

Chapitre 1 :

Généralités sur la charpente métallique

1. Aperçu historique :

En 1777 : Première utilisation du métal (fer, fonte) comme matériau de construction en Angleterre pour la réalisation d'un arc de 30 m de portée ;

1780-1820 : Réalisation d'un grand nombre de ponts (fonte coulée)

1850 : Réalisation d'une ossature poteaux-poutres ... idée de préfabrication

1855 : THOMAS BESSEMER avait inventé un convertisseur pour le raffinage de fonte et acier

1889 : Réalisation de la tour Eiffel de 310 m de portée à l'occasion de l'Exposition universelle.

1930 : Idée d'utilisation des assemblages soudés dans les constructions métalliques

1931 : Construction de l'EMPIRE STATE BUILDING à New York, c'est une ossature en acier de 380 m de hauteur

1973 : Construction des WORLD TRADE CENTRE (deux tours de 110 étages et de 410 m de hauteur)

1974 : Réalisation d'un bâtiment de 109 étages et de 422m de hauteur, c'est SEARS TOWER à Chicago

1981 : Réalisation de Humber Bridge pont suspendu de 1410m de portée centrale Grande Bretagne

1998 : La construction d' Akashi Kaikyo Bridge au Japon, pont suspendu de 1990 de portée centrale

1999 : Deux tours en Malaisie (tours PERTONAS)

2. Ouvrage en construction métallique (acier) :

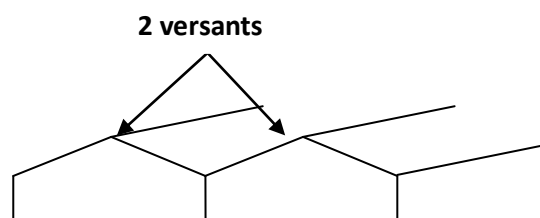
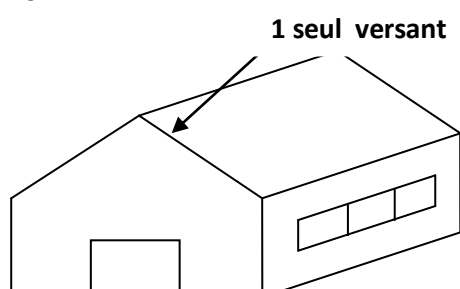
L'acier a connu une vaste utilisation et dans tous les domaines, cela est dû aux avantages qu'il offre à l'ouvrage, il est utilisé dans :

*La construction à usage d'habitation : -Les maisons individuelles

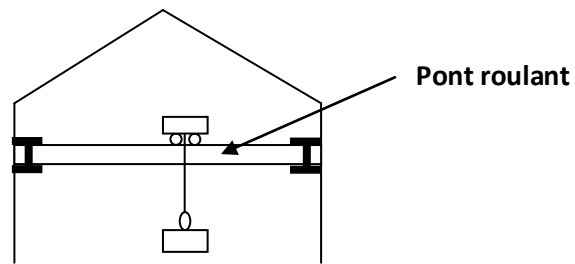
-Les tours à usage d'habitation et même administratif

*Les bâtiments scolaires

* Hangars industriels : grande halle de très grande portée allant de 10m jusqu'à 80m , elle peuvent être étagée ou non, avec un seul versant, deux versants, ou plusieurs.

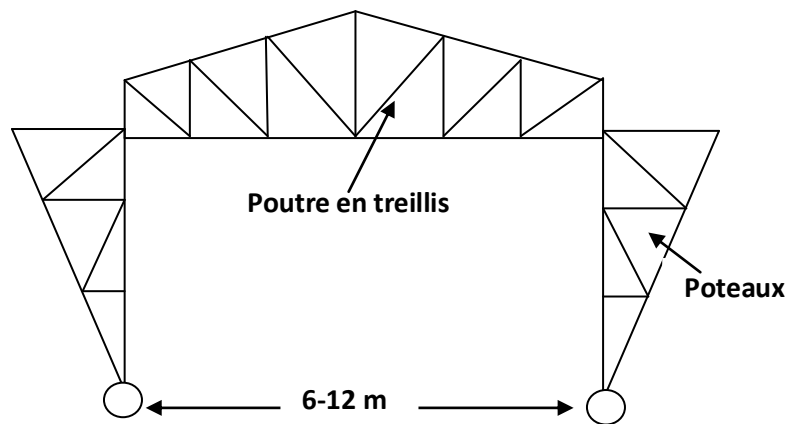


équipé de pont roulant ou non

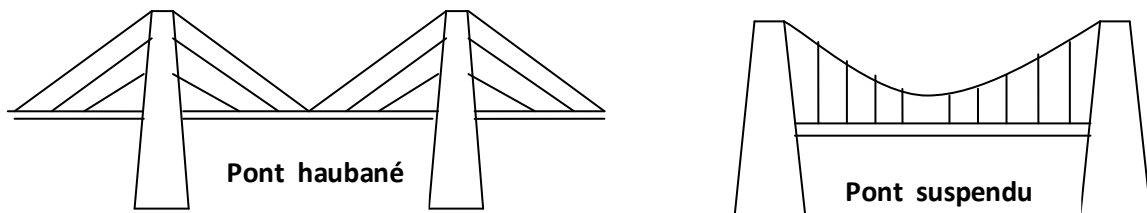


Les halles industrielles peuvent être utilisées comme salle de montage ou de réparation (usine, stockage, entrepôt)

*Bâtiments de grandes portées en treillis : telles les salles de sport, les aérogares, et les ateliers de construction



*Les ouvrages d'art : tels les ponts métalliques, ponts haubanés, et les ponts suspendus.



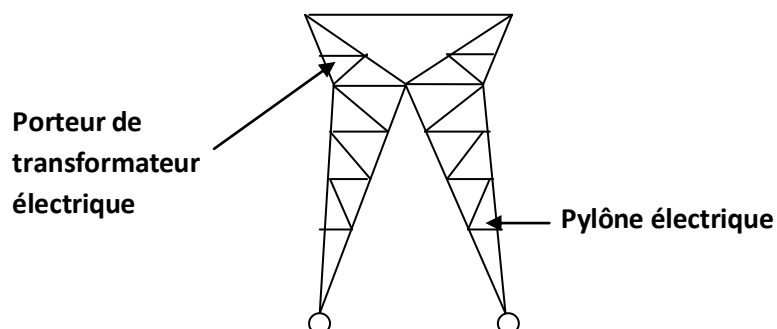
*Chef-d'œuvre : comme la tour Eiffel

*Les silos : pour le stockage de matériaux (ciment, granulats), ou des aliments (blé)

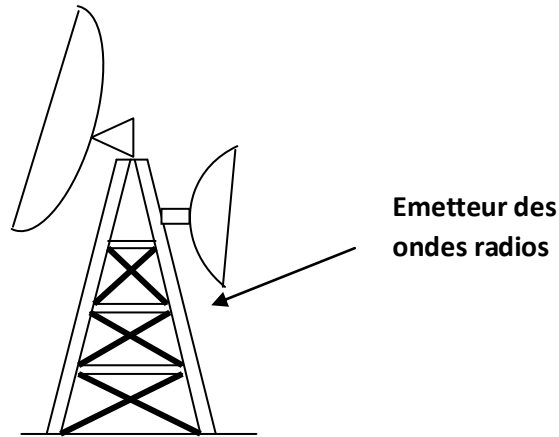
*Les réservoirs : à gaz, à liquides

*Plates-formes pétrolières : pour l'extraction de pétrole en mer

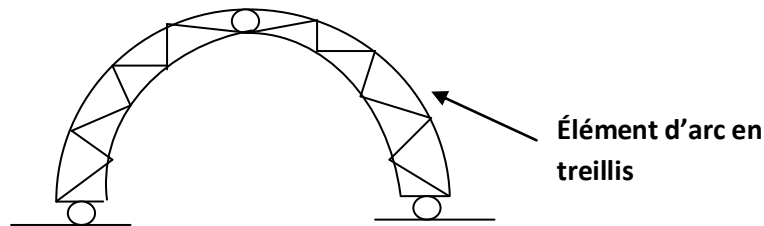
*Pylônes électriques



*Mâts de radio et de télévision (émetteur)



*Coupoles : soit en arc ou en coques

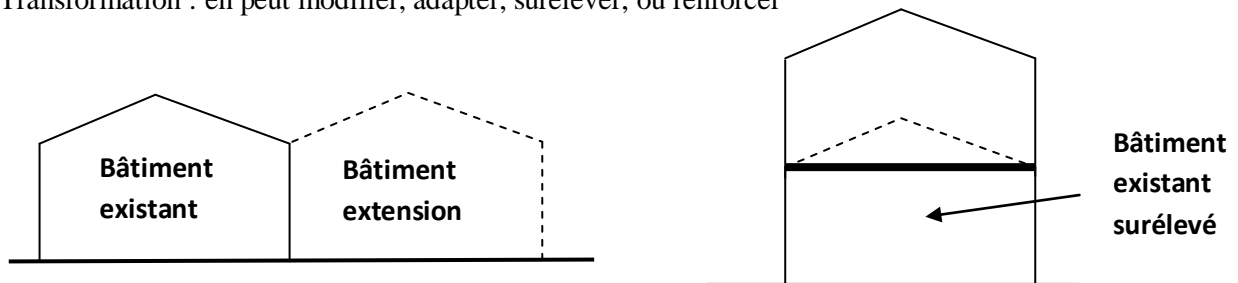


3/Avantages et inconvénients des charpentes métalliques :

3.1- Avantages :

*Industrialisation : possibilité de pré-fabriquer un bâtiment en atelier avec une grande précision et grande rapidité et par la suite il sera monté sur place

*Transformation : on peut modifier, adapter, surélever, ou renforcer



*Possibilité architecturale importante

*Récupération des éléments d'un hangar pour les réutiliser à nouveau pour une nouvelle structure

*Utilisation de différentes nuances d'acier

*Déplacement facile d'un bâtiment métallique

*Caractère élasto-plastique : l'ossature métallique peut subir des surcharges, sans aller à la ruine grâce à l'adaptation plastique de l'acier qui offre cette possibilité

*Légèreté : l'acier est un matériau léger comparé au béton, exemple : à une résistance égale des deux matériaux ; il nous faut une section de béton 5 fois plus grande que celle en acier .

3.2- Inconvénients :

*Légèreté : c'est une caractéristique qui joue un double rôle

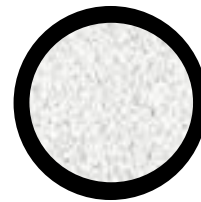
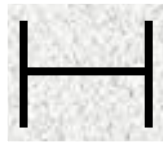
*Susceptibilité aux phénomènes d'instabilité en raison de la minceur des éléments (faibles épaisseurs)

*Mauvaise tenue de l'acier au feu (incendie) l'acier fond à environ 1500 °c de température, donc il exige des protections onéreuses qui sont :

- Peinture spéciale
- Plâtre pour freiner le flux thermique
- Association du béton avec l'acier



Profilé métallique enrobé de béton



Profilé métallique creux rempli de béton

*Corrosion : c'est dû à la rouille des éléments en acier, pour protéger contre la rouille on doit tout d'abord nettoyer les surfaces par la rouille :

- Simple nettoyage à la brosse métallique
- Par un sablage
- Par un décapant avec de l'acide

Et par la suite, on peut adopter une des solutions suivantes :

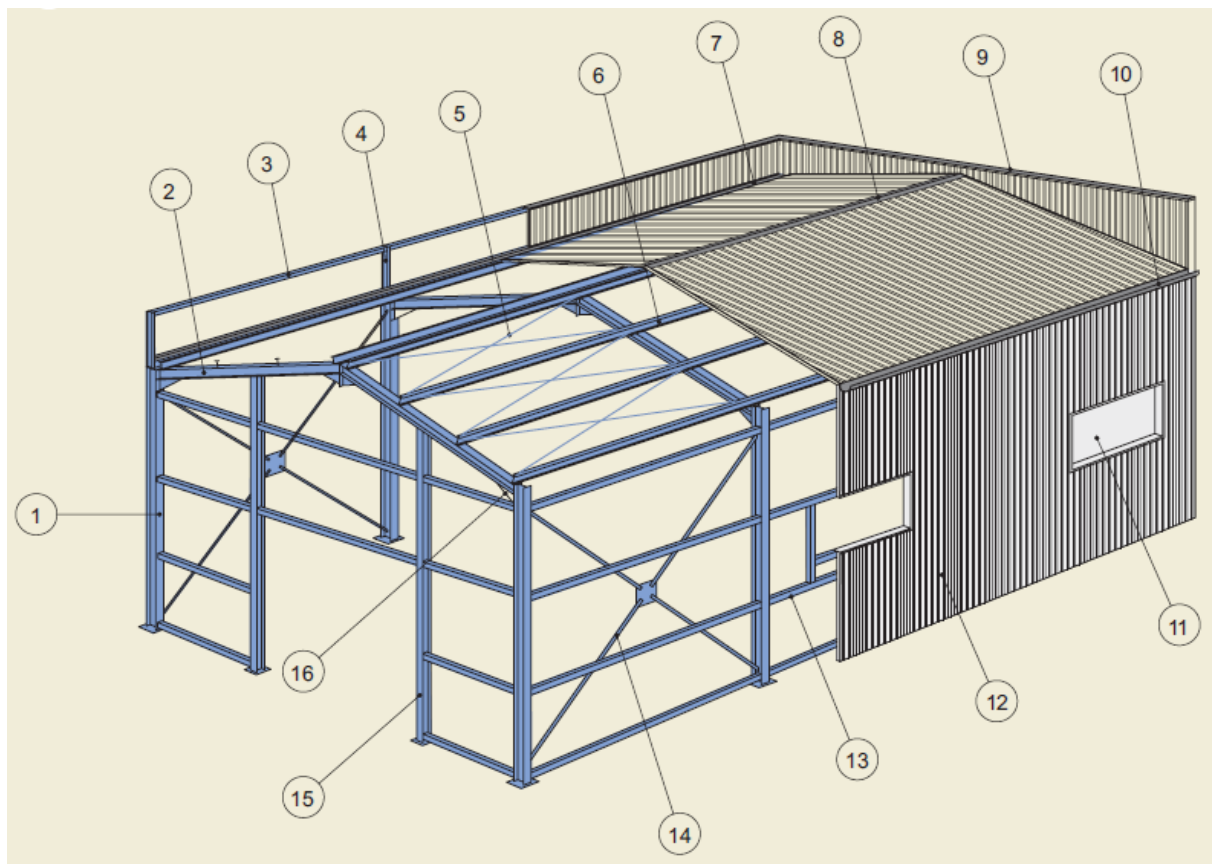
- Utilisation de la peinture (antirouille, bitumineuse)
- Revêtement métallique : -Galvanisation de l'acier
- chromatisations de l'acier

*Nécessité d'entretien des constructions métalliques

4 . Terminologie d'un hangar industriel :

La figure donne les principaux termes utilisés pour les charpentes et les bardages métalliques.

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



Partie2 :

MATERIAUX, ESSAIS, ET PRODUITS SIDERURGIQUES

1. Le matériau 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 charbon). Le carbone n'intervient dans la composition que pour une faible part (généralement inférieur à 1%).

L'acier est généralement obtenu par une opération en 2 phases :

1^{ère} phase : l'introduction et la combustion de fer, de coke, et de castine dans un haut fourneau permet l'obtention de la fonte (matériau à plus de 1,7 % de carbone)

2^{ème} phase : il est procédé à la conversion de la fonte liquide en acier, à une température de 1500°C environ, sous insufflation d'oxygène. Cette opération s'effectue dans un convertisseur et à pour objet de décarburer la fonte. L'acier obtenu ne possède plus qu'un faible pourcentage de carbone.

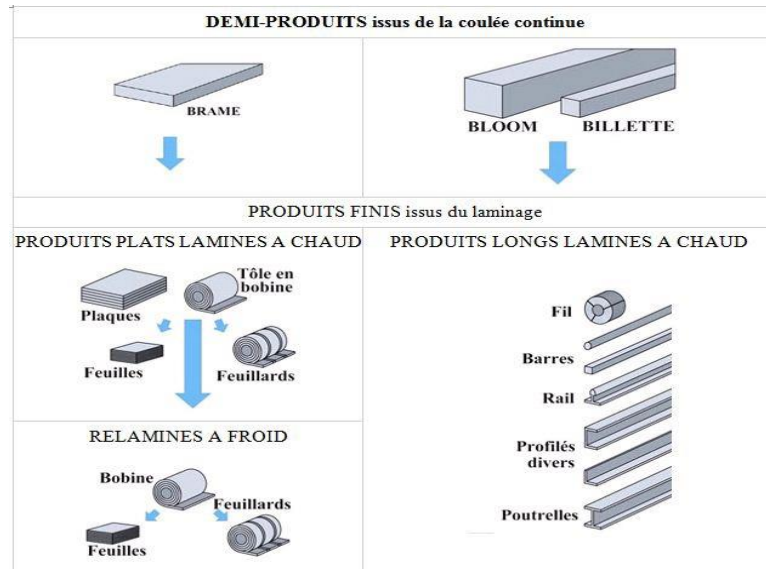
Il existe deux procédés pour l'élaboration de l'acier :

*Procédé « **BESMER** » on obtient un acier de qualité courante.

*Procédé « **MARTIN** » il utilise un four électrique, on obtient un acier de qualité meilleure.

A la fin de l'élaboration de l'acier, celui-ci est coulé en, soit :

- **Coulée en lingots** : L'acier est coulé et solidifié dans des moules en fonte, appelés les lingotières. Une fois la solidification est terminée, les lingots sont démoulés. Après un réchauffage à 1200°C, ils sont écrasés dans un gros laminoir pour être bramés, ébauches en produits plats (slabbing) pour futurs produits longs (blooming).
- **Coulée continue** : L'acier liquide est coulé dans une lingotière en cuivre, de section carrée, rectangulaire ou ronde (selon le demi-produit fabriqué). Le métal commence à former une peau solide dans la lingotière violemment refroidie à l'eau. Les demi-produits sont réchauffés dans des fours avant de passer à l'étape suivante (laminage). Ce procédé permet d'obtenir directement des demi-produits sans l'étape blooming-slabbing de la coulée en lingots.



2. Classification des aciers : Selon leurs teneur en carbone :

Acier	Teneur en C (%)	Domaine d'utilisation
Acier doux	0,05 – 0,3	Charpente, boulons
Acier mi-doux	0,3 – 0,6	Rails, pièces forgées
Acier dur	0,6 – 0,75	Outils
Acier extra-dur	0,75 – 1,2	Outils (poinçons)
Acier sauvage	1,2 – 1,7	Pièces spéciales

3. Les produits sidérurgiques :

Les produits sidérurgiques employés en construction métallique sont :

3.1 Les produits laminés à chaud : On distingue :

3.1.1 Des produits longs :

- les profilés en I : IPE ou IPN, ils sont utilisés comme éléments fléchis travaillant en flexion simple, telles les poutres principales ou mêmes secondaires
- les profilés en H : HEA, HEB, ou HEM : utilisés pour les éléments subissant des sollicitations composées tels les poteaux.
- Les profilés en U : UAP, ou UPN utilisés comme éléments secondaires, telles les lisses de bardage
- Les cornières L : utilisés dans les structures en treillis, et les éléments d'assemblages
- Les profilés en T : TPB, ou TPH : rarement utilisés en charpente métalliques sauf comme éléments secondaires d'assemblage.
- Les fers plats : utilisés pour la réalisation des P.R.S : Profilés Reconstitués Soudés (reconstitution d'une section en I ou H à partir de 3 plats), et comme éléments d'assemblage (platines d'assemblage poteau-poutre)
- Les fers ronds, ou carrés : peuvent être utilisés comme barres pour les structures en treillis ou des barres de contreventement sollicité en traction ou en compression.

3.1.2 Des produits plats : utilisés dans la construction industrielle tels : les silots, les coques

- les larges plats : sont des feuilles d'aciers laminés à chaud (brame laminé à chaud sur les 4 cotés afin d'obtenir un large plat)
- Les tôles : (brame laminé à chaud sur 2 cotés)

3.2 Les produits façonnés à froid :

Sont des produits obtenus par profilage à froid à partir des tôles (mince), se caractérise par une faible épaisseur, et des formes élaborées, il existe :

Les profilés : utilisés comme éléments secondaires

Les tôles lisses : en forme ondulées, ou nervurées, utilisées comme couvertures, toits, bardage, ou coffrage perdu pour les planchers mixtes

Les tôles à relief : exemple : la tôle striée à relief en nid d'abeille, peuvent être utilisé en couverture, marches d'escaliers.

Les profilés tubulaires : il y a 3 types, le tube circulaire, carré, ou rectangulaire, c'est des plats étirés à froid puis roulés selon la forme désirée.

4. Les contraintes résiduelles : Sont d'origine mécanique, ou thermique, les contraintes thermiques se présentent dans les pièces :

*Laminées à chaud

*Assemblées par soudure

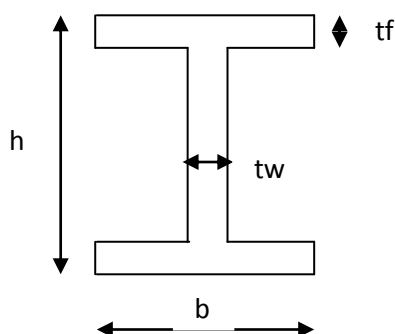
*Découpées au chalumeau

Les contraintes mécaniques sont généralement dues à un dressage à froid des éléments afin de les rendre rectilignes après avoir subis des déformations durant le stockage ou même pendant la transportation)

5. Tolérance de laminage :

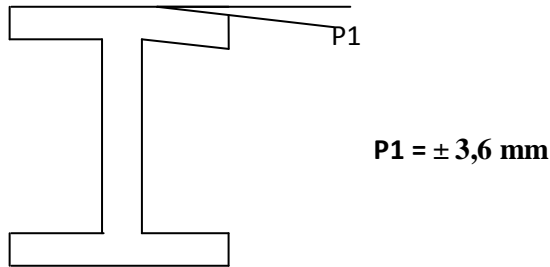
Les calculs de résistance sont établis sur la base des sections théoriques parfaites des profilés hors les sections réelles obtenues après laminage représentent quelques défauts :

5.1 Défauts de dimensions :

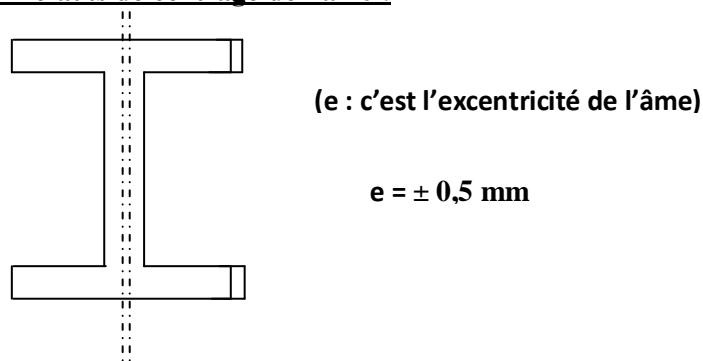


Section théorique	Section réelle
h = 300 mm	h = 300 ± 3 mm
b = 150 mm	b = 150 ± 3 mm
tf = 10,5 mm	tf = 10,5 ± 1 mm
tw = 7,1 mm	tw = 7,1 ± 1 mm

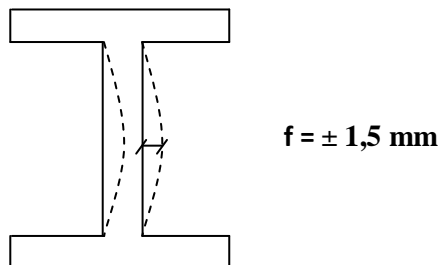
5.2 Défauts d'équerrage :



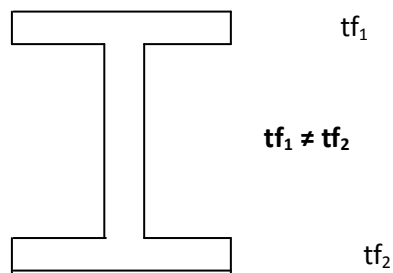
5.3 Défauts de centrage de l'âme :



5.4 Défauts d'incurvation de l'âme :



5.5 Défauts de symétrie :



Ces défauts géométriques entraînent une diminution de l'air de la section du profilé, par conséquence celle de l'inertie et donc accentuent les déformations, et provoque des moments parasites.

Pour tenir compte de ces défauts on doit soit, faire un calcul avec des incertitudes qui est très compliqué ou bien majorer les charges qui est la solution la plus adoptée.

6. les essais de contrôle des aciers : il y a deux familles d'essais :

6.1 Les essais métallographiques (essais non destructifs) :

- * La macrographie : c'est d'examiner une pièce en acier à l'œil nue
- * La micrographie : c'est d'examiner une pièce en acier à l'aide d'un microscope
- * La radiographie : c'est d'examiner l'acier en laboratoire en utilisant les rayons X, ou sur chantier par un Ultrason.

Le but c'est d'avoir des informations qualitatives sur la composition chimique des aciers, ainsi sa structure cristalline.

6.2 Les essais destructifs : (dureté, résilience, et traction)

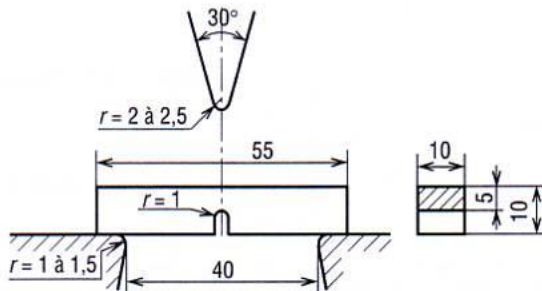
6.1.1 Essai de dureté : il étudie la pénétration d'une bille ou d'une pointe et définit en suite le degré de dureté de l'acier, afin de trouver une relation empirique entre la résistance de la pièce f_u et H_b , le diamètre de la bille/pointe, et h la profondeur de la déformation.

$$f_u = \frac{H_b \cdot h}{3}$$

6.1.2 Essai de résilience : (flexion par choc) : il mesure l'énergie élaborée par une éprouvette lors de sa rupture. Cette énergie permet de caractériser la ductilité de l'acier et sa sensibilité à la rupture fragile de l'acier en fonction de la température, elle sert de référence pour définir la qualité de l'acier

Caractéristiques de l'éprouvette et de sa position sur la machine d'essai

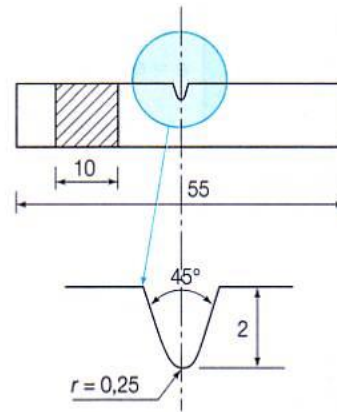
• **KCU**



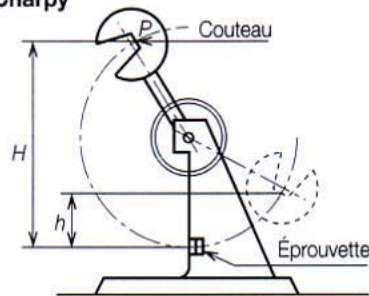
- Éprouvette carrée 10 × 10, longueur 55 cm.
- Écartement des appuis 40 mm.
- Profondeur de l'entaille 5 mm.
- Section rompue 0,5 cm².

Les modifications des conditions d'essai donnent des résultats différents qui ne peuvent en aucun cas être comparés.

• **KCV**



Mouton Charpy



- Énergie initiale
 $W_i = Mg \times H = 294 \text{ joules}$
 (normalisée)
- Énergie résiduelle
 $W_r = Mg \times h$
- Énergie absorbée
 $W = W_i - W_r$
 $= (Mg \times H) - (Mg \times h)$
 $= Mg (H - h)$

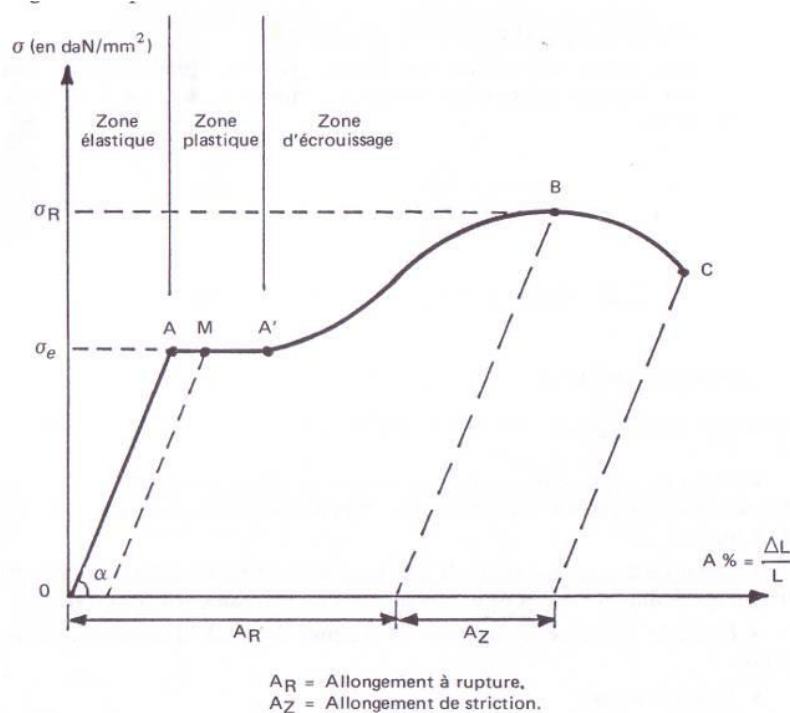
$$KCU \text{ J/cm}^2 = \frac{Mg (H - h)}{S}$$

← Énergie absorbée
 ← Section rompue (cm²)

W en J
 M en kg
 g = 9,81 m/s²
 h en m

6.1.3 Essai de pliage: Il permet d'apprécier la ductilité de l'acier et son aptitude au formage à froid. Il consiste à imposer à un échantillon de métal, dans des conditions spécifiées, un pliage jusqu'à un angle requis (en général 180°). On inspecte ensuite les tranches et surtout la face en extension. Pour une bonne aptitude au pliage à froid la face en extension ne doit pas en principe présenter de fissures, gerçures, ni déchirures.

6.1.4 Essai de traction: on sollicite une éprouvette en traction uni-axiale jusqu'à la rupture pour déterminer ses caractéristiques mécaniques. On obtient un diagramme effort-déformation.

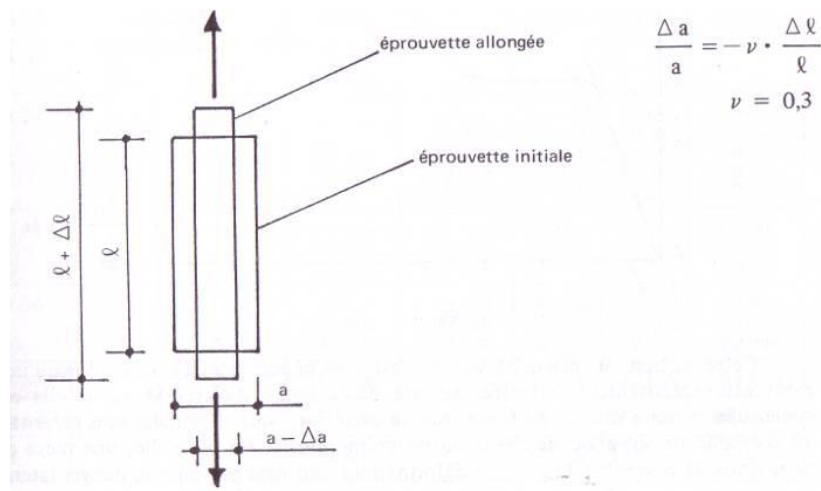


- OA: zone rectiligne pour laquelle il y a proportionnalité entre la déformation et l'effort appliqué. C'est une zone élastique réversible
- AA': palier horizontal, traduisant un allongement sous charge constante. Il y a écoulement du matériau, c'est la zone plastique.
- A'B: la charge croît de nouveau avec les allongements jusqu'au point B. si l'on décharge l'éprouvette dans la zone plastique A'B on constate un allongement rémanent; si on la recharge, on constate un comportement élastique jusqu'à la charge précédente: on a augmenté la limite d'élasticité, le métal a été écroui.
- BC: l'allongement continue, bien que la charge soit décroissante, jusqu'au point C où il y a rupture. Dans cette phase il y a striction: la déformation plastique est localisée dans une faible portion de l'éprouvette et n'est donc plus homogène.

On mesure ainsi:

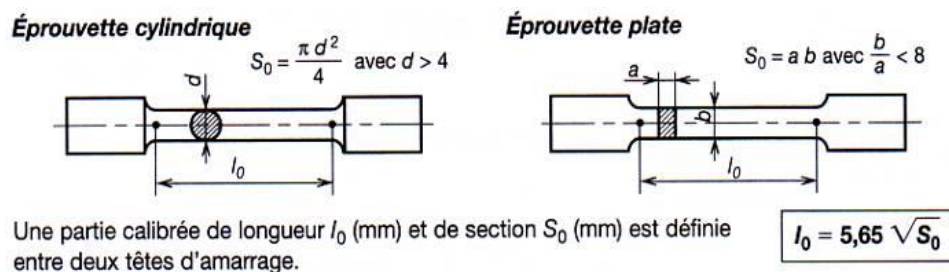
- f_y limite d'élasticité, point A. conventionnellement cette limite élastique est définie comme la contrainte correspondant à un allongement rémanent de 0.2%.
- f_u résistance ultime à la traction, point B
- E module d'élasticité longitudinale de l'acier (pente de OA), $E = \text{tga} = \sigma / A$
- Le coefficient de Poisson ν
- G module d'élasticité transversale, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

- A_r % allongement à la rupture, correspondant à la déformation mesurée entre l'état initial et l'état final de rupture



Le palier de ductilité AA' représente une réserve de sécurité, grâce au phénomène d'adaptation plastique: si une pièce est sollicitée au delà de la limite élastique, elle dispose de ce palier pour se décharger dans les zones avoisinantes. Plus la teneur en carbone augmente, et plus le palier de ductilité se raccourcit et plus l'allongement à la rupture diminue, diminuant ainsi la sécurité, car les pièces risquent de périr par rupture brutale, sans aucun signe prémonitoire (grandes déformations). Voilà pourquoi seuls les aciers doux (à faible taux de carbone) sont autorisés en construction métallique.

Eprouvettes normalisées:



Caractéristiques mécaniques de l'acier:

- Module d'élasticité longitudinale: $E=2.1 \cdot 10^6$ DaN/cm²
- Coefficient de poisson: $\nu=0.3$
- Coefficient d'élasticité transversale: $G=8.1 \cdot 10^5$ DaN/cm²
- Dilatation: $\lambda=11 \cdot 10^{-6}$
- Masse volumique: $\rho=7850$ DaN/m³

Pour comparaison le béton a une masse volumique de 2400 DaN/m³

7 . Caractéristiques des aciers normalisés :

Les aciers utilisés dans les constructions métalliques sont réglementés par la norme EN 10025.

Cette norme définit des nuances qui correspondent à leurs caractéristiques mécaniques f_y , et f_u

Exp : S 235 : c'est l'acier de limite élastique $f_y=235$ MPa

Nuances d'acier	Epaisseur t (mm)				Allongement à la rupture ϵ_r (%)
	$t \leq 40$ mm		$40 < t < 100$		
	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	
S235	235	360	215	340	26
S275	275	430	255	410	22
S355	355	510	335	490	22