Le Matériau Acier

1) Elaboration de l'acier :

On distingue deux principaux modes pour la fabrication de l'acier : La filière fonte et aciérie à oxygène et la filière ferraille et four électrique

1.1) La fabrication à partir de la fonte

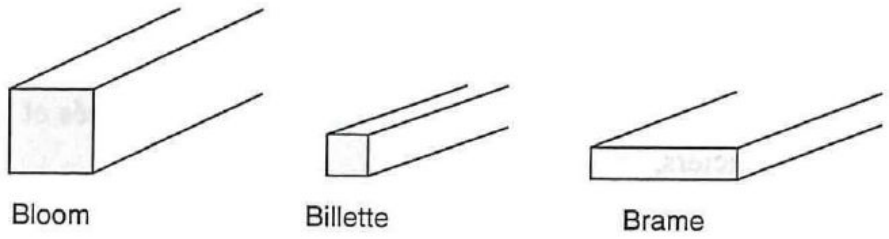
La première phase consiste à fabriquer la fonte à partir d'un mélange de minerai de fer, de coke et de chaux qu'on dépose par couches successives dans un haut fourneau.
L'injection d'un courant d'air chaud (1200°C) permet de réduire les oxydes et la libération du métal pur qui se combine avec le carbone pour former la fonte (3 à 4 % de carbone et 1 à 2 % d'éléments non ferreux).
Ensuite la fonte liquide est introduite dans le convertisseur où est soufflé de l'oxygène pur afin d'éliminer un certain pourcentage de carbone, du silicium et du phosphore.
Ce procédé permet d'avoir des aciers d'usage général qui présentent une bonne soudabilité.

1.2) La fabrication à partir de la ferraille :

Ce procédé, de plus en plus utilisé, consiste à recycler les matériaux métalliques. Après la préparation de la ferraille, celle-ci est introduite dans un four à électrodes où elle est fondue pour obtenir de l'acier.

1.3) Mise en forme :

Une fois le processus d'affinage de l'acier est achevé, on coule le métal en fusion dans un moule sans fond en cuivre refroidi à l'eau. Lors de son passage, il se solidifie et ressort de manière continue sous forme de barres carrées ou rectangulaire selon la forme du moule.
Ce processus est appelé la coulée continue. Ensuite des chalumeaux sectionnent les barres à la longueur voulue.
Les demi-produits obtenus à la fin de cette opération sont classés en 3 catégories :
- le bloom
- la billette
- le brame



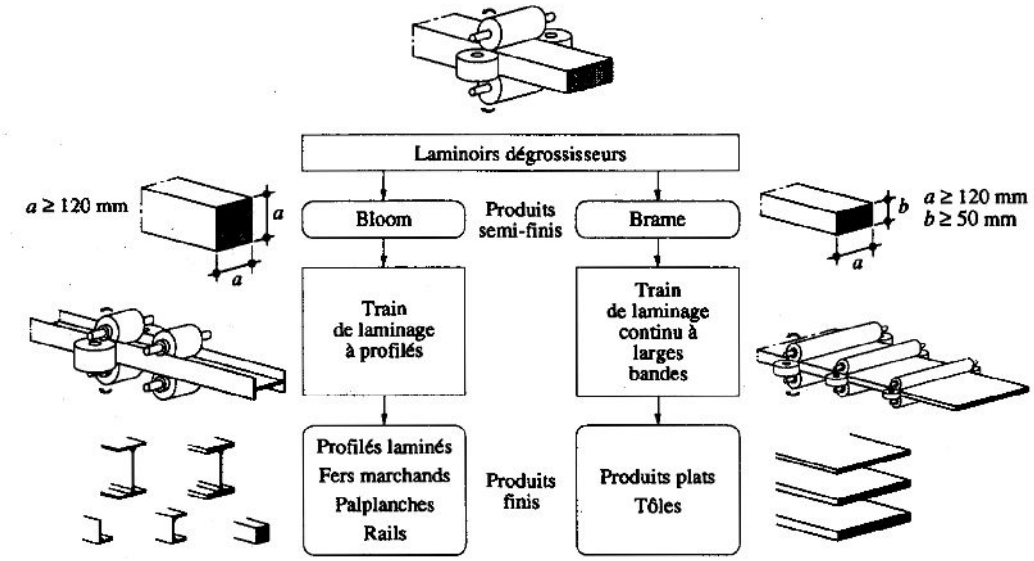
2) Les produits finis :

La forme définitive est obtenue par laminage à chaud ou à froid :

- Le laminage à chaud permet d'obtenir des produits longs (poutrelles, rails, barres) et des produits plats (plaques et tôles)
- Le laminage à froid s'applique aux produits plats issus du laminage à chaud et pour lesquels on désire diminuer l'épaisseur.

2.1) Produits obtenus par laminage à chaud :

Le laminage à chaud consiste à étirer et écraser le métal préchauffé (environ 1000°C) afin de lui donner les dimensions et les formes souhaitées. On fabrique ainsi des produits longs (poutrelles, rails, barres) à partir des billettes et des blooms et des produits plats (plaques et tôles) à partir des brames.

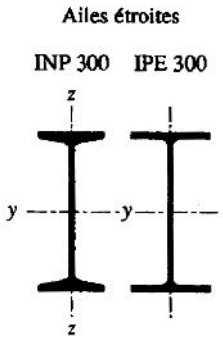


2.1 .1) Les produits longs :

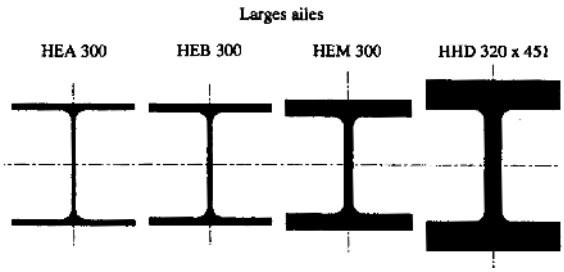
On distingue :

a) ***Les profilés en double té à ailes étroites :*** Le moment d'inertie I_z de ces sections est petit vis-à-vis de leur moment d'inertie I_y. Leur poids linéaire est relativement faible. Ils sont utilisés principalement comme éléments fléchis.

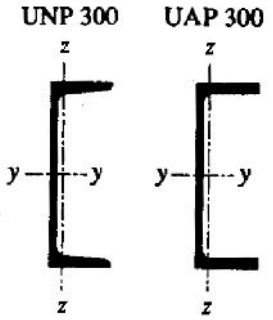
On distingue la série IPE (dont l'épaisseur des ailes est constante) et la série IPN (dont l'épaisseur des ailes est variable). La hauteur des sections varie de 80 mm à 750 mm pour les IPE et de 80 à 600 mm pour les IPN.



b) ***Les profilés en double té à larges ailes :*** Le moment d'inertie I_z de ces sections est plus grand que celui des profilés à ailes étroites. Ces profilés peuvent être sollicités en flexion, flexion composée ou soumise à un effort normal. On distingue les sections : HEA, HEB et HEM. On trouve aussi des profilés à ailes renforcées : les profilés HHD conçus spécialement pour la réalisation des colonnes de bâtiments.

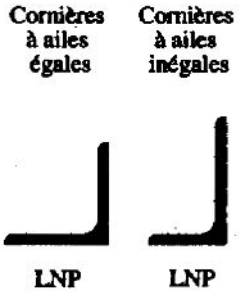


c) ***Les profilés en U :*** Ces profilés sont souvent utilisés comme éléments secondaires. On distingue les UPN dont les faces internes des ailes sont inclinées et les UAP et les UPE dont l'épaisseur des ailes est constante.

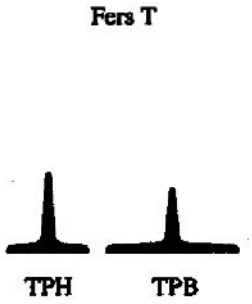


d) **Fers marchands** : ils comprennent ;

- Les cornières à ailes égales et inégales LNP qui sont surtout utilisées pour la réalisation des treillis et des contreventements.

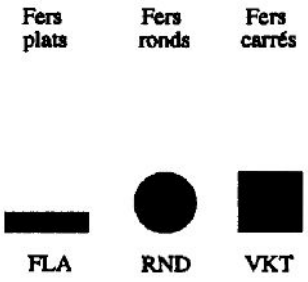


- Les fers T à âme haute TPH et les fers T à semelle large TPB. Ils sont employés comme éléments secondaires.



- Les fers plats : utilisés pour raidir les plaques

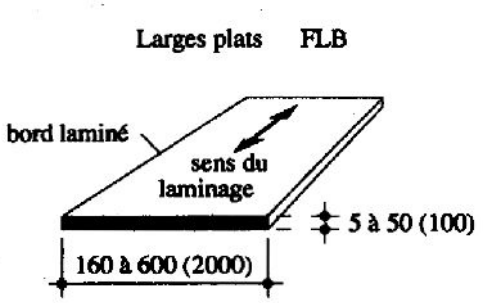
- Les fers ronds et les fers carrés : utilisés comme barres de treillis ou de contreventement.



2.1 .2) Les produits plats :

On distingue essentiellement les larges-plats et les tôles.

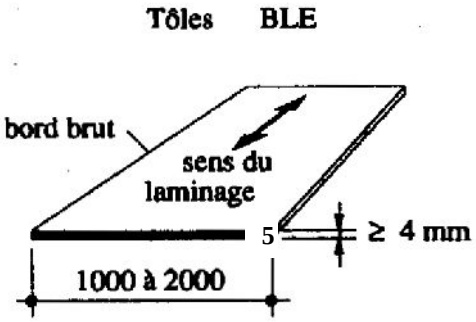
a) Les larges-plats sont laminés à chaud sur les quatre faces. Puisqu'ils sont laminés selon la longueur alors ces produits ont un sens préférentiel (meilleure résistance en long qu'en travers). En général, leur largeur varie entre 160 et 600 mm et leur épaisseur entre 5 et 50 mm.



b) Les tôles sont laminées à chaud seulement sur les grandes faces. Elles sont classées selon les normes en 3 catégories :

- les tôles fortes dont l'épaisseur $t \geq 5$ mm
- les tôles moyennes : $3 \leq t < 5$ mm
- les tôles fines : $t < 3$ mm

L'emploi des tôles fines est limité en construction métallique à cause de leur souplesse et le risque de corrosion vu leur faible épaisseur.



2.2) Les produits façonnés à froid :

Le laminage à froid consiste à étirer (traction) et écraser (compression) à froid et en continue une tôle laminée à chaud qui a été préalablement décapée. Cette opération s'effectue grâce à des cylindres en rotation.

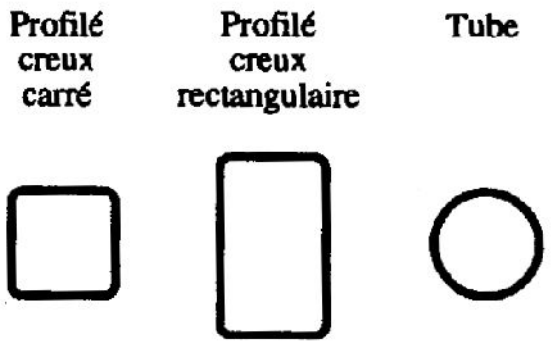
Après laminage à froid, le métal devenu cassant, subit un recuit de recristallisation pour lui redonner ses qualités de plasticité indispensables au formage de la tôle et pour nettoyer la surface de la tôle des résidus d'huile de laminage.

2.3) Les profilés tubulaires:

Dans cette série de profilés, il existe des tubes carrés, des tubes rectangulaires, des tubes ronds et elliptiques.

On distingue les tubes sans soudure et les tubes soudés. Les tubes sans soudure sont obtenus par laminage à chaud. Les autres sont obtenus à partir de tôles roulées à froid ensuite soudées par des procédés automatiques.

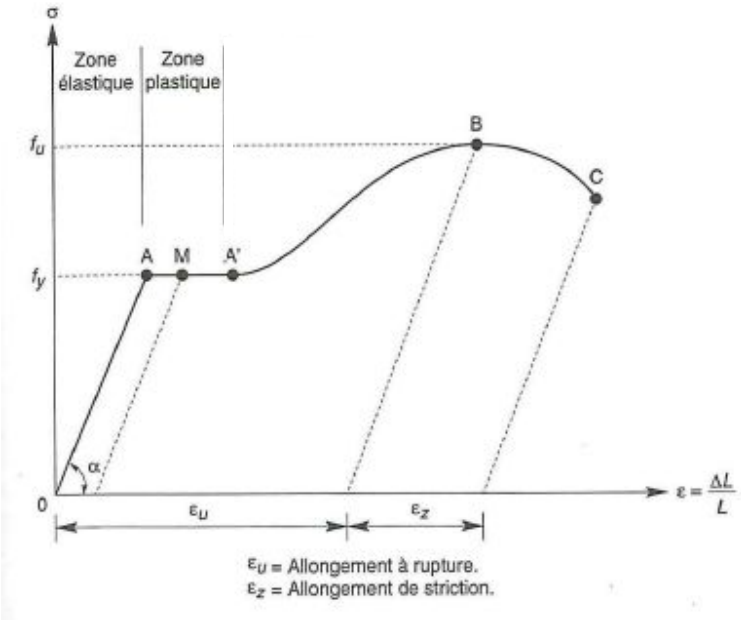
Les profilés tubulaires sont de plus en plus utilisés en constructions métalliques surtout pour la réalisation des treillis. Ces produits sont plus chers que les autres profilés, mais ils présentent un avantage par rapport au flambage et ils ont un meilleur aspect esthétique.



3) Caractéristiques de l'acier :

3 .1) Caractéristiques physiques et mécaniques :

L'acier est un matériau ferreux qui contient entre 0,1 et 1 % de carbone et quelques éléments d'addition en divers pourcentages (manganèse, silicium, chrome, nickel, titane).
Vu la densité assez élevée de l'acier (γ = 7850 kg/m^3), il est recommandé d'éviter tout excès de matière afin d'aboutir à une bonne conception.
Certaines caractéristiques mécaniques d'un acier telles que sa résistance à la traction, limite d'élasticité, allongement à la rupture sont déterminées par l'essai de traction sur éprouvette. A partir de cet essai on établit le diagramme contrainte-déformation de l'acier.



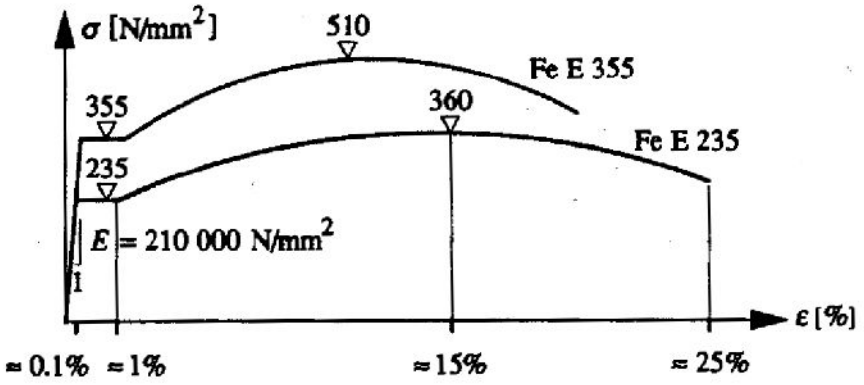
Les valeurs des principales caractéristiques mécaniques qu'on peut déterminer de ce diagramme sont :

- f_y : limite d'élasticité qui dépend de l'épaisseur du produit (les produits minces ont une limite d'élasticité supérieure à celle des produits de forte épaisseur)
- f_u : résistance à la traction
- ε_r : allongement à la rupture

- *E :* module d'élasticité. E =210 000 N/mm2
- ν *:* coefficient de contraction latérale (coefficient de Poisson) ν=*0,3*
- G : module de glissement (module d'élasticité transversal) G = E/2(1+ν) = 81 000 N/mm2

3 .2) Caractéristiques des aciers normalisées :

En construction métalliques, les aciers sont classés par les normes selon leurs caractéristiques mécaniques. On désigne ainsi un acier par sa nuance et sa qualité. La nuance d'acier est définie par sa limite d'élasticité f_y, un acier ayant une valeur nominale de la limite d'élasticité f_y = 235 N/mm2 est appelé, selon les normes européennes, acier S235 (S pour structural steel). Généralement on se limite à trois nuances principales en construction : S235 (la plupart des cas), S275 et S355 (plus rarement, par exemple pour les ouvrages d'art).



Diagrammes contrainte-déformation spécifique des aciers Fe E 235 et Fe E 355.

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

3 .3) Résistance aux températures élevées (incendie) :

Bien qu'il soit incombustible, l'acier a une mauvaise réputation lors d'un incendie. En effet sa résistance diminue lorsque la température augmente ce qui constitue un risque d'effondrement de la structure lors d'un incendie. En plus, il facilite la propagation du feu par conduction de la chaleur. Les structures métalliques peuvent être protégées par des peintures intumescentes afin d'augmenter leur temps de résistance au feu.
Ce sont des produits thermoplastiques qui gonflent sous l'action de la chaleur pour former une mousse microporeuse isolante appelée « meringue ». Cette mousse protège les supports des flammes, limite la propagation de l'incendie et retarde l'élévation de la température des matériaux.
On peut aussi prévoir des mesures de protection lors de la conception de la sécurité d'un bâtiment en adoptant trois concepts :

- Le concept structural (compartimentage du bâtiment)

- Le concept de surveillance (systèmes automatiques de détection et de transmission d'alarme vers un service d'intervention adéquat)
- Le concept d'extinction automatique

3 .4) Résistance à la corrosion :

La corrosion de l'acier constitue un risque majeur à la pérennité des ouvrages en acier. La protection contre ce phénomène naturel est incontournable lors de la réalisation d'un ouvrage métallique.
Il existe plusieurs techniques de protection des surfaces des éléments en acier. Parmi elles on peut citer :

- Les revêtements protecteurs appliqués par peinture : Ce traitement débute par une phase indispensable de nettoyage par sablage. Ensuite on applique une ou plusieurs couches de peinture de protection contre la corrosion (peinture anti-rouille)
- Les revêtements protecteurs appliqués par trempage : galvanisation à chaud : Ce procédé débute par un décapage chimique réalisé par immersion des pièces métalliques dans un bain d'acide. Ensuite, ces pièces sont complètement trempées dans un bain de zinc en fusion.