

LES UNITÉS

Les unités du système de mesure et leurs symboles, obligatoires en France, sont définis par décrets publiés au Journal officiel. En ce qui concerne les unités de force et de contrainte, voici quelques précisions.

LES UNITÉS DE FORCE

L'unité est le newton, symbole : N.

Comme c'est une valeur petite, on utilise souvent le décanewton (daN) et le kilonewton (kN).

1 daN = 10 N, à peu près égal à 1 kilogramme-force des anciennes unités utilisées :

(1 Kgf = 9,81 N d'où 1 daN = 1,02 Kgf).

1 kN = 1000 N.

LES UNITÉS DE CONTRAINTE

L'unité est le pascal, symbole : Pa.

C'est la contrainte due à la force de 1 newton agissant sur une surface de 1 mètre carré.

Cette unité est très petite, c'est pourquoi on utilise le plus souvent en construction le mégapascal dont le symbole est : MPa.

1 MPa = 1 000 000 Pa = 1 N/mm²

De fait, actuellement, on utilise plutôt le rapport N/mm² ou daN/mm², probablement parce qu'il est plus conforme à nos habitudes de considérer la contrainte comme l'expression d'une force divisée par une section.

LE MATÉRIAU ACIER

Il n'existe pas un acier mais des aciers. Ils diffèrent notamment par leur composition chimique et par les différents traitements qu'ils subissent lors de leur fabrication (traitements thermiques par exemple).

Ces aciers présentent des caractéristiques particulières qui les rendent aptes à des utilisations et à des modalités de mise en œuvre très diverses.

Définition

Les aciers utilisés en construction métallique sont définis depuis mars 2005 par différentes normes européennes. Elles constituent les six parties de la norme NF EN 10025 :

- NF EN 10025-1 (mars 2005)
IdC A 35-501-1: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 1: conditions techniques générales de livraison;

- NF EN 10025-2 (mars 2005)
IdC A 35-501-2: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 2: conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés;

- NF EN 10025-3 (mars 2005)
IdC A 35-501-3: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 3: conditions techniques de livraison pour les aciers de construction soudables à grains fins à l'état normalisé/laminage normalisé;

- NF EN 10025-4 (mars 2005)
IdC A 35-501-4: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 4: conditions techniques de livraison pour les aciers de construction soudables à grains fins obtenus par laminage thermomécanique;

- NF EN 10025-5 (mars 2005)
IdC A 35-501-5: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 5: conditions techniques de livraison pour les aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique;

- NF EN 10025-6 (mars 2005)
IdC A 35-501-6: Produits laminés à chaud en aciers de construction - Partie 6: conditions techniques de livraison pour produits plats des aciers à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu.

Ces normes définissent différents aciers, caractérisés par :

1. leur composition chimique (inclut le *carbon equivalent value* ou CEV pour la soudabilité);

2. leurs caractéristiques mécaniques;
3. leurs caractéristiques technologiques (soudabilité, pliage, ...).

Des différentes caractéristiques définies dans les normes, celles qui nous intéressent le plus sont :

- R_m : la résistance limite à la traction exprimée en MPa (notée « f_u » dans les Eurocodes);

- R_e : limite d'élasticité minimale exprimée en MPa (notée « f_y » dans les Eurocodes);

- A : allongement après rupture en %.

Ces trois valeurs caractérisent la nuance de l'acier.

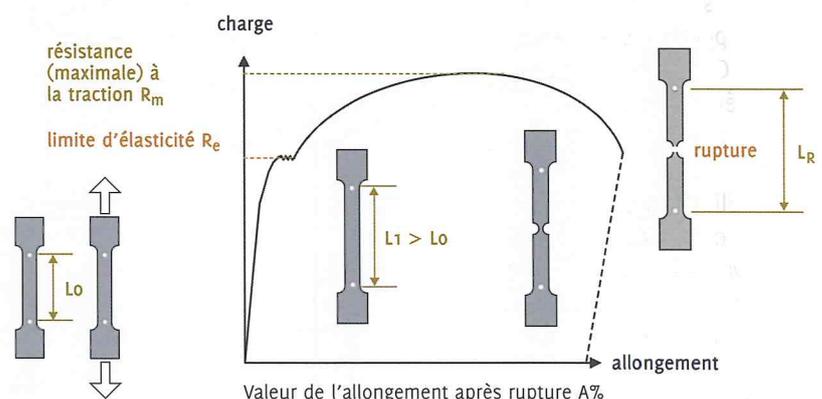


Fig. 1 : Courbe de traction $A = \frac{L_R - L_0}{L_0}$

ESSAI DE TRACTION

Ces caractéristiques sont déterminées par l'essai de traction. Pour réaliser cet essai, on utilise une éprouvette de traction normalisée. Cette éprouvette est montée sur une machine de traction et déformée à vitesse constante. Pendant l'essai, on mesure l'effort de traction et l'allongement de l'éprouvette (fig. 1).

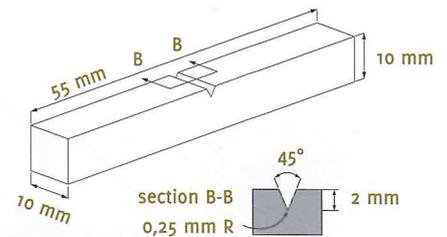
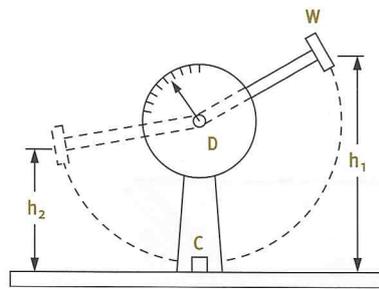


Fig. 2 : Essai de résilience

ESSAI DE RÉSILIENCE

Une autre caractéristique est indiquée dans la norme : la mesure de fragilisation de l'acier suivant la température. L'essai de résilience mesure l'énergie nécessaire pour casser une éprouvette dans laquelle on a fait une entaille (fig. 2).

L'essai de résilience (flexion par choc) consiste à rompre d'un seul coup de pendule, une éprouvette Charpy entaillée en son milieu. Le marteau du pendule, lâché d'une hauteur h_1 frappe l'éprouvette, la rompt et remonte jusqu'à une hauteur h_2 . La différence de hauteur $h = h_1 - h_2$ traduit l'énergie dépensée pour rompre l'éprouvette. Cet essai est réalisé aux températures suivantes : 20 °C, 0 °C, - 20 °C, etc. Il définit les qualités des aciers.

L'utilisation principale des essais de résilience est l'évaluation de la résistance à la rupture fragile des aciers à basse température.

Désignation d'un acier normalisé

La norme NF EN 10027 définit deux systèmes européens de désignation des aciers :

- une désignation symbolique ;
- une désignation numérique qui constitue une désignation simplifiée.

DÉSIGNATION SYMBOLIQUE

Pour les aciers de construction, le premier symbole est la lettre « S ». Le nombre de trois chiffres qui suit la lettre S indique la valeur minimale spécifiée de la limite d'élasticité (en MPa) pour la gamme d'épaisseur la plus faible : S235, par exemple. Ce nombre peut être suivi de symboles additionnels.

DÉSIGNATION NUMÉRIQUE

La désignation numérique d'un acier attribue à chaque nuance d'acier un numéro caractéristique. En lisant le nombre de gauche à droite :

- le premier chiffre qui est 1 signifie qu'il s'agit d'un acier ;
- le deuxième et le troisième chiffres constituent le numéro du groupe acier ;
- le quatrième et le cinquième chiffres forment un numéro d'ordre arbitraire attribué à chaque nuance dans le cadre de la norme produit.

LISTE DES SYMBOLES ADDITIONNELS

dans la norme NF EN 10025-2
(aciers d'usage courant en construction métallique)

- **essai de résilience :**
 - J** min. KV = 27 J
 - K** min. KV = 40 J
 - R** température essai = 20 °C
 - O** température essai = 0 °C
 - 2** température essai = - 20 °C
- **aptitude au formage à froid : C**
- **état de livraison :**
 - +N** laminage normalisant
 - +AR** brut de laminage

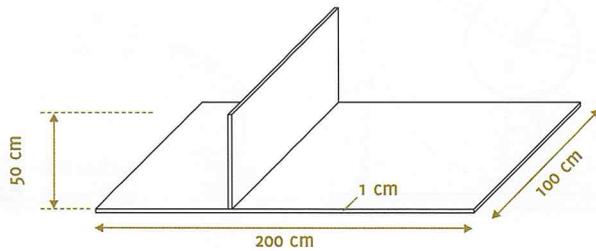


Fig. 3: Détermination rapide approchée du poids d'une pièce en acier

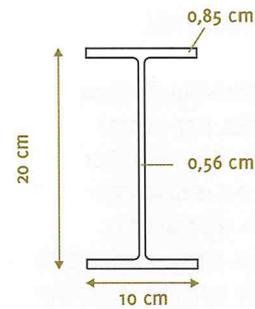


Fig. 4: IPE 200

Valeurs caractéristiques de calcul

VALEURS

Il convient que les valeurs nominales de propriété des matériaux, définies précédemment, soient adoptées comme valeurs caractéristiques dans les calculs. Il est exigé une ductilité minimale permettant l'allongement à la rupture supérieur à 15 %.

Les valeurs constantes quel que soit l'acier sont :

- la densité de l'acier : 7,85. Dans le cas des poutrelles, elle peut être arrondie à 8. Cette approximation est très proche de la réalité car la différence entre 7,85 et 8 est à peu près compensée par les arrondis de fabrication (congés) qui existent au raccordement de l'âme aux semelles ;
- le module d'élasticité longitudinale :
 $E = 21\,000 \text{ daN/mm}^2$
 (210 000 MPa) ;
- le module de cisaillement :
 $G = 8\,000 \text{ daN/mm}^2$ (80 000 MPa) –
 coefficient de Poisson
 $\nu = 0,3$;
- le coefficient de dilatation thermique linéaire
 $\varepsilon = 11 \times 10^{-6}$ par °C.

Détermination rapide approchée du poids d'une pièce en acier (fig. 3)

Section : $200 \times 1 + 50 \times 1 = 250 \text{ cm}^2$

Volume : $250 \times 100 = 25\,000 \text{ cm}^3$ ou 25 dm^3 (équivalent à 25 litres d'eau)

Poids de la pièce : $25 \times 8 = 200 \text{ daN}$

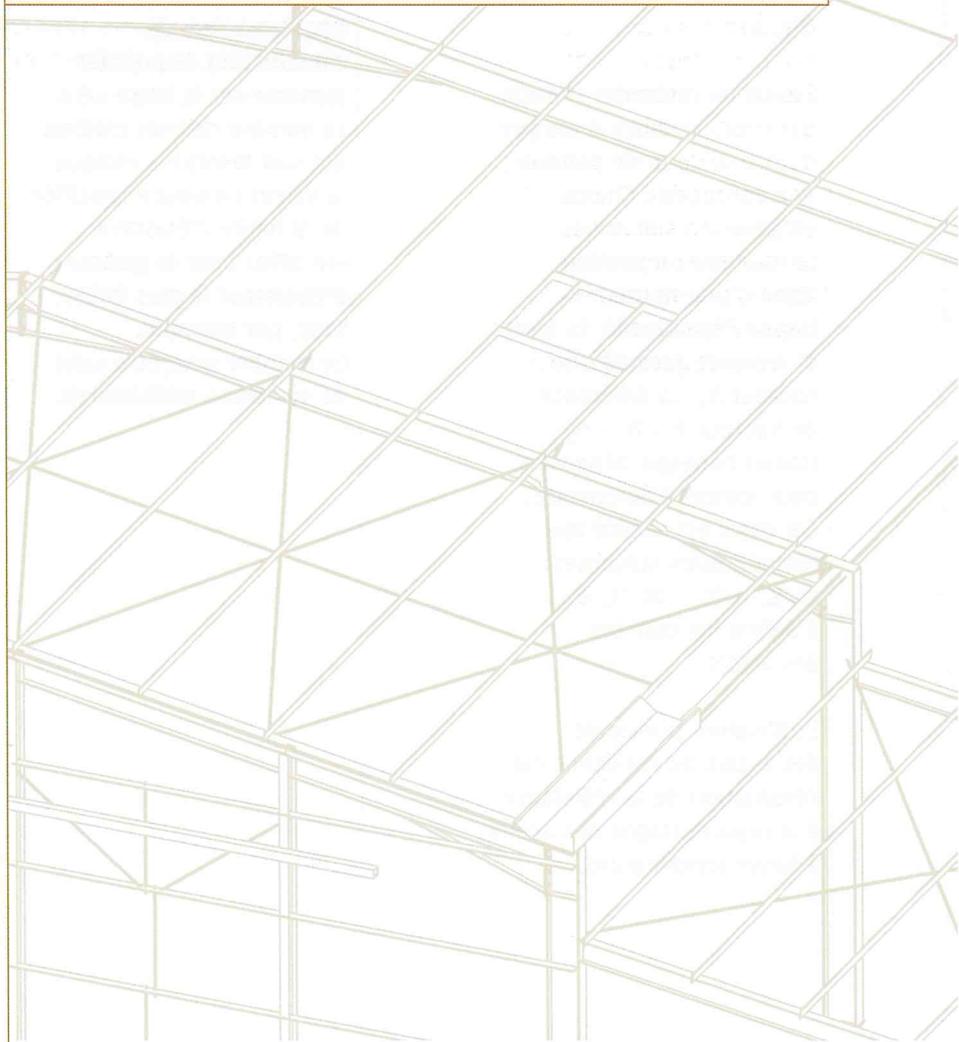
IPE 200 (fig. 4)

Section (calculée en cm^2) :

$$2 \times 10 \times 0,85 + (20 - 2 \times 0,85) \times 0,56 = 27,25 \text{ cm}^2$$

Volume pour 1 mètre de long : $27,25 \times 100 = 2\,725 \text{ cm}^3 = 2,725 \text{ dm}^3$

Poids au mètre de l'IPE 200 : $2,725 \times 8 = 21,8 \text{ daN/m}$



LES PRODUITS

Les produits sont définis dans des normes spécifiques qui précisent les gammes de dimensions usuelles, les tolérances de fabrication, les caractéristiques géométriques et éventuellement les caractéristiques mécaniques si elles sont différentes de celles indiquées dans la norme des aciers de base (NF EN 10025).

Les produits les plus couramment utilisés sont :

- les produits sidérurgiques (I, H, U, L, \perp , plats, etc.);
- les profils creux pour construction (ronds, carrés, rectangulaires, elliptiques et demi-elliptiques);
- les profils formés à froid (C, Z, Ω).

En effet, les « profils creux pour construction » et les « profils formés à froid » sont des produits dits de première transformation. Ils sont fabriqués à partir de produits sidérurgiques (bobines) et les différentes opérations de transformation peuvent modifier les caractéristiques des aciers de base.

Choix des profils

Les profils formés à froid et les profils creux pour construction finis à froid (NF EN 10219, août 2006) sont des produits souvent intéressants à utiliser, par exemple pour des ossatures secondaires ou pour les structures de maison individuelle. Cependant, différentes raisons (en particulier leur faible épaisseur) font que leur mise en œuvre demande quelques précautions et une bonne maîtrise de leurs possibilités techniques.

Aussi, dans ce guide, nous mettrons en avant les produits finis à chaud et les profils creux.

Dans le cas particulier des profils creux, nous attirons l'attention des utilisateurs sur la nécessité de choisir ces produits dans les normes correspondantes NF EN 10210 (juillet 2006).

En effet, il existe d'autres profils creux bien connus des métalliers : les tubes dits « serruriers » conformes aux normes NF EN 10305 parties 3 et 5 (mai 2003). Ces tubes qui ont en général une épaisseur inférieure ou égale à 2 mm n'ont aucune des caractéristiques demandées par les règles de construction – pas de garantie de limite d'élasticité, allongement (A%) au plus égal à 9% (l'Eurocode 3 exige 15%) – et sont donc inaptes à la construction métallique.

Majoritairement, les utilisateurs sélectionneront des produits de la NF EN 10219 pour des questions d'économie et de disponibilité.

Caractéristiques géométriques et statiques des profils

Les différents catalogues de l'Otua, des fabricants et des négociants proposent toujours des tableaux qui associent à chaque profil leurs caractéristiques géométriques. Nous insistons sur le terme géométrique, car il s'agit bien de caractéristiques qui sont liées uniquement aux dimensions extérieures et à la géométrie du profil. Un tube rond en aluminium aura la même section, le même moment d'inertie, le même rayon de giration qu'un tube rond en acier de même diamètre et de même épaisseur.

En revanche, la résistance du tube en aluminium sera différente de celle du tube en acier du fait des caractéristiques mécaniques (f_u , f_y) du matériau qui compose chacun de ces deux tubes. Les caractéristiques géométriques sont nécessaires pour calculer la résistance des profils aux différentes sollicitations auxquelles ils sont soumis (traction, flexion, compression, etc.).

Les valeurs de I , W et i rendent compte de la disposition de la matière par rapport à un axe passant par le centre de gravité du profil.

Elles dépendent principalement de l'éloignement de cette matière par rapport à l'axe considéré (fig. 5). Suivant l'axe choisi, les valeurs de I , W et i seront différentes. C'est pourquoi, par exemple dans le tableau de caractéristiques géométriques des poutrelles (cf. p. 90-91), les valeurs de I , W et i sont calculées par rapport à l'axe parallèle aux semelles (axe Y-Y) et l'axe

parallèle à l'âme (axe Z-Z). Ces deux axes Z-Z et Y-Y sont appelés axes principaux d'inertie.

Les valeurs de I_t et C dépendent également de la répartition de la matière, par rapport aux axes principaux d'inertie.

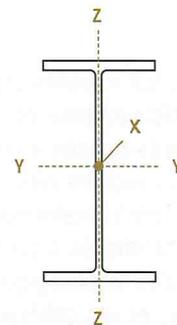
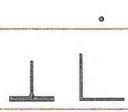


Fig. 5

Tableau 1
**RELATION ENTRE CARACTÉRISTIQUES
GÉOMÉTRIQUES ET MODES DE SOLLICITATION**

Symbole	Désignation exacte	Unité usuelle	Relation avec le mode de sollicitation
A	Aire de la section	cm ²	Traction - Compression simple
I	Moment d'inertie de flexion	cm ⁴	Flexion - Calcul de la déformation (flèche)
W _{el}	Module d'inertie de flexion élastique	cm ³	Flexion - Calcul de la résistance (élastique)
W _{pl}	Module d'inertie de flexion plastique	cm ³	Flexion - Calcul de la résistance (plastique)
I _t	Moment d'inertie de torsion	cm ⁴	Torsion - Calcul de la déformation
C	Constante de torsion	cm ³	Torsion - Calcul de la résistance
i	Rayon de giration	cm	Compression avec flambement

Tableau 2 - PRINCIPAUX PROFILS ET NORMES CORRESPONDANTES

Produits sidérurgiques			
Normes de référence			
Désignation		Pour les dimensions	Pour les tolérances
Poutrelles IPE, IPE-A, IPE-R		NF A 45-205 (sept. 1983)	NF EN 10034 (déc. 1993)
Poutrelles IPN		NF A 45-209 (sept. 1983)	NF EN 10024 (oct. 1995)
Poutrelles HE-A, HE-B, HE-M		NF A 45-201 (sept. 1983)	NF EN 10034 (déc. 1993)
Poutrelles UPN et UPE		NF A 45-255 (nov. 1983)	NF EN 10279 (mars 2000)
Cornières égales		NF EN 10056-1 (déc. 1998)	NF EN 10056-2 (fév. 1994)
Cornières inégales		NF EN 10056-1 (déc. 1998)	NF EN 10056-2 (fév. 1994)
Petits U		NF A 45-007 (sept. 1983)	NF EN 10279 (mars 2000)
T égaux		NF EN 10055 (mai 1996)	NF EN 10055 (mai 1996)
Plats		NF EN 10058 (juin 2004)	NF EN 10058 (juin 2004)
Ronds		NF EN 10060 (juin 2004)	NF EN 10056-2 (fév. 1994)
Profilés spéciaux		Suivant produit, consulter producteur	Suivant produit, consulter producteur
Tôles à relief		NF EN 10051 (déc. 1997)	Suivant produit, consulter producteur
Plaques > 3 mm		NF EN 10029 (sept. 1991)	
Larges-plats		NF EN 10058 (juin 2004)	
Feuillards à chaud		NF EN 10048 (nov. 1996)	
Tôles galvanisées et/ou prélaquées		NF EN 10327 (janv. 2005) NF EN 10143 (mai 1993)	
Profils creux pour construction (tubes)			
Désignation	Forme de la section	Normes dimensions et tolérances	
Profils creux ronds		NF EN 10210 1-2 (finis à chaud) (juillet 2006) et NF EN 10219 1-2 (finis à froid) (août 2006)	
Profils creux carrés			
Profils creux rectangulaires			
Profils elliptiques		NF EN 10210 -2 (juillet 2006)	
Profils formés à froid (courants)			
Désignation	Forme de la section	Normes dimensions et tolérances	
Cornières inégales		NF EN 10162 (oct. 2003)	
Coulisses			
C			
Omégas			
Profilés en Z			