

1 LE MATÉRIAU ACIER

L'acier est un matériau issu de la réduction du minerai de fer ou du recyclage de ferrailles. Le fer est un élément très répandu dans l'écorce terrestre dont il représente 5 % mais on ne le trouve pas à l'état pur. Il est combiné avec d'autres éléments et mêlé à une gangue terreuse. La réduction de cet oxyde nécessite l'emploi d'un combustible : du charbon de bois jusqu'au XVIII^e siècle, puis du charbon de terre. Le métal ainsi obtenu est de la fonte qui contient 96 % de fer et 3 à 4 % de carbone et à partir de laquelle on produit de l'acier.

L'utilisation de l'acier dans la construction remonte à la fin du XIX^e siècle, bien que les métaux ferreux soient connus depuis environ quarante siècles. Auparavant on employait la fonte qui peut se mouler facilement mais se révèle cassante et impossible à forger. Il faut donc l'assembler à l'aide de boulons, de vis ou de clavettes. On est progressivement passé, à partir des années 1840, de l'usage de la fonte à celui du fer puddlé, la fonte étant affinée industriellement pour obtenir du fer pur, plus souple et plus facile à laminier, à percer et à forger. Le principe des rivets posés à chaud a permis de disposer d'un mode d'assemblage universel et facile à mettre en œuvre.

C'est une cinquantaine d'années plus tard que l'acier a pu être produit de façon industrielle et s'imposer ainsi à partir des années 1890 comme le matériau de la construction métallique, avec des caractéristiques physiques bien supérieures au fer grâce à la présence de traces bien dosées de carbone et d'autres éléments chimiques. L'assemblage s'est d'abord fait avec des rivets, puis, à partir des années 1930, par la soudure ou le boulonnage. La sidérurgie n'a cessé de perfectionner les qualités de ses aciers. La masse volumique de l'acier est de 7850 kg/m³. Un mètre cube d'acier pèse donc près de 8 t.

Les familles d'acier

On distingue les aciers dits aciers au carbone des aciers inoxydables. L'acier au carbone est aujourd'hui fabriqué par deux grandes filières d'importance à peu près égales : la filière fonte, où l'on réduit du minerai de fer dans un haut-fourneau avant passage au convertisseur pour transformer la fonte en acier, et la filière électrique, où l'on traite directement des ferrailles (voir « La fabrication de l'acier » en annexe). Dans les deux cas l'acier est « mis à nuance » dans une station d'affinage. L'acier inoxydable est quant à lui produit uniquement à partir de la filière électrique.

Les aciers de construction contiennent en général de 0,1 à 1 % de carbone. Les additions sont variables : manganèse, silicium, molybdène, chrome, nickel, titane, tungstène... En fonction de ses composants lors de la « mise à nuance » et des traitements thermiques subis par les alliages lors de leur élaboration, l'acier aura des résistances mécaniques variables. Il existe plus de 3 000 nuances d'acier.

Exemples de types d'acier

- Acier inoxydable austénitique : acier allié avec 17 % minimum de chrome, 7 % minimum de nickel, plus éventuellement du molybdène, du titane, du niobium...
- Acier inoxydable ferritique : acier allié avec 17 % à 28 % de chrome, 0,1 % maximum de carbone, éventuellement du molybdène...
- Acier inoxydable martensitique : acier allié avec 12 à 17 % de chrome, 0,1 à 1 % de carbone, éventuellement du molybdène, du nickel, du soufre...
- Acier autopatinable (Corten, Indaten, Paten...) : acier faiblement allié avec un faible pourcentage de cuivre, du nickel et du chrome.

Les formes de produits

Pour obtenir leur forme de finition et leurs caractéristiques mécaniques les aciers courants dans la construction sont :

- laminés : ce sont les produits les plus couramment utilisés dans la construction métallique. Les demi-produits sont déformés successivement au travers des laminoirs constitués par des cylindres qui compriment et étirent la masse relativement malléable en raison de sa température encore élevée. L'étape ultérieure possible est le laminage à froid. Ce procédé est principalement utilisé pour façonner des tôles minces qui sont ensuite galvanisées et/ou pré-laquées ;
- étirés ou tréfilés : par étirage ou tréfilage (à chaud ou à froid) on amène un produit déjà laminé à une section plus réduite et à une plus grande longueur pour former des barres ou des fils.

On distingue dès lors :

- les produits longs (poutrelles, palplanches, câbles, fils, ronds à béton...), obtenus par laminage à chaud, étirage ou tréfilage ;
- les produits plats (tôles, bardages, profils minces, profils creux...) qui subissent en général un laminage à froid supplémentaire, à l'exception des tôles de forte épaisseur.

Il existe aussi d'autres procédés moins courants de fabrication de pièces telles que le forgeage, le moulage...

La classification des produits

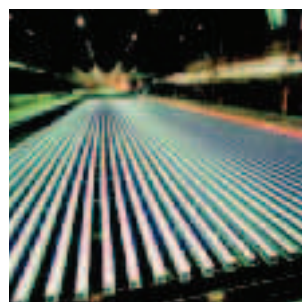
Étant donné la vaste gamme de produits en acier offerte aux concepteurs, la nécessité d'une réglementation des produits sidérurgiques apparaît évidente, concernant le produit (forme, dimensions, aspect et état de surface) mais aussi sa mise en œuvre. Actuellement, l'heure est à la transition des normes nationales aux normes européennes.

La norme européenne comporte toujours les deux lettres EN (EuroNorme) précédées pour chaque pays par celles son sigle national (par exemple : NF pour la France, DIN pour l'Allemagne, BS pour la Grande-Bretagne) ; viennent ensuite de un à cinq chiffres.

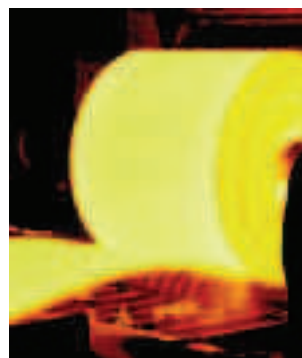
La norme indique les exigences techniques, les procédés d'élaboration, l'état de livraison, la composition chimique, les caractéristiques mécaniques et technologiques, l'état de surface.

Nous retiendrons deux types de normes :

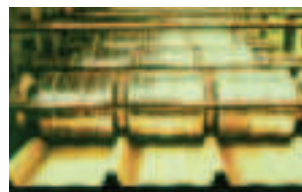
- les normes définissant les nuances d'acier ;
- les normes spécifiques aux produits accompagnées de leur tolérance.



Laminage de poutrelles.



Laminage à chaud d'une bobine d'acier.

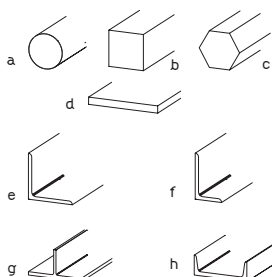


Laminage à froid d'un bardage.

Exemples de normes françaises

- NF EN 10025 : régit la fabrication des produits laminés à chaud en acier de construction.
- NF EN 10088 : pour les aciers inoxydables d'usage général.
- NF EN 10034 : sur les tolérances dimensionnelles des poutrelles IPE.

Les produits longs



Laminés marchands :

- a : rond plein
- b : carré plein
- c : hexagone
- d : plat
- e : cornière à ailes égales
- f : cornière à ailes inégales
- g : fer en T
- h : petit U ou UPN.

On distingue plusieurs sous-familles de produits longs. Certains sont directement fabriqués dans les usines sidérurgiques et sont disponibles en stock sur catalogue.

Les laminés marchands

Ce sont les ronds, les carrés, les ronds à béton, les plats, les cornières (L), les fers en T, les petits U... Tous ces produits ont une section pleine.

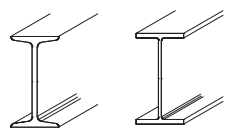
Les poutrelles

Les poutrelles laminées peuvent avoir différentes sections, en I, en U, ou en H. Elles conviennent aussi bien pour les poteaux que pour les poutres et sont fabriquées en différentes nuances d'acier (en général 235 ou 355 Mpa), y compris d'acier à haute limite d'élasticité (460 Mpa). Les longueurs maximales varient de 18 à 33 m suivant le profilé. Il existe différentes gammes suivant les pays : européenne, britannique, américaine, japonaise...

Les poutrelles en I

Les poutrelles en I sont de deux sortes :

- IPN : poutrelles en I normales. Les ailes sont d'épaisseur variable, ce qui entraîne des petites difficultés pour les attaches ;
- IPE : poutrelles en I européennes. Les ailes présentent des bords parallèles, les extrémités sont à angles vifs (seuls les angles rentrants sont arrondis). Les IPE sont un peu plus onéreux, mais plus commodes et sont d'usage courant.



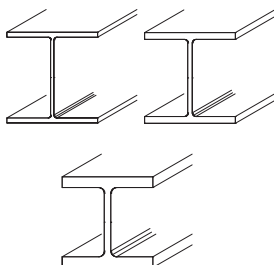
Poutrelle IPN
Les hauteurs vont de 80 à 600 mm.

Poutrelle IPE
Les hauteurs vont de 80 à 750 mm.

Les poutrelles en U

Il existe aussi deux sortes de profilés, les UPN, les UAP et les UPE. De la même façon, les UPE présentent des ailes à bords parallèles et tendent à supplanter les UPN, moins commodes à mettre en œuvre. Les hauteurs vont de 80 à 400 mm.

Poutrelles HEA, HEB et HEM.



Les poutrelles HE (gamme européenne)

Elles se décomposent en trois séries : HEA, HEB et HEM, suivant l'épaisseur relative de leur âme et de leurs ailes. Leur section s'inscrit approximativement dans un carré (la semelle a une largeur sensiblement égale à la hauteur du profil jusqu'à 300 mm de hauteur). Les ailes présentent toujours des bords parallèles. Les hauteurs varient de 100 à 1100 mm (jumbos). Les profils HEA, les plus légers, présentent le meilleur rapport performance/poids en général et sont donc les plus utilisés. La progression des trois séries est intéressante techniquement et architecturalement pour des composants en pro-

longement : poteaux d'un bâtiment à étages dont la section peut varier progressivement en fonction des efforts. Du fait de l'utilisation des mêmes trains de laminage, les trois profils de même hauteur présentent la même dimension intérieure entre ailes. Les épaisseurs ne varient que vers l'extérieur. Il existe aussi des poutrelles HL (à très larges ailes), HD (poutrelles-colonnes) et HP (poutrelles-pieux).

Les demi-poutrelles

Le découpage des poutrelles I et H suivant l'axe longitudinal a de multiples utilisations : sections T, membrures de poutres...

Les poutrelles dissymétriques

Ce sont des poutres reconstituées composées soit d'un T et d'une large semelle inférieure soudée (dénommées IFB, pour Integrated Floor Beam), soit formées d'un H dont la semelle inférieure a été élargie par adjonction d'un plat (dénommée SFB, pour Slim Floor Beam). Grâce à leur aile inférieure élargie, elles sont particulièrement adaptées pour la pose de planchers préfabriqués, de coffrages en acier permettant d'incorporer la dalle dans la hauteur de la poutrelle, soit encore pour la pose de dalles alvéolaires en béton précontraint.

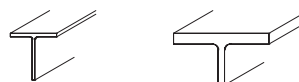
Les palplanches

Ces produits sont réalisés directement au laminage ou à partir de tôles profilées. La section en U ouvert est la plus courante et les palplanches sont solidarisées les unes aux autres par un joint à double recouvrement. On utilise des parois en palplanches pour contenir la poussée de talus, pour la construction de murs de quais et de ports, la protection des berges, la mise en place de blindages de fouilles et de batardeaux, l'édification de culées de pont, des parois de parkings souterrains...

Câbles et fils machine

Le fil machine est obtenu par tréfilage et étirage. En construction, il sert à fabriquer des câbles. Les fils en inox peuvent aussi être tressés ou tissés pour fabriquer des mailles de dessins variées, employées comme parements, écrans, garde-corps, faux-plafond,...

Demi-poutrelles IPE et HE.



Poutrelle dissymétrique IFB.



Palplanches.

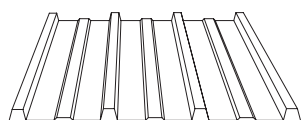
Exemple de fils d'inox tissés.



Les produits plats

Les tôles et les larges plats

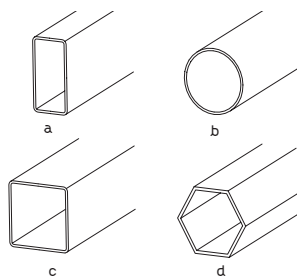
Les tôles sont fabriquées sous forme de bobines. Elles sont livrées en largeurs standards ou à la demande, mais les largeurs sont en général limitées à 1 800 mm. L'épaisseur ne dépasse pas 16 à 20 mm pour les tôles laminées à chaud et 3 mm pour les tôles laminées à froid. Celles-ci peuvent être mises en forme par profilage, pliage ou emboutissage.



Profil nervuré.

Les tôles nervurées

Ce sont des tôles minces que l'on nervure par profilage à froid à l'aide d'une machine à galets. Les tôles nervurées sont issues de bobines galvanisées et souvent prélaquées. Les applications concernent les produits d'enveloppe (bardage), de couverture (bac, support d'étanchéité) et de plancher (bac pour plancher collaborant ou à coffrage perdu), ainsi que les panneaux sandwich incorporant des matériaux isolants.



Profils creux :

- a : tube de section rectangulaire
- b : tube circulaire
- c : tube de section carrée
- d : tube de section hexagonale.

Les profils creux

Les tubes de construction sont appelés « profils creux ». Ils sont fabriqués en continu à partir de tôles minces ou moyennes repliées dans le sens de leur longueur. Les soudures sont longitudinales pour les profils creux de petits et moyens diamètres (jusqu'à 400 mm), hélicoïdales pour les diamètres plus importants jusqu'à 1 000 mm environ. Ils sont dans ce cas toujours ronds. Après soudage, la surépaisseur est rabotée pour obtenir une surface extérieure lisse.

Les profilés creux dits « de forme » sont en général formés à partir de tubes ronds : ils peuvent être carrés, rectangulaires, hexagonaux, elliptiques, voire demi-elliptiques. On fabrique aussi par extrusion des tubes sans soudure capables de plus fortes épaisseurs. Les longueurs standards sont de 6 à 15 m.

Les plaques

On parle de plaques lorsque l'épaisseur dépasse 20 mm. On peut obtenir des plaques jusqu'à 400 mm d'épaisseur et 5 200 mm de largeur. Les plaques sont principalement utilisées pour la grosse chaudronnerie ou pour les ouvrages d'art. Leur assemblage par soudure peut être complexe. Il existe aussi des plaques à épaisseur variable pour les ouvrages d'art.



Profils minces formés à froid : profil sigma, C, U et Z.

Les profils minces

Les tôles minces galvanisées (d'épaisseur inférieure à 5 mm) peuvent être profilées à froid pour réaliser des profils minces. De sections très diverses, les

profils minces sont utilisés en serrurerie, en menuiserie métallique et en ossatures légères : pannes de charpente, ossatures de murs ou de cloisons, de faux plafond... Légers et maniables, ils peuvent s'assembler par vis autotaraudeuses.

Les autres produits

Les pièces moulées

Il s'agit de pièces aux formes complexes qui sont difficilement réalisables par soudure et que l'on coule dans des moules réfractaires. Leur utilisation ne se justifie que par un effet de série ou par leur taille, comme des nœuds d'assemblage répétitifs.

Les pièces forgées

Cette technologie concerne les pièces pleines (bielles, poteaux...) de grandes dimensions qui sont obtenues par façonnage à chaud au moyen de presses hydrauliques de grande puissance.

Les pièces mécanosoudées

Ces pièces d'attache complexes sont composées à partir d'éléments standards (plats, cornières, profils...) soudés entre eux. Elles constituent une alternative économique aux pièces moulées.



Pièce moulée pour les poteaux de la gare TGV du plateau d'Arbois, près d'Aix-en-Provence, France.



Pied de poteau mécanosoudé.