

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Polycopié du cours

Charpente métallique I

Polycopie destiné aux étudiants : 3^{ème} année licence :

Génie Civil et Travaux Publics

Élaboré par :

Dr. FRIHI Née KHALDI Nacera

Année universitaire 2021-2022



SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Avant-Propos

CHAPITRE I GENERALITES

1	Introduction	1
2	Les constructions métalliques	1
3	Avantages et inconvénients de la construction métallique	2
	3.1. Avantages	2
	3.2. Inconvénients	2
4	Définitions	3
5	Matériaux et essais	7
	5.1 L'acier	7
	5.2 Les procédés de fabrication de l'acier	7
	5.2.1 Des matières premières à l'acier liquide	7
	5.2.2 De l'acier liquide aux demi-produits	7
	5.2.3 Des demi-produits aux produits sidérurgiques	9
	5.3 Principaux produits utilisés comme éléments de structure	10
	5.3.1 Produits laminés à chaud	10
	5.3.2 Produits formés à froid	11
	5.3.3 Produits dérivés des profils laminés et profils reconstitués soudés	12
	5.4 Désignation symbolique des aciers	13
	5.5 Essais mécaniques	14
	5.5.1 Essai de traction	14
	5.5.2 Essai de flexion par choc (essai de résilience)	14
	5.5.3 Essais de dureté	15
	5.5.4 Essai de pliage	15
6	Critères de choix des aciers en construction métallique	15
	6.1 Choix de la nuance	15

6.2	Choix de la qualité	16
6.3	Caractéristiques et destination des profils usuels	17
a)	Poutrelles en I	17
b)	Poutrelles en H	17
c)	Poutrelles en U	18
d)	Les cornières et les tés	18
e)	Les tôles et larges plats	19
f)	Les profils creux	19

CHAPITRE II

NOTIONS DE BASE ET SECURITE

1	Généralités	21
2	Règlementation	21
	2.1. Eurocode 3 et l'approche de calcul adoptée	22
	2.2. Règlement Algérien CCM 97	22
3	Bases de calcul	23
	3.1. Etats limites	23
	a /Etats limites ultime (ELU)	23
	b/Etats limites de service (ELS)	23
	3.2. Sollicitations et combinaisons	23
	3.3. Les combinaisons d'actions	24
	a) Etats limites ultimes (E.L.U)	25
	b) Etats limites de services : (E.L.S)	25
4	Principe de vérification des flèches verticales	26

CHAPITRE III

ASSEMBLAGES

1	Introduction	33
2	Assemblages boulonnés	34
	2.1 Assemblage par boulons ordinaires	34
	2.1.1 . Caractéristiques géométriques des boulons	35
	2.1.2. Caractéristiques mécaniques des boulons	36
	2.1.3. Fonctionnement des assemblages	37

2.1.4. Mécanisme de fonctionnement d'un boulonnage ordinaire	37
2.1.4.1. Le cisaillement	37
2.1.4.1.a. Résistance du boulon au cisaillement	38
2.1.4.1.b. Vérification de la pression diamétrale	39
2.1.4.1.c. Catégorie de l'assemblage	41
2.1.4.2. La traction	42
2.1.4.2.a. Résistance d'un boulon à la traction	42
2.1.4.2.b. Vérification du poinçonnement	43
2.1.4.2.c. Catégorie de l'assemblage	43
2.1.4.3. Effort combiné entre la traction et le cisaillement	43
2.1.4.4. Vérification d'un boulon soumis aux efforts combinés	44
2.1.4.5. Assemblages longs de catégorie A	44
2.2. Les rivets	48
2.2. a. Caractéristiques géométriques et mécaniques des rivets	48
2.3 Assemblage par des Boulons précontraints	49
2.3.1. Caractéristiques mécaniques des boulons précontraints	50
2.3.2. Assemblage résistant au glissement	50
3 Assemblages Soudés	51
3.1. Dispositions Constructives	52
3.2. Calcul de résistance des cordons de soudure	54
a) Pré dimensionnement de la gorge	54
b) Soudure bout à bout	55
c) Soudure d'angle	55
d) Calcul des cordons reliant des pièces orthogonales	57

CHAPITRE IV
CALCUL DES PIÈCES SOLlicitÉES EN
TRACTION SIMPLE

1 Domaine d'utilisation	61
-------------------------	----

a) Les membrures inférieures des fermes, ou des poutres treillis et alternativement les montants ou les diagonales	61
b) Les diagonales de contreventements	62
c) Les liernes	62
d) Les câbles	63
e) Les tiges d'ancrage	63
f) Plaque d'assemblage	63
2 Vérification des pièces tendues	64
3 Section brute et section nette	65
4 Cornières tendues attachées par une seule aile	67

CHAPITRE V CALCUL DES PIÈCES FLECHIES

1 Définition et généralités	71
2 Modes de rupture des pièces fléchies	72
a) Calcul élastique	72
Dimensionnement des poutres en calcul élastique (P. R. S)	73
Vérification de la flèche : (E. L . S)	74
b) Calcul plastique	75
Dimensionnement des poutres en calcul plastique (laminées)	75
Dimensionnement des sections en flexion (M)	77
Dimensionnement des sections en flexion (M et T)	77

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

GENERALITES

Tableau (I.1) Désignation symbolique des aciers	13
Tableau (I.2) Symboles additionnels pour l'acier	13
Tableau (I.3) Valeurs nominales de f_y et de f_u	17

CHAPITRE II

NOTIONS DE BASE ET SECURITE

Tableau (II.1) Valeurs des coefficients γ dans les situations générales	25
Tableau (II.2) Valeurs des coefficients γ dans les situations accidentelles	25
Tableau (II.3) Valeurs recommandées des coefficients Ψ_i pour les bâtiments	26
Tableau (II.4) Valeurs limites recommandées pour les flèches verticales	27
Tableau (II.5) Formules pour le calcul de quelques flèches de poutres sous des cas de chargements et des conditions d'appuis	28
Tableau (II.6) : Formulaire des poutres	29

CHAPITRE III

ASSEMBLAGES

Tableau (III.1) Caractéristiques géométriques d'un boulon	35
Tableau (III. 2) Classes de boulons et valeurs de f_{yb} et f_{ub}	36
Tableau (III.3) Minimal et maximal des pinces et entraxes (en millimètres)	40
Tableau (III.4) Caractéristiques géométriques de quelques rivets	48

Tableau (III.5) Principales caractéristiques mécaniques des boulons HR	50
Tableau (III.6) Les coefficients β_{Mw} et γ_{Mw} selon la nuance d'acier	57

CHAPITRE IV

CALCUL DES PIECES SOLLICITEES EN TRACTION SIMPLE

Tableau (IV.1) Coefficients minorateurs β_2 et β_3	68
--	----

CHAPITRE V

CALCUL DES PIECES FLECHIES

Tableau (V.1) : Dimensionnement des poutres fléchies	81
--	----

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

GENERALITES

Figure (I.1) Eléments de charpente métallique	5
Figure (I.2) Structure en treillis	6
Figure (I.3) Les procédés d'élaboration de l'acier	8
Figure (I.4) Les demi-produits (Bloom, Billette et Brame)	9
Figure (I.5) Le laminage à chaud	9
Figure (I.6) Gamme de profils laminés courants	10
Figure (I.7) Produits longs formés à froid exemples de sections transversales	11
Figure (I.8) Produits plats formés à froid	11
Figure (I.9) Produits dérivés	12
Figure (I.10) Profils reconstitués soudés	12
Figure (I.11) Diagrammes types d'allongement des aciers de construction métallique	14
Figure (I.12) Principe de l'essai de flexion par choc	15
Figure (I.13) Poutrelle en I	18
Figure (I.14) Poutrelle en U	19
Figure (I.15) Utilisation des cornières	19
Figure (I.16) Profil en Té	19
Figure (I.17) Tôles	20
Figure (I.18) Profils creux	20

CHAPITRE II

NOTIONS DE BASE ET SECURITE

Figure (II.1) Déformations verticales d'une poutre bi-appuyée	26
---	----

CHAPITRE III

ASSEMBLAGES

Figure (III. 1) Différents types d'assemblage dans une structure métallique	33
Figure (III. 2) Perçage des trous et emplacement des boulons	34
Figure (III. 3) Terminologie d'un boulon	34
Figure (III.4) La pression diamétrale sur une pièce assemblée	38
Figure (III.5) Fonctionnement et nombre de plan de cisaillement dans un boulon	38
Figure (III.6) Dispositions constructives réglementaire	40
Figure (III.7) Symboles pour les pinces transversales et longitudinales et pour l'espacement des fixations	41
Figure (III.8) Un boulon tendu	42
Figure (III.9) Sollicitation d'un boulon tendu et cisailé	44
Figure (III.10) Assemblages longs	45
Figure (III.11) Exécution de la pose d'un rivet	48
Figure (III.12) Fonctionnement d'un boulon HR	49
Figure (III.13) Liaison de deux pièces par soudage	52
Figure (III.14) Soudure bout-à-bout	52
Figure (III.15) Soudure d'angle	53
Figure (III.16) Dispositions constructives évitant l'arrachement lamellaire	53

Figure (III.17) Autres types de liaisons soudées	54
Figure (III.18) Définition de la gorge de cordon d'angle	54
Figure (III.19) Abaque du pré dimensionnement de la gorge « a »	55
Figure (III.20) Etat de contrainte dans la section de gorge	56
Figure (III.21) Assemblage par cordons frontaux	57
Figure (III.22) Assemblage par cordons latéraux	58
Figure (III.23) Assemblage par cordon oblique	59

CHAPITRE IV

CALCUL DES PIÈCES SOLlicitÉES EN TRACTION SIMPLE

Figure (IV.1) Éléments tendus d'une poutre treillis	61
Figure (IV.2) Éléments tendus dans les fermes	62
Figure (IV.3) Diagonales tendues de contreventement	62
Figure (IV.4) Éléments secondaires tendus (liernes)	62
Figure (IV.5) Comportement ductile de l'acier autour des trous	65
Figure (IV.6) Section brute « A » et section nette « A_{net} » d'une pièce tendue	65
Figure (IV.7) Trous en quinconce et lignes de rupture critique 1 et 2	66
Figure (IV.8) A_{net} pour une cornière à ailes inégales attachées sur son aile la plus petite	69

Avant-propos

Ce polycopié extrait de cours de charpente métallique enseigné au département de Génie Civil de l'université 8 Mai 1945 de Guelma. Ce travail constitue un support d'initiation et de familiarisation avec le vocabulaire et les techniques de calcul dans cette discipline, est destiné aux étudiants de troisième année licence en Génie Civil et Travaux Publics ayant la charpente métallique dans leur programme d'études, désireux d'acquérir les bases de calcul pratiquées dans le domaine des structures métalliques.

À l'issue de l'enseignement de cette matière, les connaissances acquises doivent permettre à l'étudiant de comprendre les bases de calcul des éléments métalliques et des connaissances sur les réglementations en vigueur (EC3 et CCM97) et d'avoir des connaissances générales sur la philosophie de dimensionnement et le fonctionnement des assemblages. Les méthodes données dans ce polycopié sont basées sur les règles Algériennes de calcul des ouvrages en acier le CCM97 ainsi que sur l'Eurocode 3.

Le premier chapitre de ce polycopié est consacré aux généralités sur le matériau acier, les procédés d'obtention des produits sidérurgiques, le vocabulaire de la construction métallique.

Le deuxième chapitre présente les notions de base pour assurer la sécurité des structures qui doivent être calculées en tenant compte de toutes les différences qui puissent exister entre le schéma réel d'une structure et le schéma de calcul théorique.

Dans le troisième chapitre, il est question de moyen d'assemblage (boulons et soudures).

Le quatrième est consacré aux éléments tendus sollicités en traction simple.

Enfin le cinquième chapitre est consacré à la vérification de la résistance et la stabilité des pièces fléchies.

On achève ce document par une annexe qui contient des tableaux qui donnent les caractéristiques des profilés et une liste des références bibliographiques.

Je tiens à exprimer mes remerciements à l'ensemble du personnel du département de génie civil, aux collègues qui, avec leurs conseils et suggestions, contribuent à l'amélioration du contenu de ce polycopié.

Dr KHALDI Nacera

Contenu du programme

Chapitre 1 : Généralités

Chapitre 2 : Notions de base et sécurité

Chapitre 3 : Assemblages

Chapitre 4 : Calcul des pièces sollicitées en traction simple

Chapitre 5 : Calcul des pièces fléchies

Chapitre I

GENERALITES

Généralités

1. Introduction

La Conception de la structure porteuse d'une halle ou d'un bâtiment est basée sur son utilisation prévue, soit essentiellement ses caractéristiques de résistance (pour assurer une sécurité structurale suffisante) et de déformabilité (pour garantir une bonne aptitude au service).

Elle est donc fortement influencée par les propriétés des matériaux qui la composent. Un projet de charpente métallique doit en conséquence être conçu et élaboré de façon à ce que les propriétés du matériau acier soient utilisées au mieux, soit sa haute résistance mécanique, sa grande ductilité et sa soudabilité.

L'ensemble des critères de conception d'une ossature fait appel à la connaissance approfondie du matériau acier, comprenant son mode d'élaboration, les propriétés fondamentales et les modes de fabrication des produits.

Le métal Fer existe partout à l'état d'oxyde, c'est le métal le plus dur, le plus courant et le plus répandu comparativement à d'autres métaux.

Le Fer a été utilisé par les premières civilisations dans tous les domaines (outils de guerres, en agriculture, ...etc). Et enfin dans le domaine qui nous intéresse La construction Civile et Industrielle.[1]

2. Les constructions métalliques

On entend par construction métallique un assemblage de pièces en métal.

La partie qui sert comme support à cette construction est appelée charpente.

Le premier ouvrage construit en acier fut un arc de 30 m de portée réalisé en Angleterre entre 1777 et 1779

1780-1820 : Un grand nombre de ponts en utilisant la fonte a été réalisé.

Au début de 1840 le fer forgé a remplacé la fonte et le premier pont important, au pays de Galles a été réalisé.

Aux environs de 1870 les premiers profilés en forme de I ont été réalisés

Jusqu'à 1993, la conception et le calcul des constructions métalliques étaient régis par différentes réglementations :

- Les règles de calcul des constructions en acier, dites règles CM 66.
- Le titre V du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes.
- Les normes NF.
- L'additif 80

Depuis 1993, une nouvelle réglementation européenne est entrée en vigueur et impose, en remplacement de ces divers et précédents textes, un code unique : l'Eurocode 3.

En Algérie, les règles CCM97 sont appliquées depuis 1997.

3. Avantages et inconvénients de la construction métallique :

3.1. Avantages

- Résistance mécanique :
 - résistance élevée à la traction permettant des portées et hauteurs importantes ;
 - possibilité d'adaptation plastique pour une plus grande sécurité.
- Industrialisation totale : possibilité de préfabrication ;
- Transformation ou modification ;
- Possibilités architecturales : des formes architecturales plus élaborées avec des portées plus importantes.
- Récupération après mise hors service ;
- Meilleure résistance au séisme du fait de la ductilité de l'acier ;

3.2. Inconvénients

- Prix élevé (concurrentiel avec le béton armé pour les grandes portées) ;
- Mauvaise tenue au feu ce qui implique des mesures de protection onéreuses.
 - *Solution* : - Application des peintures spéciales.
 - Application d'un isolant pour freiner la transmission du feu comme le plâtre, association de l'acier au béton.
- Corrosion : apparition en surface des couches de rouille (la rouille est un oxyde engendré par l'humidité de l'atmosphère) ;
 - *Solution* : - Peintures anti-rouille.

- Revêtement métallique (Chronisation, Galvarisation « Zinc »).[1]

4. Définitions [10]

Aiguille : Tige ou barre travaillant à la traction et supportant en son centre le tirant de certaines fermes.

Appentis : Toiture à une seule pente adossée à un mur ou à un bâtiment par son bord supérieur (faîtage) et dont le bord inférieur est soutenu par une sablière ou des poteaux.

Arbalétrier : Membrane supérieure de la poutre triangulée appelée ferme qui, dans un comble, supporte les pannes et les autres éléments de la toiture.

Arêtier : Pièce de charpente placée sous l'arête (intersection de 2 versants) et sur laquelle s'assemblent les autres éléments de la charpente.

Auvent : Partie de la toiture d'une halle débordant largement à l'extérieur de la ligne des poteaux supports.

Brisure : Changement de direction affectant une barre dans un système de construction quelconque.

Chéneau : Canal disposé en bas de pente des toitures et servant à recueillir les eaux de pluie et à les diriger vers les tuyaux de descente.

Comble : Partie supérieure (faîte) d'un bâtiment. Volume situé sous les versants de la toiture.

Croupe : Versant de toiture permettant de renvoyer les eaux sur les chéneaux ou les gouttières implantées sur toute la périphérie d'un bâtiment.

Contreventements : Dispositif assurant la stabilité d'un bâtiment, d'une ossature et s'opposant à la déformation, au déversement ou au renversement des constructions sous l'action de forces horizontales.

Diagonale : Barre placée en diagonale dans les panneaux d'une poutre en treillis ou d'une construction triangulée en général.

Echantignolle : Sorte d'équerre en fer plat plié servant à assujettir une panne sur un arbalétrier.

Empannons : Pièce destinée à diviser en plusieurs portées intermédiaires l'intervalle entre 2 fermes, de manière à réduire la section des pannes.

Entrait : Membrane inférieure d'une ferme dans un comble à deux ou plusieurs pentes.

Faîtage : Arête longitudinale formée au sommet d'une toiture par la rencontre des 2 versants.

Ferme : Poutre généralement triangulée, dont la membrane supérieure, à simple ou double inclinaison, règle la pente d'une toiture. Avec les pannes qu'elle supporte, la ferme constitue le principal de l'ossature des combles d'un édifice.

Gousset : Pièce de tôle plane, sur laquelle viennent s'assembler plusieurs barres convergentes.

Lattis : Pièce métallique, généralement en cornière, fixée sur les chevrons parallèlement au faîtage et supportant une rangée de tuiles.

Montant : Toute barre, entrant dans la composition d'une charpente métallique en treillis et joignant les membranes dans une direction perpendiculaire à l'une au moins de ces membranes.

Nœud : Point où concourent deux ou plusieurs barres d'une ossature en assemblage commun.

Panne : Poutre reliant les fermes dans un comble et reportant sur celles-ci les charges et surcharges transmises directement par les éléments de la couverture.

Planchers : sont des aires horizontales destinées à séparer les étages d'une construction

Poinçon : Montant central d'une ferme en treillis à 2 pentes.

Poteau : Élément vertical d'une ossature collectant les charges et surcharges des poutres qui s'y attachent et reportant sur l'infrastructure ou les fondations de la construction.

Sablière : Panne située à la partie basse d'un versant de toiture près du chéneau.

Solivage : Ensemble de solives composant l'ossature d'un plancher.

Toiture : Partie supérieure d'un bâtiment. Ensemble de tous les éléments qui ont pour fonction de supporter la couverture.

Versant : Plan incliné d'une toiture.

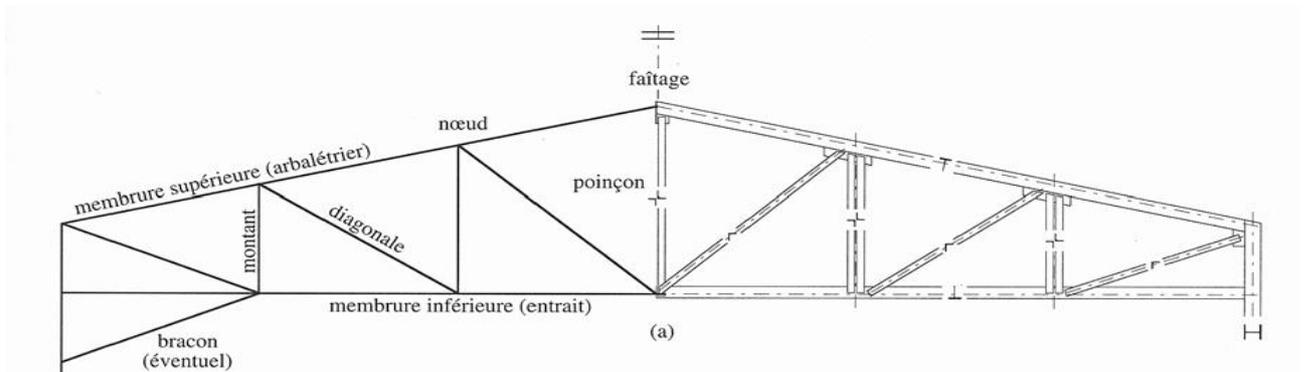
Structures à toitures en treillis :

Figure (I.2) Structure en treillis

5. Matériaux et essais

5.1 L'acier

L'acier est essentiellement une combinaison de fer et de carbone. On ne le retrouve pas à l'état naturel ; il résulte d'une transformation de matière première tirée du sol. Les conditions matérielles de cette transformation entraînent dans sa composition la présence, en très faibles proportions, d'autres éléments (phosphore, soufre) considérés comme impuretés. Suivant la qualité de l'acier que l'on veut obtenir, il est possible d'abaisser le pourcentage de ces impuretés au cours de l'élaboration.

Mais l'acier peut également contenir d'autres éléments (silicium, manganèse, chrome, Nickel, tungstène...) introduits volontairement en vue de modifier sa composition chimique et par suite ses caractéristiques physiques et mécaniques.

Les éléments additionnés permettent d'obtenir des qualités différentes classées sous forme de « nuance ».

5.2 Les procédés de fabrication de l'acier

5.2.1 Des matières premières à l'acier liquide :[10]

Les matières essentielles entrant dans la composition de l'acier sont les minerais de fer, le coke et la ferraille.

5.2.2 De l'acier liquide aux demi-produits :[10]

A la fin de l'opération d'élaboration de l'acier, par quelque procédé que ce soit, les scories sont déversées dans une cuve et l'acier est recueilli à l'état liquide dans une poche garnie de réfractaire. A partir de ce stade, la mise en forme en vue du laminage final peut se faire suivant deux schémas différents : la coulée continue et la coulée en lingots.

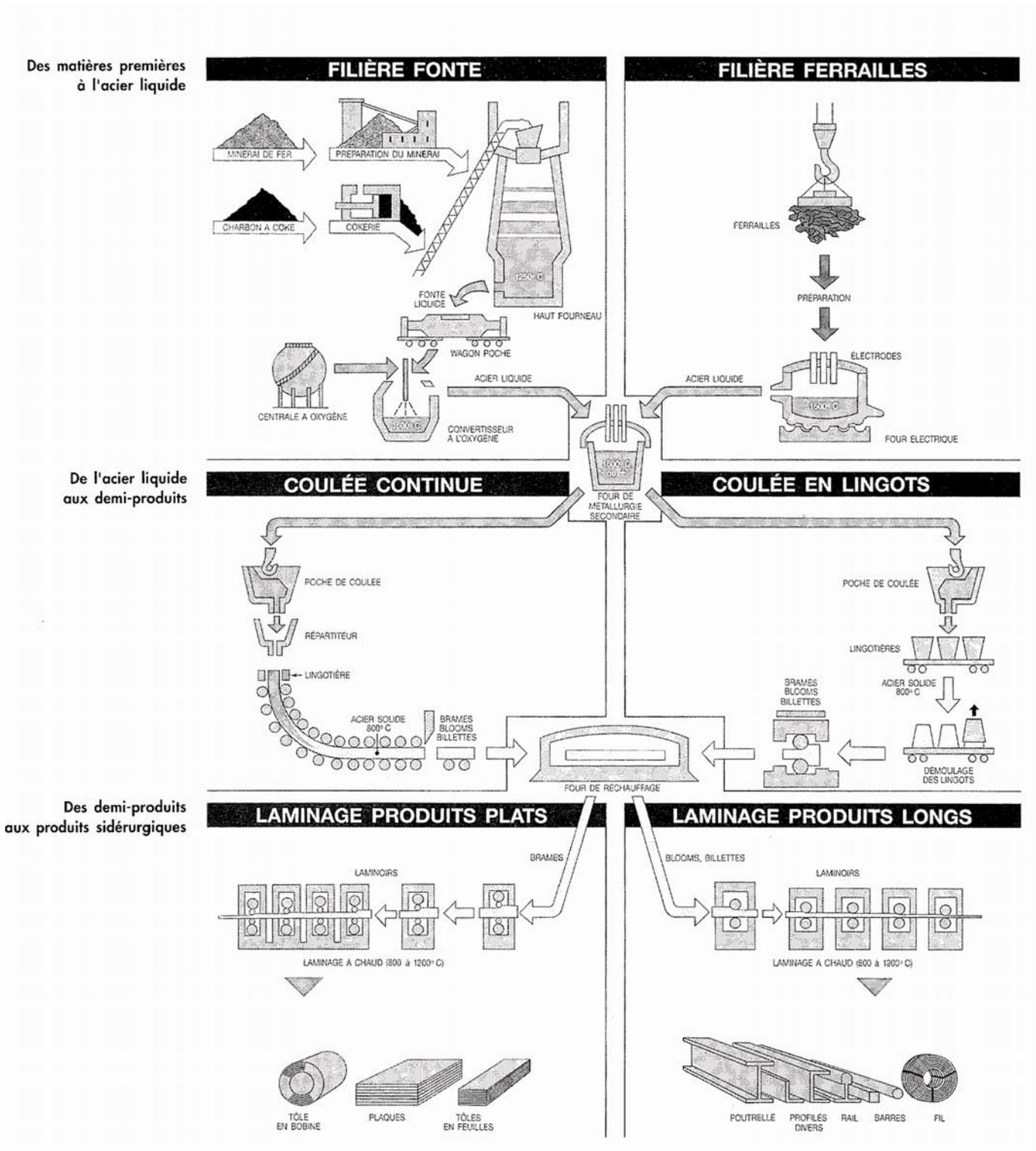


Figure (I.3) Les procédés d'élaboration de l'acier

Pour les formes carrées, ces produits prennent les noms de bloom ou billette suivant que la dimension est plus grande ou plus petite que 120 mm ; le nom de brame pour les formes rectangulaires d'épaisseur supérieure à 50 mm

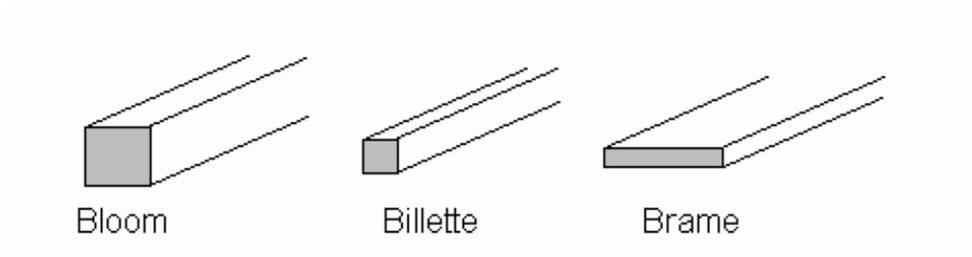


Figure (I.4) Les demi-produits (Bloom, Billette et Brame)

5.2.3 Des demi-produits aux produits sidérurgiques :[10]

Les formes des produits sidérurgiques finis laminés à chaud sont classées suivant deux familles :

- les produits plats : plaque (épaisse), tôle (mince), feuille ou bobine ;
- les produit longs, comprennent les profils de petites sections : rond, carré, rectangle, trapèze, T, L, U, tube (sans soudure) ; les profils lourds : poutrelle (I,H), palplanche, rail, fil machine..

Leurs dimensions et caractéristiques sont normalisées et répertoriées sur catalogues.

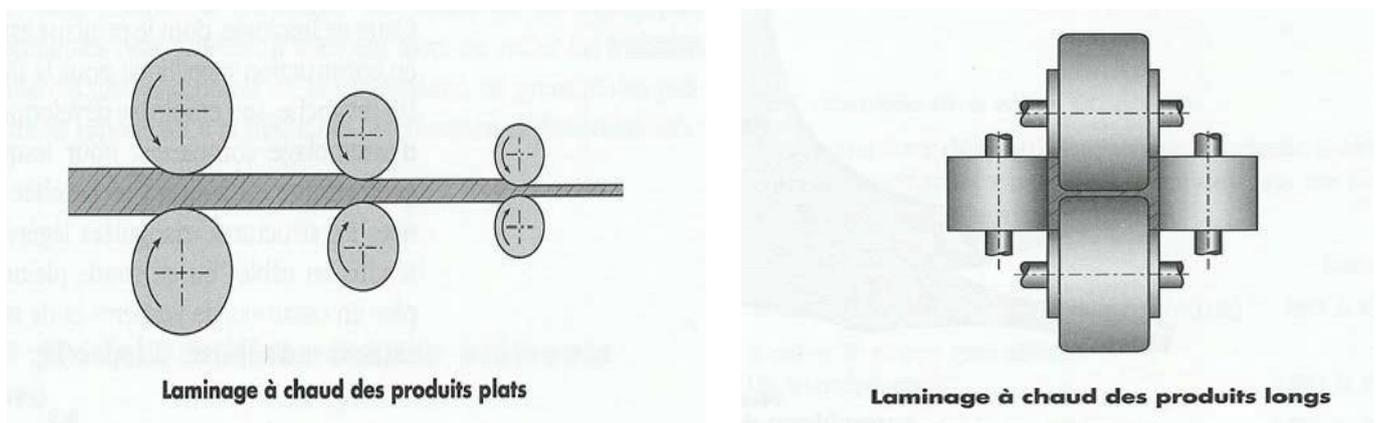


Figure (I.5) Le laminage à chaud

5.3 Principaux produits utilisés comme éléments de structure [10]

5.3.1 Produits laminés à chaud

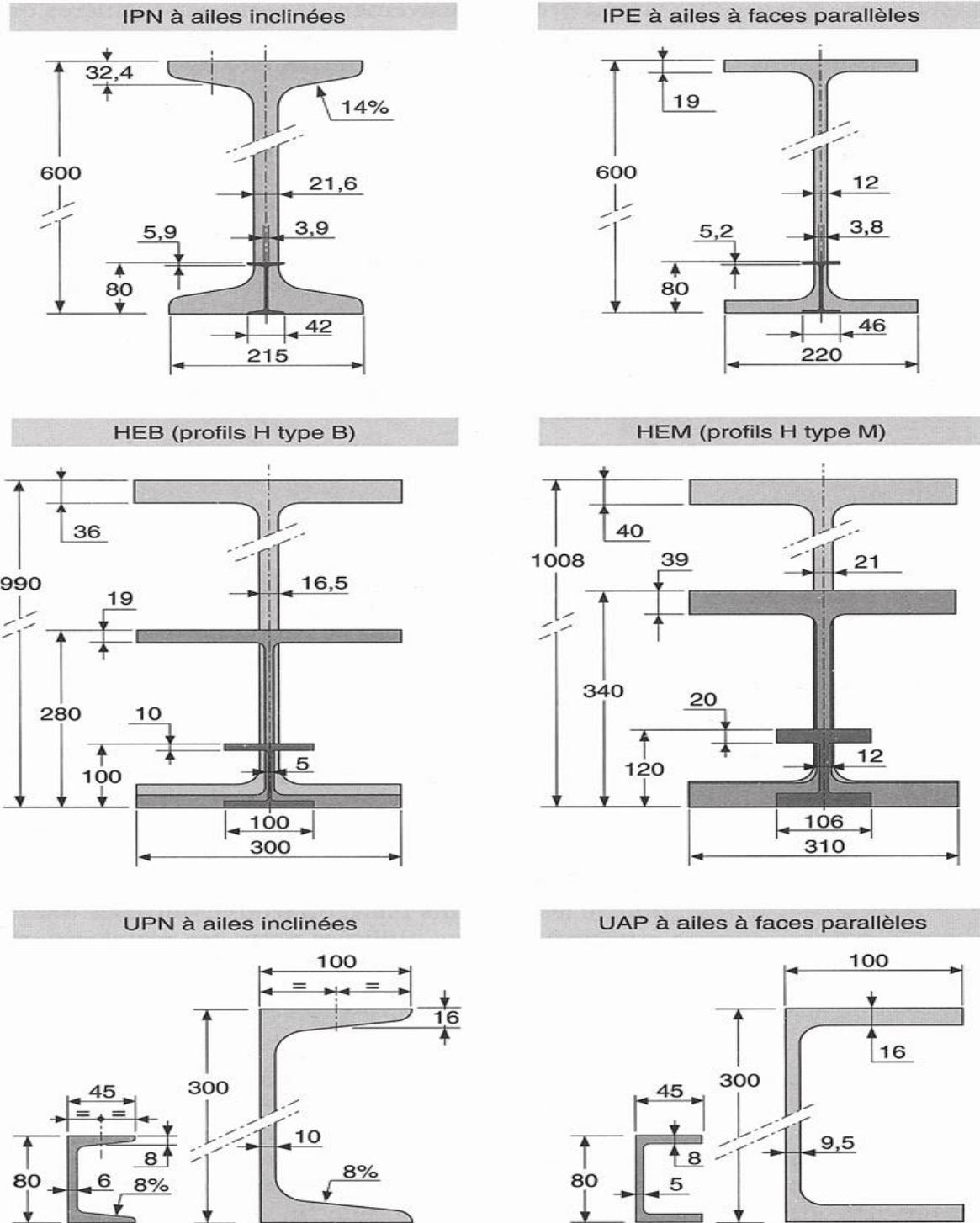


Figure (I.6) Gamme de profils laminés courants

5.3.2 Produits formés à froid:



Figure (I.7) Produits longs formés à froid (exemples de sections transversales)

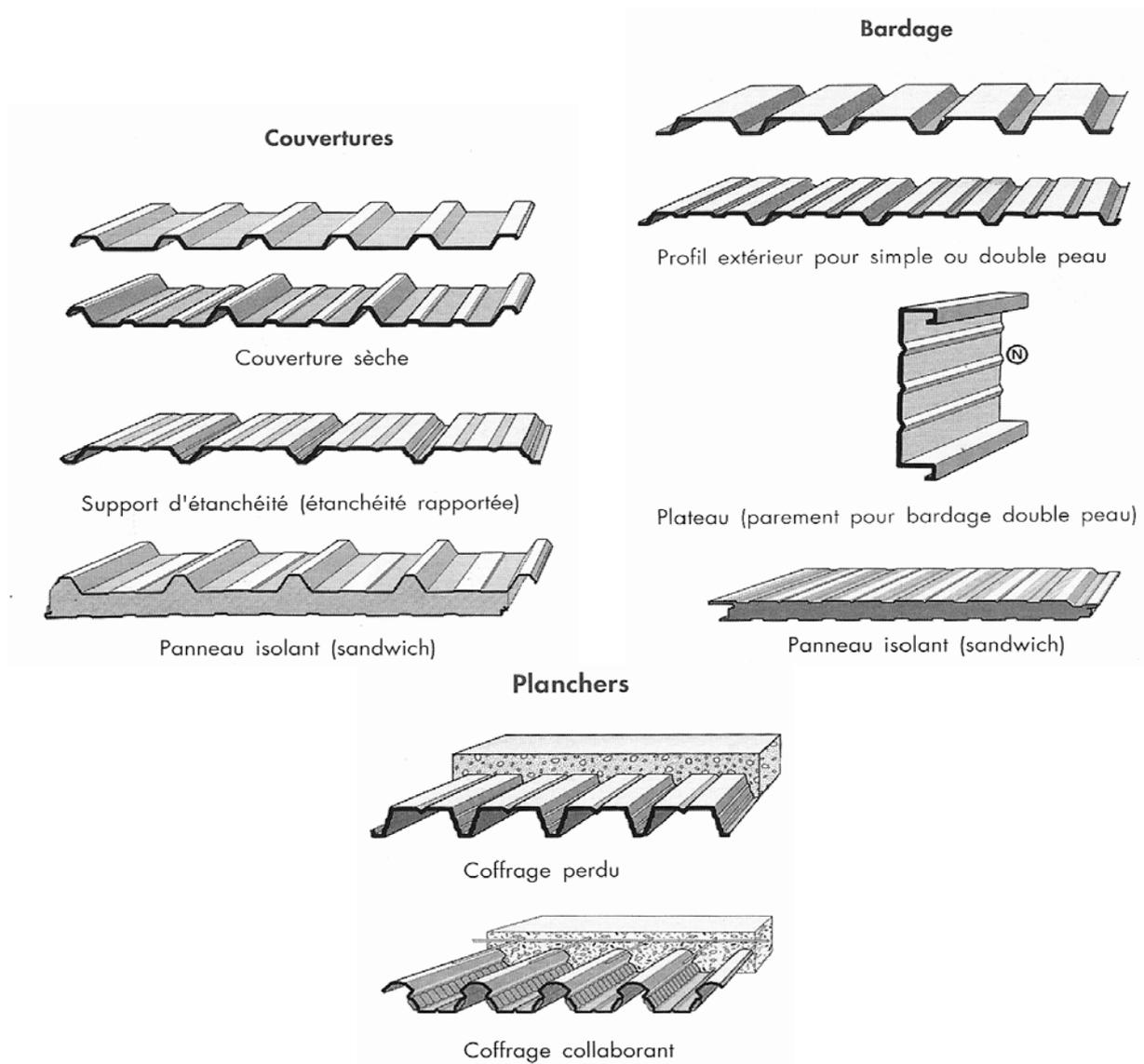


Figure (I.8) Produits plats formés à froid

5.3.3 Produits dérivés des profils laminés et profils reconstitués soudés

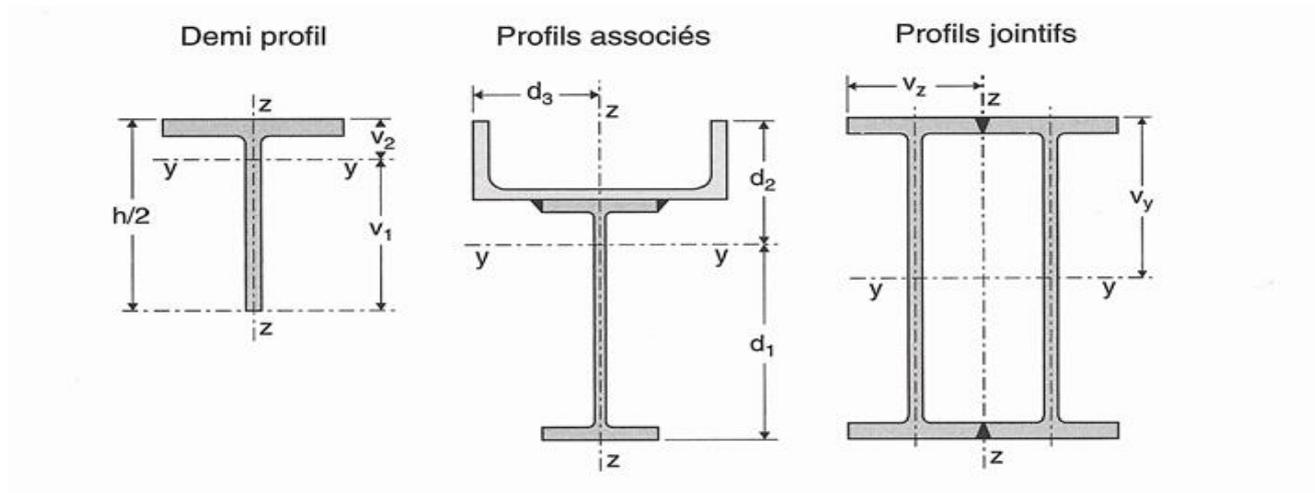


Figure (I.9) Produits dérivés

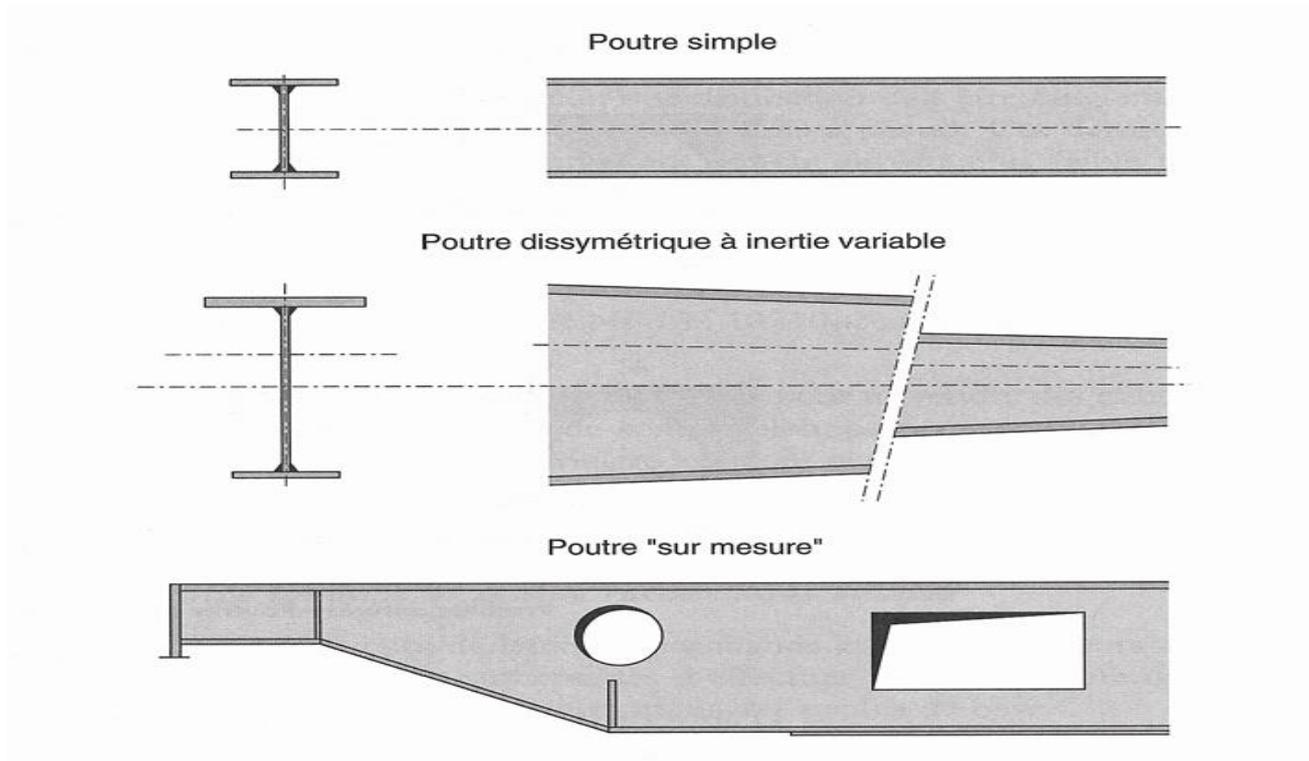


Figure (I.10) Profils reconstitués soudés

5.4 Désignation symbolique des aciers

<i>NUANCE</i>		<i>QUALITE</i>
<i>SYMBOLES PRINCIPAUX</i>		<i>SYMBOLES</i>
<i>Lettre</i>	<i>Caractéristiques mécaniques</i>	<i>ADDITIONNELS</i>

Exp :

Tableau (1.1) Désignation symbolique des aciers

	<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>
<i>Symboles principaux</i>	<i>G</i>	<i>Acier moulé</i>
	<i>S</i>	<i>Aciers de construction</i>
	<i>E</i>	<i>Aciers de construction mécanique</i>
	<i>B</i>	<i>Aciers à béton</i>
	<i>Y</i>	<i>Aciers pour béton précontraint</i>
	<i>Ces symboles sont suivis de la valeur de la limite d'élasticité ou de la résistance minimale à la traction en MPa</i>	

Tableau (1.2) Symboles additionnels pour l'acier

	<i>Energie de rupture (J)</i>			<i>Température d'essai (°C)</i>
	<i>27</i>	<i>40</i>	<i>50</i>	
<i>Symboles Additionnels pour l'acier</i>	<i>JR</i>	<i>KR</i>	<i>LR</i>	<i>20</i>
	<i>J0</i>	<i>K0</i>	<i>L0</i>	<i>0</i>
	<i>J2</i>	<i>K2</i>	<i>L2</i>	<i>-20</i>
	<i>J3</i>	<i>K3</i>	<i>L3</i>	<i>-30</i>
	<i>J4</i>	<i>K4</i>	<i>L4</i>	<i>-40</i>
	<i>J5</i>	<i>K5</i>	<i>L5</i>	<i>-50</i>
	<i>J6</i>	<i>K6</i>	<i>L6</i>	<i>-60</i>

5.5 Essais mécaniques :

5.5.1 Essai de traction :

Il s'agit de l'essai fondamental qui fournit les grandeurs caractéristiques directement exploitables dans les calculs de dimensionnement.

L'acier se caractérise par une loi constitutive symétrique contrainte-déformation (σ - ε).

Généralement, cette loi est déterminée expérimentalement au moyen d'un essai de traction effectué sur des éprouvettes (échantillons) usinée à partir d'un matériau en plaque obtenu à partir des sections en question. En particulier, il est possible de distinguer les régions suivantes :

- Une branche initiale principalement linéaire (phase élastique), dans laquelle le matériau présente un comportement élastique linéaire jusqu'à la contrainte d'écoulement (f_y). La déformation correspondant à f_y est généralement indiquée par ε_y (déformation d'écoulement). La pente de cette branche initiale correspond au module d'élasticité du matériau (aussi appelé module d'élasticité longitudinal ou module de Young), couramment indiqué par E , avec une valeur entre 190000 et 210000 N/mm², environ.
- Une phase plastique, qui se caractérise par une pente faible voire nulle dans le système de référence σ - ε .
- La branche suivante est la phase de durcissement, au cours de laquelle la pente est considérablement plus faible par rapport à la phase élastique, mais suffisante pour provoquer une augmentation de la contrainte lorsque la contrainte augmente, jusqu'à la résistance ultime f_y . Le module de durcissement a des valeurs comprises entre 4000 et 6000 N/mm², environ.[4]
- La limite d'élasticité f_y à partir de laquelle les allongements $\varepsilon\%$ deviennent permanents (déformation irréversible).
- La contrainte de rupture à la traction f_u .
- Le module d'élasticité longitudinale de l'acier $E = 210\ 000$ MPa
- Le module d'élasticité transversale de l'acier $G \approx 81\ 000$ MPa
- Le coefficient de poisson $\nu = 0,3$, $\nu = \frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}}$

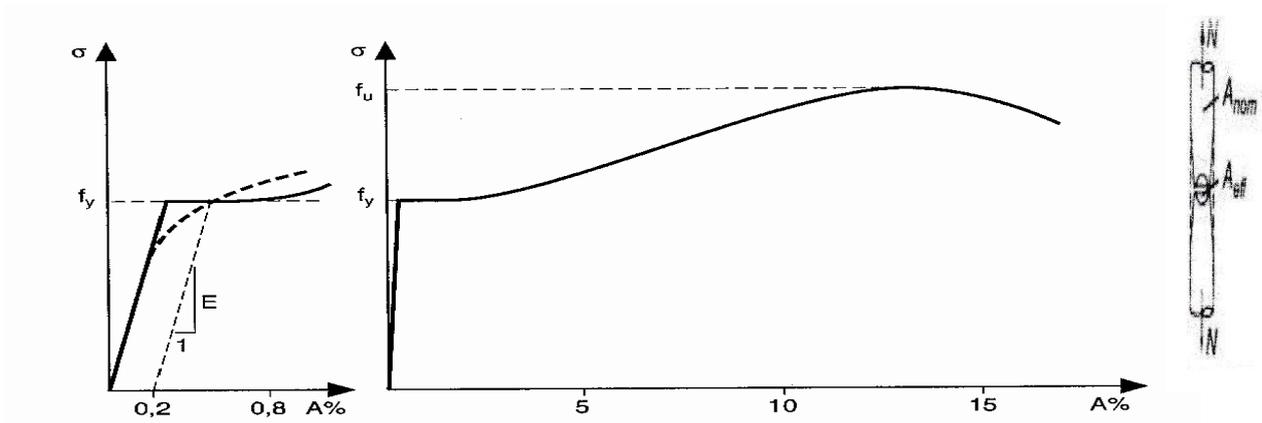


Figure (I.11) Diagrammes types d'allongement des aciers de construction métallique

5.5.2 Essai de flexion par choc (essai de résilience) :

Cet essai a pour objectif de mesurer l'énergie absorbée par une éprouvette bi-appuyée, comportant une entaille médiane en V, lors de sa rupture en flexion sous le choc d'un mouton-pendule. Cette énergie caractérise la ductilité de l'acier et sa sensibilité à la rupture fragile en fonction de la température. Energie de rupture = $m g (h_0 - h)$

Avec :

m = masse du mouton-pendule [kg]

g = Accélération terrestre. [$m \cdot s^{-2}$]
(9,80665)

h = hauteur du mouton-pendule à sa position de départ [m]

h' = hauteur du mouton-pendule à sa

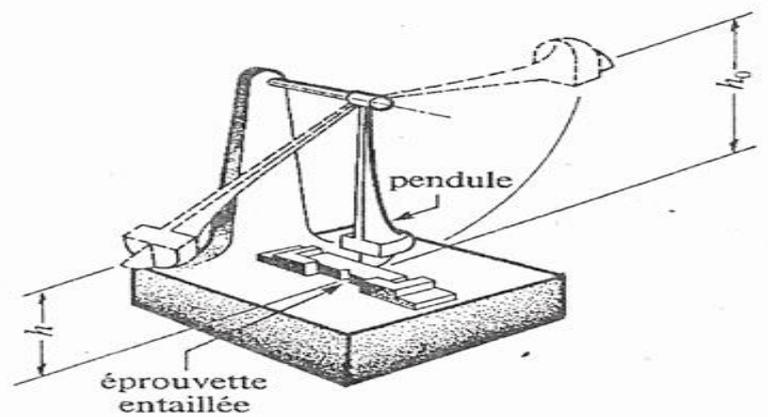


Figure (I.12) Principe de l'essai de flexion par choc

5.5.3 Essais de dureté :

Les essais de dureté consistent à mesurer la pénétration d'un outil conventionnel dans la pièce à tester sous une charge prédéterminée.

5.5.4 Essai de pliage :

Cet essai permet d'apprécier qualitativement la ductilité d'un acier et l'aptitude au formage à froid par pliage des tôles ou barres constituées de ce matériau.

6. Critères de choix des aciers en construction métallique

6.1 Choix de la nuance :

Il s'agit essentiellement, à travers ce choix, de fixer le niveau de la limite d'élasticité, appelée à servir de référence dans la conduite des calculs de dimensionnement. Le plus souvent, on recherche le niveau le plus élevé possible puisque la réduction de poids qui en résulte permet :

- Une économie directe sur les coûts de matière,
- Une mise en œuvre plus aisée en atelier,
- Une amélioration des conditions de transport et de montage.

Il va de soi que des facteurs limitatifs importants interviennent dans l'augmentation des caractéristiques mécaniques. Très fréquemment, le respect des critères de déformation régit le dimensionnement des ossatures métalliques et non le niveau de contrainte. De plus, l'augmentation de flexibilité de la structure qui accompagne celle des contraintes conduit à aggraver les effets dynamiques éventuels, comme ceux dus au vent, et rend aussi plus pénalisants les critères de résistance des éléments soumis aux différents phénomènes d'instabilité

Les aciers normalisés sont définis par la norme EN 10025 , dans cette norme , on retrouve :

- la nuance des aciers qui est en fonction des caractéristiques mécaniques : la limite d'élasticité garantie f_y , l'allongement à la rupture ϵ_R , la limite de rupture f_u
- la qualité des aciers : risques de rupture fragile (résilience)

Des valeurs nominales de la résistance limite d'élasticité f_y et celles de la résistance à la traction f_u pour trois nuances d'aciers courantes sont données dans le tableau suivant :

Tableau (1.3) Valeurs nominales de f_y et de f_u [4]

Caractéristiques mécaniques des profilés en fonction de leur épaisseur t	Nuances des aciers		
	S.235	S.275	S.355
Limites élastique f_y (MPa) $t \leq 16$ mm $16 \leq t \leq 40$ mm $40 \leq t \leq 63$ mm	235 225 215	275 265 255	355 345 335
Contraintes de rupture en traction f_u (MPa) $t \leq 3$ mm $3 \leq t \leq 100$ mm	360/510 340/470	430/580 410/560	510/680 490/630
Allongement minimal moyen ϵ $t \leq 3$ mm $3 \leq t \leq 150$ mm	18% 23%	15% 19%	15% 19%

6.2 Choix de la qualité :

Pour une structure donnée, le choix d'une qualité d'acier doit faire intervenir différents paramètres :

- La température minimale de service de l'ouvrage,
- L'épaisseur maximale des pièces constitutives de la structure,
- La nuance d'acier prévue,
- Le niveau des contraintes de traction subies par la structure,
- La nature des sollicitations du point de vue de leur vitesse d'application,...

6.3 Caractéristiques et destination des profilés usuels

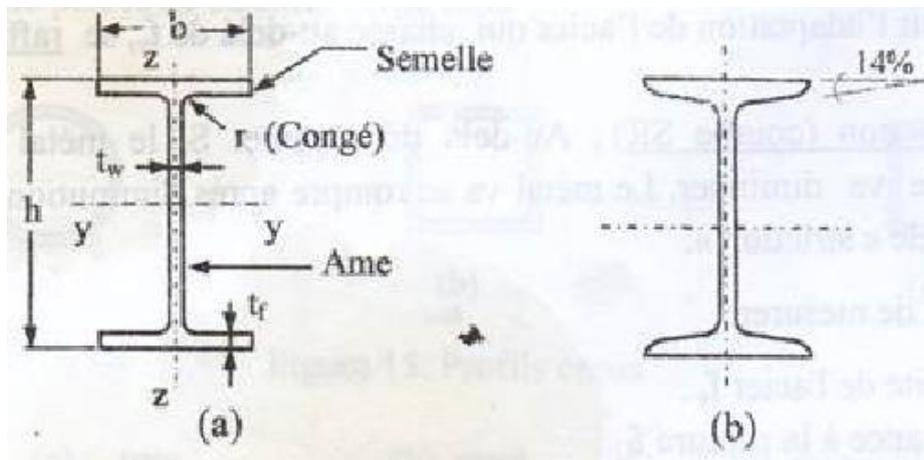
Les profilés sont obtenus par laminage à chaud et leurs caractéristiques sont normalisées. Ils sont répertoriés sur catalogues. On trouve :

- a) **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.



(a) IPE $h = 80 \div 600$ mm

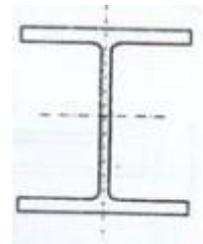
(b) IPN $h = 80 \div 600$ mm

Figure (I.13) Poutrelle en I

b) **Poutrelles en H** : Leur section s'inscrit dans un carré $h \approx b$

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 HN
- **HEM** à ailes et âmes renforcées



c) **Poutrelles en 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 (I.14) Poutrelle en U

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.

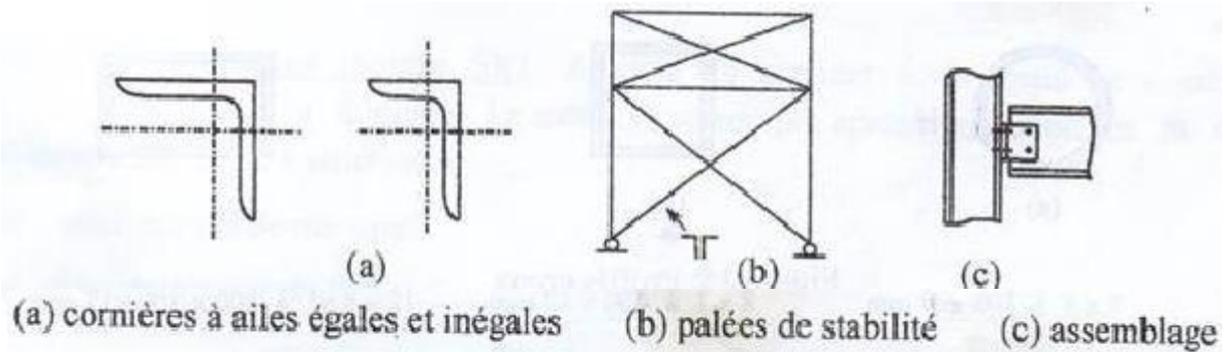


Figure (I.15) Utilisation des cornières

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

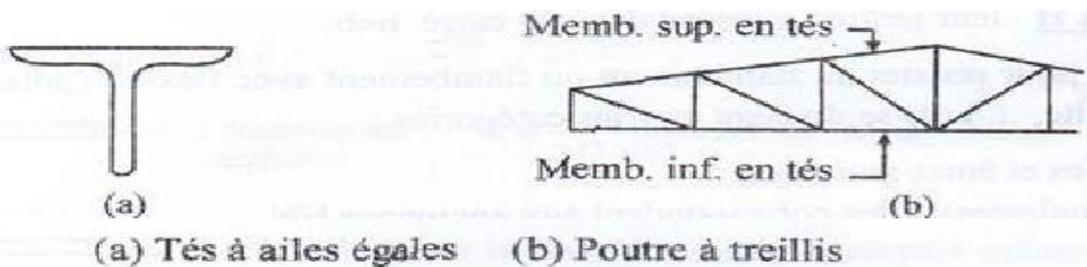


Figure (I.16) Profil en Té

- 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.

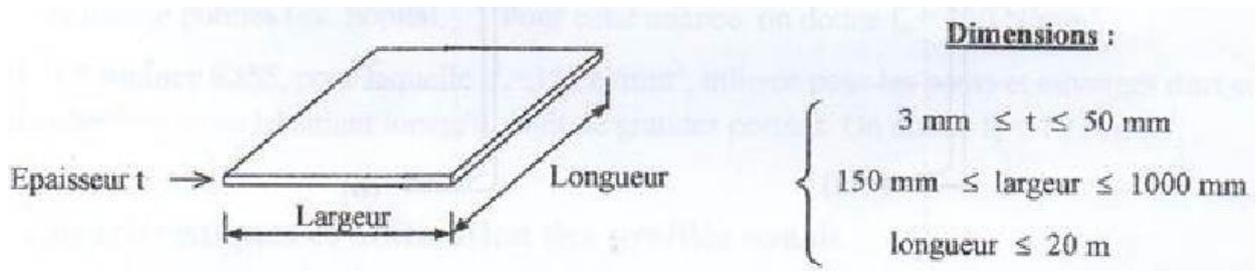


Figure (I.17) Tôles

- 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.

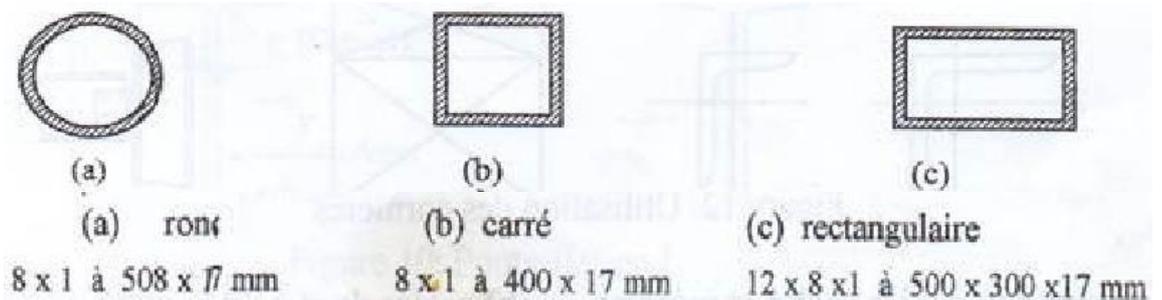


Figure (I.18) Profils creux

Chapitre II

NOTIONS DE BASE ET SECURITE

Notions de bases et sécurité

1. Généralités [1]

La sécurité est définie comme l'absence de risque dans le domaine de la construction, cela implique la stabilité, la durabilité et l'aptitude à l'emploi. La sécurité absolue n'existe pas, il faut accepter une probabilité non négligeable d'accident en bénéficiant des présomptions favorables pour la garantir (la sécurité)

Le dimensionnement des ouvrages et la vérification de la sécurité ne peuvent pas se faire de manière empirique. Ils sont basés sur des règles de calculs bien précises qui utilisent des notions innovées tant sur le plan technique « méthode de calculs ... » que sur le plan normatif « annexes nationales, codification européenne ... »

2. Règlementation

Depuis plusieurs années la réglementation française en ce qui concernait la conception et le calcul des constructions métalliques était largement utilisée en *Algérie* en l'occurrence les « règles CM 66 » qui réglementait tous les bâtiments en acier. Ces règles basées sur l'hypothèse de comportement élastique linéaire de l'acier (loi de Hooke : les contraintes proportionnelles aux déformations), permettaient de calculer la résistance des éléments d'une construction de manière très simple.

En ce qui concerne les ponts et ouvrages d'art le titre V du fascicule 61, intitulé « Conception et calcul des ponts et constructions métalliques en aciers » faisait aussi office.

Ces règlements ont été complétés peu de temps après (les années 1970) par des normes NF, qui régissaient les calculs des assemblages :

- Pour les assemblages rivets : la norme NFP 22410 et P22411.
- Pour les assemblages par boulons ordinaires : normes NFP22430 et P22431.
- Pour les assemblages par boulons précontraints : normes NFP 22460 et P22469.
- Pour les assemblages soudés : normes NFP22470 et P22472.

Le développement de la théorie de plasticité et les résultats de recherche acquis ont permis la mise au point d'un document complémentaire aux anciennes règles qui est « l'additif 80 » (dans les années 1980), qui permettait de tirer parti des propriétés élasto-plastiques de l'acier et d'alléger ainsi les structures.

Depuis 1993 et dans le but d'uniformiser les différentes règles existant dans l'union européenne dans le domaine de la construction, une nouvelle réglementation est entrée en vigueur ce sont les Eurocodes et en particulier l'Eurocode 3 pour les constructions métalliques.

En 1997 est apparu en *Algérie* le « CCM 97 » en remplacement des règles « CM 66 », ce document qui reprend les différentes parties de l'Eurocode 3.

2.1. Eurocode 3 et l'approche de calcul adoptée

L'Eurocode 3 est très enrichi par les avancées réalisées expérimentalement et théoriquement sur les constructions métalliques, c'est un règlement très novateur, il a introduit des notions qui n'existaient pas auparavant comme la classification des sections transversales, il fixe des règles très détaillées de calcul, et propose plusieurs alternatives de dimensionnement (calcul en élasticité, ou en plasticité, calcul selon une analyse globale de la structure au premier ou au second ordre). L'ensemble des calculs est pensé selon une approche très sécuritaire, basé sur une pensée selon une approche très sécuritaire, basé sur une calibration de très nombreuses formules de calculs de résistance.

Au lieu d'un seul facteur de sécurité traditionnellement utilisé, L'Eurocode 3 a introduit plusieurs coefficients partiels de sécurité frappant les charges et les résistances.

2.2. Règlement Algérien CCM 97

Le CCM 97 est le règlement technique Algérien qui vient substituer le CM66 en calcul pratique admis pour les constructions métalliques. Issu du règlement européen unifié dans ce domaine Eurocode3 et, il respecte les recommandations spéciales pour le pays Algérien dans le domaine parasismique et le domaine des surcharges climatiques RNVA 99.

Les règlements sont de deux sortes :

- Les uns définissent les surcharges et actions diverses à prendre en fonction de la destination de l'ouvrage
- Les autres indiquent les dispositions à adopter et la manière de conduire les calculs de vérification de la sécurité

3. Bases de calcul [2]

Pour justifier la sécurité et la durabilité des constructions on emploie souvent une méthode d'états limite (de la construction ou d'un de ses éléments)

3.1. Etats limites

Les états limites sont des états au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux exigences de performance pour lesquelles elle a été conçue.

Les états limites sont classés en :

a /Etats limites ultimes (ELU)

Les états limites ultimes sont associés à la ruine par déformation excessive, rupture, ou perte de stabilité de la structure ou d'une de ses parties, y compris les appuis et les fondations.

b/Etats limites de service (ELS)

Les états limites de service correspondent aux états au delà desquels les critères spécifiés d'exploitation ne sont plus satisfaits, on distingue :

- Les déformations ou flèches affectant l'aspect ou l'exploitation efficace de la construction (y compris le fonctionnement des machines ou des services) ou provoquant des dommages aux finitions ou aux éléments non structuraux.

- Les vibrations incommodant les occupants, endommageant le bâtiment ou son contenu, ou limitant son efficacité fonctionnelle.

3.2. Sollicitations et combinaisons

Les sollicitations qui agissent sur une structure sont de trois types :

a/. Les sollicitations permanentes : [G] :

- Poids propre : $\rho_{\text{acier}} \approx 7800 \text{ Kg/m}^3$

$$P_{\text{béton armé}} \approx 2500 \text{ Kg/m}^3$$

- Les équipements fixes
- Précontrainte

b/. Les sollicitations variables :

- Surcharges d'exploitation [Q]
- Vent
- Neige
- Gradient thermique [T]

c/. Les sollicitations accidentelles :

- Chocs
- Séismes
- Explosions

Les combinaisons de ces sollicitations sont les suivantes selon le 'EC 3'

3.3. Les combinaisons d'actions

Pour déterminer les sollicitations, on utilise les combinaisons d'actions proposées par le CCM 97. Ces combinaisons utilisent le principe de pondération des charges avec des coefficients multiplicateurs :

G_k = action permanente

Q_k = action variable

A = actions accidentelles

$\gamma_{G,j}$: coefficient partiel de sécurité appliquée à l'action permanente $G_{k,j}$

$\gamma_{Q,1}$: coefficient partiel de sécurité appliquée à l'action variable de base $Q_{k,1}$

$\gamma_{Q,i}$: coefficient partiel de sécurité appliquée à l'action variable $Q_{k,j}$

Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2 : des coefficients qui tiennent compte de la possibilité de la simultanéité des actions (tableau II.3)

a) Etats limites ultimes (E.L.U)

Dans la combinaison à l'état limite ultime, les charges sont pondérées comme suit :

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Tableau (II.1) Valeurs des coefficients γ dans les situations générales

Effet	Cas	$\gamma_{G,j}$	$\gamma_{Q,j}$	Combinaison
Défavorable	Général	1,35	1,5	$1,35 G_{k,j} + 1,5 Q_{k,1}$
Favorable	Rare	1	0	$G_{k,j}$

Lorsqu'on introduit les actions accidentelles elles s'écrivent :

$$\sum \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} + A_d$$

Tableau (II.2) Valeurs des coefficients γ dans les situations accidentelles

Accidentelle	$\gamma_{G,j}$	$\gamma_{Q,j}$	A	Combinaison
1 ^{ère} situation	1	1	1	$G_{k,j} + Q_{k,1} + A_d$
2 ^{ème} situation	1	1	1,2	$G_{k,j} + Q_{k,1} + 1,2 A_d$
3 ^{ème} situation	0,8	0	1	$0,8 G_{k,j} + A_d$

b) Etats limites de services : (E.L.S)

La combinaison à l'état limite de service a la forme :

- **Combinaison quasi-permanente**

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- **Combinaison fréquente**

$$\sum G_{k,j} + \Psi_{1,I} Q_{k,I} + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- **Combinaison rare**

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Généralement la combinaison s'écrit: $G_{k,j} + Q_{k,1}$

Tableau (II.3) Valeurs recommandées des coefficients Ψ_i pour les bâtiments

Action	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Charge d'exploitation des bâtiments	0.87	1	1
Charge due à la neige	0.87	1	1
Charge due au vent (voir R.N.V.A.99)	0.67	0.2	0
Charge due à la température hors incendie	0.53	0.5	0

4. Principe de vérification des flèches verticales :

Les composantes horizontales d'une structure métallique doivent avoir des flèches qui restent dans les limites appropriées à l'usage d'utilisation de la construction. Donc à l'état limite de service, on doit s'assurer que la flèche totale : $\delta \leq \delta_{\text{tot}}$ (δ_{tot} : valeur limite de la flèche : tableau II.4)

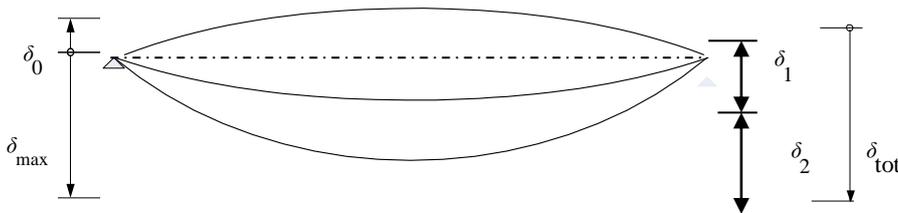


Figure (II.1) Déformations verticales d'une poutre bi-appuyée

δ Est la valeur de la flèche, elle peut prendre une des valeurs suivantes :

δ_0 Contre-flèche dans l'élément de structure non chargé

δ_1 Flèche sous la charge permanente

δ_2 Flèche sous la charge d'exploitation

δ_{tot} La somme de tous les déplacements de la ligne moyenne $\delta_{\text{tot}} = \delta_1 + \delta_2$

δ_{max} La flèche finale à l'état limite de service $\delta_{\text{max}} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$

Tableau (II.4) Valeurs limites recommandées pour les flèches verticales

Conditions	δ_{tot} Limite Pour	
	δ_{max}	δ_2
Toitures en général	L/200	L/250
Toitures supportant fréquemment du personnel d'entretien	L/250	L/300
Planchers en général	L/250	L/300
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou en autres matériaux fragiles ou rigides	L/250	L/350
Planchers supportant des poteaux (à moins que la flèche ait été incluse dans l'analyse globale de l'état limite)	L/400	L/500
Cas où δ_{max} peut nuire à l'aspect du bâtiment	L/250	-
Poutre de roulement : pont roulant de groupe d'utilisation 1-2	L/500	-
Poutre de roulement : pont roulant de groupe d'utilisation 3-4	L/750	-
Poutre de roulement : pont roulant de groupe d'utilisation 5-6	L/1000	-

Dans le tableau qui suit on donne des formules pour le calcul de quelques flèches de poutres sous des cas de chargements et des conditions d'appuis :

Tableau (II.5) Formules pour le calcul de quelques flèches de poutres sous des cas de chargements et des conditions d'appuis

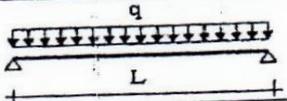
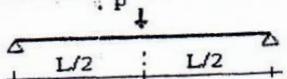
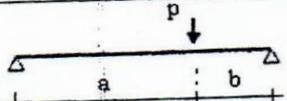
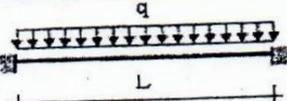
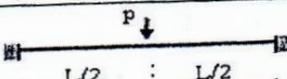
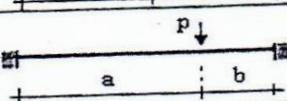
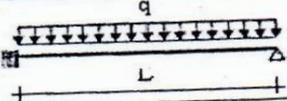
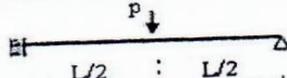
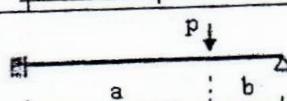
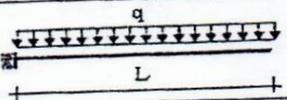
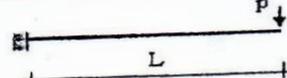
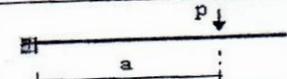
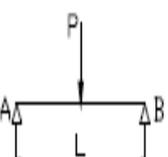
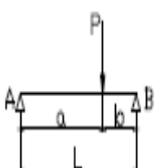
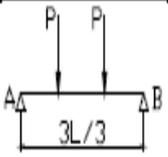
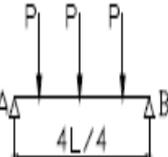
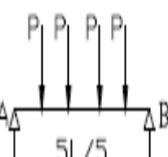
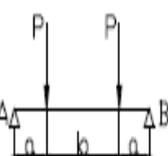
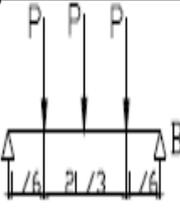
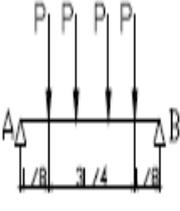
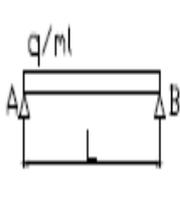
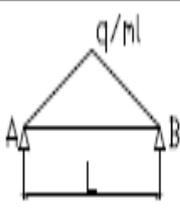
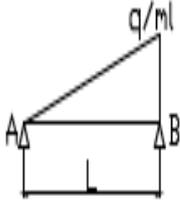
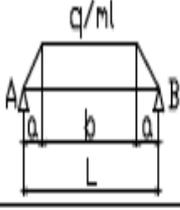
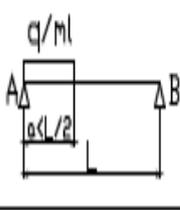
Conditions d'appuis	Système constitué	Flèche : δ
Bi appuyée		$\frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot L \cdot E \cdot I}$
Bi encastrée		$\frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot a^3 \cdot b^3}{3 \cdot L^3 \cdot E \cdot I}$
Encastrée - appuyée		$\frac{q \cdot L^4}{185 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{7 \cdot p \cdot L^3}{768 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot a^3 \cdot b^2 \cdot (3 \cdot L + b)}{12 \cdot L^3 \cdot E \cdot I}$
Console		$\frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$
		$\frac{p \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$

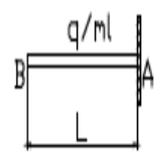
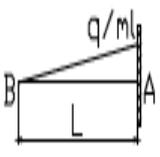
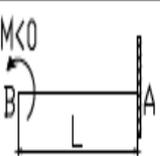
Tableau (II.6) : Formulaire des poutres

FORMULAIRE DES POUTRES

Cas de charges	Réactions aux appuis	Moment maximum	flèche L en m H en mm σ en DaN/mm ²	Flèche à l/2	Rotation aux appuis
	$\frac{P}{2}$	$M_{L/2} = \frac{PL}{4}$	$0.79 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{PL^3}{48EI}$	$\theta_A = -\frac{PL^2}{16EI}$ $\theta_B = +\frac{PL^2}{16EI}$
	$R_A = \frac{Pb}{L}$ $R_B = \frac{Pa}{L}$	$M_0 = M_a = \frac{Pab}{L}$ $M_{L/2} = \frac{Pb}{2}$ (a > b)		$f_{l/2} = \frac{-Pb}{48EI} (3L^2 - 4b^2)$ $f_a = \frac{-Pa^2b^2}{3EI}$ $f_{max} = \frac{-Pb}{27EI} \sqrt{3(L^2 - b^2)^3}$	$\theta_A = \frac{Pb}{6EI} (b^2 - L^2)$ $\theta_B = \frac{Pa}{6EI} (L^2 - a^2)$
	P	$M_{L/2} = \frac{PL}{3}$	$1.01 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{23PL^3}{648EI}$	
	$\frac{3P}{2}$	$M_{L/2} = \frac{PL}{2}$	$0.84 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{19PL^3}{384EI}$	
	2P	$M_{L/2} = \frac{3PL}{5}$	$1.0 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{63PL^3}{1000EI}$	
	P	$M_{L/2} = Pa$	$\frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{24EI}$	

	$\frac{3P}{2}$	$M_{L/2} = \frac{5PL}{12}$	$0.94 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{53PL^3}{1296EI}$	
	$2P$	$M_{L/2} = \frac{PL}{2}$	$0.94 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{41PL^3}{768EI}$	
	$\frac{qL}{2}$	$\frac{qL^2}{8}$	$0.99 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{5qL^4}{384EI}$	$\theta_A = -\frac{qL^3}{24EI}$ $\theta_B = +\frac{qL^3}{24EI}$
	$\frac{qL}{4}$	$\frac{qL^2}{12}$	$0.95 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{qL^4}{120EI}$	$\theta_A = -\frac{5qL^3}{192EI}$ $\theta_B = +\frac{5qL^3}{192EI}$
Cas de charges multiples			$\frac{\sigma L^2}{h}$		
	$R_A = \frac{qL}{6}$ $R_B = \frac{qL}{3}$	$M_0 = \frac{qL^2\sqrt{3}}{27}$ $M_{L/2} = \frac{qL^2}{16}$		$f_{L/2} = -\frac{5qL^4}{768EI}$ $f_{\max} = -\frac{5qL^4}{765EI}$	$\theta_A = -\frac{7qL^3}{360EI}$ $\theta_B = +\frac{8qL^3}{360EI}$
	$R_A = \frac{q}{2}(a+b)$ $R_B = \frac{q}{2}(a+b)$	$M_0 = M_{L/2} = \frac{q}{24}(3L^2 - 4a^2)$		$f_{\max} = f_{L/2} = -\frac{q}{EI} \left(\frac{a^2L^2}{48} + \frac{a^4}{120} - \frac{5L^4}{384} \right)$	$\theta_A = +\frac{q}{24EI} (2a^2L - a^3 - L^3)$ $\theta_B = +\frac{q}{24EI} (L^3 + a^3 - 2a^2L)$
	$R_A = \frac{qa}{L} \left(L - \frac{a}{2} \right)$	$M_x \Big _{L/2} = R_A x - \frac{qx^2}{2}$		$f_{L/2} = -\frac{qa^2}{96EI} (2a^2 - 3L^2)$	

	$R_B = \frac{qa^2}{2L}$	$M_x \frac{L}{L/2} = RAx - \frac{qa}{2}(x - \frac{a}{2})$	$f_{L/2} = \frac{5qL^4}{768EI}$	
			$f_{L/2} = \frac{q}{48EI} \left[\frac{L^4}{16} + \left(a(2L-a) - \frac{L^2}{4} \right)^2 \right]$	
	$R_A = \frac{-M}{L}$ $R_B = \frac{+M}{L}$	$M_0 = M_A = M$ $M_B = 0$	$f_{L/2} = \frac{ML^2}{16EI}$ $f_{max} = \frac{ML^2}{15.58EI}$	$\theta_A = \frac{ML}{3EI}$ $\theta_B = \frac{ML}{6EI}$
	$R_A = \frac{-M}{L}$ $R_B = \frac{+M}{L}$	$M_{aw} = \frac{Ma}{L}$ $M_{ae} = \frac{Mb}{L}$	$f_a = \frac{Mab}{3EI}(a-b)$ $f_{L/2} = \frac{M}{16EI}(4a^2 - L^2)$	$\theta_A = \frac{M}{EI} \left(a - \frac{L}{3} \frac{a^2}{2L} \right)$ $\theta_B = \frac{M}{EI} \left(\frac{L}{6} - \frac{a^2}{2L} \right)$
	$R_A = R_B = \frac{Pa}{2}$	$M_m = \frac{Pa}{8}(2L-a)$	$f_{L/2} = \frac{Pa}{384EI}(8L^3 - 4a^2L + a^3)$	
	$R_A = P$	$M_A = -PL$	$f_B = \frac{PL^3}{3EI}$	$\theta_B = \frac{PL^2}{2EI}$
	$R_A = P$	$M_A = -Pb$	$f_B = \frac{Pb^3}{3EI}$ $f_C = \frac{Pb^2}{6EI}(2L+a)$	$\theta_B = \theta_C = \frac{Pb^2}{2EI}$

	$R_A = qL$	$M_A = -\frac{qL^2}{2}$		$f_B = -\frac{qL^4}{8EI}$	$\theta_B = +\frac{qL^3}{6EI}$
	$R_A = \frac{qL}{2}$	$M_A = -\frac{qL^2}{6}$		$f_B = -\frac{qL^4}{30EI}$	$\theta_B = +\frac{qL^3}{34EI}$
	$R_A = 0$	$M_A = M$		$f_B = -\frac{ML^2}{2EI}$	$\theta_B = \frac{ML}{EI}$

Chapitre III

ASSEMBLAGES

Les assemblages

1 Introduction [2]

Les assemblages sont des procédés d'attachement entre plusieurs éléments afin d'assurer la continuité de la structure dans les points assemblés. Dans la charpente métallique, les moyens d'assemblage utilisés sont les assemblages boulonnés et soudés. Les assemblages boulonnés peuvent être réalisés en rivets, en boulons ordinaires ou en boulons à haute résistance avec précontrainte

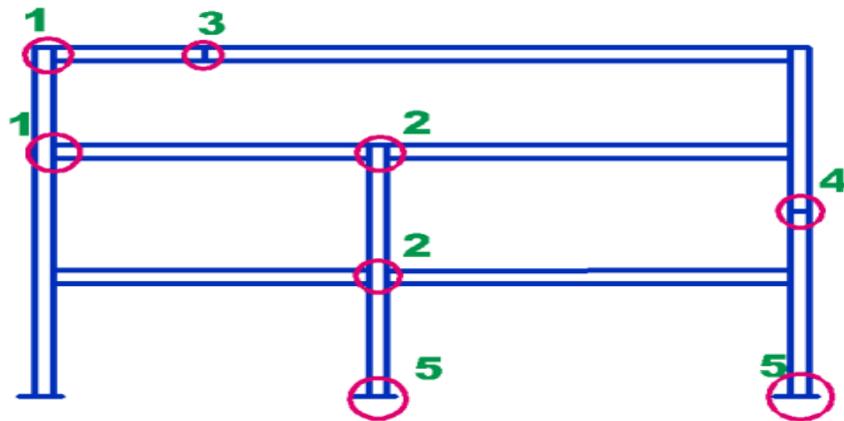


Figure (III. 1) Différents points d'assemblage dans une structure métallique

- 1 : Configuration unilatérale d'assemblage poutre-poteau
- 2 : Configuration bilatérale d'assemblage poutre –poteau
- 3 : Assemblage de continuité de poutre
- 4 : Assemblage de continuité de poteau
- 5 : pied de poteau

2. Assemblages boulonnés

2.1 Assemblage par boulons ordinaires

Le boulonnage est un procédé d'assemblage utilisé en charpente métallique. Il consiste à assembler des éléments moyennant des boulons posés dans des trous préalablement percés dans les pièces. Ces éléments d'attaches fonctionnent donc par leur corps pour résister aux sollicitations imposées.

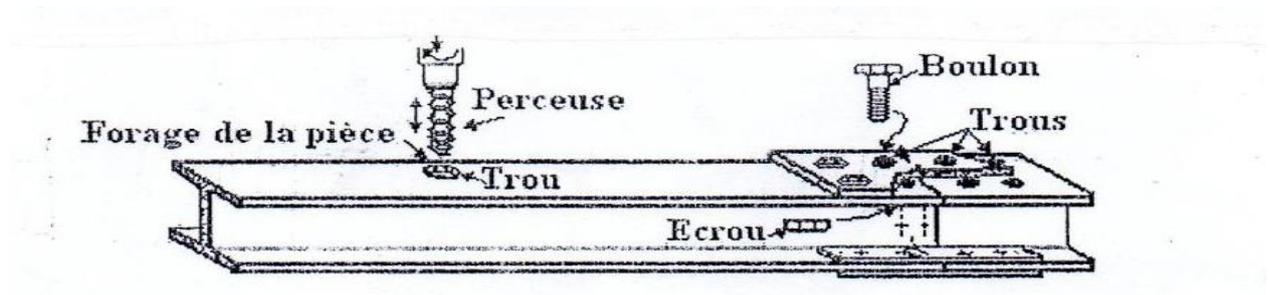


Figure (III. 2) Perçage des trous et emplacement des boulons

Les boulons sont constitués d'une barre ronde filetée pour fixer un écrou de forme hexagonale qui avec la tête du boulon assure le serrage des pièces assemblées. Une rondelle ronde ou carrée, plane ou avec bossage peut être interposée sous l'écrou.

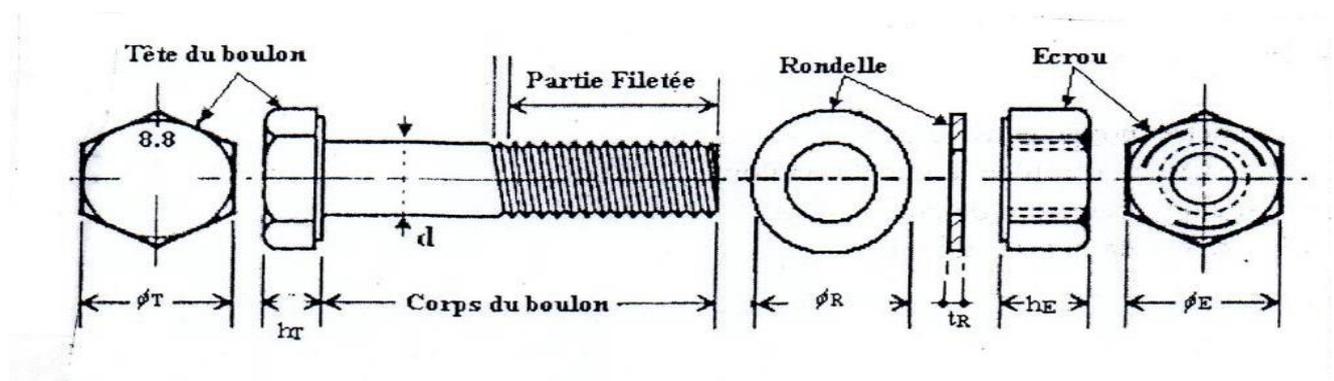


Figure (III. 3) Terminologie d'un boulon

2.1.1 . Caractéristiques géométriques des boulons

Les caractéristiques géométriques des boulons qui sont indispensables pour concevoir, dimensionner et réaliser un boulonnage sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau (III.1) Caractéristiques géométriques d'un boulon

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d₀ (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A (mm²)	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A_s (mm²)	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561
φ_R (mm)	16	20	24	27	30	34	36	40	44	50	52
t_R (mm)	<3	<3	3	3	3	¾	4	4	4	4/5	5
d_m (mm)	14	18.3	20.5	23.7	24.58	29.1	32.4	34.5	38.8	44.2	49.6
Φ_T(mm)⁽¹⁾	12/14	15/17	18/22	21/24	24/27	27/31	30/32	33/35	36/41	41/46	46/50
h_T (mm)	6	7	8	9	10	12	13	14	15	17	19
Φ_E (mm)	12/14	15/17	18/22	21/24	24/27	27/31	30/32	33/35	36/41	41/46	46/50
h_E (mm)⁽²⁾	7/7	9/9	10.8/11	12.6/13	14.8/15	16.2/17	18/18	20/20	21.5/22	24.3/25	25.6/27
Φ_{clé} (mm)	21	27	31	51	51	51	58	58	58	58	58
Tôle usuelle (mm)	2	3	4	5	6	7	8	10.14	>14	-	-
Cornière usuelle (mm)	30	35	40	50	60	70	80	120	>120	-	-
(1) :	la	deuxième	Valeur	concerne	Les	boulons	de	classe	10.9		
(2) :	la	deuxième	Valeur	concerne	Les	boulons	de	classe	8.8	et 10.9	

Où :

d : diamètre de la partie non filetée de la tige

d_0 : diamètre nominal du trou

A : la section nominale du boulon (la partie non filetée)

A_s : la section résistante de la partie filetée du boulon

ϕ_R : diamètre de la rondelle

t_R : l'épaisseur de la rondelle

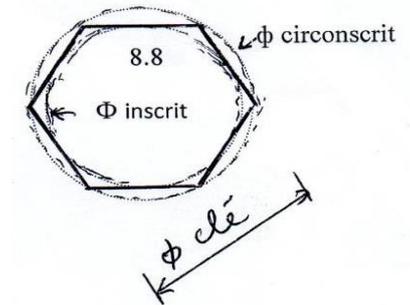
d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le cercle inscrit de la tête du boulon

Φ_T : diamètre circonscrit de la tête du boulon

Φ_E : diamètre extérieur de l'écrou

h_E : la hauteur de l'écrou

$\Phi_{Clé}$: diamètre de la clé pour tourner et serrer l'écrou



2.1.2. Caractéristiques mécaniques des boulons

Les boulons sont produits en sept nuances d'aciers appelées classe de boulon. Chaque classe donne une résistance à la limite élastique f_{yb} et une résistance ultime à la traction f_{ub} . Les boulons de classes 8.8 et 10.9 sont appelés boulons à haute résistance (H.R).

Tableau (III. 2) Classes de boulons et valeurs de f_{yb} et f_{ub}

Classe	Classe : a.b	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}(N/mm^2)$	$f_{yb} = a.b.10$	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}(N/mm^2)$	$f_{ub} = a.100$	400	400	500	500	600	800	1000

2.1.3. Fonctionnement des assemblages

*Fonctionnement par obstacle

C'est le cas des boulons ordinaires, non précontraint, dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnent en cisaillement.

*Fonctionnement par adhérence des pièces assemblées

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage, le collage, le boulonnage par boulons HR.

* Fonctionnement mixte

C'est le cas du rivetage (et dans les cas extrêmes des boulons HR), à savoir que les rivets assurent la transmission des efforts par adhérence des pièces jusqu'à une certaine limite, qui lorsqu'elle est dépassée, fait intervenir les rivets par obstacle, au cisaillement.

2.1.4. Mécanisme de fonctionnement d'un boulonnage ordinaire

Pour assurer la continuité dans un assemblage par boulonnage ordinaire, les boulons résistent avec leurs corps pour transmettre l'ensemble des efforts d'une pièce à une autre. On peut résumer les sollicitations des boulons en trois cas, le cisaillement, la traction ou les deux à la fois.

2.1.4.1. Le cisaillement

Travaillant comme butée entre les pièces, la tige du boulon est **cisailée** dans les plans des interfaces de frottement entre les pièces. Des contraintes normales sont créées au niveau des points de contacts entre les plaques assemblées et le boulon, ces contraintes sont appelées **pressions diamétrales**, d'où la nécessité de vérifier que les épaisseurs des pièces assemblées suffisent pour résister à ces contraintes planes. Le nombre des plans de contacts influe sur la résistance du boulon, car en augmentant, il multiplie le nombre des sections résistants de la tige.

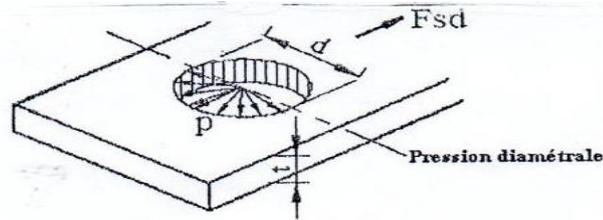


Figure (III.4) La pression diamétrale sur une pièce assemblée

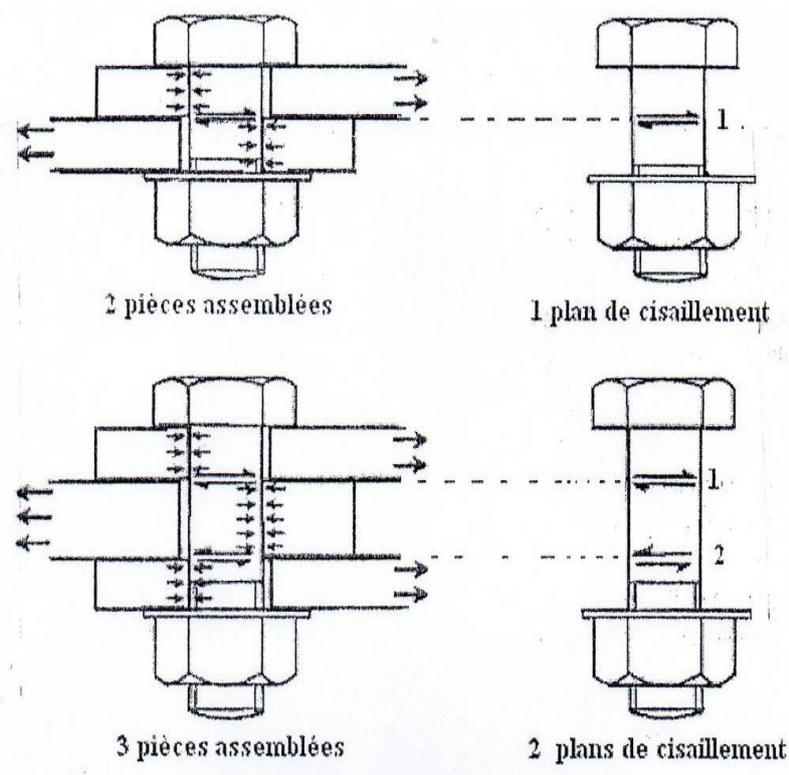


Figure (III.5) Fonctionnement et nombre de plan de cisaillement d'un boulon ordinaire

2.1.4.1.a. Résistance du boulon au cisaillement

La résistance au cisaillement d'un boulon $F_{v,Rd}$ est donnée en fonction de sa classe avec la valeur ultime de l'acier, pour un plan de cisaillement, il faut que :

$$F_{v,sd} \leq F_{v,Rd} \quad (III.1)$$

- Pour les classes : 4.6, 5.6 et 8.8 :

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (III.2)$$

- Pour les classes : 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 :

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (\text{III.3})$$

- Si pour le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon :

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (\text{III.4})$$

- $\gamma_{M2} = 1,25$ (coefficient partiel de sécurité du boulonnage)
- A_s : la section résistante de la partie filetée du boulon
- A : la section nominale du boulon (la partie non filetée)
- f_{ub} ; la résistance ultime à la traction de l'acier du boulon

Pour les rivets : $F_{v,sd} \leq F_{v,Rd} \quad (\text{III.5})$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} \quad (\text{III.6}) \quad ; \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

A_0 : la section nominale du rivet

f_{ur} : la résistance ultime à la traction de l'acier du rivet

2.1.4.1.b. Vérification de la pression diamétrale

Cette vérification tient compte des dimensions géométriques des pièces assemblées au voisinage du boulon ou du rivet :

$$F_{v,sd} \leq F_{b,Rd} \quad (\text{III.7})$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{III.8}) \quad ; \quad \gamma_{Mb} = 1,25$$

$$\text{Avec : } \alpha = \min \left(\frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1 \right) \quad (\text{III.9})$$

$F_{b,Rd}$: la résistance de la pièce à la pression diamétrale au bord d'un trou normalisé

d : diamètre de la partie non fileté de la tige du boulon

d_0 ; diamètre nominal du trou

t : l'épaisseur de la pièce assemblée

f_u : la résistance ultime à la traction de l'acier de la pièce assemblée

e_1, p_1 : distances pour les dispositions constructives



Figure (III.6) Dispositions constructives réglementaire

Tableau (III.3) Minimal et maximal des pinces et entraxes (en millimètres) [4]

Pincés et entraxes	Minimum	Maximum		
		Structures en aciers conformes à la norme EN 10025 à l'exception des aciers conformes à la norme EN 10025-5		Structures en aciers conformes à la norme EN 10025-5
		Acier exposé aux intempéries ou à d'autres influences corrosives	Acier non exposé aux intempéries ou à d'autres influences corrosives	Acier utilisé non protégé
Pince e_1	$1.2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	---	$\geq 8t$ et $\leq 125 \text{ mm}$
Pince e_2	$1.2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	---	$\geq 8t$ et $\leq 125 \text{ mm}$
Pince e_3 dans les trous oblongs	$1.5 d_0$	---	---	---
Pince e_4 dans les trous oblongs	$1.5 d_0$	---	---	---
Entraxe P_1	$2.2 d_0$	$\leq 14t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	$\leq 14t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	$\leq 14t_{\min}$ et $\leq 175 \text{ mm}$
Entraxe $P_{1,0}$	---	$\leq 14t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	---	---
Entraxe $P_{1,s}$	---	$\leq 28t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	---	---
Entraxe P_2	$2.4 d_0$	$\leq 14t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	$\leq 14t$ et $\leq 200 \text{ mm}$	$\leq 14t_{\min}$ et $\leq 175 \text{ mm}$

t est l'épaisseur de la partie extérieure assemblée la plus mince.

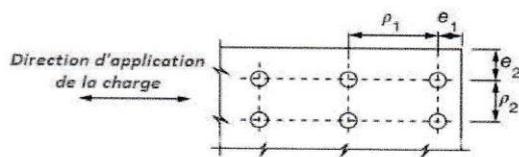
La valeur minimale de : e_1 doit être augmentée s'il est nécessaire d'obtenir une résistance adéquate à la pression diamétrale.

Si intempéries ou risques de corrosion :

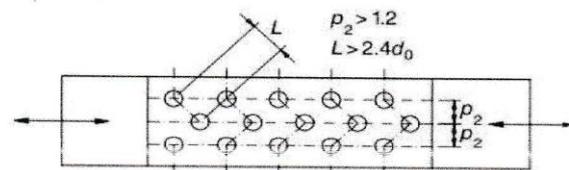
$$e_1 \leq 40 \text{ mm} + 4t$$

$$e_2 \leq 40 \text{ mm} + 4t$$

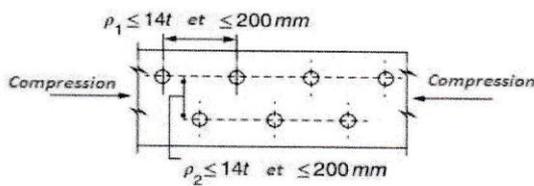
(a)



(b)



(c)



(d)

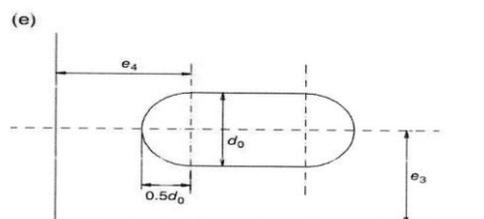
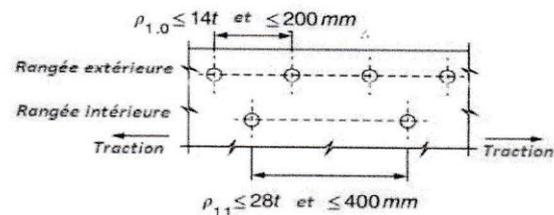


Figure (III.7) Symboles pour les pincés transversales et longitudinales et pour l'espacement des fixations

Si les trous surdimensionnés sont utilisés, la valeur de $F_{b,Rd}$ serait multipliée par 0,8.

Si les trous sont oblongs et l'effort est perpendiculaire à la force on prend $0,6 F_{b,Rd}$.

2.1.4.1.c. Catégorie de l'assemblage

Ce type d'assemblage réalisé par des boulons ordinaires et dimensionné par rapport à l'effort de cisaillement ultime et la pression diamétrale est classée en catégorie A par (l'EC 3). Les assemblages de cette catégorie sont appelés ; assemblages travaillant à la pression diamétrale.

2.1.4.2. La traction

Si la sollicitation est parallèle à l'axe de la tige du boulon, ce dernier est simplement sollicité en traction. Des contraintes de poinçonnement des pièces assemblées apparaissent au niveau des aires de contacts entre la plaque et la tête du boulon d'un côté et l'autre plaque et l'écrou de l'autre.

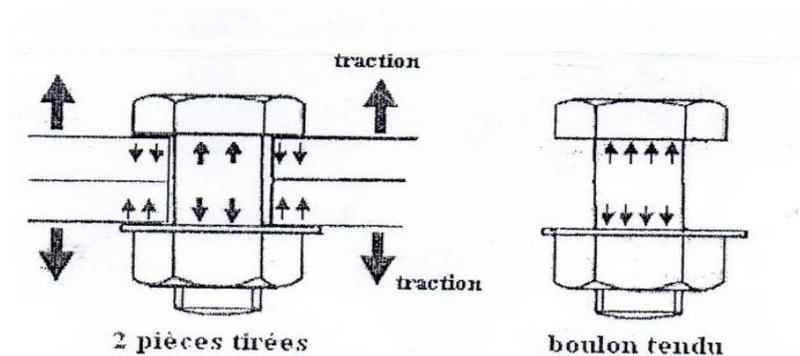


Figure (III.8) Un boulon tendu

2.1.4.2.a. Résistance d'un boulon à la traction

La résistance à la traction d'un boulon $F_{t,Rd}$ est calculée avec sa section, en fonction de sa classe. Pour un boulon tendu il faut que :

$$F_{t,sd} \leq F_{t,Rd} \quad (III.10)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (III.11)$$

$\gamma_{M2} = 1,5$ (particulièrement pour les boulons travaillant en traction, le coefficient partiel de sécurité γ_{Mb} est pris égal à 1,5).

A_s : la section résistante de la partie filetée du boulon

f_{ub} : la résistance ultime à la traction de l'acier du boulon.

Pour les rivets :

$$F_{t,sd} \leq F_{t,Rd} \quad (III.12)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} \quad (\text{III.13}) ; \quad \gamma_{M2} = 1,5$$

A_0 : la section nominale du rivet

f_{ur} : la résistance ultime à la traction de l'acier du rivet.

2.1.4.2.b. Vérification du poinçonnement

La vérification du poinçonnement exprime la résistance de la pièce sous la charge concentrée appliquée par la tête du boulon ou l'écrou.

Elle est donnée par : $F_{t,sd} \leq B_{p,Rd}$ (III.14)

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{III.15})$$

$B_{p,Rd}$: la résistance au poinçonnement de la pièce

$\gamma_{M2} = 1,25$

d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le diamètre inscrit de la tête du boulon (tableau 1)

t_p : l'épaisseur de la pièce assemblée

f_u : la résistance ultime à la traction de l'acier de la pièce assemblée

Remarque : cette vérification est sans objet pour les rivets

2.1.4.2.c. Catégorie de l'assemblage

Les assemblages en boulons ordinaires résistants à l'effort de traction et vérifiés au poinçonnement sont classés par (L'EC3) en **catégorie D**. Cette catégorie désigne les assemblages par boulons tendus non précontraints.

2.1.4.3. Effort combiné entre la traction et le cisaillement

Une sollicitation inclinée sur les pièces assemblées donne une interaction entre le cisaillement et la traction dans le boulon ou le **rivet** d'assemblage.

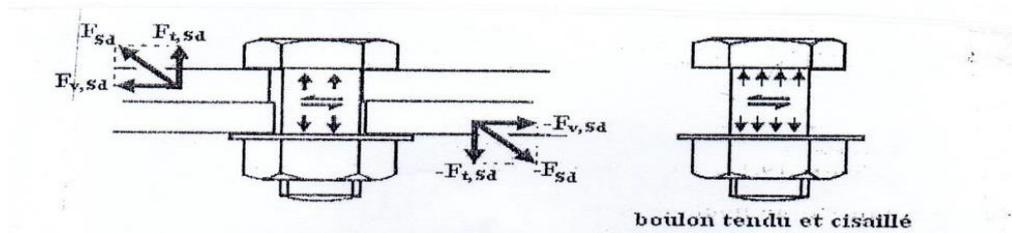


Figure (III.9) Sollicitation d'un boulon tendu et cisailé

2.1.4.4. Vérification d'un boulon soumis aux effets combinés

L'EC3 recommande pour les boulons ou les rivets de satisfaire les conditions suivantes :

- Le boulon aux effets combinés :
$$\frac{F_{t,sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (\text{III.16})$$

- Le boulon tendu :
$$F_{t,sd} \leq F_{t,Rd} \quad (\text{III.17})$$

- La pression diamétrale :
$$F_{v,sd} \leq F_{b,Rd} \quad (\text{III.18})$$

- Le poinçonnement pour les boulons uniquement :
$$F_{t,sd} \leq B_{p,Rd} \quad (\text{III.19})$$

(La vérification des boulons tendus est exigée à part, car dans la combinaison enveloppe entre $F_{v,sd}$ et $F_{t,sd}$ cette dernière est divisée sur 1,4 « minimisée »).

2.1.4.5. Assemblages longs de catégorie A :

Pour les assemblages longs, lorsque la distance entre les centres des deux files de boulons d'extrémités est importante, notamment lorsqu'elle dépasse $15d$; la résistance des boulons au cisaillement diminue. Cette réduction de la résistance est exprimée par un coefficient minorateur β_{Lf} donné par :

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (\text{III.20}) \quad \text{avec : } 0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

Autrement écrit :

$$\text{Pour } L_j > 15d \implies F_{v,sd} \leq \beta_{Lf} \cdot F_{v,Rd} \quad (\text{III.21})$$

L_j : la distance entre les deux boulons extrêmes prise dans le sens de l'effort de cisaillement.

Cette réduction est valable uniquement pour la résistance au cisaillement des assemblages de catégorie A et ne s'applique ni sur la vérification de la pression diamétrale de

cette dernière ni sur les autres catégories d'assemblages.

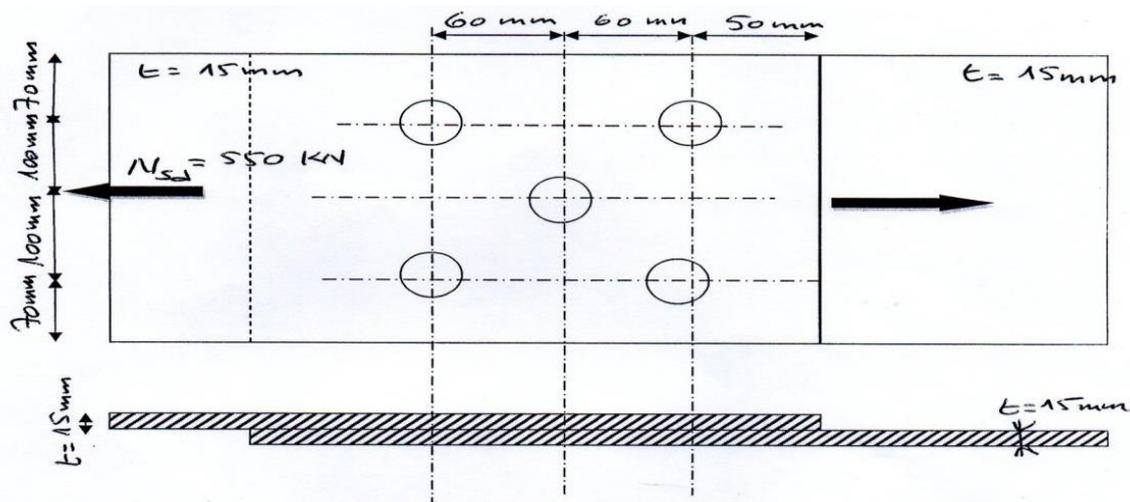


Figure (III.10) Assemblages longs

Exemple d'application : Assemblage de catégorie A de 2 pièces

Soit un assemblage par boulonnage ordinaire entre deux pièces tendues. Il est constitué de 5 boulons de classe 8.8 et transmet un effort $N_{sd} = 550$ kN entre les deux plats dont chacun a une épaisseur $t = 15$ mm. La nuance d'acier des plats est S235

- 1- De quelle catégorie est cet assemblage ?
- 2- Calculer le diamètre nécessaire des boulons ?
- 3- Vérifier la pression diamétrale dans les pièces assemblées ?
- 4- Vérifier la conformité de la disposition des boulons si les pièces assemblées sont protégées contre les effets extérieurs ?



Coupe longitudinale

Solution :**1/ Catégorie de l'assemblage**

Il s'agit d'un boulonnage ordinaire travaillant au cisaillement donc Boulonnage catégorie A.

L'effort de cisaillement repris par chaque boulon est :

$$F_{v,sd} = \frac{N_{sd}}{m \cdot n_B} = \frac{550}{5} = 110 \text{ KN} \quad , n_B : n^{\text{bre}} \text{ de boulons} ; m : n^{\text{bre}} \text{ de plan de cisaillement}$$

2/ Calcul du diamètre des boulons

Pour un plan de cisaillement nous avons : $F_{v,sd} \leq F_{v,Rd}$

Pour les classes : 4.6, 5.6 et 8.8 : $F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$

$$\Rightarrow F_{v,sd} \leq \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \Rightarrow \quad A_s \geq \frac{\gamma_{Mb} \cdot F_{v,sd}}{0.6 \cdot f_{ub}}$$

$$\Rightarrow A_s \geq \frac{1,25 \cdot 110000}{0,6 \cdot 800} \Rightarrow A_s \geq 286,46 \text{ mm}^2 \quad \text{on utilise des boulons M22 (} A_s = 303 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$L_j = 120 \text{ mm} < 15 d = 330 \text{ mm} \quad \Rightarrow$ pas de réduction de la résistance des boulons

3/ Vérification de la pression diamétrale

Pour un plan de cisaillement, nous avons : $F_{v,sd} \leq F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad ; \quad \gamma_{Mb} = 1,25$$

Pour les boulons M22 le diamètre des trous est :

$$d_0 = d + 2 = 22 + 2 = 24 \text{ mm} ; 3 \text{ mm} < t = 15 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad f_u = 340 \text{ MPa}$$

$$\text{Avec: } \alpha = \min \left[\left(\frac{e_1}{3d_0} ; \left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right) ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1 \right) \right] = \min \left[\left(\frac{50}{3 \cdot 24} ; \left(\frac{120}{3 \cdot 24} - \frac{1}{4} \right) ; \frac{800}{340} ; 1 \right) \right]$$

$$\alpha = \min [(0,694 ; 1,416 ; 2,352 ; 1)] = 0,694$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,694 \cdot 340 \cdot 22 \cdot 15}{1,25} = 155733,6 \text{ N} = 155,73 \text{ KN}$$

$$F_{v,sd} = 110 \text{ KN} \leq F_{b,Rd} = 164,89 \text{ KN}$$

Donc les pièces assemblées résistent à la pression diamétrale.

4/Vérification de la conformité de la disposition des trous :

$t = 15 \text{ mm}$; $d_0 = 24 \text{ mm}$ (tableau 4, figure 7)

Pour un plat intérieur (protégé contre les effets externes)

$$2,2 d_0 \leq p_1 \leq \text{Min} (28 t ; 400 \text{ mm}) \implies 52,8 \text{ mm} < p_1 = 120 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad \text{Ok}$$

$$p_2 \geq 2,4 d_0 \implies p_2 = 100 \text{ mm} > 2,4 d_0 = 57,6 \text{ mm} \quad \text{Ok}$$

Donc la conception de cet assemblage est conforme.

2.2. Les rivets :

Le rivetage est la plus ancienne procédure d'assemblage utilisée. Cette technique de moins en moins utilisée, consiste à faire passer un rivet chauffé à travers un trou et forger l'autre partie débordante de la tige par pression ou martelage (par bouterolle), pour former une second tête de l'autre cote de l'assemblage.

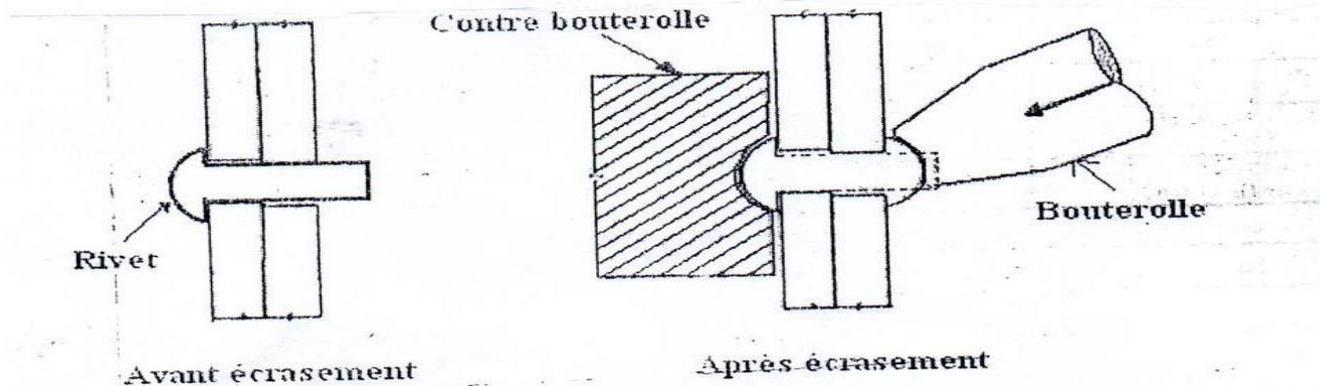


Figure (III.11) Exécution de la pose d'un rivet

2.2. a. Caractéristiques géométriques et mécaniques des rivets

De même que pour les boulons, les caractéristiques géométriques et mécaniques des rivets sont indispensables pour réaliser des assemblages avec eux. La gamme des diamètres des rivets de 2 mm à plus de 24 mm, mais dépassent 8 mm. Dans ce qui suit, on va citer quelques types de rivets et leurs caractéristiques, en fonction de la forme de leurs têtes.

Tableau (III.4) Caractéristiques géométriques de quelques rivets

Rivet		à tête ronde	à tête de goutte	à tête plate	à tête fraisée	à tête fraisée
Valeur de	Forme à					
D	Froid	$1,75 \cdot d$	$2 \cdot d$	$2 \cdot d$	$2 \cdot d$	$1,5 \cdot d$
	Chaud	$1,6 \cdot d$				
K	Froid	$0,6 \cdot d$	$0,4 \cdot d$	$0,25 \cdot d$	$0,5 \cdot d$	$0,43 \cdot d$
	Chaud	$0,65 \cdot d$				
R	-	-	$3 \cdot d$	-	-	-
r	-	-	$0,6 \cdot d$	-	-	-

2.3. Assemblage par des boulons précontraints

Si $F_{p,c}$ est l'effort de précontrainte axial dans un boulon et F_s l'effort de cisaillement transmis par l'assemblage et sollicitant le dit boulon, il faut vérifier que l'interface des pièces en contact puisse transmettre l'effort tangent, sans glissement, soit :

$$F_s \leq \mu F_p \quad (\text{III.22})$$

$$\text{Avec : } F_s \leq 0.7 f_{ub} A_s \quad (\text{III.23})$$

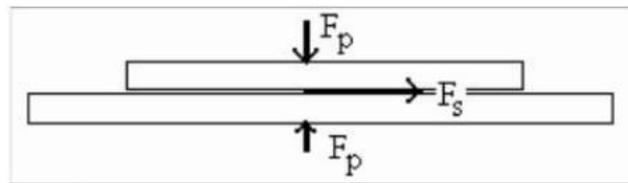


Figure (III.12) Fonctionnement d'un boulon HR

Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Une préparation des surfaces est nécessaire, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine, de graisse, etc...

$\mu = 0.50$ pour les surfaces de **classe A**

$\mu = 0.30$ pour les surfaces de **classe C**

$\mu = 0.40$ pour les surfaces de **classe B**

$\mu = 0.20$ pour les surfaces de **classe D**

Classe A : Surface découpées par grenailage ou sablage, avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes et sans piqûres de corrosion ;

Classe B : Surfaces sablées avec de la grenaille ou du sable

- a) métallisé par pulvérisation avec un produit à base d'aluminium ou du zinc ;
- b) avec une peinture au silicate de zinc-alcalin d'une épaisseur de 50 à 80 μm .

Classe C : surfaces nettoyées par brossage métallique ou à la flamme avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes.

Classe D : Surfaces non traitées (surfaces telles que laminées).

2.3.1. Caractéristiques mécaniques des boulons précontraints

Il existe deux classes de boulons HR, définies en fonction de leur contrainte limite d'élasticité f_{yb} et leur contrainte de rupture f_{ub} :

- Les boulons HR 1 ou HR 10.9,
- Les boulons HR 2 ou HR 8.8

Le premier chiffre correspond à $f_{ub}/100$

Le second chiffre correspond à $10 f_{yb}/f_{ub}$

Tableau (III.5) Principales caractéristiques mécaniques des boulons HR

Repère	Appellation	f_{ub} (MPa)	F_{yb} (MPa)
HR 1	HR 10.9	1000	900
HR 2	HR 8.8	800	640

3.2. Assemblage résistant au glissement

La résistance au glissement F_s d'un boulon HR précontraint vaut :

$$F_{S,Rd} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p.cd} / \gamma_{M3} \quad (\text{III.24})$$

Avec :

$$F_{p.c} \text{ est la force de précontrainte, } F_{p.c} = 0,7 f_{ub} \cdot A_s \quad (\text{III.25})$$

$\mu=0.5$: pour les surfaces de classe A ;

$\mu=0.4$: pour les surfaces de classe B ;

$\mu=0.3$: pour les surfaces de classe C ;

$\mu=0.2$: pour les surfaces de classe D ;

μ est le coefficient de frottement des pièces,

n est le nombre d'interface de frottement,

k_s est un coefficient fonction de la dimension des trous de perçage et vaut :

$k_s = 1$ pour les trous de tolérances normales, à savoir :

1 mm pour les boulons $\emptyset 12$ et $\emptyset 14$

2 mm pour les boulons $\emptyset 16$, $\emptyset 18$, $\emptyset 20$, $\emptyset 22$, et $24 \emptyset$

3 mm pour les boulons $\emptyset 27$ et plus

$k_s=0.85$ pour les trous circulaires surdimensionnés et pour les trous oblongs courts.

$k_s =0.7$ pour les trous oblongs longs

γ_{M3} est le coefficient partiel de sécurité qui dépend de l'état limite examiné et de l'orientation du trou de perçage :

A L'ELU :

$\gamma_{M3}=1.25$: pour les trous à tolérance normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort ;

$\gamma_{M3}=1.40$: pour les trous surdimensionnés, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est parallèles à l'axe de l'effort ;

A L'ELS :

$\gamma_{M3}=1.10$: pour les trous à tolérance normales, ainsi que pour les trous oblongs dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de l'effort ;

4. Assemblages Soudés

Le soudage est un procédé qui permet d'assembler des pièces par liaison intime de la matière, obtenue par fusion ou plastification ;

Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages :

- Il assure la continuité de matière, et, de ce fait, garantit une bonne transmission des sollicitations ;
- Il dispense de pièces secondaires (goussets, attaches, et...) ;
- Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

En revanche, il présente divers inconvénients :

- le métal de base doit être soudable ;
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux ;
- le contrôle des soudeurs est aléatoire ;
- le soudage exige une main-d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique.

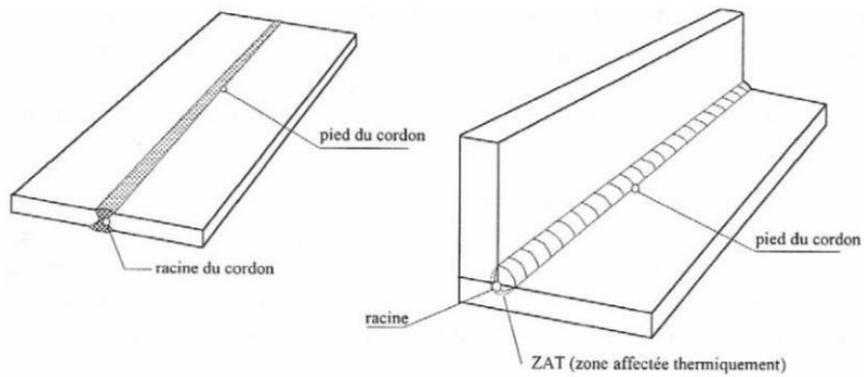


Figure (III.13) Liaison de deux pièces par soudage

4.1. Dispositions Constructives

On distingue généralement :

Les soudures bout à bout : soit à pénétration totale ou partielle. Les pièces dont l'épaisseur est importante $t > 6$ mm doivent être chanfreinées.

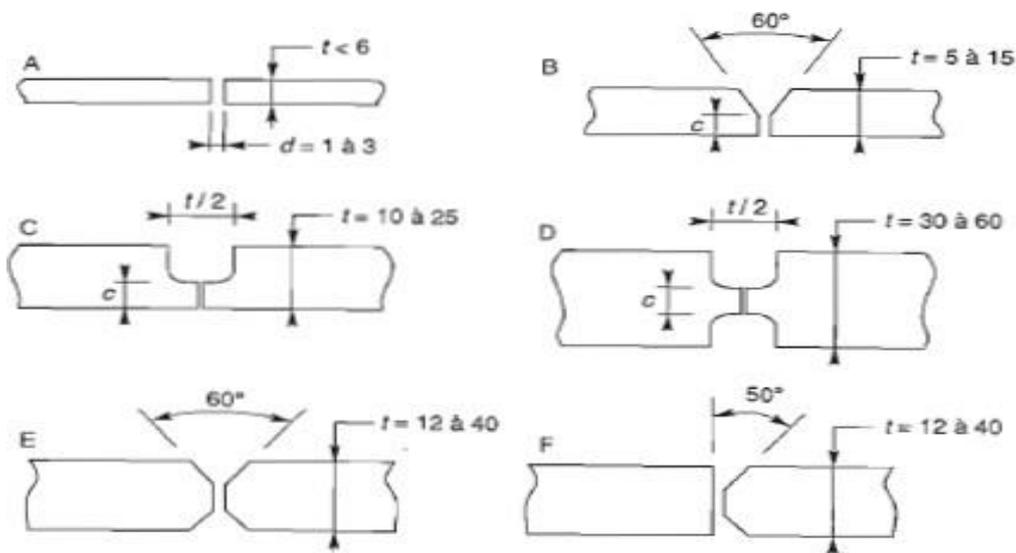


Figure (III.14) Soudure bout-à-bout

Soudures d'angle : les cordons d'angle peuvent être plats et/ou bombés à l'extérieur ou à l'intérieur.

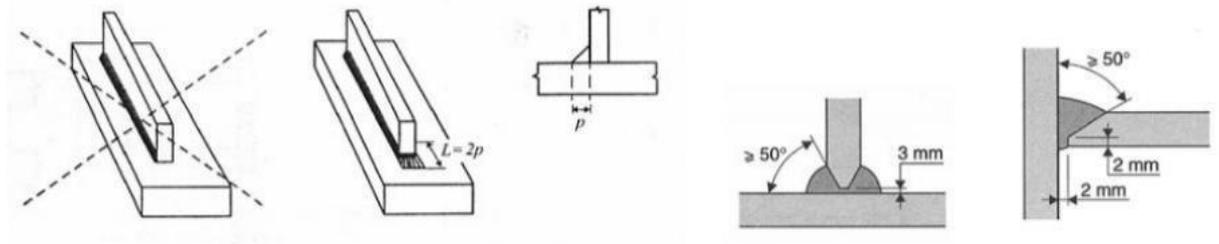


Figure (III.15) Soudure d'angle

Il convient de ne pas arrêter les soudures d'angle aux extrémités des éléments assemblés. Elles doivent contourner les coins des assemblages sans interruption, en gardant leur dimension sur une longueur égale à deux fois le pied du cordon, à tous les endroits où ce retour est possible dans un même plan.

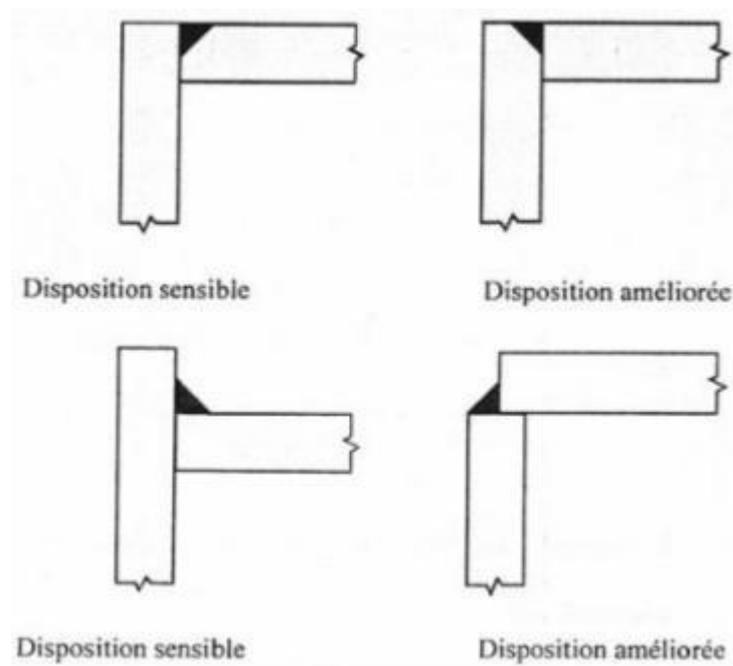


Figure (III.16) Dispositions constructives évitant l'arrachement lamellaire

- Autres types de liaisons soudées :

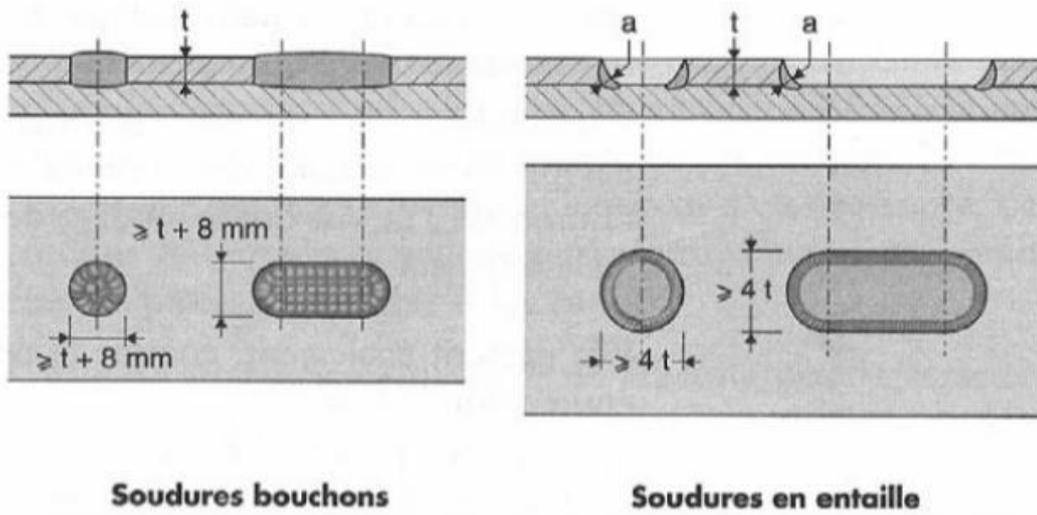


Figure (III.17) Autres types de liaisons soudées

4.2. Calcul de résistance des cordons de soudure

a) Pré dimensionnement de la gorge

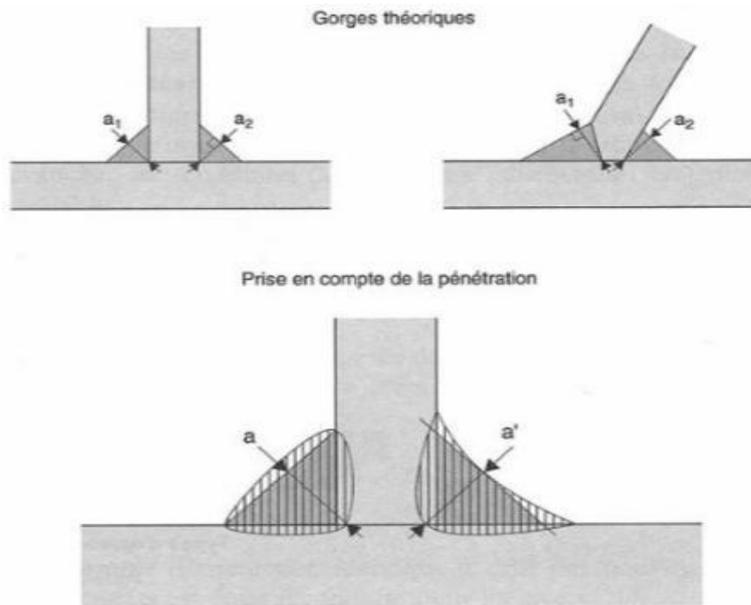


Figure (III.18) Définition de la gorge de cordon d'angle

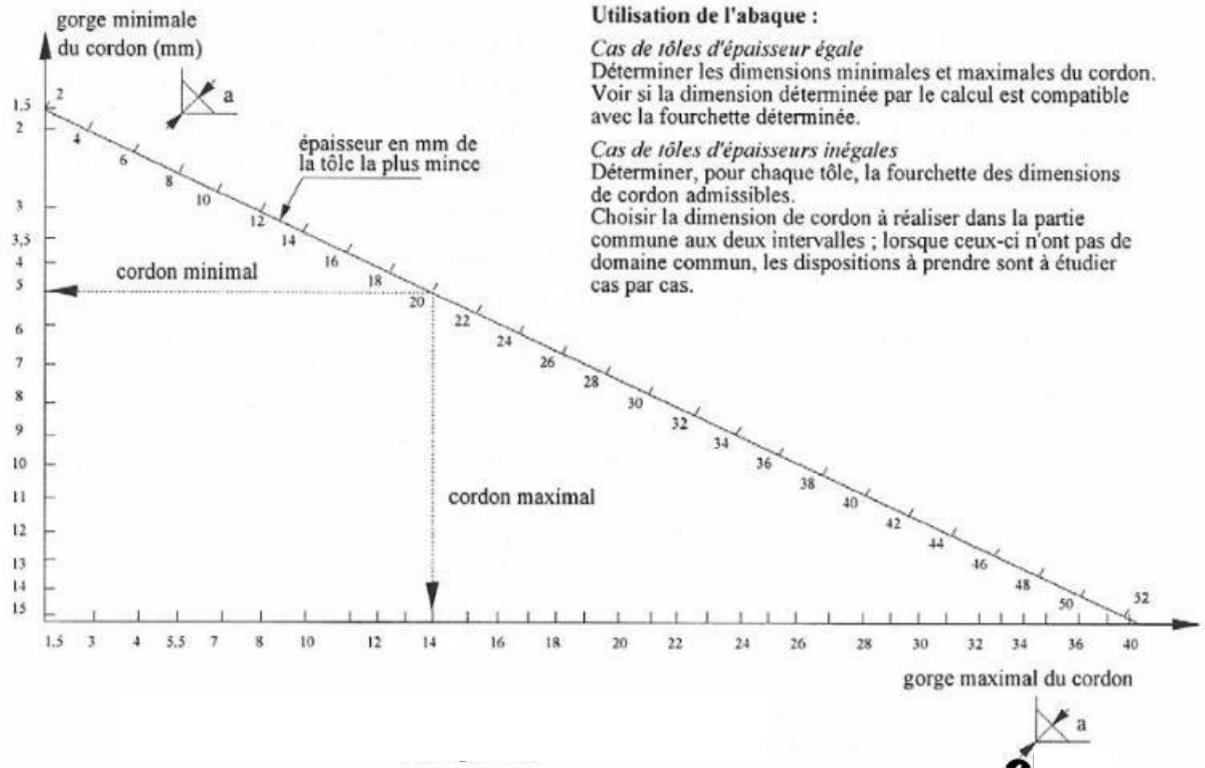


Figure (III.19) Abaque du pré dimensionnement de la gorge « a » [1]

b) Soudure bout à bout

Ce type de soudure ne se calcule pas. On admet qu'il y a continuité de matière, donc continuité des pièces, aux deux conditions toutefois, que l'épaisseur de la soudure soit au moins égale à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées et que le métal d'apport ait des caractéristiques mécaniques au moins égales à celle du métal de base.

c) Soudure d'angle

Le cordon de soudure d'angle se caractérise par :

- Une longueur L qui est égale à la longueur de la pièce assemblée ;
- Une épaisseur de gorge a qui est égale à la distance minimale de la racine à la surface du cordon, du plus grand triangle inscrit dans l'épaisseur de la soudure.

Les efforts dans un cordon de soudure d'angle sont transmis d'une pièce à l'autre à travers le cordon de soudure, en passant par la section de gorge d'aire minimale égale à $(a.L)$.

La résistance de la soudure d'angle est suffisante si la condition suivante est satisfaite :

$$\sqrt{\sigma^2 - 4(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad \text{Équation fondamentale} \quad (\text{III.26})$$

$$\sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

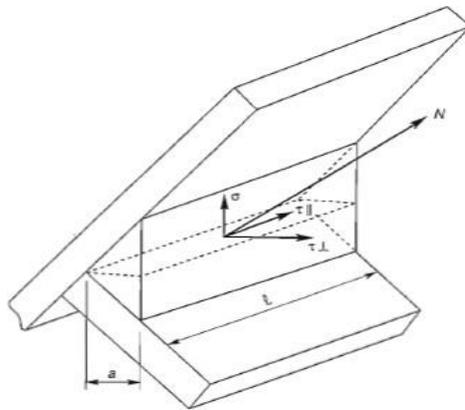


Figure (III.20) Etat de contrainte dans la section de gorge.

N : étant l'effort pondéré appliqué à chaque cordon, supposé centrer au milieu de la longueur du cordon.

Les contraintes normales et tangentielles résultant de l'effort appliqué sont décomposées suivant les directions transversales et longitudinales du cordon en :

σ_{\perp} : composante perpendiculaire à la section de gorge ;

τ_{\perp} : composante de la contrainte tangentielle dans le plan de gorge et perpendiculaire à l'axe longitudinale du cordon.

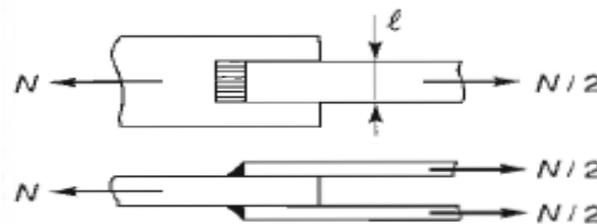
τ_{\parallel} : : composante de la contrainte tangentielle dans le plan de gorge et parallèle à l'axe longitudinale du cordon.

Tableau (III.6) Les coefficients β_{Mw} et γ_{Mw} selon la nuance d'acier [4]

Nuance d'acier	f_u (MPa)	γ_{Mw}	β_w	$\gamma_{Mw} \cdot \beta_w$
S 235	360	1.25	0.80	1.000
S 275	430	1.30	0.85	1,105
S 355	510	1.35	0.90	1,215

d) Calcul des cordons reliant des pièces orthogonales

- *Cordons frontaux* : dans ce type de cordon l'effort appliqué est perpendiculaire à l'axe longitudinal de ce dernier.

*Figure (III.21) Assemblage par cordons frontaux.*

L'état de contrainte dans ce cas se simplifie et devient :

$$N_{\parallel} = \frac{N\sqrt{2}}{2} \text{ d'où } \sigma = \frac{N_{\parallel}}{a \sum L} = \frac{N\sqrt{2}}{2a \sum L} \quad (\text{III.27a})$$

$$N_{\perp} = \frac{N\sqrt{2}}{2} \text{ d'où } \sigma = \frac{N_{\perp}}{a \sum L} = \frac{N\sqrt{2}}{2a \sum L} \quad (\text{III.27b})$$

$N_{\parallel} = 0$ d'où $\tau_{\parallel} = 0$; et la formule fondamentale s'écrit en remplaçant σ et τ par leurs valeurs respectives.

$$\beta_w \sqrt{\frac{2 N^2}{4 a^2 (\sum \ell)^2} + \frac{6 N^2}{4 a^2 (\sum \ell)^2}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \quad (\text{III.28})$$

$$\boxed{a \cdot \sum L \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{F\sqrt{3}}{f_u}} \quad (\text{III.29})$$

- *Cordons latéraux* : l'effort appliqué est parallèle à l'axe longitudinal du cordon de soudure, l'état de contrainte devient :

$\sigma = \tau_{\perp} = 0$ et $\tau_{\parallel} \neq 0$. D'où : $\tau_{\parallel} = \frac{N}{a \Sigma L}$ et l'équation fondamentale s'écrit :

$$a \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \frac{N\sqrt{3}}{f_u} \quad (\text{III.30})$$

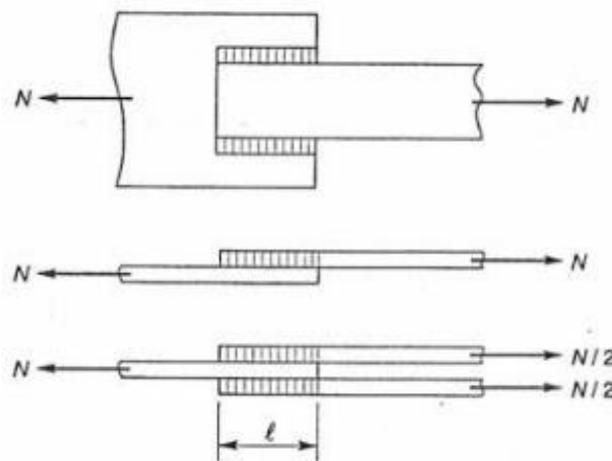


Figure (III.22) Assemblage par cordons latéraux.

- *Cordons obliques* : pour ce type d'assemblage, soit : c'est l'effort qui fait un angle, soit c'est le cordon qui est oblique.

L'état de contrainte est :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N \cdot \sin \alpha}{\sqrt{2} \cdot a \cdot \Sigma L} \quad (\text{III.31})$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N \cdot \sin \alpha}{a \cdot \Sigma L} \quad (\text{III.32})$$

L'équation fondamentale s'écrit en remplaçant les composantes de contraintes par leurs valeurs :

$$a \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \frac{N\sqrt{3 - \sin^2 \alpha}}{f_u} \quad (\text{III.33})$$

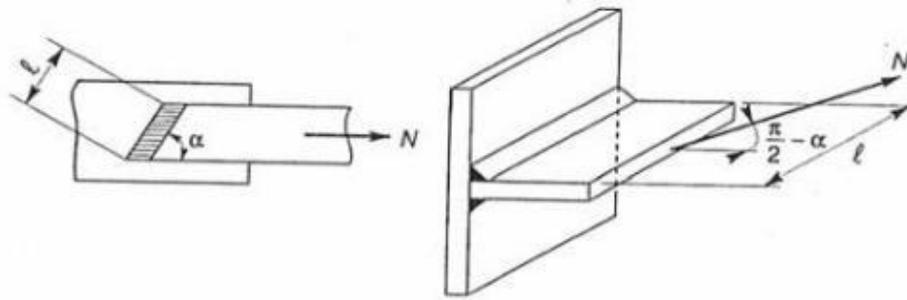


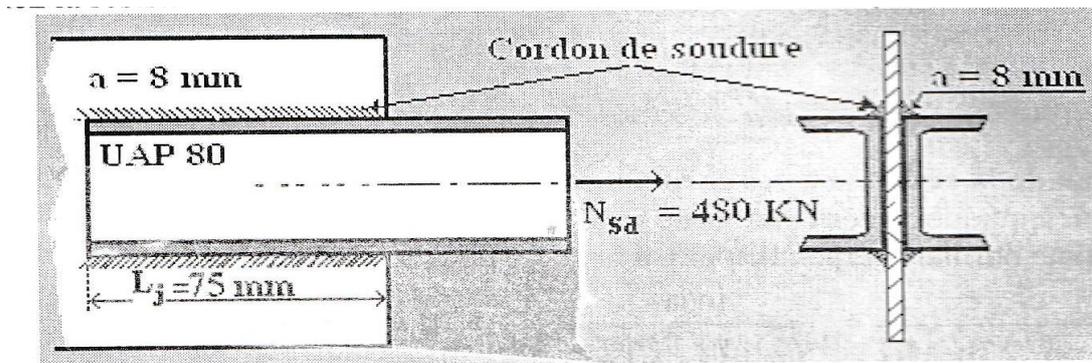
Figure (III.23) Assemblage par cordon oblique

Exemple d'application

Soit un assemblage par soudure de deux cornières **UAP 80** fixées à un gousset intermédiaire (figure ci-dessous). Chaque cordon de soudure a un apothème **$a = 8 \text{ mm}$** et une longueur **$L_j = 75 \text{ mm}$** .

La force totale appliquée aux deux cornières est **$N_{sd} = 480 \text{ KN}$** .

- La nuance de l'acier utilisé est **S235**
 - Vérifier la résistance des cordons de soudures à cet effort ?

**Solution****1. Vérification de la longueur de soudure**

Il faut que la longueur du cordon de soudure soit :

- $L_j > \min(6.a ; 40 \text{ mm}) \implies L_j = 75 \text{ mm} > \min(48 \text{ mm} ; 40 \text{ mm})$
- $L_j < 150.a \implies L_j = 75 \text{ mm} < 1200 \text{ mm} \implies$ les cordons de soudures ne sont pas considérés longs, donc ne nécessitent pas de réduction de leurs résistances

2. Vérification de la résistance des cordons de soudures

- Effort repris par chaque cornière : $N_{1,sd} = N_{sd} / 2 = 480 / 2 = 240 \text{ KN}$.
- Effort repris par chaque cordon de soudure : $F_{1,sd} = N_{1,sd} / 2 = 240 / 2 = 120 \text{ KN}$.

La sollicitation appliquée à ces cordons de soudure est latérale $\implies \sigma_{\perp} = 0$ et $\tau_{\perp} = 0$

La résistance de calcul par unité de longueur : $F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{MW} \cdot \sqrt{3}} \cdot a$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$\gamma_{MW} = 1,25$$

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$\implies F_{w,Rd} = \frac{360}{0,8 \times 1,25 \times \sqrt{3}} \cdot 8 = 1662,76 \text{ N/mm.}$$

La sollicitation appliquée à chaque cordon de soudure par unité de longueur :

$$\implies F_{w,Sd} = F_{1,sd} / L_j \implies F_{w,Sd} = 120000 / 75 = 1600 \text{ N/mm.}$$

D'où : $F_{w,Sd} = 1600 \text{ N/mm} < F_{w,Rd} = 1662,76 \text{ N/mm}$.

Donc les cordons de soudure résistent à cette sollicitation.

Chapitre IV

CALCUL DES PIECES SOLLICITEES EN TRCTION SIMPLES

Calcul des pièces sollicitées en traction simple

1. Domaine d'utilisation [2]

Il existe beaucoup de constructions où on peut rencontrer des éléments soumis à la traction simple (axiale). On peut citer par exemple :

a) **Les membrures inférieures des fermes, ou des poutres treillis et alternativement les montants ou les diagonales**

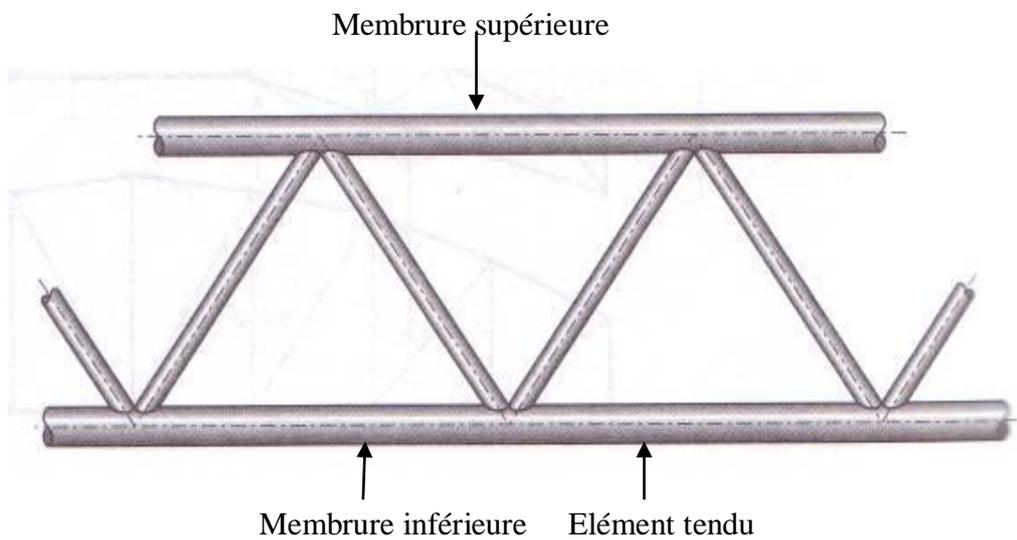
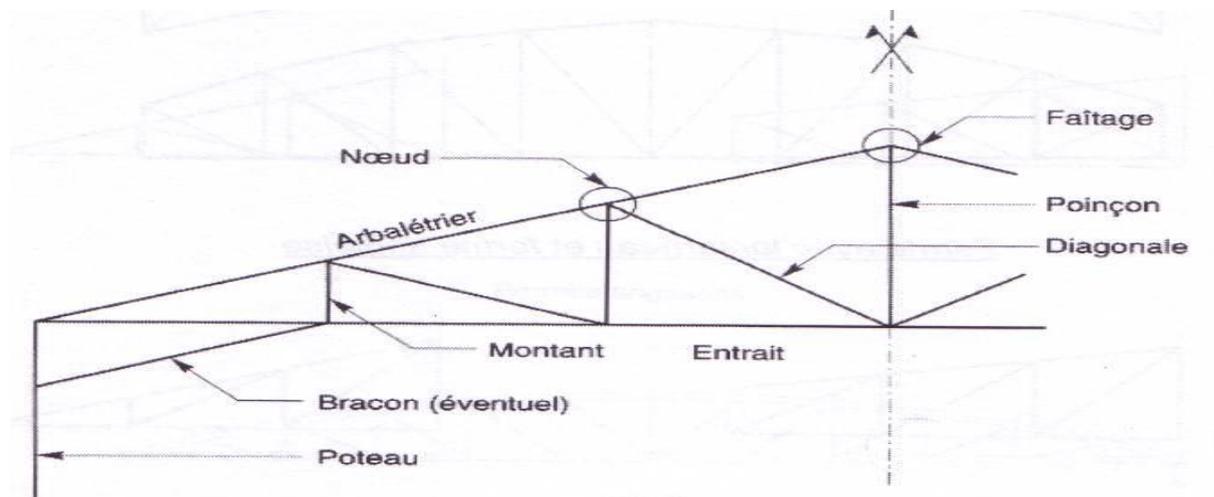


Figure (IV.1) *Éléments tendus d'une poutre treillis*



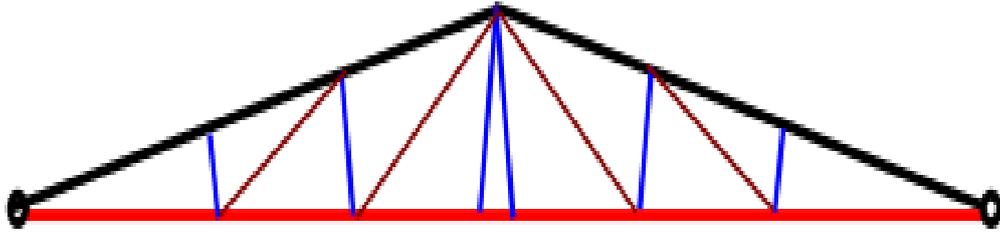


Figure (IV.2) Eléments tendus dans les fermes

b) Les diagonales de contreventements

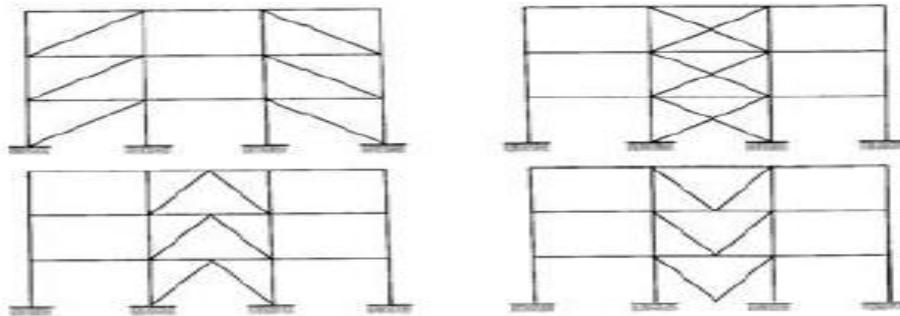


Figure (IV.3) Diagonales tendues de contreventement

c) Les liernes

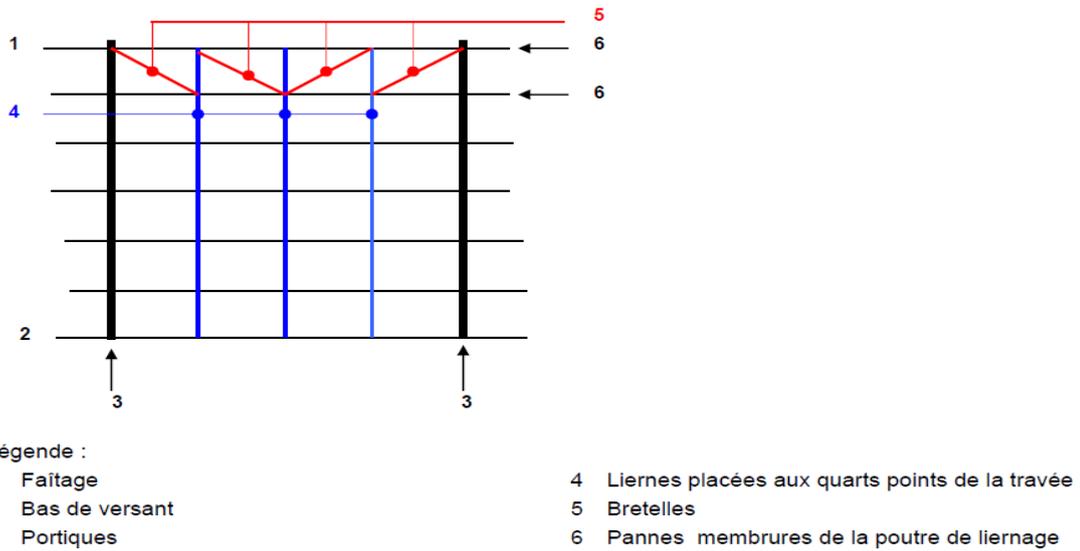
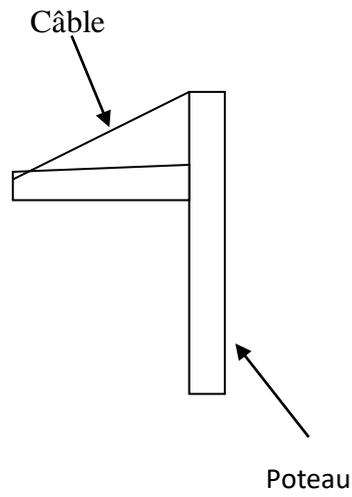
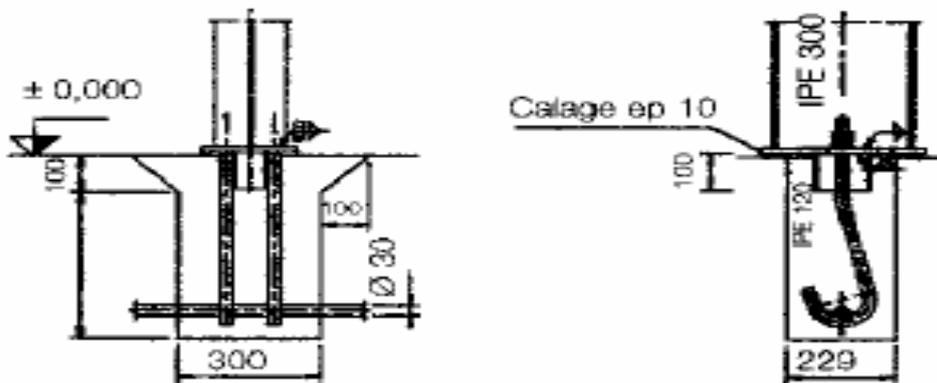


Figure (IV.4) Eléments secondaires tendus (liernes)

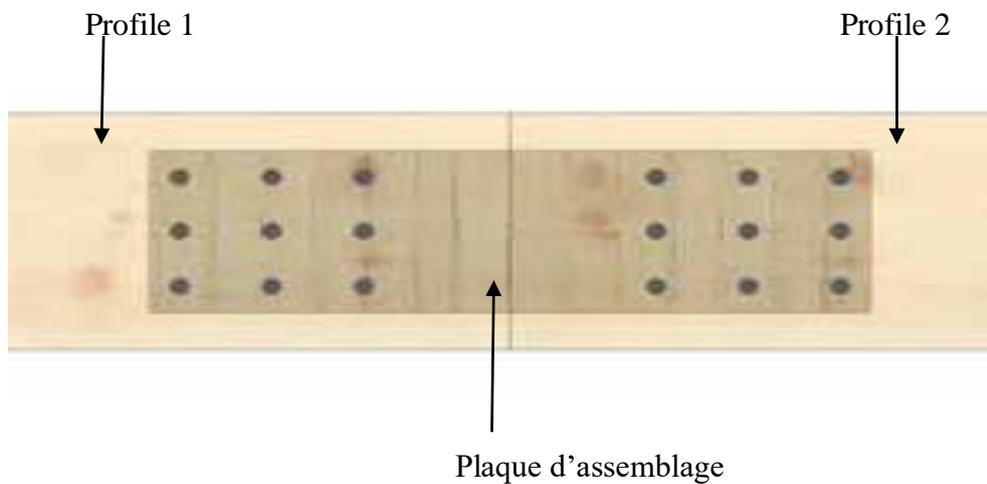
d) Les câbles



e) Les tiges d'ancrage



f) Plaque d'assemblage



2. Vérification des pièces tendues

Pour une traction centrée ou excentrée, on doit vérifier que l'effort sollicitant de traction N_{sd} soit :

$$N_{sd} \leq \min \left[N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} ; N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \right] \quad (IV.1)$$

$N_{pl,Rd}$: l'effort résistant plastique de la section brute

f_y : la résistance élastique de l'acier (voir tableau (IV.1))

A : la section transversale de la pièce appliquée « section brute »

$N_{u,Rd}$: l'effort résistant ultime de la section nette A_{net} , il est calculé à 90% de la résistance atteinte à la rupture « résistance ultime » f_u

f_u : la résistance ultime à la traction

A_{net} : la section de la matière pleine au droit de la ligne des trous

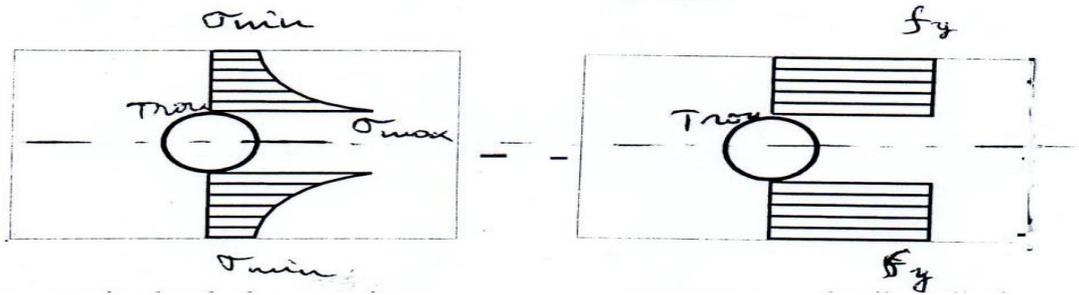
$\gamma_{M2} = 1,25$ (à la limite de rupture), $\gamma_{M0} = 1$

- Si un comportement ductile est requis (afin d'éviter la concentration des contraintes aux voisinages des trous), il faut vérifier que :

$$N_{u,Rd} \geq N_{pl,Rd}$$

Cette condition sera satisfaite si :

$$\frac{0,9 A_{net}}{A} \geq \frac{f_y}{f_u} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \quad (IV.2)$$



Concentration locale des contraintes

comportement ductile de l'acier

Figure (IV.5) Comportement ductile de l'acier autour des trous

- Pour les assemblages résistant au glissement à l'état limite ultime (boulonnage à haute résistance) il faut vérifier que :

$$N_{sd} \leq N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \tag{IV.3}$$

3. Section brute et section nette

Aux voisinages des trous, la distribution des contraintes se concentre sur la partie restante de la section transversale de la pièce. Pour cela le règlement prévoit de faire des vérifications sur cette partie de la section appelée **section nette** A_{net} .

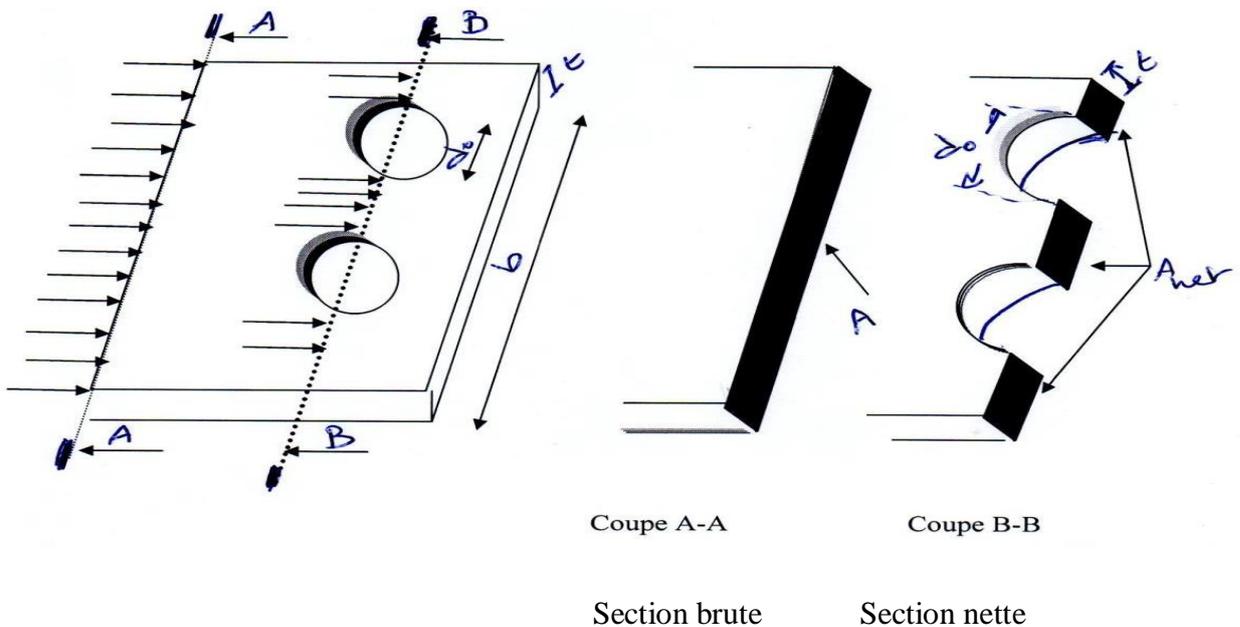


Figure (IV.6) Section brute « A » et section nette « A_{net} » d'une pièce tendue

Pour une distribution en quinconce des trous le C.C.M.97 (EC III) propose de calculer la section nette A_{net} d'une pièce tendue, avec les formules suivantes :

$$A_T = t \left[n d_0 - \sum \frac{S^2}{4P} \right] \quad (IV.4)$$

$$A_{net} = A - A_T \quad (IV.5)$$

$$\text{Avec : } A_T = \text{Max} (A_{T1}, A_{T2}) \quad (IV.6)$$

A: est la section brute, $A = b \cdot t$. A_T : est la section des vides, sa valeur est la plus grande entre les cas suivants :

$$A_{T1} = t (n d_0) \quad \text{pour l'axe critique 1}$$

$$A_{T2} = t \left[n d_0 - \sum \frac{S^2}{4P} \right] \quad \text{pour l'axe critique 2}$$

Où :

S : le pas en quinconce, l'entraxe de deux trous consécutifs dans la ligne, mesurée parallèlement à l'axe de la barre (direction de l'effort)

P : l'entraxe de deux trous mesurés perpendiculairement à l'axe de la barre (direction de l'effort)

t : l'épaisseur de la pièce tendue (épaisseur minimale)

n : le nombre de trous situés sur toute la ligne diagonale ou en zigzag s'étendant sur la largeur de la barre ou partie de la barre

d_0 : le diamètre du trou

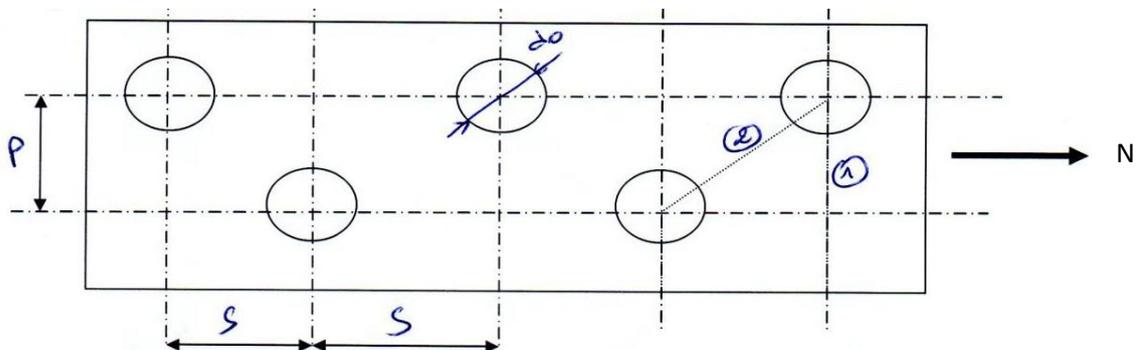


Figure (IV.7) Trous en quinconce et lignes de rupture critique 1 et 2

Ligne 1 : $A_{T1} = t (n d_0) = t \cdot 1 \cdot d_0$

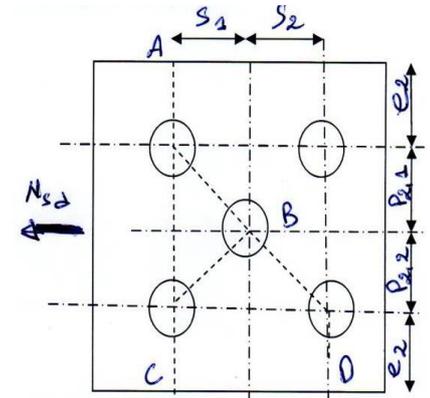
Ligne 2 : $A_{T2} = t \left(2 d_0 - \frac{S^2}{4P} \right)$

Exemple :

Ligne AC : $A_{T1} = t (n d_0) = t \cdot 2 \cdot d_0$

Ligne ABC : $A_{T2} = t \left(3 d_0 - \frac{S_1^2}{4P_{2,1}} - \frac{S_1^2}{4P_{2,2}} \right)$

Ligne ABD : $A_{T3} = t \left(3 d_0 - \frac{S_1^2}{4P_{2,1}} - \frac{S_2^2}{4P_{2,2}} \right)$



Trous en quinconce et 3 lignes de rupture critiques

Remarques

- Généralement la ligne de rupture brisée qui donne A_{net} critique, se trouve dans le plus petit pas en quinconce S_i (càd pour S_i minimale)
- Si la condition $N_{u,Rd} \geq N_{pl,Rd}$ n'est pas vérifiée, on peut réduire le diamètre des boulons et compenser cette réduction en ajoutant d'autres files de boulons. Autrement, dans la mesure du possible on peut modifier les distances entre les files des boulons en augmentant les distances S_i et en diminuant les distances $P_{i,j}$

4. Cornières tendues attachées par une seule aile

L'excentricité des éléments d'attache dans les assemblages ainsi que les effets des entre axes et des pinces des boulons doivent être pris en considération dans la détermination de la résistance. Pour les cornières assemblées par une seule file de boulons dans une des ailes et qui respectent les conditions du tableau IV.1, elles peuvent être considérées comme si elles étaient sollicitées sans excentricité.

La résistance ultime de calcul de la section nette peut être déterminée comme suit :

$$\text{Avec 1 boulon : } N_{u,Rd} = \frac{2(e_2 - 0,5 d_0) \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{IV.7})$$

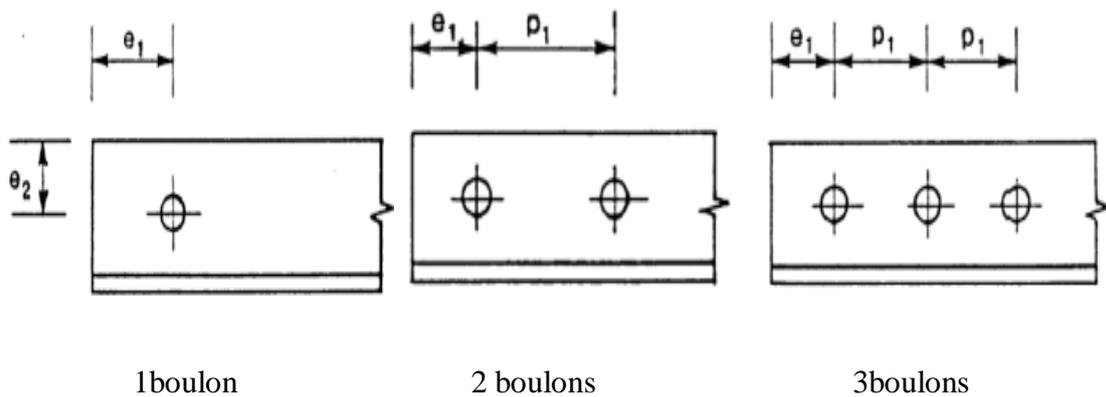
$$\text{Avec 2 boulons : } N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{IV.8})$$

$$\text{Avec 3 boulons et plus : } N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{IV.9})$$

Tableau (IV.1) Coefficients minorateurs β_2 et β_3

Entre axe P_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5 d_0$
2 boulons β_2	0,4	0,7
3 boulons ou plus β_3	0,5	0,7

d_0 : désigne le diamètre du trou



Pour les cornières à aile inégales ($h \times b \times t$) tendues et attachées par l'aile la plus petite A_{net} sera prise égale à l'aire de la section nette d'une cornière équivalente à aile égale ($b \times b \times t$), dont la dimension d'aile est égale à celle de la plus petite aile « b »

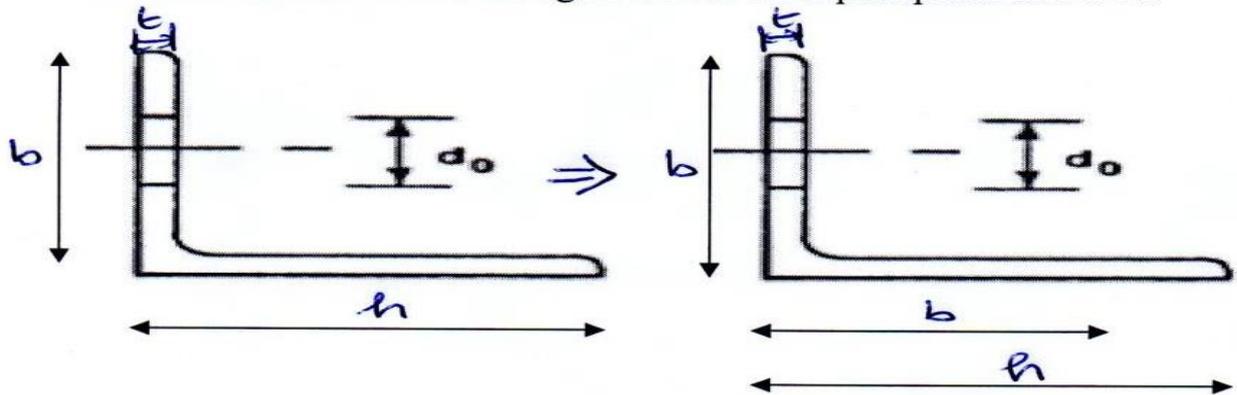


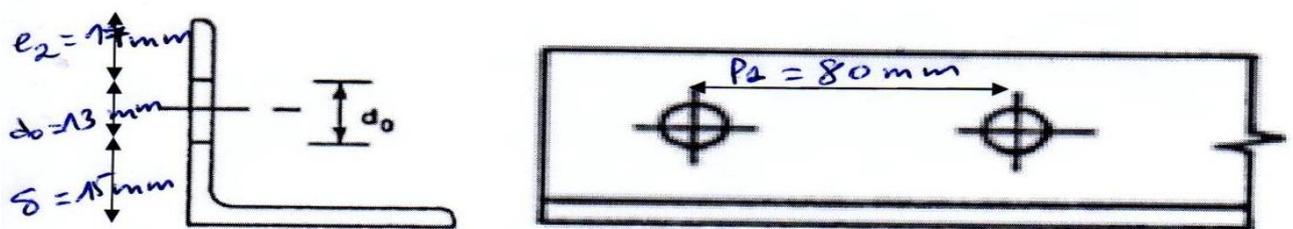
Figure (IV.8) A_{net} pour une cornière à ailes inégales attachées sur son aile la plus petite

Exemple d'application : Vérification d'une cornière tendue comportant 2 trous de boulons

Soit une cornière à ailes égales L 45x45x5 qui contient une file de boulons comportant 2 trous de diamètres $d_0 = 13$ mm, espacés d'une distance $P_1 = 80$ mm. L'effort de traction pondéré,

$N_{sd} = 70$ KN. La nuance d'acier de la cornière est S 235.

1. Calculer la section nette critique A_{net} .
2. Vérifier la résistance de cette cornière.



L 45x45x5

Solution**1 / Calcul de la section nette critique A_{net}**

$A = 4,30 \text{ cm}^2 = 430 \text{ mm}^2$ (du tableau de section L 45 x 45 x 5)

$$A_{T1} = t (n d_0) = 5 (1 \times 13) = 56 \text{ mm}^2$$

La section nette critique A_{net} est égale à :

$$A_{net} = A - A_T = 430 - 56 = 365 \text{ mm}^2$$

2/ vérification de la résistance de la cornière :

$$N_{sd} \leq \min \left[N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} ; N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \right]$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{430 \times 235}{1} = 101050 \text{ N} = 101,05 \text{ KN}$$

Pour tenir compte de l'excentricité entre la file des trous et l'axe neutre de la cornière, il est suffisant de calculer l'effort résistant ultime avec la formule suivante :

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Puisque : $P1 = 80 \text{ mm} \geq (5d_0 = 5 \cdot 13 = 65 \text{ mm}) \implies \beta_2 = 0,7$ (tableau)

$$\implies N_{u,Rd} = \frac{0,7 \cdot 365 \cdot 360}{1,25} = 73584 \text{ N} = 73,58 \text{ KN}$$

D'où : $N_{sd} = 70 \text{ KN} < \min [N_{pl,Rd} = 101,05 ; N_{u,Rd} = 73,58] \text{ KN}$

\implies **Condition vérifiée donc cette cornière supporte l'effort appliqué.**

Chapitre V

CALCUL DES PIECES FLECHIES

Chapitre V : Calcul des pièces fléchies

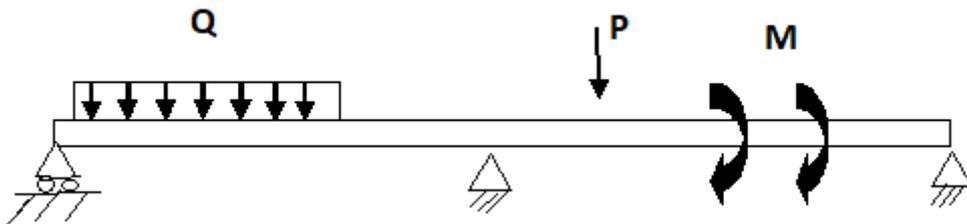
1. Définition et généralités [2]

Dans chaque section transversale et sous le chargement appliqué apparaissent des efforts internes appelés : le moment de flexion M , les efforts tranchants V qui équilibrent ce chargement et les réactions des appuis.

Les éléments fléchis dans une structure métallique et selon leurs rôles, peuvent être des profilés laminés (IPN, IPE, H, ...), des treillis, ...etc.

Généralement, les profilés en IPE sont utilisés comme des poutres principales de planchers d'un bâtiment. Les profilés en IPN, utilisé comme des poutres secondaires et des solives. Les profilés en H peuvent être utilisés pour supporter des charges importantes et considérablement (poutre de grandes dimensions, chemin de roulement, poteaux, ...).

Les pièces fléchies sont soumises à des charges transversales appliquées sur leur dimension la plus grande. Ces charges peuvent être distribuées ou concentrées (Q , P , M ...).

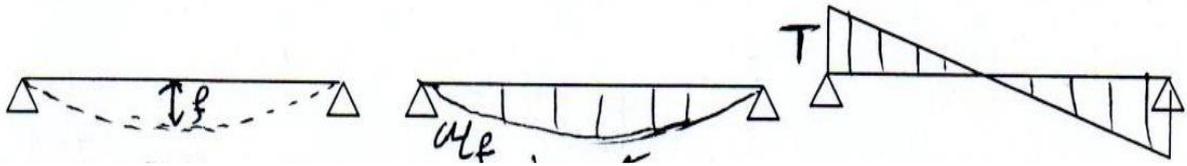


Type des pièces fléchies :

Dans une construction, on peut avoir différents types d'éléments soumis à la flexion :

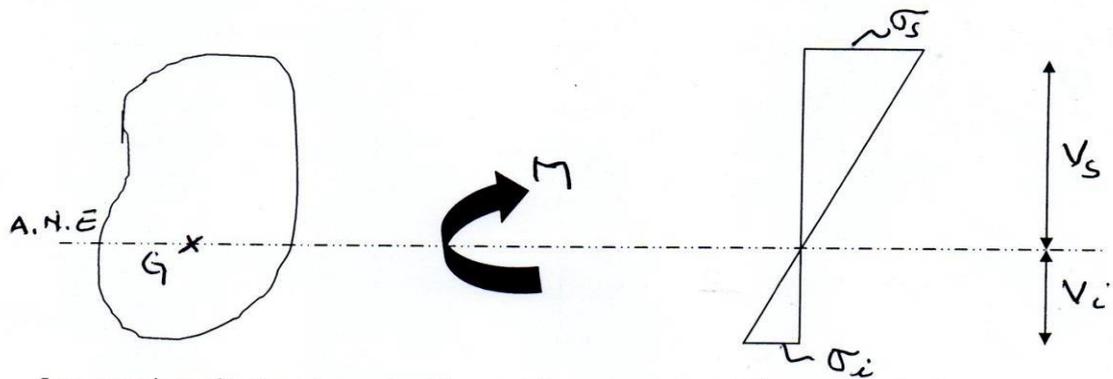
- Les poutres principales et les poutres secondaires ;
- Les pannes (pour soutenir la toiture) ;
- Les lisses (pour soutenir le bardage) ;
- Les poutres de roulement...

2. Modes de rupture des pièces fléchies



Le moment fléchissant développe des contraintes dans le matériau, dont la répartition est bi-triangulaire tant que l'on reste dans le domaine élastique du diagramme contrainte/déformation.

a) Calcul élastique :



Les contraintes développées sur les fibres extrêmes, par rapport à l'axe neutre élastique

(A.N. E) qui passe par G, sont :

$$\sigma_s = \frac{M \cdot V_s}{I} \quad (\text{V.1a})$$

et

$$\sigma_i = \frac{M \cdot V_i}{I} \quad (\text{V.1b})$$

ou :

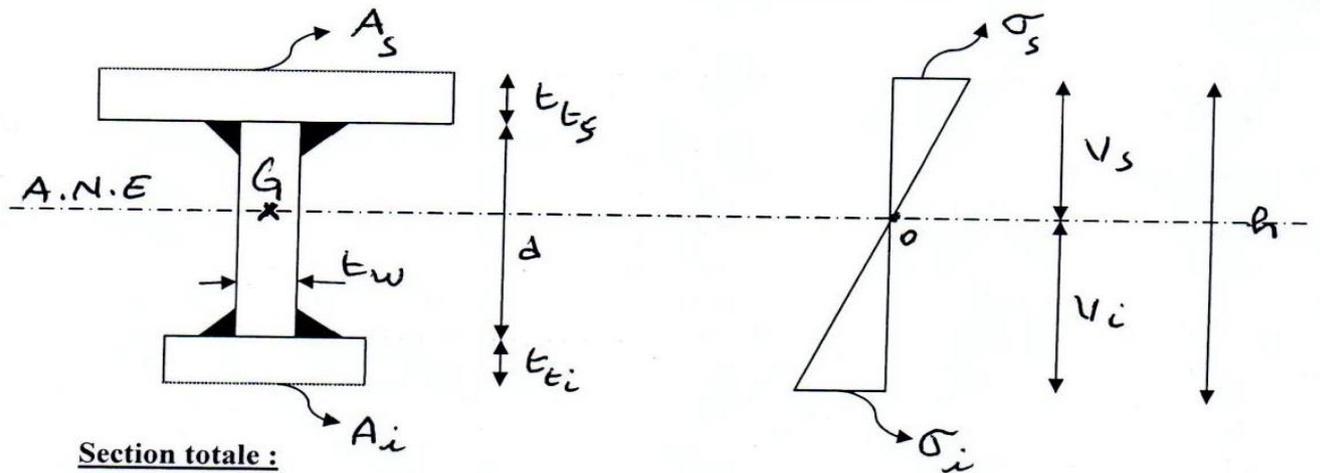
$$\sigma_s = \frac{M}{W_{el_s}} \quad (\text{V.2a})$$

et

$$\sigma_i = \frac{M}{W_{el_i}} \quad (\text{V.2b})$$

W_{el} : les modules de résistance élastique de la section considérée

Dimensionnement des poutres en calcul élastique (P. R. S)



$$\Omega = A_s + A_i + d \cdot t_w \quad (V.3)$$

Position de l'axe neutre élastique :

$$V_s = \frac{h}{\Omega} \left(A_i + \frac{d \cdot t_w}{2} \right) \quad (V.4) \quad \text{ce qui donne la position de G et de l'axe neutre}$$

Moment d'inertie (par rapport à l'axe neutre)

$$I = h^2 \left(\frac{h \cdot t_w}{3} + A_i \right) - V_s \cdot h \left(\frac{h \cdot t_w}{2} + A_i \right) \quad (V.5)$$

Avec :

A_s : aire de la semelle supérieure

A_i : aire de la semelle inférieure

t_{ts} : épaisseur de la semelle supérieure

t_{ti} : épaisseur de la semelle inférieure

t_w : épaisseur de l'âme

Section des semelles

$$V_s = \frac{I}{M} \sigma_s \quad ; \quad V_i = \frac{I}{M} \sigma_i$$

$$h = V_s + V_i = \frac{I}{M} (\sigma_s + \sigma_i) \implies \frac{I}{M} = \frac{h}{\sigma_s + \sigma_i}$$

D'où :

$$V_s = \frac{h \cdot \sigma_s}{\sigma_s + \sigma_i} \quad , \text{ que l'on porte dans l'expression de I, d'où l'on tire après résolution}$$

$$A_i = \frac{M}{h \cdot \sigma_i} - \frac{h \cdot t_w}{6} \left(2 - \frac{\sigma_s}{\sigma_i} \right)$$

$$A_s = \frac{M}{h \cdot \sigma_s} - \frac{h \cdot t_w}{6} \left(2 - \frac{\sigma_i}{\sigma_s} \right)$$

Cas particulier: Section symétrique à semelles égales :

$$A_s = A_i \quad \text{et} \quad \sigma_s = \sigma_i = f_y$$

D'où :

$$A_s = A_i = \frac{M}{h \cdot f_y} - \frac{h \cdot t_w}{6}$$

$$\Omega = \frac{2 \cdot M}{h \cdot f_y} + \frac{2}{3} \cdot h \cdot t_w$$

Section de l'âme :

$$V_{sd} \leq V_R = \frac{A_w \cdot f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad \Longrightarrow \quad A_w \geq \frac{V \cdot \gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{V.6})$$

Les élancements admissibles courants des poutres sont :

$$\frac{1}{25} \leq \frac{h}{l} \leq \frac{1}{20}$$

La hauteur h est fixée en fonction de la portée l , d'où l'on tire : $t_w = \frac{A_w}{h}$

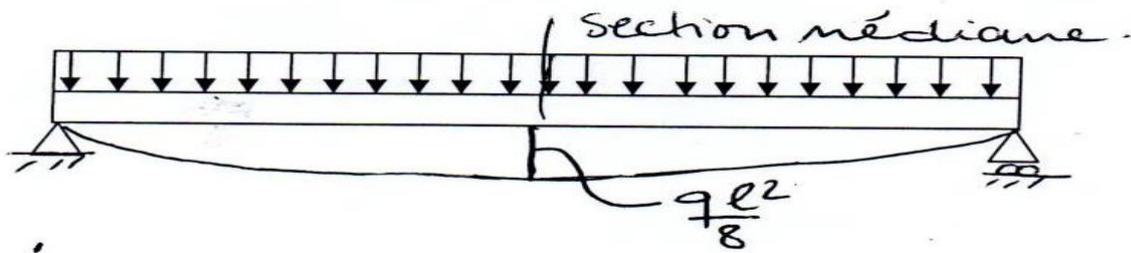
Vérification de la flèche : (E . L . S)

Il faut vérifier la flèche de la poutre, cette dernière reste inférieure à $\frac{l}{200}$, $\frac{l}{400}$, ..., selon que la poutre appartient à une toiture, à un plancher, recevant ou non des poteaux ... etc.

b) Calcul plastique :

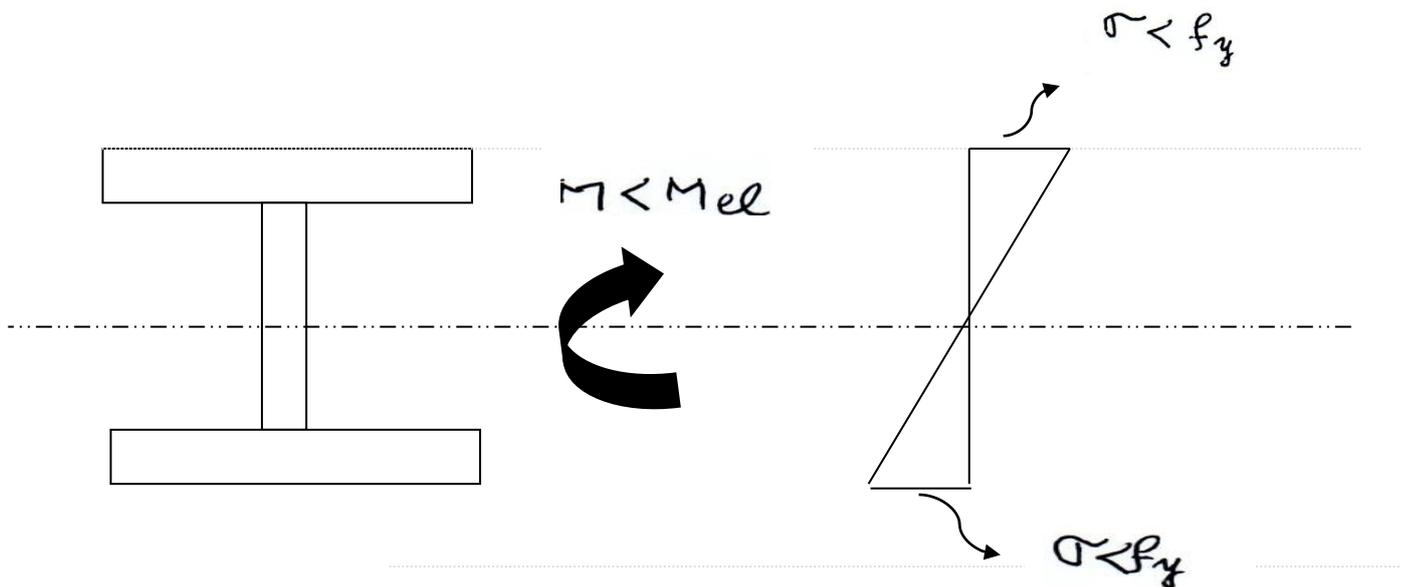
Dimensionnement des poutres en calcul plastique (laminées)

Les profilés laminés sont généralement des sections compactées, dont la plastification totale est possible, leurs âmes étant surdimensionnées, donc non sujettes au risque de voilement local.

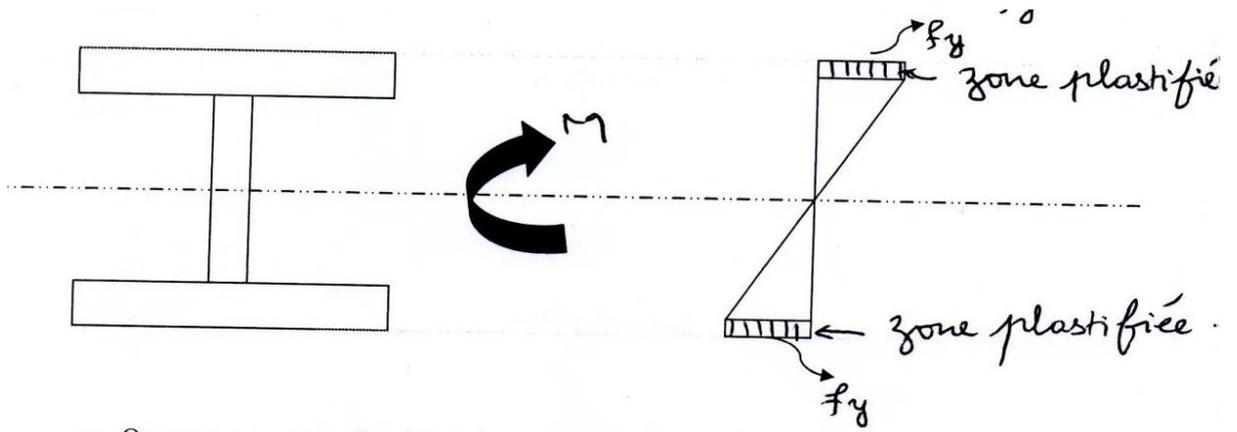


1^{er} temps : Répartition des contraintes linéaires (phase élastique)

[Hypothèse de Navier Bernoulli]



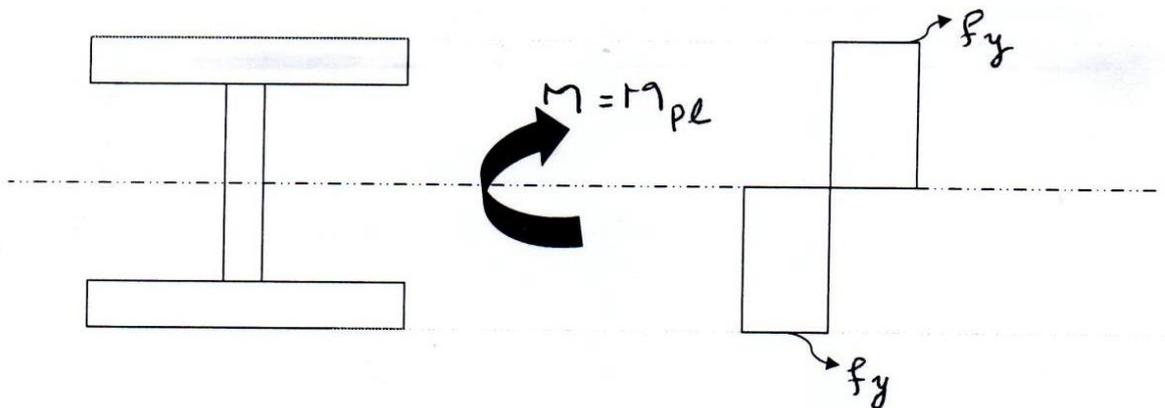
- Fibres extrêmes $\longrightarrow f_y$ (section médiane : $M = M_1$)
- Si on augmente la charge, les fibres extrêmes se plastifient



- On peut augmenter la charge jusqu'à ce que la section médiane soit entièrement plastifiée ($M = M_{pl}$)
- La courbure dans la zone centrale de la poutre est très importante (formation de rotule plastique).

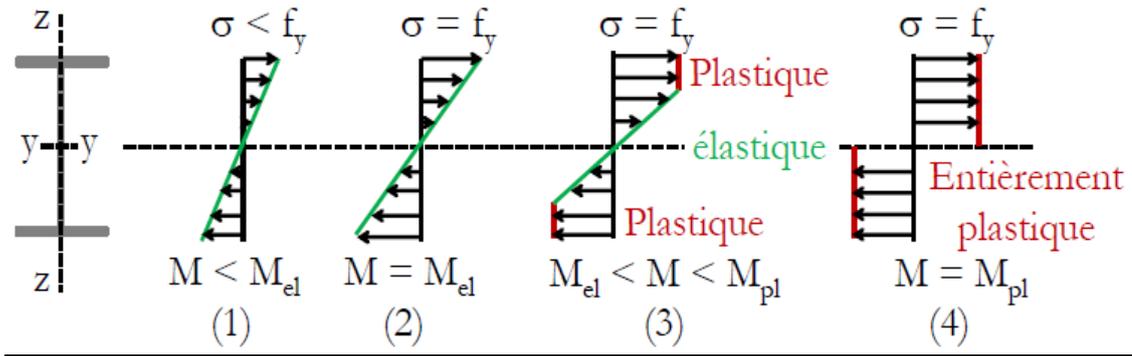
Donc

La poutre se comporte comme deux éléments rigides reliés par une articulation (plastification totale)



- Il faut que :
$$M \leq M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y \quad (V.7)$$
- f_y , M : sont connus, il faut vérifier que :

$$W_{pl} \geq \frac{M}{f_y} \quad (V.8)$$



- Dimensionnement des sections en flexion (M) [4]

Soit M_{sd} : le moment pondéré appliquée, on doit vérifier que

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd} \quad (V.9)$$

Avec :

$M_{c,Rd}$: le moment résistant ultime

Pour les sections de classes 1 et 2 on a : $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ (V.10)

$M_{pl,Rd}$: le moment plastique ultime (section entièrement plastifiée)

W_{pl} : module plastique de la section brute

Pour les sections de classe 3 : $M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ (V.11)

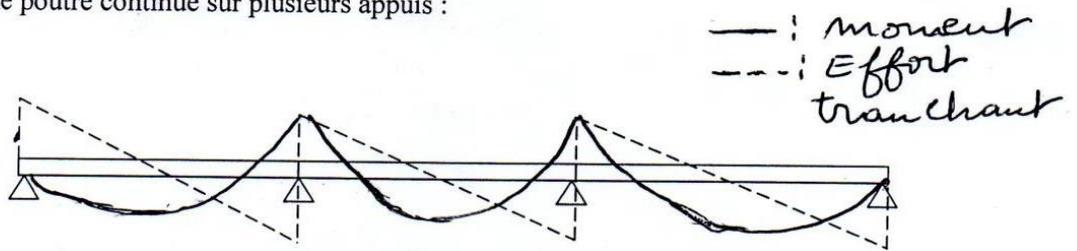
Pour les sections de classe 4 : $M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ (V.12)

Où $W_{eff,min}$ est le module de section efficace évalué par rapport à la section transversale effective

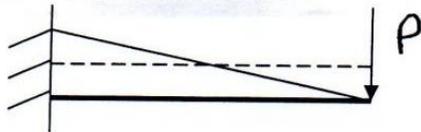
- Dimensionnement des sections en flexion (M et T)

Dans les structures, certains éléments peuvent présenter des valeurs max, du moment de flexion et de l'effort tranchant dans la même section. On cite comme exemples :

- Une poutre continue sur plusieurs appuis :



- Une poutre console :



Si : $V_{sd} > \frac{V_{pl,Rd}}{2}$, on doit réduire le moment plastique ultime et on vérifie :

$$M_{sd} \leq M_{v,Rd}$$

Si : $V_{sd} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2}$, on vérifie : $M_{sd} \leq M_{pl,Rd}$

Avec :

V_{sd} : l'effort tranchant max appliqué

$V_{pl,Rd}$: l'effort tranchant plastique ultime

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (V.13)$$

Avec :

A_v : l'aire de section cisailée

M_{sd} : le moment pondéré appliqué

$M_{v,Rd}$: le moment plastique ultime réduit pour les sections à semelles égales fléchies par rapport à x-x

On a :

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (V.14)$$

$$\rho = \left(\frac{2 V_{sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (V.15)$$

t_w : section de l'âme

Module plastique d'une section :

$$W_{pl} = 2 M_s A/2 \quad \text{pour une section symétrique}$$

M_s : le moment statique de la demi-section

A_v : est l'aire de cisaillement :

1- Profils en I ou en H : effort parallèle à l'âme

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$$

2- Profils en U laminés : effort parallèle à l'âme

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f$$

3- Section soudés en I,H,U

- Efforts parallèle à l'âme : $A_v = \sum dt_w$
- Efforts parallèle à la semelle : $A_v = A - \sum (d.t_w)$

4- Profils creux rectangulaires laminés d'épaisseur uniforme :

- Efforts parallèle à la hauteur : $A_v = \frac{A h}{b+h}$

- Efforts parallèle à la largeur : $A_v = \frac{Ab}{b+h}$

5- Profils creux circulaires d'épaisseur uniforme :

$$A_v = \frac{2A}{\pi}$$

6- Plats et barres pleines $A_v = A$

Où : A : aire de la section transversale

b : la largeur totale

d : hauteur d'âme (entre nus intérieures de semelles)

h : hauteur totale

r : rayon

t_f : épaisseur de semelle

t_w : épaisseur de l'âme

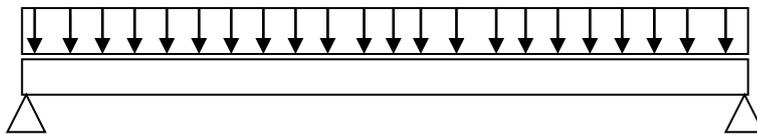
Tableau (V.1) : Dimensionnement des poutres fléchies

Classe	Capacité de rotation	Calcul des sollicitations	Résistance de calcul
1	Importante	Plastique	Plastique
2	Limitée	Plastique si justification par essai	Plastique
3	Nulle	Elastique	Elastique sur section complete
4	Nulle	Elastique	Elastique sur section efficace

Exemple d'application

Soit une poutre solive simplement appuyée, appartenant à un plancher à usage d'habitation, cette poutre uniformément chargée a une de portée $L= 4 \text{ m}$:

- une charge permanente $G= 11 \text{ KN/ml}$
- une charge d'exploitation $Q= 21 \text{ KN/ml}$
- La nuance d'acier utilisé est S235



- 1- Calculer le moment max sollicitant la poutre à l'ELU
- 2- Dimensionner la poutre en profilé IPE à l'ELU (calcul plastique) (le profilé est classé comme section de classe 1)

Solution**1- Calcul du moment max sollicitant la poutre à l'ELU**

$$q_u = 1,35 G + 1,5 Q \implies q_u = 1,35 \times 11 + 1,5 \times 21 = 46,35 \text{ KN/ml}$$

Dans une poutre simplement appuyée et uniformément chargée, la valeur maximale du moment fléchissant est :

$$M_{\max, sd} = \frac{q_u l^2}{8} \implies M_{\max, sd} = \frac{46350,4^2}{8} = 92700 \text{ N.m}$$

2- Dimensionnement du profilé à l'E.L.U

De la résistance de la section de la poutre, on a :

$$M_{sd} \leq M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

W_{pl} : module plastique de la section brute puisque nous savons que tous les profilés IPE sont de classe 1 en flexion

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

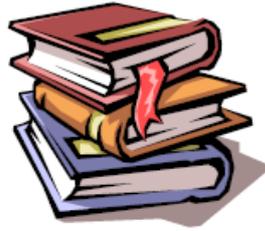
$$\text{Alors : } M_{\max, sd} \leq \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \implies W_{pl} \geq M_{\max, sd} \frac{\gamma_{M0}}{f_y}$$

$$W_{pl} \geq 92700 \frac{1}{235} \implies W_{pl} \geq 394,47 \text{ cm}^3$$

$$\implies \text{ IPE 270 } \implies W_{pl} = 484 \text{ cm}^3$$

Le moment résistant plastique du profilé choisi est

$$M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 235}{1} = 113740 \text{ N.m}$$



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Abdelhak Zohra « Cours Charpentes Métalliques » ;Présenté pour licence 3 GC et TP ,Centre Universitaire Ahmad ZabanadeRelizane Institut des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil , Octobre 2019.
- [2] Baraka Abdelhak «Cours en charpente métallique I selon le règlement algérien C.C.M.97 et l'Eurocode 3» Offices des publications universitaires, édition 2.03.5438 (2016).
- [3] Jacques Brozetti, Manfred Hirt et Rolf Bez "Construction métallique : exemples numériques adaptés aux Eurocodes" Complément au Traité de génie civil vol 10 : de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne Presses polytechniques et universitaires romandes
- [4] Beroual Sayeh «Cours de charpente métallique I», Polycopié de cours destiné aux étudiants : 3^{ème} année licence Travaux Publics, Université des frères Mentouri Constantine 1, Algérie, Janvier 2019.
- [5] Jean Morel « Guide de calcul Structures Métalliques (CM66, Additif 80, Eurocode 3)», Editions Eyrolles 2^{ème} tirage (1997).
- [6] Jean Morel « Calcul des Structures Métalliques selon l'Eurocode 3», Editions Eyrolles 6^{ème} tirage (2005);
- [7] Jean Morel : Calcul des Structures Métalliques selon l'EUROCODE 3.
- [8] Règles de conception des structures en acier CCM97édition CGS,Alger 1999 ; Eurocode 3 version 2008.
- [9] Timoshenko .S.P. Théorie de la Stabilité Élastique – DUNOD.
- [10] Taktak Wissem «Cours Charpentes métalliques», Polycopié, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Radés, Tunisie, Editions (2005).
- [11] Eurocode 3 « calcul des structures en acier » et document d'application nationale. Partie 1-1, Règles générales et règles pour les bâtiments" Editions Eyrolles 1996

Annexe

Caractéristiques des profils

Annexe Caractéristiques des profils

IPE

Notations: pages 104-108 / Bezeichnungen: Seiten 104-108

Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1						HEB DLR		
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						pure bending yy			pure compression					
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	W _{pl,y} [†] cm ³	I _z cm ⁴	A _e cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	W _{pl,z} [†] cm ³	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	I _{yz} cm ⁴	r _y mm	r _z cm	I _w x 10 ⁴ cm ⁶	S123	S135	S408		S123	S135
IPE A 100	6.9	141.2	28.81	32.98	4.01	4.44	13.12	4.77	7.54	1.22		21.20	0.77	0.28	1	1	-	1	1	-	
IPE 100	8.1	171.0	34.20	39.41	4.07	5.08	15.92	5.79	9.15	1.24		23.70	1.2	0.35	1	1	-	1	1	-	
IPE A 120	8.7	257.4	43.77	49.87	4.83	5.41	22.39	7.00	10.98	1.42		22.20	1.04	0.71	1	1	-	1	1	-	
IPE 120	10.4	317.8	52.96	60.73	4.90	6.31	27.67	8.65	13.58	1.45		25.20	1.74	0.89	1	1	-	1	1	-	
IPE A 140	10.5	434.9	63.30	71.60	5.70	6.71	36.42	9.98	15.52	1.65		23.20	1.36	1.58	1	1	-	1	2	-	
IPE 140	12.9	541.2	77.32	88.34	5.74	7.64	44.92	12.31	19.25	1.65		26.70	2.45	1.98	1	1	-	1	1	-	
IPE A 160	12.7	689.3	87.81	99.09	6.53	7.80	54.43	13.27	20.70	1.83		26.34	1.96	3.09	1	1	-	1	3	-	
IPE 160	15.8	869.3	108.7	123.9	6.58	9.66	68.31	16.66	26.10	1.94		30.34	3.6	3.96	1	1	-	1	1	-	
IPE A 180	15.4	1063	120.1	135.3	7.37	9.20	81.89	18.00	27.96	2.05		27.84	2.7	5.93	1	1	-	2	3	-	
IPE 180	18.8	1317	146.3	166.4	7.42	11.25	100.9	22.16	34.60	2.05		31.84	4.79	7.43	1	1	-	1	2	-	
IPE O 180	21.3	1505	165.4	189.1	7.45	12.70	117.3	25.50	39.91	2.08		34.54	6.76	8.74	1	1	-	1	1	-	
IPE A 200	18.4	1591	161.6	181.7	8.23	11.47	117.2	23.43	36.54	2.23		32.56	4.11	10.53	1	1	-	2	4	-	
IPE 200	22.4	1943	194.3	220.6	8.26	14.00	142.4	28.47	44.61	2.24		36.66	6.98	12.99	1	1	-	1	2	-	
IPE O 200	25.1	2211	218.9	249.4	8.32	15.45	168.9	33.11	51.89	2.30		39.26	9.45	15.57	1	1	-	1	1	-	
IPE A 220	22.2	2317	213.5	240.2	9.05	13.55	171.4	31.17	48.49	2.46		34.46	5.69	18.71	1	1	-	2	4	-	
IPE 220	26.2	2772	252.0	285.4	9.11	15.88	204.9	37.25	58.11	2.48		38.36	9.07	22.67	1	1	-	1	2	-	
IPE O 220	29.4	3134	282.3	321.1	9.16	17.66	239.8	42.83	66.91	2.53		41.06	12.27	26.79	1	1	-	1	2	-	
IPE A 240	26.2	3290	277.7	311.6	9.94	16.31	240.1	40.02	62.40	2.68		39.37	8.35	31.26	1	1	-	2	4	-	
IPE 240	30.7	3890	324.3	366.6	9.97	19.14	283.6	47.27	73.92	2.69		43.27	12.88	37.39	1	1	-	1	2	-	
IPE O 240	34.3	4369	361.1	410.3	10.00	21.36	328.5	53.86	84.40	2.74		46.17	17.18	43.68	1	1	-	1	2	-	
IPE A 270	30.7	4917	368.3	412.5	11.21	18.75	358.0	53.03	82.34	3.02		40.47	10.30	59.51	1	1	-	3	4	-	
IPE 270	36.1	5790	428.9	484.0	11.23	22.14	419.9	62.20	96.95	3.02		44.57	15.94	70.58	1	1	-	1	2	-	
IPE O 270	42.3	6947	507.1	574.6	11.26	25.23	513.5	75.51	117.7	3.09		49.47	24.90	87.64	1	1	-	1	2	-	
IPE A 300	36.5	7173	483.1	541.8	12.42	22.25	519.0	69.20	107.3	3.34		42.07	13.43	107.2	1	2	-	3	4	-	
IPE 300	42.2	8256	557.1	628.4	12.46	25.68	603.8	80.50	125.2	3.35		46.07	20.12	125.9	1	1	-	1	2	-	
IPE O 300	49.3	9994	657.5	748.8	12.61	29.05	745.7	98.12	152.6	3.45		50.97	31.06	157.7	1	1	-	1	3	-	
IPE A 330	43.0	10230	625.7	701.9	13.67	26.99	685.2	85.64	133.3	3.54		47.59	19.57	171.5	1	1	-	3	4	-	
IPE 330	49.1	11770	713.1	804.3	13.71	30.81	788.1	98.52	153.7	3.55		51.59	28.15	199.1	1	1	-	1	2	-	
IPE O 330	57.0	13910	833.0	942.8	13.84	34.88	960.4	118.6	185.0	3.64		56.59	42.15	245.7	1	1	-	1	3	-	

Annexe Caractéristiques des profils

Poutrelles I européennes

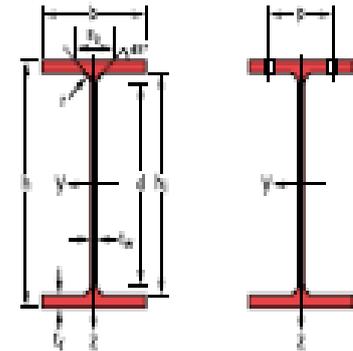
IFE 100 - 600 conformes à l'Euronorm 19-57; IFE A 100 - 600; IFE O 180 - 600; IFE 750

European I beams

IFE 100 - 600 in accordance with Euronorm 19-57; IFE A 100 - 600; IFE O 180 - 600; IFE 750

Europäische I-Profile

IFE 100 - 600 gemäß Euronorm 19-57; IFE A 100 - 600; IFE O 180 - 600; IFE 750



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	h ₁ mm	h ₂ mm	r mm		h ₁ mm	d mm	∅	P _{min} mm	P _{max} mm	A _f m ² /m	A _w m ² /m
IPEA 100 ^A	6.9	98	55	3.6	4.7	7	8.78	88.6	74.6	-	-	-	0.397	57.57
IFE 100	8.1	100	55	4.1	5.7	7	10.32	88.6	74.6	-	-	-	0.400	49.33
IPEA 120 ^A	8.7	117.6	64	3.8	5.1	7	11.03	107.4	93.4	-	-	-	0.472	54.47
IFE 120	10.4	120	64	4.4	6.3	7	13.21	107.4	93.4	-	-	-	0.475	45.82
IPEA 140 ^A	10.5	137.4	73	3.8	5.6	7	13.39	136.2	112.2	-	-	-	0.547	52.05
IFE 140	12.9	140	73	4.7	6.9	7	16.43	136.2	112.2	-	-	-	0.551	42.70
IPEA 160 ^A	12.7	157	82	4	5.9	9	16.18	145.2	127.2	-	-	-	0.619	48.70
IFE 160	15.8	160	82	5	7.4	9	20.09	145.2	127.2	-	-	-	0.623	39.47
IPEA 180 ^A	15.4	177	91	4.3	6.5	9	19.58	164	146	M10	48	48	0.694	45.15
IFE 180	18.8	180	91	5.3	8	9	23.95	164	146	M10	48	48	0.698	37.13
IFE O 180 ^A	21.3	182	92	6	9	9	27.10	164	146	M10	50	50	0.705	33.12
IPEA 200 ^A	18.4	197	100	4.5	7	12	23.47	183	159	M10	54	58	0.764	41.49
IFE 200	22.4	200	100	5.6	8.5	12	28.48	183	159	M10	54	58	0.768	34.36
IFE O 200 ^A	25.1	202	102	6.2	9.5	12	31.96	183	159	M10	56	60	0.779	31.05
IPEA 220 ^A	22.2	217	110	5	7.7	12	28.26	201.6	177.6	M12	60	62	0.843	38.02
IFE 220	26.2	220	110	5.9	9.2	12	33.37	201.6	177.6	M12	60	62	0.848	32.36
IFE O 220 ^A	29.4	222	112	6.6	10.2	12	37.39	201.6	177.6	M10	58	66	0.858	29.24
IPEA 240 ^A	26.2	237	120	5.2	8.3	15	33.31	220.4	190.4	M12	64	68	0.918	35.10
IFE 240	30.7	240	120	6.2	9.8	15	39.12	220.4	190.4	M12	66	68	0.922	30.02
IFE O 240 ^A	34.3	242	122	7	10.8	15	43.71	220.4	190.4	M12	66	70	0.932	27.17
IPEA 270 ^A	30.7	267	135	5.5	8.7	15	39.15	249.6	219.6	M16	70	72	1.037	33.75
IFE 270	36.1	270	135	6.6	10.2	15	45.95	249.6	219.6	M16	72	72	1.041	28.86
IFE O 270 ^A	42.3	274	136	7.5	12.2	15	53.84	249.6	219.6	M16	72	72	1.051	24.88
IPEA 300 ^A	36.5	297	150	6.1	9.2	15	46.53	278.6	248.6	M16	72	86	1.156	31.65
IFE 300	42.2	300	150	7.1	10.7	15	53.81	278.6	248.6	M16	72	86	1.160	27.46
IFE O 300 ^A	49.3	304	152	8	12.7	15	62.83	278.6	248.6	M16	74	88	1.174	23.81
IPEA 330 ^A	43.0	327	160	6.5	10	18	54.74	307	271	M16	78	96	1.250	29.09
IFE 330	49.1	330	160	7.5	11.5	18	62.61	307	271	M16	78	96	1.254	25.52
IFE O 330 ^A	57.0	334	162	8.5	13.5	18	72.62	307	271	M16	80	98	1.268	22.24

Annexe Caractéristiques des profils

IPE

Notations pages 104-108 / Beschriftungen Seiten 104-108

Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statistische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1					HEB DAB	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						pure bending y-y		pure compression				
	G kg/m	I_y cm ⁴	$W_{pl,y}$ cm ³	$W_{el,y}$ cm ³	I_z cm ⁴	A_e cm ²	I_z cm ⁴	$W_{pl,z}$ cm ³	$W_{el,z}$ cm ³	I_y cm ⁴	r_y mm	I_z cm ⁴	$I_w \times 10^4$ cm ⁶	S1/S4	S2/S5	S3/S6	S4/S8		S5/S8
IPEA 360	50.2	14520	811.8	906.8	15.06	29.76	944.3	111.1	171.9	3.84	50.69	26.51	282	1	1	-	4	4	-
PE 360	57.1	16270	903.6	1019	14.95	35.14	1043	122.8	191.1	3.79	54.49	37.32	313.6	1	1	-	2	4	-
IPE O 360	66.0	19050	1047	1186	15.05	40.21	1251	145.5	226.9	3.86	59.69	55.76	380.3	1	1	-	1	3	-
IPEA 400	57.4	20290	1032	1144	16.66	35.78	1171	130.1	202.1	4.00	55.60	34.79	432.2	1	1	-	4	4	-
PE 400	66.3	23130	1156	1307	16.55	42.69	1318	146.4	229.0	3.95	60.20	51.08	490	1	1	-	3	4	-
IPE O 400	75.7	26750	1324	1502	16.66	47.98	1564	171.9	269.1	4.03	65.30	73.10	587.6	1	1	-	2	3	-
IPEA 450	67.2	29760	1331	1494	18.65	42.26	1502	158.1	245.7	4.19	58.40	45.67	704.9	1	1	-	4	4	-
PE 450	77.6	33740	1500	1702	18.48	50.85	1676	176.4	276.4	4.12	63.20	66.87	791	1	1	-	3	4	-
IPE O 450	92.4	40920	1795	2046	18.65	59.4	2085	217.2	341.0	4.21	70.80	109	997.6	1	1	-	2	4	-
IPEA 500	79.4	42930	1728	1946	20.61	50.41	1939	193.9	301.6	4.38	62.00	62.78	1125	1	1	-	4	4	-
PE 500	90.7	48200	1928	2194	20.43	59.87	2142	214.2	335.9	4.31	66.80	89.29	1249	1	1	1	3	4	H
IPE O 500	107	57780	2284	2613	20.56	70.21	2622	259.6	408.5	4.38	74.60	143.5	1548	1	1	1	2	4	H
IPEA 550	92.1	59980	2193	2475	22.61	60.30	2432	231.6	361.5	4.55	68.52	86.53	1710	1	1	-	4	4	-
PE 550	106	67120	2441	2787	22.35	72.34	2668	254.1	400.5	4.45	73.62	123.2	1884	1	1	1	4	4	H
IPE O 550	123	79160	2847	3263	22.52	82.69	3224	304.2	480.5	4.55	81.22	187.5	2302	1	1	1	2	4	H
IPEA 600	108	82920	2778	3141	24.6	70.14	3116	283.3	442.1	4.77	72.92	118.8	2607	1	1	-	4	4	-
PE 600	122	92080	3069	3512	24.3	83.78	3387	307.9	485.6	4.66	78.12	165.4	2846	1	1	1	4	4	H
IPE O 600	154	118300	3879	4471	24.52	104.4	4521	402.6	640.1	4.79	91.12	318.1	3860	1	1	1	2	4	H
IPE 750 x 147	147	186100	4411	5110	29.76	105.4	5289	399.2	630.8	5.31	67.12	161.5	7141	1	1	-	4	4	-
PE 750 x 173	173	205800	5402	6218	30.49	116.4	6873	514.9	809.9	5.57	77.52	273.6	9391	1	1	1	4	4	H
IPE 750 x 196	196	240300	6241	7174	30.95	127.3	8175	610.1	958.8	5.71	86.32	408.9	11290	1	1	1	4	4	H

Annexe

Caractéristiques des profils

Poutrelles I européennes

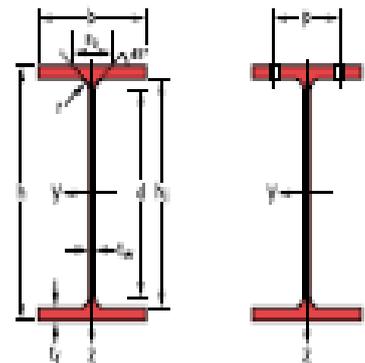
IFE 100 - 600 conformes à l'Euronorme 19-57; IPE A 100 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750

European I beams

IFE 100 - 600 in accordance with Euronorm 19-57; IPE A 100 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750

Europäische I-Profile

IFE 100 - 600 gemäß Euronorm 19-57; IPE A 100 - 600; IPE O 180 - 600; IPE 750



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	h _w mm	h _f mm	r mm	A cm ²	h ₁ mm	d mm	∅	P _{min} mm	P _{max} mm	A _f m ² /m	A _c m ² /m
IPE A 360 [*]	50.2	357.6	170	6.6	11.5	18	63.96	334.6	298.6	M22	86	88	1.351	26.91
IPE 360	57.1	360	170	8	12.7	18	72.73	334.6	298.6	M22	88	88	1.353	23.70
IPE O 360 ⁺	66.0	364	172	9.2	14.7	18	84.13	334.6	298.6	M22	90	90	1.367	20.69
IPE A 400 [*]	57.4	397	180	7	12	21	73.10	373	331	M22	94	98	1.464	25.51
IPE 400	66.3	400	180	8.6	13.5	21	84.46	373	331	M22	96	98	1.467	22.12
IPE O 400 ⁺	75.7	404	182	9.7	15.5	21	96.39	373	331	M22	96	100	1.481	19.57
IPE A 450 [*]	67.2	447	190	7.6	13.1	21	85.55	420.8	378.8	M24	100	102	1.603	23.87
IPE 450	77.6	450	190	9.4	14.6	21	98.82	420.8	378.8	M24	100	102	1.605	20.69
IPE O 450 ⁺	92.4	456	192	11	17.6	21	117.7	420.8	378.8	M24	102	104	1.622	17.56
IPE A 500 [*]	79.4	497	200	8.4	14.5	21	101.1	468	426	M24	100	112	1.741	21.94
IPE 500	90.7	500	200	10.2	16	21	115.5	468	426	M24	102	112	1.744	19.23
IPE O 500 ⁺	107	506	202	12	19	21	136.7	468	426	M24	104	114	1.760	16.40
IPE A 550 [*]	92.1	547	210	9	15.7	24	117.3	515.6	467.6	M24	106	122	1.875	20.36
IPE 550	106	550	210	11.1	17.2	24	134.4	515.6	467.6	M24	110	122	1.877	17.78
IPE O 550 ⁺	123	556	212	12.7	20.2	24	156.1	515.6	467.6	M24	110	122	1.893	15.45
IPE A 600 [*]	108	597	220	9.8	17.5	24	137.0	562	514	M27	114	118	2.013	18.72
IPE 600	122	600	220	12	19	24	156.0	562	514	M27	116	118	2.015	16.45
IPE O 600 ⁺	154	610	224	15	24	24	196.8	562	514	M27	118	122	2.045	13.24
IPE 750 x 147	147	753	265	13.2	17	17	187.5	719	685	M27	104	164	2.510	17.06
IPE 750 x 173 ⁺	173	762	267	14.4	21.6	17	221.3	718.8	684.8	M27	104	166	2.534	14.58
IPE 750 x 196 ⁺	196	770	268	15.6	25.4	17	250.8	719.2	685.2	M27	106	166	2.552	12.96

Annexe Caractéristiques des profils

IPN



Relations pages: 104-108 / Beziehungen Seiten: 104-108

Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1				
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						per bending y-y		per compression		
	G kg/m	I_y cm ⁴	$W_{pl,y}$ cm ³	$W_{pl,y}^{\#}$ cm ³	I_z cm ⁴	A_w cm ²	I_z cm ⁴	$W_{pl,z}$ cm ³	$W_{pl,z}^{\#}$ cm ³	I_z cm ⁴	i_z mm	I_y cm ⁴	$I_w \times 10^4$ cm ⁶	cl. 1 (C1)	cl. 2 (C2)	cl. 3 (C3)	cl. 4 (C4)
IPN 120	11.1	328	54.7	63.6	4.81	6.63	21.5	7.41	12.4	1.23	28.4	2.71	0.69	1	1	1	1
IPN 140	14.3	573	81.9	95.4	5.61	8.65	35.2	10.7	17.9	1.40	31.8	4.32	1.54	1	1	1	1
IPN 160	17.9	935	117	136	6.4	10.83	54.7	14.8	24.9	1.55	35.2	6.57	3.14	1	1	1	1
IPN 180	21.9	1450	161	187	7.2	13.35	81.3	19.8	33.2	1.71	38.6	9.58	5.92	1	1	1	1
IPN 200	26.2	2140	214	250	8.0	16.03	117	26.0	43.5	1.87	42.0	13.5	10.5	1	1	1	1
IPN 220	31.1	3060	278	324	8.8	19.06	162	33.1	55.7	2.02	45.4	18.6	17.8	1	1	1	1
IPN 240	36.2	4250	354	412	9.59	22.33	221	41.7	70.0	2.20	48.9	25.0	28.7	1	1	1	1
IPN 260	41.9	5740	442	514	10.4	26.08	288	51.0	85.9	2.32	52.6	33.5	44.1	1	1	1	1
IPN 280	47.9	7590	542	632	11.1	30.18	364	61.2	103	2.45	56.4	44.2	64.6	1	1	1	1
IPN 300	54.2	9800	653	762	11.9	34.58	451	72.2	121	2.56	60.1	56.8	91.8	1	1	1	1
IPN 320	61.0	12510	782	914	12.7	39.26	555	84.7	143	2.67	63.9	72.5	129	1	1	1	1
IPN 340	68.0	15700	923	1080	13.5	44.27	674	98.4	166	2.80	67.6	90.4	176	1	1	1	1
IPN 360	76.1	19610	1090	1276	14.2	49.95	818	114	194	2.90	71.8	115	240	1	1	1	1
IPN 380	84.0	24010	1260	1482	15.0	55.55	975	131	221	3.02	75.4	141	319	1	1	1	1
IPN 400	92.4	29210	1460	1714	15.7	61.69	1160	149	253	3.13	79.3	170	420	1	1	1	1
IPN 450	115	45850	2040	2400	17.7	77.79	1730	203	345	3.43	88.9	267	791	1	1	1	1
IPN 500	141	68040	2750	3240	19.6	95.6	2480	268	456	3.72	98.5	402	1400	1	1	1	1
IPN 550	166	99180	3610	4240	21.6	111.3	3490	349	592	4.02	107.3	544	2390	1	1	1	1

Annexe Caractéristiques des profils

Poutrelles normales européennes

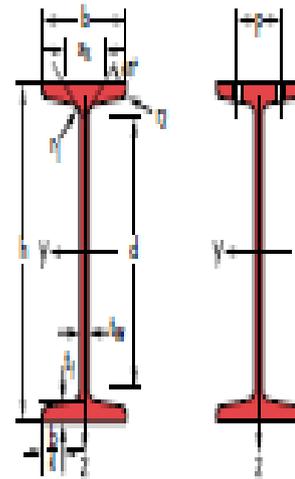
Inclinaison des ailes: 14%
conformes à DIN 1025-1: 1963, NF A 45-209 (1983)

European standard beams

flange slope: 14%
in accordance with DIN 1025-1: 1963, NF A 45-209 (1983)

Europäische Normalträger

Flanschneigung: 14%
gemäß DIN 1025-1: 1963, NF A 45-209 (1983)



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	h ₁ mm	h ₂ mm	t ₁ mm	t ₂ mm	A cm ²	d mm	∅	r _{min} mm	r _{max} mm	A ₁ m ² /m	A ₂ m ² /m
IPN 120	11.1	120	58	5.1	7.7	5.1	3.1	14.2	92.4	-	-	-	0.429	39.38
IPN 140	14.3	140	66	5.7	8.6	5.7	3.4	18.3	109.1	-	-	-	0.502	34.94
IPN 160	17.9	160	74	6.3	9.5	6.3	3.8	22.8	125.8	-	-	-	0.575	32.13
IPN 180	21.9	180	82	6.9	10.4	6.9	4.1	27.9	142.4	-	-	-	0.64	29.22
IPN 200	26.2	200	90	7.5	11.3	7.5	4.5	33.4	159.1	-	-	-	0.709	27.04
IPN 220	31.1	220	98	8.1	12.2	8.1	4.9	39.5	175.8	M10	50	56	0.775	24.99
IPN 240	36.2	240	106	8.7	13.1	8.7	5.2	46.1	192.5	M10	54	60	0.844	23.32
IPN 260	41.9	260	113	9.4	14.1	9.4	5.6	53.3	208.9	M12	62	62	0.906	21.65
IPN 280	47.9	280	119	10.1	15.2	10.1	6.1	61.0	225.1	M12	68	68	0.966	20.17
IPN 300	54.2	300	125	10.8	16.2	10.8	6.5	69.0	241.6	M12	70	74	1.03	19.02
IPN 320	61.0	320	131	11.5	17.3	11.5	6.9	77.7	257.9	M12	70	80	1.09	17.87
IPN 340	68.0	340	137	12.2	18.3	12.2	7.3	86.7	274.3	M12	78	86	1.15	16.90
IPN 360	76.1	360	143	13	19.5	13	7.8	97.0	290.2	M12	78	92	1.21	15.89
IPN 380	84.0	380	149	13.7	20.5	13.7	8.2	107	306.7	M16	84	86	1.27	15.12
IPN 400	92.4	400	155	14.4	21.6	14.4	8.6	118	322.9	M16	86	92	1.33	14.36
IPN 450	115	450	170	16.2	24.3	16.2	9.7	147	363.6	M16	92	106	1.48	12.83
IPN 500	141	500	185	18	27	18	10.8	179	404.3	M20	102	110	1.63	11.60
IPN 550	166	550	200	19	30	19	11.9	212	445.6	M22	112	118	1.80	10.80

Annexe Caractéristiques des profils



Hebélens pages 104-108 / Beschriftungen Seiten 104-108

Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1						HS-DFR
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						pour bending y-y			pour compression			
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	W _{pl,y} [#] cm ³	I _z cm ⁴	A _{net} cm ²	I _z cm ⁴	W _{pl,z} cm ³	W _{pl,z} [#] cm ³	I _z cm ⁴	S _z mm	I _z cm ⁴	I _w x 10 ⁴ cm ⁶	r _y cm	r _z cm	r _w cm	r _{ty} cm	r _{tz} cm	
HE 100 AA	12.2	236.5	51.98	58.36	3.89	6.15	92.06	18.41	28.44	2.43	29.26	2.51	1.68	1	3	-	1	3	-
HE 100 A	16.7	349.2	72.76	83.01	4.06	7.56	133.8	26.76	41.14	2.51	35.06	5.24	2.58	1	1	-	1	1	-
HE 100 B	20.4	449.5	89.91	104.2	4.16	9.04	167.3	33.45	51.42	2.53	40.06	9.25	3.38	1	1	-	1	1	-
HE 100 M	41.8	1143	190.4	235.8	4.63	18.04	399.2	75.31	116.3	2.74	66.06	68.21	9.93	1	1	-	1	1	-
HE 120 AA	14.6	413.4	75.85	84.12	4.72	6.90	158.8	26.47	40.62	2.93	29.26	2.78	4.24	2	3	-	2	3	-
HE 120 A	19.9	606.2	106.3	119.5	4.89	8.46	230.9	38.48	58.85	3.02	35.06	5.99	6.47	1	1	-	1	1	-
HE 120 B	26.7	864.4	144.1	165.2	5.04	10.96	317.5	52.93	80.97	3.06	42.56	13.84	9.41	1	1	-	1	1	-
HE 120 M	52.1	2018	288.2	358.6	5.51	21.15	702.8	111.6	171.6	3.25	68.56	91.66	24.79	1	1	-	1	1	-
HE 140 AA	18.1	719.5	112.4	123.8	5.59	7.92	224.8	39.26	59.93	3.45	30.36	3.54	10.21	3	3	-	3	3	-
HE 140 A	24.7	1033	155.4	173.5	5.73	10.12	389.3	55.62	84.85	3.52	36.56	8.13	15.06	1	2	-	1	2	-
HE 140 B	33.7	1509	215.6	245.4	5.93	13.08	549.7	78.52	119.8	3.58	45.06	20.06	22.48	1	1	-	1	1	-
HE 140 M	63.2	3291	411.4	493.8	6.39	24.46	1144	156.8	240.5	3.77	71.06	130	54.33	1	1	-	1	1	-
HE 160 AA	23.8	1283	173.4	190.4	6.50	10.38	478.7	59.84	91.36	3.97	36.07	6.33	23.75	3	3	-	3	3	-
HE 160 A	30.4	1673	220.1	245.1	6.57	13.21	675.6	76.95	117.6	3.98	41.57	12.19	31.41	1	2	-	1	2	-
HE 160 B	42.6	2482	311.5	354.0	6.78	17.59	889.2	111.2	170.0	4.05	51.57	31.24	47.94	1	1	-	1	1	-
HE 160 M	76.2	5088	586.5	674.6	7.25	30.81	1759	211.9	325.5	4.26	77.57	162.4	108.1	1	1	-	1	1	-
HE 180 AA	28.7	1967	235.6	258.2	7.34	12.16	730.0	81.11	123.6	4.47	37.57	8.33	46.36	3	3	-	3	3	-
HE 180 A	35.5	2510	293.6	324.9	7.45	14.47	934.6	102.7	156.5	4.52	42.57	14.80	60.21	1	3	-	1	3	-
HE 180 B	51.2	3831	425.7	481.4	7.66	20.24	1363	151.4	231.0	4.57	54.07	42.16	93.75	1	1	-	1	1	-
HE 180 M	88.9	7483	748.3	883.4	8.13	34.65	2580	277.4	425.2	4.77	80.07	203.3	199.3	1	1	-	1	1	-
HE 200 AA	34.6	2944	316.6	347.1	8.17	15.45	1068	106.8	163.2	4.92	42.59	12.69	84.49	3	4	-	3	4	-
HE 200 A	42.3	3682	388.6	429.5	8.28	18.08	1336	133.6	203.8	4.98	47.59	20.98	108	1	3	-	1	3	-
HE 200 B	61.3	5696	569.6	642.5	8.54	24.83	2003	200.3	305.8	5.07	60.09	59.28	171.1	1	1	-	1	1	-
HE 200 M	103	10640	967.4	1135	9.00	41.03	3651	354.5	543.2	5.27	86.09	259.4	346.3	1	1	-	1	1	-
HE 220 AA	40.4	4170	406.9	445.5	9.00	17.63	1510	137.3	209.3	5.42	44.09	15.93	145.6	3	4	-	3	4	-
HE 220 A	50.5	5410	515.2	568.5	9.17	20.67	1955	177.7	270.6	5.51	50.09	28.46	199.3	1	3	-	1	3	-
HE 220 B	71.5	8091	735.5	827.0	9.43	27.92	2843	258.5	393.9	5.59	62.59	76.57	295.4	1	1	-	1	1	-
HE 220 M	117	14600	1217	1419	9.89	45.31	5012	443.5	678.6	5.79	88.59	315.3	572.7	1	1	-	1	1	-
HE 240 AA	47.4	5835	521.0	570.6	9.83	21.54	2077	173.1	264.4	5.87	49.10	22.98	239.6	3	4	-	3	4	-
HE 240 A	60.3	7763	675.1	744.6	10.05	25.18	2769	230.7	351.7	6.00	56.10	41.55	328.5	1	3	-	1	3	-
HE 240 B	83.2	11260	938.3	1053	10.31	33.23	3923	326.9	498.4	6.08	68.60	102.7	486.9	1	1	-	1	1	-
HE 240 M	157	24290	1799	2117	11.03	60.07	8153	657.5	1006	6.39	106.6	627.9	1152	1	1	-	1	1	-
HE 260 AA	54.1	7981	654.1	714.5	10.76	24.75	2788	214.5	327.7	6.36	53.62	30.31	382.6	3	4	-	3	4	-
HE 260 A	68.2	10450	836.4	919.8	10.97	28.76	3668	282.1	430.2	6.50	60.62	52.37	516.4	2	3	3	2	3	3
HE 260 B	93.0	14930	1148	1283	11.22	37.59	5135	395.0	602.2	6.58	73.12	123.8	753.7	1	1	2	1	1	2
HE 260 M	172	31310	2159	2524	11.94	66.89	10450	779.7	1192	6.90	111.1	719	1728	1	1	1	1	1	1

4 M - Four on dimensionment reduction. In section

4 M - Derivativ section. No dimension reduction in class

4 M - Red about elastic limit. Dimension more than 2000

Annexe Caractéristiques des profils

Poutrelles européennes à larges ailes

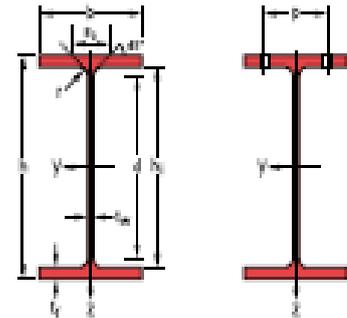
HE A, HE B et HE M 100 - 1000 conformes à l'Euronorme 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

European wide flange beams

HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

Europäische Breitflanschträger

HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL HL 920 - 1100



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche		
	G kg/m	h mm	b mm	h ₁ mm	t mm		h ₂ mm	h mm	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _f cm ²	A _w cm ²
HE 100 AA ⁺	12.2	91	100	4.2	5.5	12	15.60	80	56	M10	54	58	0.553	45.17
HE 100 A	16.7	96	100	5	8	12	21.24	80	56	M10	54	58	0.561	33.68
HE 100 B	20.4	100	100	6	10	12	26.04	80	56	M10	56	58	0.567	27.76
HE 100 M	41.8	120	106	12	20	12	53.24	80	56	M10	62	64	0.619	14.82
HE 120 AA ⁺	14.6	109	120	4.2	5.5	12	18.55	98	74	M12	58	68	0.669	45.94
HE 120 A	19.9	114	120	5	8	12	25.34	98	74	M12	58	68	0.677	34.06
HE 120 B	26.7	120	120	6.5	11	12	34.01	98	74	M12	60	68	0.686	25.71
HE 120 M	52.1	140	126	12.5	21	12	66.41	98	74	M12	66	74	0.738	14.16
HE 140 AA ⁺	18.1	128	140	4.3	6	12	23.02	116	90	M16	64	76	0.787	43.53
HE 140 A	24.7	133	140	5.5	8.5	12	31.42	116	90	M16	64	76	0.794	32.21
HE 140 B	33.7	140	140	7	12	12	42.96	116	90	M16	66	76	0.805	23.88
HE 140 M	63.2	160	146	13	22	12	80.56	116	90	M16	72	82	0.857	13.56
HE 160 AA ⁺	23.8	148	160	4.5	7	15	30.36	134	104	M20	76	84	0.901	37.81
HE 160 A	30.4	152	160	6	9	15	38.77	134	104	M20	78	84	0.906	29.78
HE 160 B	42.6	160	160	8	13	15	54.25	134	104	M20	80	84	0.918	21.56
HE 160 M	76.2	180	166	14	23	15	97.05	134	104	M20	86	90	0.970	12.74
HE 180 AA ⁺	28.7	167	180	5	7.5	15	36.53	152	122	M24	84	92	1.018	35.51
HE 180 A	35.5	171	180	6	9.5	15	45.25	152	122	M24	86	92	1.024	28.83
HE 180 B	51.2	180	180	8.5	14	15	65.25	152	122	M24	88	92	1.037	20.25
HE 180 M	88.9	200	186	14.5	24	15	113.3	152	122	M24	94	98	1.089	12.25
HE 200 AA ⁺	34.6	186	200	5.5	8	18	44.13	170	134	M27	96	100	1.130	32.62
HE 200 A	42.3	190	200	6.5	10	18	53.83	170	134	M27	98	100	1.136	26.89
HE 200 B	61.3	200	200	9	15	18	78.08	170	134	M27	100	100	1.151	18.78
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131.3	170	134	M27	106	106	1.203	11.67
HE 220 AA ⁺	40.4	205	220	6	8.5	18	51.46	188	152	M27	98	118	1.247	30.87
HE 220 A	50.5	210	220	7	11	18	64.34	188	152	M27	98	118	1.255	24.85
HE 220 B	71.5	220	220	9.5	16	18	91.04	188	152	M27	100	118	1.270	17.77
HE 220 M	117	240	226	15.5	26	18	149.4	188	152	M27	108	124	1.322	11.27
HE 240 AA ⁺	47.4	224	240	6.5	9	21	60.38	206	164	M27	104	138	1.359	28.67
HE 240 A	60.3	230	240	7.5	12	21	76.84	206	164	M27	104	138	1.369	22.70
HE 240 B	83.2	240	240	10	17	21	106.0	206	164	M27	108	138	1.384	16.63
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199.6	206	164	M27	116	146	1.460	9.318
HE 260 AA ⁺	54.1	244	260	6.5	9.5	24	68.97	225	177	M27	110	158	1.424	27.22
HE 260 A	68.2	250	260	7.5	12.5	24	86.82	225	177	M27	110	158	1.484	21.77
HE 260 B	93.0	260	260	10	17.5	24	118.4	225	177	M27	114	158	1.499	16.12
HE 260 M	172	290	268	18	32.5	24	219.6	225	177	M27	122	166	1.575	9.133

Annexe Caractéristiques des profils

HE



Notations: pages 104-108 / Beschriftungen: Seiten 104-108

Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statistische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1						HEB (EN)
	axe fort yy strong axis yy starke Achse yy						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						non lending yy			non compression			
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	W _{pl,y} [#] cm ³	I _z cm ⁴	A _e cm ²	I _z cm ⁴	W _{pl,z} cm ³	W _{pl,z} [#] cm ³	I _y cm ⁴	I _z mm	I _y cm ⁴	I _w x 10 ⁴ cm ⁶	S ₁ (EN)	S ₂ (EN)	S ₃ (EN)	S ₁ (EN)	S ₂ (EN)	
HE 280 AA	61,2	10560	799,8	873,1	11,63	27,57	3664	261,7	399,4	6,85	55,12	36,22	590,1	3	4	-	3	4	-
HE 280 A	76,4	13670	1013	1112	11,86	31,74	4763	340,2	518,1	7,00	62,12	62,10	785,4	2	3	4	2	3	4
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12,11	41,09	6595	471,0	713,6	7,09	74,62	143,7	1130	1	1	2	1	1	2
HE 280 M	189	39550	2551	2966	12,83	72,03	13160	914,1	1397	7,40	112,6	807,3	2520	1	1	1	1	1	1
HE 300 AA	69,8	13800	975,6	1065	12,46	32,37	4754	315,6	482,3	7,30	60,13	49,35	877,2	3	4	-	3	4	-
HE 300 A	88,3	18260	1360	1383	12,74	37,28	6310	420,6	641,2	7,49	68,13	85,17	1200	2	3	3	2	3	3
HE 300 B	117	25170	1678	1869	12,99	47,43	8563	570,9	870,1	7,58	80,63	185	1688	1	1	3	1	1	3
HE 300 M	238	59200	3482	4078	13,98	90,53	19400	1252	1913	8,00	130,6	1408	4386	1	1	1	1	1	1
HE 320 AA	74,2	16450	1093	1196	13,19	35,40	4959	330,6	505,7	7,24	61,63	55,87	1041	3	4	-	3	4	-
HE 320 A	97,6	22930	1479	1628	13,58	41,13	6985	465,7	709,7	7,49	71,63	108	1512	1	3	3	1	3	3
HE 320 B	127	30820	1926	2149	13,82	51,77	9239	615,9	939,1	7,57	84,13	225,1	2069	1	1	2	1	1	2
HE 320 M	245	68130	3796	4435	14,78	94,85	19710	1276	1951	7,95	132,6	1501	5004	1	1	1	1	1	1
HE 340 AA	78,9	19550	1222	1341	13,95	38,69	5185	345,6	529,3	7,18	63,13	63,07	1231	3	4	-	3	4	-
HE 340 A	105	27690	1678	1850	14,40	44,95	7436	495,7	755,9	7,46	74,13	127,2	1824	1	3	3	1	3	3
HE 340 B	134	36660	2156	2408	14,65	56,09	9690	646,0	985,7	7,53	86,63	257,2	2454	1	1	1	1	1	1
HE 340 M	248	76370	4052	4718	15,55	98,63	19710	1276	1953	7,90	132,6	1506	5584	1	1	1	1	1	1
HE 360 AA	83,7	23040	1359	1495	14,70	42,17	5410	360,7	553,0	7,12	64,63	70,99	1444	3	4	-	3	4	-
HE 360 A	112	32090	1891	2088	15,22	48,96	7887	525,8	802,3	7,43	76,63	148,8	2177	1	2	3	1	2	3
HE 360 B	142	42190	2400	2683	15,46	60,60	10440	676,1	1032	7,49	89,13	292,5	2883	1	1	1	1	1	1
HE 360 M	250	84870	4297	4989	16,32	102,4	19520	1268	1942	7,83	132,6	1507	6137	1	1	1	1	1	1
HE 400 AA	92,4	31250	1654	1824	16,30	47,95	5861	390,8	599,7	7,06	67,13	84,69	1948	3	3	-	3	3	-
HE 400 A	125	46070	2311	2562	16,84	57,33	8564	570,9	872,9	7,34	80,63	189	2940	1	1	3	1	2	3
HE 400 B	155	57680	2884	3232	17,08	69,98	10820	721,3	1104	7,40	93,13	355,7	3817	1	1	1	1	1	1
HE 400 M	256	104100	4820	5571	17,88	110,2	19340	1260	1934	7,70	132,6	1515	7410	1	1	1	1	1	1
HE 450 AA	99,7	41890	1971	2183	18,16	54,70	6888	405,8	624,4	6,92	68,63	95,61	2572	3	3	-	3	4	-
HE 450 A	140	63720	2896	3276	18,92	65,78	9465	631,0	965,5	7,29	85,13	243,8	4148	1	1	1	1	2	3
HE 450 B	171	79890	3651	3982	19,14	79,66	11720	781,4	1198	7,33	97,63	440,5	5258	1	1	1	1	1	2
HE 450 M	263	131500	5501	6331	19,80	119,8	19340	1260	1939	7,59	132,6	1529	9251	1	1	1	1	1	1
HE 500 AA	107	54640	2315	2576	19,98	61,91	6314	420,9	649,3	6,79	70,13	107,7	3304	2	3	-	2	4	-
HE 500 A	155	86970	3550	3949	20,98	74,72	10370	691,1	1059	7,24	89,63	309,3	5643	1	1	1	1	3	4
HE 500 B	187	107200	4287	4815	21,19	89,82	12620	841,6	1292	7,27	102,1	538,4	7018	1	1	1	1	2	2
HE 500 M	270	161900	6180	7094	21,69	129,5	19150	1252	1932	7,46	132,6	1539	11190	1	1	1	1	1	1
HE 550 AA	120	72870	2792	3128	21,84	72,66	6767	451,1	698,6	6,85	73,13	133,7	4338	1	3	-	3	4	-
HE 550 A	166	111900	4146	4622	22,99	83,72	10820	721,3	1107	7,15	92,13	351,5	7189	1	1	1	2	4	4
HE 550 B	199	136700	4971	5591	23,20	100,1	13680	871,8	1341	7,17	104,6	600,3	8856	1	1	1	1	2	3
HE 550 M	278	198000	6923	7933	23,64	139,6	19160	1252	1937	7,35	132,6	1554	13520	1	1	1	1	1	1

Annexe Caractéristiques des profils

Poutrelles européennes à larges ailes

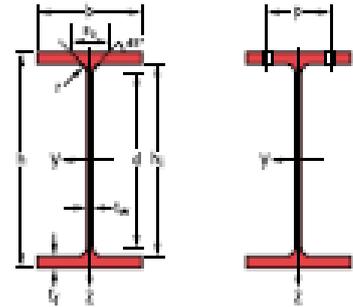
HE A, HE B et HE M 100 - 1000 conformes à l'Euronorme 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

European wide flange beams

HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

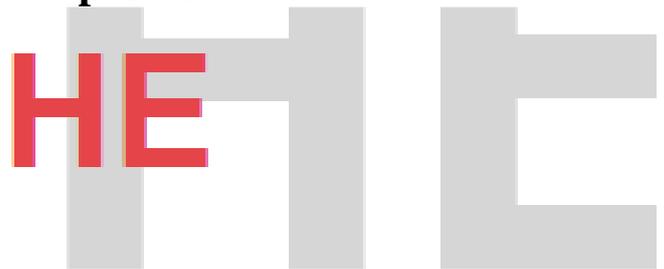
Europäische Breitflanschträger

HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	b mm	b ₁ mm	h _w mm	h ₁ mm	t mm		h ₁ mm	d mm	e ₁	P _{min} mm	P _{max} mm	A _f m ² /m	A _w m ² /m
HE 280AA ⁺	61,2	264	280	7	10	24	78,02	244	196	M27	110	178	1,588	26,01
HE 280 A	76,4	270	280	8	13	24	97,26	244	196	M27	112	178	1,603	20,99
HE 280 B	103	280	280	10,5	18	24	131,4	244	196	M27	114	178	1,618	15,69
HE 280 M	189	310	288	18,5	33	24	240,2	244	196	M27	122	186	1,694	8,984
HE 300AA ⁺	69,8	283	300	7,5	10,5	27	88,91	262	208	M27	116	198	1,705	24,42
HE 300 A	88,3	290	300	8,5	14	27	112,5	262	208	M27	118	198	1,717	19,43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	148,1	262	208	M27	120	198	1,732	14,80
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303,1	262	208	M27	132	208	1,832	7,699
HE 320AA ⁺	74,2	301	300	8	11	27	94,58	279	225	M27	118	198	1,740	23,43
HE 320 A	97,6	310	300	9	15,5	27	124,4	279	225	M27	118	198	1,756	17,98
HE 320 B	127	320	300	11,5	20,5	27	161,3	279	225	M27	122	198	1,771	13,98
HE 320 M	245	359	309	21	40	27	312,0	279	225	M27	132	204	1,866	7,616
HE 340AA ⁺	78,9	320	300	8,5	11,5	27	100,5	297	243	M27	118	198	1,777	22,52
HE 340 A	105	330	300	9,5	16,5	27	133,5	297	243	M27	118	198	1,795	17,13
HE 340 B	134	340	300	12	21,5	27	170,9	297	243	M27	122	198	1,810	13,49
HE 340 M	248	377	309	21	40	27	315,8	297	243	M27	132	204	1,902	7,670
HE 360AA ⁺	83,7	339	300	9	12	27	106,6	315	261	M27	118	198	1,814	21,67
HE 360 A	112	350	300	10	17,5	27	142,8	315	261	M27	120	198	1,834	16,36
HE 360 B	142	360	300	12,5	22,5	27	180,6	315	261	M27	122	198	1,849	13,04
HE 360 M	250	395	308	21	40	27	318,8	315	261	M27	132	204	1,934	7,73
HE 400AA ⁺	92,4	378	300	9,5	13	27	117,7	352	298	M27	118	198	1,891	20,46
HE 400 A	125	390	300	11	19	27	159,0	352	298	M27	120	198	1,912	15,32
HE 400 B	155	400	300	13,5	24	27	197,8	352	298	M27	124	198	1,927	12,41
HE 400 M	256	432	307	21	40	27	325,8	352	298	M27	132	202	2,004	7,835
HE 450AA ⁺	99,7	425	300	10	13,5	27	127,1	398	344	M27	120	198	1,984	19,89
HE 450 A	140	440	300	11,5	21	27	178,0	398	344	M27	122	198	2,011	14,39
HE 450 B	171	450	300	14	26	27	218,0	398	344	M27	124	198	2,026	11,84
HE 450 M	263	478	307	21	40	27	335,4	398	344	M27	132	202	2,096	7,959
HE 500AA ⁺	107	472	300	10,5	14	27	136,9	444	390	M27	120	198	2,077	19,33
HE 500 A	155	490	300	12	23	27	197,5	444	390	M27	122	198	2,110	13,60
HE 500 B	187	500	300	14,5	28	27	238,6	444	390	M27	124	198	2,125	11,34
HE 500 M	270	524	306	21	40	27	344,3	444	390	M27	132	202	2,184	8,079
HE 550AA ⁺	120	522	300	11,5	15	27	152,8	492	438	M27	122	198	2,175	18,13
HE 550 A	166	540	300	12,5	24	27	211,8	492	438	M27	122	198	2,209	13,29
HE 550 B	199	550	300	15	29	27	254,1	492	438	M27	124	198	2,224	11,15
HE 550 M	278	572	306	21	40	27	354,4	492	438	M27	132	202	2,280	8,195

Annexe Caractéristiques des profils



Notations pages 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statistische Kennwerte													Classification ENW 1993-1-1					HBS DLR
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z							pour bending y-y		pour compression			
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	W _{pl,y} [#] cm ³	I _z cm ⁴	A _c cm ²	I _t cm ⁴	W _{pl,z} cm ³	W _{pl,z} [#] cm ³	I _z cm ⁴	s _x mm	I _z cm ⁴	I _w x 10 ⁴ cm ⁶	S _y cm ³	S _z cm ³	S _{xy} cm ⁴	S _y cm ³	S _z cm ³	
HE 600 AA	129	91900	3218	3623	23.66	81.29	6993	466.2	734.5	6.53	74.63	149.8	5381	1	3	-	3	4	-
HE 600 A	178	141200	4387	5350	24.97	93.21	11270	751.4	1156	7.05	94.63	397.8	8978	1	1	1	2	4	4
HE 600 B	212	171000	5701	6425	25.17	110.8	13530	902.0	1391	7.08	107.1	667.2	10970	1	1	1	1	3	4
HE 600 M	285	237400	7660	8772	25.55	149.7	18980	1244	1930	7.22	132.6	1564	15910	1	1	1	1	1	1
HE 600 x 337	337	283200	8961	10380	25.69	180.5	22940	1480	2310	7.31	149.1	2451	19610	1	1	1	1	1	1
HE 600 x 399	399	344600	10640	12460	26.03	213.6	28280	1796	2814	7.46	169.6	3966	24810	1	1	1	1	1	1
HE 650 AA	138	113900	3676	4160	25.46	90.40	7221	481.4	750.7	6.41	76.13	167.5	6567	1	3	-	4	4	-
HE 650 A	190	175200	5474	6136	26.93	103.2	11270	781.6	1206	6.97	97.13	448.3	11030	1	1	1	3	4	4
HE 650 B	225	210600	6480	7320	27.12	122.0	13980	932.3	1441	6.99	109.6	739.2	13360	1	1	1	2	3	4
HE 650 M	293	281700	8433	9657	27.45	159.7	18980	1245	1936	7.13	132.6	1579	18650	1	1	1	1	1	2
HE 650 x 343	343	333700	9815	11350	27.62	189.6	22720	1470	2300	7.21	148.6	2442	22730	1	1	1	1	1	1
HE 650 x 407	407	405400	11650	13620	27.95	234.8	28020	1785	2803	7.35	169.1	3958	28710	1	1	1	1	1	1
HE 700 AA	150	142700	4260	4840	27.34	100.3	7673	511.5	799.7	6.34	78.63	195.2	8155	1	2	-	4	4	-
HE 700 A	204	215300	6241	7032	28.75	117.0	12180	811.9	1257	6.84	100.1	513.9	13350	1	1	1	3	4	4
HE 700 B	241	256900	7340	8327	28.96	137.1	14440	962.7	1495	6.87	112.6	830.9	16060	1	1	1	2	4	4
HE 700 M	301	329300	9198	10540	29.32	169.8	18800	1237	1929	7.01	132.6	1589	21400	1	1	1	1	2	3
HE 700 x 352	352	389700	10710	12390	29.47	201.6	22510	1461	2293	7.08	148.6	2461	26050	1	1	1	1	1	1
HE 700 x 418	418	472500	12700	14840	29.80	239.0	27760	1774	2797	7.22	169.1	3989	32850	1	1	1	1	1	1
HE 800 AA	172	208900	5426	6225	30.92	123.8	8134	542.2	856.6	6.10	85.15	256.8	11450	1	2	-	4	4	-
HE 800 A	224	303400	7682	8699	32.58	138.8	12640	842.6	1312	6.65	106.1	596.9	18290	1	1	1	4	4	4
HE 800 B	262	359100	8977	10230	32.78	161.8	14900	993.6	1553	6.68	118.6	946	21840	1	1	1	3	4	4
HE 800 M	317	442600	10870	12490	33.09	194.3	18630	1230	1930	6.79	136.1	1646	27780	1	1	1	1	3	4
HE 800 x 373	373	523900	12690	14700	33.23	230.3	22530	1463	2311	6.89	152.1	2554	34070	1	1	1	1	2	2
HE 800 x 444	444	634500	15070	17640	33.48	276.5	27800	1776	2827	7.01	173.1	4180	42840	1	1	1	1	1	1
HE 900 AA	198	301100	6923	7999	34.55	147.2	9041	602.8	957.7	5.99	90.15	334.9	16260	1	1	-	4	4	-
HE 900 A	252	422100	9485	10810	36.29	163.3	13550	903.2	1414	6.50	111.1	736.8	24960	1	1	1	4	4	4
HE 900 B	291	494100	10980	12580	36.48	188.8	15820	1054	1658	6.53	123.6	1137	29460	1	1	1	3	4	4
HE 900 M	333	570400	12540	14440	36.70	214.4	18450	1222	1929	6.60	136.1	1671	34750	1	1	1	2	4	4
HE 900 x 391	391	674300	14630	16990	36.81	254.3	22320	1454	2312	6.70	152.1	2587	42560	1	1	1	1	3	4
HE 900 x 466	466	814900	17380	20380	37.05	305.3	27560	1767	2822	6.81	173.1	4256	53400	1	1	1	1	1	2

Annexe Caractéristiques des profils

Poutrelles européennes à larges ailes

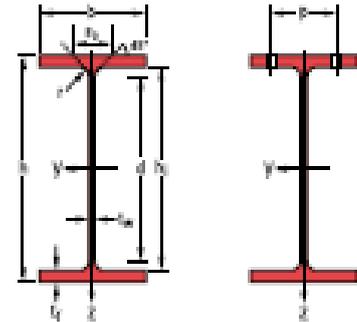
HE A, HE B et HE M 100 - 1000 conformes à l'Euronorme 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

European wide flange beams

HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

Europäische Breitflanschträger

HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	h ₁ mm	h ₂ mm	r mm		h ₁ mm	d mm	α ^o	P _{max} mm	P _{min} mm	A _f m ² m	A _w m ²
HE 600 AA ⁺	129	571	300	12	15,5	27	164,1	540	486	M27	122	198	2,272	17,64
HE 600 A	178	590	300	13	25	27	226,5	540	486	M27	122	198	2,308	12,98
HE 600 B	212	600	300	15,5	30	27	270,0	540	486	M27	126	198	2,323	10,96
HE 600 M	285	620	305	21	40	27	363,7	540	486	M27	132	200	2,372	8,308
HE 600 α 337 ⁺	337	632	310	25,5	46	27	429,2	540	486	M27	138	202	2,407	7,144
HE 600 α 399 ⁺	399	648	315	30	54	27	508,5	540	486	M27	142	208	2,450	6,137
HE 650 AA ⁺	138	620	300	12,5	16	27	175,8	588	534	M27	122	198	2,369	17,17
HE 650 A	190	640	300	13,5	26	27	241,6	588	534	M27	124	198	2,407	12,69
HE 650 B	225	650	300	16	31	27	286,3	588	534	M27	126	198	2,422	10,77
HE 650 M	293	668	305	21	40	27	373,7	588	534	M27	132	200	2,468	8,411
HE 650 α 343 ⁺	343	680	309	25	46	27	437,5	588	534	M27	138	202	2,500	7,278
HE 650 α 407 ⁺	407	696	314	29,5	54	27	518,8	588	534	M27	142	206	2,543	6,243
HE 700 AA ⁺	150	670	300	13	17	27	190,9	636	582	M27	122	198	2,468	16,46
HE 700 A	204	690	300	14,5	27	27	260,5	636	582	M27	124	198	2,505	12,25
HE 700 B	241	700	300	17	32	27	306,4	636	582	M27	126	198	2,520	10,48
HE 700 M	301	716	304	21	40	27	383,0	636	582	M27	132	200	2,560	8,513
HE 700 α 352 ⁺	352	728	308	25	46	27	448,6	636	582	M27	138	200	2,592	7,359
HE 700 α 418 ⁺	418	744	313	29,5	54	27	531,9	636	582	M27	142	206	2,635	6,310
HE 800 AA ⁺	172	770	300	14	18	30	218,5	734	674	M27	130	198	2,660	15,51
HE 800 A	224	790	300	15	28	30	285,8	734	674	M27	130	198	2,698	12,03
HE 800 B	262	800	300	17,5	33	30	334,2	734	674	M27	134	198	2,713	10,34
HE 800 M	317	814	303	21	40	30	404,3	734	674	M27	138	198	2,746	8,655
HE 800 α 373 ⁺	373	826	308	25	46	30	474,6	734	674	M27	144	200	2,782	7,469
HE 800 α 444 ⁺	444	842	313	30	54	30	566,0	734	674	M27	148	206	2,824	6,357
HE 900 AA ⁺	198	870	300	15	20	30	252,2	830	770	M27	130	198	2,858	14,44
HE 900 A	252	890	300	16	30	30	320,5	830	770	M27	132	198	2,896	11,51
HE 900 B	291	900	300	18,5	35	30	371,3	830	770	M27	134	198	2,911	9,990
HE 900 M	333	910	302	21	40	30	423,6	830	770	M27	138	198	2,934	8,824
HE 900 α 391 ⁺	391	922	307	25	46	30	497,7	830	770	M27	144	200	2,970	7,604
HE 900 α 466 ⁺	466	938	312	30	54	30	593,7	830	770	M27	148	204	3,012	6,464

Annexe Caractéristiques des profils

UAP

UAP

Notations pages 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte														Classification			
	axe fort yy strong axis yy starke Achse yy						axe faible zz weak axis zz schwache Achse zz								EN 1993-1-1			
	I_y cm ⁴	$W_{pl,y}$ cm ³	$W_{pl,y}^*$ cm ³	I_z cm ⁴	A_w cm ²	I_y cm ⁴	$W_{pl,z}$ cm ³	$W_{pl,z}^*$ cm ³	I_z cm ⁴	i_y mm	i_z mm	$W_{pl,z} \cdot 10^4$ cm ³	i_y cm	i_z cm	cl. 1 C1	cl. 2 C2	cl. 3 C3	
UAP 80	8.4	107.1	26.78	31.87	3.17	4.51	21.33	7.38	13.64	1.41	17.7	1.9	0.18	1.61	3.17	1	1	1
UAP 100	10.5	209.5	41.90	49.59	3.96	6.07	32.83	9.95	18.47	1.57	19.0	2.65	0.45	1.70	3.38	1	1	1
UAP 130	13.7	459.6	70.70	83.51	5.12	8.52	51.34	13.78	25.55	1.71	21.1	4.15	1.22	1.77	3.56	1	1	1
UAP 150	17.9	796.1	106.1	125.3	5.90	11.28	83.25	20.97	38.78	2.02	23.3	6.51	2.99	2.05	4.15	1	1	1
UAP 175	21.2	1270	145.1	171.5	6.85	13.97	126.4	25.92	47.47	2.16	24.5	8.43	5.62	2.12	4.32	1	1	1
UAP 200	25.1	1946	194.6	230.1	7.80	16.97	189.7	32.13	58.29	2.30	26.2	11.24	9.98	2.22	4.52	1	1	1
UAP 220	28.5	2710	246.4	289.9	8.64	18.83	222.3	39.68	72.56	2.48	27.8	14.4	15.82	2.40	4.94	1	1	1
UAP 250	34.4	4136	330.9	391.8	9.72	23.89	295.4	48.87	87.65	2.60	30.4	20.38	27.43	2.45	5.04	1	1	1
UAP 300	45.0	8170	544.7	639.3	11.81	30.64	562.1	79.88	145.8	3.10	34.9	36.3	75.04	2.96	6.17	1	1	1

Annexe

Caractéristiques des profils

Fers U à ailes parallèles

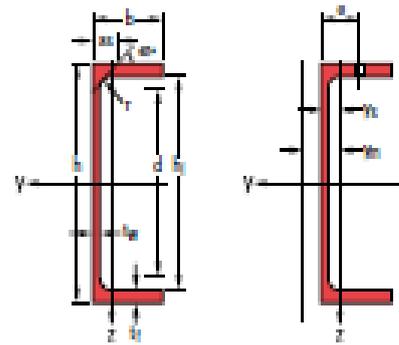
conformes à NF A 45-255 (1983)

Channels with parallel flanges

In accordance with NF A 45-255 (1983)

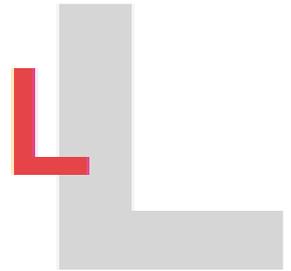
U-Profil mit parallelen Flanschen

gemäß NF A 45-255 (1983)



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _{fl} mm	t _w mm	r mm		h ₁ mm	d mm	∅	R _{min} mm	R _{max} mm	A _f m ² /m	A _c m ² /m
UAP 80	8.4	80	45	5	8	8	10.67	64	48	-	-	-	0.32	38.56
UAP 100	10.5	100	50	5.5	8.5	8.5	13.38	83	66	M10	25	30	0.38	36.35
UAP 130	13.7	130	55	6	9.5	9.5	17.50	111	92	M10	27	35	0.46	33.48
UAP 150	17.9	150	65	7	10.25	10.25	22.84	129.5	109	M16	33	36	0.54	29.96
UAP 175	21.2	175	70	7.5	10.75	10.75	27.06	153.5	132	M16	34	41	0.61	28.52
UAP 200	25.1	200	75	8	11.5	11.5	31.98	177	154	M16	35	46	0.67	26.86
UAP 220	28.5	220	80	8	12.5	12.5	36.27	195	170	M16	36	51	0.73	25.75
UAP 250	34.4	250	85	9	13.5	13.5	43.80	223	196	M22	43	47	0.81	23.57
UAP 300	46.0	300	100	9.5	16	16	58.56	268	236	M27	51	53	0.97	21.04

Annexe Caractéristiques des profils



Relations pages 104-108 / Beziehungen Seiten 104-108

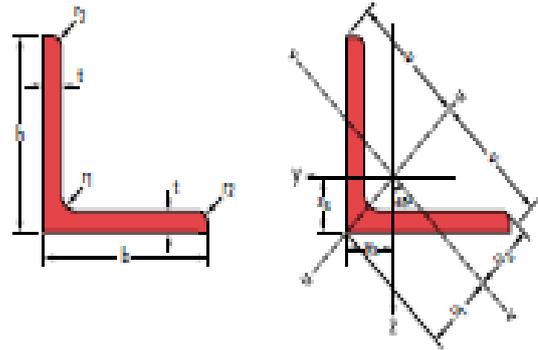
Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statistische Kennwerte									Classification EN 1993-1-1	
	axe yy / axe z-z axis yy / axis z-z Achse yy / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v				per compression	
	G kg/m	I_y cm ⁴	$W_{pl,y}$ cm ³	I_z cm ⁴	I_u cm ⁴	I_v cm ⁴	I_{y-v} cm ⁴	I_{z-u} cm ⁴	I_{y-z} cm ⁴	f_{yk} N/mm ²	f_{tk} N/mm ²
L 100 x 100 x 8	12.2	144.8	19.94	3.06	230.2	3.85	58.47	1.96	-85.37	4	4
L 100 x 100 x 10	15.0	176.7	24.62	3.04	280.7	3.83	72.65	1.95	-104.0	1	4
L 100 x 100 x 12	17.8	206.7	29.12	3.02	328.0	3.80	85.42	1.94	-121.3	1	2
L 110 x 110 x 10	16.6	238.0	29.99	3.35	378.2	4.23	97.72	2.15	-140.3	2	4
L 110 x 110 x 12	19.7	279.1	35.54	3.33	443.3	4.20	115.0	2.14	-164.1	1	3
L 120 x 120 x 10	18.2	312.9	36.03	3.67	497.6	4.63	128.3	2.35	-184.6	4	4
L 120 x 120 x 11	19.9	340.6	39.41	3.66	541.5	4.62	139.8	2.35	-200.9	2	4
L 120 x 120 x 12	21.6	367.7	42.73	3.65	584.3	4.61	151.0	2.34	-216.6	1	4
L 120 x 120 x 13	23.3	394.0	46.01	3.64	625.9	4.59	162.2	2.34	-231.8	1	3
L 120 x 120 x 15	26.6	444.9	52.43	3.62	705.6	4.56	184.2	2.33	-260.7	1	1
L 130 x 130 x 12	23.5	472.2	50.44	3.97	750.6	5.00	193.7	2.54	-278.5	2	4
L 140 x 140 x 10	21.4	504.4	49.43	4.30	802	5.43	206.8	2.76	-297.6	4	4
L 140 x 140 x 13	27.4	638.5	63.37	4.27	1015	5.39	262.0	2.74	-376.6	2	4
L 150 x 150 x 10	23.0	624.0	56.91	4.62	992	5.82	256.0	2.96	-368.0	4	4
L 150 x 150 x 12	27.3	736.9	67.75	4.60	1172	5.80	302.0	2.94	-434.9	4	4
L 150 x 150 x 14	31.6	845.4	78.33	4.58	1344	5.77	346.9	2.93	-498.5	2	4
L 150 x 150 x 15	33.8	898.1	83.52	4.57	1427	5.76	368.9	2.93	-529.1	1	4
L 150 x 150 x 18	40.1	1050	98.74	4.54	1666	5.71	433.8	2.92	-616.2	1	2
L 160 x 160 x 14	33.9	1034	89.50	4.89	1644	6.17	423.8	3.13	-610.0	3	4
L 160 x 160 x 15	36.2	1099	95.5	4.88	1747	6.16	450.8	3.13	-648.0	2	4
L 160 x 160 x 16	38.4	1163	101.4	4.87	1848	6.14	477.6	3.12	-685.1	1	4
L 160 x 160 x 17	40.7	1225	107.2	4.86	1947	6.13	504.1	3.12	-721.3	1	4
L 180 x 180 x 13	35.7	1396	106.5	5.54	2221	6.99	571.6	3.55	-824.5	4	4
L 180 x 180 x 14	38.3	1493	114.3	5.53	2375	6.98	611.3	3.54	-882	4	4
L 180 x 180 x 15	40.9	1589	122.0	5.52	2527	6.96	650.5	3.53	-938	4	4
L 180 x 180 x 16	43.5	1682	129.7	5.51	2675	6.95	689.4	3.53	-993	3	4
L 180 x 180 x 17	46.0	1775	137.2	5.50	2822	6.94	727.8	3.52	-1047	2	4
L 180 x 180 x 18	48.6	1866	144.7	5.49	2965	6.92	766.0	3.52	-1100	1	4
L 180 x 180 x 19	51.1	1955	152.1	5.48	3106	6.91	803.8	3.51	-1151	1	4
L 180 x 180 x 20	53.7	2043	159.4	5.47	3244	6.89	841.3	3.51	-1202	1	3

Annexe Caractéristiques des profils

Cornières à ailes égales

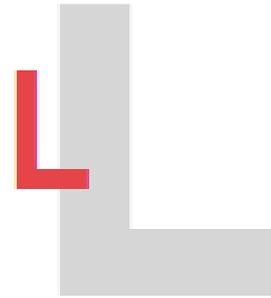
Equal leg angles

Gleichschenkliger Winkelstahl



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen				A cm ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche		
	G kg/m	b mm	t mm	r ₁ mm		r ₂ mm	x _c -y _c cm	y _c cm	x _{c1} cm	x _{c2} cm	A _c m ² /m	A _c m ² /ft
L 100 x 100 x 8	12,2	100	8	12	6	15,51	2,24	7,07	3,87	3,52	0,390	32,00
L 100 x 100 x 10	15,0	100	10	12	6	19,20	2,82	7,07	3,99	3,54	0,390	25,50
L 100 x 100 x 12	17,8	100	12	12	6	22,71	2,90	7,07	4,11	3,57	0,390	21,86
L 110 x 110 x 10	16,6	110	10	13	6,5	21,18	3,06	7,28	4,33	3,88	0,429	25,79
L 110 x 110 x 12	19,7	110	12	13	6,5	25,14	3,15	7,28	4,45	3,91	0,429	21,73
L 120 x 120 x 10	18,2	120	10	13	6,5	23,18	3,31	8,49	4,69	4,24	0,469	25,76
L 120 x 120 x 11	19,9	120	11	13	6,5	25,37	3,36	8,49	4,75	4,25	0,469	23,54
L 120 x 120 x 12	21,6	120	12	13	6,5	27,54	3,40	8,49	4,80	4,26	0,469	21,69
L 120 x 120 x 13	23,3	120	13	13	6,5	29,69	3,44	8,49	4,86	4,28	0,469	20,12
L 120 x 120 x 15	26,6	120	15	13	6,5	33,98	3,51	8,49	4,97	4,31	0,469	17,60
L 130 x 130 x 12	23,5	130	12	14	7	30,00	3,64	9,19	5,15	4,60	0,508	21,59
L 140 x 140 x 10	21,4	140	10	15	7,5	27,24	3,79	9,90	5,37	4,93	0,547	25,59
L 140 x 140 x 13	27,4	140	13	15	7,5	34,95	3,92	9,90	5,55	4,96	0,547	19,94
L 150 x 150 x 10	23,0	150	10	16	8	29,27	4,03	10,61	5,71	5,28	0,586	25,51
L 150 x 150 x 12	27,3	150	12	16	8	34,83	4,12	10,61	5,83	5,29	0,586	21,44
L 150 x 150 x 14	31,6	150	14	16	8	40,31	4,21	10,61	5,95	5,32	0,586	18,53
L 150 x 150 x 15	33,8	150	15	16	8	43,02	4,25	10,61	6,01	5,33	0,586	17,36
L 150 x 150 x 18	40,1	150	18	16	8	51,03	4,37	10,61	6,17	5,37	0,586	14,63
L 160 x 160 x 14	33,9	160	14	17	8,5	43,15	4,45	11,31	6,29	5,66	0,625	18,46
L 160 x 160 x 15	36,2	160	15	17	8,5	46,06	4,49	11,31	6,35	5,67	0,625	17,30
L 160 x 160 x 16	38,4	160	16	17	8,5	48,95	4,53	11,31	6,41	5,69	0,625	16,28
L 160 x 160 x 17	40,7	160	17	17	8,5	51,82	4,57	11,31	6,46	5,70	0,625	15,37
L 180 x 180 x 13	35,7	180	13	18	9	45,46	4,90	12,73	6,93	6,35	0,705	19,74
L 180 x 180 x 14	38,3	180	14	18	9	48,79	4,94	12,73	6,99	6,36	0,705	18,40
L 180 x 180 x 15	40,9	180	15	18	9	52,10	4,98	12,73	7,05	6,37	0,705	17,23
L 180 x 180 x 16	43,5	180	16	18	9	55,39	5,02	12,73	7,10	6,38	0,705	16,20
L 180 x 180 x 17	46,0	180	17	18	9	58,66	5,06	12,73	7,16	6,40	0,705	15,30
L 180 x 180 x 18	48,6	180	18	18	9	61,91	5,10	12,73	7,22	6,41	0,705	14,50
L 180 x 180 x 19	51,1	180	19	18	9	65,14	5,14	12,73	7,27	6,42	0,705	13,78
L 180 x 180 x 20	53,7	180	20	18	9	68,35	5,18	12,73	7,33	6,44	0,705	13,13

Annexe Caractéristiques des profils



Notations page: 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

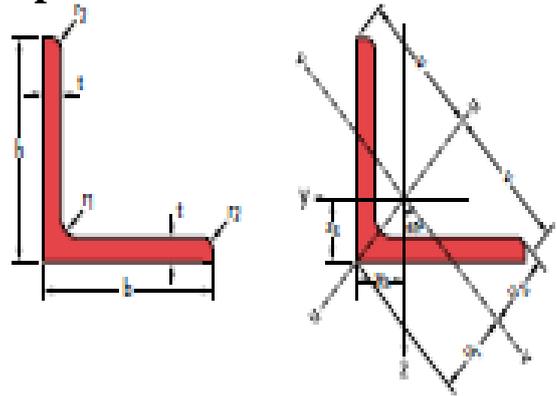
Designation Bezeichnung (metric/imperial)	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte								Classification EN1993-1-1		
	axe y-y / axe z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u Achse u-u		axe v-v Achse v-v		per compression			
	G kg/m	I _y -I _z cm ⁴	W _{pl,y} -W _{pl,z} cm ³	I _y -I _z cm	I _u cm ⁴	I _v cm	I _y cm ⁴	I _v cm	I _{pl} cm ³	100 mm	100 mm
L 200 x 200 x 15	45.6	1209	152.2	6.17	3516	7.78	903	3.94	-1306	4	4
L 200 x 200 x 16	48.5	1341	161.7	6.16	3726	7.77	957	3.94	-1384	4	4
L 200 x 200 x 17	51.4	1472	171.2	6.14	3932	7.75	1011	3.93	-1461	4	4
L 200 x 200 x 18	54.3	1600	180.6	6.13	4135	7.74	1064	3.92	-1536	3	4
L 200 x 200 x 19	57.1	1726	189.9	6.12	4335	7.72	1117	3.92	-1609	2	4
L 200 x 200 x 20	59.9	1851	199.1	6.11	4532	7.70	1169	3.91	-1681	1	4
L 200 x 200 x 21	62.8	1973	208.2	6.10	4725	7.69	1221	3.91	-1752	1	4
L 200 x 200 x 22	65.6	2094	217.3	6.09	4915	7.67	1273	3.90	-1821	1	3
L 200 x 200 x 23	68.3	3213	226.3	6.08	5102	7.66	1324	3.90	-1889	1	2
L 200 x 200 x 24	71.1	3331	235.2	6.06	5286	7.64	1375	3.90	-1955	1	2
L 200 x 200 x 25	73.9	3446	244.0	6.05	5467	7.62	1426	3.89	-2020	1	1
L 200 x 200 x 26	76.6	3560	252.7	6.04	5645	7.61	1476	3.89	-2084	1	1
L 250 x 250 x 20	75.6	5743	317.9	7.72	9144	9.74	2341	4.93	-3401	4	4
L 250 x 250 x 21	79.2	5997	332.7	7.71	9548	9.73	2447	4.92	-3550	4	4
L 250 x 250 x 22	82.8	6249	347.4	7.70	9946	9.71	2551	4.92	-3697	3	4
L 250 x 250 x 23	86.4	6497	362.0	7.68	10339	9.69	2655	4.91	-3842	2	4
L 250 x 250 x 24	90.0	6743	376.5	7.67	10727	9.68	2759	4.91	-3984	2	4
L 250 x 250 x 25	93.5	6986	390.9	7.66	11110	9.66	2861	4.90	-4124	1	4
L 250 x 250 x 26	97.0	7226	405.2	7.65	11488	9.64	2963	4.90	-4262	1	4
L 250 x 250 x 27	100.5	7463	419.3	7.63	11861	9.62	3065	4.89	-4398	1	3
L 250 x 250 x 28	104.0	7697	433.4	7.62	12229	9.61	3166	4.89	-4532	1	2
L 8 x 8 x 3/4	57.9	2881	198.2	6.26	4588	7.90	1134	3.99	-1707	2	4
L 8 x 8 x 7/8	67.0	3293	228.4	6.21	5236	7.84	1350	3.98	-1943	1	3
L 8 x 8 x 1	75.9	3686	257.7	6.17	5850	7.78	1522	3.97	-2164	1	1
L 8 x 8 x 1 1/8	84.7	4062	286.3	6.13	6432	7.72	1692	3.96	-2370	1	1

Annexe Caractéristiques des profils

Cornières à ailes égales

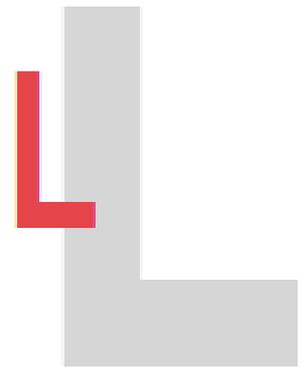
Equal leg angles

Gleichschenkliger Winkelstahl



Designation Designation Bezeichnung (metric)	Dimensions Abmessungen				A cm ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche		
	G kg/m	b mm	t mm	r ₁ mm		r ₂ mm	x ₁ -y ₁ cm	x cm	y ₁ cm	y ₂ cm	A ₁ m ² /m	A ₂ m ² /m
L 200 x 200 x 15	45.6	200	15	18	9	58.10	5.48	14.14	7.75	7.08	0.785	17.20
L 200 x 200 x 16	48.5	200	16	18	9	61.79	5.52	14.14	7.81	7.09	0.785	16.18
L 200 x 200 x 17	51.4	200	17	18	9	65.46	5.56	14.14	7.87	7.10	0.785	15.27
L 200 x 200 x 18	54.3	200	18	18	9	69.11	5.60	14.14	7.93	7.12	0.785	14.46
L 200 x 200 x 19	57.1	200	19	18	9	72.74	5.64	14.14	7.98	7.13	0.785	13.74
L 200 x 200 x 20	59.9	200	20	18	9	76.35	5.68	14.14	8.04	7.15	0.785	13.09
L 200 x 200 x 21	62.8	200	21	18	9	79.94	5.72	14.14	8.09	7.16	0.785	12.50
L 200 x 200 x 22	65.6	200	22	18	9	83.51	5.76	14.14	8.15	7.18	0.785	11.97
L 200 x 200 x 23	68.3	200	23	18	9	87.06	5.80	14.14	8.20	7.19	0.785	11.48
L 200 x 200 x 24	71.1	200	24	18	9	90.59	5.84	14.14	8.26	7.21	0.785	11.03
L 200 x 200 x 25	73.9	200	25	18	9	94.10	5.88	14.14	8.31	7.23	0.785	10.62
L 200 x 200 x 26	76.6	200	26	18	9	97.59	5.91	14.14	8.36	7.25	0.785	10.24
L 250 x 250 x 20	75.6	250	20	18	9	96.35	6.99	17.68	9.81	8.91	0.985	13.02
L 250 x 250 x 21	79.2	250	21	18	9	100.94	6.97	17.68	9.86	8.93	0.985	12.43
L 250 x 250 x 22	82.8	250	22	18	9	105.51	7.01	17.68	9.90	8.94	0.985	11.89
L 250 x 250 x 23	86.4	250	23	18	9	110.06	7.05	17.68	9.97	8.96	0.985	11.40
L 250 x 250 x 24	90.0	250	24	18	9	114.59	7.09	17.68	10.03	8.98	0.985	10.96
L 250 x 250 x 25	93.5	250	25	18	9	119.10	7.13	17.68	10.08	8.99	0.985	10.53
L 250 x 250 x 26	97.0	250	26	18	9	123.59	7.17	17.68	10.13	9.01	0.985	10.15
L 250 x 250 x 27	100.5	250	27	18	9	128.06	7.20	17.68	10.19	9.03	0.985	9.79
L 250 x 250 x 28	104.0	250	28	18	9	132.51	7.24	17.68	10.24	9.04	0.985	9.47
L 203 x 203 x 19	57.9	203	19	8	4	73.60	5.76	14.35	8.15	7.38	0.805	13.94
L 203 x 203 x 22.2	67.0	203	22.2	8	4	85.77	5.88	14.35	8.32	7.44	0.805	12.03
L 203 x 203 x 25.4	75.9	203	25.4	8	4	96.74	6.00	14.35	8.48	7.50	0.805	10.60
L 203 x 203 x 28.6	84.7	203	28.6	8	4	108.01	6.11	14.35	8.65	7.57	0.805	9.50

Annexe Caractéristiques des profils



Notations pages 104-108 / Beschriftungen Seiten 104-108

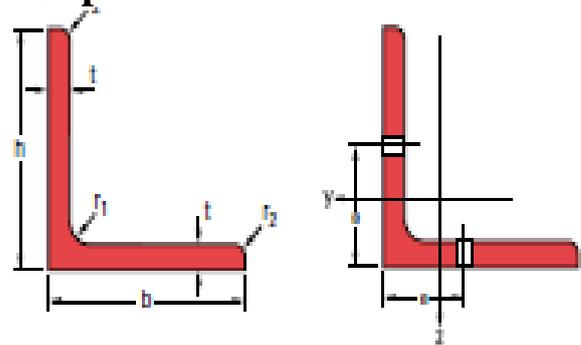
Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				
	G kg/m	h-b mm	l mm	t ₁ mm	t ₂ mm	A cm ²	∅	L _{min} mm	L _{max} mm	A _{net} cm ²
L 200 x 200 x 15	45,6	200	15	18	9	58,10	M27	59	151	53,60
L 200 x 200 x 16	48,5	200	16	18	9	61,79	M27	61	151	56,99
L 200 x 200 x 17	51,4	200	17	18	9	65,46	M27	62	151	60,36
L 200 x 200 x 18	54,3	200	18	18	9	69,11	M27	63	151	63,71
L 200 x 200 x 19	57,1	200	19	18	9	72,74	M27	64	151	67,04
L 200 x 200 x 20	59,9	200	20	18	9	76,35	M27	65	151	70,35
L 200 x 200 x 21	62,8	200	21	18	9	79,94	M27	66	151	73,64
L 200 x 200 x 22	65,6	200	22	18	9	83,51	M27	67	151	76,91
L 200 x 200 x 23	68,3	200	23	18	9	87,06	M27	68	151	80,16
L 200 x 200 x 24	71,1	200	24	18	9	90,59	M27	69	151	83,39
L 200 x 200 x 25	73,9	200	25	18	9	94,10	M27	70	151	86,60
L 200 x 200 x 26	76,6	200	26	18	9	97,59	M27	71	151	89,79
L 250 x 250 x 20	75,6	250	20	18	9	96,35	M27	40	240	96,35
L 250 x 250 x 21	79,2	250	21	18	9	100,94	M27	41	246	100,94
L 250 x 250 x 22	82,8	250	22	18	9	105,51	M27	42	246	105,51
L 250 x 250 x 23	86,4	250	23	18	9	110,06	M27	43	246	110,06
L 250 x 250 x 24	90,0	250	24	18	9	114,59	M27	44	246	114,59
L 250 x 250 x 25	93,5	250	25	18	9	119,10	M27	45	246	119,10
L 250 x 250 x 26	97,0	250	26	18	9	123,59	M27	46	246	123,59
L 250 x 250 x 27	100,5	250	27	18	9	128,06	M27	47	246	128,06
L 250 x 250 x 28	104,0	250	28	18	9	132,51	M27	48	246	132,51
L 203 x 203 x 19	57,9	203	19	8	4	73,60	M27	64	155	67,90
L 203 x 203 x 22,2	67,0	203	22,2	8	4	85,27	M27	67	155	78,61
L 203 x 203 x 25,4	75,9	203	25,4	8	4	96,74	M27	70	155	89,12
L 203 x 203 x 28,6	84,7	203	28,6	8	4	108,01	M27	73	155	99,43

Annexe Caractéristiques des profils

Cornières à ailes égales

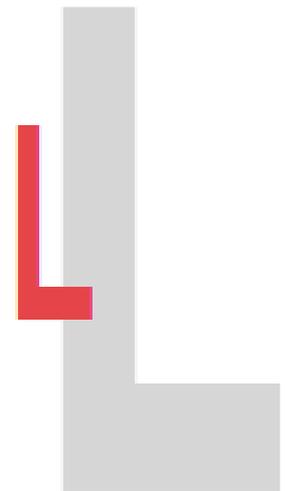
Equal leg angles

Gleichschenkliger Winkelstahl



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen				A cm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				
	G kg/m	h-b mm	t mm	r ₁ mm		r ₂ mm	α	r _{ext} mm	r _{int} mm	A _{net} cm ²
L 100 x 100 x 8 [*]	12,2	100	8	12	6	15,51	M07	48	53	13,11
L 100 x 100 x 10 [*]	15,0	100	10	12	6	19,15	M07	50	53	16,15
L 100 x 100 x 12 [*]	17,8	100	12	12	6	22,71	M07	52	53	19,11
L 110 x 110 x 10	16,6	110	10	13	6,5	21,18	M07	50	62	18,18
L 110 x 110 x 12	19,7	110	12	13	6,5	25,14	M07	52	62	21,54
L 120 x 120 x 10 ⁺	18,2	120	10	13	6,5	23,18	M07	50	72	20,18
L 120 x 120 x 11	19,9	120	11	13	6,5	25,37	M07	51	72	22,07
L 120 x 120 x 12 [*]	21,6	120	12	13	6,5	27,54	M07	52	72	23,94
L 120 x 120 x 13	23,3	120	13	13	6,5	29,69	M07	53	72	25,79
L 120 x 120 x 15	26,6	120	15	13	6,5	33,99	M07	55	72	29,43
L 130 x 130 x 12 [*]	23,5	130	12	14	7	29,97	M07	52	82	26,37
L 140 x 140 x 10 ⁺	21,4	140	10	15	7,5	27,24	M07	51	92	24,24
L 140 x 140 x 13	27,4	140	13	15	7,5	34,95	M07	54	92	31,05
L 150 x 150 x 10 ⁺	23,0	150	10	16	8	29,27	M07	52	102	26,27
L 150 x 150 x 12 [*]	27,3	150	12	16	8	34,83	M07	54	102	31,23
L 150 x 150 x 14	31,6	150	14	16	8	40,31	M07	56	102	36,11
L 150 x 150 x 15 [*]	33,8	150	15	16	8	43,02	M07	57	102	38,52
L 150 x 150 x 18	40,1	150	18	16	8	51,03	M07	61	102	45,63
L 160 x 160 x 14	33,9	160	14	17	8,5	43,15	M07	57	111	38,95
L 160 x 160 x 15 [*]	36,2	160	15	17	8,5	46,06	M07	58	111	41,56
L 160 x 160 x 16	38,4	160	16	17	8,5	48,95	M07	60	111	44,15
L 160 x 160 x 17	40,7	160	17	17	8,5	51,82	M07	61	111	46,72
L 180 x 180 x 13	35,7	180	13	18	9	45,46	M07	57	131	41,56
L 180 x 180 x 14	38,3	180	14	18	9	48,29	M07	58	131	44,59
L 180 x 180 x 15	40,9	180	15	18	9	52,10	M07	59	131	47,60
L 180 x 180 x 16 [*]	43,5	180	16	18	9	55,39	M07	61	131	50,59
L 180 x 180 x 17	46,0	180	17	18	9	58,66	M07	62	131	53,56
L 180 x 180 x 18 [*]	48,6	180	18	18	9	61,91	M07	63	131	56,51
L 180 x 180 x 19	51,1	180	19	18	9	65,14	M07	64	131	59,44
L 180 x 180 x 20	53,7	180	20	18	9	68,35	M07	65	131	62,35

Annexe Caractéristiques des profils



Notations pages 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

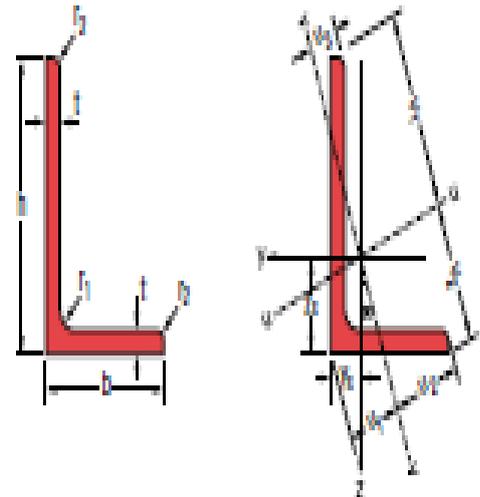
Designation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1		
	axe yy achse yy			axe z-z achse z-z			axe u-u achse u-u		axe v-v achse v-v						
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	I _y cm	I _z cm ⁴	W _{pl,z} cm ³	I _z cm	I _u cm ⁴	I _u cm	I _v cm ⁴	I _v cm	I _p cm ⁴	α _y °	α _z °	α _u °
L 120 x 80 x 8	12.2	225.7	27.63	3.82	80.26	13.17	2.28	260.0	4.10	46.39	1.73	-78.50	23.65	4	4
L 120 x 80 x 10	15.0	275.5	34.10	3.80	98.11	16.21	2.26	317.0	4.07	56.60	1.72	-85.34	23.53	3	4
L 120 x 80 x 12	17.8	322.8	40.37	3.77	114.33	19.14	2.24	370.7	4.04	66.46	1.71	-110.8	23.37	1	4
L 130 x 65 x 8	11.8	262.5	31.10	4.17	44.77	8.72	1.72	278.6	4.30	28.72	1.38	-61.25	14.68	4	4
L 130 x 65 x 10	14.6	320.5	38.39	4.15	54.20	10.73	1.71	339.6	4.27	35.02	1.37	-73.99	14.53	3	4
L 150 x 90 x 10	18.2	533.1	53.29	4.80	146.1	20.98	2.51	591.3	5.05	87.93	1.95	-160.9	19.87	4	4
L 150 x 90 x 11	19.9	580.7	58.30	4.79	158.7	22.91	2.50	643.7	5.04	95.71	1.94	-174.7	19.81	3	4
L 150 x 100 x 10	19.0	552.6	54.23	4.78	198.5	25.92	2.87	637.3	5.14	113.8	2.17	-192.8	23.72	4	4
L 150 x 100 x 12	22.5	650.5	64.38	4.76	232.6	30.69	2.85	749.3	5.11	133.9	2.16	-225.8	23.61	3	4
L 150 x 100 x 14	26.1	744.4	74.27	4.74	264.9	35.32	2.82	855.9	5.08	153.4	2.15	-256.8	23.48	2	4
L 160 x 80 x 10	18.2	611.3	58.94	5.14	104.4	16.55	2.12	648.7	5.29	67.01	1.70	-142.7	14.69	4	4
L 160 x 80 x 12	21.6	719.5	69.98	5.11	122.0	19.59	2.10	762.8	5.26	78.77	1.69	-166.5	14.57	3	4
L 200 x 100 x 10	23.0	1219	93.24	6.46	210.3	26.33	2.68	1294	6.65	134.5	2.14	-286.8	14.82	4	4
L 200 x 100 x 12	27.3	1440	111.0	6.43	247.2	31.28	2.67	1529	6.63	158.5	2.13	-337.3	14.74	4	4
L 200 x 100 x 14	31.6	1654	128.4	6.41	282.2	36.08	2.65	1755	6.60	181.7	2.12	-384.8	14.65	3	4

Annexe Caractéristiques des profils

Cornières à ailes Inégales

Unequal leg angles

Ungleichschenkliger Winkelstahl



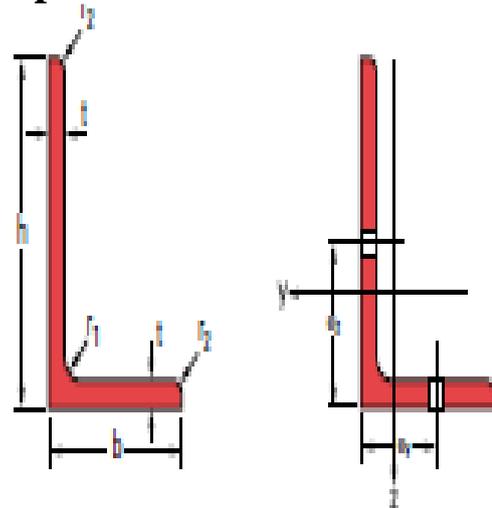
Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					A cm ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen						Surface Oberfläche			
	G kg/m	h mm	b mm	t mm	t ₁ mm		t ₂ mm	y ₁ cm	y ₂ cm	y ₃ cm	y ₄ cm	y ₅ cm	y ₆ cm	A ₁ m ²	A ₂ m ²	
L 120 x 80 x 8	12.2	120	80	8	11	5.5	15.49	3.83	1.87	8.23	5.97	3.25	4.19	2.09	0.391	32.12
L 120 x 80 x 10	15.0	120	80	10	11	5.5	19.13	3.92	1.95	8.19	6.01	3.35	4.17	2.15	0.391	26.01
L 120 x 80 x 12	17.8	120	80	12	11	5.5	22.69	4.00	2.03	8.14	6.04	3.45	4.16	2.20	0.391	21.99
L 130 x 65 x 8	11.8	130	65	8	11	5.5	15.09	4.56	1.37	8.51	5.71	2.48	3.82	1.39	0.381	32.13
L 130 x 65 x 10	14.6	130	65	10	11	5.5	18.63	4.65	1.45	8.44	5.77	2.57	3.78	1.46	0.381	26.02
L 150 x 90 x 10	18.2	150	90	10	12	6	23.15	5.00	2.04	10.10	7.07	3.61	4.97	2.20	0.470	25.84
L 150 x 90 x 11	19.9	150	90	11	12	6	25.34	5.04	2.08	10.07	7.09	3.66	4.95	2.23	0.470	23.61
L 150 x 100 x 10	19.0	150	100	10	12	6	24.15	4.81	2.34	10.27	7.48	4.08	5.25	2.64	0.490	25.83
L 150 x 100 x 12	22.5	150	100	12	12	6	28.71	4.90	2.42	10.23	7.52	4.18	5.23	2.70	0.490	21.72
L 150 x 100 x 14	26.1	150	100	14	12	6	33.19	4.98	2.50	10.19	7.55	4.28	5.22	2.75	0.490	18.79
L 160 x 80 x 10	18.2	160	80	10	13	6.5	23.18	5.63	1.69	10.46	7.04	3.06	4.70	1.73	0.469	25.76
L 160 x 80 x 12	21.6	160	80	12	13	6.5	27.54	5.72	1.77	10.40	7.10	3.15	4.66	1.80	0.469	21.69
L 200 x 100 x 10	23.0	200	100	10	15	7.5	29.24	6.93	2.01	13.15	8.74	3.72	5.94	2.09	0.587	25.58
L 200 x 100 x 12	27.3	200	100	12	15	7.5	34.80	7.03	2.10	13.08	8.81	3.82	5.89	2.17	0.587	21.49
L 200 x 100 x 14	31.6	200	100	14	15	7.5	40.28	7.12	2.18	13.01	8.86	3.91	5.85	2.24	0.587	18.57

Annexe Caractéristiques des profils

Cornières à ailes Inégales

Unequal leg angles

Ungleichschenkliger Winkelstahl



Designation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction / Dimensions for detailing / Konstruktionsmaße								
							aile longue long leg langer Schenkel				aile courte short leg kürzer Schenkel				
G kg/m	h mm	b mm	t mm	t ₁ mm	t ₂ mm	A cm ²	I _{yy}	I _{z,min} mm	I _{z,max} mm	I _{xy,net} cm ²	I _{yy}	I _{z,min} mm	I _{z,max} mm	I _{xy,net} cm ²	
L 120 x 80 x 8 ^c	12,2	120	80	8	11	5,5	15,49	M27	48	72	13,09	M16	38	51	14,05
L 120 x 80 x 10 ^c	15,0	120	80	10	11	5,5	19,13	M27	50	72	16,13	M16	40	51	17,33
L 120 x 80 x 12 ^{a,c}	17,8	120	80	12	11	5,5	22,69	M27	52	72	19,09	M16	42	51	20,53
L 130 x 65 x 8	11,8	130	65	8	11	5,5	15,09	M27	48	82	12,69	M12	35	42	13,97
L 130 x 65 x 10	14,6	130	65	10	11	5,5	18,63	M27	50	82	15,63	M12	37	42	17,23
L 150 x 90 x 10 ^c	18,2	150	90	10	12	6	23,15	M27	50	102	20,15	M24	47	49	20,55
L 150 x 90 x 11	19,9	150	90	11	12	6	25,34	M27	51	102	22,04	M24	48	49	22,48
L 150 x 100 x 10 ^c	19,0	150	100	10	12	6	24,15	M27	50	102	21,15	M27	50	53	21,15
L 150 x 100 x 12 ^c	22,5	150	100	12	12	6	28,71	M27	52	102	25,11	M27	52	53	25,11
L 150 x 100 x 14 ^a	26,1	150	100	14	12	6	33,19	M27	54	102	28,99	M24	51	59	29,55
L 160 x 80 x 10	18,2	160	80	10	13	6,5	23,18	M27	50	111	20,18	M16	40	51	21,38
L 160 x 80 x 12	21,6	160	80	12	13	6,5	27,54	M27	52	111	23,94	M16	42	51	25,38
L 200 x 100 x 10 ^c	23,0	200	100	10	15	7,5	29,34	M27	54	150	26,34	M27	51	53	26,34
L 200 x 100 x 12 ^c	27,3	200	100	12	15	7,5	34,80	M27	54	150	31,20	M27	53	53	31,20
L 200 x 100 x 14	31,6	200	100	14	15	7,5	40,28	M27	55	151	36,08	M24	52	59	36,64