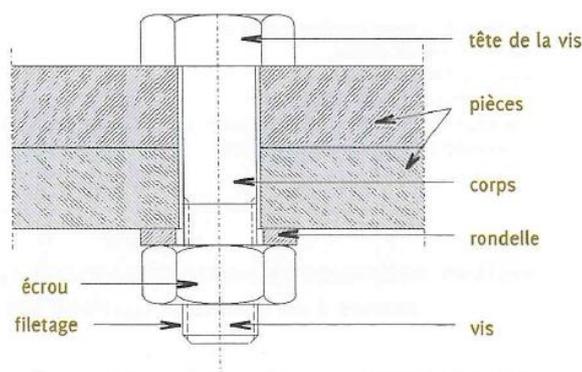
3.2.3. Fonctionnement mixte

C'est le cas du rivetage (et dans les cas extrêmes des boulons 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.

3.3 Assemblages boulonnés

3.3.1. Assemblage avec boulons ordinaires

Le mode de transmission de charge d'une pièce à une autre se fait à travers la tige du boulon, qui joue le rôle d'obstacle entre les pièces assemblées, d'où son travail au cisaillement.



3.3.2. Disposition des boulons

Les distances entre les axes des boulons (*entraxe p*) ainsi qu'entre les axes des boulons et les bords de la pièce (*pince e*) doivent être comprises entre certaines limites pour les raisons suivantes :

- Valeurs minimales, pour permettre la mise en place des boulons et pour éviter la rupture de la tôle lorsque la pince est trop faible ;

- Valeurs maximales, pour qu'il existe toujours un contact entre les pièces de l'assemblage (pour limiter les risques de corrosion) et pour éviter de réaliser des assemblages trop longs.

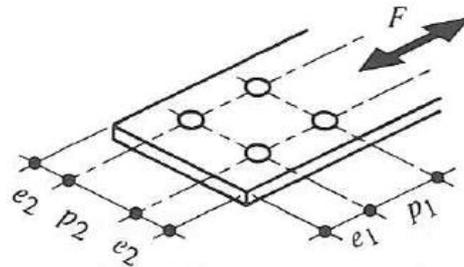


Figure (3.2) Désignation des entraxes et pinces en fonction de la direction de l'effort

La disposition des boulons dans une pièce est réglementée par l'E 3, suivant la nature de l'effort appliqué et la disposition des trous (en parallèle ou en quinconce)

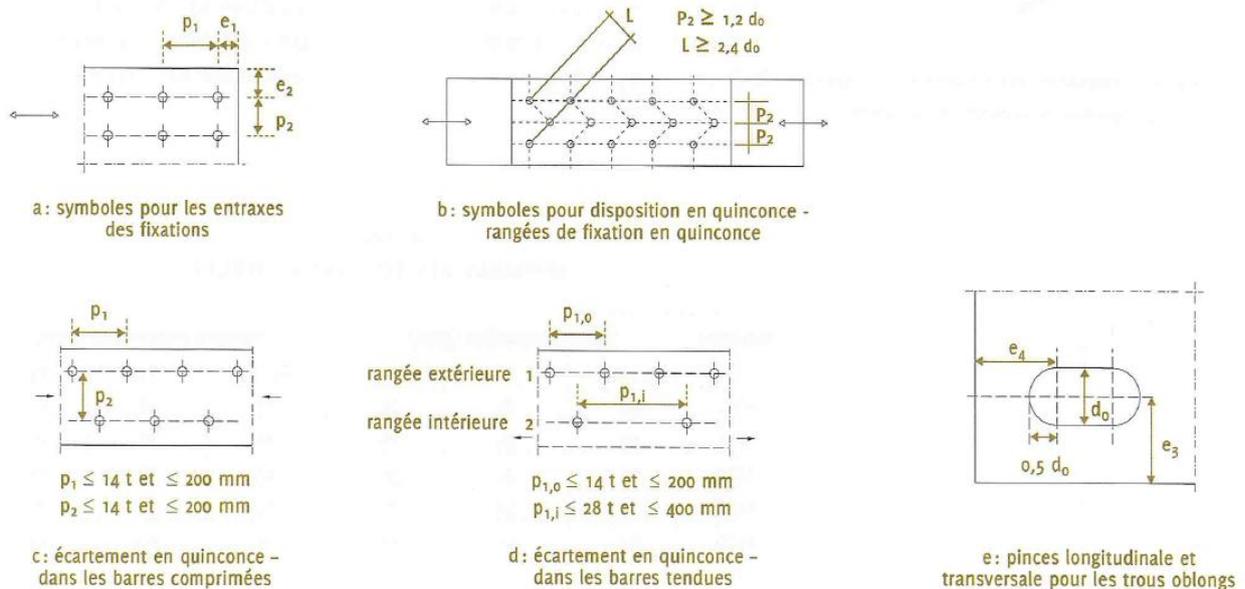


Figure (3.3) Symboles pour les pinces transversale et longitudinale et pour l'espacement des fixations.

3.3.3. Section résistante des boulons en traction

Plusieurs caractéristiques géométriques sont indispensables à la conception et à la vérification des assemblages boulonnés pour les diamètres les plus utilisés, les caractéristiques principales sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau (3.1) Principales caractéristiques géométriques

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24
d ₀ (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26
A (mm ²)	50,3	78,5	113	154	201	254	314	380	452
A _s (mm ²)	36,6	58	84,3	115	157	192	245	303	353
∅ rondelle (mm)	16	20	24	27	30	34	36	40	44
∅ clé (mm)	21	27	31	51	51	51	58	58	58
d _m (mm)	14	18,3	20,5	23,7	24,58	29,1	32,4	34,5	38,8

d : diamètre de la partie non filetée de la vis
d₀ : diamètre nominal du trou
A : section nominale du boulon
A_s : section résistante de la partie filetée
d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le cercle inscrit à la tête du boulon
Nota : en italique, les boulons moins usuels.

3.3.4. Caractéristiques mécaniques des boulons

Pour éviter une multiplication du type de boulons, l'Eurocode 3 n'autorise qu'une série finie de classes mécaniques de boulon. Les caractéristiques mécaniques des boulons nécessaires aux calculs sont la limite d'élasticité f_{yb} et la résistance à la traction f_{ub} . Chacune des sept classes autorisées est désignée par deux nombres (classe 6.8, par exemple).

Le tableau (3.2) donne les valeurs de f_{yb} et f_{ub} pour chaque classe. Il convient d'adopter les valeurs comme valeurs caractéristiques dans les calculs de dimensionnement.

Boulons Précontraints : seuls les boulons de classe 8.8 et 10.9 peuvent être utilisés comme boulons précontraints à haute résistance pour la construction.

Tableau (3.2) Valeurs nominales de Limite d'élasticité et de résistance ultime à la traction pour les boulons

Classe de boulon	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	1000

3.3.5. Assemblage sollicité 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.

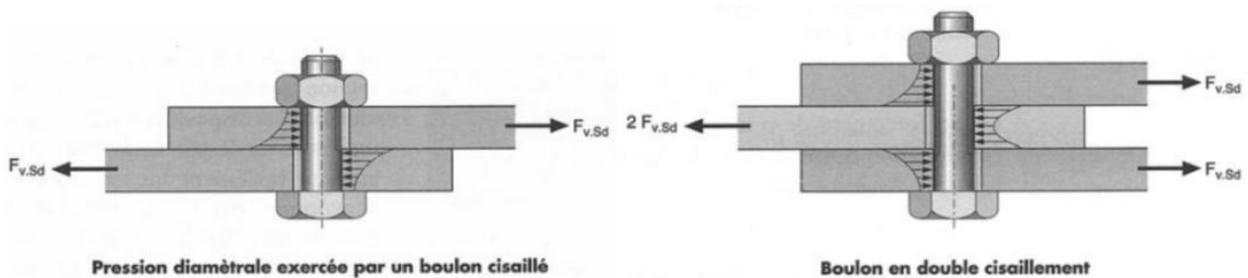


Figure (3.4) Assemblage sollicité au cisaillement

a) Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement

- Si le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon :

- Pour les classes des boulons : **4.6 ; 5.6 ; 6.6 et 8.8**

$$F_{v,rd} = 0.6 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

- Pour les classes des boulons : **4.8 ; 5.8 ; 6.8 et 10.9**

$$F_{v,rd} = 0.5 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

- Si le plan de cisaillement passe par la partie lisse de la tige du boulon :

$$F_{v,rd} = 0.6 f_{ub} \frac{A}{\gamma_{Mb}}$$

b) Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées

Au contact du boulons avec la pièce, celui-ci exerce sur cette dernière une pression pour la quelle la pièce doit avoir une résistance suffisante, afin d'éviter une ovalisation des trous et des déchirures des pinces.

La résistance est :

$$F_{v,rd} = 2.5 \alpha \cdot f_u \cdot \frac{d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

Où :

α : est la plus petite des valeurs suivantes : $\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\}$

d : diamètre des boulons ;

d_0 : diamètre du trou ;

f_u : résistance ultime de la pièce à la traction ;

f_{ub} : résistance ultime du boulon à la traction ;

A_s : aire de la section résistante dans la partie fileté ;

A : aire de la section brute du boulon.

γ_{Mb} : coefficient partiel de sécurité ($\gamma_{Mb} = 1,25$) ;

t : épaisseur de la pièce assemblée.

c) Résistance à la traction

$$F_{v,rd} = 0.9 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \text{Avec : } (\gamma_{Mb} = 1,5)$$

d) Résistance des boulons sollicités simultanément au cisaillement et à la traction

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

$F_{V,sd}$: Effort tranchant de calcul,

$F_{t,sd}$: Effort de traction de calcul,

$F_{V,Rd}$: Effort de cisaillement résistant,

$F_{t,Rd}$: Effort de traction résistant.

3.4 Assemblage par des Boulons précontraints

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 dit boulon, il faut vérifier que l'interface des pièces en contact puisse transmettre l'effort tangent, sans glissement, soit :

$$F_s = \mu F_p$$

Avec : $F_s = 0.7 f_{ub} A_s$

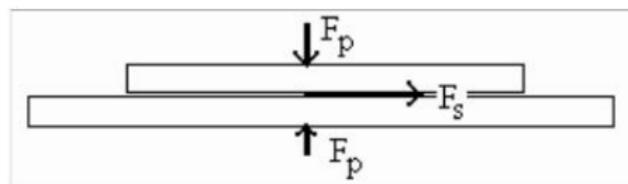


Figure (3.5) Fonctionnement d'un boulon HR

Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Une préparation des surfaces est nécessaire, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine, de graisse, etc...

$\mu=0.50$ pour les surfaces de **classe A** $\mu=0.30$ pour les surfaces de **classe C**
 $\mu=0.40$ pour les surfaces de **classe B** $\mu=0.20$ pour les surfaces de **classe D**

- **Classe A** : Surface décapées par grenailage ou sablage, avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes et sans piqûres de corrosion ;
- **Classe B** : Pas de recommandation
- **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.

3.4.1. Caractéristiques mécaniques des boulons précontraints

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

- Les boulons HR 1 ou HR 10.9,
- Les boulons HR 2 ou HR 8.8

Le premier chiffre correspond à $f_{ub}/100$

Le second chiffre correspond à $10 f_{yb}/f_{ub}$

Tableau (3.3) Principales caractéristiques mécaniques des boulons HR

Repère	Appellation	f_{ub} (MPa)	F_{yb} (MPa)
HR 1	HR 10.9	1000	900
HR 2	HR 8.8	800	640

3.4.2. Assemblage résistant au glissement

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

$$F_s = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p.cd} / \gamma_{MS}$$

Avec :

$F_{p.cd}$ est la force de précontrainte, $F_{p.cd} = 0,7 f_{ub} \cdot A_s$

μ est le coefficient de frottement des pièces,

$\mu=0.5$: pour les surfaces de **classe A** ;

$\mu=0.4$: pour les surfaces de **classe B** ;

$\mu=0.3$: pour les surfaces de **classe C** ;

$\mu=0.2$: pour les surfaces de **classe D** ;

n est le nombre d'interface de frottement,

k_s est un coefficient fonction de la dimension des trous de perçage et vaut :

$k_s=1$ pour les trous de tolérances normales, à savoir :

1 mm pour les boulons **Ø 12** et **Ø 14**

2 mm pour les boulons **Ø 16** et **Ø 24**

3 mm pour les boulons **Ø 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 :

A L'ELU :

$\gamma_{MS}=1.25$: pour les trous à tolérance 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 parallèles à l'axe de l'effort ;

A L'ELS :

$\gamma_{MS}=1.10$: pour les trous à tolérance normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort ;

3.5 Assemblage Soudés

Le soudage est un procédé qui permet d'assembler des pièces par liaison intime de la matière, obtenue par fusion ou plastification ;

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, et...) ;
- 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.

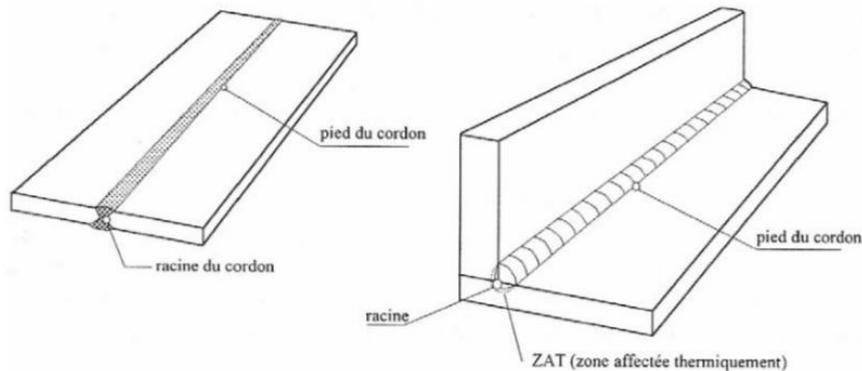


Figure (3.6) Liaison de deux pièces par soudage

3.5.1. Dispositions Constructives

On distingue généralement :

- **Les soudures bout à bout** : soit à pénétration totale ou partielle. Les pièces dont l'épaisseur est importante $t > 6$ mm doivent être chanfreinées.

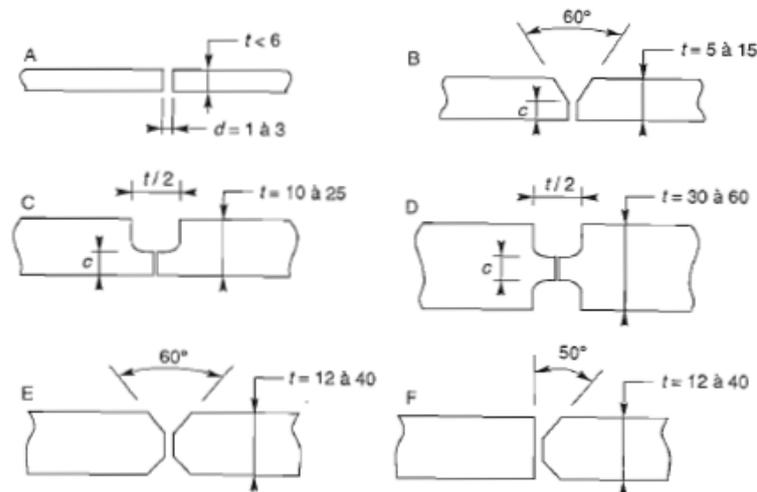


Figure (3.7) Soudure bout-à-bout

- **Soudures d'angle** : les cordons d'angle peuvent être plats et/ou bombés à l'extérieur ou à l'intérieur.

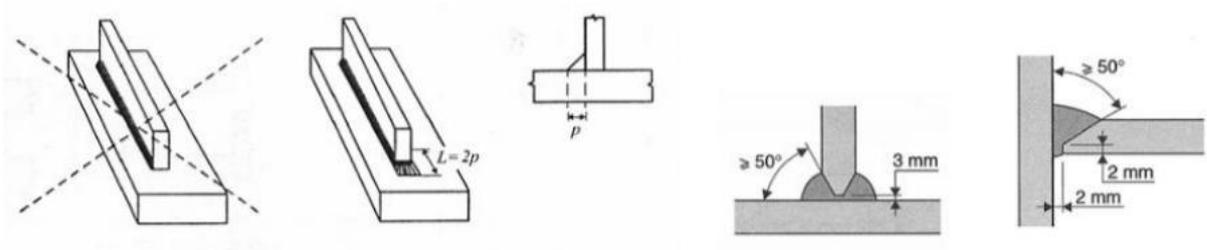


Figure (3.8) Soudure d'angle

Il convient de ne pas arrêter les soudures d'angle aux extrémités des éléments assemblés. Elles doivent contourner les coins des assemblages sans interruption, en gardant leur dimension sur une longueur égale à deux fois le pied du cordon, à tous les endroits où ce retour est possible dans un même plan.

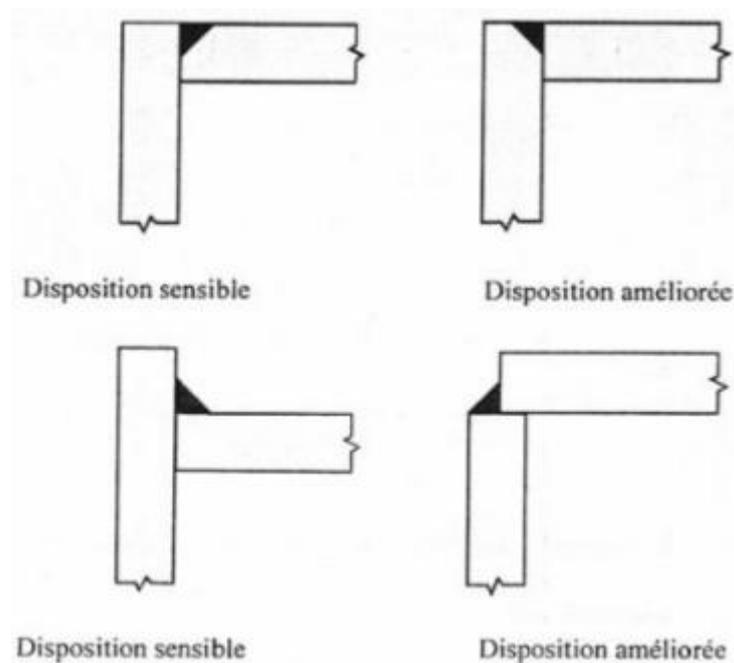


Figure (3.9) Dispositions constructives évitant l'arrachement lamellaire

- Autres types de liaisons soudées :

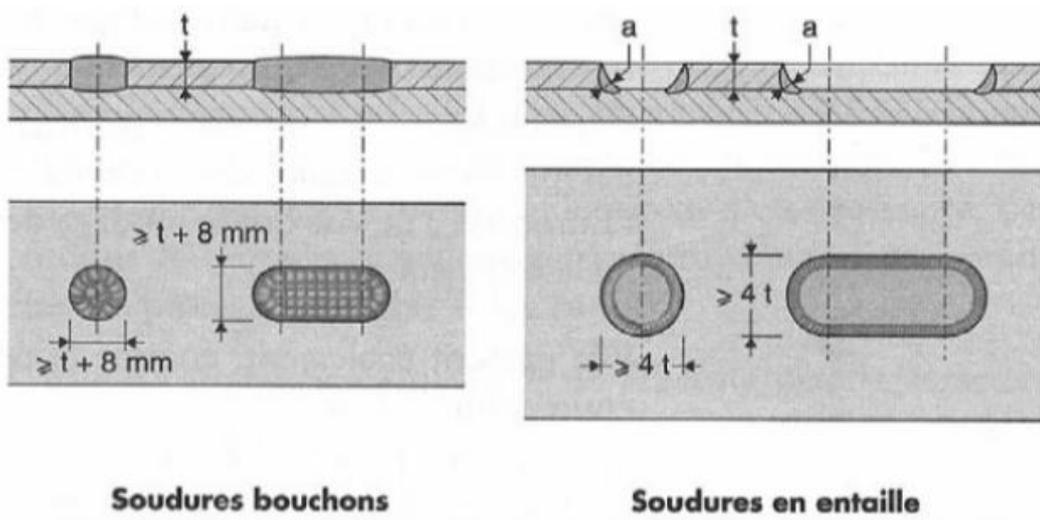


Figure (3.10) Autres types de liaisons soudées

3.5.2. Calcul de résistance des cordons de soudure

a) Prédimensionnement de la gorge

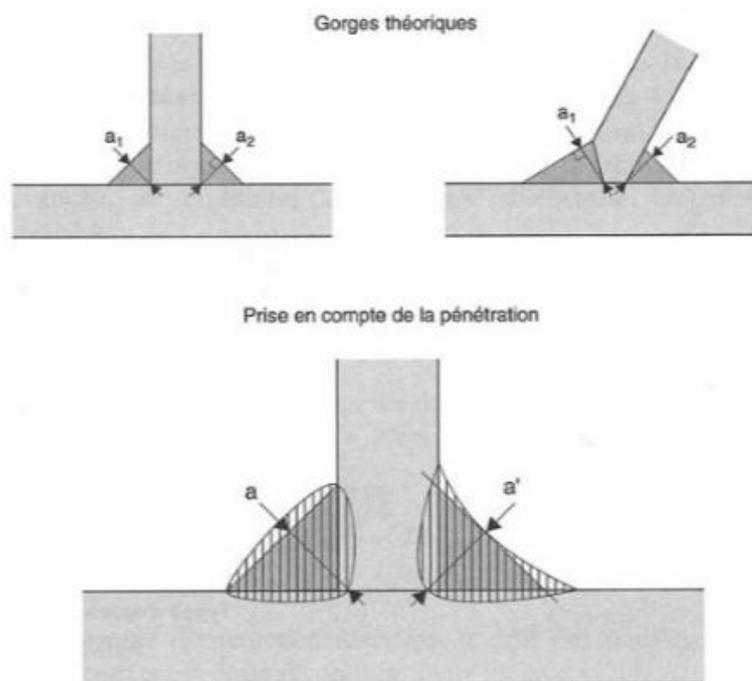


Figure (3.11) Définition de la gorge de cordon d'angle

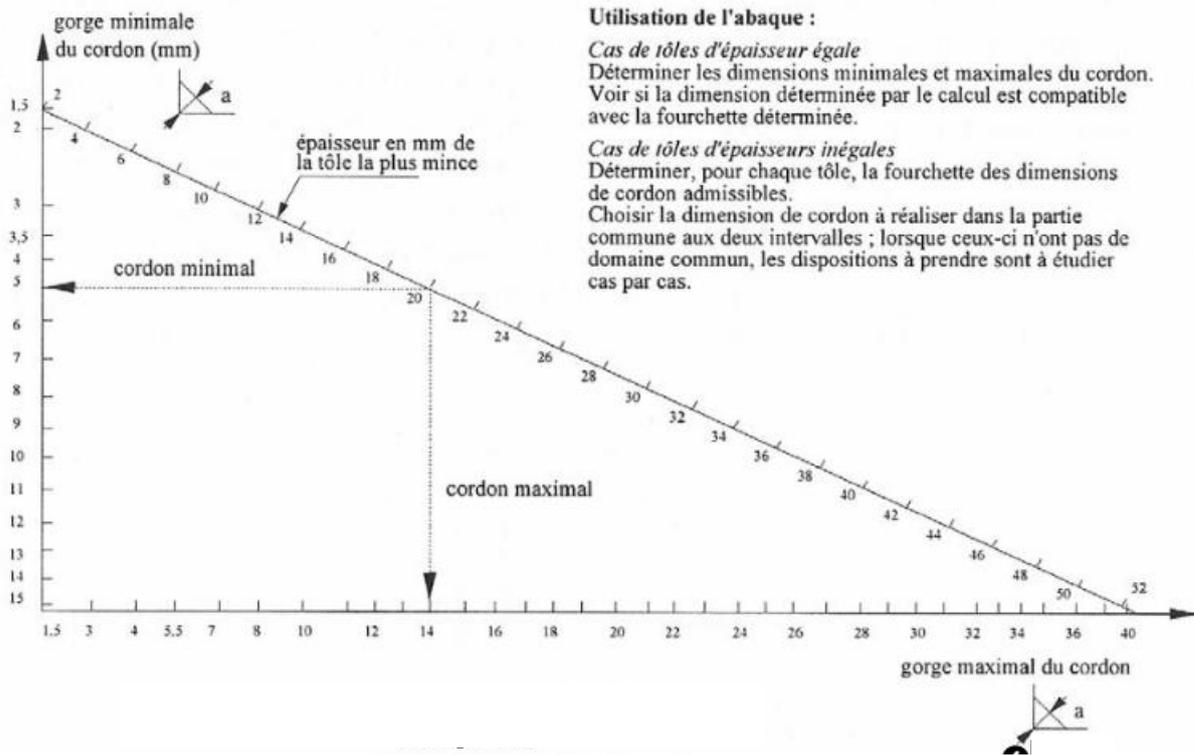


Figure (3.12) Abaque de prédimensionnement de la gorge « a »

b) Soudure bout à bout

Ce type de soudure ne se calcule pas. On admet qu'il y a continuité de matière, donc continuité des pièces, aux deux conditions toute fois, que l'épaisseur de la soudure soit au moins égale à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées et que le métal d'apport ait des caractéristiques mécaniques au moins égales à celle du métal de base.

c) Soudure d'angle

Le cordon de soudure d'angle se caractérise par :

- Une longueur **L** qui est égale à la longueur de la pièce assemblée ;
- Une épaisseur de gorge **a** qui est égale à la distance minimale de la racine à la surface du cordon, du plus grand triangle inscrit dans l'épaisseur de la soudure.

Les efforts dans un cordon de soudure d'angle sont transmis d'une pièce à l'autre à travers le cordon de soudure, en passant par la section de gorge d'aire minimale égale à **(a.L)**.

La résistance de la soudure d'angle est suffisante si la condition suivante est satisfaite :

$$\sqrt{\sigma^2 - 4(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad \text{Équation fondamentale}$$

$$\sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

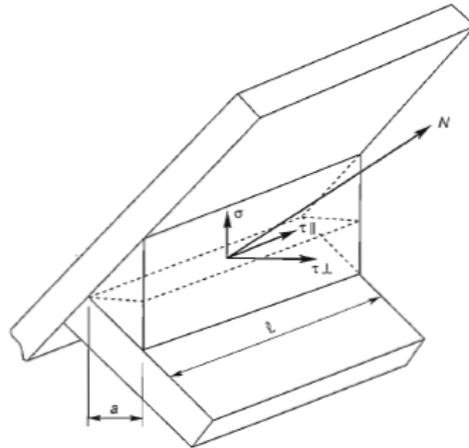


Figure (3.13) Etat de contrainte dans la section de gorge.

N : étant l'effort pondéré appliqué à chaque cordon, supposé centré au milieu de la longueur du cordon.

Les contraintes normales et tangentielles résultant de l'effort appliqué sont décomposées suivant les directions transversales et longitudinales du cordon en :

σ_{\perp} : composante perpendiculaire à la section de gorge ;

τ_{\perp} : Composante de la contrainte tangentielle dans le plan de gorge et perpendiculaire à l'axe longitudinale du cordon.

τ_{\parallel} : Composante de la contrainte tangentielle dans le plan de gorge et parallèle à l'axe longitudinale du cordon.

Tableau (3.4) Les coefficients β_{Mw} et γ_{Mw} 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

c) Calcul des cordons reliant des pièces orthogonales

- Cordons frontaux : dans ce type de cordon l'effort appliqué est perpendiculaire à l'axe longitudinal de celui-ci.

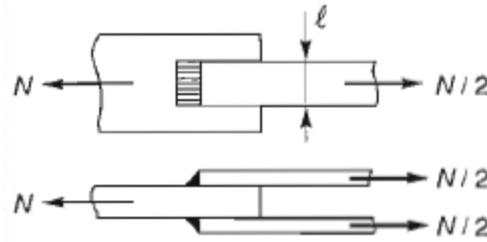


Figure (3.14) Assemblage par cordons frontaux.

L'état de contrainte dans ce cas se simplifie et devient :

$$N_{\parallel} = \frac{N\sqrt{2}}{2} \text{ d'où } \sigma = \frac{N_{\parallel}}{a \sum L} = \frac{N\sqrt{2}}{2a \sum L}$$

$$N_{\perp} = \frac{N\sqrt{2}}{2} \text{ d'où } \sigma = \frac{N_{\perp}}{a \sum L} = \frac{N\sqrt{2}}{2a \sum L}$$

$N_{\parallel} = 0$ d'où $\tau_{\parallel} = 0$; et la formule fondamentale s'écrit en remplaçant σ et τ par leurs valeurs respectives.

$$\sqrt{\frac{2N^2}{4a^2(\sum l)^2} + \frac{2N^2}{4a^2(\sum l)^2}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw} \cdot \beta_w}$$

$$\text{Soit : } a \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \frac{N\sqrt{2}}{2}$$

- *Cordons latéraux* : l'effort appliqué est parallèle à l'axe longitudinal du cordon de soudure, l'état de contrainte devient :

$\sigma = \tau_{\perp} = 0$ Et $\tau_{\parallel} \neq 0$; D'où $\tau_{\parallel} = \frac{N_{\perp}}{a \sum L}$ et l'équation fondamentale

S'écrit :

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

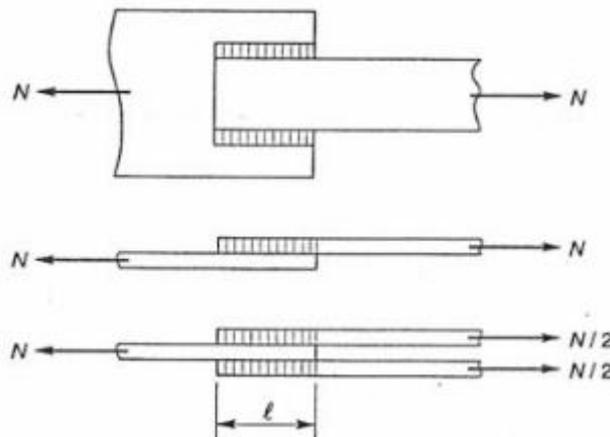


Figure (3.15) Assemblage par cordons latéraux.

- *Cordons obliques* : pour ce type d'assemblage, soit : c'est l'effort qui fait un angle, soit c'est le cordon qui est oblique.

L'état de contrainte est

$$\sigma = \tau_{\perp} = \frac{N \cdot \sin \alpha}{\sqrt{2} \cdot a \cdot \sum L}$$

Et

$$\tau_{\parallel} = \frac{N \cdot \sin \alpha}{a \cdot \sum L}$$

L'équation fondamentale s'écrit en remplaçant les composantes de contraintes par leurs valeurs :

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

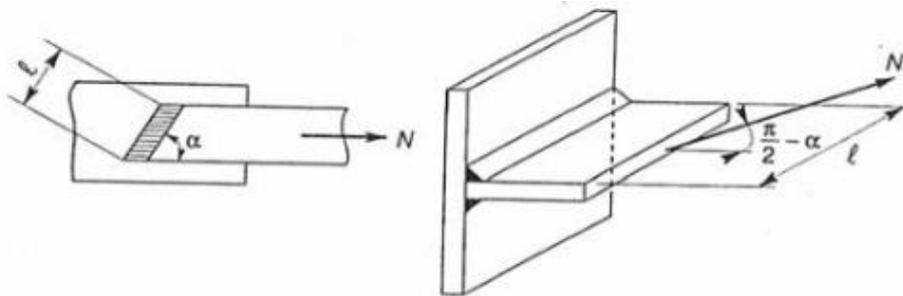


Figure (3.16) Assemblage par cordons obliques.