

1 INTRODUCTION:

Jusqu'à 1993, la conception et le calcul des constructions métalliques étaient régis par différentes réglementations :

- Les règles de calcul des constructions en acier, dites règles CM 66.
- Les normes NF.
- L'additif 80.

Depuis 1993, une nouvelle réglementation européenne est entrée en vigueur et impose, en remplacement de ces divers et précédents textes, un code unique : l'Eurocode 03.

En 1997 est apparu en Algérie le « CCM97 » en remplacement des règles « CM66 », ce document reprend les différentes parties de EC 03.

1.1 *Avantages de la construction métallique:*

- a. Résistance mécanique :
 1. Résistance élevée à la traction permettant des portées et hauteurs importantes.
 2. Possibilité d'adaptation plastique pour une plus grande sécurité.
- b. Industrialisation totale : préfabrication d'un bâtiment en atelier et montage sur chantier.
- c. Transport aisé grâce au poids peu élevé.
- d. Possibilité de modification et de recyclage d'un bâtiment.

1.2 *Inconvénients:*

- a. Prix élevé (concurrentiel avec le béton armé pour les grandes portées).
- b. Mauvaise tenue au feu ce qui implique des mesures de protection onéreuses.
- c. Entretien régulier dû à la corrosion du métal.

2 LE MATERIAU ACIER :

2.1 *L'acier*

L'acier est essentiellement une combinaison de fer et de carbone. On ne le retrouve pas à l'état naturel ; il résulte d'une transformation de matière première tirée du sol. Les conditions matérielles de cette transformation entraînent dans sa composition la présence, en très faibles proportions, d'autres éléments (phosphore, soufre) considérés comme impuretés. Suivant la qualité de l'acier que l'on veut obtenir, il est possible d'abaisser le pourcentage de ces impuretés au cours de l'élaboration.

Mais l'acier peut également contenir d'autres éléments (silicium, manganèse, chrome, nickel, tungstène...) introduits volontairement en vue de modifier sa composition chimique et par suite ses caractéristiques physiques et mécaniques.

Les éléments additionnés permettent d'obtenir des qualités différentes classées sous forme de « nuance », l'acier aura des résistances mécaniques variables. Il existe plus de 3 000 nuances d'acier.

3 PRINCIPAUX PRODUITS UTILISÉS COMME ELEMENTS DE STRUCTURE:

3.1 Produits laminés à chaud

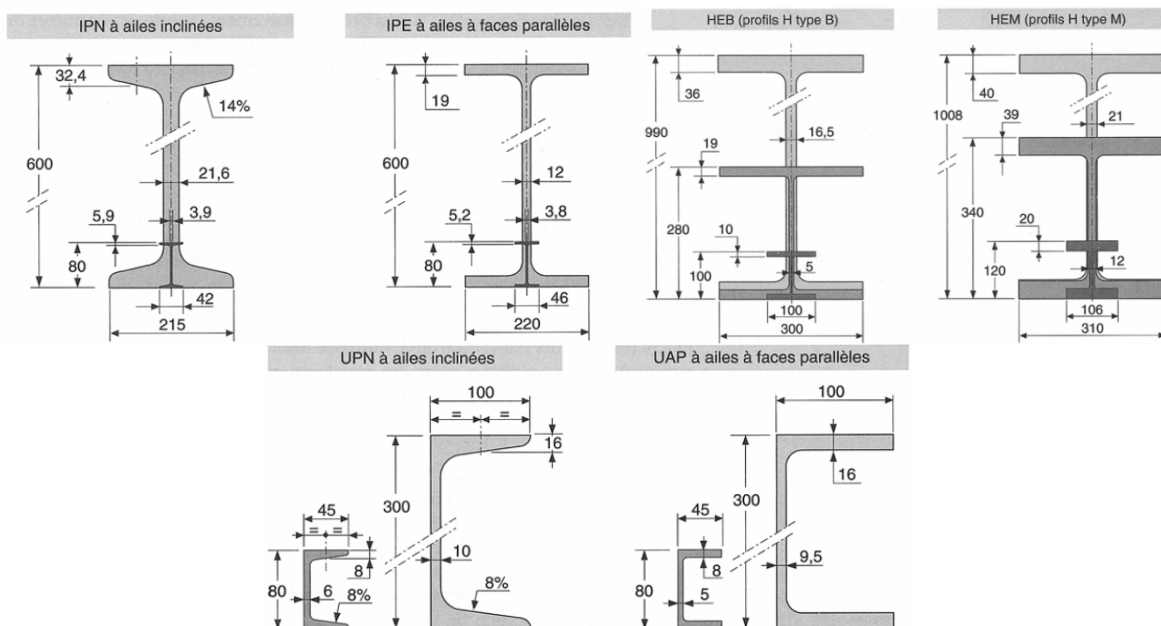


Figure 1-4 Gamme de profils laminés courants

3.2 Produits formés à froid:



Figure 1-5 Produits longs formés à froid Exemples de sections transversales
Bardage

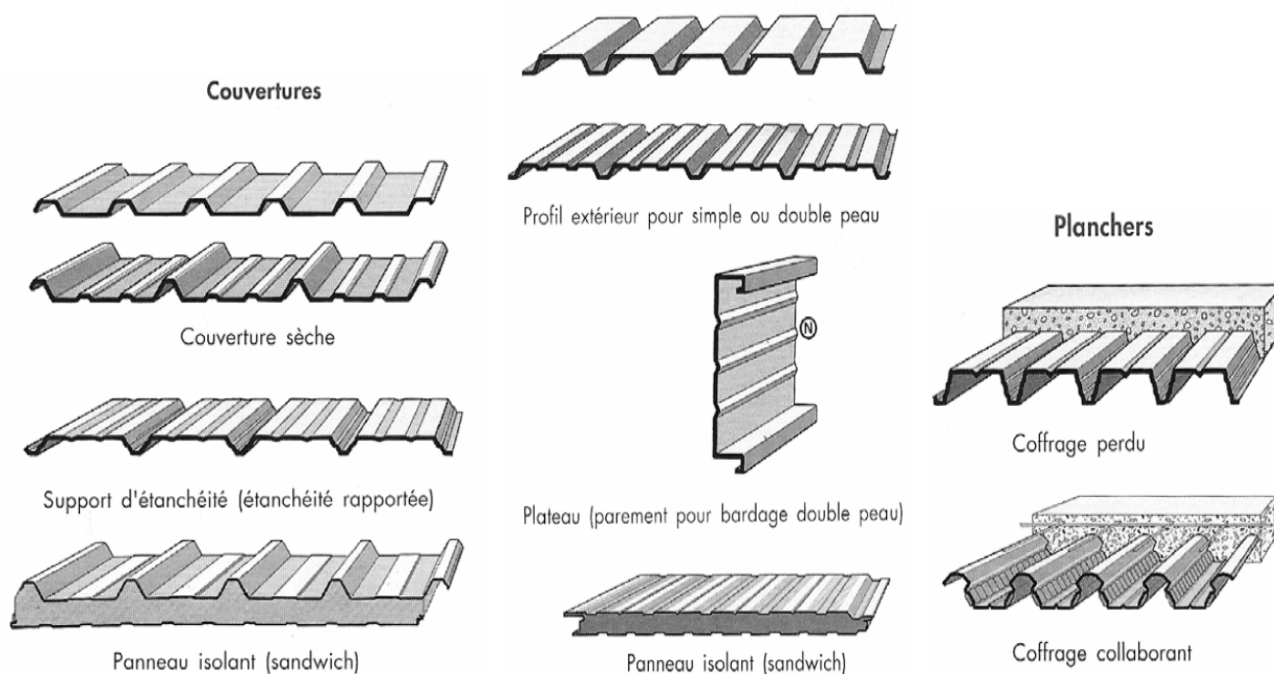


Figure 1-6 Produits plats formés à froid

3.3 Produits dérivés des profils laminés et profils reconstitués soudés:

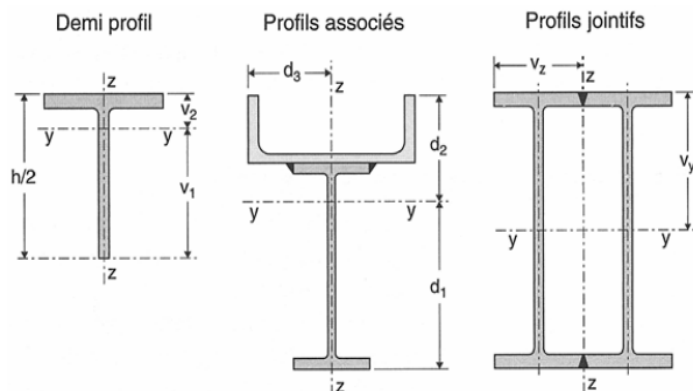


Figure 1-7 Produits dérivés

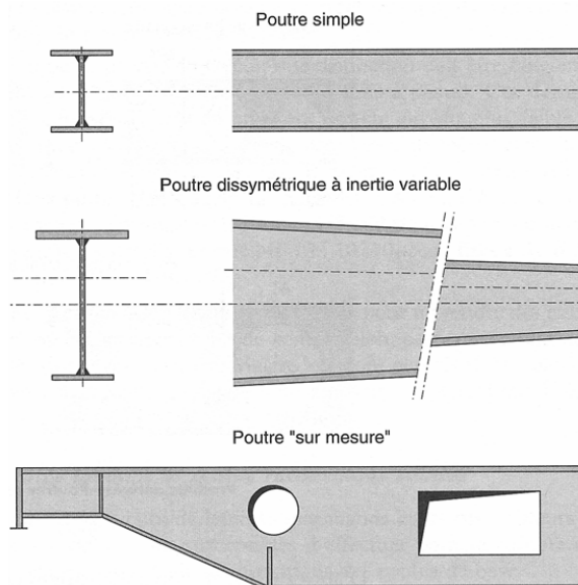


Figure 1-8 Profils reconstitués soudés

4 CARACTERISTIQUES DES PROFILS:

Tableau 1-1 Caractéristiques des profils H européens HEA

Caractéristiques des profils HEA												
PROFIL	h mm	A cm ²	S m ² /m	I _y cm ⁴	W _y cm ³	W _{pl,y} cm ³	A _{ex} cm ²	I _z cm ⁴	W _z cm ³	W _{pl,z} cm ³	I _t cm ⁴	I _x 10 ⁻³ cm ⁴
HEA 100	96	21,24	0,561	349,2	72,76	83,01	7,56	133,8	26,76	41,14	5,24	2,58
HEA 120	114	25,34	0,677	606,2	106,3	119,5	8,46	230,9	38,48	58,85	5,99	6,47
HEA 140	133	31,42	0,794	1 033	155,4	173,5	10,12	389,3	55,62	84,85	8,13	15,06
HEA 160	152	38,77	0,906	1 673	220,1	245,1	13,21	615,6	76,95	117,6	12,19	31,41
HEA 180	171	45,25	1,024	2 510	293,6	324,9	14,47	924,6	102,7	156,5	14,8	60,21
HEA 200	190	53,83	1,136	3 692	388,6	429,5	18,08	1 336	133,6	203,8	20,98	108
HEA 220	210	64,34	1,255	5 410	515,2	568,5	20,67	1955	177,7	270,6	28,46	193,3
HEA 240	230	76,84	1,369	7 763	675,1	744,6	25,18	2769	230,7	351,7	41,55	328,5
HEA 260	250	86,82	1,484	10 450	836,4	919,8	28,76	3 668	282,1	430,2	52,37	516,4
HEA 280	270	97,26	1,603	13 670	1 013	1 112	31,74	4 763	340,2	518,1	62,1	785,4
HEA 300	290	112,5	1,717	18 260	1 260	1 383	37,28	6 310	420,6	641,2	85,17	1 200
HEA 320	310	124,4	1,756	22 930	1 479	1 628	41,13	6 985	465,7	709,7	108	1 512
HEA 340	330	133,5	1,795	27 690	1 678	1 850	44,95	7 436	495,7	755,9	127,2	1 824
HEA 360	350	142,8	1,834	33 090	1 891	2 088	48,96	7 887	525,8	802,3	148,8	2 177
HEA 400	390	159	1,912	45 070	2 311	2 562	57,33	8 564	570,9	872,9	189	2 942
HEA 450	440	178	2,011	63 720	2 896	3 216	65,78	9 465	631	965,5	243,8	4 148
HEA 500	490	197,5	2,11	86 970	3 550	3 949	74,72	10 370	691,1	1 059	309,3	5 643
HEA 550	540	211,8	2,209	111 900	4 146	4 622	83,72	10 820	721,3	1 107	351,5	7 189
HEA 600	590	226,5	2,308	141 200	4 787	5 350	93,21	11 270	751,4	1 156	397,8	8 978
HEA 650	640	241,6	2,407	175 200	5 474	6 136	103,2	11 720	781,6	1 205	448,3	11 030
HEA 700	690	260,5	2,505	215 300	6 241	7 032	117	12 180	811,9	1 257	513,9	13 350
HEA 800	790	285,8	2,698	303 400	7 682	8 699	138,8	12 640	842,6	1 312	596,9	18 290
HEA 900	890	320,5	2,896	422 100	9 485	10 810	163,3	13 550	903,2	1 414	736,8	24 960
HEA 1000	990	346,8	3,095	553 800	11 190	12 820	184,6	14 000	933,6	1 470	822,4	32 070

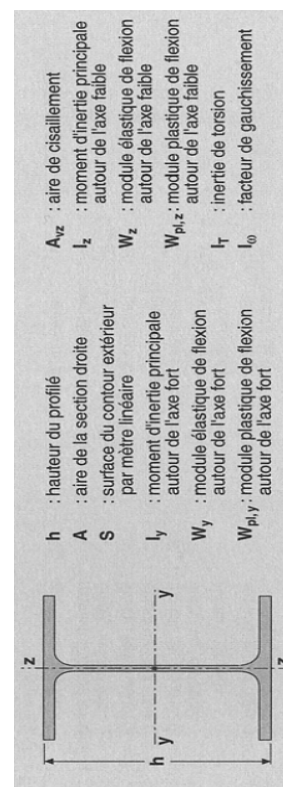
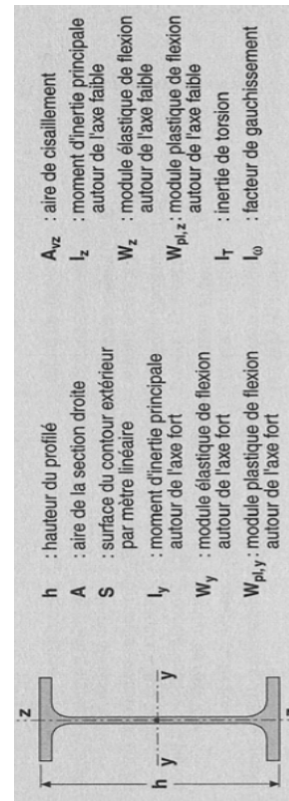


Tableau 1-2 *Caractéristiques des profils I européens IPE*

Caractéristiques des profils I européens												
PROFIL	h mm	A cm ²	S m ² /m	I _y cm ⁴	W _y cm ³	W _{pl,y} cm ³	A _{ex} cm ²	I _z cm ⁴	W _z cm ³	W _{pl,z} cm ³	I _t cm ⁴	I _x × 10 ⁻³ cm ⁴
IPE 80	80	7,64	0,328	80,14	20,03	23,22	3,58	8,49	3,69	5,82	0,70	0,12
IPE 100	100	10,32	0,400	171	34,20	39,41	5,08	15,92	5,79	9,15	1,20	0,35
IPE 120	120	13,21	0,475	317,8	52,96	60,73	6,31	27,67	8,65	13,58	1,74	0,89
IPE 140	140	16,43	0,551	541,2	77,32	88,34	7,64	44,92	12,31	19,25	2,45	1,98
IPE 160	160	20,09	0,623	869,3	108,7	123,9	9,66	68,31	16,66	26,10	3,60	3,96
IPE 180	180	23,95	0,698	1 317	146,3	166,4	11,25	100,9	22,16	34,60	4,79	7,43
IPE 200	200	28,48	0,768	1 943	194,3	220,6	14,00	142,4	28,47	44,61	6,98	12,99
IPE 220	220	33,37	0,848	2 772	252,0	285,4	15,88	204,9	37,25	58,11	9,07	22,67
IPE 240	240	39,12	0,922	3 892	324,3	366,6	19,14	283,6	47,27	73,92	12,88	37,39
IPE 270	270	45,94	1,041	5 790	428,9	484,0	22,14	419,9	62,20	96,95	15,94	70,58
IPE 300	300	53,81	1,160	8 356	557,1	628,4	25,68	603,8	80,50	125,2	20,12	125,9
IPE 330	330	62,61	1,254	11 770	713,1	804,3	30,81	788,1	98,52	153,7	28,15	199,1
IPE 360	360	72,73	1,353	16 270	903,6	1 019	35,14	1 043	122,8	191,1	37,32	313,6
IPE 400	400	84,46	1,467	23 130	1 156	1 307	42,69	1 318	146,4	229,0	51,08	490
IPE 450	450	98,82	1,605	33 740	1 500	1 702	50,85	1 676	176,4	276,4	66,87	791
IPE 500	500	115,5	1,744	48 200	1 928	2 194	59,87	2 142	214,2	335,9	89,29	1 249
IPE 550	550	134,4	1,877	67 120	2 441	2 787	72,34	2 668	254,1	400,5	123,2	1 884
IPE 600	600	156,0	2,015	92 080	3 069	3 512	83,78	3 387	307,9	485,6	165,4	2 846
IPE 750 × 137	753	174,6	2,506	159 900	4 246	4 865	92,90	5 166	392,8	614,1	137,1	6 980
IPE 750 × 147	753	187,5	2,510	166 100	4 411	5 110	105,4	5 289	399,2	630,8	161,5	7 141
IPE 750 × 173	762	221,3	2,534	205 800	5 402	6 218	116,4	6 873	514,9	809,9	273,6	9 391
IPE 750 × 196	770	250,8	2,552	240 300	6 241	7 174	127,3	8 175	610,1	958,8	408,9	11 290



5 ESSAIS MECANIQUES :

5.1 Essai de traction :

Il s'agit de l'essai fondamental qui fournit les grandeurs caractéristiques directement exploitables dans les calculs de dimensionnement.

- ✓ La limite d'élasticité f_y à partir de laquelle les allongements $A\%$ deviennent permanents (déformation irréversible).
- ✓ La contrainte de rupture à la traction f_u .
- ✓ Le module d'élasticité longitudinale de l'acier $E = 210\,000\text{ MPa}$.
- ✓ Le module d'élasticité transversale de l'acier $G \approx 81\,000\text{ MPa}$.
- ✓ Le coefficient de poisson $\nu = 0.3$.
- ✓ Le coefficient de dilatation $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} [^\circ\text{C}]$.

6 DESIGNATION SYMBOLIQUE DES ACIERS :

Tableau 1-3 Désignation symbolique des aciers

NUANCE		QUALITE
SYMBOLES PRINCIPAUX		SYMBOLES ADDITIONNELS
Lettre	Caractéristiques mécaniques	

Exp : S

235

JR

Symboles principaux	Symbole	Désignation
	G	Acier moulé
	S	Aciers de construction
	E	Aciers de construction mécanique
	B	Aciers à béton
	Y	Aciers pour béton précontraint
Ces symboles sont suivis de la valeur de la limite d'élasticité ou de la résistance minimale à la traction en MPa		

Symboles Additionnels pour l'acier	Energie de rupture (J)			Température d'essai (°C)
	27	40	50	
	JR	KR	LR	20
	J0	K0	L0	0
	J2	K2	L2	-20
	J3	K3	L3	-30
	J4	K4	L4	-40
	J5	K5	L5	-50
	J6	K6	L6	-60

7 PROPRIETES DES ACIERS LAMINÉS :

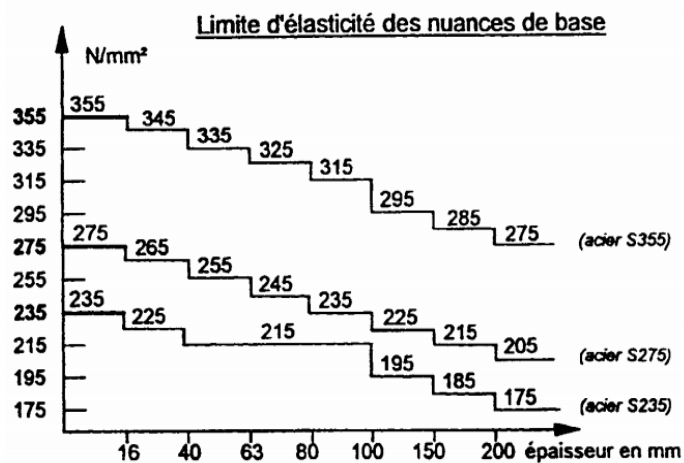


Figure 1-11

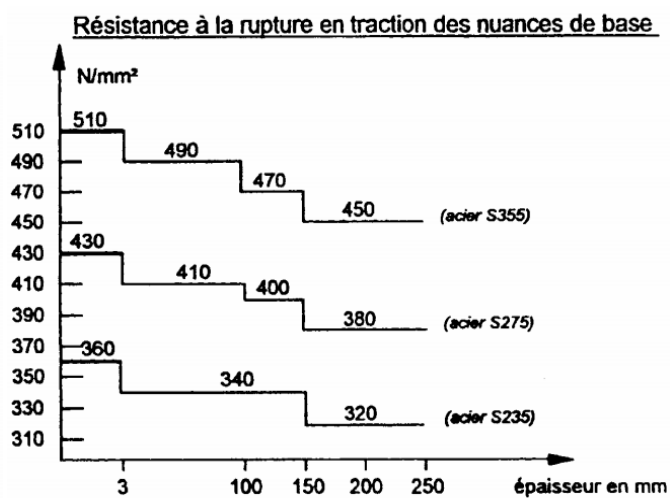


Figure 1-12

Tableau 1-4 Nuances principales des aciers de construction

Caractéristiques mécaniques des aciers en fonction de leur épaisseur t	Nuances d'aciers		
	S 235	S 275	S 355
Limite élastique f_y (MPa)			
$t \leq 16$ mm	235	275	355
$16 < t \leq 40$ mm	225	265	345
$40 < t \leq 63$ mm	215	255	335
Contrainte de rupture en traction f_u (MPa)			
$t \leq 3$ mm	360/510	430/580	510/680
$3 < t \leq 100$ mm	340/470	410/560	490/630
Allongement minimal moyen ϵ			
$t \leq 3$ mm	18 %	15 %	15 %
$3 < t \leq 150$ mm	23 %	19 %	19 %
	Utilisation courante	Utilisation plus rare (ouvrages d'art)	

8 CRITERES DE CHOIX DES ACIERS EN CONSTRUCTION METALLIQUE:

8.1 Choix de la nuance :

Il s'agit essentiellement, à travers ce choix, de fixer le niveau de la limite d'élasticité, appelée à servir de référence dans la conduite des calculs de dimensionnement. Le plus souvent, on recherche le niveau le plus élevé possible puisque la réduction de poids qui en résulte permet:

- ✓ Une économie directe sur les coûts de matière,
- ✓ Une mise en œuvre plus aisée en atelier,
- ✓ Une amélioration des conditions de transport et de montage.

Il va de soi que des facteurs limitatifs importants interviennent dans l'augmentation des caractéristiques mécaniques. Très fréquemment, le respect des critères de déformation régit le dimensionnement des ossatures métalliques et non le niveau de contrainte. De plus, l'augmentation de flexibilité de la structure qui accompagne celle des contraintes conduit à aggraver les effets dynamiques éventuels, comme ceux dus au vent, et rend aussi plus pénalisants les critères de résistance des éléments soumis aux différents phénomènes d'instabilité

8.2 Choix de la qualité :

Pour une structure donnée, le choix d'une qualité d'acier doit faire intervenir différents paramètres :

- ✓ La température minimale de service de l'ouvrage,
- ✓ L'épaisseur maximale des pièces constitutives de la structure,
- ✓ La nuance d'acier prévue,
- ✓ Le niveau des contraintes de traction subies par la structure,
- ✓ La nature des sollicitations du point de vue de leur vitesse d'application,...

3 DEFINITIONS

Aiguille : Tige ou barre travaillant à la traction et supportant en son centre le tirant de certaines fermes.

Appentis : Toiture à une seule pente adossée à un mur ou à un bâtiment par son bord supérieur (faîtage) et dont le bord inférieur est soutenu par une sablière ou des poteaux.

Arbalétrier : Membrure supérieure de la poutre triangulée appelée ferme qui, dans un comble, supporte les pannes et les autres éléments de la toiture.

Arêtier : Pièce de charpente placée sous l'arête (intersection de 2 versants) et sur laquelle s'assemblent les autres éléments de la charpente.

Auvent : Partie de la toiture d'une halle débordant largement à l'extérieur de la ligne des poteaux supports.

Brisure : Changement de direction affectant une barre dans un système de construction quelconque.

Chéneau : Canal disposé en bas de pente des toitures et servant à recueillir les eaux de pluie et à les diriger vers les tuyaux de descente.

Comble : Partie supérieure (faîte) d'un bâtiment. Volume situé sous les versants de la toiture.

Croupe : Versant de toiture permettant de renvoyer les eaux sur les chéneaux ou les gouttières implantées sur toute la périphérie d'un bâtiment.

Contreventements : Dispositif assurant la stabilité d'un bâtiment, d'une ossature et s'opposant à la déformation, au déversement ou au renversement des constructions sous l'action de forces horizontales.

Diagonale : Barre placée en diagonale dans les panneaux d'une poutre en treillis ou d'une construction triangulée en général.

Echantignolle : Sorte d'équerre en fer plat plié servant à assujettir une panne sur un arbalétrier.

Empannons : Pièce destinée à diviser en plusieurs portées intermédiaires l'intervalle entre 2 fermes, de manière à réduire la section des pannes.

Entrait : Membrure inférieure d'une ferme dans un comble à deux ou plusieurs pentes.

Faîtage : Arête longitudinale formée au sommet d'une toiture par la rencontre des 2 versants.

Ferme : Poutre généralement triangulée, dont la membrure supérieure, à simple ou double inclinaison, règle la pente d'une toiture. Avec les pannes qu'elle supporte, la ferme constitue le principal de l'ossature des combles d'un édifice.

Gousset : Pièce de tôle plane, sur laquelle viennent s'assembler plusieurs barres convergentes.

Lattis : Pièce métallique, généralement en cornière, fixée sur les chevrons parallèlement au faîtage et supportant une rangée de tuiles.

Montant : Toute barre, entrant dans la composition d'une charpente métallique en treillis et joignant les membrures dans une direction perpendiculaire à l'une au moins de ces membrures.

Nœud : Point où concourent deux ou plusieurs barres d'une ossature en assemblage commun.

Panne : Poutre reliant les fermes dans un comble et reportant sur celles-ci les charge et surcharges transmises directement par les éléments de la couverture.

Poinçon : Montant central d'une ferme en treillis à 2 pentes.

Poteau : Élément vertical d'une ossature collectant les charges et surcharges des poutres qui s'y attachent et reportant sur l'infrastructure ou les fondations de la construction.

Sablière : Panne située à la partie basse d'un versant de toiture près du chéneau.

Solivage : Ensemble de solives composant l'ossature d'un plancher.

Toiture : Partie supérieure d'un bâtiment. Ensemble de tous les éléments qui ont pour fonction de supporter la couverture.

Versant : Plan incliné d'une toiture.

GENERALITES SUR LES CHARGES ET SURCHARGES REglementaires

1 ETATS LIMITES:

Les états limites sont des états au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux exigences de performance pour lesquelles elle a été conçue.

Les états limites sont classés en :

- ✓ états limites ultimes,
- ✓ états limites de service.

Les états limites ultimes sont associés à la ruine par déformation excessive, rupture, ou perte de stabilité de la structure ou d'une de ses parties, y compris les appuis et les fondations.

Les états limites de service correspondent aux états au delà desquels les critères spécifiés d'exploitation ne sont plus satisfait, on distingue :

- ✓ Les déformations ou flèches affectant l'aspect ou l'exploitation efficace de la construction (y compris le fonctionnement des machines ou des services) ou provoquant des dommages aux finitions ou aux éléments non structuraux.
- ✓ Les vibrations incommodant les occupants, endommageant le bâtiment ou son contenu, ou limitant son efficacité fonctionnelle.

2 ACTIONS :

Une action (F) est :

- ✓ une force (charge) appliquée à la structure (action directe), ou
- ✓ une déformation imposée (action indirecte). Exemple : effets thermiques ou déplacements d'appui.

Les actions sont classées : (en fonction de leur variation dans le temps) :

- ✓ actions permanentes (G), telles que poids propre des structures et équipements fixes.
- ✓ Actions variables (Q) : telles que charges d'exploitation, action du vent ou de la neige.
- ✓ Actions accidentelles (A), telles que: explosions, chocs de véhicules ou séisme.

3 DISPOSITIONS DES CHARGES ET CAS DE CHARGES

- ✓ Une disposition des charges est déterminée en fixant la position, le niveau d'intensité et la direction d'une action libre.
- ✓ Un cas de charge est déterminé en fixant les dispositions compatibles des charges et l'ensemble des déformations et des imperfections à considérer pour une vérification donnée.

4 COMBINAISONS D'ACTIONS :

4.1 Combinaisons d'actions aux E.L.U :

- ✓ Situations de projet durables et transitoires (Combinaison fondamentale) :

$$p_{ELU} = \sum_j \gamma_{G,j} G_j + \gamma_{Q1} Q_1 + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_i$$

= 1,35 action permanente défavorable
= 1,0 action permanente favorable

- ✓ Situations de projet accidentelles :

$$p_{ELU} = \sum_j \gamma_{GA,j} G_j + A_d + \psi_{1,1} Q_1 + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_i$$

= 1,5

Pour les structures de bâtiment, dans un but de simplification, la combinaison fondamentale peut être remplacée par :

✓ Combinaison simplifiée :

$$P_{ELU} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_j \gamma_{G,j} G_j + \gamma_{Q,1} Q_1 \\ \sum_j \gamma_{G,j} G_j + 0.9 \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_i \end{array} \right.$$

4.2 Combinaisons d'actions aux E.L.S :

✓ Combinaisons rares :

$$P_{ELS} = \sum_j G_j + Q_1 + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_i$$

✓ Combinaisons fréquentes:

$$P_{ELS} = \sum_j G_j + \psi_{1,1} Q_1 + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_i$$

✓ Combinaisons quasi-permanentes:

$$P_{ELS} = \sum_j G_j + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_i$$

Pour les structures de bâtiment, dans un but de simplification, les expressions pour les combinaisons rare et fréquente peuvent être remplacée par :

✓ Combinaison simplifiée :

$$P_{ELS} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_j G_j + Q_1 \\ \sum_j G_j + 0.9 \sum_{i \geq 1} Q_i \end{array} \right.$$

Coefficients partiels de sécurité γ :

Tableau 3-1

	ACTIONS PERMANENTES	ACTIONS VARIABLES
Effet défavorable	$\gamma_G = 1.35$	$\gamma_Q = 1.50$
Effet favorable	$\gamma_G = 1.00$	$\gamma_Q = 0$

Facteurs Ψ_i :

Tableau 3-2

Action variable considérée	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Charges d'exploitations	0.87	1	1
neige	0.87	1	1
vent	0.67	0.2	0
Température	0.53	0.5	0

5 CHEMINEMENT DES CHARGES VERTICALES :

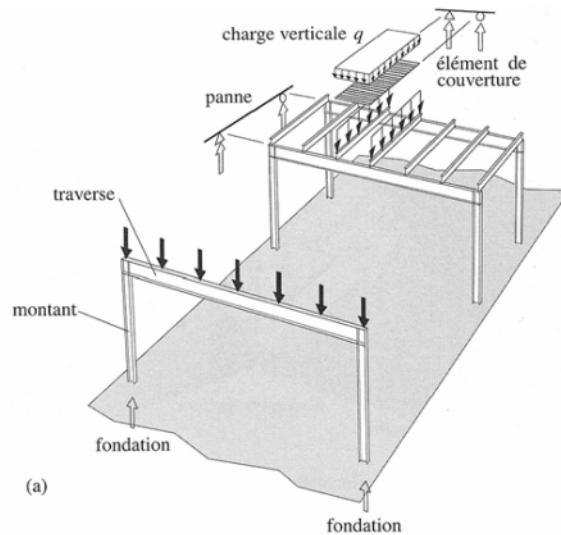


Figure 3-1

6 CHEMINEMENT DES CHARGES HORIZONTALES :

6.1 Vent sur long pan :

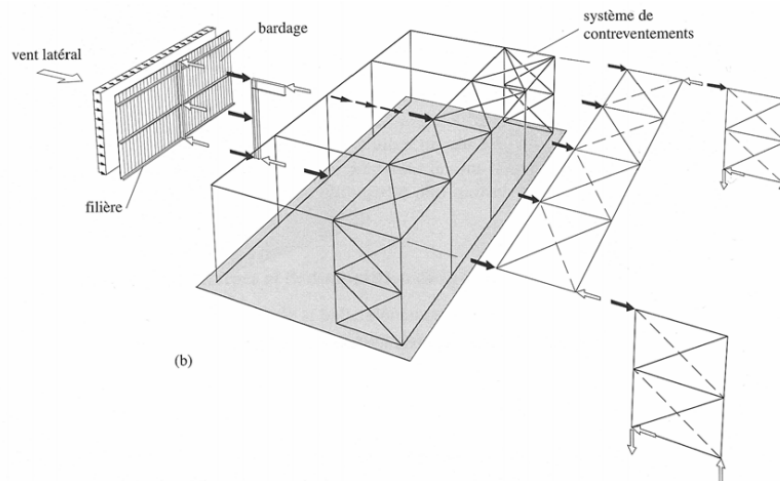


Figure 3-2 Vent sur long pan

6.2 Vent sur pignon :

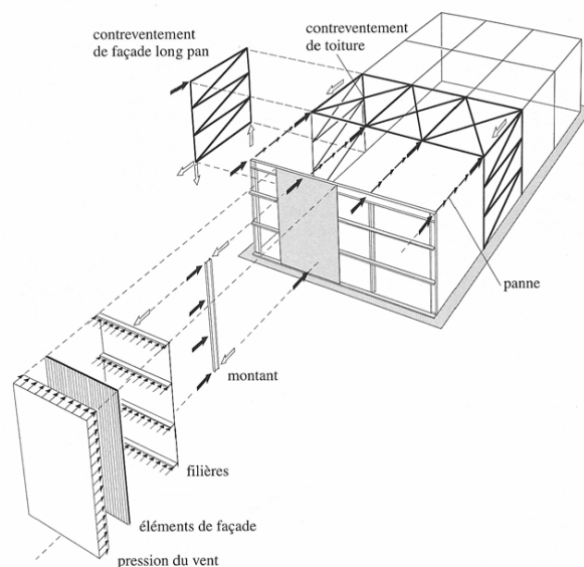


Figure 3-3 Vent sur pignon

LES ASSEMBLAGES EN CONSTRUCTION METALLIQUE

1 INTRODUCTION:

Une structure métallique est un ensemble de pièces individuelles assemblées.

Il existe deux possibilités d'assemblage :

- ✓ Assemblage des pièces bout à bout :

Joint de continuité
de poutre par éclisses et
boulons précontraints

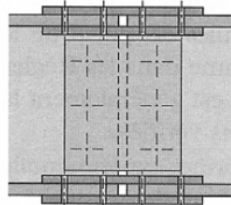
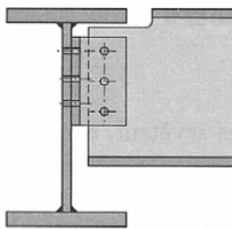


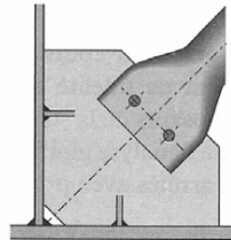
Figure 8-1

- ✓ Assemblage des pièces concourantes:

Appui simple poutre-poutre
par cornières boulonnées



Attache boulonnée
d'un tube circulaire écrasé,
sur gousset soudé



Encastrement poutre-poteau
par platine d'about
boulonnée

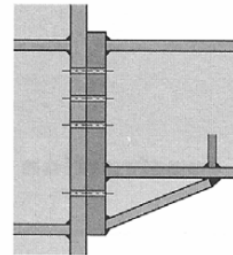


Figure 8-2

Le rôle d'un assemblage est :

- ✓ Réunir et solidariser plusieurs pièces entre elles.
- ✓ Assurer la répartition et la transmission des diverses sollicitations entre les pièces assemblées sans générer des sollicitations parasites.

2 FONCTIONNEMENT DES ASSEMBLAGES:

2.1 Fonctionnement par obstacle :

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

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

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 LES ASSEMBLAGES BOULONNÉS:

3.1 Composition :

Les boulons sont constitués de :

- Une vis
- Un écrou hexagonal.
- Eventuellement 1 ou 2 rondelles.

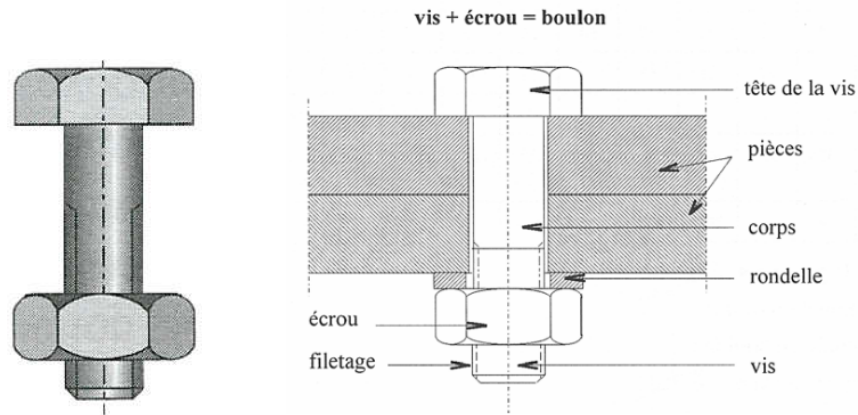
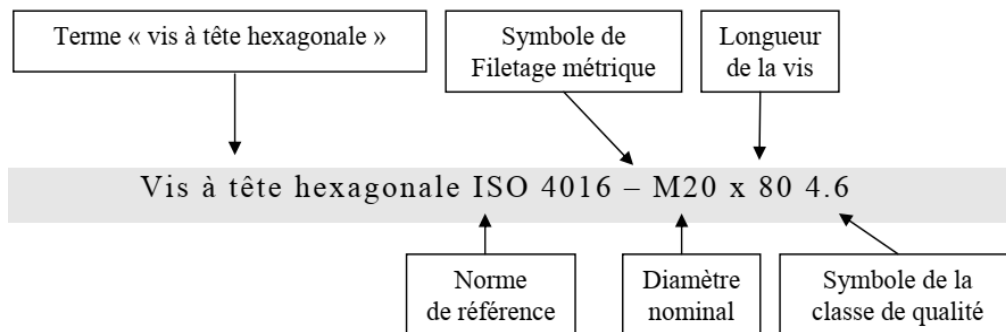
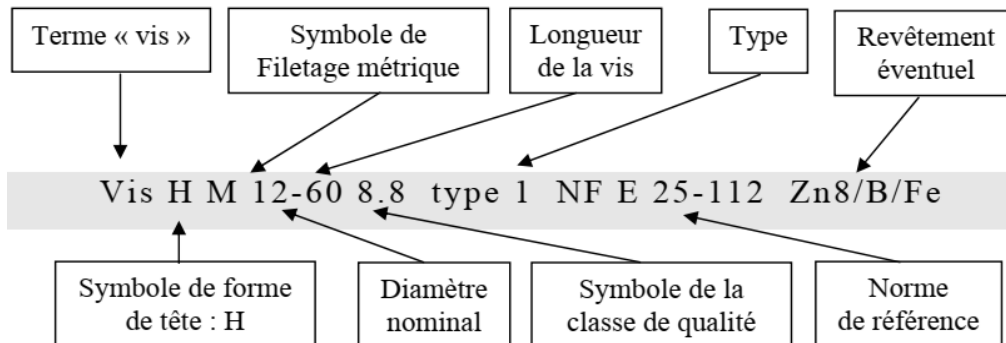


Figure 8-3 Terminologie

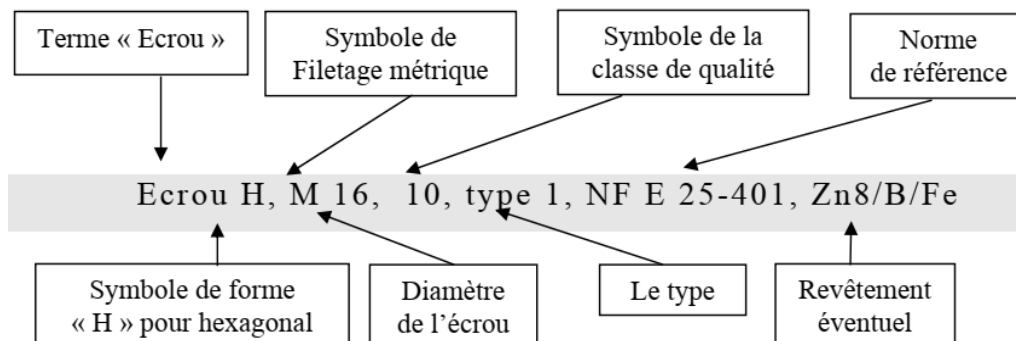
3.1.1 Désignation des vis selon les normes internationales ISO :



3.1.2 Désignation des vis selon la norme Française NF E 25-004 :



3.1.3 Désignation des écrous selon la norme Française NF E 25-004 :



3.2 Dimensionnement des boulons ordinaires :

3.2.1 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.

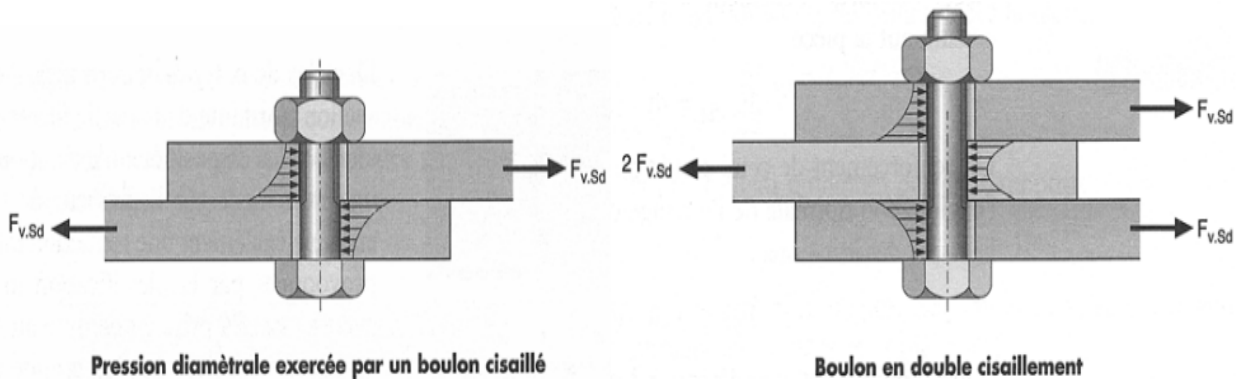


Figure 8-4 Assemblages sollicités au cisaillement

Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement :

- ✓ pour les classes de qualité 4.6, 5.6, 6.6 et 8.8 :

$$F_V = 0.6 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

- ✓ pour les classes de qualité 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 :

$$F_V = 0.5 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

A_s : aire de la section résistante en traction du boulon, si le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon.

f_{ub} : Contrainte limite de résistance à la traction des boulons.

$\gamma_{Mb} = 1.25$ coefficient de sécurité pour le cisaillement.

Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées :

$$F_B = 2.5 f_u d_0 \frac{t}{\gamma_{Mb}}$$

3.2.2 Assemblages sollicités à la traction:

Résistance des boulons à la traction :

$$F_T = 0.9 f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

3.2.3 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 :

$$\frac{V}{F_v} + \frac{T}{1.4F_T} \leq 1$$

Tableau 8-1 **Caractéristiques mécaniques correspondants aux différentes classes**

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9
F_{ub} [MPa]	400	400	500	500	600	600	800	1000

Tableau 8-2 **Principales caractéristiques géométriques des boulons**

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
A (mm ²)	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A_s (mm ²)	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561

d : diamètre de la partie non filetée de la vis ;

A : section nominale du boulon ;

A_s : section résistante de la partie filetée.

3.3 Dimensionnement 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 :

$$F_s \leq \mu \cdot F_p$$

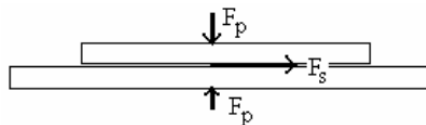


Figure 8-5 **Fonctionnement d'un boulon HR**

Avec :

$$F_p = 0.7 f_{ub} A_s$$

Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Une préparation des surfaces est nécessaire, par brossage ou grenaillage, 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 celles de la classe C

$\mu = 0.40$ pour celles de la classe B

$\mu = 0.20$ pour celles de la classe D

✓ **Classe A:** Surfaces décapées par grenaillage ou sablage, avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes et sans piqûres de corrosion ;

Surfaces décapées par grenaillage ou sablage et métallisées par projection d'aluminium ;

Surfaces décapées par grenaillage ou sablage et métallisées par projection d'un revêtement à base de Zinc, garanti d'assurer un coefficient de glissement qui ne soit pas inférieur à 0,5.

✓ **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.

3.3.1 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 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 8-3 **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

3.3.2 Assemblage résistant au glissement : La

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

$$F_s = k_s m \mu F_p / \gamma_{MS}$$

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 :

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

- 1 mm pour les boulons $\varnothing 12$ et $\varnothing 14$
- 2 mm pour les boulons $\varnothing 16$ et $\varnothing 24$
- 3 mm pour les boulons $\varnothing 27$ et plus

3.4 PRECAUTIONS 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.

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



Figure 8-6 **Assemblage par recouvrement simple**

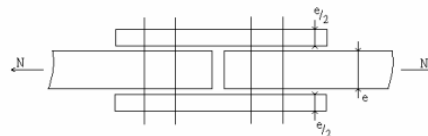
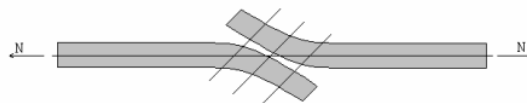


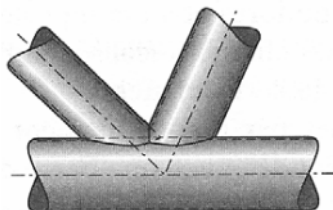
Figure 8-7 **Assemblage par double couvre-joint**

En effet, dans le 1^{er} cas, la dissymétrie crée un moment de flexion parasite et l'assemblage se déforme :

Figure 8-8 *Déformation d'un assemblage par recouvrement simple*

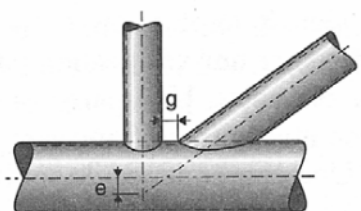
Il faut s'assurer que les axes neutres des barres soient concourants aux nœuds des treillis dans les systèmes réticulés.

Assemblage en K

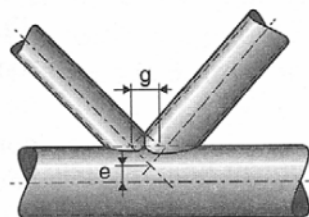
Tableau 8-9 *Les axes neutres des barres sont concourants*

Par ailleurs, il faut prendre en compte les majorations des contraintes engendrées par les moments secondaires dans les assemblages excentrés.

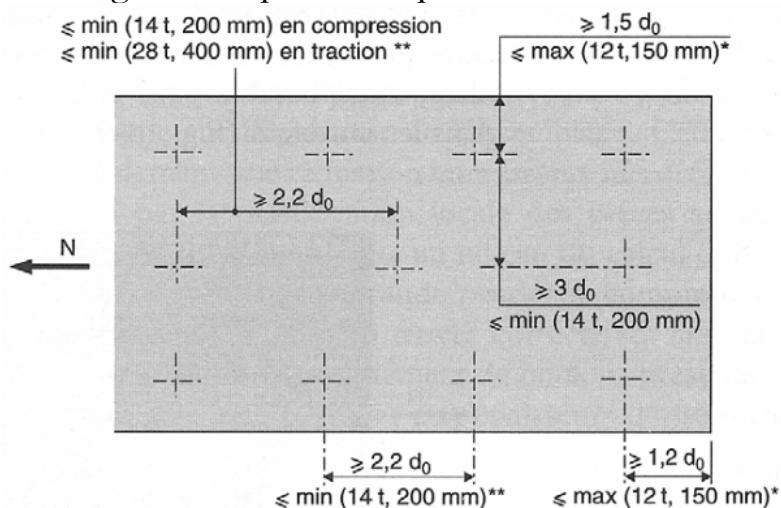
Avec espacement



Avec recouvrement

Figure 8-10 *Assemblages de tubes avec excentricité*

Des valeurs minimales et maximales des pinces longitudinales et transversales et de l'entraxe des boulons sont également prescrites par l'Eurocode 3.

Figure 8-11 *Valeurs minimales et maximales des pinces et de l'entraxe des boulons*

4.LES ASSEMBLAGES SOUDES

4.1 INTRODUCTION:

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, 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.

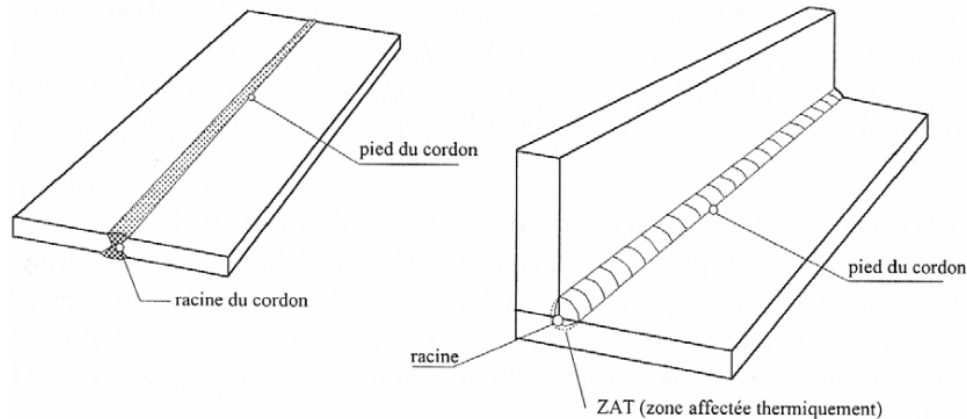


Figure 9-1 *Liaison de deux pièces par soudage*

4.2 PROCEDES DE SOUDAGE:

On peut citer :

- ✓ procédé par pression ;
- ✓ procédé par résistance électrique ;
- ✓ procédé par friction ;
- ✓ procédé chimique au chalumeau oxyacétylénique ;
- ✓ procédé au LAZER ;
- ✓ procédé par bombardement électronique ;
- ✓ procédé à l'arc au PLAZMA ;
- ✓ procédé à l'arc électrique.

4.2.1 *procédé chimique au chalumeau oxyacétylénique*

Il utilise la combustion d'oxygène et d'acétylène, à une température d'environ 3000°C, le métal d'apport étant fourni par des baguettes d'acier fusibles, ce procédé est peu utilisé en construction métallique, car il est plus onéreux que les procédés à l'arc pour des sections d'acier épaisses.

4.2.2 procédés à l'arc électrique

Ce sont les procédés les plus couramment utilisés en construction métallique.

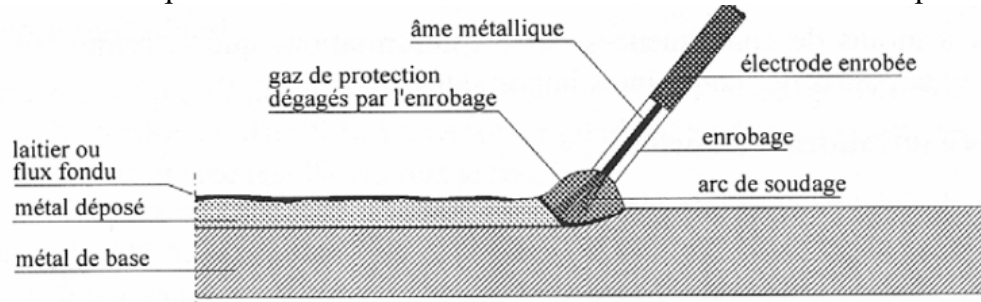


Figure 9-2 **Principe de soudage à l'arc**

4.2.2.1 procédés à électrode non fusible (tig)

L'arc est produit entre une électrode de tungstène non fusible et les pièces, sous jet d'ARGON, qui est un gaz inerte. Le métal d'apport est obtenu par fusion d'une baguette indépendante.

En atelier, ce procédé est semi-automatique ou automatique.

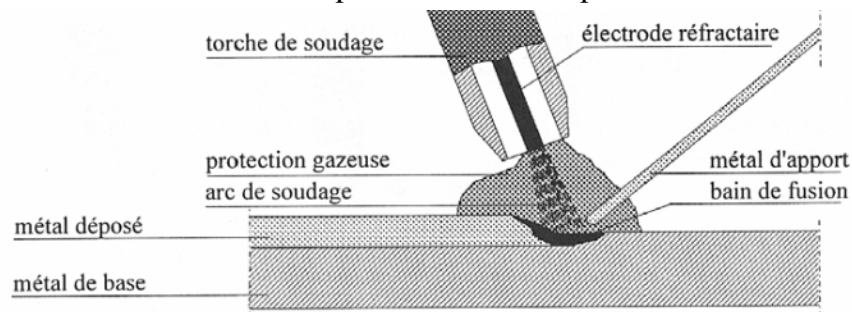


Figure 9-3 **Soudage sous flux gazeux – Procédé TIG**

4.2.2.2 procédés à électrodes fusibles

Un arc électrique est créé entre une électrode fusible (cathode) et les pièces à souder (anode), grâce à un générateur de courant, alternatif ou continu, de faible voltage, mais de fort ampérage (de 50 à 600 ampères).

Les particules fondues de la cathode sont projetées sur l'anode, au travers de l'arc, et se déposent. Il suffit alors de déplacer la cathode le long du joint d'assemblage pour constituer un cordon continu de soudure.

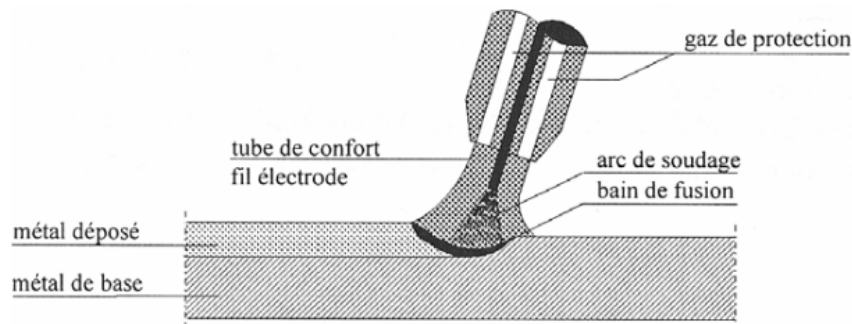


Figure 9-4 **Soudage sous flux gazeux**

La protection vis-à-vis de l'atmosphère ambiante est obtenue par un gaz insufflé dans une buse concentrique à l'électrode. Si le gaz est inerte, il s'agit du procédé MIG. Pour un gaz actif, c'est le procédé MAG.

4.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES:

4.3.1 définitions de la gorge des cordons d'angle:

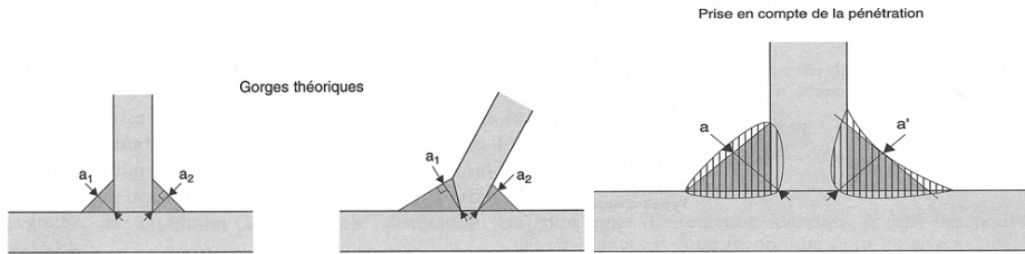


Figure 9-5

4.3.2 soudures bout à bout:



Figure 9-6

4.3.3 soudures d'angle:

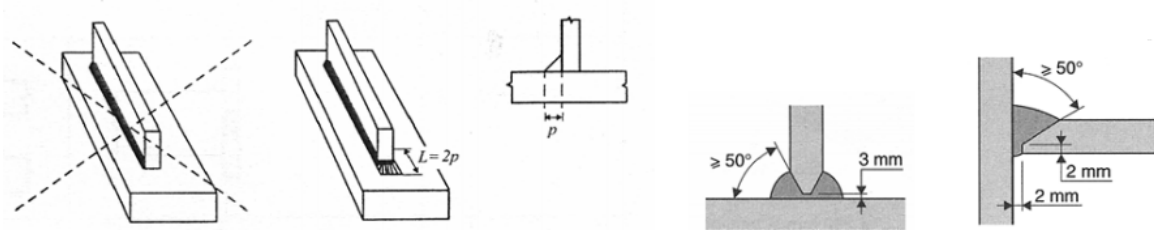


Figure 9-7

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.

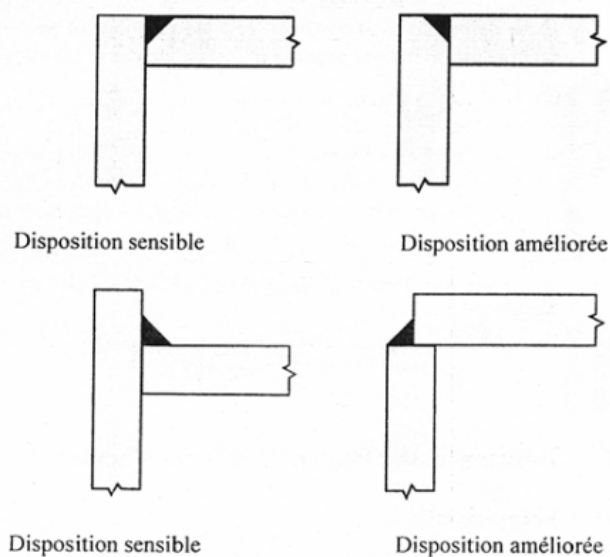


Figure 9-8 Dispositions constructives évitant l'arrachement lamellaire

4.3.4 autres types de liaisons soudées:

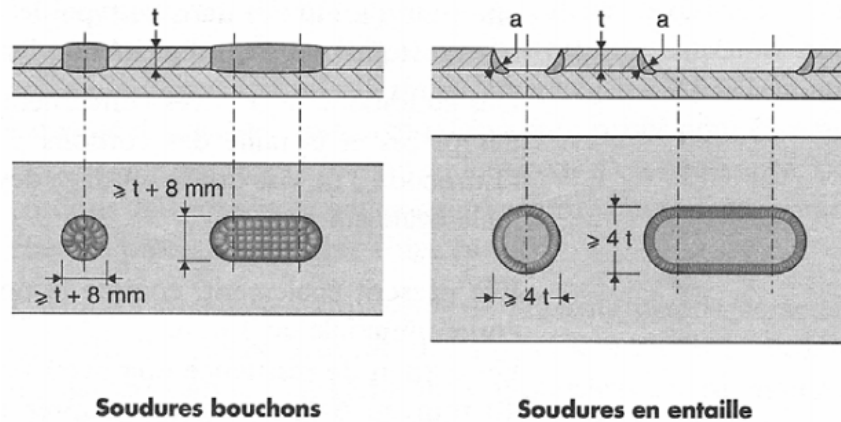


Figure 9-9

4.4 PRECAUTIONS 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 :

1. soit provoquer des déformations dans les pièces, si ces dernières sont librement dilatables.
2. soit générer des contraintes internes dans les pièces, si ces dernières sont bridées.

Dans le premier cas, pour remédier aux déformations, il est possible :

- ✓ soit de donner aux pièces des déformations initiales inverses, qui compenseront les déformations en retrait ;
- ✓ soit de redresser les pièces à froid, sous presse ;
- ✓ soit d'effectuer les cordons par tronçons discontinus et espacés dans le temps ;

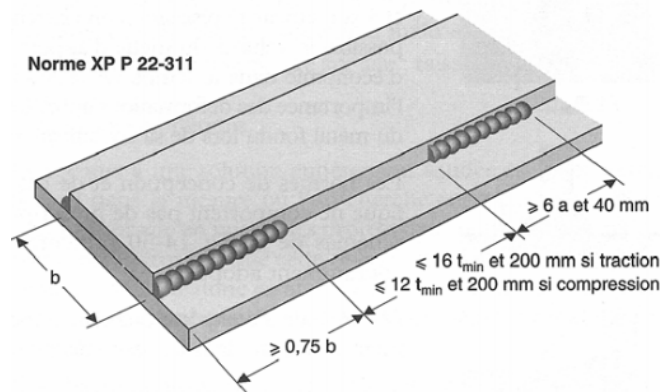


Figure 9-10 Cordons discontinus

- ✓ soit de préchauffer les pièces pour éviter un refroidissement brusque.

Dans le second cas, pour limiter les contraintes internes, il est possible :

- ✓ soit d'assouplir le bridage, ce qui autorisera de faibles déformations, acceptable ;
- ✓ soit de post chauffer les pièces.

Quelques autres précautions élémentaires doivent être prises :

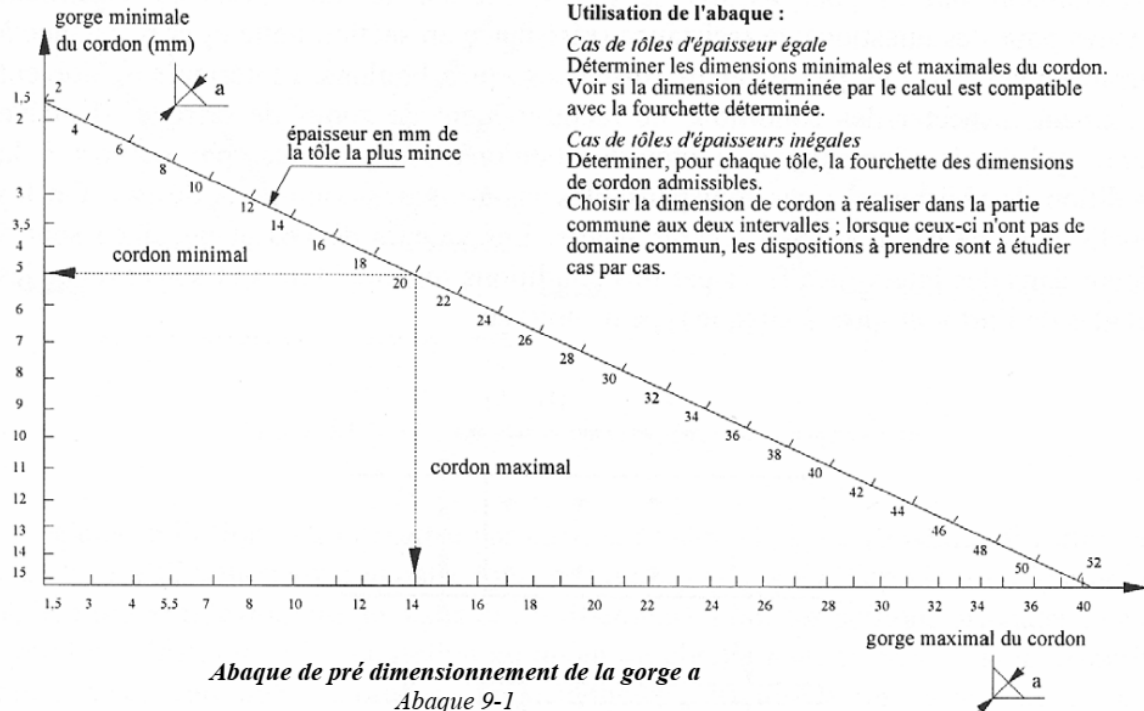
- ✓ éviter l'assemblage de pièces de trop grande différence d'épaisseur, car il y a risque de déformation de la pièce la plus mince et risque de fissuration du cordon de soudure au refroidissement.
- ✓ Eviter les assemblages par soudure pour des pièces d'épaisseur supérieure à 30mm.
- ✓ Réaliser des cordons de diamètre supérieur à 4 mm et de longueur supérieure à 50mm.

- ✓ Veiller à une bonne corrélation entre l'épaisseur du cordon et l'épaisseur de la plus faible des pièces à assembler.

4.5 CALCUL DES CORDONS DE SOUDURE:

Les soudures bout à bout ne se calculent pas.

4.5.1 prédimensionnement de la gorge:



4.5.2 Cordons frontaux:

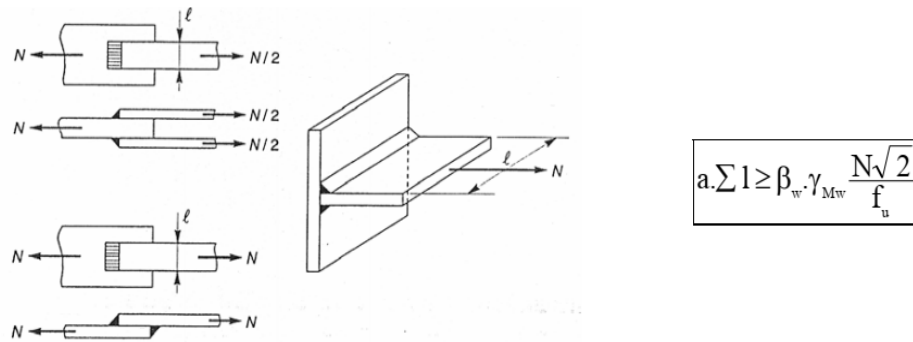


Figure 9-11 Assemblage par cordons frontaux

4.5.3 Cordons latéraux:

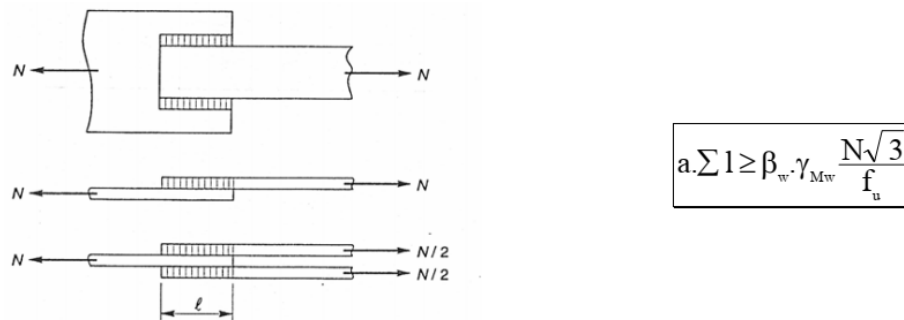
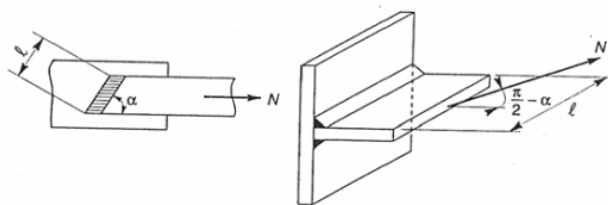


Figure 9-12 Assemblage par cordons latéraux

4.5.4 Cordons obliques:



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

Figure 9-13 Assemblage par cordons obliques

NOTATIONS :

a épaisseur utile ou gorge, distance minimale de la racine à la surface du cordon ;

l longueur utile du cordon ;

N effort pondéré appliqué à chaque cordon, supposé centrer au milieu de la longueur du cordon ;

Tableau 9-1 les 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