

Chapitre 01

Généralités Sur Les Aciers

1.1 Introduction

La Conception de la structure porteuse d'une halle ou d'un bâtiment est basée sur son utilisation prévue, soit essentiellement ses caractéristiques de résistance (pour assurer une sécurité structurale suffisante) et de déformabilité (pour garantir une bonne aptitude au service). Elle est donc fortement influencée par les propriétés des matériaux qui la composent. Un projet de charpente métallique doit en conséquence être conçu et élaboré de façon à ce que les propriétés du matériau acier soient utilisées au mieux, soit sa haute résistance mécanique, sa grande ductilité et sa soudabilité.

L'ensemble des critères de conception d'une ossature fait appel à la connaissance approfondie du matériau acier, comprenant son mode d'élaboration, les propriétés fondamentales et les modes de fabrication des produits.

Le métal Fer existe partout à l'état d'oxyde, c'est le métal le plus dur, le plus courant et le plus répondu comparativement à d'autres métaux.

Le Fer a été utilisé par les premières civilisations dans tous les domaines (Outils de guerres, en agriculture, ...etc). Et enfin dans le domaine qui nous intéresse La Construction Civile et Industrielle.

1.2 Evolution de la charpente :

Le fer a commencé à faire son apparition comme matériau de construction au milieu du *XVII^{ème}* siècle, alors que les matériaux usuels de l'époque étaient le bois et la pierre. Ses fonctions principales étaient essentiellement l'ornementation et le renforcement des ossatures. Le rôle de nombreuses pièces métalliques était aussi de maintenir les pierres dans leur position initiale par agrafage. A la fin du *XVII^{ème}* siècle, les pièces métalliques n'étaient plus cachées dans les murs de pierre, mais composaient l'ossature principale des constructions, contribuant ainsi à une nouvelle forme d'architecture.

En 1750 : Industrialisation de l'acier fondu ;

En 1779: premier pont métallique conçu par Abraham Darby : pont arc de coalbrookdale sur la Severn (Angleterre) en fonte coulée, de 31 m de portée.

En 1786 : Victor Louis créa le premier ouvrage constitué entièrement d'une ossature métallique, le toit en fer de théâtre français à Paris ;

En 1801 : Première véritable ossature métallique de bâtiment (poutre et colonnes) en Angleterre ;

En 1881 : Découverte et développement de la soudure à l'arc électrique ;

En 1889: Réalisation, à paris, de la tour Eiffel (structure rivetée de 300 m de hauteur) à l'occasion de l'exposition universelle ;

En 1931 : Construction de fils étirés à froid (résistance à la traction de 1520 N/mm^2) dans la construction à New York, par l'ingénieur suisse O.H.Ammann, du George Washington Bridge de 1067 m de portée ;

En 1931 : Construction de l'Empire State Building à New York : ossature en acier de 380 m de hauteur.

En 1973 : Construction du World Trade Center à New York : deux batiment de 110 étages hauts de 410 m chacun ;

En 1974: Construction de la Sears Tower à Chicago : batiment de 109 étages d'une hauteur totale de 442 m.

En 1981: Réalisation du Humber Bridge à Hull (Grande-Bretagne) : pont suspendu de 1410 m de portée centrale ;

En 1998: Fin prévue de la construction du Akashi Kaikyo Bridge au Japon : pont suspendu de 1990 m de portée centrale.



Figure (1.1) Construction du World Trade Center à New York (1973)

1.3 Avantages et Inconvénients de la construction métallique :

1.3.1 Avantages:

- Résistance mécanique :
 - résistance élevée à la traction permettant des portées et hauteurs importantes ;
 - possibilité d'adaptation plastique pour une plus grande sécurité.
- Industrialisation totale : possibilité de préfabrication ;
- Transformation ou modification ;
- Possibilité architecturales : des formes architecturales plus élaborées avec des portées plus importantes.
- Récupération après mise hors service ;
- Meilleure résistance au séisme du fait de la ductilité de l'acier ;

- Légèreté : Le séisme n'est pas prépondérant.

1.3.2 Inconvénients:

- Prix élevé (concurrentiel avec le béton armé pour les grandes portées) ;
- Mauvaise tenue au feu ce qui implique des mesures de protection onéreuses.
 - *Solution* : - Application des peintures spéciales.
 - Application d'un isolant pour freiner la transmission du feu comme le plâtre, association de l'acier au béton.
- Corrosion : apparition en surface des couches de rouille (la rouille est un oxyde engendré par l'humidité de l'atmosphère) ;
 - *Solution* : - Peintures anti- rouille.
 - Revêtement métallique (Chronisation, Galvarisation « Zinc »).

1.4 L'acier :

L'acier est un matériau constitué essentiellement de fer et de carbone. Il est élaboré à partir des matières premières naturelles extraites des mines de fer et de carbone.

Le carbone n'intervient dans la composition que pour une très faible part (< à 1.7 %).

1.4.1 L'obtention de l'acier :

L'acier est généralement obtenu par une opération de deux phases :

- *1^{ère} phase* : introduction et la combustion du minéral de fer dans un haut fourneau jusqu'à la fusion. On obtient la fonte (matériau à plus de 1.7 % de carbone).
- *2^{ème} phase* : Conversion de la fonte liquide en acier à une température de 1500°C. Cette opération consiste à décarburer la fonte. L'acier obtenu a un taux de carbone inférieur à 1.7 %.

A la fin de l'élaboration de l'acier liquide, celui-ci est coulé dans des lingotières (mouls en cuivre). On obtient des barres solides, carrées ou rectangulaires.

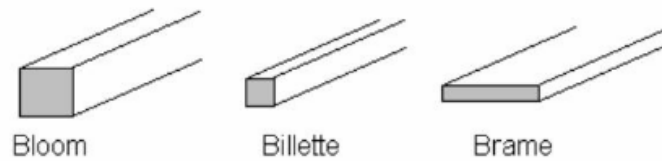
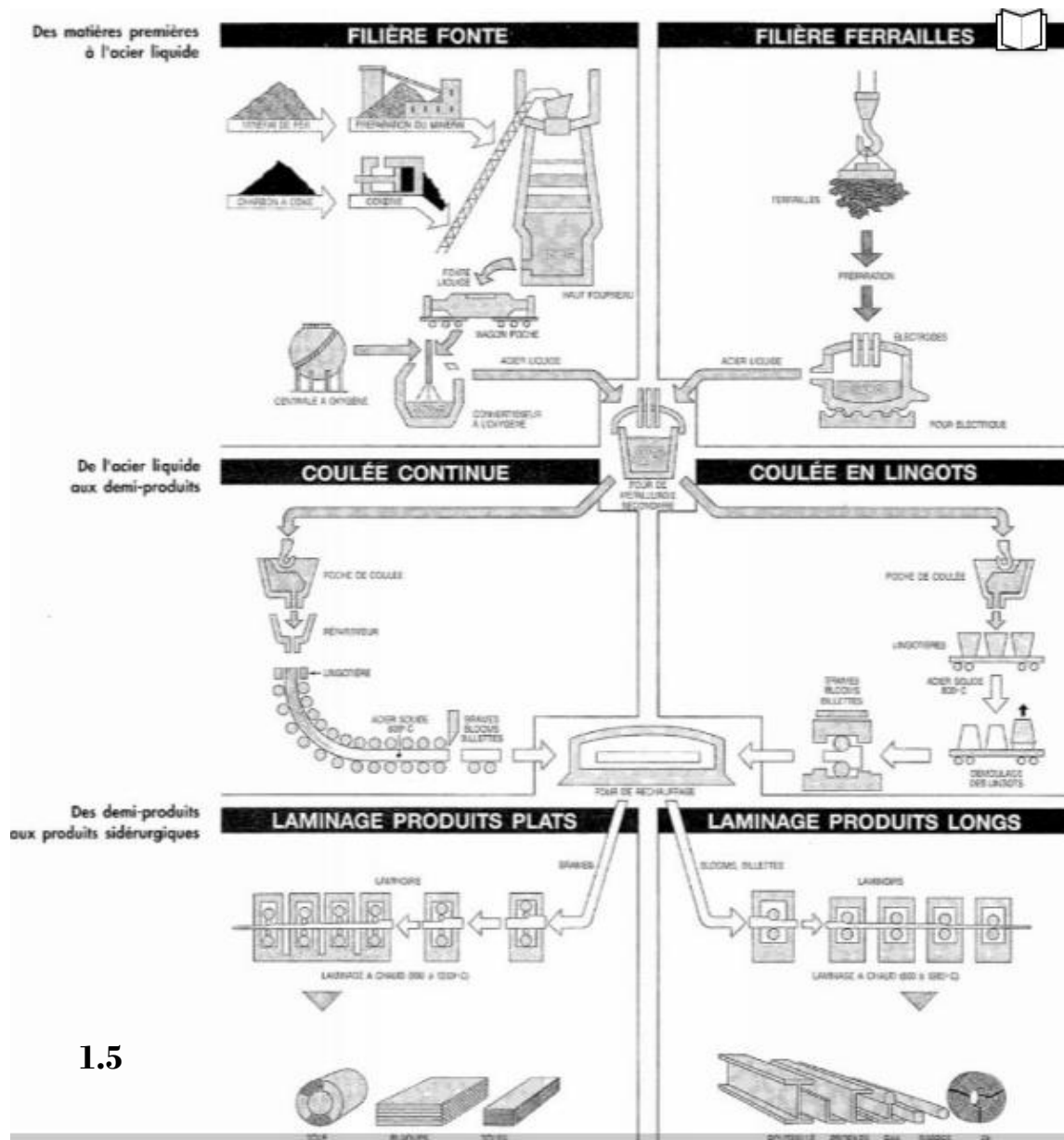


Figure (1.2) Les demi produits (Bloom, Billette et Brame)

- La dernière phase : consiste à laminier les demi-produits, c.-à-d. à étirer et écraser le métal pour lui donner les dimensions et les formes souhaitées, cette opération s'effectue à chaud (environ 1000 degrés).



1.5

Figure (1.3) Les procédés d'élaboration de l'acier

1.5 Principaux produits utilisés comme éléments de structure

1.5.1 Produits laminés à chaud:

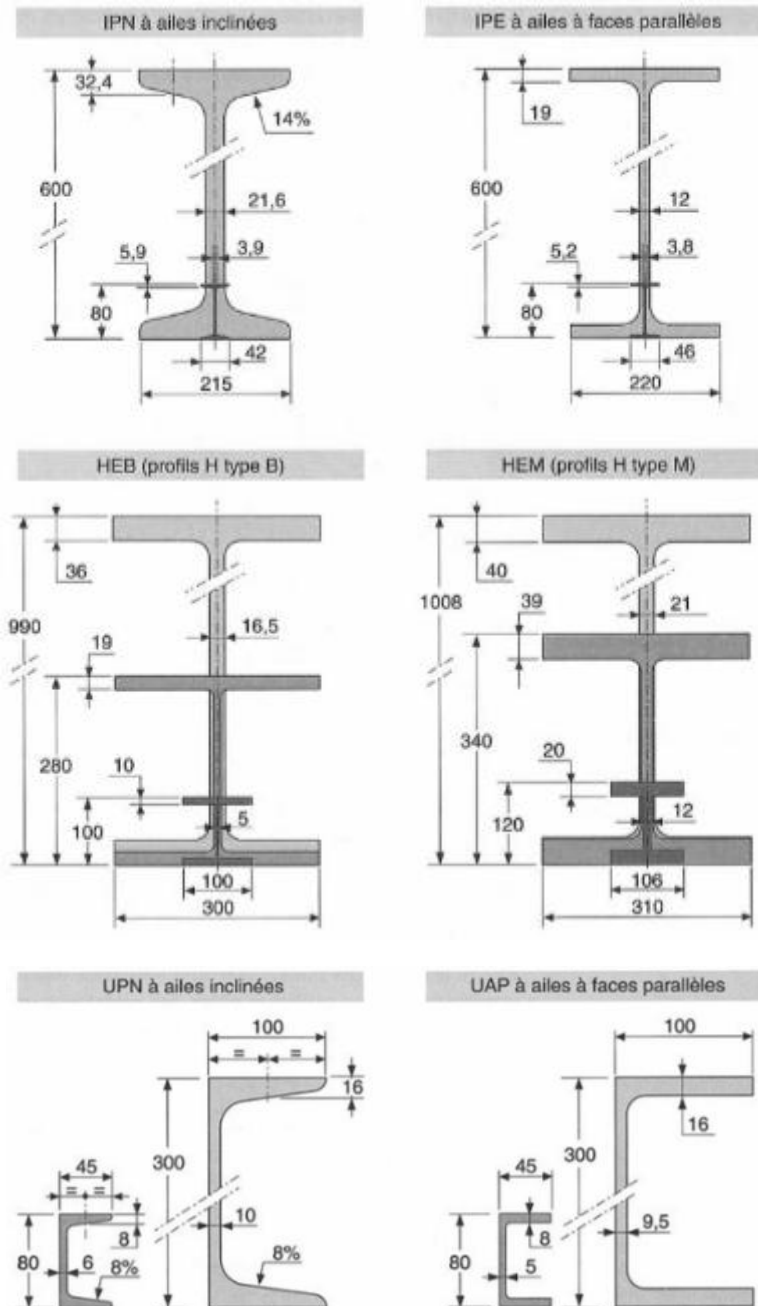


Figure (1.4) Produit laminés à chaud

1.5.2 Produit formés à froid:



Figure (1.5) Produit longs formés à froid (exemples des S T)

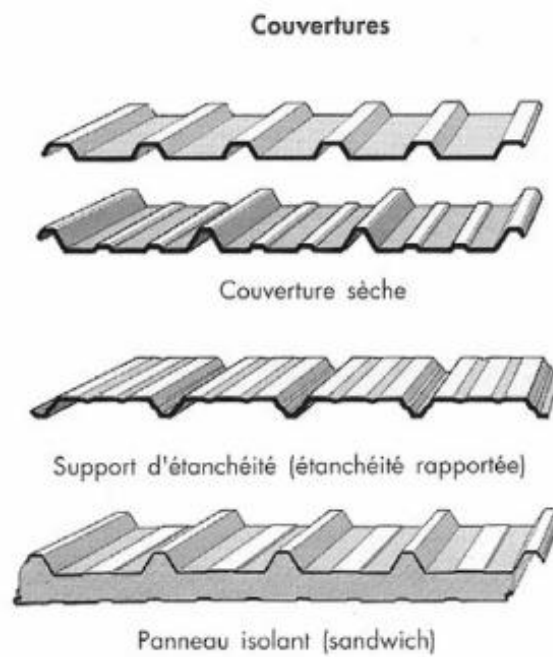


Figure (1.6) Produit plats formés à froid

1.5.3 Produit dérivés des profils laminés et profils reconstitués soudés:

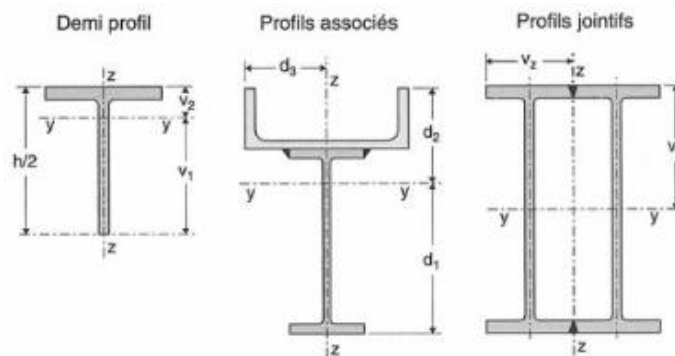


Figure (1.7) Produit dérivés

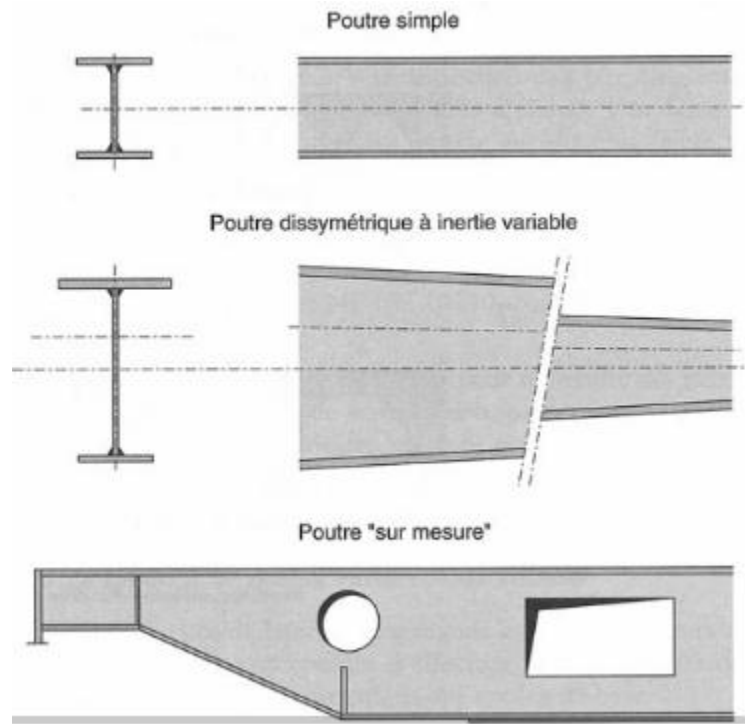


Figure (1.8) Profils reconstitués soudés

1.6 Classification des aciers:

Tableau (1.1) Classification des aciers.

Aciers	Matériaux	Teneur en carbone	Domaine d'utilisation
	Aciers Doux	$0.05 < C < 0.30$	Charpentes, Boutons
	Aciers mi-durs	$0.30 < C < 0.60$	Rails
	Aciers durs	$0.60 < C < 0.75$	Outils
	Aciers extra-durs	$0.75 < C < 1.20$	Outils, Poinçons
	Aciers sauvages	$1.20 < C < 1.70$	Pièces Spéciales
Fonte	Fonte hypo-entectique	$1.70 < C < 4.50$	Culasses des Moteurs
	Fonte hyper-entectique	$4.50 < C < 6.30$	Socles des machines

1.7 Essais mécaniques:

1.7.1 Essais de Traction:

Il est pratiqué sur une éprouvette cylindrique soumise à un effort de traction, croissant de 0 à la rupture. En mesurant l'allongement de l'éprouvette en fonction de l'effort appliqué, on obtient un diagramme (Effort-Allongement)/(Contrainte-Déformation).

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

Avec : $\Delta l = L - L_0$

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

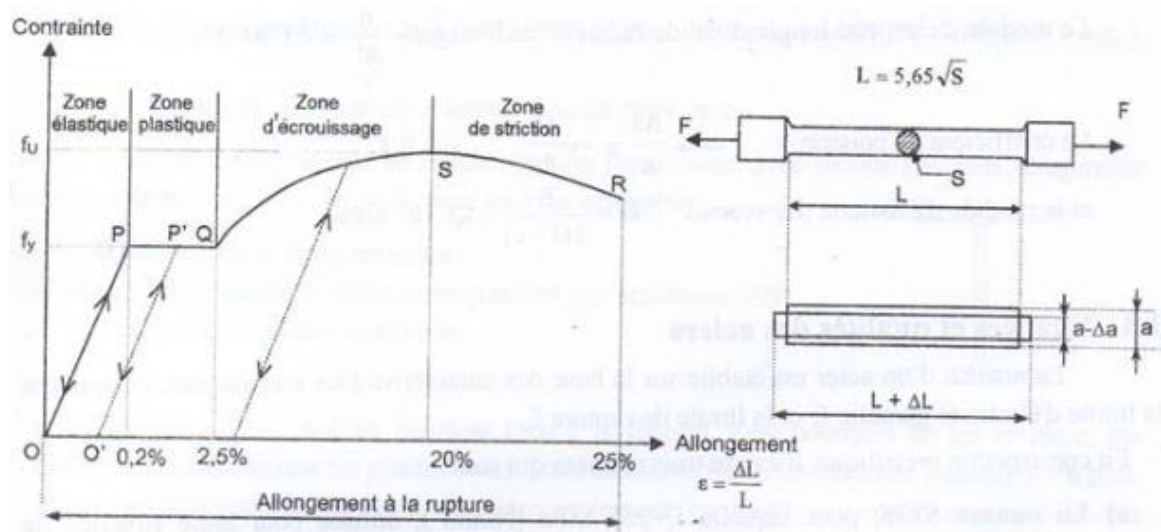


Figure (1.9) Essai de Traction

Ce diagramme se décompose en quatre phases :

- *Domaine élastique* (droite OP) : la variation $\sigma(\varepsilon)$ est linéaire (loi de Hooke) et réversible (les allongements sont proportionnels aux efforts appliqués. Si l'on supprime l'effort, la barre revient à sa longueur initiale).
- *Palier du domaine plastique petites déformations* (palier PQ) : l'allongement se poursuit pour une valeur constante σ_e . Un relâchement de l'effort à partir d'un point P de ce palier, conduit à des raccourcissements élastiques suivant une droite $O'P' \parallel OP$, il subsiste une déformation permanente OO' (à vide). On parle d'écoulement de l'acier.
- *Domaine plastique de grandes déformations* (zone d'écrouissage → courbe OS) : à partir du point Q, la courbe $\sigma(\varepsilon)$ continue à monter, mais avec une pente beaucoup plus faible qu'en phase élastique, et décroissante pour s'annuler à un sommet S. Cette phase est

appelée écrouissage car elle traduit l'adaptation de l'acier qui, chargé au-delà de f_y , se raffermi.

- *Domaine de striction* (courbe SR) : Au-delà du sommet S, le métal va continuer à s'allonger et sa résistance va diminuer. Le métal va se rompre après diminution de sa section dans une zone appelée de « striction ».

Ce diagramme permet de mesurer :

- La limite d'élasticité de l'acier f_y ;
- La limite de résistance à la rupture f_u ;
- L'allongement à la rupture A ;
- Le module d'élasticité longitudinal de l'acier $E \Rightarrow E = \text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\frac{\Delta L}{L}} = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
- Le coefficient de poisson $\nu \rightarrow \frac{\Delta a}{a} = -\frac{\Delta L}{L} \quad \nu=0.3$

Et le module d'élasticité transversal $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 8.1 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

1.7.2 Essais de flexion par choc (essai de résilience):

Cet essai a pour objectif de mesurer l'énergie absorbée par une éprouvette bi-appuyée, comportant une entaille médiane en V, lors de sa rupture en flexion sous le choc d'un mouton-pendule. Cette énergie caractérise la ductilité de l'acier et sa sensibilité à la rupture fragile en fonction de la température.

$$\text{Energie de rupture} = m g (h_0 - h)$$

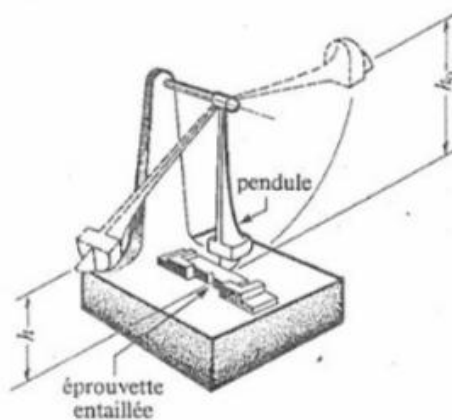


Figure (1.10) Principe de l'essai de flexion par choc

1.7.3 Essais de dureté:

Les essais de dureté consistent à mesurer la pénétration d'un outil conventionnel dans la pièce à tester sous une charge prédéterminée.

1.7.4 Essais de pliage:

Cet essai permet d'apprécier qualitativement la ductilité d'un acier et l'aptitude au formage à froid par pliage des tôles ou barres constituées de ce matériau.

1.8 Nuance et qualités des aciers:

La nuance d'un acier est établie sur la base des caractéristiques mécaniques, notamment la limite d'élasticité garantie f_y et la limite de rupture f_u .

En construction métallique, il existe trois nuances qui sont :

- a) **La nuance S235**, pour laquelle $f_y=235 \text{ MPa}$ (N/mm^2), utilisée pour toute structure de bâtiment. La contrainte de rupture est $f_u=360 \text{ MPa}$.
- b) **La nuance S275**, pour laquelle $f_y=275 \text{ MPa}$, susceptible d'être demandée par des maitres d'ouvrage publics (ex : hopital,...). Pour cette nuance, on donne $f_u=430 \text{ MPa}$.
- c) **La nuance S355**, pour laquelle $f_y=355 \text{ MPa}$, utilisée pour les ponts et ouvrage d'art et éventuellement en bâtiment lorsqu'il s'agit de grandes portées. On donne $f_u=510 \text{ MPa}$

1.9 Caractéristiques et destination des profilés usuels:

Les profilés sont obtenus par laminage à chaud et leurs caractéristiques sont normalisées. Ils sont répertoriés sur catalogues. On trouve :

- a) **Poutrelles en I** : sont utilisées le plus souvent pour travailler à la flexion simple ou déviée.

Il existe :

- **IPN** (I Profilé Normalisé) : la face intérieure des ailes est inclinée de 14 % sur la face extérieure.
- **IPE** (I Profilé Extra-leger) : les faces intérieures des ailes sont parallèles aux faces extérieures.

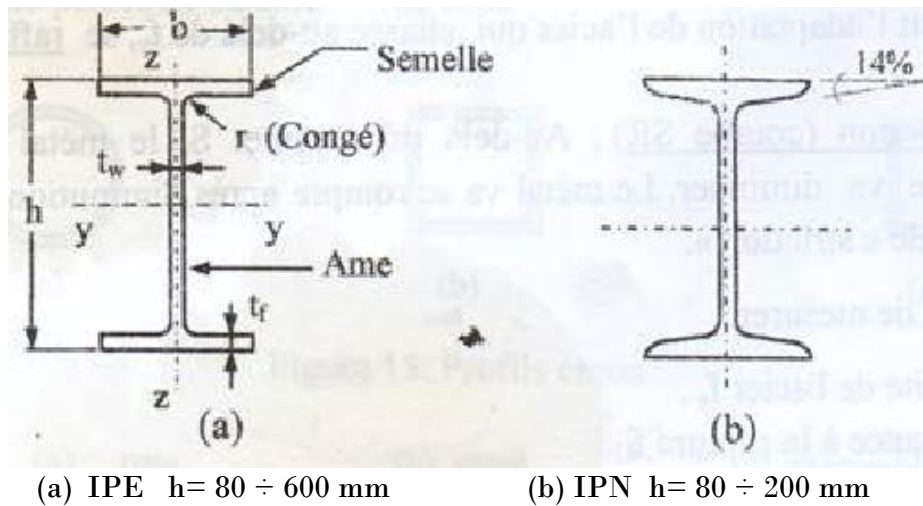


Figure (1.11) Poutrelle en I

b) Poutrelles en H : Leur section s'inscrit dans un carré $h \approx b$

Elles sont utilisées pour résister au flambement ou flambement avec flexion (poteaux, diagonales des palées de stabilité, ...). Ils se divisent en trois catégories :

- **HEA** (à ailes et âmes amincies)
- **HEB** (normalisées) : elles correspondent aux anciennes HN
- **HEM** à ailes et âmes renforcées



c) Poutrelles en U: ces profilés résistent bien à la flexion, c'est pourquoi on les emploie, par exemple, pour constituer les pannes et les lisses de couverture d'un bâtiment industriel. En plus, ils sont utilisés comme diagonales de contreventement (en double) ou encore comme éléments formant un poteau à treillis.

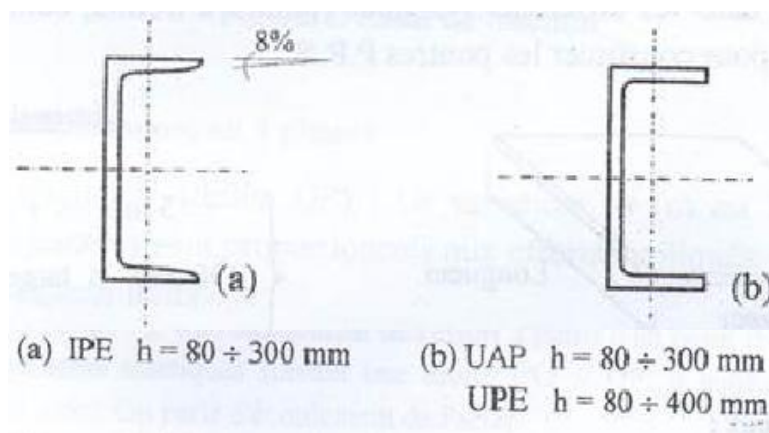


Figure (1.12) Poutrelle en U

d) Les cornières et les tés : les cornières à ailes égales et inégales sont utilisées pour constituer les éléments suivants :

- Barres triangulées : poutres à treillis, diagonales de contreventement ;
- Moyen d'assemblage ou de fixation.

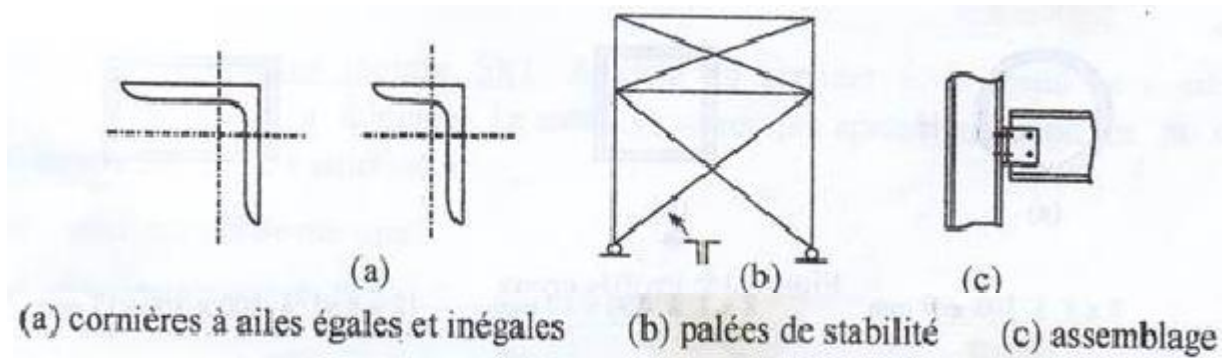


Figure (1.13) Utilisation des cornières

Les tés à ailes égales et inégales sont utilisés généralement dans les poutres à treillis (fermes) où ils représentent les membrures supérieures et inférieures.

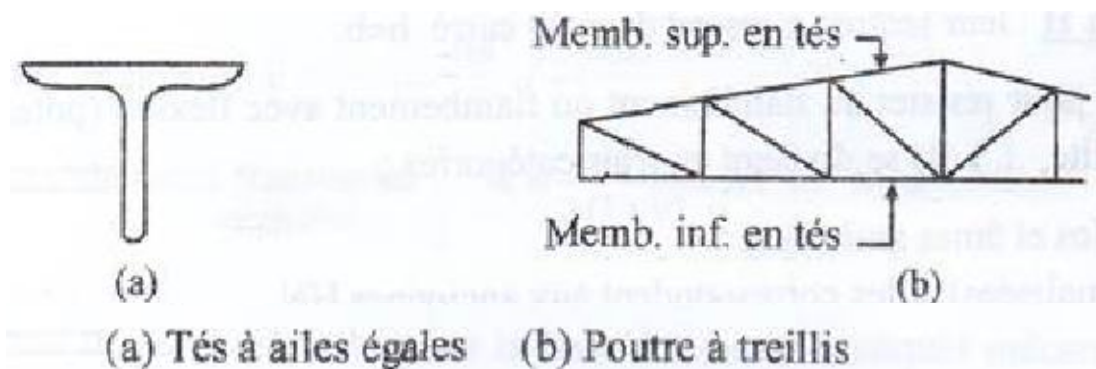


Figure (1.14) Profil en Té

e) Les tôles et larges plats : les tôles sont généralement utilisées comme plaque d'assise pour les poutres et poteaux ou comme moyen d'assemblage dans les différents systèmes (poutre à treillis, contreventement, ...) et peuvent aussi être utilisées pour constituer les poutres P.R.S.

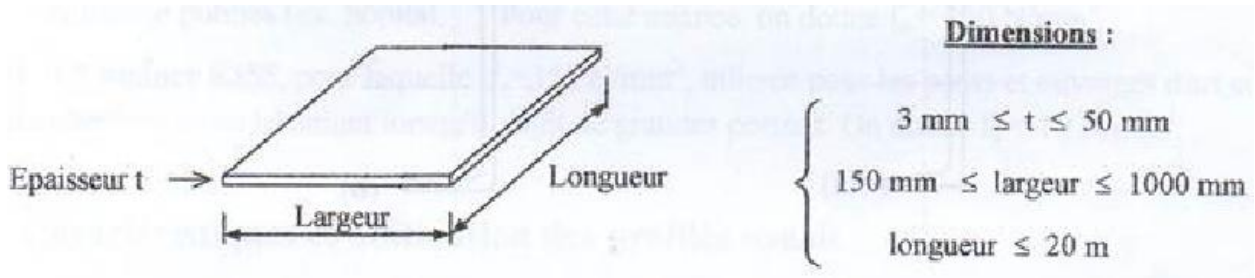


Figure (1.15) Tôles

f) Les profils creux : ils sont généralement utilisés pour constituer les éléments suivants :

- Poteaux : types rond, carré ou rectangulaire ;
- Poutres à treillis : types rond ou carré ;
- Diagonales des palées de stabilité : type rond.

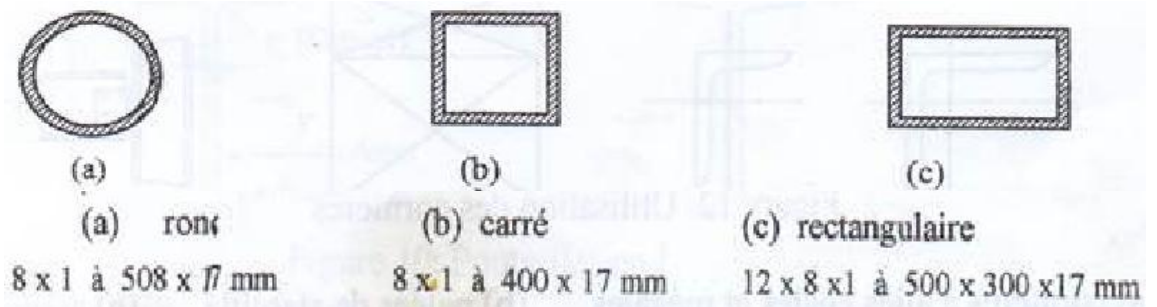


Figure (1.16) Profils creux