

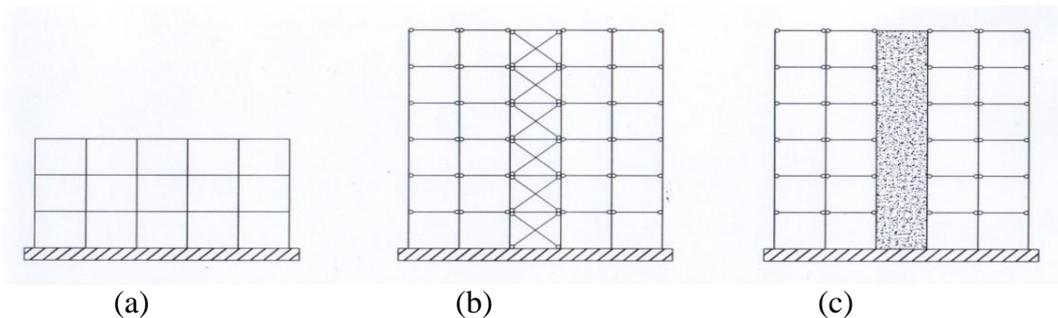
# **Chapitre 1 : Introduction à la construction métallique**

## 1.1 Généralités

De nos jours, les constructions modernes ont construites sous différentes formes architecturales et avec différents types de matériaux (béton, acier, mixte...). En plus du béton le matériau le plus couramment utilisé est le métal. Son utilisation est liée directement à ces qualités mécaniques et ces aspects d'utilisation tels flexibilité résistance, légèreté, rigueur L'élaboration et de préfabrication en usine, facilité transport, rapidité de montage, souplesse de transformation, de réparation, etc.

Son domaine d'application est très varié, on peut citer quelque-exemples :

### 1. Les charpentes de bâtiment (habitation administratif...)



**Figure 1 : Structures de bâtiment**

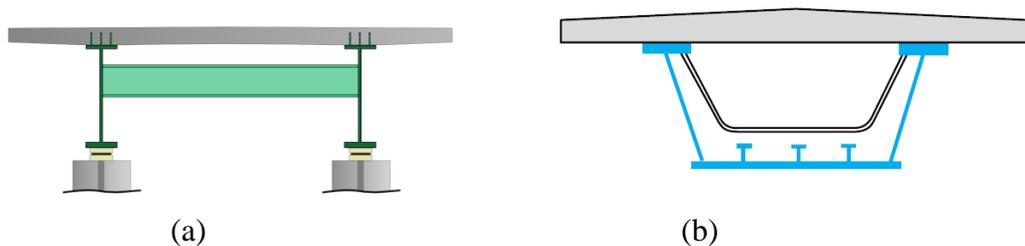
(a) en portiques ; (b) en palées de stabilité ; (c) mixte (acier/béton)

### 2. les ouvrages industriels (halles des ateliers)



**Figure 2 : structures industrielles**

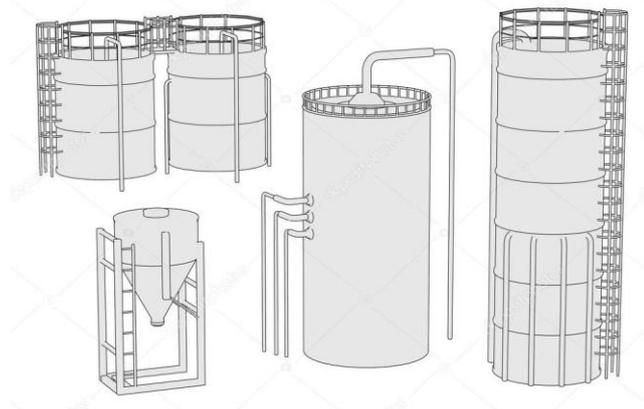
### 3. Les ponts (rails ou routes)



**Figure 3: les ponts mixtes**

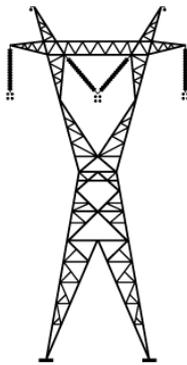
(a) pont bipoutre mixte ; (b) pont en caisson mixte

#### 4. Les ouvrages hydrauliques (réservoirs, silos métalliques etc...)

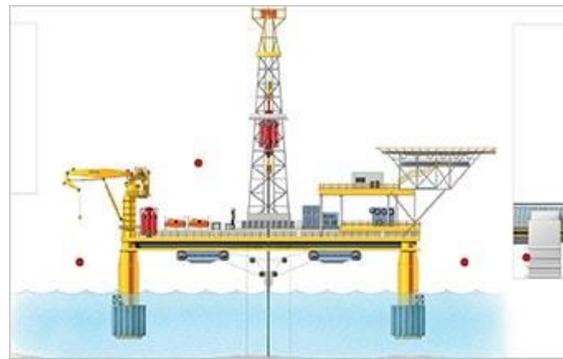


**Figure 4:** les réservoirs et silos métalliques.

#### 5. Les pylônes et les plates-formes de forage.



(a)



(b)

**Figure 5:** (a) pylône de lignes électriques ; (b) plateforme de forage sur mer.

En Algérie, ce matériau est utilisé dans la construction des bâtiments à usage de bureaux ainsi que dans les bâtiments servant à des activités bien spécifiques telles que les salles de sports, piscines, parkings, marchés couverts, etc. On utilise aussi dans la construction des hangars industriels avec ou sans ponts roulants. Le seul créneau où ce matériau est totalement absent est celui des bâtiments à usage d'habitation. Ce type de structures est rythmée horizontalement par un maillage en poutres poteaux de faible dimension et peuvent dans ce cas être concurrencés par la construction de type béton armé.

### 1.2 Le matériaux acier

L'acier est un matériau constitué essentiellement de fer et d'un peu de carbone: qui sont extraits de matières premières naturelles tirées du sous-sol (mines de fer et de Charbon). Le carbone n'intervient, dans la composition, que pour une très faible part (généralement  $< 1\%$ ).

Outre le fer et le carbone, l'acier peut comporter d'autres éléments qui leur sont associés :

- soit involontairement : phosphore, soufre qui sont des impuretés et qui altèrent propriétés des aciers,
- soit volontairement : silicium, manganèse, nickel, chrome, vanadium, etc., ont pour propriété d'améliorer les caractéristiques mécaniques des aciers (résistance à rupture, dureté, limite d'élasticité, résilience, ...). On parle, dans ce cas, d'aciers alliés

L'acier est généralement obtenu par une opération en quatre phases.

**1<sup>ère</sup> phase :** Le minerai de fer brut est broyé, criblé, homogénéisé avant d'être chargé sur la chaîne d'agglomération avec des additions (chaux, castine) et de combustible (coke). Après combustion, il prend la consistance d'un mâchefer poreux : c'est le minerai aggloméré.

**2<sup>ème</sup> phase:** l'introduction et la combustion de minerai de fer, de coke et de castine dans un haut-fourneau avec injection de l'air chaud (jusqu'à 1250 °C) permet l'obtention de la fonte liquide qui contient : 94 à 96 % de fer, 3 à 5 % de carbone (reste de coke non brûlé) et de 1 à 2 % d'éléments non ferreux (souffre, phosphore, etc.). La gangue liquide se sépare de la fonte, en raison de sa moindre densité, et constitue un co-produit valorisé : le laitier de haut-fourneau.

**3<sup>ème</sup> phase:** il est procédé à la conversion de la fonte liquide en acier, à une température de 1600 °C, sous insufflation d'oxygène qui brûle presque totalement les éléments indésirables (carbone, silicium, phosphore,...). Cette opération s'effectue dans un convertisseur et a pour objet de purifier la fonte. L'acier obtenu ne possède plus qu'un faible pourcentage de carbone.

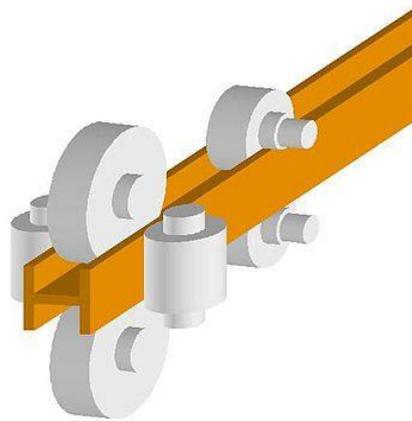
**4<sup>ème</sup> phase :** ajuster de la composition chimique de l'acier, dans un four de métallurgie secondaire, en additionnant des éléments d'alliage et en utilisant divers traitements visant à améliorer la pureté et la qualité du métal.

**De l'acier liquide aux demi-produits sidérurgiques finis :** l'acier liquide est coulé dans une lingotière en cuivre de section carrée ou rectangulaire selon le demi-produit fabriqué. Il est violemment refroidi à l'eau, puis extrait sous forme de barre carrée (bloom et billette) ou rectangulaire (brame) découpée en tronçons selon la longueur désirée.



*Figure 6: Demi-produits sidérurgiques finis.*

**De demi-produits aux produits sidérurgiques finis :** cette phase consiste à laminier des demi-produits, c'est-à-dire à étirer et écraser le métal pour lui donner les dimensions et formes souhaitées. Le laminage s'effectue à chaud à environ 1000 °C.



*Figure 7: Laminage à chaud*

### 1.3 Caractéristiques mécaniques de l'acier :

Les principales propriétés mécaniques de l'acier sont obtenues par les essais normalisés de contrôle qui sont :

- L'essai de traction : mesure les contraintes et les allongements.
- L'essai dureté: mesure les degrés de dureté de l'acier à l'aide de la pénétration d'une pointe en acier.
- L'essai de résilience : mesure l'aptitude d'un acier à se rompre par choc.
- L'essai de fatigue : mesure la longévité d'un acier soumis à des charges répétitives.

Nous nous bornerons à étudier l'essai de traction qui est le plus révélateur de données physique.

#### ***Essai de traction***

Il est pratiqué sur une éprouvette cylindrique, soumise à un effort de traction progressif, croissant de 0 à la rupture. Un enregistrement graphique mesure l'allongement de l'éprouvette en fonction de l'effort de traction (ou contrainte). On obtient un diagramme effort/déformation, selon la figure ci-après

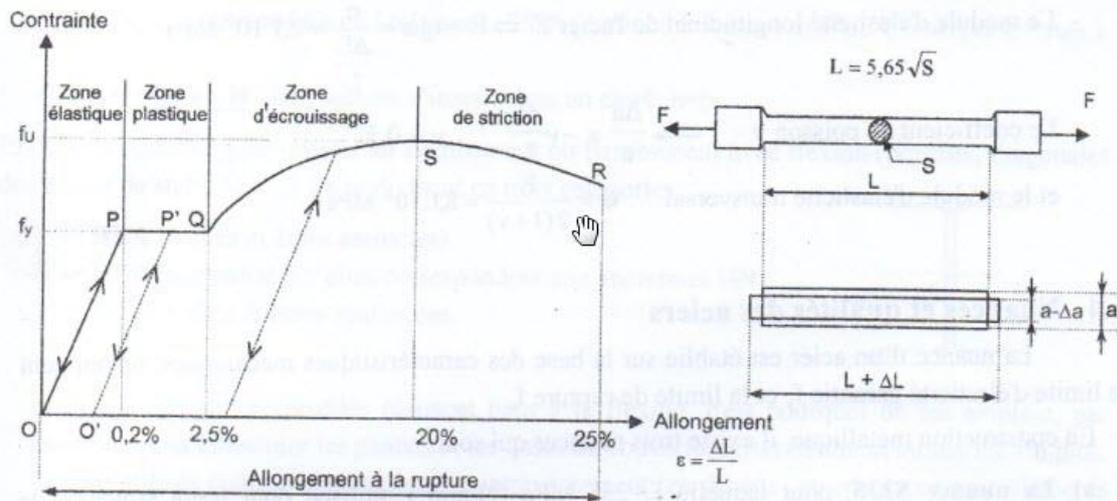


Figure 8: Essai de traction.

Ce diagramme se décompose en 4 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  $\sigma_e$ . Un relâchement de l'effort à partir d'un point P de ce palier, conduit à des raccourcissements élastiques suivant une droite PO' // OP; il subsiste une déformation permanente OO' (à vide). On parle d'écoulement de l'acier.

- Domaine plastique de grandes déformations (zone d'écroutissage — courbe OS) b:

A 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 écroutissage car elle traduit l'adaptation de l'acier qui, chargé au-delà de  $f_y$ , se raffermir.

- 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  $E \rightarrow E = tg\alpha = \frac{\sigma}{\Delta L} = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
- Le coefficient de poisson  $\nu \rightarrow \frac{\Delta a}{a} = -\nu \frac{\Delta L}{L} \quad \nu = 0.3$

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

## 1.4 Nuances 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:

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

## 1.5 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 :

- 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-léger)** : les faces intérieures des ailes sont parallèles aux faces extérieures.

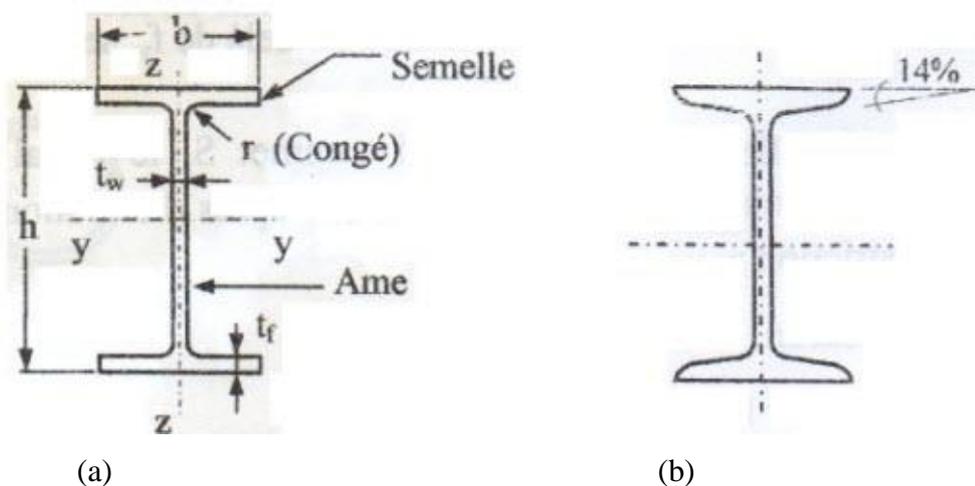


Figure 9: Poutrelles en I

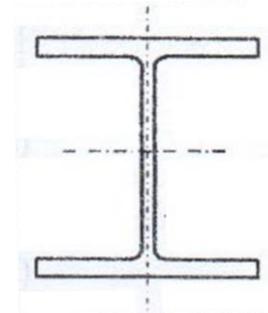
(a) IPE  $h = 80 \div 600 \text{ mm}$       (b) IPN  $h = 80 \div 200 \text{ mm}$

Ils existe d'autres profilés en I tels que : IPEA (Aminci  $h < h_{IPE}$ ) et IPER (renforcé  $h > h_{IPE}$ ).

**b) Poutrelles en H :** leur section s'inscrit dans un carré

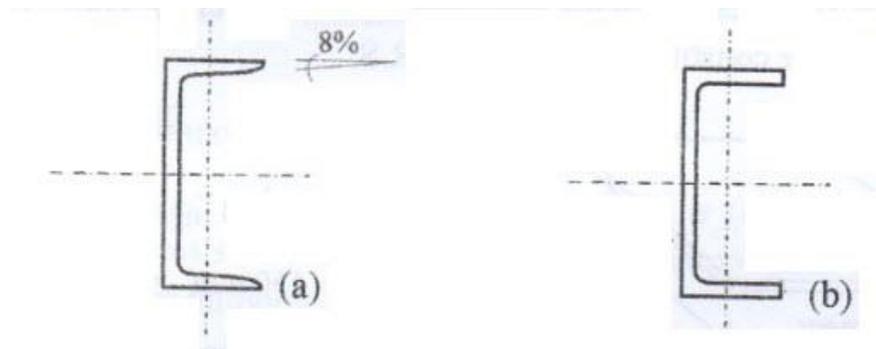
Elles sont utilisées pour résister au flambement ou flambement avec flexion (poteaux, diagonales des palées de stabilité, ...). Ils se divisent en trois catégories :

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



**c) Poutrelles 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.



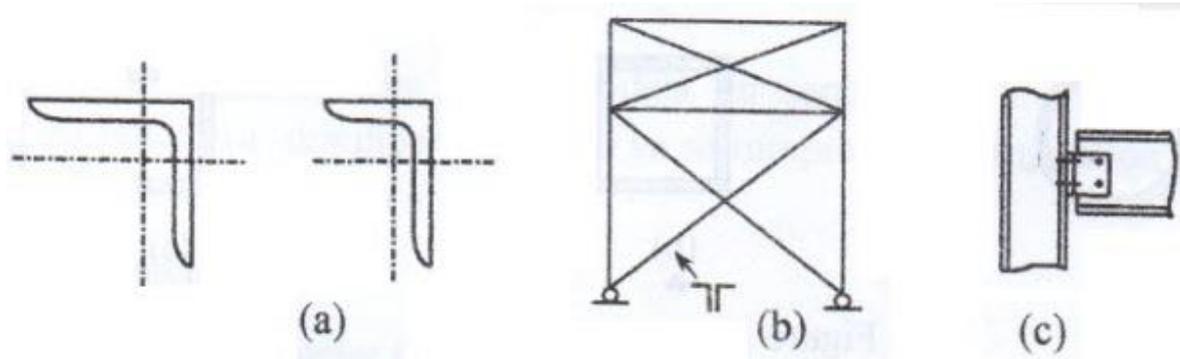
**Figure 10:** Poutrelles en U

(a) UPN  $h = 80 \div 300 \text{ mm}$       (b) UAP  $h = 80 \div 300 \text{ mm}$   
 UPE  $h = 80 \div 400 \text{ mm}$

**d) Les cornières et les tés:**

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

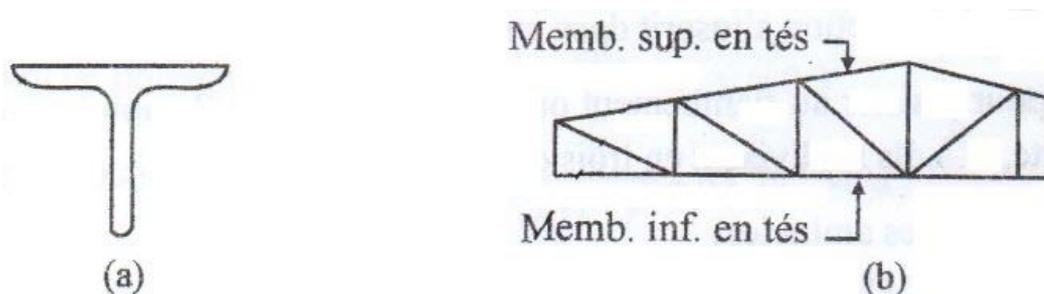
- barres triangulées : poutres à treillis, diagonales de contreventement.
- moyen d'assemblage ou de fixation.



**Figure 11:** Utilisation des cornières

(a) cornières à ailes égales      (b) palées de stabilité      (c) assemblage.

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

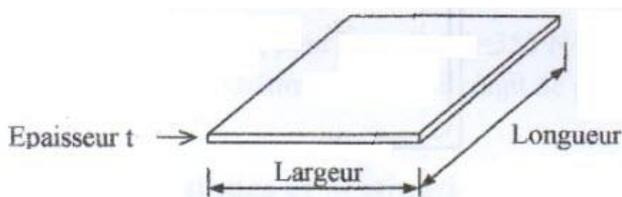


**Figure 12:** profilé en Té

(a) Tés à ailes égales.      (b) Poutre à treillis

### **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 13:** Tôles.

#### **Dimensions :**

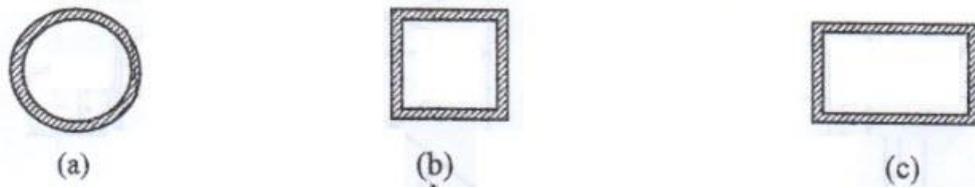
$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ mm} \leq t \leq 50 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} \leq \text{largeur} \leq 1000 \text{ mm} \\ \text{Longueur} \leq 50 \text{ mm} \end{array} \right.$$

### **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 14:** profils creux

(a) rond

(b) carré

(c) rectangulaire

$8 \times 1$  à  $508 \times 17$  mm

$8 \times 1$  à  $400 \times 17$  mm

$12 \times 8 \times 1$  à  $500 \times 400 \times 17$  mm

## 1.6 Avantages et inconvénients de la charpente Métallique :

Par rapport aux structures en béton armé ou précontraint, les structures métalliques présentent de nombreux avantages, et certains inconvénients.

### Principaux avantages

- Industrialisation totale: il est possible de préfabriquer intégralement des bâtiments en atelier avec une grande précision et une grande rapidité. Le montage sur site, par boulonnage, est d'une grande simplicité.
- Transport aisé, en raison du poids peu élevé, qui permet de transporter loin.
- Résistance mécanique (fiabilité)

- Grande résistance à la traction qui permet de franchir de grandes portées.

- Adaptation plastique qui donne une grande sécurité à la construction.

- La tenue aux séismes est bonne du fait de la ductilité de l'acier.

- Modifications, transformations et adaptations.
- Possibilité architecturales beaucoup plus étendues qu'en béton à cause du faible encombrement.
- Légèreté: cas de grandes portées où le poids devient l'ennemi principal.

### Principaux inconvénients

- Susceptibilité aux phénomènes d'instabilité élastique en raison de la minceur des profilés.
- Mauvaise tenue au feu.
- Nécessité d'entretien régulier des revêtements protecteurs contre la corrosion.
- Prix élevé du matériau (cas de l'Algérie)