

Acier

Fer et alliages

Il est rare de trouver des métaux à l'état pur sur Terre; les plus courants sont l'or et l'argent. Le fer, quant à lui, fait partie des minerais composés.

Au travers des siècles, l'homme a tenté d'isoler le fer des autres composants.

Le fer, sous forme de roche, est souvent accompagné de **carbone**, de **soufre**, de **phosphore**... Toutefois, ce n'est pas en ayant le fer le plus pur que l'on obtient un matériau aux performances les plus élevées.

Pour cela, le fer doit être associé avec d'autres éléments chimiques mais en très faible quantité. Le principal élément d'alliage du fer est **le carbone**. La teneur en carbone a une influence considérable (et assez complexe) sur les propriétés du fer.

Le fer de fonte

Au-delà de 2,14 % de carbone, on parle de fonte.

Le fer de fonte contient, en général, entre 3 et 4 % de carbone.

On s'en sert encore aujourd'hui pour réaliser des éléments de construction : canalisations, avaloirs, couvercles de chambre de visite, tuyaux d'égoût, trapillons ...

Le fer

Avec **moins de 0,008 % de carbone**, on parle de fer.

L'acier

Entre ces deux valeurs de **0,008 et 2,14 % de teneur en carbone**, on parle d'acier. L'acier est apparu par l'évolution de la métallurgie, un peu avant 1800, lorsque l'on est parvenu à purifier la fonte par élimination du carbone d'abord, du soufre et du phosphore ensuite, deux éléments fragilisant le métal.

L'augmentation de la teneur en carbone a tendance à améliorer la résistance mécanique et la dureté de l'alliage :

- moins il y a de carbone, plus l'acier est plastique et malléable - on parle d'**aciers doux**;
- plus il y a de carbone, plus l'acier est dur et résistant, on parle d'**aciers durs**.

Les aciers restent privilégiés dans presque tous les domaines d'application technique : armatures, charpentes, rails, signalisation, ferronnerie, carrosseries, transmission, quincaillerie, visserie, ressorts, câbles, marteaux, burins, fraises, forets, électroménagers, ustensiles de cuisine...



Minerai de fer

Processus de fabrication de l'acier

FILIERE FONTE

L'acier est élaboré à partir du fer dont la ressource principale naturelle pour l'industrie est le minerai de fer. Le coke est le combustible qui permet de séparer le fer des autres éléments du minerai dans le haut fourneau. Le minerai de fer et le coke sont introduits dans le haut fourneau. La combustion du coke permet d'éliminer certains éléments indésirables contenus dans le minerai de fer. On récupère la fonte, très riche en fer mais qui contient toujours une quantité importante de carbone rendant le matériau cassant.

FILIERE FERRAILLES

On peut aussi fabriquer l'acier liquide à partir de ferrailles issues du recyclage de l'acier. Ces ferrailles sont fondues dans un four électrique avant d'être transformées en acier liquide. Cette voie de fabrication qui économise énormément d'énergie et de matière première, est de plus en plus employée.

COULEES

L'acier liquide affiné est mis en forme à l'état solide par la coulée continue et transformé en demi-produits sidérurgiques.

LAMINAGES

Ces demi-produits sidérurgiques sont amincis par laminage à chaud puis découpés sous forme de plaques, de barres ou de bobines selon les applications.

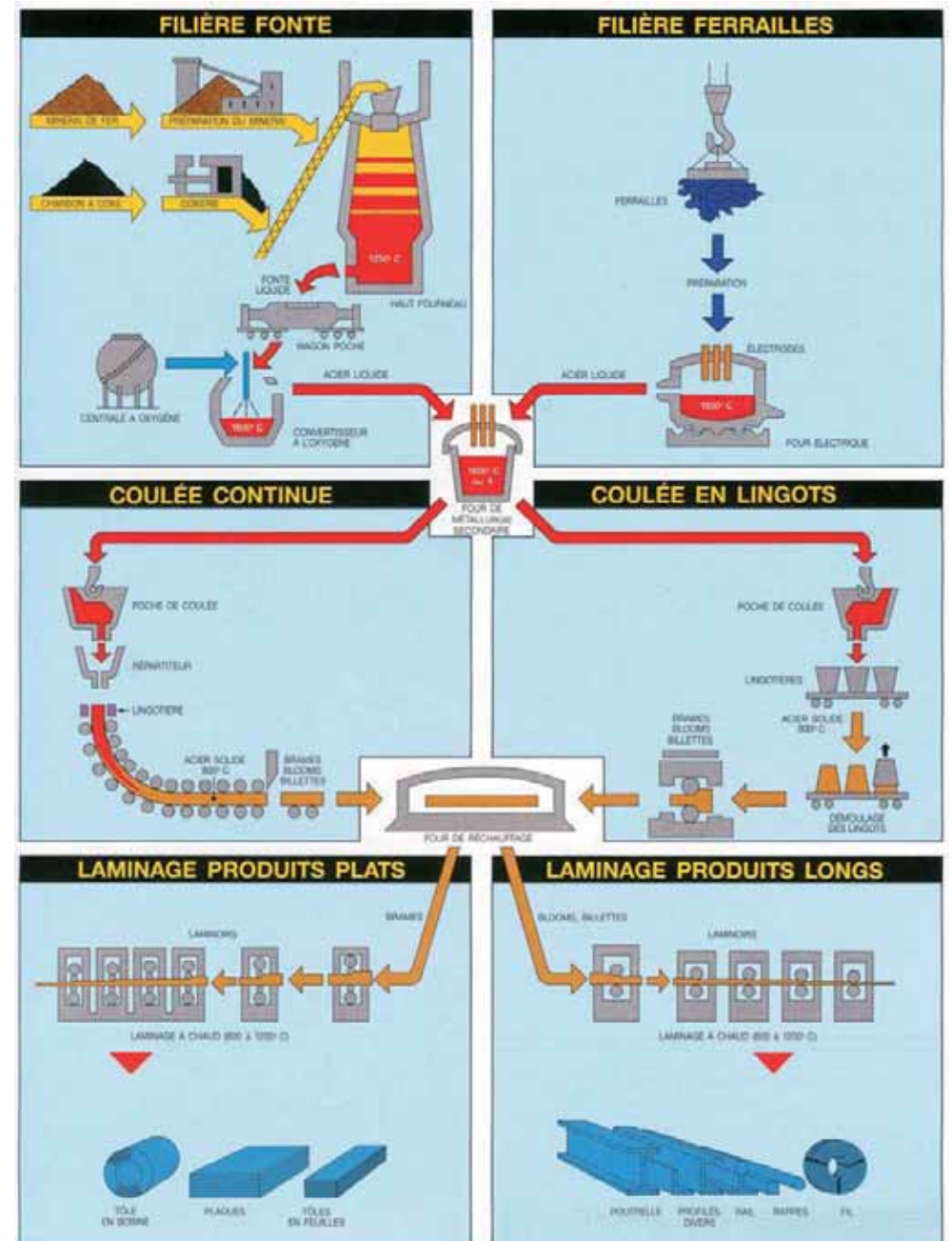
Après fabrication, les produits subissent des transformations à froid (laminage à froid pour obtenir des produits de 0,1 à 3 mm d'épaisseur) combinées parfois avec des traitements à chaud.

FINITIONS

De nombreux procédés de finition permettent de donner à l'acier des propriétés spécifiques en passant de la simple cannette de boisson à la boîte de vitesse d'une auto jusqu'aux structures d'ouvrages importants.

RECYCLAGE

Après usage, tous ces aciers vont rejoindre la déchetterie qui va les trier puis les réinjecter dans le processus (filier ferrailles).



Acier

Caractérisation des aciers

Pour permettre la caractérisation des aciers, les 3 critères principaux sont les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques.

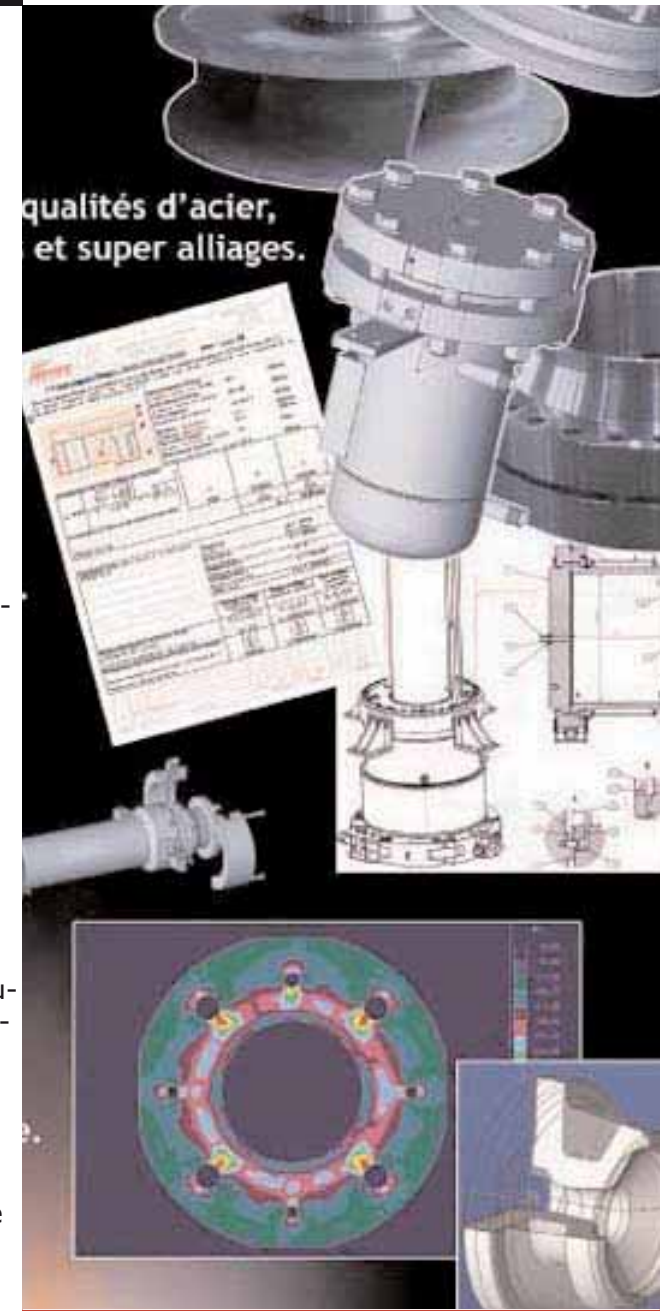
Caractéristiques physiques

La dilatation est une caractéristique physique fort importante pour le constructeur métallique. Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier est $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$.

Caractéristiques mécaniques

Parmi les caractéristiques mécaniques des aciers, les plus couramment utilisées pour une application dans la construction métallique sont :

- **Limité d'élasticité** : R_e en N/mm^2 ou MPa
C'est la limite de la charge au-delà de laquelle le métal se déforme de façon irréversible c'est-à-dire qu'il ne retrouve plus sa géométrie initiale; la déformation n'est plus élastique et subsiste, elle devient plastique. Elle sert au calcul à la contrainte des éléments travaillant à la flexion, au cisaillement, au flambement...
- **Résistance à la traction** (rupture) : R_m en N/mm^2 ou MPa
c'est la plus grande force que le métal peut supporter en traction avant rupture. Elle sert au calcul de fatigue.
- **Allongement à rupture** : A en %
c'est l'allongement maximal tolérable avant la rupture.
- **Module d'élasticité** : E en N/mm^2
Exprimant la rigidité du métal, c'est le facteur de proportion entre une contrainte appliquée à une barre et l'allongement relatif de cette barre dans le domaine plastique.
- **Résilience** : KCV en J/cm^2
C'est une caractéristique qui permet d'apprécier la résistance d'un métal à une rupture brutale; l'essai consiste à rompre à l'occasion d'un choc unique une section métallique entaillée en son milieu, reposant sur 2 appuis et sollicitée en flexion.. Il s'agit d'un des principaux critères de choix de qualité d'acier pour les constructions soudées.
- **Dureté**
C'est la résistance à la déformation. Cette caractéristique permet d'estimer les propriétés mécaniques d'un métal. En effet, des correspondances entre les résultats de mesure de dureté et le niveau de résistance (essentiellement à la traction) ont été établies; elles dépendent de la nature du métal de base.





- **Ténacité**

C'est la capacité d'un métal à résister à la propagation brutale d'une fissure. Comme il est pratiquement impossible de garantir qu'une construction ne comporte aucun défaut, il est indispensable de prendre en compte ces défauts pour estimer la taille critique de ces défauts au-delà de laquelle ils seront responsables de la rupture et en-deçà de laquelle la rupture serait évitée.

- **Résistance à la fatigue**

En cours de service les matériaux doivent supporter des charges statiques mais ils peuvent être aussi soumis à des efforts qui varient dans le temps. Lorsque ces variations prennent une certaine importance et deviennent répétitives, on peut assister à la ruine d'un ensemble alors que les sollicitations qu'il subit atteignent un niveau modeste par rapport à sa capacité de résistance. On se heurte alors au phénomène de "fatigue" en face duquel il convient d'être vigilant car s'il se développe progressivement dans le temps il conduit généralement à une rupture brutale. L'expérience révèle qu'on peut parfois lier la résistance à la fatigue (ou "endurance") à la résistance à la traction du métal.

- **Tenue mécanique à chaud**

La tenue mécanique d'un métal porté à une température supérieure ambiante est diminuée. Le module d'élasticité et la limite d'élasticité diminuent quand la température s'élève.

- **Fluage**

C'est un type de déformation plastique à chaud. Pour les divers alliages métalliques, ce processus de déformation intervient au-delà d'une limite de température différente; son évolution au cours du temps, à température et sous une charge constantes est décrite par la courbe de fluage.

Caractéristiques chimiques

Les métaux sont susceptibles de réagir chimiquement une fois en contact avec d'autres éléments. Lorsqu'il y a altération, on parle de corrosion.

La teneur des éléments qui le composent est donnée par les normes ou par les catalogues des producteurs. L'indication est une "fourchette" avec les teneurs maximales et minimales.

La réactivité des aciers avec leur environnement est importante. La corrosion atmosphérique dépend de l'humidité relative et de la pollution de l'air. Elle engendre une dégradation du matériau en termes d'épaisseur, de poids et par conséquent de performances.

Acier

Corrosivité de l'acier

Si l'acier possède d'incontestables qualités, il présente l'inconvénient majeur de s'oxyder au contact des éléments corrosifs qui l'entourent. Sa corrosion risque alors d'altérer les performances de l'ouvrage et d'en réduire la durée de vie.

Evaluer les risques de corrosion et bien choisir la nuance d'acier et son système de protection sont la garantie d'une meilleure durabilité des ouvrages en acier.

Corrosivité de l'atmosphère

Humidité relative

C'est principalement la teneur en vapeur d'eau ou l'humidité relative de l'atmosphère (HR) qui est à la base des phénomènes de corrosion atmosphérique de l'acier.

Si l'humidité relative est faible (inférieure à 60%) la vitesse de corrosion de l'acier est négligeable. C'est notamment le cas à l'intérieur des bâtiments chauffés, ventilés ou climatisés à l'exception des pièces d'eau (buanderie, cuisine, salle de bains...).

Il est établi que **l'acier se corrode à une vitesse accélérée lorsque HR excède 70%**.

Polluants

Nombre de gaz et de poussières provenant des activités humaines (industrie, circulation automobile, chauffage...) sont injectés dans l'atmosphère. Ces polluants atmosphériques peuvent se déposer sur les surfaces qu'ils rencontrent ou bien réagir entre eux et se déposer plus tard par voie sèche (poussières) ou par voie humide (pluie, neige, brouillard, condensation). Ces polluants sont plus concentrés en région urbaine ou industrielle.

Parmi ces polluants, on retrouve **l'oxyde de soufre, l'ozone, les eaux de condensation, les chlorures, les dépôts de particules...**

La température, l'intensité et la durée de l'insolation, les précipitations (pluie et neige) **et la direction des vents** constituent des paramètres environnementaux qui influencent également la corrosivité de l'atmosphère.

La norme ISO 9223 propose un classement de la corrosivité des différentes atmosphères en se basant sur des classes de durée de persistance de l'humidité et des catégories de pollution par les chlorures et l'anhydrite sulfureux. Ces deux substances permettent, en effet à elles seules de représenter l'ensemble des atmosphères existantes, à l'exception des atmosphères extrêmes telles que celles des usines chimiques et métallurgiques.

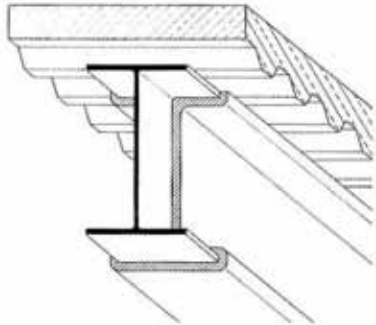
5 classes de corrosivité :
de C1 (très faible) à C5 (très forte).

Si l'étude de l'environnement d'un ouvrage souligne une corrosivité élevée, il faut s'attendre à la dégradation progressive de l'acier avec nécessité d'un entretien ou de réparations pour préserver l'ouvrage à moins que

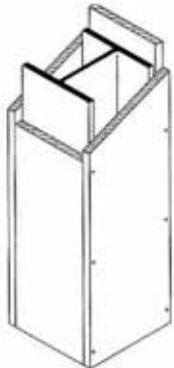
- il ne soit fait usage d'une nuance d'acier spécifique résistant à la corrosion
- des mesures particulières soient prises pour protéger l'acier de la corrosion.

Protection et traitement

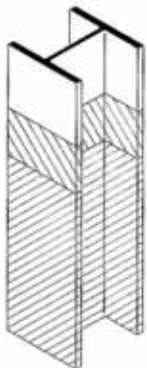
Différents moyens d'actions sont possibles.



Protection par produits projetés



Protection par produits en plaques



Protection par peintures intumescentes

- **Éliminer l'eau** : le fer ne rouille pas dans un air sec (humidité relative inférieure à 70%).
- **Augmenter l'épaisseur** de l'acier.
- **Isoler** l'acier de son environnement (enrobage dans un caisson, dans du béton...).
- Jouer sur la **nuance** de l'acier.
Le choix de la nuance d'acier à prescrire doit se faire non seulement sur la base des exigences de la construction telles que la résistance mécanique mais aussi en prenant en compte les propriétés de la mise en oeuvre de l'acier (soudabilité) et bien sûr de son risque de corrosion.
- Le **protéger** par un revêtement spécifique :
 - **Peinture anti-rouille**
Le système comprend plusieurs couches de peinture; l'épaisseur minimale absolue sera d'au moins 120 microns.
 - **Métallisation**
Projection de zinc au pistolet; les épaisseurs de la couche de zinc se présentent comme suit ZN 40 / ZN 80 / ZN120 / ZN 160.
 - **Galvanisation à chaud**
Immersion dans un bain à chaud de zinc; le poids superficiel du revêtement en zinc peut être de 275/350/400/450/600... g/m²

Acier

Nuances d'acier

Il est possible de modifier les propriétés des aciers par

- un traitement mécanique provoquant l'érouissage,
- un traitement thermique,
- un traitement de surface;
- des **éléments d'addition**.

Pour ce dernier point, les normes de désignation définissent les familles suivantes.

Les aciers non alliés

Les nouvelles normes européennes définissent les aciers suivant deux désignations :

- 1^o partie : une désignation symbolique par une lettre ou plusieurs lettres
- 2^o partie : un nombre (en général, il s'agit de la limite d'élasticité)

B il s'agit d'acier à béton. Le nombre à trois chiffres qui suit cette lettre indique la valeur minimale de la limite d'élasticité (en N/mm²)

E il s'agit d'un acier de construction mécanique + limite d'élasticité

H acier à haute résistance + limite d'élasticité

L tube de conduites + limite d'élasticité

S de construction + limite d'élasticité

Lorsqu'il s'agit d'acier moulé, on précède la désignation de la lettre **G**

Exemple d'aciers non alliés d'usage général

S185 (anciennement A33), $Re = 185 \text{ Mpa}$

E295 (anciennement A50), $Re = 295 \text{ Mpa}$

GE295 acier moulé, $Re = 295 \text{ Mpa}$

Tableau 1 Désignations usuelles des nuances d'acier de construction
selon EN 10025-1: 2005, EN 10025-2: 2004, EN 10025-4: 2004

Table 1 Usual structural steel grade designations
according to EN 10025-1: 2005, EN 10025-2: 2004, EN 10025-4: 2004

Tabelle 1 Übliche Bezeichnungen der Baustahlgrößen
nach EN 10025-1: 2005, EN 10025-2: 2004, EN 10025-4: 2004

Grande acier Steel group Stahlgruppe	Conditions de traitement Treatment conditions Behandlungszustand
S acier de construction / structural steel / Baustahl	+M laminage thermomécanique thermomechanical rolling thermomechanisch umgeformt
	+N laminage normalisé normalised rolling normalisiert umgeformt
	+AR brut de laminage as rolled wie gewalzt

(example / example / Beispiel) **EN 10025-2: 2004 S 355 J2 + Z35 +M**

Caractéristiques mécaniques - groupe 1 Mechanical characteristics - group 1 Mechanische Eigenschaften - Gruppe 1			Conditions spéciales Special requirements Besondere Anforderungen	
réflectance / notch toughness / Kerbschlagarbeit		Temp. °C	Z15	min. 15% striction min. 15% reduction of area mind. 15% Bruchminderung
J1	K1	20	Z25	min. 25% striction min. 25% reduction of area mind. 25% Bruchminderung
J2	K2	-20	Z35	min. 35% striction min. 35% reduction of area mind. 35% Bruchminderung

Caractéristiques physiques - groupe 2 Physical characteristics - group 2 Physikalische Eigenschaften - Gruppe 2		
L	pour basses températures for low temperatures für Tieftemperaturen	
M	laminage thermomécanique thermomechanical rolling thermomechanisch umgeformt	
N	laminage normalisé normalised rolling normalisiert umgeformt	
W	patinable / weathering / wetterfest	

(example / example / Beispiel) **EN 10025-4: 2004 S 355 ML**

Ce qu'il faut retenir sur la désignation des aciers



Élément	Symbole	Facteur
Chrome	Cr	4
Cobalt	Co	
Manganèse	Mn	
Nickel	Ni	
Silicium	Si	10
Tungstène	W	
Aluminium	Al	
Béryllium	Be	
Cuivre	Cu	
Molybdène	Mo	
Niobium	Nb	
Plomb	Pb	
Tantale	Ta	
Tiène	Ti	
Vanadium	V	100
Zirconium	Zr	
Soufre	S	
Cérium	Ce	
Acétylène	N	1000
Phosphore	P	
Bore	B	

Les aciers non alliés spéciaux

C fait référence à la composition chimique de l'acier; il s'agit d'un acier non allié; le nombre de deux ou trois chiffres qui suit indique la teneur moyenne en carbone multipliée par 100. Ce nombre peut être suivi de symboles additionnels. S'il s'agit d'un acier moulé, on précède la désignation de la lettre G.

Exemple d'aciers non alliés spéciaux

C45 : acier non allié comportant un taux de 0,45 % de carbone

GC22 : acier moulé non allié comportant un taux de 0,22% de carbone

Les aciers faiblement alliés

Aucun élément d'addition ne dépasse 5%.

La désignation reprend la teneur en carbone, multipliée par 100, suivie des éléments d'addition et leur pourcentage respectif multiplié par un facteur spécifique (4, 10, 100 ou 1000 - voir tableau ci-contre).

Exemple d'acier faiblement allié

l'acier 35NiCrMo16 contient 0,35% de carbone, 4% de nickel, du Chrome et du Molybdène en faible teneur.

Les aciers fortement alliés

X Il s'agit d'un acier avec un ou plusieurs éléments d'addition dont la teneur atteint au moins 5%. La lettre X est suivie du pourcentage de carbone multiplié par 100, puis de la désignation des éléments d'addition et leur pourcentage respectif sans facteur multiplicateur.

Exemple d'acier fortement allié

l'acier X2CrNi 18-9 contient 0,02% de carbone, 18% de Chrome et 9% de Nickel.

Acier

Profils et formes

Les profils seront respectivement du type :

profils en I : **IPE / IPN**

poutrelles Grey à ailes parallèles : désignation **HEA / HEB / HEM**

cornières : équilatérales / non-équilatérales

profils en **T** : équilatéraux / non-équilatéraux

Profils en **Z**

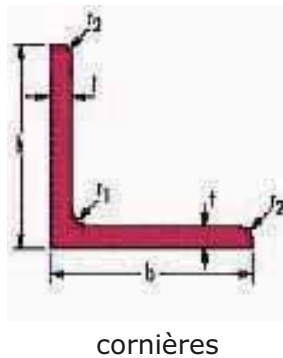
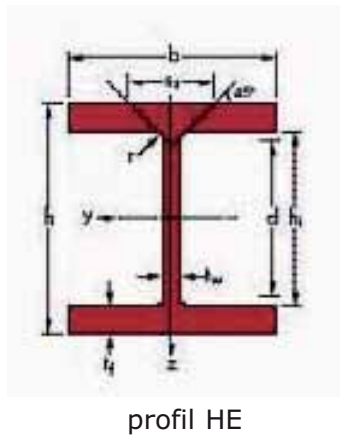
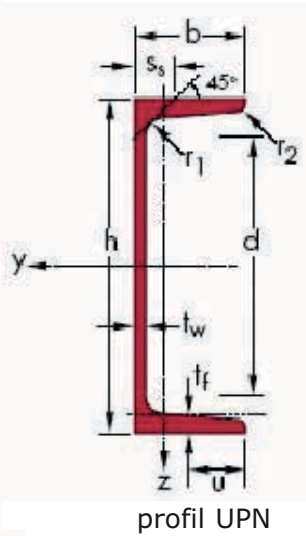
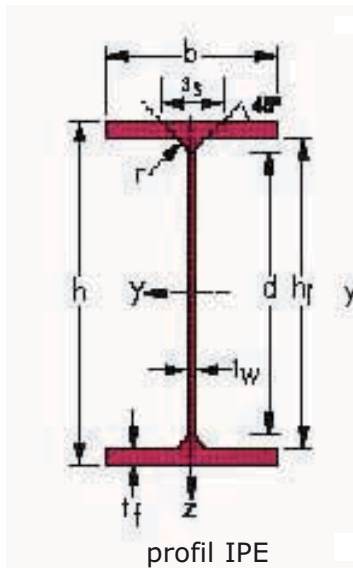
Profils tubulaires : tuyaux ronds sans soudures / tuyaux carrés /
tuyaux rectangulaires

Barres pleines : barres rondes / barres carrées

Tôle d'acier : tôle d'acier galvanisé / ...



Profils ronds, carrés , elliptiques,
semi-elliptiques



Poutrelles I européennes

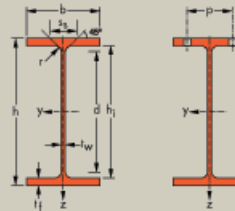
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 400, IPE 750 suivant norme d'usine
 Tolérances: EN 10084:1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3:2004, classe C, sous-classe 1

European I beams

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 400, IPE 750 in accordance with mill standard
 Tolerances: EN 10084:1993
 Surface condition: according to EN 10163-3:2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 400, IPE 750 gemäß Werksnorm
 Toleranzen: EN 10084:1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3:2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _r mm	r mm		h ₁ mm	d mm	ϕ _l	P _{fl} mm	P _{we} mm	A _l m ² /m	A _s m ² /t
IPE AA 80*	4,9	78	46	3,2	4,2	5,0	6,31	69,6	59,6	-	-	-	0,325	65,62
IPE A 80+/*	5,0	78	46	3,3	4,2	5,0	6,38	69,6	59,6	-	-	-	0,325	64,90
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5,0	7,64	69,6	59,6	-	-	-	0,328	54,64
IPE AA 100*	6,7	97,6	55	3,6	4,5	7,0	8,56	88,6	74,6	-	-	-	0,396	58,93
IPE A 100+/*	6,9	98	55	3,6	4,7	7,0	8,8	88,6	74,6	-	-	-	0,397	57,57
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7,0	10,3	88,6	74,6	-	-	-	0,400	49,33
IPE AA 120*	8,4	117	64	3,8	4,8	7,0	10,7	107,4	93,4	-	-	-	0,470	56,26
IPE A 120+	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7,0	11,0	107,4	93,4	-	-	-	0,472	54,47
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7,0	13,2	107,4	93,4	-	-	-	0,475	45,82
IPE AA 140*	10,1	136,6	73	3,8	5,2	7,0	12,8	126,2	112,2	-	-	-	0,546	54,26
IPE A 140+	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7,0	13,4	126,2	112,2	-	-	-	0,547	52,05
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7,0	16,4	126,2	112,2	-	-	-	0,551	42,70
IPE AA 160*	12,1	156,4	82	4,0	5,6	7,0	15,4	145,2	131,2	-	-	-	0,621	50,40
IPE A 160+	12,7	157	82	4,0	5,9	9,0	16,2	145,2	127,2	-	-	-	0,619	48,70
IPE 160	15,8	160	82	5,0	7,4	9,0	20,1	145,2	127,2	-	-	-	0,623	39,47
IPE AA 180*	14,9	176,4	91	4,3	6,2	9,0	19,0	164,0	146,0	M 10	48	48	0,693	46,37
IPE A 180+	15,4	177	91	4,3	6,5	9,0	19,6	164,0	146,0	M 10	48	48	0,694	45,15
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8,0	9,0	23,9	164,0	146,0	M 10	48	48	0,698	37,13
IPE O 180+	21,3	182	92	6,0	9,0	9,0	27,1	164,0	146,0	M 10	50	50	0,705	33,12
IPE AA 200*	18,0	196,4	100	4,5	6,7	12,0	22,9	183,0	159,0	M 10	54	58	0,763	42,51
IPE A 200+	18,4	197	100	4,5	7,0	12,0	23,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,764	41,49
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12,0	28,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,768	34,36
IPE O 200+	25,1	202	102	6,2	9,5	12,0	32,0	183,0	159,0	M 10	56	60	0,779	31,05
IPE AA 220*	21,2	216,4	110	4,7	7,4	12,0	27,0	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	39,78
IPE A 220+	22,2	217	110	5,0	7,7	12,0	28,3	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	38,02
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12,0	33,4	201,6	177,6	M 12	60	62	0,848	32,36
IPE O 220+	29,4	222	112	6,6	10,2	12,0	37,4	201,6	177,6	M 10	58	66	0,858	29,24

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 216; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
 * Commande minimale: 40t par profil et qualité ou suivant accord.
 * Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 216; for any other grade 40t or upon agreement.
 * Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 216; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.
 * Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.
 * Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Construction métallique

Charpente

Sont construits en charpente métallique

- des bâtiments industriels et commerciaux : usines, hangars...
- des ouvrages d'art : passerelles, ponts...
- des ouvrages de génie civil : pylones, plate-forme de forage, remontées mécaniques...
- des bâtiments d'habitation

Les structures métalliques sont de trois types :

- structures à portique ----->

Un portique simple se compose de deux montants verticaux et d'une travée unique ; on peut distinguer les portiques à âmes pleines ou ceux à âmes évidées



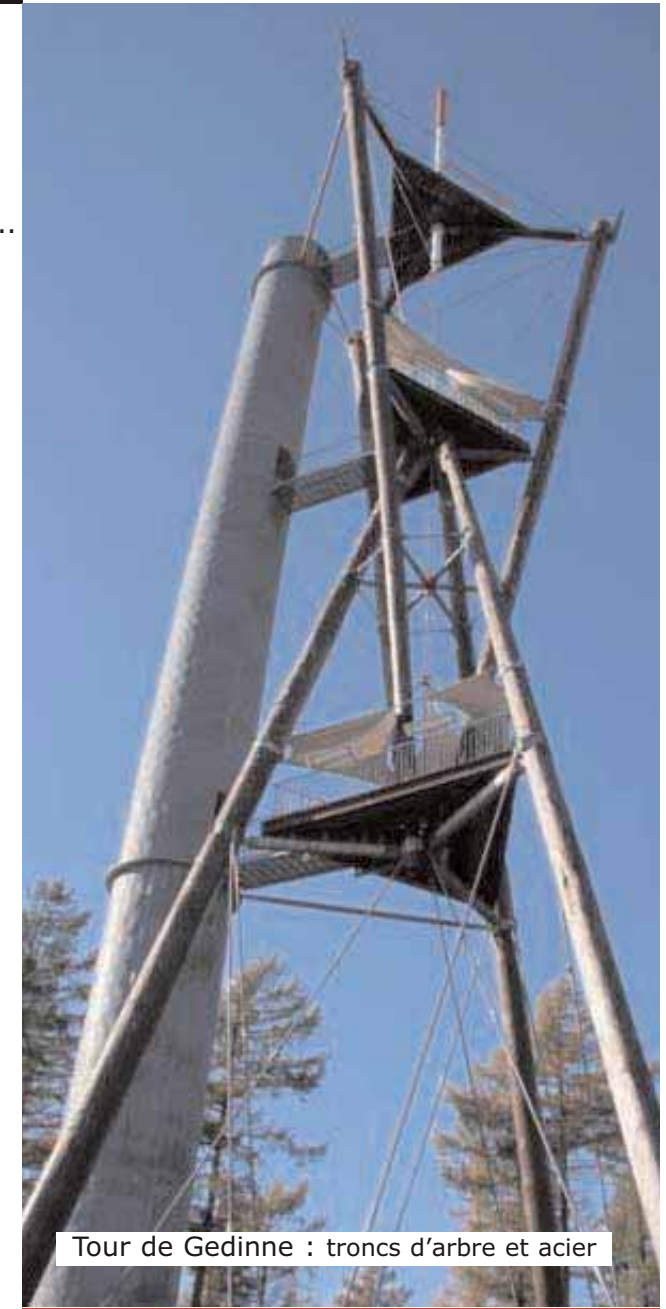
- les structures en treillis ----->

Les poutres en treillis sont basées sur la rigidité du triangle. Ce sont des constructions planes composées d'éléments appelés barres. Les points d'assemblages sont nommés "noeuds".



- les structures tridimensionnelles ----->

(souvent réalisées à partir de tubes ronds creux)
La technique de la soudure a permis d'utiliser des tubes soudés directement l'un à l'autre au niveau du noeud et de réaliser ainsi des "treillis spatiaux".

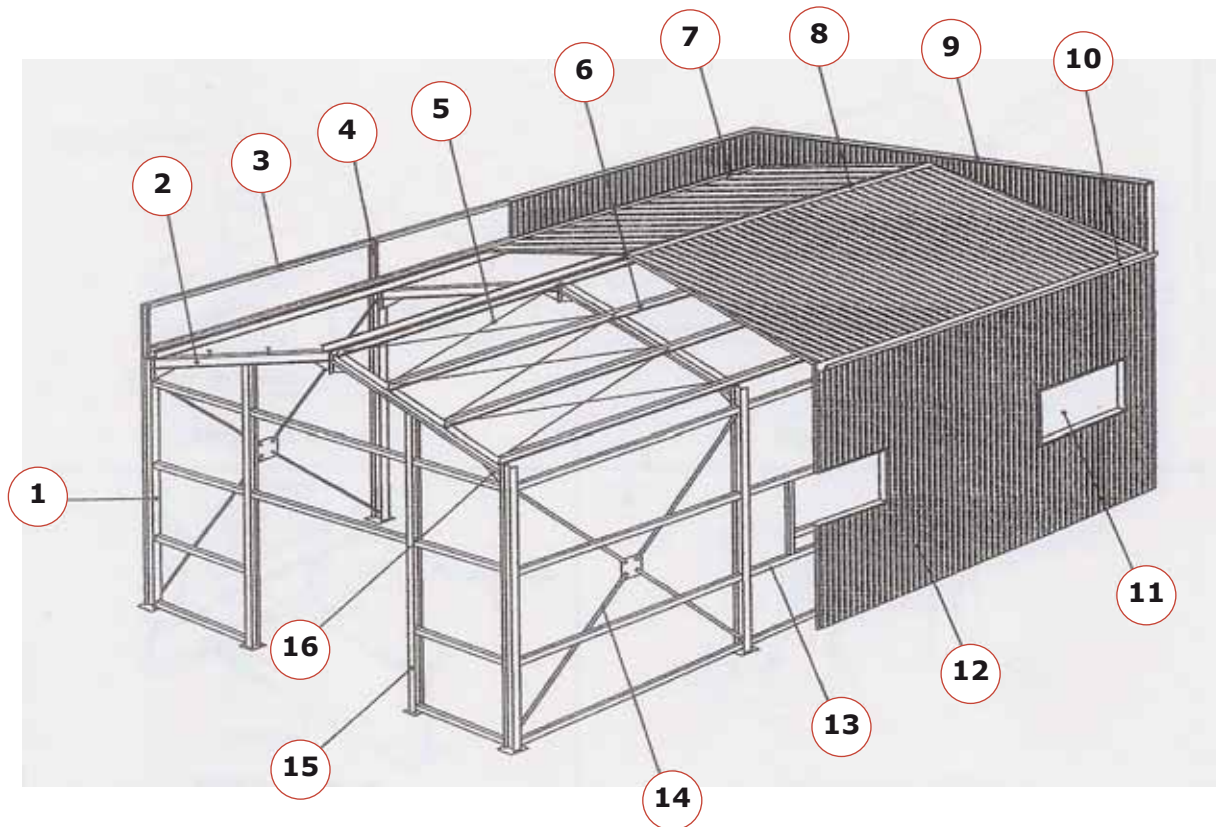


Tour de Gedinne : troncs d'arbre et acier

Terminologie

Voici les principaux termes utilisés pour les charpentes et bardages métalliques.

1. Poteau (HEA, IPE ...)
2. Traverse (HEA, IPE ...)
3. Lisse filante
4. Baïonnette
5. Diagonale de versant
6. Panne (IPN, IPE...)
7. Chéneau en tôle pliée
8. Faîtière métallique
9. Couvertine métallique
10. Gouttière demi-ronde
11. Châssis vitré
12. Bardage métallique
13. Lisse de bardage
14. Croix de Saint-André
15. Potelet de pignon (HEA, IPE ...)
16. Jarret



Construction métallique

Assemblages

Deux grands types d'assemblage existent en construction métallique.

Les assemblages boulonnés

Cette technique autorise une grande rapidité de montage sur le chantier et ceci à un coût très économique.

Les trous des boulons doivent être soigneusement forés, leur diamètre étant de 1 mm supérieur à celui du boulon.

Deux types de boulons sont couramment utilisés :

- les boulons ordinaires travaillant en traction et au cisaillement par butée
- les boulons HR pour lesquels l'effort de serrage empêche le glissement entre les pièces assemblées. On les appelle aussi boulons précontraints.

Les assemblages soudés

Ils sont réalisés en atelier et destinés aux liaisons permanentes.

Sont systématiquement soudés :

- les organes de liaisons (goussets, platines),
- les profils reconstitués, les aboutages de profilés.

Deux procédés sont utilisés :

- **la soudure autogène** (chalumeau et baguette d'apport de même métal)
- **la soudure à l'arc électrique** avec électrodes enrobées ou protégées par flux de gaz (TIG, MIG)

Les pièces doivent être assemblées par soudure continue, sans interruptions ni vides. En particulier pour les pièces extérieures, une attention particulière est attachée à une protection efficace contre la corrosion. Toutes les bavures de soudage, les éraflures et saillies sont soigneusement enlevées par brossage, aiguisage ou sablage et poncées.



EXTRAIT DU CCT SWL

Sauf dispositions contraires sur les plans de détail et/ou dans le cahier spécial des charges, **le mode d'assemblage des différents éléments entre eux (par soudure, boulonnage, goupilles soudées, rivetage, ...)** sera proposé par l'entrepreneur, étayé, s'il y a lieu, par les calculs nécessaires. Les calculs pour les assemblages seront effectués conformément aux prescriptions de la dernière édition des normes NBN B 51-001, NBN B 51-002, NBN 117, NBN 212, complétées par le cahier des charges type 104 (1963), avec addendum de 1973, chapitre 27. Le mode d'exécution devra en outre satisfaire aux critères d'ordre général suivants :

- L'entrepreneur veillera à ce que les systèmes d'assemblages appliqués soient parfaitement compatibles avec les autres éléments structurels, techniques et/ou de finition qui composent l'ouvrage de construction.
- Les assemblages doivent prévenir tout déplacement des pièces. La rupture d'un nœud ou d'une pièce d'assemblage ne peut être atteinte que pour une charge au moins égale à 2,25 fois la charge d'exploitation.
- Les éléments d'un ouvrage qui sont représentés en une seule pièce sur les plans ne peuvent pas être constitués de différentes pièces assemblées par soudure, ou tout autre mode d'assemblage.
- Toutes les faces qui se touchent seront parfaitement planes et dressées. L'aplanissement et le dressage seront effectués à la machine à dégauchir ou à la lamineuse à l'exclusion du martèlement ou du battage.
- Toutes les pièces qui, selon les indications sur les plans, doivent aboutir contre d'autres éléments, les fourrures sous renforts, sous cornières de fixation, sous goussets, etc., les renforts, plaques de soudage... seront coupées aux dimensions exactes et égalisées, à bords droits et bien jointifs. Le découpage ou le raccourcissement des éléments se fera sans provoquer de fissures, déchirures ou autres déformations du métal.
- Les jambes des cornières de fixation appliquées en paires aux extrémités des éléments doivent se situer totalement dans le même plan afin d'assurer un contact parfait sur toute la surface.
- Les joints doivent être achevés de niveau afin que les assemblages bout à bout soient bien fermés, et plus particulièrement aux endroits mis sous tension.
- Pour les éléments à charnière, les pièces seront assemblées à l'aide d'étriers de forme cylindrique; les assemblages rigides seront réalisés à l'aide de crampons ou de broches.
- Sauf dispositions spécifiques sur les plans de détail et/ou dans le cahier spécial des charges, les assemblages en ateliers seront proposés par l'entrepreneur, et se feront
(soit) à boulons selon la NBN E 27, NBN 293 et le chapitre 7 du fascicule VII,
(soit) par soudure selon les NBN EN 1011, NBN EN 1708, NBN 212, NBN 228, et le chapitre 9 du fascicule VII.

Les assemblages pour le montage des éléments préfabriqués sur chantier, sauf dispositions spécifiques sur les plans de détail et/ou dans le cahier spécial des charges, seront proposés par l'entrepreneur, et se feront
(soit) à boulons selon la NBN E 27, NBN 293 et le chapitre 7 du fascicule VII,
(soit) par soudure selon les NBN EN 1011, NBN EN 1708, NBN 212, NBN 228, et le chapitre 9 du fascicule VII.

Construction métallique

Boulonnage

Le boulon est un élément de liaison mécanique et ponctuel composé d'une vis, d'un écrou et de rondelles; il s'insère dans un trou effectué dans la matière et assure par sa présence l'assemblage de deux ou plusieurs éléments de type plat et massif.

Les boulons sont différenciés par la forme de leur tête (tête " boule de suif ", tête fraisée bombée, tête fraisée plate, tête hexagonale, ...).
Le terme "boulon" désigne l'ensemble constitué par la vis, l'écrou et les rondelles éventuelles.

En principe les assemblages d'atelier sont toujours boulonnés ou soudés ; les assemblages de montage (sur chantier) sont boulonnés sauf indication contraire sur les plans du bureau d'études.

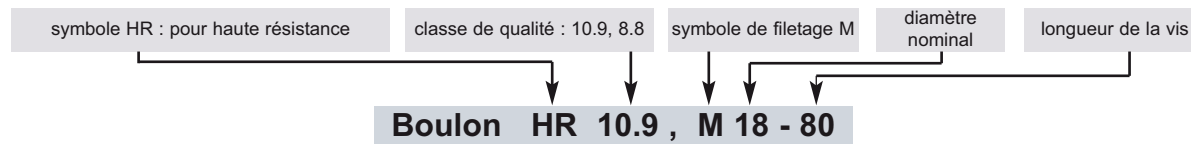
Désignation

H désigne des boulons ordinaires
HR désigne des boulons haute résistance ou boulons précontraints

La normalisation européenne précise que la boulonnerie est classée en fonction de sa résistance mécanique : faible, normale ou forte

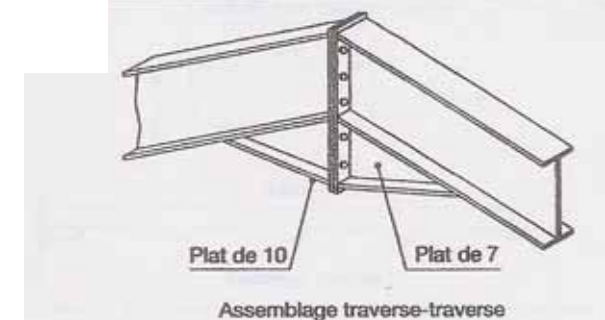
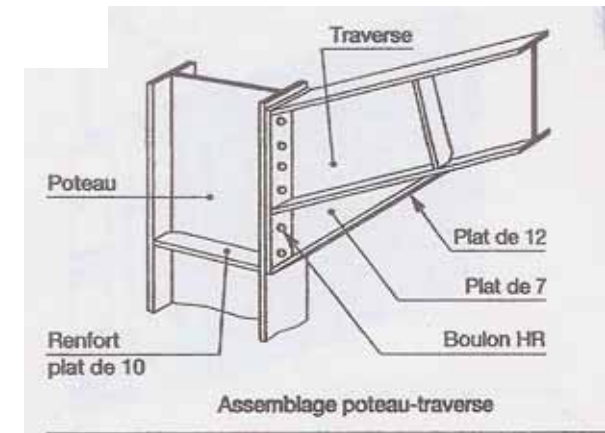
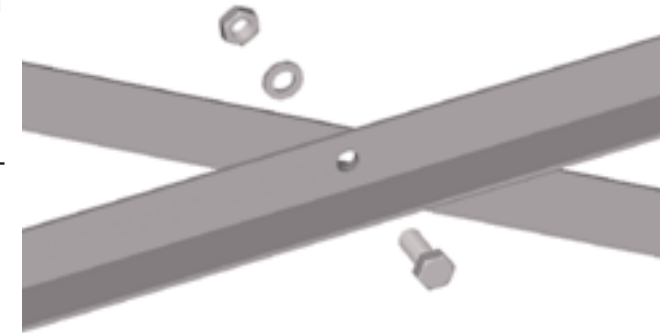
Pour les résistances mécaniques dites faibles et normales, il faut utiliser des boulons de qualité minimale 6.8.
Pour les résistances mécaniques dites fortes, la qualité minimale 8.8 est exigée.

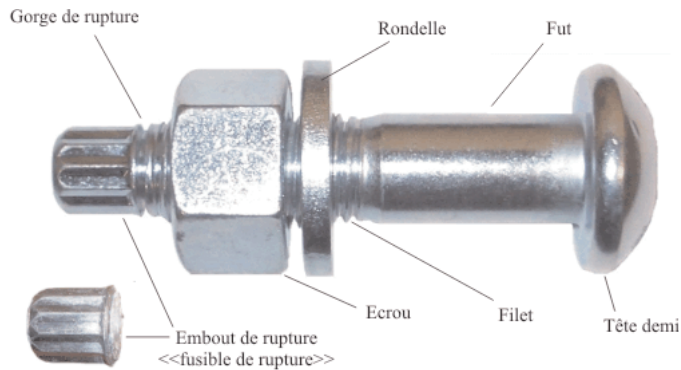
En construction métallique, on préconisera la qualité des boulons et des tiges filetées 8.8.



Trous

Le bureau d'études définit les dimensions nominales des trous ainsi que leurs emplacements.
Lors du forage des trous (surtout sur chantier), il y a lieu de veiller à ce que l'axe des trous soit bien perpendiculaire à la surface des tôles à assembler. Une fois les trous forés dans les pièces, celles-ci sont complètement débarassées des bavures dues au forage et des traces de lubrifiant.





Serrage

Les assemblages sont exécutés par temps sec, toutefois les assemblages par temps de pluie peuvent être autorisés sous les conditions suivantes :

- protection efficace réalisée par l'entrepreneur ;
- l'ingénieur réceptionne le procédé.
- immédiatement après serrage, le joint est protégé contre la pénétration d'humidité.

Deux types de serrage des boulons sont envisagés :

Serrage non contrôlé : la contrainte de traction dans la section réduite de la vis, évaluée en utilisant un coefficient k égal à 0,20 ne peut dépasser $0,6 f 0,2$ (cas d'assemblages avec boulons sollicités en traction statique ou en cisaillement); tous les boulons non précontraints doivent avoir un dispositif anti-desserrage (p.ex. contre écrou, ...) afin d'éviter les risques de desserrage.

Serrage à précontrainte contrôlée : la contrainte de traction dans la section réduite de la vis est fixée dans la note de calcul (minimum $0,7 f 0,2$). Dans ce cas, l'intensité de serrage doit être contrôlée lors de l'exécution de l'assemblage par l'entrepreneur.

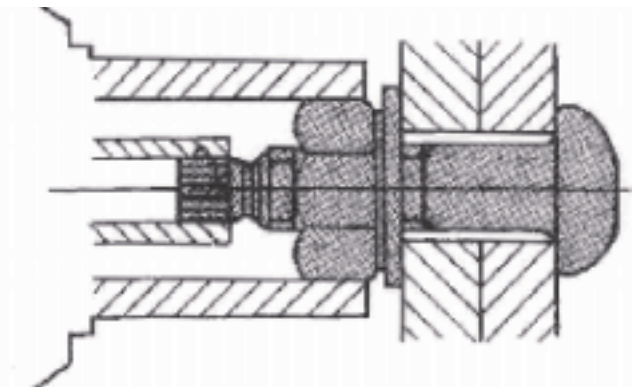
Le boulon TCB est un boulon de qualité 10.9, apte à la précontrainte, utilisé en construction métallique (bâtiments et ouvrages d'art). Il peut être installé dans des assemblages travaillant en extension, en frottement ou par cisaillement des vis.

L'outillage de serrage et son dispositif de vérification sur chantier sont étalonnés par un laboratoire équipé pour ce genre d'opération :

- au début de chaque chantier,
- au moins tous les 6 mois,
- lorsqu'ils s'avèrent être déréglés.

Fourrure

Les vides qui pourraient apparaître entre les éléments à assembler sont compensés par des fourrures ajustées. Elles présentent sur les 2 faces le même état de surface que les pièces à assembler. En général, l'interstice maximal entre surfaces adjacentes dans un assemblage ne doit pas dépasser 1 mm.



Contrôle des assemblages

L'entrepreneur est tenu de veiller aux points suivants :

- contrôle de la conformité des produits utilisés ;
- inspection visuelle :
 - vérifier si l'on n'a pas " oublié " de mettre des boulons (trous non correspondants,) ;
 - après serrage, la vis doit dépasser de l'écrou de deux pas ;
 - mise en place correcte des rondelles : côté chanfreiné vers la tête de la vis respectivement vers l'écrou ;
 - contrôle spécifique du serrage : s'assurer que " l'ordre de grandeur " de la précontrainte a été obtenu.

Construction métallique

Soudage

Le soudage est une opération de micro-métallurgie consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces ; il est dit homogène quand ces deux pièces, ainsi que le métal d'apport du joint, ont une composition chimique identique et hétérogène dans les autres cas.

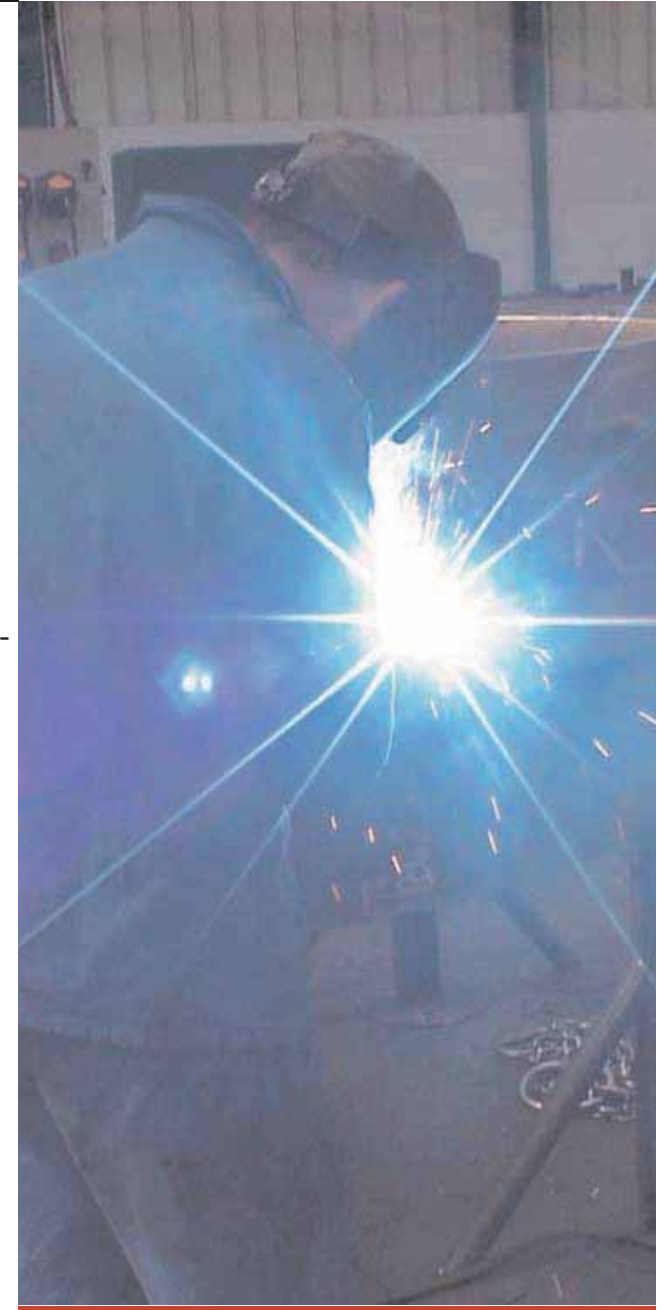
L'assemblage de deux éléments solides par soudage consiste à créer, dans la zone de jonction, des forces de liaison de l'ordre de grandeur des forces de cohésion atomique ou moléculaire propres aux matériaux constituant ces éléments. Les métaux et alliages se prêtent particulièrement bien au soudage.

Le soudage permet ainsi d'obtenir une **continuité métallique de l'assemblage** bien plus performante que celle obtenue par assemblage mécanique (rivetage, boulonnage, agrafage...) ou par adhésion (collage).

Quand on choisit un procédé de soudage, il est nécessaire de prendre en compte un certain nombre de facteurs :

- l'épaisseur du matériau à souder
- la composition : Les aciers ayant une faible valeur de carbone sont plus aisément soudables .
- le cahier spécial des charges précisant les caractéristiques à garantir sur joint soudé : niveau de qualité requis (résilience, dureté, compacité...).
- le lieu où la soudure doit être faite : en atelier ou sur chantier.
- l'accès au joint
- La position de soudage (à plat, verticale, au plafond...)
- Le rendement du procédé : la quantité de métal qui peut être industriellement déposée en une heure de travail.

En général, en construction métallique, le cahier des charges prescrit que les soudures soient réalisées en atelier. Sauf dérogation de la direction des travaux, les soudures sont interdites sur chantier.





Les directives européennes imposent que l'inspection et le contrôle du soudage soient confiés à des organismes indépendants (Institut de Soudure, Bureau Veritas ...). Pas sur les produits de grande distribution, mais dans le domaine de la construction en particulier. Car le soudage est déterminant pour la sécurité de l'ensemble de l'ouvrage.

C'est l'une des spécificités du soudage : un encadrement strict sur le plan réglementaire.

Le soudage est géré par des cahiers des charges précis. Ces cahiers des charges traitent

- du choix des procédés et des paramètres de soudage, de leur qualification,
- de la qualification du personnel soudeur,
- des types et étendue des contrôles,
- de la qualification du personnel en charge de ces contrôles...

En construction métallique, on n'impose pas un procédé de soudage, mais des résultats compatibles avec un cahier des charges donné; on recherche la fin, sans définir les moyens.

D'où la nécessité de vérifier la pertinence des procédés de soudage choisis.

De plus, toutes les soudures sont exécutées par des soudeurs agréés et sont contrôlées par des personnes qualifiées.

Le constructeur, à partir, des plans du bureau d'études, du cahier des charges et des spécifications techniques particulières, décide des types de géométrie de joints et des procédures de soudage les plus adaptés.

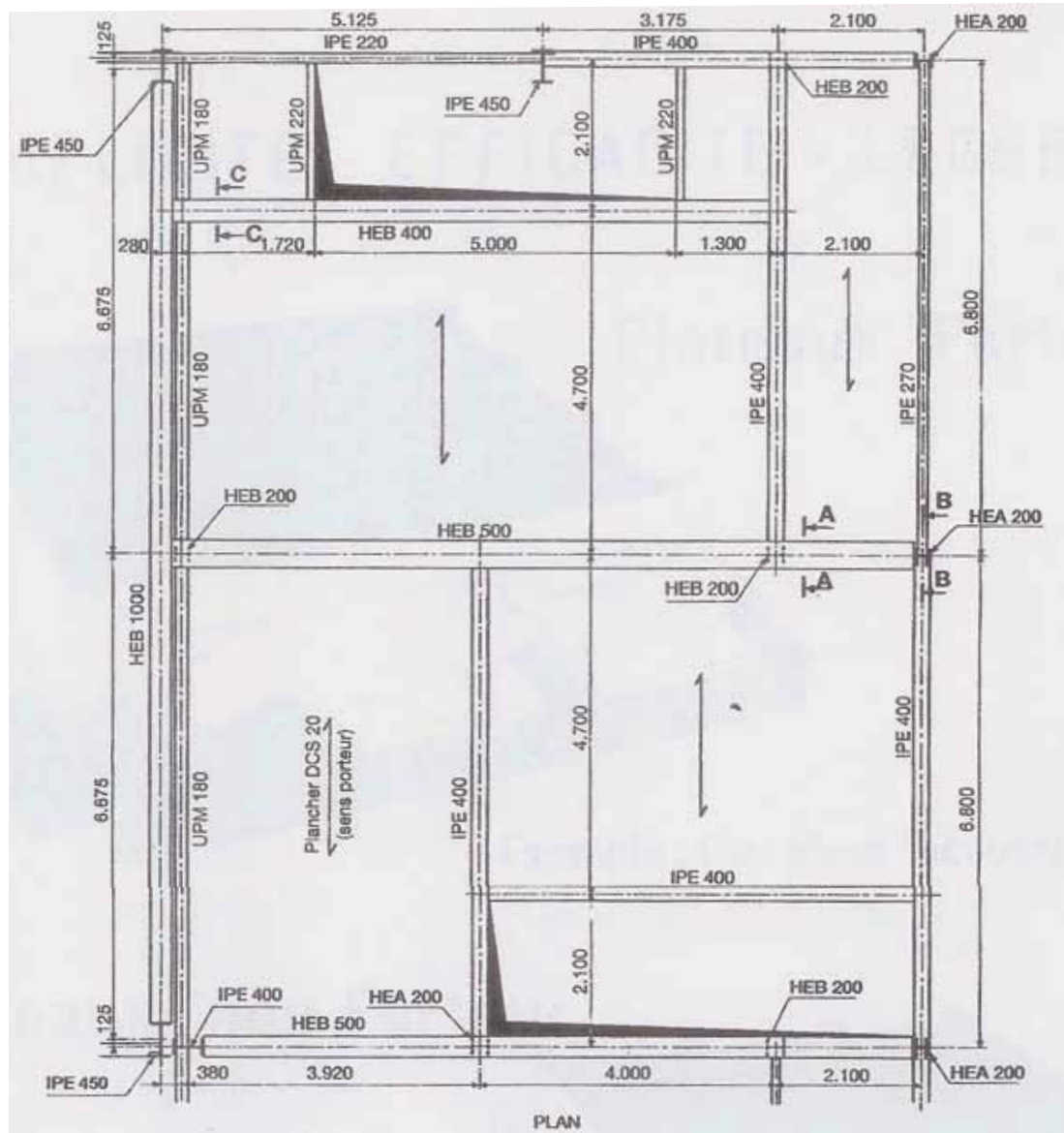
Il établit les DMOS (descriptif de mode opératoire de soudage) et doit démontrer que ce qu'il a prévu fonctionne, par des essais.

Avantages du soudage, par rapport aux autres techniques d'assemblage

- Il assure une continuité métallique de la pièce, lui conférant ainsi des caractéristiques au niveau de l'assemblage équivalentes à celles du métal assemblé (mécaniques, thermiques, chimiques, électriques ...);
- il répond à des sollicitations élevées;
- il est durable (insensible aux variations de température, aux conditions climatiques ...);
- il garantit l'étanchéité de la pièce soudée.

Construction métallique

Représentation graphique



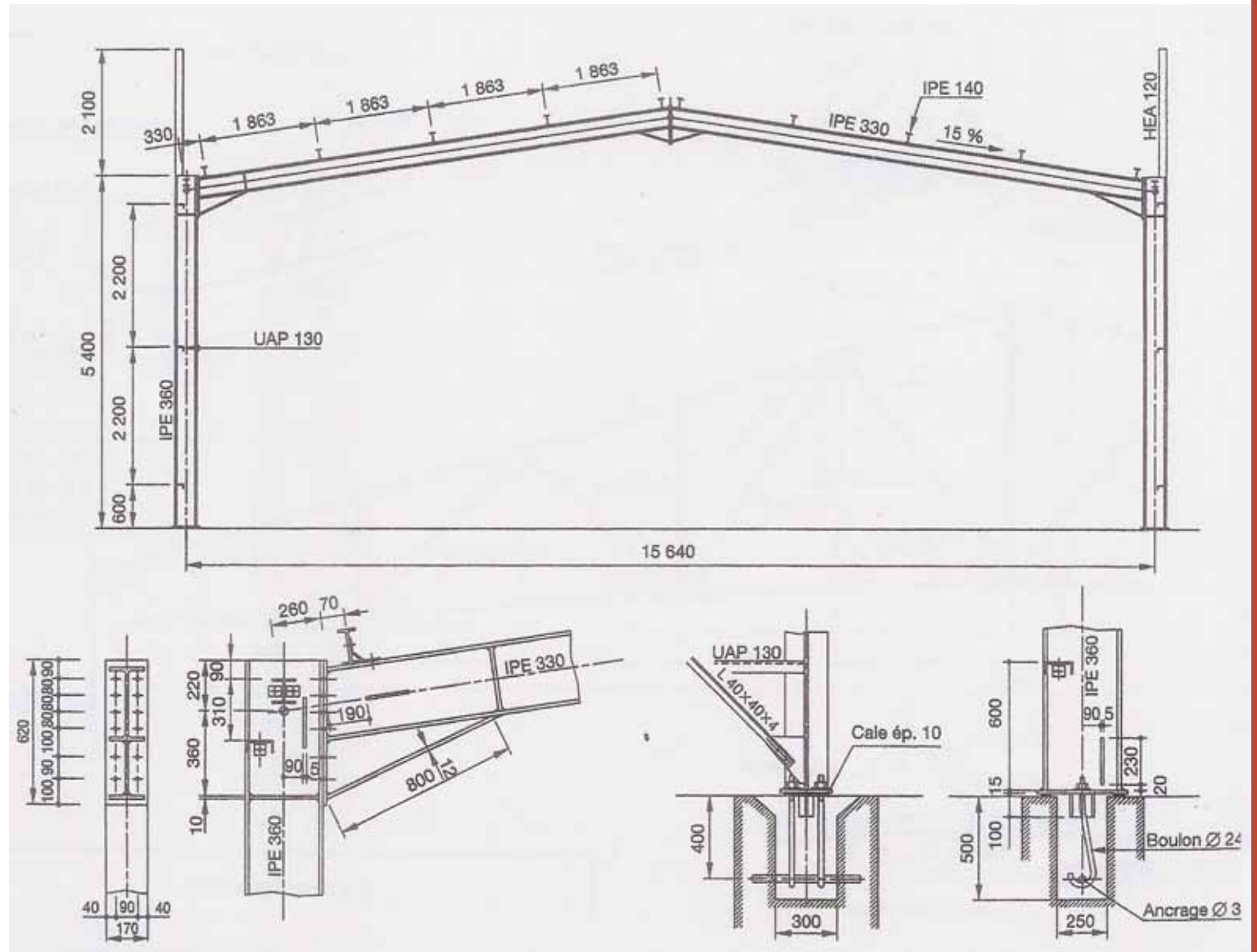
Dessins d'ensemble

Ils définissent les vues en plan des planchers et des toitures, l'élevation des files de portiques et les longs pans.

Seules sont indiquées les cotes principales d'ensemble, telles que

- les désignations des profilés,
- les portées des portiques et l'espacement des files de poteaux (cotés d'axe en axe),
- les niveaux principaux,
- les hauteurs et les pentes de toiture,
- ...

Les échelles utilisées sont 1/50 et 1/100.



Construction métallique

Dessins de détail

Ils définissent à l'aide des vues et des coupes partielles les assemblages et les organes de liaison.

La cotation définit toutes les parties constitutives.

Les échelles utilisées sont 1/20, 1/10, 1/2.

Représentation des profilés

S'ils ont une épaisseur suffisante (3 mm et plus), ils seront dessinés avec tous leurs détails et hachurés. *fig. 1*

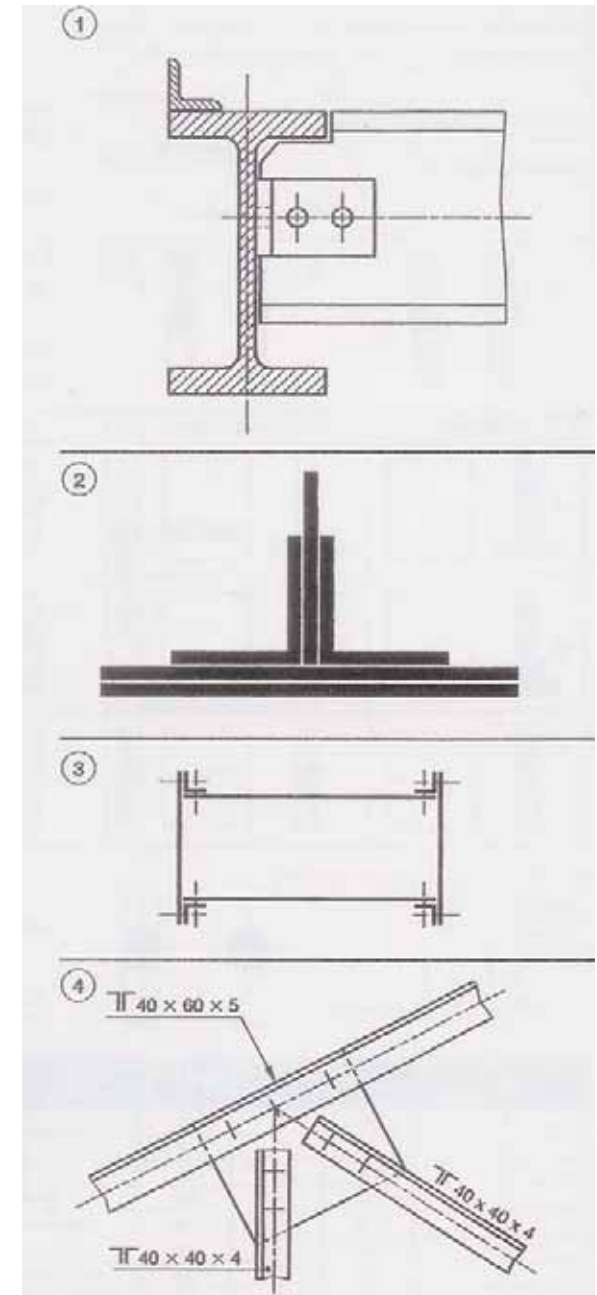
S'ils sont de petite dimension ils seront représentés schématiquement et pochés. On prendra soin de ménager un léger filet blanc entre les pièces accolées. *fig. 2 et 3*

Cotation des profilés

On utilise une méthode simplifiée qui consiste à sortir les dimensions sur un renvoi fléché, ou à les inscrire le long du profilé. *fig. 4*

On indique dans l'ordre :

- le symbole ou la dénomination de la pièce
- les dimensions (largeur, hauteur, épaisseur)



Symbole des profils

∅ rond

□ carré

▭ plat

L cornière

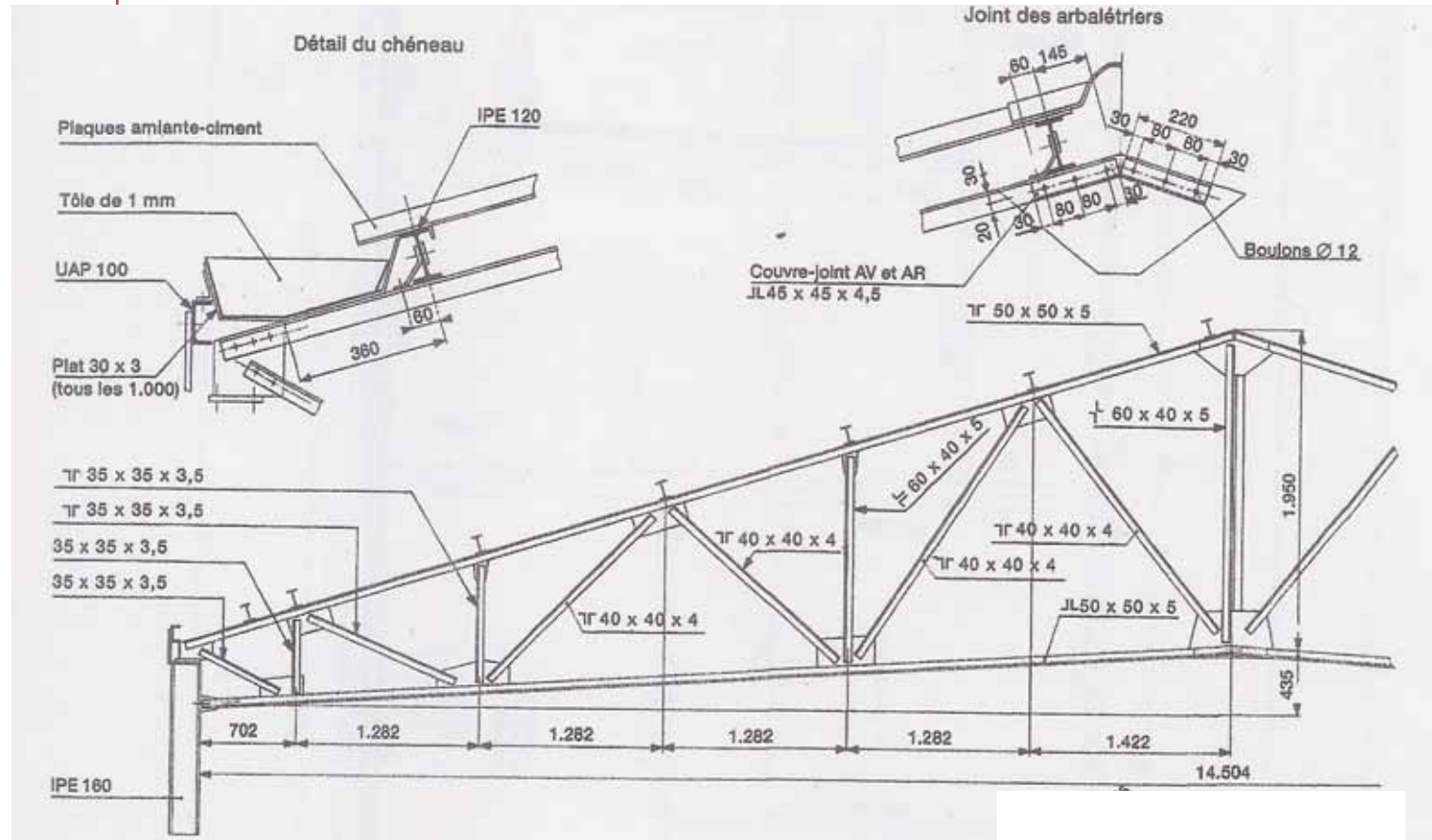
Z en Z

U en U

I en I

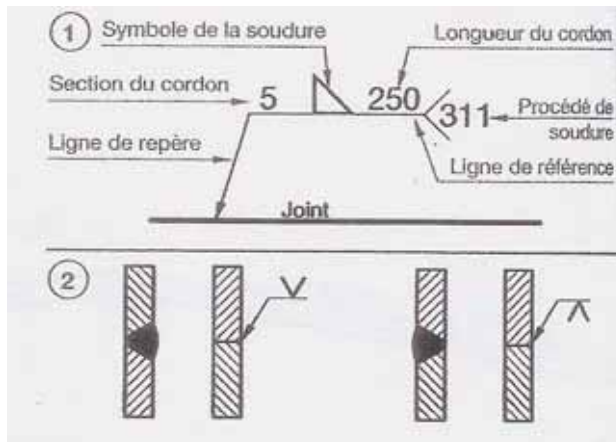
T en T

H en H



Ferme en treillis

Représentation des soudures



En fonction des échelles du dessin, les soudures peuvent être représentées de façon simplifiée ou de façon symbolique.

La figure 1 montre les indications à inscrire sur les dessins pour définir une soudure.

Si la soudure est faite du côté où est placé le repère, le symbole est placé **au-dessus** de la ligne; dans le cas contraire, il est placé **au-dessous** - figure 2.

Le tableau ci-dessous indique les représentations des principaux types de soudure utilisés en construction métallique.

	Représentation simplifiée	Symbolisation		Représentation simplifiée	Symbolisation
À bords droits			Soudure d'angle		
En V			Soudure en Y		
En 1/2 V					

Construction métallique

Bardages métalliques

Les bardages sont des parois qui peuvent assurer à la fois :

- la résistance mécanique,
- l'étanchéité à l'eau et à l'air,
- l'isolation thermique et acoustique,
- l'esthétique

Ils sont réalisés à partir d'éléments nervurés réalisés généralement en acier. Il existe une grande variété de formes et de traitements (galvanisés, prélaqués...)

Les plaques peuvent être posées horizontalement ou verticalement.

Bardage simple peau ----->

C'est une solution économique qui n'assure pas la fonction d'isolation.

Les plaques sont fixées sur des lisses horizontales ou des montants (via des profilés en U, Z ou I) selon que la pose est verticale ou horizontale.

Bardage double peau ----->

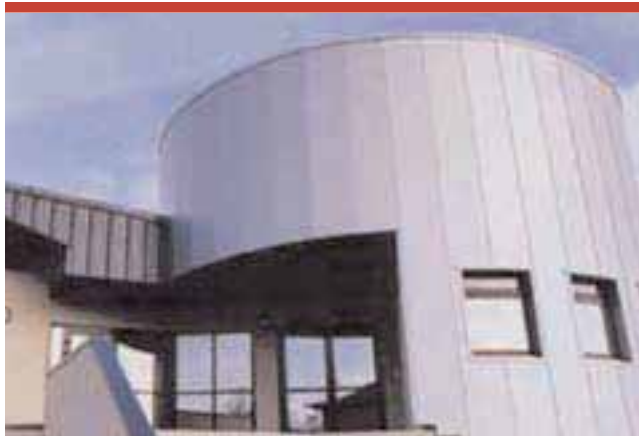
Un bardage double peau est constitué par

- un plateau inférieur horizontal fixé sur les poteaux des portiques
- une isolation (par exemple de la laine minérale)
- un parement extérieur en profilé métallique

Bardage par panneaux sandwichs ----->

Ce sont des panneaux monoblocs composés de deux parements en tôle nervurée enserrant un isolant (en général de la mousse polyuréthane) d'épaisseur variant de 30 à 100 mm voire plus.





Bardage vertical



Bardage horizontal



Bardage plan

Il existe d'autres types de bardages métalliques tels que

- l'acier patinable ou acier corten ----->
c'est un acier dont la couche superficielle rouille avec le temps et offre ainsi une protection naturelle à l'acier;

- l'inox ----->

- l'aluminium ----->

mais aussi

- le zinc,
- le cuivre
- ...

A noter que tous ces bardages peuvent être utilisés avec tout type de structure : béton, bois, métal...

Il s'agit alors de bardages dont la pose peut être similaire à celle d'un bardage en ardoise, tuile, bois...



Pour en savoir plus

Sources d'informations

Aide-mémoire Métallurgie - métaux, alliages, propriétés
de Guy Murry
DUNOD, Paris 2004