



CONSTRUCTION METALLIQUE (Tome 1)

Généralités - Résistance des sections - Instabilités

Philippe MARON

ISABTP 1^{re} et 2^e années

Table des matières

1 Exemples de constructions métalliques	7
2 Technologie des constructions métalliques	11
2.1 LES BATIMENTS	11
2.1.1 Nomenclature des différents types de bâtiments	11
2.1.2 Nomenclature des faces	12
2.1.3 Nomenclatures des éléments	13
2.2 LES ELEMENTS STRUCTURELS	15
2.2.1 Poteaux	15
2.2.2 Les suspentes et les tirants	16
2.2.3 Poutres	16
2.2.4 Planchers	17
2.2.5 Façades	18
2.2.6 Couvertures	20
2.3 LES ASSEMBLAGES : LIAISONS	20
2.3.1 Liaison simple	21
2.3.2 Liaison articulée ou souple	21
2.3.3 Liaison encastrée ou rigide	25
3 Le Matériau acier	27
3.1 COMPOSITION CHIMIQUE	27
3.2 CARACTERISTIQUES MECANIQUES	27
3.2.1 Essai de traction	27
3.2.2 Essai de résilience	28
3.2.3 Nuances d'acier couramment utilisées	29
3.3 AVANTAGES ET QUALITES DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES	29
3.4 INCONVENIENTS DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES	30
4 Géométrie des sections	31
4.1 AIRE DES SECTIONS PLANES	31
4.1.1 Calcul d'une aire	31
4.2 CENTRE DE GRAVITE	32
4.3 MOMENT STATIQUE	33
4.4 MOMENTS ET PRODUITS D'INERTIE	33
4.5 RAYON DE GIRATION	36
4.6 MOMENTS DE FLEXION	37
4.6.1 Module de flexion élastique W_{el}	37
4.6.2 Module de flexion plastique W_{pl}	37
4.7 FACTEUR DE GAUCHISSEMENT	38

5	Stabilité des structures	39
5.1	LIMITATION DES DEFORMATIONS	39
5.1.1	Effort horizontal exercé en pignon	39
5.1.2	Effort horizontal exercé en long-pan	40
5.2	CHEMINEMENT DES EFFORTS VERS LES FONDATIONS	40
5.2.1	Efforts horizontaux exercés en pignon	40
5.2.2	Efforts horizontaux exercés en long-pan	41
5.2.3	Efforts verticaux	43
5.3	CONSTITUTION D'UNE STRUCTURE	43
5.3.1	Ossature porteuse	43
5.3.2	Statique de systèmes	44
5.3.3	Les contreventements	45
6	Calculs des structures en acier	49
6.1	NORMES	49
6.2	BASES DE CALCUL (Eurocode 1)	49
6.2.1	Exigences	49
6.2.2	Etats limites	49
6.3	CLASSIFICATION DES SECTIONS	50
6.3.1	Utilisation des figures 6.2 et 6.3	56
	Cas d'un élément sollicité en compression uniquement	56
	Cas d'un élément sollicité en flexion uniquement autour de l'axe fort	57
	Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe fort	57
	Cas d'un élément sollicité en flexion uniquement autour de l'axe faible	58
	Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe faible :	
	Traction-Flexion	59
	Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe faible :	
	Compression-Flexion	62
6.4	ETAPES DE LA VERIFICATION D'UNE STRUCTURE	65
6.4.1	Vérification à l'ELU	65
6.4.2	Vérification à l'ELS	65
6.5	ACTIONS SUR LES STRUCTURES	66
6.5.1	Généralités	66
	Les charges permanentes G	66
	Les charges variables Q	66
	Les charges accidentelles A	66
6.5.2	Combinaisons d'actions selon l'Eurocode 3	66
	Combinaisons à l'ELU	66
	Combinaisons à l'ELS	67
	Coefficients partiels de sécurité	67
	Coefficients de combinaison	67
6.5.3	Facteurs partiels de sécurité	69
	Calcul des sections transversales	69
	Calcul des pièces à l'instabilité élastique	69
	Calcul des assemblages	69
6.5.4	Valeurs limites des déformations	69
	Verticalement	69
	Horizontalement	70

7	Vérification de la résistance des sections	71
7.1	RESISTANCE AUX SOLLICITATIONS SIMPLES	71
7.1.1	Résistance à un effort normal	71
	Effort normal de traction	71
	Effort normal de compression	72
7.1.2	Résistance au moment fléchissant	72
7.1.3	Résistance à l'effort tranchant	73
7.1.4	Résistance au moment de torsion	76
7.2	RESISTANCE AUX SOLLICITATIONS COMPOSEES	76
7.2.1	Interaction Moment Fléchissant-Effort Normal-Effort Tranchant	76
	Influence de l'effort tranchant	76
	Interaction effort normal – moment fléchissant	76
8	L'instabilité de flambement	79
8.1	INTRODUCTION AUX INSTABILITES	79
8.2	LE FLAMBEMENT	79
8.2.1	Notions sur le phénomène de flambement	80
	Théorie d'Euler en flexion simple	80
	Autre cas de liaisons aux extrémités	82
8.2.2	Complément sur les longueurs de flambement (Annexe E de l'EC3)	84
	Bases	84
	Poteaux d'ossatures de bâtiment	84
8.2.3	Vérification au flambement en compression pure selon l'EC3	87
8.2.4	Vérification au flambement en compression-flexion selon l'EC3	90
8.2.5	Augmentation de la résistance au flambement	91
9	L'instabilité de déversement	93
9.1	NOTIONS SUR LE DEVERSEMENT	93
9.1.1	Phénomène de déversement	93
9.1.2	Théorie linéaire du déversement de Timoshenko	93
9.2	VERIFICATION DE LA TENUE AU DEVERSEMENT	95
9.2.1	Verification au déversement en flexion pure selon l'EC3	95
	Coefficient C_1	96
	Autre expression de $\overline{\lambda}_{LT}$	104
9.2.2	Verification au déversement en compression et flexion selon l'EC3	104
	Bibliographie	107

Chapitre 1

Exemples de constructions métalliques



FIGURE 1.1 – 1801 - L.A. de Cessart & J. Dillon - la passerelle du Ponts des arts - Paris



FIGURE 1.2 – 1889 - G. Eiffel & M. Koechlin - la Tour Eiffel - Paris



FIGURE 1.3 – 1884 - G. Eiffel & M. Koechlin - le viaduc de Garabit - Garabit



FIGURE 1.4 – 1900 - Deglane, Louvet, Thomas & Girault - Le Grand Palais - Paris



FIGURE 1.5 – 1900 - Résal & Alby - Le pont Alexandre III - Paris



FIGURE 1.6 – 1965 - de Mailly, Depusse & Prouvé - La tour Nobel (Défense) - Paris



FIGURE 1.7 – 2003 - Foster & Partners - Ste Marie Axe - Londres



FIGURE 1.8 – 2001 – Brownlie - Gateshead Millennium Bridge - Londres



FIGURE 1.9 – 1985 – Plate forme Draupner - Mer du Nord

Chapitre 2

Technologie des constructions métalliques

2.1 LES BATIMENTS

2.1.1 Nomenclature des différents types de bâtiments

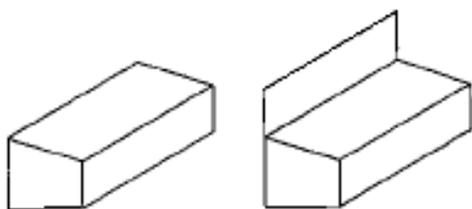


FIGURE 2.1 - Bâtiment à 1 versant (appelé "appentis" s'il est appuyé à un bâtiment plus grand)

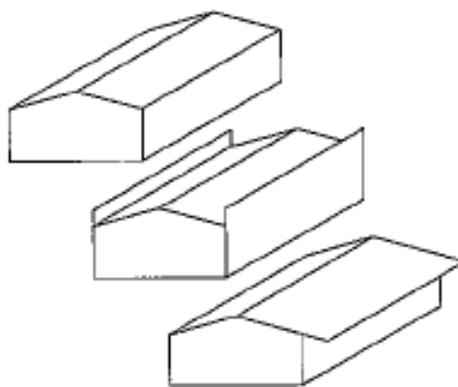


FIGURE 2.3 - Bâtiment à deux versants symétriques ou non, b) avec acrotères, c) avec auvent



FIGURE 2.2 - Bâtiment à plusieurs versants avec acrotères

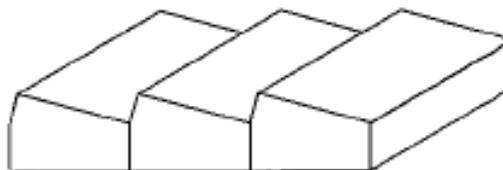


FIGURE 2.4 - Bâtiment à plusieurs versants avec acrotères

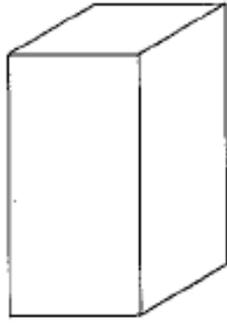


FIGURE 2.5 – Bâtiment à étages (les bâtiments de grande hauteur ont une structure mixte avec un noyau en béton permettant d'accueillir ascenseur, escalier, gaine techniques. La structure métallique est fixée sur ce noyau)

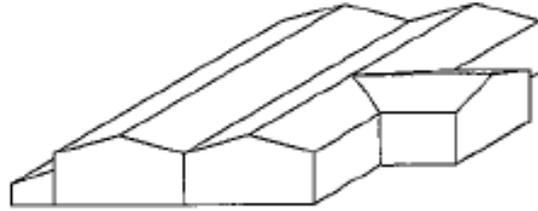


FIGURE 2.6 – Combinaison des cas précédents

2.1.2 Nomenclature des faces

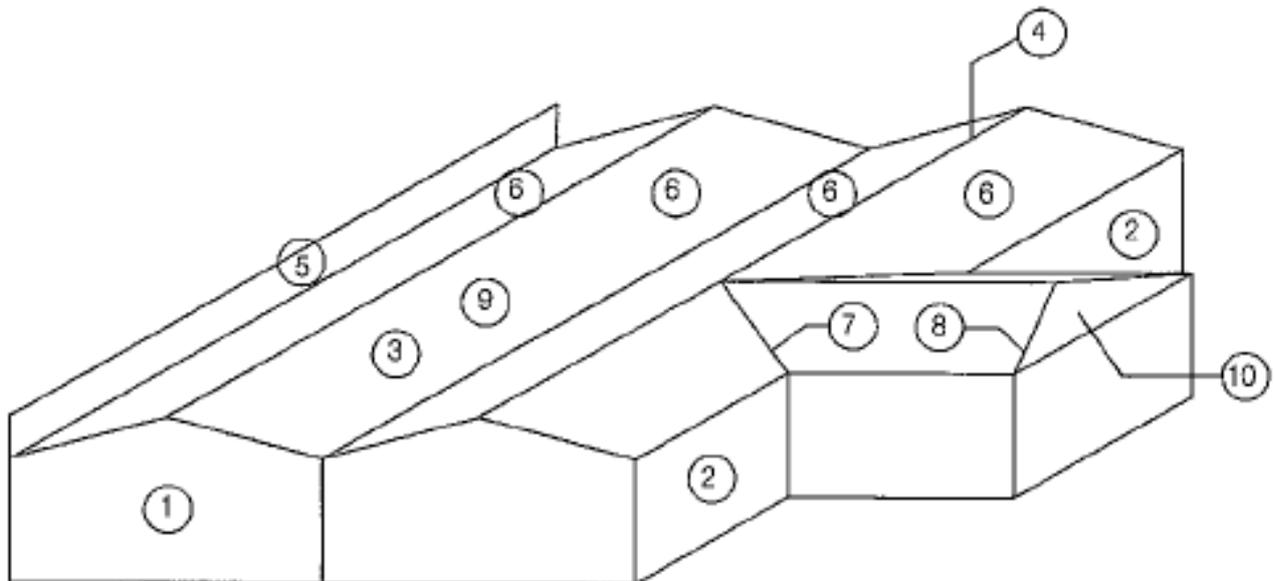


FIGURE 2.7 – Nomenclature des faces

1- Pignon
2- Long-pan
3- Versant

4- Faitage
5- Acrotère
6- Toiture

7- Noue
8- Arêtier
9- Rampant
10 -Noue

2.1.3 Nomenclatures des éléments

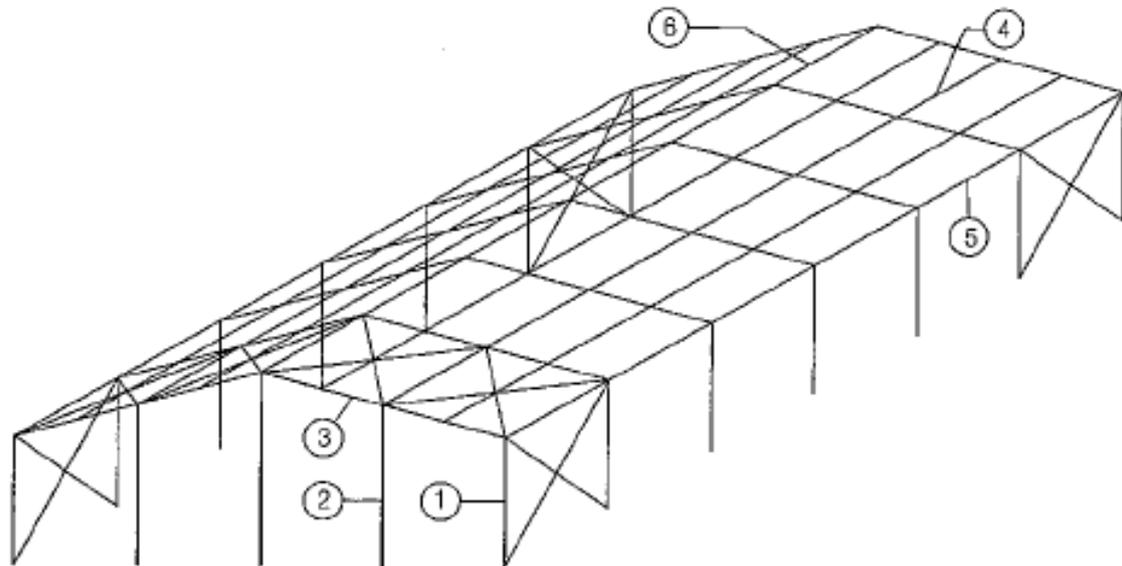


FIGURE 2.8 – Nomenclature des éléments

- | | | |
|------------|-------------|-------------|
| 1- Poteau | 3- Traverse | 5- Sablière |
| 2- Potelet | 4- Panne | 8- Faitière |

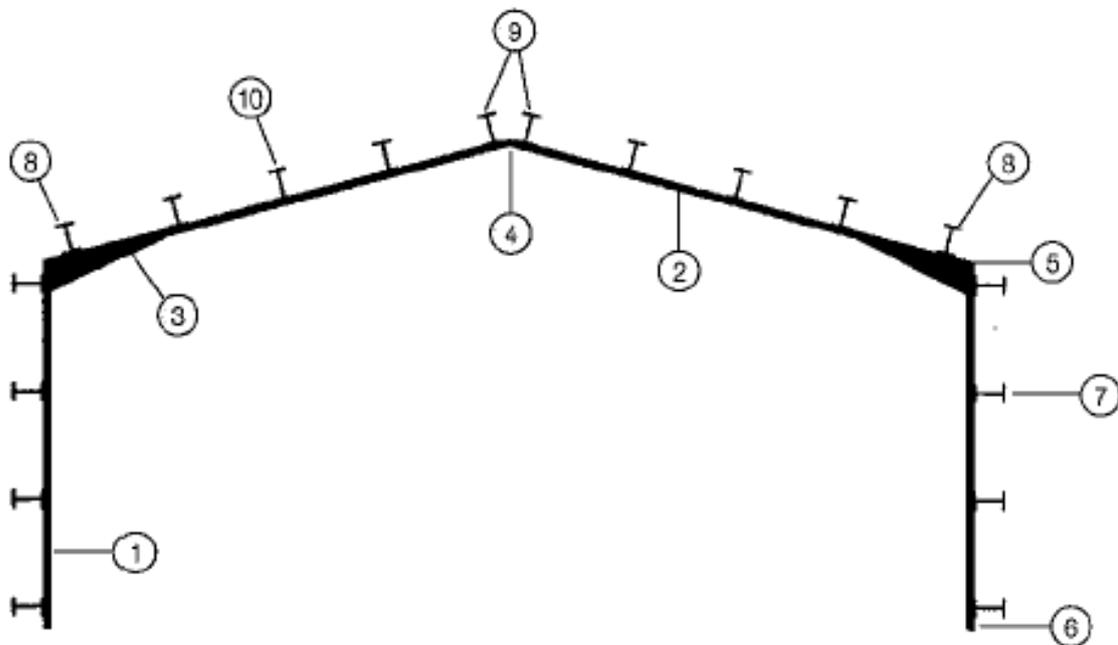


FIGURE 2.9 – Nomenclature des portiques : Ensemble de poteaux et traverses à âmes pleines

- | | | |
|-------------|-------------------|--------------------|
| 1- Poteau | 4- Faitage | 7- Lisse |
| 2- Traverse | 5- Tête de poteau | 8- Panne sablière |
| 3- Jarret | 6- Pied de poteau | 9- Panne faitière |
| | | 10 -Panne courante |

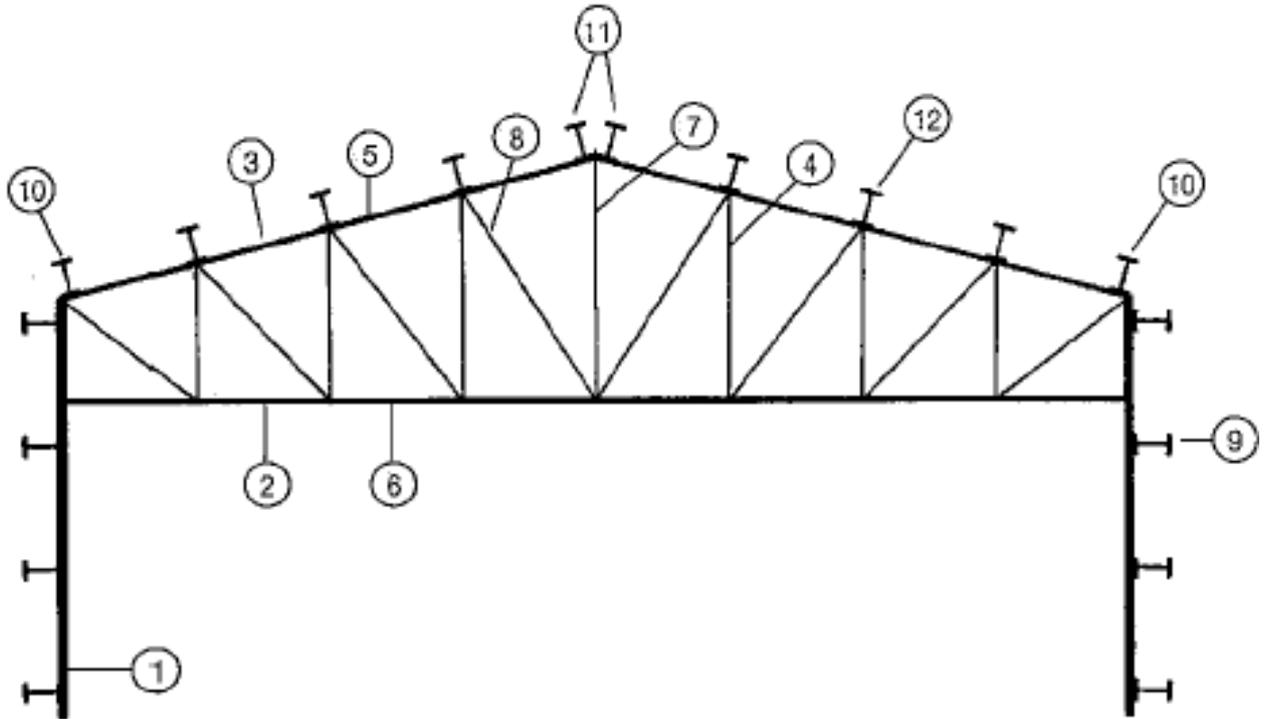


FIGURE 2.10 – Nomenclature des portiques : Ensemble poteaux et ferme

1- Poteau	5- Membrure supérieure	9- Lisse
2- Entrait	6- Membrure inférieure	10 - Panne sablière
3- Arbalétrier	7- Poinçon	11- Panne faitière
4- Montant	8- Diagonale	12 -Panne courante

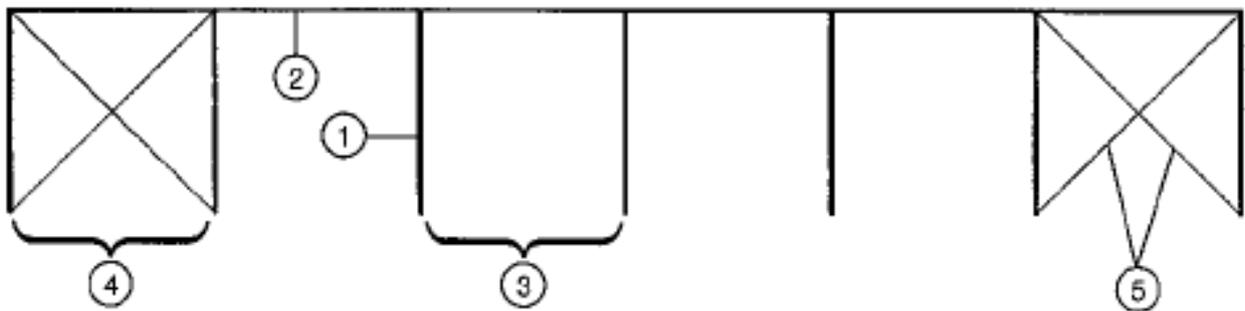


FIGURE 2.11 – Nomenclature des éléments de stabilité en long-pan

1- Poteau	3- Palée	5- Croix de St André
2- Sablière	4- Palée de stabilité	

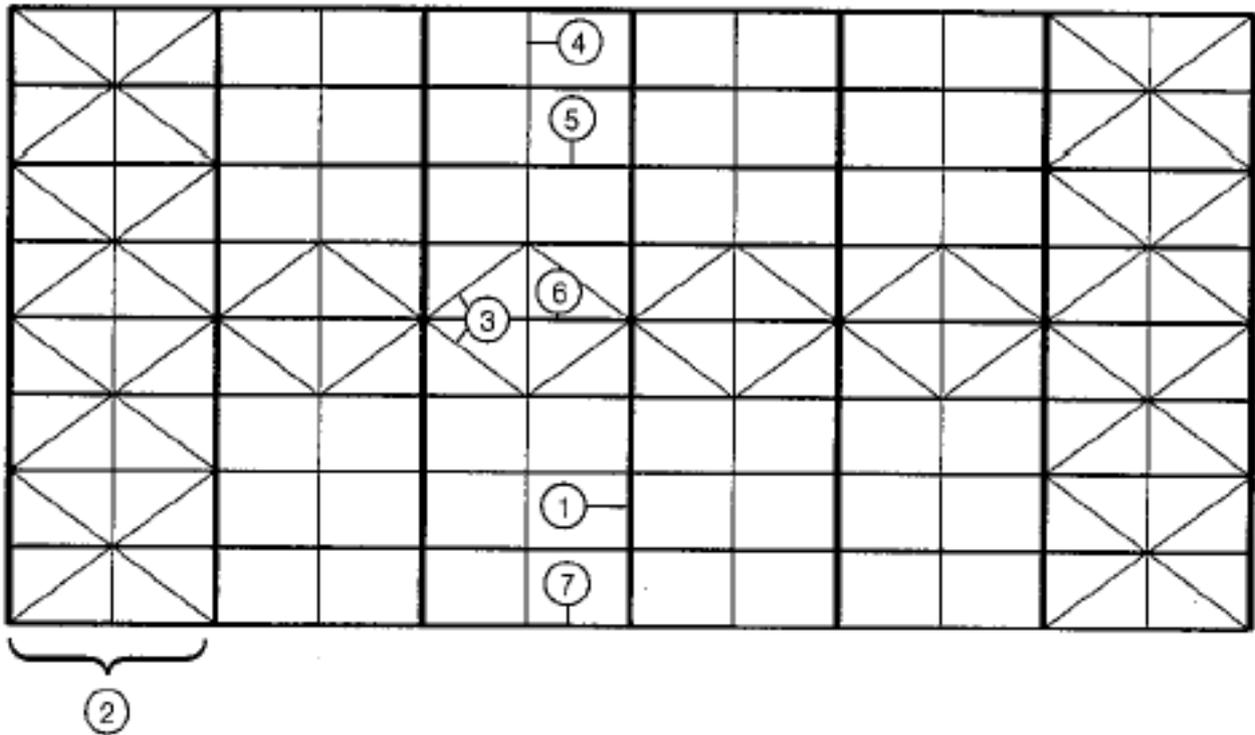


FIGURE 2.12 - Nomenclature des éléments en toiture

1- Traverse	3- Bretelles	5- Panne courante
2- Poutre au vent	4- Lierne	6- Panne faîtière
		7- Sablière

2.2 LES ELEMENTS STRUCTURELS

2.2.1 Poteaux

Les poteaux sont les éléments verticaux.

Les bielles (jambes de force, bracons ou butons) concernent des éléments en biais qui reprennent les efforts horizontaux. Elles sont toujours articulées à leurs extrémités

Les fûts ou piles concernent des éléments encastrés en base et libres en tête

Les poteaux reprennent des efforts de compression, de flexion dus au vent et doivent résister au flambement.

Les poteaux et bielles sont généralement constitués par :

- des profilés en I ou en H,
- des tubes de sections circulaires, carrés, elliptiques ou demi-elliptiques,
- des poteaux reconstitués par laminés assemblés,
- des caissons,
- des poteaux treillis.

D'une manière générale, on essaie de limiter le nombre de poteaux jugés comme des obstacles à l'intérieur du bâtiment. Les trames classiques sont de l'ordre de 4,5 à 6m pour les logements, 12 à 18m pour les bureaux et 15 à 16m pour les parkings. Le nombre de poteaux dépend également de la nature des sols. Les différents profilés utilisés couramment sont :

- profilés laminés à chaud : IPE, HEA, ...
- profilés laminés à froid : Zeds, Omegas, ...
- profilés reconstitués soudés (PRS),

- profilés creux soudés : tubes ronds, elliptiques, carrés, rectangulaires, ...

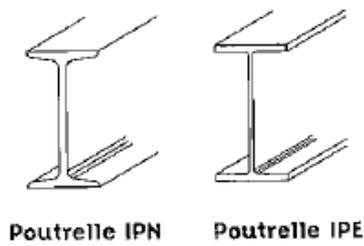


FIGURE 2.13 – Poutrelles IPE et IPN

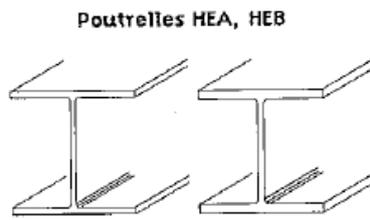


FIGURE 2.14 – Poutrelles HEA et HEB

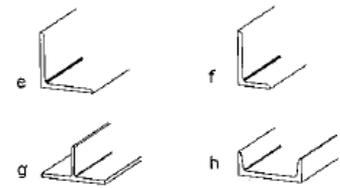


FIGURE 2.15 – Cornières à ailes égales (e), ou inégales (f), fer en T (g), U ou UPN (h)

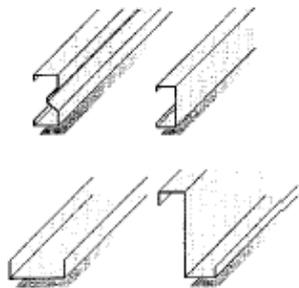


FIGURE 2.16 – Profils minces formés à froid, C, U, Z

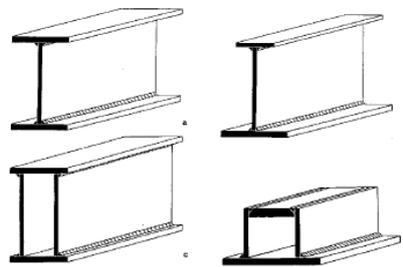


FIGURE 2.17 – Poutres PRS

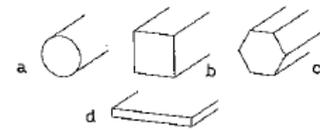


FIGURE 2.18 – Profils creux

2.2.2 Les suspentes et les tirants

Une suspente transmet une charge selon son axe longitudinal, et travaille uniquement en traction.

Les tirants, haubans et câbles reprennent des efforts de traction ayant une composante horizontale et une composante verticale. Leurs sections peuvent être de forme quelconque puisqu'ils ne sont pas soumis au flambement.

On utilise de préférence des sections dont l'attache en extrémité est facile :

- ronds pleins à extrémités filetés, avec assemblage par écrous,
- plats ou cornières assemblés par boulons,
- câbles,
- profils creux comportant une platine d'attache soudée en bout.

Dans certains cas, l'utilisation d'une suspente peut permettre de supprimer un poteau et permettre un espace plus dégagé au sol.

2.2.3 Poutres

Les poutres (panne, linteau, chevron, traverse, poutre au vent, console, porte à faux, cantilever) sont des éléments horizontaux qui reprennent essentiellement des efforts de flexion. Elles doivent donc présenter une inertie adaptée dans le sens de la flexion. Les efforts transmis dans les membrures hautes et basses sont d'autant plus faibles que la hauteur de la poutre est grande. Les poutres sont réalisées avec :

- des poutrelles de portée de l'ordre de 10m, de profils en I ou en H,

- des poutres reconstituées soudés (PRS),
- des poutres alvéolaires ou ajourées,
- des poutres treillis.

2.2.4 Planchers

Les planchers ont pour rôle de transmettre les charges et surcharges de fonctionnement du bâtiment aux éléments principaux de l'ossature (poutres, poteaux), et ainsi d'assurer la descente des charges vers le sol.

Ils participent à la stabilité globale du bâtiment et peuvent assurer le contreventement horizontal.

Ils peuvent aussi répondre à des contraintes fixés par le cahier des charges concernant :

- les performances thermiques,
- les performances acoustiques,
- le degré de résistance au feu,
- le cheminement des réseaux et le positionnement des installations techniques,
- les possibilités de fixation de sous-plafond,
- les modes de vibration en cas de charges dynamiques (sismiques).

Dans les planchers, on distingue le solivage ou poutraison et la dalle. Les dalles peuvent être de plusieurs types :

- les dalles bétons : on distingue les dalles en béton armé coulées en place sur un coffrage, les dalles en béton armé coulées sur des prédalles, les dalles préfabriquées et les dalles alvéolaires précontraintes.
- les dalles sur bacs aciers : les planchers non collaborant comportent des bacs aciers formant coffrage pour la dalle béton. Ils permettent d'assurer un coffrage efficace, de constituer une plate forme de travail avant le coulage et d'éviter la mise en place d'étais.
- les dalles avec bacs collaborant : ces dalles consistent à associer deux matériaux pour qu'ils participent ensemble (par leur collaboration) à la résistance en flexion. Ces planchers associent une dalle en compression en béton armé à des bacs nervurés en acier galvanisé travaillant en traction, comme une armature.
- les planchers secs : Le plancher sec est réalisé par assemblage mécanique de matériaux industrialisés. Ils sont constitués d'un bac métallique assurant la fonction portante, d'un résilient assurant l'isolation acoustique, d'un panneau de bois de particules solidaire du bac et enfin de plaques de plâtre ou de panneaux bois ciment. En sous face, on peut trouver une couche de laine minérale et une ou deux plaques de plâtre ou une plaque de silicate de calcium.

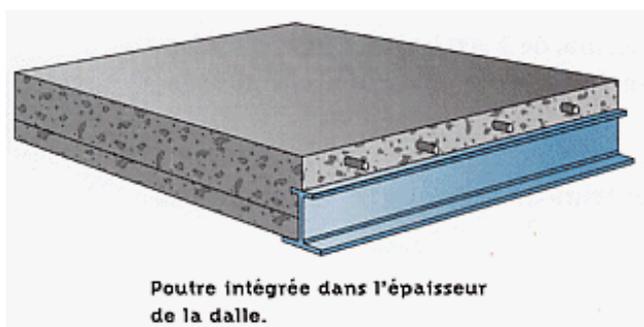


FIGURE 2.19 – Dalle béton

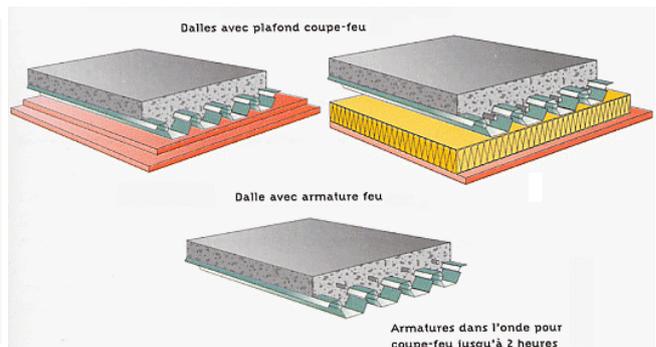


FIGURE 2.20 – Dalles sur bac acier

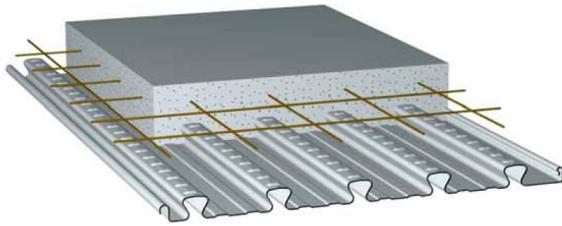


FIGURE 2.21 – Dalles avec bacs collaborant

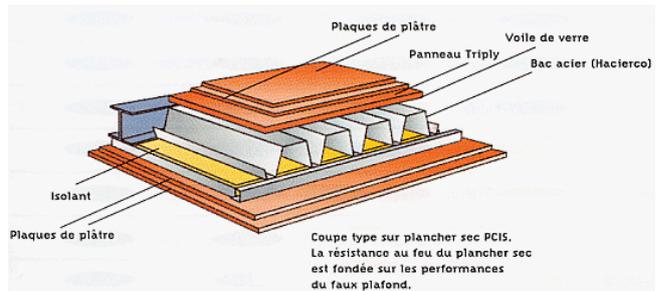


FIGURE 2.22 – Planchers secs

2.2.5 Façades

Les façades doivent assurées différentes fonctions de contrôle de l'ambiance interne au bâtiment, parmi lesquelles :

- l'étanchéité à l'eau et à l'air,
- l'isolation thermique et acoustique,
- la tenue dans le temps,
- la lumière,
- la résistance au feu,
- la sécurité des installations.

Les façades sont constituées d'un assemblage d'éléments industrialisés associés en couches successives de façon à assurer le parement extérieur, l'âme de la façade et le parement intérieur. La nature des façades diffèrent suivant l'usage des locaux.

Le positionnement de la structure par rapport à la façade peut se faire de trois manières :

- structure interne vue ou cachée,
- structure dans l'épaisseur de la façade,
- structure à l'extérieure de la façade.

Les façades peuvent être lourdes et constituées d'éléments maçonnés (briques , parpaing, ...). La façade n'est pas porteuse, mais peut participer au contreventement de la structure.

Dans le cas des façades légères, on distingue :

- Les façades rideaux constituées d'une ou plusieurs parois filant généralement en continu en avant du plancher. La transmission des charges horizontales et de son poids propre vers la structure est assurée par une ossature secondaire constituée de lisses horizontales ou verticales.
- Les façades panneaux constituées de panneaux insérés entre deux planchers consécutifs sans recours à une ossature secondaire ou à des raidisseurs.
- Les bardages qui sont des systèmes où les éléments en tôles d'acier nervurées sont juxtaposés par recouvrement. On distingue des bardages simple peau, bardages double peau et des bardages de panneaux composites.



FIGURE 2.23 – Façades rideaux



FIGURE 2.24 – Façades rideaux



FIGURE 2.25 – Façades panneaux



FIGURE 2.26 – Façades panneaux

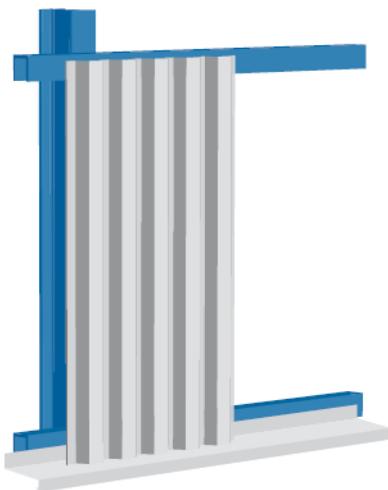


FIGURE 2.27 – Bardage simple peau

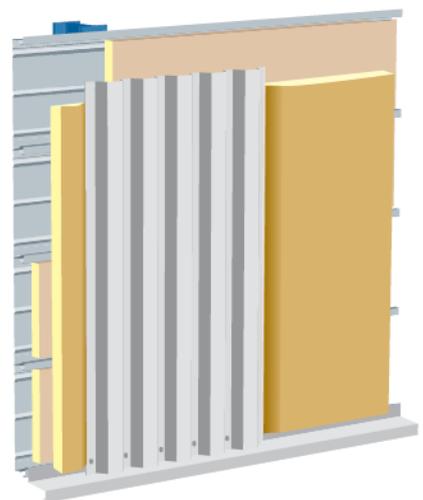


FIGURE 2.28 – Bardage double peau

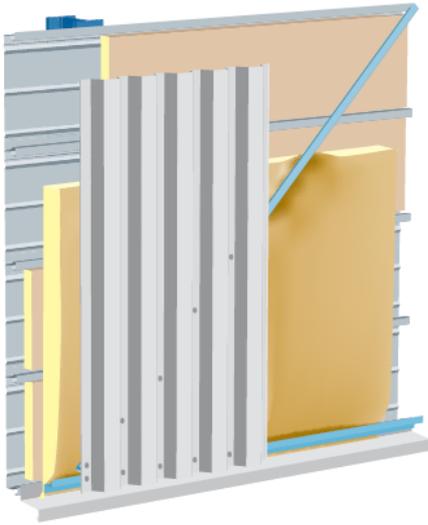


FIGURE 2.29 – Bardage double peau avec écarteur

2.2.6 Couvertures

De même que les façades, les couvertures doivent assurer différentes fonctions parmi lesquelles :

- l'étanchéité à l'eau et à l'air,
- l'isolation thermique et acoustique,
- la tenue dans le temps,
- la résistance mécanique (flexion, surcharges climatiques), aux chocs (grêle, chutes d'objets), à l'arrachement (suction).

Les toitures sont classées selon la pente en trois types :

- les toitures-terrasses à pente nulles,
- les toitures-terrasses plates (pente de 1 à 3%) et toitures-terrasses rampantes (pente de 3 à 7%),
- les toitures inclinées ou cintrées appelées aussi couvertures sèches (pentes $> 7\%$). Parmi celles-ci, on distingue les toitures froides (ventilation de l'interface entre le bac de couverture et l'isolant thermique) et les toitures chaudes (sans vide d'air – la mise en œuvre est plus simple, mais les performances en confort d'été sont moindres).

La couverture peut être réalisée par plaques, longues feuilles métalliques ou tuiles métalliques.

2.3 LES ASSEMBLAGES : LIAISONS

Les liaisons des différentes barres formant le portique entre elles ou avec les fondations peuvent être de trois types : liaison simple (appui plan), liaison articulée ou souple (pivot, ou rotule) et liaison encastree ou rigide (encastrement).

2.3.1 Liaison simple

La liaison simple correspond à une liaison parfaite de type "appui ponctuel".

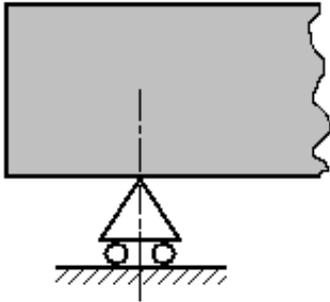


FIGURE 2.30 – Représentation graphique de la liaison simple

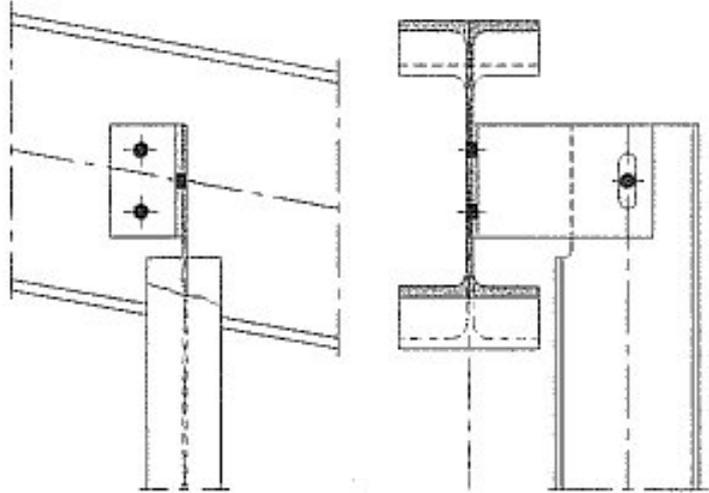


FIGURE 2.31 – Liaison entre les IPE réalisant un appui simple (liaison appui ponctuel)



FIGURE 2.32 – Poutres IPE en appui simple si les trous sont oblongs

2.3.2 Liaison articulée ou souple

La liaison articulée correspond à une liaison parfaite de type "pivot" ou "sphérique".

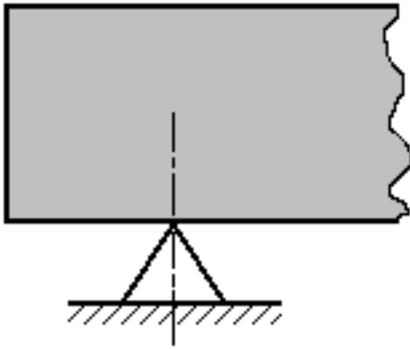


FIGURE 2.33 – Représentation graphique de la liaison articulée

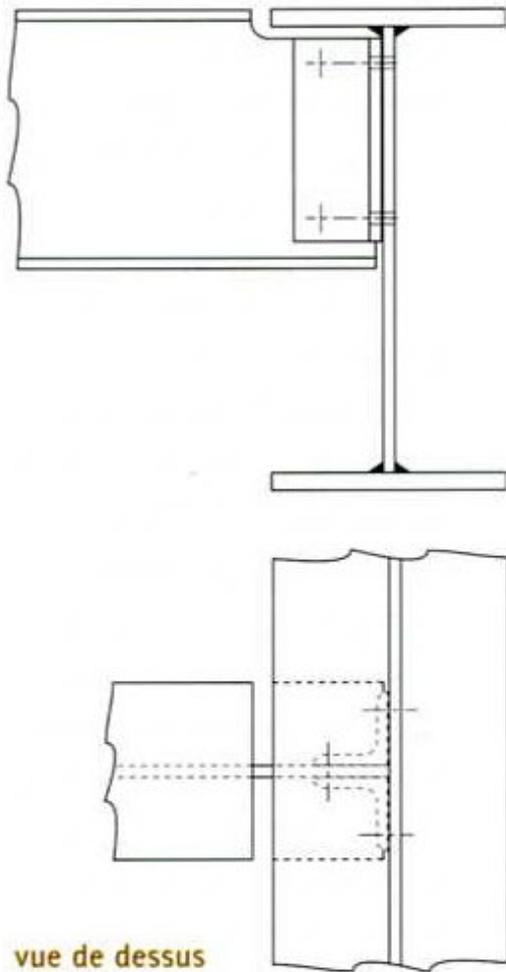


FIGURE 2.34 – Attache classique Poutre/poutre

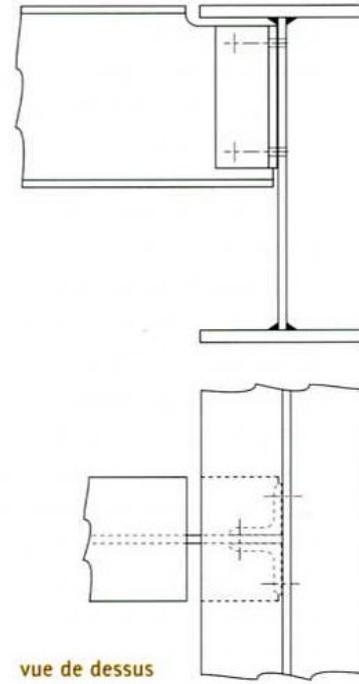


FIGURE 2.35 – Attache classique Poutre/poutre



FIGURE 2.36 – Liaisons entre les IPE réalisant des articulations (liaisons rotules)

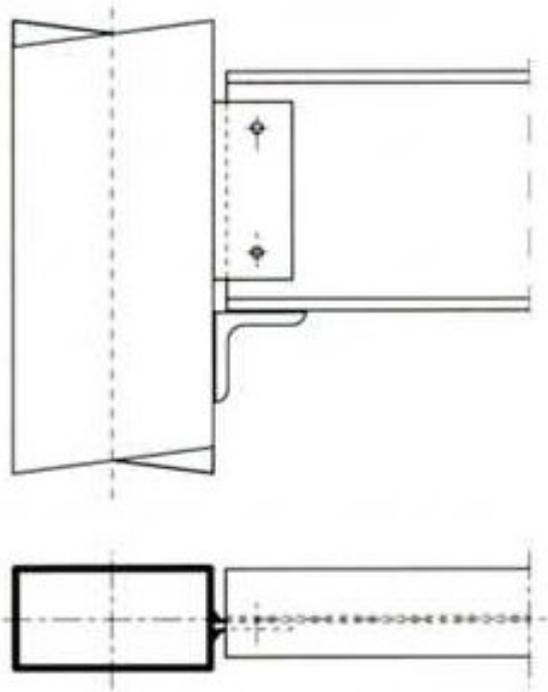


FIGURE 2.37 – Assemblage peu sollicité : Gousset soudé longitudinalement au milieu de la face

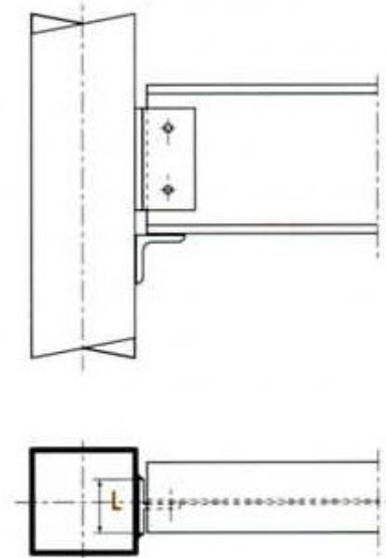


FIGURE 2.39 – Transmission d'un effort tranchant plus important : T ou demi-poutrelle soudée sur poteau

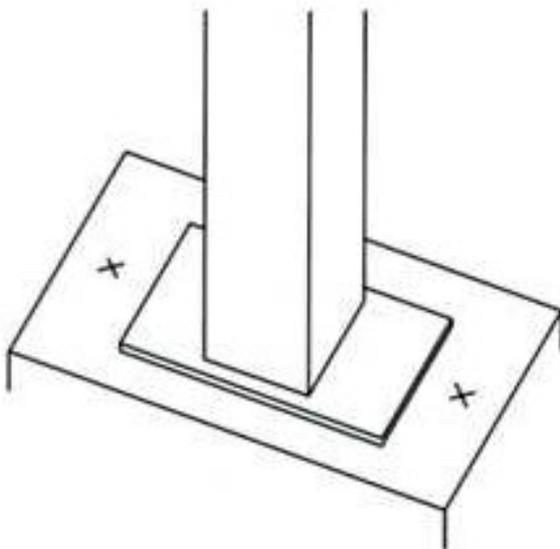


FIGURE 2.38 – Pied de poteau articulé

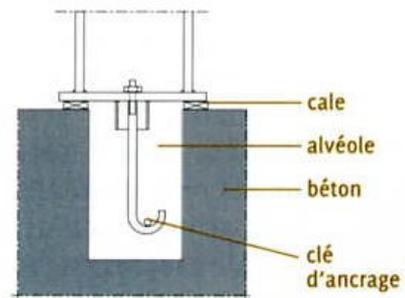


FIGURE 2.40 – Articulation avec ou sans bêche

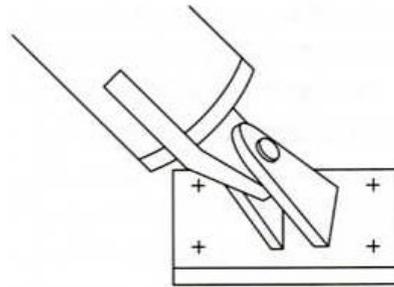
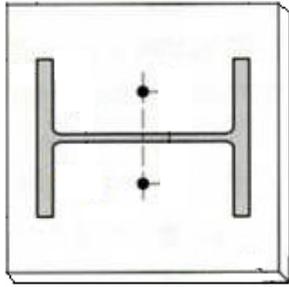


FIGURE 2.42 – Articulation avec axe

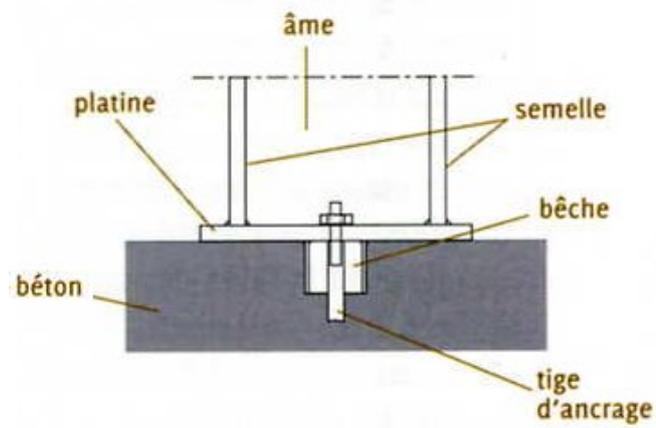


FIGURE 2.41 – Articulation avec bêche et tiges pré-scellées

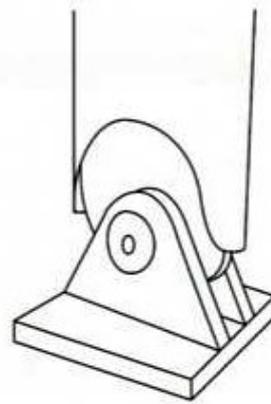


FIGURE 2.43 – Articulation avec axe

2.3.3 Liaison encastrée ou rigide

La liaison encastrée correspond à une liaison parfaite de type "encastrement" ou "complète".

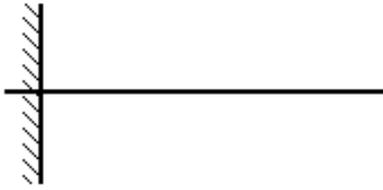


FIGURE 2.44 – Représentation graphique de la liaison encastrée

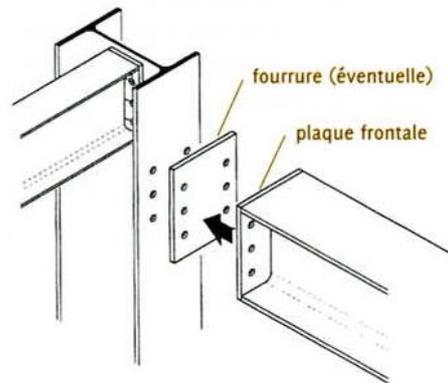


FIGURE 2.46 – Encastrement poutre/poteau par platine et boulons

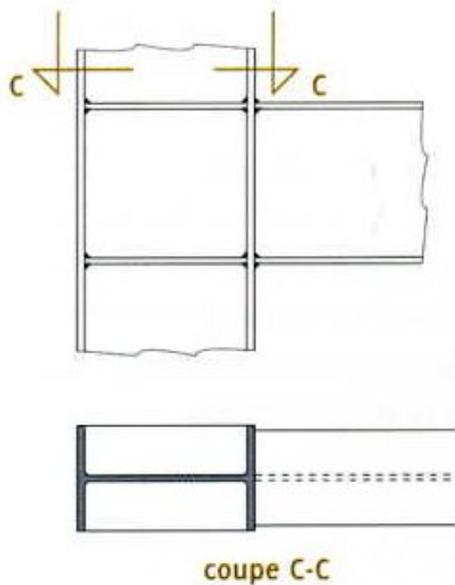


FIGURE 2.45 – Encastrement poutre/poteau par soudure avec raidisseurs



FIGURE 2.47 – Encastrement entre deux arbalétriers avec jarret et boulons extérieurs

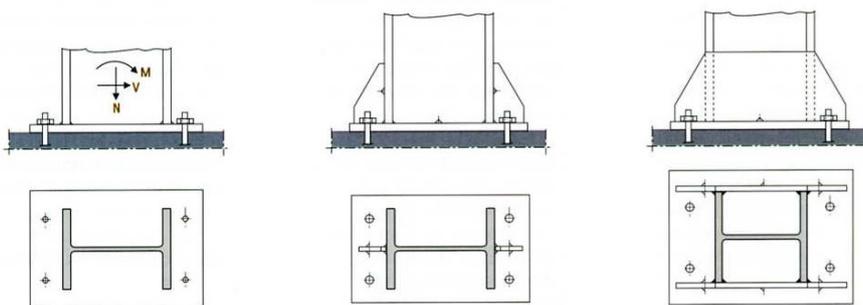


FIGURE 2.48 – Encastrement par platine simple ou raidies en pied de poteau

Chapitre 3

Le Matériau acier

Nous présenterons ici les caractéristiques chimiques et mécaniques des aciers utilisés en construction métallique. Cette présentation sera suivie d'une brève comparaison entre la construction métallique et la construction béton.

3.1 COMPOSITION CHIMIQUE

Les aciers sont des alliages Fer-Carbone contenant moins de 2% de carbone. Les aciers couramment utilisés sont des aciers doux ($0.05\% < C < 0.3\%$) ou des aciers durs ($0.5\% < C < 1\%$). On peut également utiliser des aciers inoxydables (alliage fer 73 %, chrome 18 %, nickel 8 %, carbone 1 %).

Dans tous les calculs à l'EUROCODE 3, les propriétés classiques de l'acier prendront les valeurs suivantes :

- La densité ou masse volumique : $\rho = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$,
- Le module d'élasticité longitudinale : $E = 210000 \text{ MPa}$,
- Le module de cisaillement : $G = 81000 \text{ MPa}$,
- Le coefficient de poisson : $\mu = 0.3$,
- Le coefficient de dilatation thermique linéaire : $\varepsilon = 12.10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

3.2 CARACTERISTIQUES MECANIQUES

3.2.1 Essai de traction

Cet essai fondamental consiste à tirer sur une éprouvette et à enregistrer l'allongement de celle-ci en fonction de la charge appliquée, figure 3.1. L'essai est mené jusqu'à rupture de l'éprouvette.

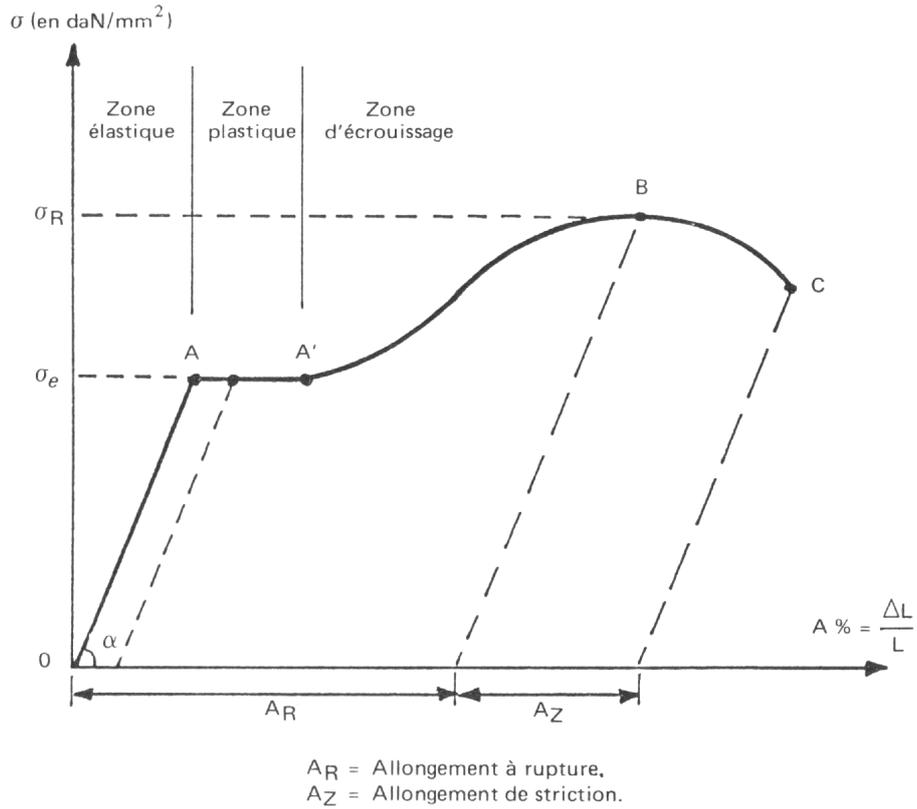


FIGURE 3.1 – Essai de traction

L'essai de traction permet de déterminer :

- La résistance limite à la traction R_m , notée f_u dans les Eurocodes en MPa ,
- La limite d'élasticité minimale R_e , notée f_y dans les Eurocodes en MPa ,
- Allongement après rupture A en %.

3.2.2 Essai de résilience

Cet essai a pour but 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 (Fig. ??).

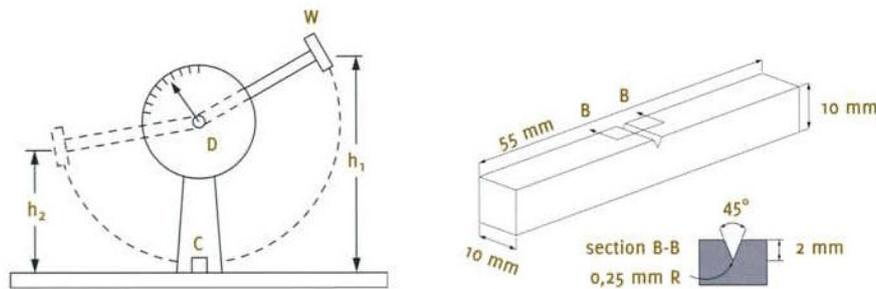


FIGURE 3.2 – Essai de résilience

L'essai de résilience permet d'obtenir le KV en *Joules* représentant la ductilité de l'acier. La ductilité varie en fonction de la température.

3.2.3 Nuances d'acier couramment utilisées

Les nuances couramment utilisées sont des aciers S235, S275, S355 et éventuellement S420 ou S460. Leurs caractéristiques mécaniques sont données dans le tableau ?? ci-dessous. Les chiffres correspondent aux valeurs de f_y en MPa pour des épaisseurs inférieures ou égales à 40 mm.

Les indices de qualité JR, J0 et J2 indiquent des qualités garanties respectivement à des températures de $20^\circ C$, $0^\circ C$ et $-20^\circ C$

TABLE 3.1 – Caractéristiques mécaniques des aciers laminés à chaud EN 10025-2

Type d'acier	Epaisseur t (mm)			
	$t \leq 40mm$		$40mm \leq t \leq 80mm$	
	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550

TABLE 3.2 – Caractéristiques mécaniques des aciers pour profils creux EN 10210-1

Type d'acier	Epaisseur t (mm)			
	$t \leq 40mm$		$40mm \leq t \leq 80mm$	
	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

3.3 AVANTAGES ET QUALITES DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES

- L'acier offre une grande résistance à la traction ce qui permet de réaliser des grandes portées (60 m). Les plus économiques se situent entre 6 et 18 m.
- Les poteaux sont de sections réduites par rapport aux poteaux en béton ce qui laisse plus de surface au sol.
- Acier S235 à une limite élastique $f_y = 235MPa = 235N/mm^2$ et une masse volumique $\rho = 7850kg/m^3$, le Béton Armé a une limite élastique $f_y = 8MPa = 8N/mm^2$ et une masse volumique $\rho = 2500kg/m^3$.
 - En compression : 1 cm^2 d'Acier est équivalent à 30 cm^2 de B.A.,
 - à résistance égale, le Béton Armé est 10 fois plus lourd que l'acier.
- Le poids est réduit donc la structure est plus légère et les fondations sont réduites.
- La construction acier offre une bonne résistance aux séismes.
- La ductilité et l'adaptation plastique offrent une grande sécurité : "une poutre en acier se déforme beaucoup avant d'atteindre la ruine".

En phase de construction :

- La préfabrication permet un montage rapide (10 à 60 jours pour un bâtiment de type hangar agricole ou commercial). Pour un bâtiment à portique répétitif : Charpente : 7 jours, Couverture : 7 jours, Bardage : 14 jours.
- C'est un gain en location et en rentabilité pour le propriétaire.
- L'ajustage précis lors du montage.
- La construction nécessite un encombrement réduit du chantier (avantage en zone urbaine).
- Les intempéries ne gênent pas le montage (contrairement au béton armé).
- Le montage assez simple permet une préfabrication et l'exportation est aisée.

Pendant la phase d'exploitation (d'utilisation) de la structure :

- Le démontage est possible.
- On peut effectuer facilement des modifications de la structure porteuse, notamment en renforçant des poutres si les charges d'exploitation augmentent.
- On peut facilement réaliser une surélévation du bâtiment car l'acier est assez léger.

3.4 INCONVENIENTS DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES

- Le comportement dans le temps des assemblages (nécessité de contrôler les assemblages).
- les phénomènes d'instabilités (flambement, déversement, voilement).
- Nécessité d'une protection contre la corrosion (ambiance humide).
- Nécessité d'une protection contre le feu : à 600 °C, l'acier perd 40 % de sa résistance.
- L'acier est un mauvais isolant thermique et acoustique.
- La légèreté de l'ouvrage implique des calculs complexes car les charges dues au vent et à la neige peuvent être prépondérantes dans le dimensionnement des sections.

Chapitre 4

Géométrie des sections

Nous présenterons dans ce chapitre les définitions des différentes propriétés des sections des éléments constituant les structures. Un rappel des méthodes de calculs pour les déterminer est également proposé.

4.1 AIRE DES SECTIONS PLANES

4.1.1 Calcul d'une aire

Afin de calculer la surface d'une section quelconque, on définit un point courant P de la surface qui est le centre d'un élément élémentaire de surface ds . Le point P doit permettre de couvrir l'ensemble de la section.

La surface de la section peut être calculée par :

$$S = \iint_S ds$$

En coordonnées cartésiennes

Dans le cas d'une section dont le point courant P est défini en coordonnées cartésiennes, l'élément élémentaire de surface sera défini par :

$$ds = dx \cdot dy$$

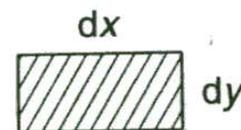


FIGURE 4.1 – Surface définie en coordonnées cartésiennes

En coordonnées polaires

Dans le cas d'une section dont le point courant P est défini en coordonnées polaires, l'élément élémentaire de surface sera défini par :

$$ds = (d\rho) \cdot (\rho \cdot d\theta)$$

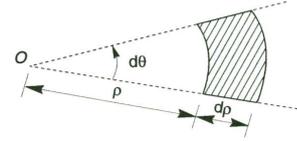


FIGURE 4.2 – Surface définie en coordonnées polaires

Aire brute A_B

L'aire brute A_B est obtenue en utilisant les dimensions nominales de la section, sans déduction des surfaces des éventuels trous.

Aire nette A_{net}

L'aire nette A_{net} est égale à la surface brute, diminuée des surfaces des trous.

Aire efficace A_{eff}

L'aire efficace A_{eff} est égale à l'aire brute A_B , réduite en partie comprimée du fait du voilement local et concerne les sections de classe 4.

Aire homogénéisée A_H

L'aire homogénéisée A_H d'une section hétérogène, constituée de deux matériaux différents est obtenue en utilisant un coefficient d'équivalence n égal au rapport des modules d'élasticité E des matériaux constitutifs.

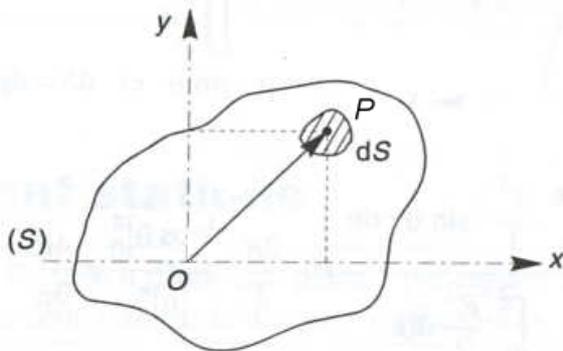
Par exemple en béton armé, on aura :

$$A_H = B + n \cdot A \quad \text{avec} \quad n = \frac{E_A}{E_B}$$

Avec B aire du béton, A l'aire de l'acier, E_A et E_B respectivement les modules d'élasticité de l'acier et du béton.

4.2 CENTRE DE GRAVITE

Surface homogène

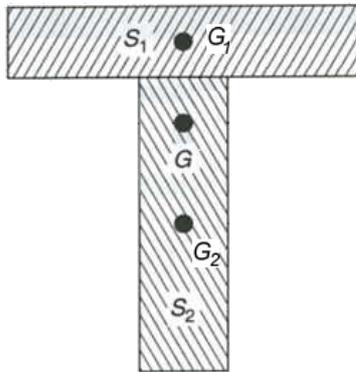


Le centre de gravité d'une surface homogène S est défini par :

$$S \cdot \vec{OG} = \iint_S \vec{OP} \cdot ds \quad \text{où} \quad \iint_S \vec{GP} \cdot ds = \vec{0}$$

FIGURE 4.3 – Détermination du centre de gravité d'une surface homogène

Surface formée par l'union de plusieurs surfaces



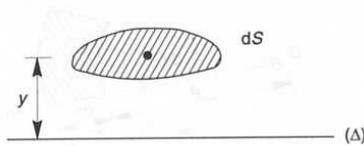
Le centre de gravité d'une surface S formée par l'union de plusieurs surfaces S_i dont on connaît les centres de gravité respectifs G_i est défini par :

$$\sum_i (S_i) \cdot \overrightarrow{OG} = \sum_i (S_i \cdot \overrightarrow{OG_i})$$

FIGURE 4.4 – Détermination du centre de gravité d'une surface hétérogène

4.3 MOMENT STATIQUE

Le moment statique μ d'une aire plane S par rapport à un axe Δ situé dans son plan est égal au produit de cette aire par la distance algébrique du centre de cette aire à l'axe Δ .



$$\mu_{\Delta} = \iint_S y \cdot ds$$

Le centre de gravité G de la section S est tel que le moment statique μ_G de la section par rapport à l'axe Δ_G passant par le point G est nul.

$$\mu_{\Delta_G} = 0$$

FIGURE 4.5 – Calcul du moment statique d'une surface homogène

Une fois que l'on connaît la position du centre de gravité d'une section, on peut déterminer la position de l'axe neutre, les moments d'inertie, les modules plastiques, la contrainte de cisaillement, ...

4.4 MOMENTS ET PRODUITS D'INERTIE

Moments d'inertie (ou quadratique)

Le calcul du moment d'inertie est essentiel pour la détermination des contraintes normales et tangentielles, ainsi que les déformations.

Le moment d'inertie d'une aire par rapport à un axe ou à un point (inertie polaire) est égal au produit de cette aire par le carré de la distance de son centre de gravité à l'axe ou au point considéré. Un moment d'inertie est toujours positif ou nul.

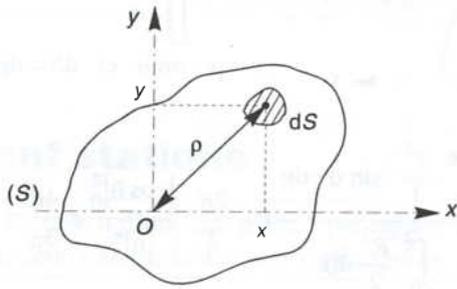


FIGURE 4.6 – Calcul du moment d'inertie d'une surface homogène

$$I_O = \iint_S \rho^2 . ds$$

$$I_{Ox} = \iint_S y^2 . ds$$

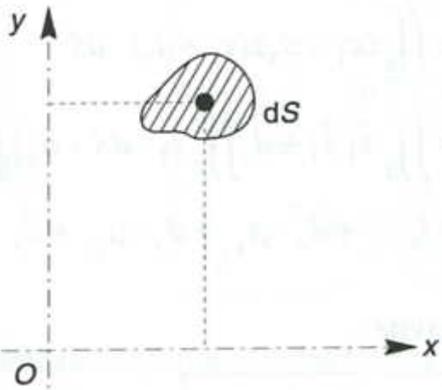
$$I_{Oy} = \iint_S x^2 . ds$$

avec

$$I_O = I_{Ox} + I_{Oy}$$

Produits d'inertie

On appelle produit d'inertie d'une aire plane S par rapport à deux axes perpendiculaires Ox et Oy la quantité I_{xy} qui peut être positive, négative ou nulle, définie par :



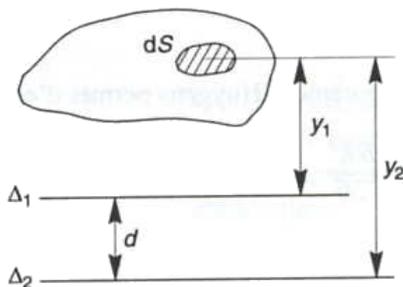
$$I_{Oxy} = \iint_S x . y . ds$$

Si les axes Ox et Oy sont des axes principaux d'inertie alors le produit d'inertie I_{Oxy} est nul

FIGURE 4.7 – Calcul du produit d'inertie d'une surface homogène

Théorème de Huygens – Translation d'axes

- Moments d'inertie



Soit deux axes Δ_1 et Δ_2 , parallèles

$$I_{\Delta_1} = \iint_S y_1^2 . ds$$

$$I_{\Delta_2} = \iint_S y_2^2 . ds$$

or :

$$y_2 = y_1 + d$$

FIGURE 4.8 – Transport de moments d'inertie

$$I_{\Delta_2} = \iint_s (y_1 + d)^2 \cdot ds = \iint_s y_1^2 \cdot ds + \iint_s d^2 \cdot ds + 2 \cdot \iint_s y_1 \cdot d \cdot ds$$

$$I_{\Delta_2} = \iint_s y_1^2 \cdot ds + d^2 \cdot \iint_s ds + 2 \cdot d \cdot \iint_s y_1 \cdot ds$$

Soit :

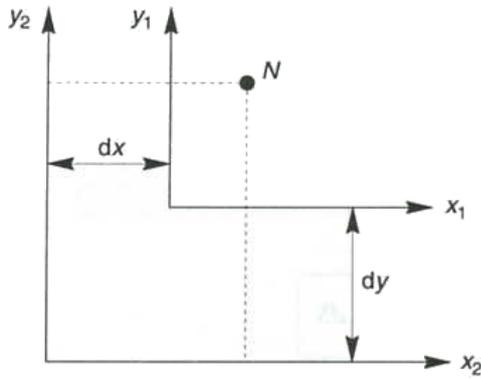
$$I_{\Delta_2} = I_{\Delta_1} + S \cdot d^2 + 2 \cdot d \cdot \mu_{\Delta_1}$$

Si Δ_1 passe par le centre de la section G , on a alors $\mu_{\Delta_1} = 0$, soit :

$$I_{\Delta_2} = I_{\Delta_1} + S \cdot d^2$$

Théorème de Huygens : Le moment d'inertie d'une aire par rapport à un axe est la somme de son moment d'inertie par rapport à l'axe parallèle passant par le centre de gravité et du produit de l'aire par le carré de la distance du centre de gravité à l'axe.

- Produits d'inertie



$$I_{x_1 y_1} = \iint_s x_1 \cdot y_1 \cdot ds$$

$$I_{x_2 y_2} = \iint_s x_2 \cdot y_2 \cdot ds$$

or :

$$x_2 = x_1 + dx$$

$$y_2 = y_1 + dy$$

FIGURE 4.9 – Transport de produits d'inertie

$$I_{x_2 y_2} = \iint_s x_2 \cdot y_2 \cdot ds = \iint_s (x_1 + dx) \cdot (y_1 + dy) \cdot ds$$

$$I_{x_2 y_2} = \iint_s x_1 \cdot y_1 \cdot ds + \iint_s x_1 \cdot dy \cdot ds + \iint_s y_1 \cdot dx \cdot ds + \iint_s dx \cdot dy \cdot ds$$

$$I_{x_2 y_2} = \iint_s x_1 \cdot y_1 \cdot ds + dy \cdot \iint_s x_1 \cdot ds + dx \cdot \iint_s y_1 \cdot ds + dx \cdot dy \cdot \iint_s ds$$

Soit :

$$I_{x_2 y_2} = I_{x_1 y_1} + dy \cdot \mu_{x_1} + dx \cdot \mu_{y_1} + dx \cdot dy \cdot S$$

Si les axes x_1 et y_1 passent par le centre G de la section, on a alors, $\mu_{x_1} = \mu_{y_1} = 0$, soit :

$$I_{x_2 y_2} = I_{x_1 y_1} + dx \cdot dy \cdot S$$

Moments d'inertie des laminés courants en acier type IPE, HEA, ...

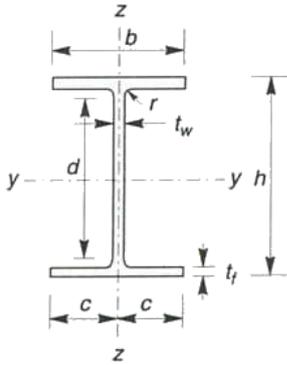


FIGURE 4.10 – Profilés en I

$$\begin{aligned}
 I_y &= \frac{h^3 \cdot t_w}{12} + \frac{(b - t_w) \cdot t_f \cdot (h - t_f)^2}{2} + \frac{t_f^3 \cdot (b - t_w)}{6} \\
 &\quad + r^2 \cdot (4 - \pi) \cdot \left[\frac{h}{2} - t_f - r \cdot \left(1 - \frac{2}{12 - 3\pi} \right) \right]^2 \\
 &\quad + 4 \cdot r^4 \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{9 \cdot (4 - \pi)} \right) \\
 I_z &= \frac{h \cdot t_w^3}{12} + \frac{(b - t_w) \cdot t_f \cdot (b + t_w)^2}{8} + \frac{t_f \cdot (b - t_w)^3}{24} \\
 &\quad + r^2 \cdot (4 - \pi) \cdot \left[\frac{t_w}{2} - r \cdot \left(1 - \frac{2}{12 - 3\pi} \right) \right]^2 \\
 &\quad + 4 \cdot r^4 \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{9 \cdot (4 - \pi)} \right)
 \end{aligned}$$

Ces valeurs sont pré-calculées pour toutes les sections des profilés standards et fournis dans les catalogues des constructeurs.

Moments d'inertie de torsion

Le moment d'inertie de torsion I_t vaut :

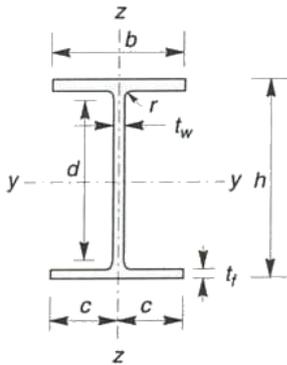


FIGURE 4.11 – Profilés en I

- En première approximation, on obtient :

$$I_t = \frac{1}{3} \cdot (d \cdot t_w^3 + 2 \cdot b \cdot t_f^3)$$

- En calcul exact :

$$\begin{aligned}
 I_t &= \frac{2 \cdot b \cdot t_f^3}{3} \cdot \left[1 - 0,63 \cdot \frac{t_f}{b} \cdot \left(1 - \frac{t_f^4}{12 \cdot b^4} \right) \right] + \frac{(h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3}{3} \\
 &\quad + 2 \cdot \left(0,1 \cdot \frac{r}{t_f} + 0,15 \right) \cdot \frac{t_w}{t_f} \cdot \left[\frac{(t_f + r)^2 + t_w \cdot \left(r + \frac{t_w}{4} \right)}{2 \cdot r + t_f} \right]^4
 \end{aligned}$$

Ces valeurs sont également pré-calculées pour toutes les sections des profilés standards.

4.5 RAYON DE GIRATION

Le rayon de giration intervient dans les calculs de vérification au flambement des pièces comprimées.

On obtient le rayon de giration en prenant la racine carré du rapport du moment d'inertie I par l'aire A de la section :

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

4.6 MOMENTS DE FLEXION

4.6.1 Module de flexion élastique W_{el}

En élasticité, l'axe neutre (ANE) passe par le centre de gravité G de la section (égalité des moments statiques des aires de part et d'autre de cet axe). Dans les calculs à l'Eurocode 3 qui suivront, le W_{el} à prendre en compte est le minimum de W_{els} et W_{eli} définis ci dessous

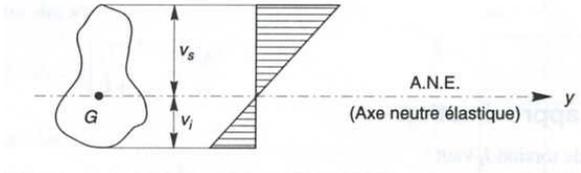


FIGURE 4.12 – Répartition des contraintes normales élastiques

$$W_{els} = \frac{I_y}{v_s}, W_{eli} = \frac{I_y}{v_i} \text{ et } W_{el} = \min(W_{eli}, W_{els})$$

Avec pour les sections en I symétriques : (et $r=0$)

$$I_y = \frac{h^3 \cdot t_w}{12} + \frac{(b - t_w) \cdot t_f \cdot (h - t_f)^2}{2} + \frac{t_f^3 \cdot (b - t_w)}{6}$$

4.6.2 Module de flexion plastique W_{pl}

En plasticité, l'axe neutre divise la section en deux parties d'aires égales, puisque la résultante axiale est nulle. Cette Axe Neutre Plastique (ANP) se détermine par :

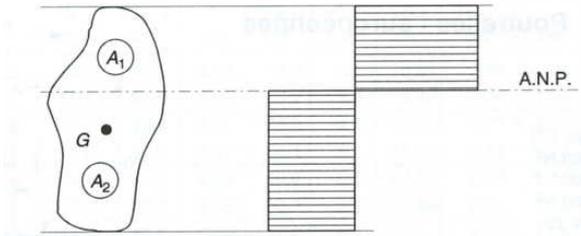


FIGURE 4.13 – Répartition des contraintes normales plastiques

$$A_1 = A_2$$

$$\mu_1 = A_1 \cdot d_1$$

$$\mu_2 = A_2 \cdot d_2$$

$$W_{pl} = \mu_1 + \mu_2$$

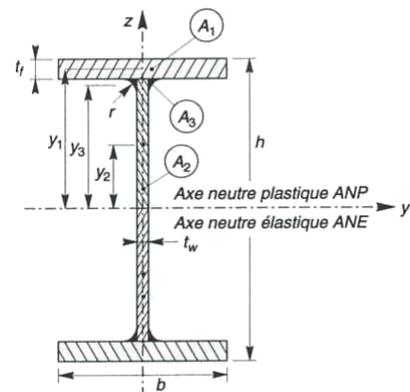
Dans le cas d'une section doublement symétrique, l'ANP est confondu avec l'ANE et passe par G avec $W_{pl} = 2 \cdot \mu$

Pour une poutrelle en laminée courante (IPE, ...) :

A_1 : Aire de la semelle supérieure

A_2 : Aire de la demi-âme

A_3 : Aire du congé de raccordement âme-semelle



Moment statique de la demi section :

$$\mu = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3$$

avec

$$A_1 = b \cdot t_f \quad y_1 = \frac{h - t_f}{2}$$

$$A_2 = \left(\frac{h}{2} - t_f \right) \cdot t_w \quad y_2 = \frac{h}{4} - \frac{t_f}{2}$$

$$A_3 = \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \cdot r^2 \quad y_3 = \frac{2 \cdot r}{12 - 3 \cdot r} - \frac{h - t_f - 2 \cdot r}{2}$$

FIGURE 4.14 – Module de flexion plastique d'un IPE

Soit :

$$W_{pl} = 2.\mu = \frac{t_w \cdot h^2}{4} + (b - t_w) \cdot (h - t_f) \cdot t_f + \frac{4 - \pi}{2} \cdot r^2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) + \frac{3 \cdot \pi - 10}{3} \cdot r^3$$

4.7 FACTEUR DE GAUCHISSEMENT

Le facteur de gauchissement par rapport au centre de cisaillement exprimé en m^6 vaut

$$I_w = \frac{t_f \cdot b^3}{24} \cdot (h - t_f)^2$$

Chapitre 5

Stabilité des structures

L'ossature d'un bâtiment en construction métallique est formée d'un ensemble d'éléments de types barres profilées ou reconstituées.

Elle doit non seulement assurer la fixation des éléments d'enveloppe, mais aussi des éléments de séparations intérieures. Elle doit également supporter les actions et les charges auxquelles elle est soumise et les transmettre aux fondations.

L'analyse du cheminement des actions et charges depuis leurs sources jusqu'aux fondations est indispensable pour obtenir une structure stable et comprendre son fonctionnement.

Les éléments de stabilisation d'une structure doivent remplir trois fonctions :

- Limiter les déformations par une structure porteuse minimale constituée de portiques,
- Assurer la stabilité de la structure,
- Assurer la stabilité de forme.

5.1 LIMITATION DES DEFORMATIONS

Considérons une structure porteuse constituée de portiques et de butons longitudinaux. Toutes les liaisons sont des articulations. Examinons l'effet de certaines actions exercées sur cette structure.

5.1.1 Effort horizontal exercé en pignon

Sous l'effet d'une force exercée sur la façade pignon, la structure se déforme selon la figure 5.1.a. Les déformations dans le plan horizontal (O, x, y) peuvent être limitées en bloquant la déformation d'un rectangle par adjonction d'une poutre auvent transversale, figure 5.1.b. On peut ensuite limiter les déformations dans le plan vertical (O, y, z) en bloquant la déformation de rectangles par adjonction de stabilités verticales (ou contreventement) de long-pan, figure 5.1.c.

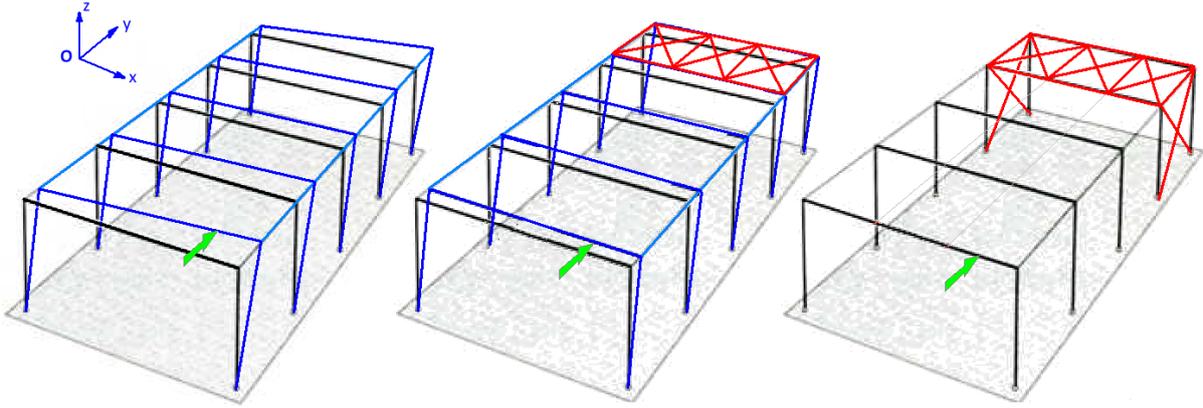


FIGURE 5.1 – Stabilisation sous un effort en façade pignon (a) déformation sans éléments de stabilité, (b) déformation avec poutre auvent transversale, (c) déformation réduite avec une structure stabilisée

5.1.2 Effort horizontal exercé en long-pan

Sous l'effet d'une force exercée sur la façade long-pan, la structure se déforme selon la figure 5.2.a. Les déformations dans le plan horizontal (O, x, y) peuvent être limitées en bloquant les déformations différentielles selon l'axe (O, y) par adjonction d'une poutre auvent longitudinale, figure 5.2.b. On peut ensuite limiter les déformations dans le plan vertical (O, y, z) en pignon en bloquant la déformation de rectangles par adjonction de stabilités verticales (ou contreventement) de pignon, figure 5.2.c.

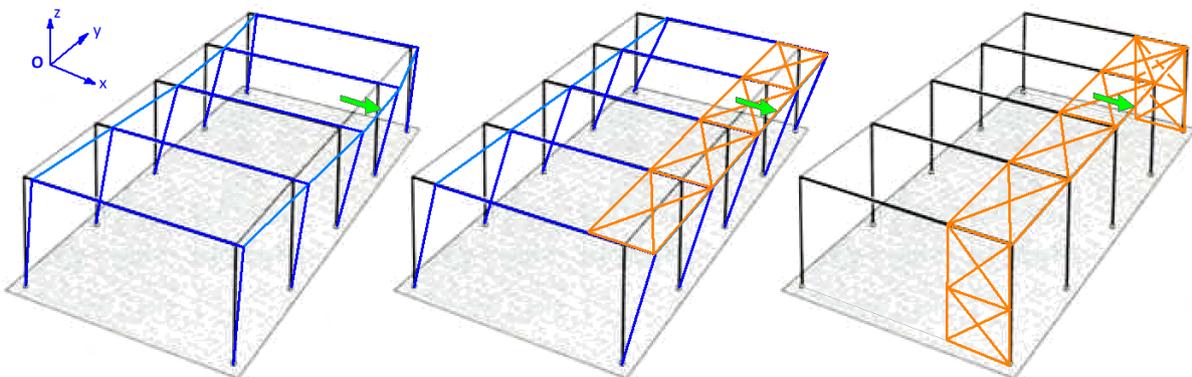


FIGURE 5.2 – Stabilisation sous un effort en façade long-pan

5.2 CHEMINEMENT DES EFFORTS VERS LES FONDATIONS

5.2.1 Efforts horizontaux exercés en pignon

Les efforts exercés par le vent sur le bardage en pignon sont transmis aux portiques par l'intermédiaire des lisses de bardages, puis des potelets. Les pieds de potelets transmettent directement les efforts aux fondations.

Les efforts exercés en tête des potelets sont transmis à des pannes. Ces efforts cheminent le long des pannes jusqu'à rencontrer le contreventement transversal de toiture (poutre auvent). Celui-

ci se comporte comme une poutre treillis sur deux appuis réalisés par les deux contreventements verticaux de long pan. Les efforts sont donc transmis aux contreventements verticaux de long pan par le biais de ces appuis, figure 5.3.

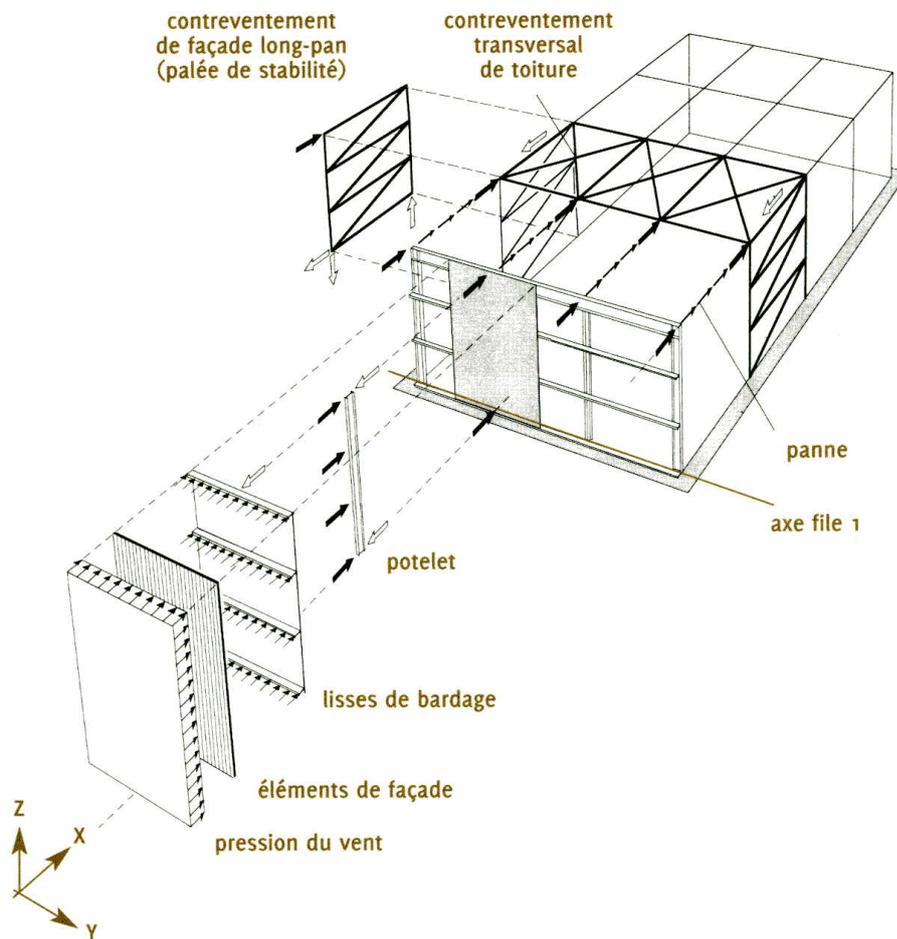


FIGURE 5.3 – Cheminement des efforts exercés en façade

Les contreventements verticaux de long pan sont aussi des poutres treillis en appuis sur les fondations et transmettent donc les efforts à celles-ci par ce biais. Ils assurent en même temps une fonction de stabilité longitudinale, d'où leur nom de « palée de stabilité ».

5.2.2 Efforts horizontaux exercés en long-pan

Les efforts exercés sur le bardage des long-pans sont transmis à la structure via les lisses de bardage qui sont en appui sur les poteaux des portiques. Les portiques sont ainsi sollicités dans leur plan et transmettent directement les efforts aux fondations (s'ils sont stables), figure 5.4.

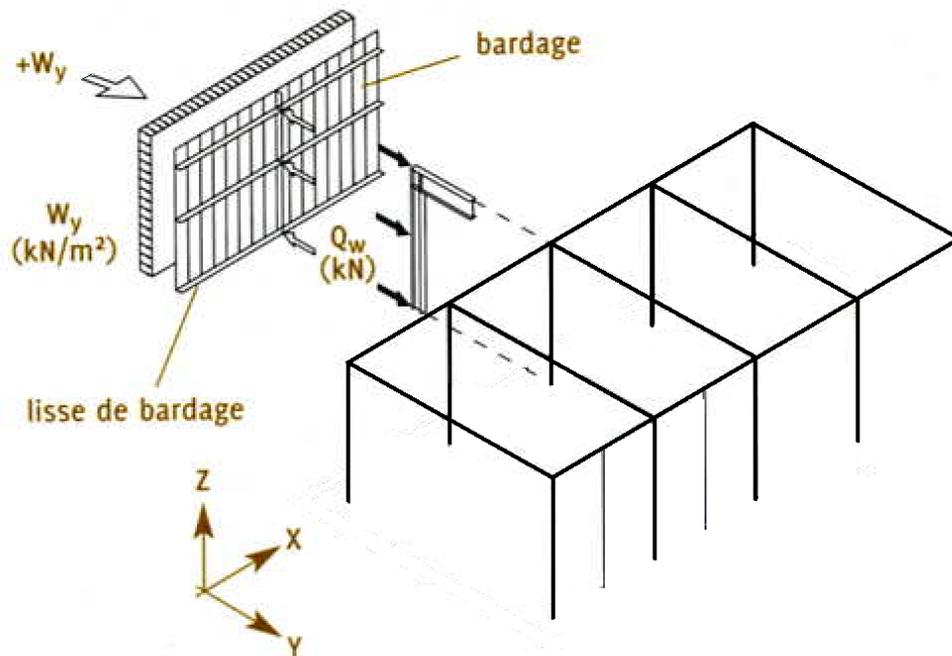


FIGURE 5.4 – Cheminement des efforts exercés en long-pan

Dans le cas de travées de plus de 9m, des potelets sont intercalés entre deux portiques afin de limiter la portée des lisses. Les efforts sont alors également transmis par les lisses aux potelets. En pied les efforts sont transmis directement aux fondations. En tête, le potelet transmettra les efforts par l'intermédiaire du contreventement longitudinal de toiture, figure 5.5. Le contreventement longitudinal de toiture est une poutre treillis ayant pour membrures la panne sablière et la première panne courante.

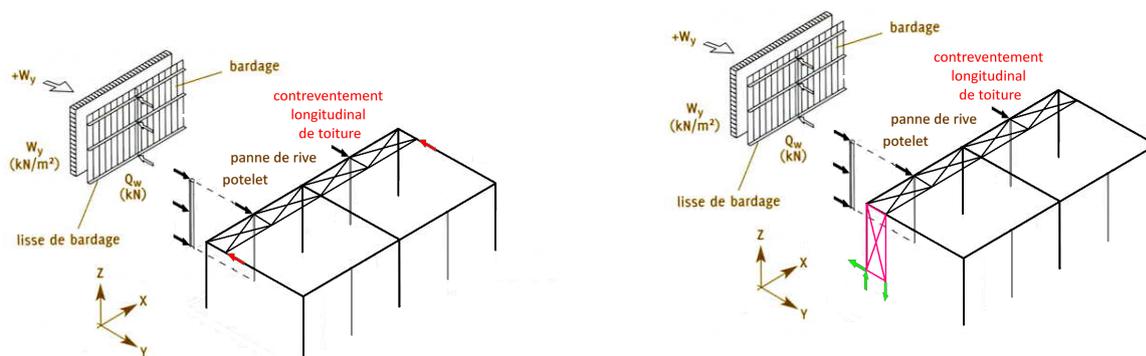


FIGURE 5.5 – Cheminement des efforts exercés en long-pan via les potelets, la poutre auvent en long-pan via les potelets

FIGURE 5.6 – Cheminement des efforts exercés en long-pan via les potelets, la poutre auvent longitudinale et les stabilités verticales en pignon

Cette poutre est donc en appui sur les portiques qui transmettront les efforts aux fondations. Dans le cas de portiques hypostatiques (non stables dans leur plan), il faut prévoir un contreventement vertical transversal de pignon afin d'assurer cette fonction, figure 5.6.

5.2.3 Efforts verticaux

Les charges verticales sont appliquées sur la couverture et/ou les planchers. Elles circulent via les pannes, les traverses avant de redescendre en fondation le long des poteaux, figure 5.7.

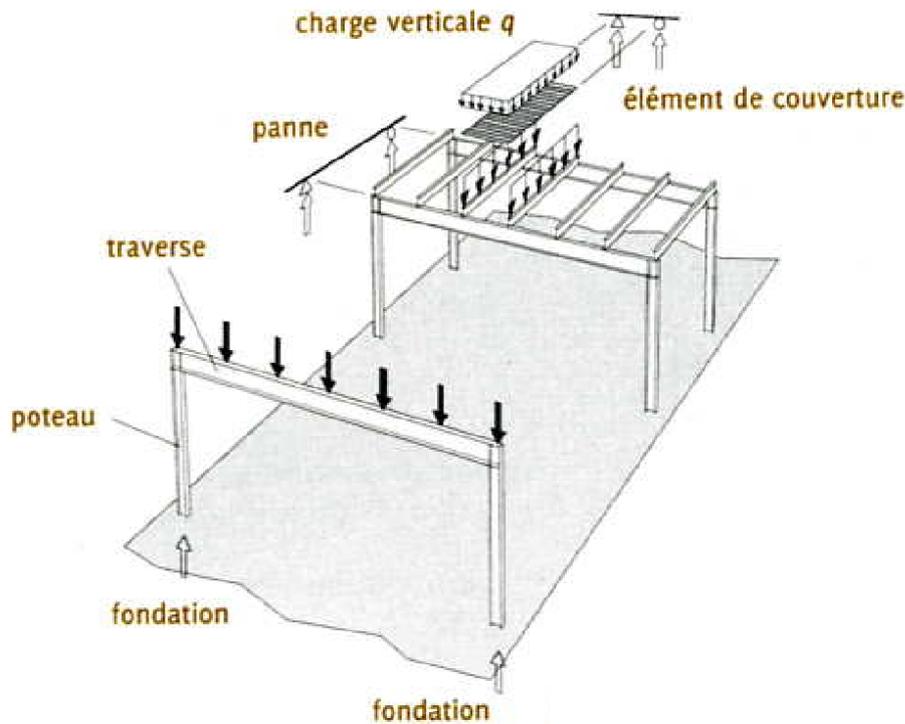


FIGURE 5.7 – Cheminement des efforts verticaux

5.3 CONSTITUTION D'UNE STRUCTURE

Une structure a nécessairement un caractère spatial car elle doit être capable de reprendre et de conduire aux fondations des actions agissant dans n'importe quelle direction. Malgré cette conception tridimensionnelle des bâtiments classiques, on peut concevoir et calculer une structure à partir de modélisations simplifiées de structures planes selon les directions principales du bâtiment.

5.3.1 Ossature porteuse

Pour une halle classique, en forme de parallélépipède rectangle, la plupart des systèmes porteurs sont constitués par des cadres ou portiques plans. Ces cadres comprennent une poutre ou traverse (supportant les pannes et la couverture) et des poteaux qui servent d'appuis à la traverse et reportent les charges vers les fondations. Les éléments structuraux du portique sont la poutre, les poteaux, ainsi que les nœuds et pieds de poteaux. La forme du portique peut être plus ou moins compliquée (traverse horizontale, inclinée, brisée, courbe, de hauteur constante ou variable). Les portiques peuvent éventuellement comporter plusieurs nefs. Les portées courantes sont de l'ordre de 10 à 30m et les travées (espace inter portique dans le sens longitudinal) sont espacées de 5 à 7m, sans dépasser 15m.

5.3.2 Statique de systèmes

Les liaisons utilisées entre les différents éléments de la structure sont des appuis simples, des articulations, et des encastremets. Suivant la répartition de ces liaisons sur un portique, on peut obtenir des structures hypostatiques, isostatiques ou hyperstatiques, figure 5.8 à 5.15.

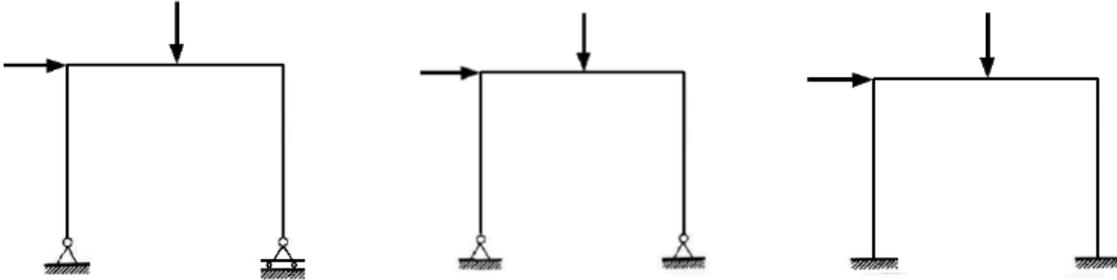


FIGURE 5.8 – Portique rigide isostatique

FIGURE 5.9 – Portique rigide hyperstatique de degré 1

FIGURE 5.10 – Portique rigide hyperstatique de degré 3

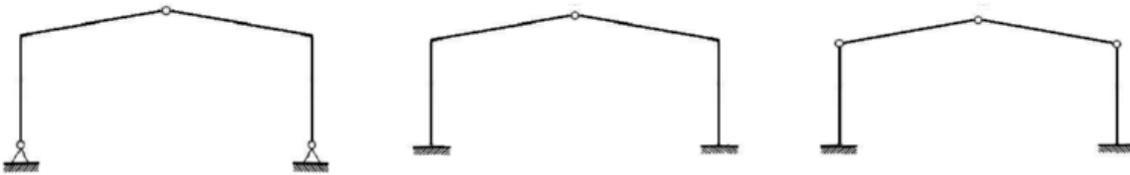


FIGURE 5.11 – Portique rigide isostatique

FIGURE 5.12 – Portique rigide hyperstatique de degré 2

FIGURE 5.13 – Portique articulé isostatique

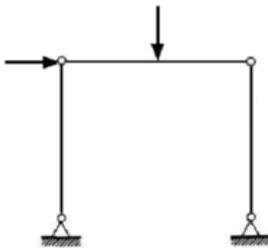


FIGURE 5.14 – Portique articulé hypostatique instable

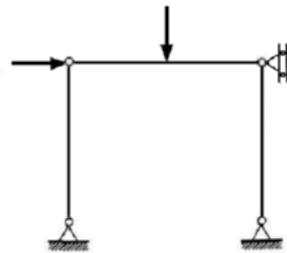


FIGURE 5.15 – Portique articulé isostatique. La stabilité est assurée par un appui donné par un contreventement

Les structures isostatiques et hyperstatiques sont stables, tandis que les structures hypostatiques sont instables. L'équilibre des structures hypostatiques peut être assuré par une réaction d'appui supplémentaire apportée par un contreventement. On parle alors de stabilité statique.

L'hyperstaticité d'une structure a pour conséquences :

- L'obtention d'une bonne répartition des moments fléchissants avec des valeurs extrêmes plus faibles que dans une structure isostatique, et donc des déplacements plus petits.
- Une bonne redistribution des efforts en cas d'endommagement d'une partie de la structure.
- Une grande sensibilité aux déplacements des appuis, tassements différentiels, variations de température, ...

Les structures isostatiques sont très peu sensibles à ces phénomènes.

La figure suivante 5.16 présente une comparaison des propriétés et caractéristiques d'une structure isostatique et d'une structure hyperstatique.

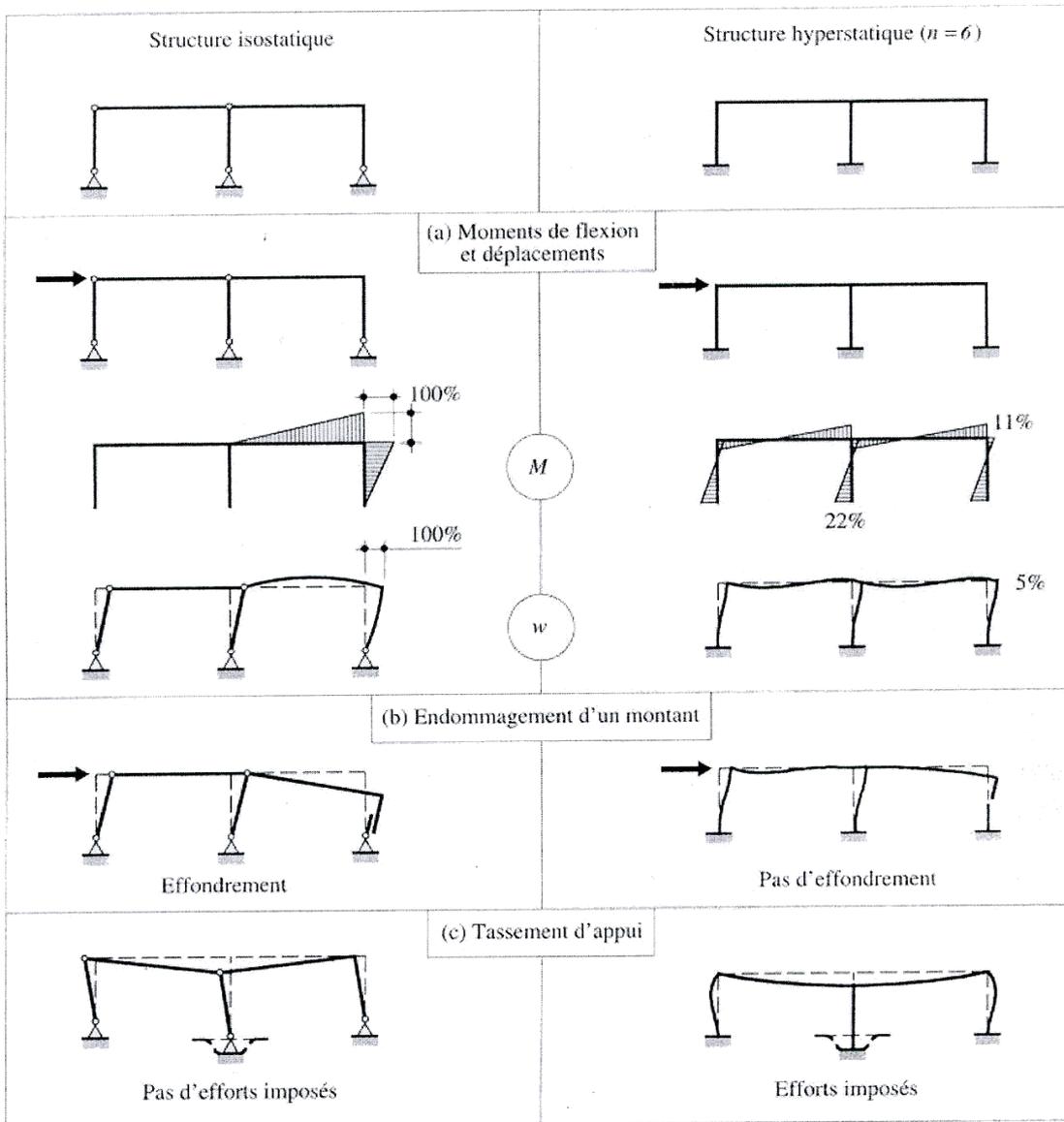


FIGURE 5.16 – Comparaison des comportements des portiques isostatiques et hyperstatiques

5.3.3 Les contreventements

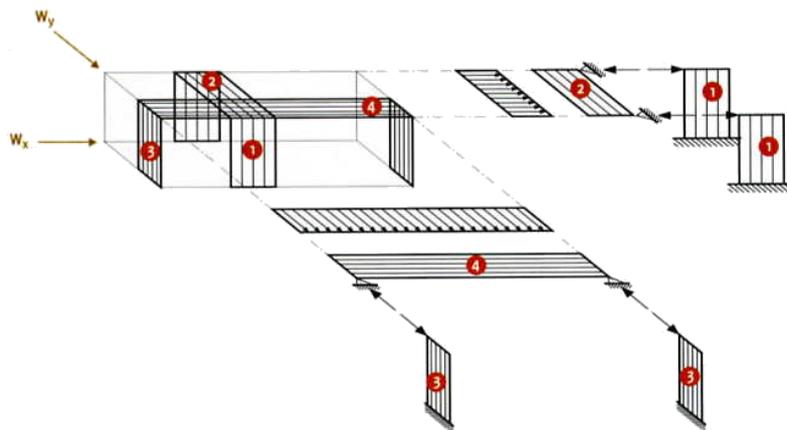
Les contreventements ont pour objectifs d'assurer trois fonctions :

- assurer la stabilité statique de la structure,
- limiter les déformations,
- assurer la stabilité de la forme.

Stabilité statique

Il s'agit ici d'assurer l'équilibre des charges horizontales agissant sur la structure, c'est-à-dire de garantir leur cheminement vers les fondations. Une halle de forme simple est stable si chaque

direction de l'espace est stabilisée. On distingue ainsi plusieurs contreventements ayant chacun leur fonction propre (figure 5.17).



- (1) Contreventement vertical longitudinal de long pan ou palée de stabilité,
- (2) Contreventement transversal de toiture,
- (3) Contreventement vertical transversal de pignon,
- (4) Contreventement longitudinal de toiture.

FIGURE 5.17 – Différents types de contreventements sur un bâtiment simple et transmission schématique des efforts horizontaux aux fondations

Les portiques sont des structures planes considérées rigides dans leur plan (transversal), mais n'ayant aucune stabilité dans la direction perpendiculaire (longitudinal).

Dans le plan longitudinal la structure fonctionne donc comme si tous les pieds de portique étaient articulés. Le contreventement vertical longitudinal de long-pan (figure 5.17.(1) et figure 5.18) ou palée de stabilité assure cette stabilité.

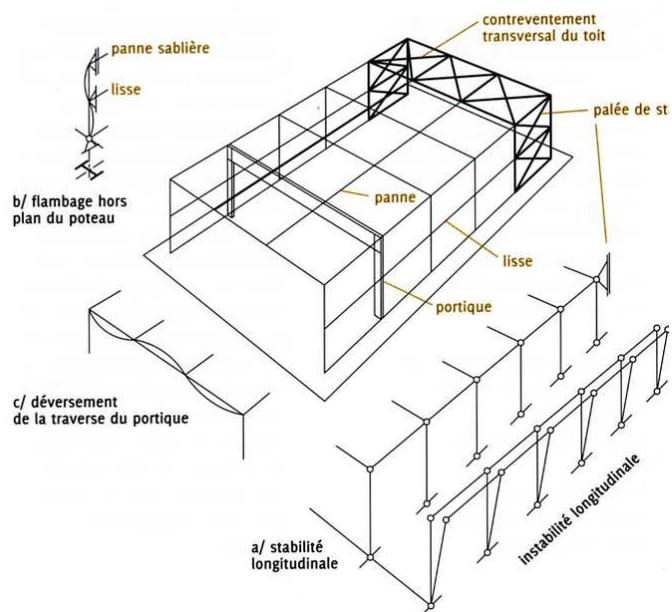


FIGURE 5.18 – Fonction stabilité statique assurée par la palée de stabilité

Limitation des déformations

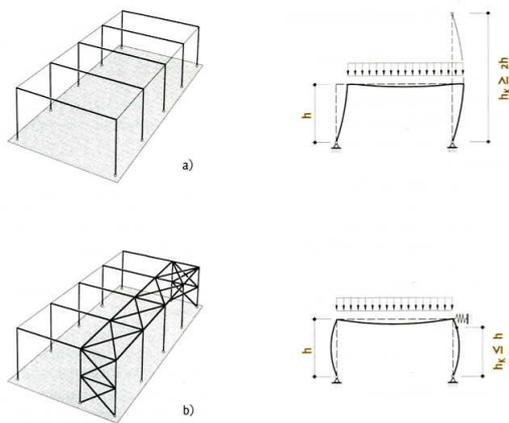


FIGURE 5.19 – Limitation des déformations des portiques par contreventements longitudinaux dans le plan de la toiture

Les halles industrielles sont souvent équipées de pont(s) roulant(s). Le fonctionnement de ceux-ci et notamment le freinage du(des) chariot(s) entraîne une charge locale importante sur le portique support qui par conséquent aura des déformations plus grandes que les portiques voisins. Les contreventements longitudinaux dans le plan de la toiture figure 5.17.(4) associés au contreventement vertical transversal de pignon figure 5.17.(3) permettent de limiter et d'homogénéiser ces déplacements sur l'ensemble des portiques.

De plus, la présence d'un contreventement vertical de pignon ou de long-pan peut réaliser un point de stabilisation latérale permettant de diminuer la longueur de flambement des poteaux du portique et donc de modifier le chargement que celui-ci peut supporter (Figure 5.19).

Stabilité de forme

Une poutre en acier soumise à une compression selon son axe va avoir tendance à se dérober et donc fléchir, c'est le phénomène de *flambement*.

Une poutre fléchie présente une semelle comprimée. Cette semelle peut aussi avoir tendance à se dérober latéralement. Ce phénomène est appelé *déversement*.

Lorsque qu'une âme de poteaux ou de poutre cloque, on appelle cela le *voilement*.

Pour diminuer la probabilité d'apparition de l'un ou de plusieurs de ces trois phénomènes, on peut :

- Augmenter la section des barres,
- Diminuer la longueur libre des barres.

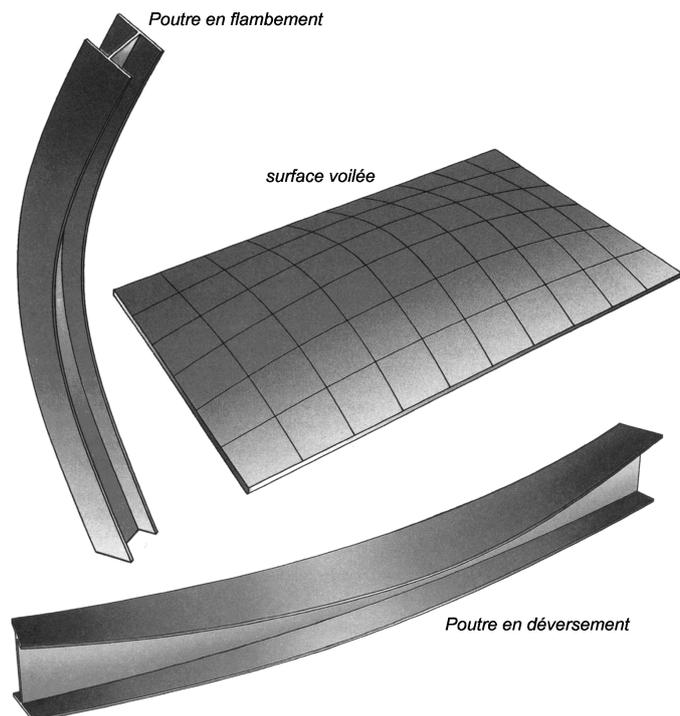


FIGURE 5.20 – Instabilités des poutres

En plus d'assurer le transfert des charges vers les fondations, les contreventements horizontaux ou verticaux permettent de créer des points d'appuis "fixes" complémentaires permettant de stabiliser les éléments porteurs comprimés.

Ainsi, pour un portique sollicité dans son plan, la présence du contreventement vertical de pignon (5.17.(3)) peut modifier la longueur de flambement et donc la charge que peut supporter le portique. La création d'appuis au moyen du contreventement transversal de toiture (5.17.(2))

permet d'augmenter la résistance au déversement des traverses.

Afin d'obtenir cette stabilisation, il est important de veiller aux liaisons entre l'élément stabilisé (le portique) et l'élément stabilisateur (le contreventement). Ces liaisons sont réalisées par les pannes en toitures et par les lisses en long-pan.

Chapitre 6

Calculs des structures en acier

6.1 NORMES

Les anciennes normes sont les règles du CM66 + l'additif 80. Depuis 1990, ces normes cohabitaient avec les nouvelles normes européennes dites EUROCODES, mais depuis mars 2010, les seules normes reconnues en matière de construction métallique (pour les marchés publics) sont les EUROCODES 3 et leurs additifs nationaux. En fait, il faut les compléter avec les EUROCODES 0 qui définissent les bases de calculs, ainsi que les EUROCODES 1 qui définissent les actions sur les structures.

6.2 BASES DE CALCUL (Eurocode 1)

6.2.1 Exigences

Une structure doit être calculée et réalisée de telle manière :

- **qu'avec une probabilité acceptable**, elle reste apte à l'utilisation pour laquelle elle a été prévue, compte tenu de sa durée de vie envisagée et de son coût,
- **qu'avec des degrés appropriés de fiabilité**, elle puisse résister à toutes les actions et autres influences susceptibles de s'exercer aussi bien pendant l'exécution que durant son exploitation et qu'elle ait une durabilité convenable en regard des coûts d'entretien.

Une structure doit également être conçue et dimensionnée de manière qu'elle ne puisse pas être endommagée par des événements tels que des explosions, chocs ou conséquences d'erreurs humaines, dans une mesure disproportionnée par rapport à leur cause d'origine.

6.2.2 Etats limites

Afin de satisfaire à ces exigences, on définira :

- **l'état limite de service (ELS)** qui correspond à l'utilisation courante et quotidienne de l'ouvrage et qui limite les déformations de la structure afin d'éviter des désordres secondaires et garantir la pérennité de l'ouvrage (limitation des flèches, ...),
- **l'état limite ultime (ELU)** qui correspond à un cas de charge exceptionnel ultime (neige trentenaire, tempête centenaire, ...), pour lequel la stabilité de l'ouvrage doit être garantie, bien qu'étant à la limite de la ruine. Un ELU est atteint lorsqu'on constate une perte d'équilibre, une instabilité de forme, une déformation plastique exagérée, une

rupture d'élément, ...

En pratique, faire un calcul à l'ELU revient à examiner la résistance, tandis qu'un calcul à l'ELS revient à examiner les déformations.

Pour les calculs aux ELU, les charges sont pondérées, alors que pour les calculs aux ELS, elles ne le sont pas.

6.3 CLASSIFICATION DES SECTIONS

Classe	Modèle de comportement	Résistance de calcul	Capacité de rotation plastique
1		Plastique sur section complète 	Importante
2		Plastique sur section complète 	Limitée
3		Élastique sur section complète 	Aucune
4		Élastique sur section efficace 	Aucune

FIGURE 6.1 – Comportements associés à chaque classe de sections

Quatre classes de section transversales ont été définies dans l'Eurocode 3 selon des critères divers (élancement, résistance, capacité de rotation plastique, ...). Les sections les plus performantes sont en classe 1, tandis que les moins performantes sont en classe 4.

- Les sections de classe 1 peuvent atteindre leur résistance plastique sans risque de voile-

ment local et possèdent une capacité de rotation importante pouvant former une rotule plastique.

- Les sections de classe 2 peuvent aussi atteindre leur résistance plastique sans risque de voilement local, mais ont une capacité de rotation limitée.
- Les sections de classe 3 peuvent atteindre leur résistance élastique en fibre extrême, mais non leur résistance plastique, du fait des risques de voilement local.
- Les sections de classe 4 ne peuvent pas atteindre leur résistance élastique du fait des risques de voilement local.

Pour déterminer la classe d'une section, on détermine successivement les classes des différentes parties de la section :

- paroi(s) comprimé(s) interne(s) à l'aide de la figure 6.2,
- semelle(s) en console à l'aide de la figure 6.3,

puis on affecte à l'ensemble de la section la classe de la partie la plus défavorable. La classe d'une section dépend du type de sollicitation.

Une paroi en traction ne présente pas de risque d'instabilité. On pourra donc la considérer en classe 1.

L'utilisation et la lecture des figures 6.2 et 6.3 sont détaillées dans la section suivante.

Parois comprimées internes						
Classe	Paroi fléchie	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	lorsque $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67+0,33\psi}$ lorsque $\psi \leq -1$ *) : $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

FIGURE 6.2 – Classe des sections : Parois internes comprimées

Pour la colonne "paroi fléchie et comprimée" de la figure 6.2 et dans le cas d'une section en I, [20] montre qu'en écrivant l'équilibre d'un tronçon de poutre, on arrive aux expressions de α et ψ suivantes :

- en classe 1 et 2 : (en gardant le signe de N_{Ed} , négatif en compression et positif en traction)

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot c \cdot t_w} \right]$$

- en classe 3 : (en gardant le signe de N_{Ed} , négatif en compression et positif en traction)

$$\psi = -2 \cdot \frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y} - 1$$

Semelles en console						
Classe	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée				
		Extrémité comprimée		Extrémité tendue		
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour k_σ , voir l'EN 1993-1-5				
$c = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

FIGURE 6.3 – Classe des sections : Semelles en console

Avec :

$$c = 0,5 \cdot (b - t_w) - r$$

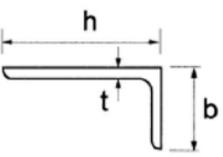
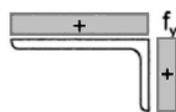
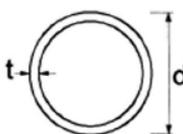
Cornières						
Consulter également «Semelles en console» (voir feuille 2 sur 3)		Ne s'applique pas aux cornières en contact continu avec d'autres composants				
Classe	Section comprimée					
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon$ et $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
Sections tubulaires						
						
Classe	Section fléchie et/ou comprimée					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
NOTE : Pour $d/t > 90\varepsilon^2$, voir l'EN 1993-1-6.						
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

FIGURE 6.4 – Classe des sections : Cornières

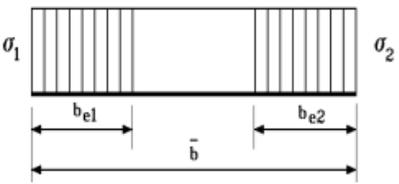
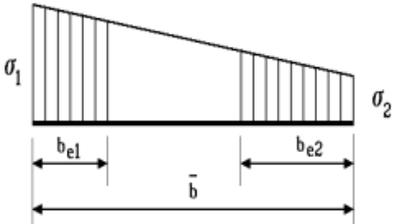
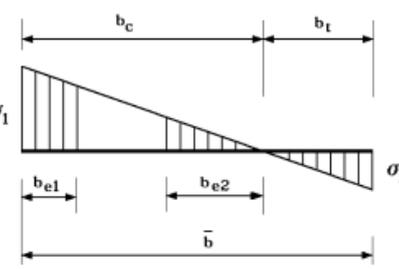
Répartition des contraintes (compression positive)				Largeur efficace b_{eff}		
				$\Psi = 1 :$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$		
				$1 > \Psi \geq 0 :$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2 b_{\text{eff}}}{5 - \Psi}$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$		
				$\Psi < 0 :$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = (\rho \bar{b}) / (1 - \Psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$		
$\Psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \Psi > 0$	0	$0 > \Psi > -1$	-1	$-1 > \Psi > -2$
Coefficient de voilement k_{σ}	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \Psi}$	7,81	$7,81 - 6,29 \Psi + 9,78 \Psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \Psi)^2$
En alternative, pour $1 \geq \Psi \geq -1 :$						
$k_{\sigma} = \frac{16}{\left[(1 + \Psi)^2 + 0,112 (1 - \Psi)^2 \right]^{0,5} + (1 + \Psi)}$						

FIGURE 6.5 – Classe des sections : Classification en fonction de l'élancement

Répartition des contraintes (compression positive)		Largeur efficace b_{eff}			
		$1 > \Psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\Psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\Psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -1$	
Coefficient de voilement k_{σ}	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$	
		$1 > \Psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$			
		$\Psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\Psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Coefficient de voilement k_{σ}	0,43	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	1,70	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$	
					23,8

FIGURE 6.6 – Classe des sections : Classification en fonction de l'élancement

6.3.1 Utilisation des figures 6.2 et 6.3

Cas d'un élément sollicité en compression uniquement

Dans le cas d'un élément sollicité uniquement en compression, toutes les fibres de la section sont en compression. Pour l'âme, on utilisera donc la colonne "paroi comprimée" de la figure 6.2 et pour la semelle la colonne "paroi comprimée" de la figure 6.3.

Cas d'un élément sollicité en flexion uniquement autour de l'axe fort

Dans le cas d'un élément sollicité uniquement en flexion autour de l'axe fort, la section subit une répartition de contraintes bi-triangulaire. Une semelle est en compression, l'âme est en compression et traction et la seconde semelle en traction. Pour l'âme, on utilisera donc la colonne "paroi fléchie" de la figure 6.2 et pour la semelle la colonne "paroi comprimée" de la figure 6.3. La semelle en traction sera considérée comme en classe 1.

Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe fort

Dans le cas d'un élément sollicité en flexion composée (traction-compression + flexion), la section subit une répartition de contraintes bi-triangulaire ou bi-rectangulaire. L'axe neutre se déplace vers la semelle en traction dans le cas d'une compression-flexion ou vers la semelle en compression dans le cas d'une traction-flexion. Une semelle est en compression, l'âme est en compression-traction et la seconde semelle en traction. Pour l'âme, on utilisera donc la colonne "paroi fléchie et comprimée" de la figure 6.2 et pour la semelle la colonne "paroi comprimée" de la figure 6.3.

Classe 1 ou 2

Si la section est en classe 1 ou 2, la répartition des contraintes dans la section peut correspondre au schéma de la figure 6.7. On peut déterminer la classe de la section à partir de la figure 6.2, colonne "paroi fléchie et comprimée", et de la connaissance de la valeur de la distance α .

Cette distance α peut être déterminée en écrivant l'équilibre du tronçon de l'élément situé à gauche de la surface de coupure. Etant donné que les efforts repris par les deux semelles s'équilibrent, l'équation d'équilibre donne :

$$N_{Ed} = f_y \cdot \alpha \cdot c \cdot t_w - f_y \cdot (1 - \alpha) \cdot c \cdot t_w$$

soit :

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{N_{Ed}}{f_y \cdot c \cdot t_w} + 1 \right]$$

Si $\alpha \leq 0,5$, l'axe neutre s'est déplacé vers la semelle comprimée, on est alors dans la configuration d'une traction-flexion et il faut alors utiliser $-N_{Ed}$ dans la formule. Si par contre $\alpha > 0,5$, l'axe neutre s'est déplacé vers la semelle tendue, on est alors dans la configuration d'une compression-flexion.

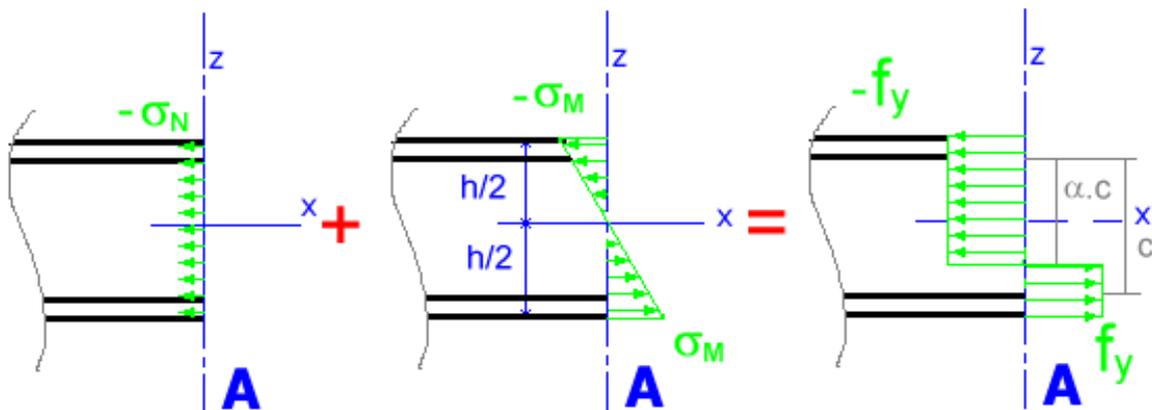


FIGURE 6.7 – Répartition des contraintes en compression-flexion : Classe 1 ou 2

Classe 3 ou 4

Si la section est en classe 3 ou 4, la répartition des contraintes dans la section peut correspondre au schéma de la figure 6.8. On peut déterminer la classe de la section à partir de la figure 6.2 et de la connaissance de la valeur du rapport ψ .

Sur la semelle comprimée, la somme des contraintes normales σ_N dues à l'effort normal et σ_{My} dues au moment fléchissant peut atteindre (sans la dépasser) la valeur de la limite élastique du matériau f_y . On peut donc écrire à la limite l'équation (1) $f_y = \sigma_N + \sigma_{My}$.

Sur la semelle tendue, les sens des contraintes sont opposées. On peut donc atteindre une valeur de contrainte $-\sigma_N + \sigma_{My}$ noté aussi $\psi.f_y$, soit l'équation (2) $\psi.f_y = -\sigma_N + \sigma_{My}$. En faisant la différence des équations (1)-(2), on obtient :

$$(1 + \psi).f_y = 2.\sigma_N = 2.\frac{N_{ed}}{A}$$

soit :

$$\psi = 2.\frac{N_{ed}}{A.f_y} - 1$$

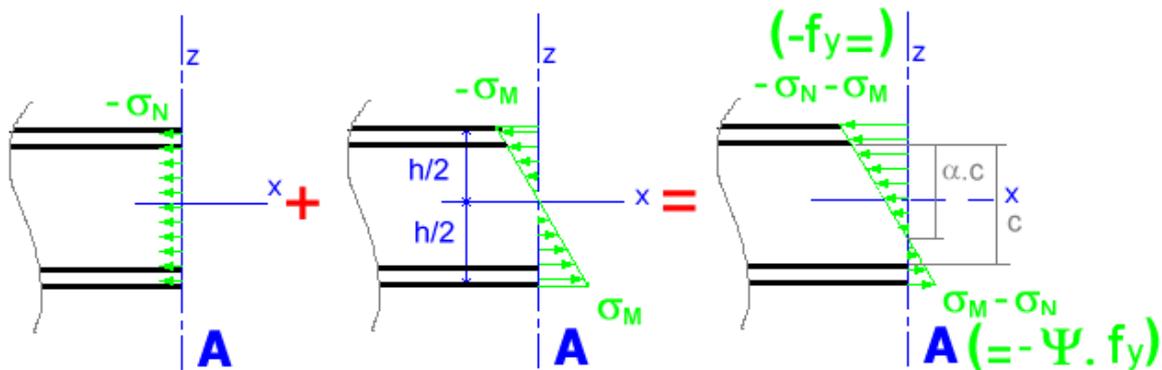


FIGURE 6.8 – Répartition des contraintes en compression-flexion : Classe 3 ou 4

Cas d'un élément sollicité en flexion uniquement autour de l'axe faible

Dans le cas d'un élément sollicité uniquement en flexion autour de l'axe faible, la section subit une répartition de contraintes bi-triangulaire. Une semelle est en compression, l'âme est en compression et traction respectivement sur la moitié de son épaisseur et la seconde semelle en traction.

Pour l'âme, on utilisera donc la colonne "paroi fléchie" de la figure 6.2 en prenant pour c l'épaisseur de l'âme et pour t la hauteur de l'âme (respectivement t_w et d dans le catalogue ArcelorMittal) et pour la semelle la colonne "paroi comprimée" de la figure 6.3.

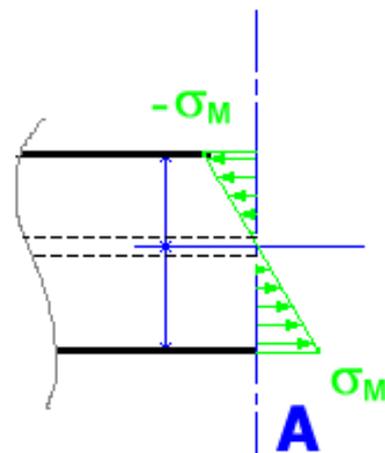


FIGURE 6.9 – Répartition des contraintes en flexion pure autour de l'axe faible

Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe faible : Traction-Flexion

Dans le cas d'une sollicitation en Traction-Flexion autour de l'axe faible du profilé, on a une répartition de contrainte normale du type de celle représentée en figure 6.10 avec un déplacement de l'axe neutre vers la paroi comprimée. L'âme et l'une des semelles sont en sollicitation de traction et le problème de leur classe ne se pose pas. L'autre semelle est comprimée à son extrémité et tendue dans la partie proche de l'âme.

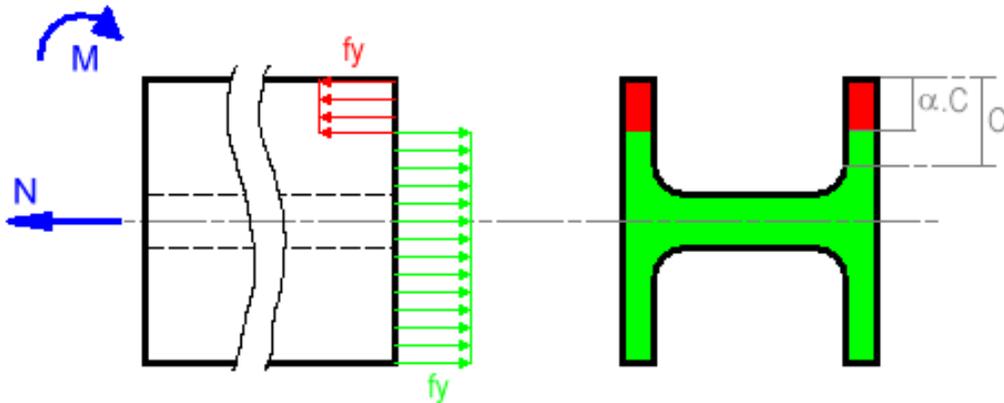


FIGURE 6.10 – Traction-flexion autour de l'axe faible, extrémité de semelle comprimée

La classe de cette semelle peut-être déterminée à l'aide de la colonne "Paroi fléchie et comprimée - extrémité comprimée" de la figure 6.3. La détermination de la classe de la semelle dépend du paramètre α . La valeur de ce paramètre peut être calculé en écrivant l'équilibre du profilé situé à gauche de la section. L'équation d'équilibre s'écrit :

$$-N - 2.\alpha.c.t_f.f_y + l(A - 2.\alpha.c.t_f).f_y = 0$$

soit :

$$-N - 4.\alpha.c.t_f.f_y + A.f_y = 0$$

ou

$$\alpha = \frac{A.f_y - N}{4.c.t_f.f_y} \quad \text{avec : } 0 \leq \alpha \leq 1$$

Remarques :

- si $\alpha \leq 0$ alors l'ensemble de la section est en traction et cela se produit pour $N > A.f_y$, ce qui implique que la tenue en section est impossible car $N < N_{pl}$!
- si $\alpha \geq 1$ alors l'ensemble de la semelle est en compression, on peut alors utiliser la colonne "Paroi comprimée" de la figure 6.3
- Au final l'utilisation de cette colonne est soumise à la condition suivante :

$$A.f_y \geq N \geq (A - 4.c.t_f).f_y \quad \text{avec : } c = \frac{b - t_w - 2.r}{2}$$

voir figure 6.11

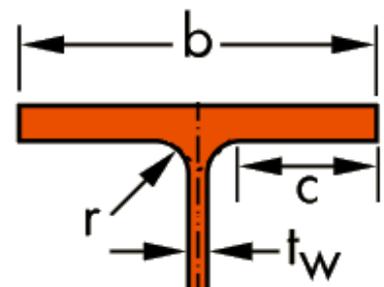


FIGURE 6.11 – Valeur de c pour une semelle d'IPE

cas ou $N \leq (A - 4.c.t_f).f_y$:

Si $N \leq (A - 4.c.t_f).f_y$, la fibre neutre se situe entre l'intersection du rayon de raccordement et de la semelle, et l'axe z-z de l'IPE. On peut alors considérer deux cas de figure décrits ci dessous :

- L'axe neutre se trouve dans le congé de raccordement :

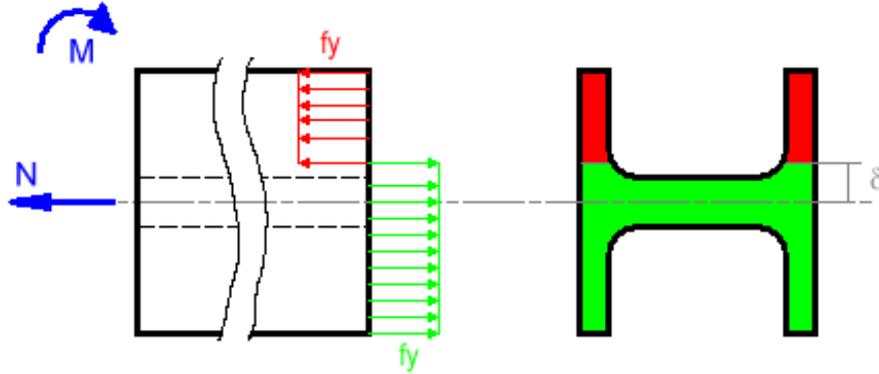


FIGURE 6.12 - Traction-flexion autour de l'axe faible : axe neutre dans le congé de raccordement

On rencontre ce cas lorsque la distance δ (figure 6.12) entre l'axe neutre et l'axe z-z de symétrie de l'IPE est telle que :

$$\frac{t_w}{2} \leq \delta \leq \frac{t_w}{2} + r$$

- la condition limite $\delta = \frac{t_w}{2} + r$ correspond à la valeur $N = [A - 4.\frac{b-t_w-2.r}{2}.t_f].f_y$ rencontrée précédemment
- pour le cas de l'autre limite $\delta = \frac{t_w}{2}$, écrivons l'équilibre du tronçon de poutre situé à droite de la coupure. On obtient :

$$-N - 2. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) . t_f + r^2 . \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] . f_y + \left[A - 2. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) . t_f + r^2 . \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \right] . f_y = 0$$

soit :

$$N = A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) . t_f + r^2 . \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] . f_y$$

- L'axe neutre se trouve dans l'épaisseur de l'âme :

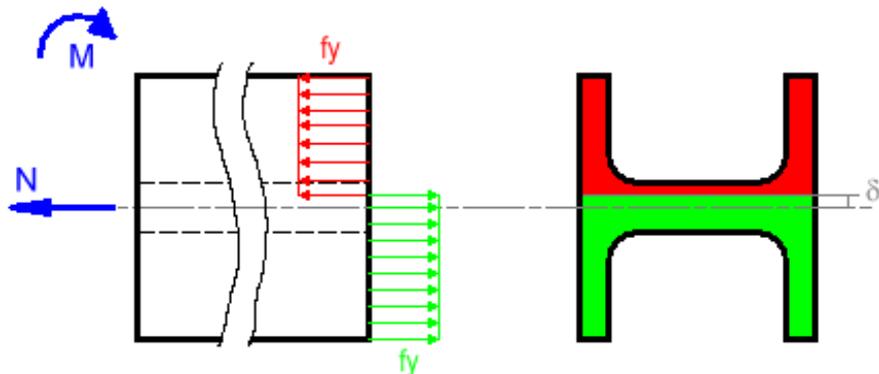


FIGURE 6.13 - Traction-flexion autour de l'axe faible : axe neutre dans l'épaisseur de l'âme

On rencontre ce cas lorsque la distance δ entre l'axe neutre et l'axe z-z de symétrie de l'IPE est telle que :

$$\delta \leq \frac{t_w}{2}$$

Ce qui se produit pour

$$N \leq A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y$$

En résumé :

Si on récapitule, on obtient en **sollicitation de Traction-Flexion** et selon les valeurs de N :

- cas 1 :

$$N \leq A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y$$

- L'âme est sollicitée en compression dans sa partie supérieure et en traction dans sa partie inférieure on utilise la figure 6.2, colonne "paroi fléchie-comprimée" avec $\alpha > 0,5$ en prenant $c = t_w$ et $t = d$
- Deux demi-semelles sont en compression uniquement, figure 6.3, colonne "paroi comprimée"
- Deux demi-semelles sont en traction uniquement, on les considère donc en classe 1

- cas 2 :

$$A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y \leq N \leq \left[A - 4. \frac{b-t_w-2.r}{2} .t_f \right] .f_y$$

- L'âme et deux demi-semelles sont sollicitées en traction uniquement. On les considère donc en classe 1.
- Les deux autres demi-semelles sont en compression uniquement, figure 6.3, colonne "paroi comprimée"

- cas 3 :

$$\left[A - 4. \frac{b-t_w-2.r}{2} .t_f \right] .f_y \leq N \leq A.f_y$$

- L'âme et deux demi-semelles sont sollicitées en traction uniquement. On les considère donc en classe 1.
- Les deux autres demi-semelles sont en traction-compression. on utilise la valeur $\alpha = \frac{A.f_y - N}{4.c.t.f_y}$ pour trouver leur classe à l'aide de la figure 6.3, colonne "Paroi fléchie et comprimée - extrémité comprimée" et en prenant $c = t_w$ et $t = d$.

Remarque : Dans le cas où les demi-semelles en traction-compression ne sont ni en classe 1, ni en classe 2, il peut paraître plus simple (et sécurisant) de considérer une classe 4 plutôt que de tester si elles sont en classe 3, ce qui obligerait à considérer des phénomènes de voilement.

Cas d'un élément sollicité en flexion composée autour de l'axe faible : Compression-Flexion

Dans le cas d'une sollicitation en Compression-Flexion autour de l'axe faible du profilé, on a une répartition de contrainte normale du type de celle représentée en figure 6.14 avec un déplacement de l'axe neutre vers la paroi tendue. L'âme et l'une des semelles sont en sollicitation de compression et leurs classes peuvent être déterminées à l'aide des colonnes "Paroi comprimée" des figures 6.3 et 6.2 . L'autre semelle est tendue à son extrémité et comprimée dans la partie proche de l'âme.

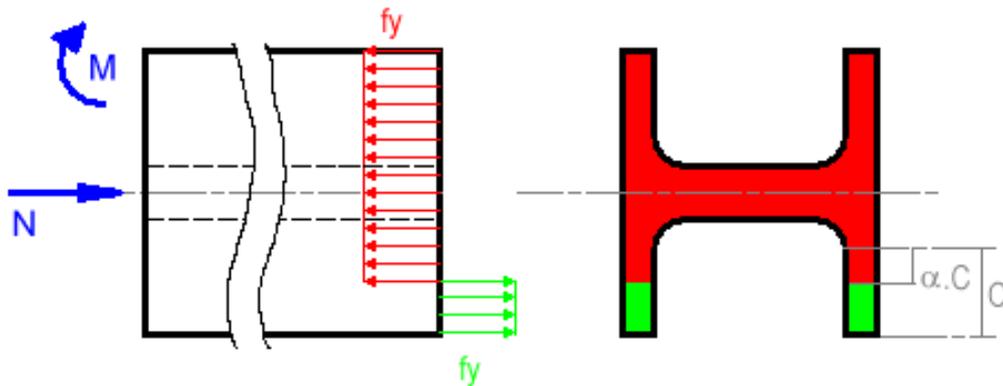


FIGURE 6.14 – Compression-flexion autour de l'axe faible, extrémité de semelle tendue

La classe de cette semelle peut-être déterminée à l'aide de la colonne "Paroi fléchie et comprimée - extrémité tendue" de la figure 6.3. La détermination de la classe de la semelle dépend du paramètre α . Là encore, la valeur de ce paramètre peut être calculé en écrivant l'équilibre du profilé situé à gauche de la section. L'équation d'équilibre s'écrit :

$$N + 2.c.(1 - \alpha).t_f.f_y - (A - 2.c.(1 - \alpha).t_f).f_y = 0$$

soit :

$$N + 4.c.(1 - \alpha).t_f.f_y - A.f_y = 0$$

ou

$$\alpha = \frac{N - A.f_y}{4.c.t_f.f_y} + 1 \quad \text{avec : } 0 \leq \alpha \leq 1$$

Remarques :

- si $\alpha \geq 1$ alors l'ensemble de la section est en compression et cela se produit pour $N \geq (A + 4.c.t_f).f_y$, ce qui implique que la tenue en section est impossible! ($N \leq A.f_y$)
- si $\alpha < 0$ alors l'ensemble de la semelle est en traction, on peut alors considérer cette semelle en classe 1. Cette configuration arrive lorsque $N \leq (A - 4.c.t_f).f_y$
- Au final l'utilisation de cette colonne est soumise à la condition suivante :

$$A.f_y \geq N \geq (A - 4.c.t_f).f_y \quad \text{avec : } c = \frac{b - t_w - 2.r}{2}$$

pour c , voir figure 6.11

cas ou $N \leq (A - 4.c.t_f).f_y$:

Si $N \leq (A - 4.c.t_f).f_y$, la fibre neutre se situe entre l'intersection du rayon de raccordement et de la semelle, et l'axe z-z de l'IPE. On peut alors considérer deux cas de figure décrits ci dessous :

- L'axe neutre se trouve dans le congé de raccordement :

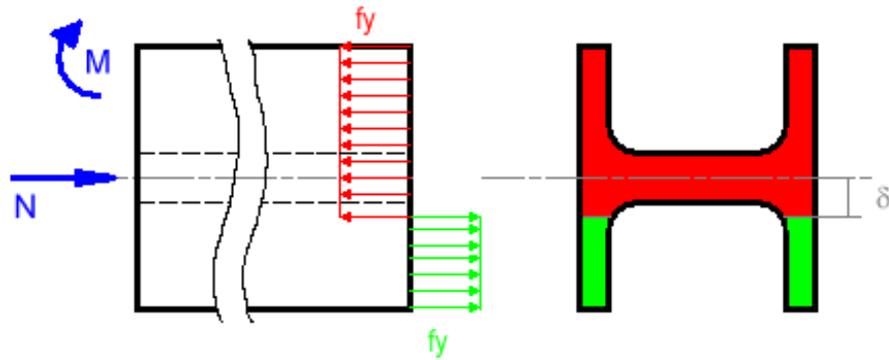


FIGURE 6.15 – Compression-flexion autour de l'axe faible : axe neutre dans le congé de raccordement

On rencontre ce cas lorsque la distance δ entre l'axe neutre et l'axe z-z de symétrie de l'IPE est telle que :

$$\frac{t_w}{2} \leq \delta \leq \frac{t_w}{2} + r$$

- la condition limite $\delta = \frac{t_w}{2} + r$ correspond à la valeur $N = [A - 4 \cdot \frac{b-t_w-2 \cdot r}{2} \cdot t_f] \cdot f_y$ rencontrée précédemment
- pour le cas de l'autre limite $\delta = \frac{t_w}{2}$, écrivons l'équilibre du tronçon de poutre situé à droite de la coupure. On obtient :

$$-N - 2 \cdot \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) \cdot t_f + r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot f_y + \left[A - 2 \cdot \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) \cdot t_f + r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \right] \cdot f_y = 0$$

soit :

$$N = A \cdot f_y - 4 \cdot \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) \cdot t_f + r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot f_y$$

- L'axe neutre se trouve dans l'épaisseur de l'âme :

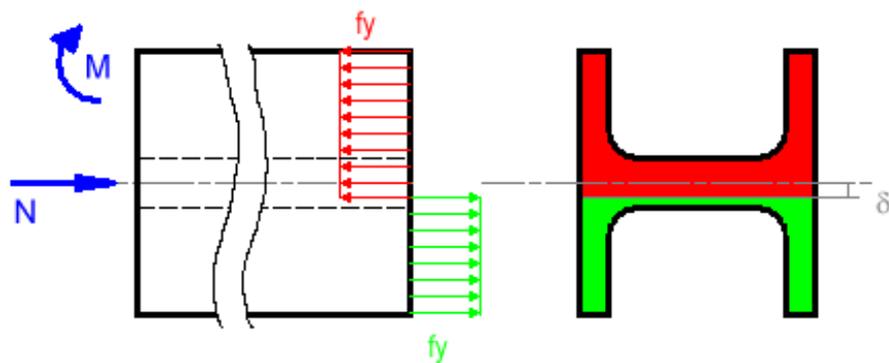


FIGURE 6.16 – Compression-flexion autour de l'axe faible : axe neutre dans l'épaisseur de l'âme

On rencontre ce cas lorsque la distance δ entre l'axe neutre et l'axe z-z de symétrie de l'IPE est telle que :

$$\delta \leq \frac{t_w}{2}$$

Ce qui se produit pour

$$N \leq A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y$$

En résumé :

Si on récapitule, on obtient en **sollicitation de Compression-Flexion** et selon les valeurs de N :

- cas 1 :

$$N \leq A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y$$

- L'âme est sollicitée en compression dans sa partie contenant l'axe de symétrie de la section et en traction dans l'autre partie ; on utilise la figure 6.2, colonne "paroi fléchie-comprimée" avec $\alpha \leq 0,5$ en prenant $c = t_w$ et $t = d$.
- Deux demi-semelles sont en compression uniquement, figure 6.3, colonne "paroi comprimée".
- Deux demi-semelles sont en traction uniquement, on les considère donc en classe 1.

- cas 2 :

$$A.f_y - 4. \left[\left(\frac{b-t_w}{2} \right) .t_f + r^2. \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] .f_y \leq N \leq \left[A - 4. \frac{b-t_w-2.r}{2} .t_f \right] .f_y$$

- L'âme est sollicitée en compression uniquement. On utilise la figure 6.2, colonne "paroi comprimée".
- Deux demi-semelles sont en compression uniquement, figure 6.3, colonne "paroi comprimée".
- Deux demi-semelles sont en traction uniquement, on les considère donc en classe 1.

- cas 3 :

$$\left[A - 4. \frac{b-t_w-2.r}{2} .t_f \right] .f_y \leq N \leq A.f_y$$

- L'âme est sollicitée en compression uniquement. On utilise la figure 6.2, colonne "paroi comprimée".
- Deux demi-semelles sont en compression uniquement, figure 6.3, colonne "paroi comprimée".
- Les deux autres demi-semelles sont en traction-compression. on utilise la valeur $\alpha = \frac{A.f_y - N}{4.c.t.f_y}$ pour trouver leur classe à l'aide de la figure 6.3, colonne "Paroi fléchie et comprimée - extrémité comprimée".

Remarque : Dans le cas où les demi-semelles en traction-compression ne sont ni en classe 1, ni en classe 2, il peut paraître plus simple (et sécurisant) de considérer une classe 4 plutôt que de tester si elles sont en classe 3, ce qui oblige à considérer des phénomènes de voilement.

6.4 ETAPES DE LA VERIFICATION D'UNE STRUCTURE

Les vérifications dépendent du type de « structure ».

Les ossatures doivent être vérifiées quant à :

- la résistance des sections transversales,
- la résistance des éléments,
- la résistance des assemblages,
- la stabilité d'ensemble,
- l'équilibre statique.

Les éléments tendus doivent seulement être vérifiés quant à :

- la résistance des sections transversales

6.4.1 Vérification à l'ELU

Les vérifications sont menées sous charges pondérées.

Les effets sur les éléments structuraux individuels sont déterminés par l'analyse.

Chaque élément est dimensionné comme un composant isolé.

Les vérifications dépendent du type d'élément.

6.4.2 Vérification à l'ELS

Les flèches limites sont classées selon les catégories suivantes :

- toitures en général,
- toitures supportant fréquemment du personnel autre que pour l'entretien,
- planchers en général,
- planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou autres matériaux fragiles ou rigides,
- planchers supportant des poteaux,
- cas où la flèche peut nuire à l'aspect du bâtiment.

Les effets dynamiques à considérer sont :

- les vibrations provoquées par les machines,
- les vibrations auto induites.

Des fréquences propres de la structure différentes de celles de la source d'excitation évitent la résonance. Les vibrations des structures où le public peut se déplacer doivent être limitées pour éviter l'inconfort. La vérification se réalise par analyse dynamique.

Valeur limite inférieure de la fréquence propre :

- 3 Hz pour les planchers où des personnes se déplacent régulièrement,
- 5 Hz pour les planchers des salles de sport ou de danse.

Une méthode alternative consiste à garantir une rigidité convenable en limitant les flèches.

6.5 ACTIONS SUR LES STRUCTURES

6.5.1 Généralités

Par *Actions* ou *Charges*, on entend Forces ou Couples dûs aux charges, et déformations imposées à la construction.

Ces actions sont classées en trois catégories :

Les charges permanentes **G**

On entend par charges permanentes, les charges dues aux :

- poids propres,
- poids des équipements et accrochages fixes,
- déplacements différentiels des appuis,
- actions de précontrainte.

Les charges variables **Q**

Sont considérées comme telles, les :

- charges d'exploitation, charges de montage, d'essai,
- actions du vent,
- actions de la neige,
- actions des gradients thermiques.

Les charges accidentelles **A**

Ces actions sont dues à des évènements extraordinaires, comme des :

- explosions,
- chocs de véhicules,
- phénomènes naturels (séisme, raz de marée...).

6.5.2 Combinaisons d'actions selon l'Eurocode 3

Pour déterminer un chargement à l'EUROCODE 3, Les valeurs des différentes actions sont combinées entre elles et leurs valeurs sont affectées de divers coefficients :

- coefficients partiels de sécurité γ ,
- coefficients de combinaison ψ (facteurs liés à la probabilité d'occurrence de la combinaison de plusieurs actions variables, dont les valeurs ne peuvent être maximales simultanément).

Combinaisons à l'ELU

- Combinaison fondamentale :

$$\sum \gamma_G \cdot G + \gamma_{Q_1} \cdot Q_1 + \sum \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q$$

Avec G les actions permanentes, Q_1 une action variable "de base" et éventuellement Q les autres actions variables d'accompagnement avec leurs valeurs de combinaisons $\psi_0 \cdot Q$.

- Combinaison simplifiée :

$$\sum \gamma_G \cdot G + \sum \gamma_Q \cdot Q$$

ou

$$\sum \gamma_G \cdot G + 0,9 \cdot \sum \gamma_Q \cdot Q$$

Combinaisons à l'ELS

- Combinaisons rares :

$$\sum G + Q_1 + \sum \psi_0 \cdot Q$$

- Combinaisons fréquentes :

$$\sum G + \psi_1 \cdot Q_1 + \sum \psi_2 \cdot Q$$

- Combinaisons quasi-permanentes :

$$\sum \gamma_G \cdot G + \sum \psi_2 \cdot Q$$

Coefficients partiels de sécurité

Les valeurs des coefficients de sécurité utilisés dans les formules précédentes sont données dans le tableau 6.1 ci dessous :

TABLE 6.1 – Coefficients partiels de sécurité

	Charges permanentes	Charges variables	Charges accidentelles
Effet défavorable	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_A = 1,00$
Effet favorable	$\gamma_G = 1,0$	$\gamma_Q = 1,0$	$\gamma_A = 1,0$

Coefficients de combinaison

Une action variable possède plusieurs valeurs représentatives qui dépendent de sa durée d'application et de sa fréquence

- valeur caractéristique : Q
- valeur de combinaison ou rare : $\psi_0 \cdot Q$
- valeur fréquente : $\psi_1 \cdot Q$
- valeur quasi-permanente : $\psi_2 \cdot Q$

Les valeurs de ψ figurent dans le tableau 6.2 qui suit :

TABLE 6.2 – Valeurs des coefficients de combinaison

CHARGES D'EXPLOITATION G	BATIMENTS NON INDUSTRIELS				
	Nature du local	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
	Locaux à places assises ou couchées : Réunion – Classes – Dortoir - Restaurants	0,67	0,65	0,40	
	Locaux de transit : Halles diverses - expositions			0,25	
	Locaux à places debout et utilisation périodiques : Réunion – Culte – Sport - Danse	0,78	0,75	0,65	
	Autres				
	Parcs de stationnement	0,78	0,90	0,80	
	Archives				
	BATIMENTS INDUSTRIELS				
	Nature des charges	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
	Poids des installations, unités de productions (y compris coefficient dynamique)	0,87	1	1	
	Effets des matériels roulants lourds			0	
	Charge uniforme équivalente (personnel, approvisionnements, déchets, matériels roulants légers)	0,67	0,77	0,65	
NEIGE S	Altitude < 500 m			0,15	0
	Altitude > 500 m			0,30	0,10
VENT W		0,20	0		
TEMPERATURE T	0,53	0,50			

6.5.3 Facteurs partiels de sécurité

Les résistances de calcul sont affectées de facteur partiel de sécurité γ , dont les valeurs sont :

Calcul des sections transversales

- Sections brutes de classe 1,2 et 3 : $\gamma_{M0} = 1$ (ou 1,1 pour des aciers non agréés)
- Sections brutes de classe 4 : $\gamma_{M1} = 1,0$ (la valeur initiale était de 1,1)
- Sections nettes au droit des trous : $\gamma_{M2} = 1,25$

Calcul des pièces à l'instabilité élastique

- Flambement : $\gamma_{M1} = 1,0$ (la valeur initiale était de 1,1)
- Déversement : $\gamma_{M1} = 1,0$ (la valeur initiale était de 1,1)
- Voilement : $\gamma_{M1} = 1,0$ (la valeur initiale était de 1,1)

Calcul des assemblages

- Assemblages par boulons non précontraints
 - Sollicités au cisaillement : $\gamma_{MB} = 1,25$
 - Sollicités à la traction : $\gamma_{MB} = 1,50$
- Assemblages par boulons précontraints
 - A l'ELU
 - ▷ Trous à tolérances normales : $\gamma_{MS} = 1,25$
 - ▷ Trous oblongs : $\gamma_{MS} = 1,40$
 - A l'ELS
 - ▷ Trous à tolérances normales : $\gamma_{MS} = 1,1$
- Assemblages par soudure
 - Acier S235 : $\gamma_{Mw} = 1,25$
 - Acier S275 : $\gamma_{Mw} = 1,30$
 - Acier S355 : $\gamma_{Mw} = 1,35$

6.5.4 Valeurs limites des déformations

Il n'existe pas de valeurs limites imposées réglementairement car elles dépendent de divers critères, propres à chaque construction.

Un simple entrepôt n'exigera pas une grande rigidité de structure alors que des installations telles que ponts roulants, ascenseurs, façade vitrées... ne toléreront que des déformations très limitées.

L'Eurocode 3 ne fait que des recommandations dont les valeurs limites restent approximatives :

Verticalement

- Toitures :
 - $w_{max} < \frac{L}{200}$ avec $w_3 < \frac{L}{250}$
- Toitures supportant du personnel autre que pour l'entretien :
 - $w_{max} < \frac{L}{200}$ avec $w_3 < \frac{L}{300}$
- Planchers :
 - $w_{max} < \frac{L}{250}$ avec $w_3 < \frac{L}{250}$

- Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou autres matériaux fragiles ou rigides :

$$w_{max} < \frac{L}{250} \text{ avec } w_3 < \frac{L}{350}$$

- Planchers supportant des poteaux :

$$w_{max} < \frac{L}{400} \text{ avec } w_3 < \frac{L}{500}$$

- Cas où la flèche w_{max} peut nuire à l'aspect du bâtiment :

$$w_{max} < \frac{L}{250}$$

Avec :

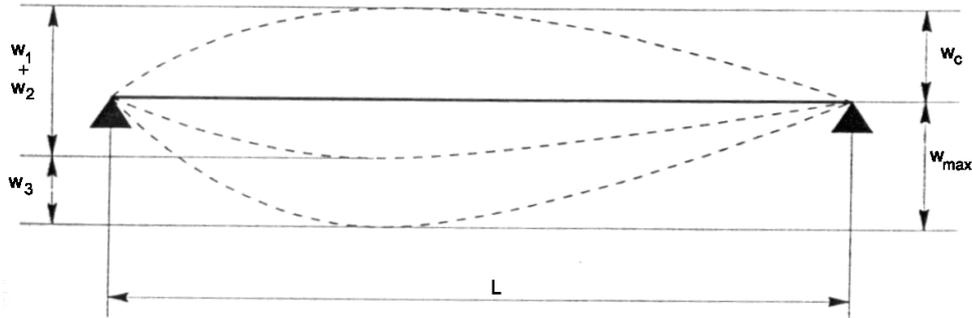


FIGURE 6.17 – définitions des différentes flèches w de la poutre

- w_{tot} : la flèche à l'état final par rapport à la droite reliant les appuis, $w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3 - w_c$
- w_c : le pré-cintrage (contre flèche) de la poutre non chargée,
- w_1 : la variation de flèche de la poutre due aux charges permanentes immédiatement après la mise en charge
- w_2 : la variation de flèche de la poutre due aux déformations dans le temps sous charges permanentes
- w_3 : la variation de flèche de la poutre due aux charges variables.

Horizontalement

- Poteaux de portiques en général :

$$\Delta < \frac{L}{300}$$

- Poteaux de portiques avec pont roulant :

$$\Delta < \frac{L}{500}$$

Chapitre 7

Vérification de la résistance des sections

Ces calculs se font dans le cadre d'une vérification à l'ELU.

7.1 RESISTANCE AUX SOLLICITATIONS SIMPLES

7.1.1 Résistance à un effort normal

Effort normal de traction

Soit une barre soumise à un effort de traction calculé N_{Ed} , résultant d'une combinaison de sollicitations. Il faut vérifier que cet effort est inférieur à la valeur de la résistance de calcul à la traction de la barre noté $N_{t,Rd}$, soit :

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

ou

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Selon le type de la section, on a :

- section brute : $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$ la résistance plastique de la section transversale brute

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pour les sections comprenant des trous : il convient de prendre la valeur minimale $N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$ des deux valeurs suivantes :

- Valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Valeur de calcul de la résistance ultime de la section transversale nette au droit des trous de fixation

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pour les sections nettes avec assemblage par boulon HR à l'ELU : $N_{t,Rd} = N_{net,Rd}$, résistance plastique de la section nette en traction au droit des trous de fixation

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

La surface A_{net} est égale à :

$$A_{net} = A - n \cdot d_{tr} \cdot t$$

avec n le nombre de trous dans la section, d_{tr} leur diamètre et t l'épaisseur de la pièce.

Dans le cas d'une disposition des trous en quinconce, il convient de tenir compte d'une perte de résistance due à la proximité des trous. Dans ce cas on a :

$$A_{net} = \left(b - n \cdot d_{tr} + \sum i \frac{S_{//i}^2}{S_{\perp i}} \right)$$

avec $S_{//i}$ et $S_{\perp i}$, selon la figure ci dessous.

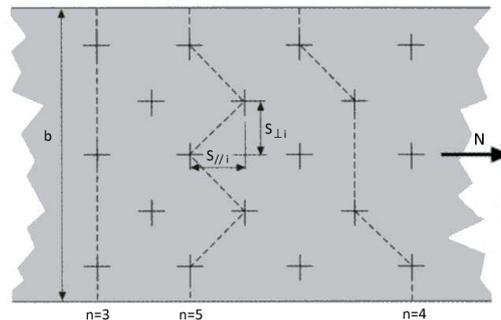


FIGURE 7.1 – Règles de calcul de la surface nette

Effort normal de compression

Dans le cas d'un effort de compression, le calcul de la résistance de la section **devra être complété par une vérification de la stabilité au flambement**.

Soit une barre soumise à un effort de compression calculé N_{Ed} . Il faut vérifier que cet effort est inférieur à la valeur de la résistance de calcul de la section transversale à la compression de la barre noté $N_{c,Rd}$, soit :

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

ou

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Selon le type de la section, on a :

- pour les sections de classe 1, 2 et 3 :

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pour les sections de classe 4

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

7.1.2 Résistance au moment fléchissant

En sollicitation de flexion, le calcul de la résistance de la section **devra être complété par une vérification de la stabilité au déversement**.

Il faut vérifier que la valeur de calcul du moment fléchissant est inférieure à la valeur de calcul

de la résistance à la flexion par rapport à un axe principal de la section de la barre noté $M_{c,Rd}$, soit :

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

ou

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Selon le type de la section, on a :

- valeur de calcul de la résistance plastique à la flexion par rapport à un axe principal de la section pour les sections de classe 1 et 2 :

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

- valeur de calcul de la résistance élastique à la flexion par rapport à un axe principal de la section pour les sections de classe 3 :

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

- valeur de calcul de la résistance élastique à la flexion par rapport à un axe principal de la section pour les sections de classe 4 :

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

W_{el} et W_{eff} correspondent à la fibre subissant la contrainte élastique maximale. W_{el} correspond à la valeur fournie dans les catalogues constructeurs.

Remarque : Les trous de fixation de la semelle tendue peuvent être ignorés sous réserve que pour celle-ci, on ait :

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

avec A_f l'aire de la semelle tendue.

7.1.3 Résistance à l'effort tranchant

Là encore, si on suppose que les critères de stabilité seront étudiés ultérieurement, la résistance de la section est alors vérifiée si l'effort tranchant calculé dans la section est inférieur à la valeur de calcul de la résistance au cisaillement .

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

ou

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

- En calcul plastique, la résistance au cisaillement $V_{c,Rd}$ est assimilée à la résistance plastique au cisaillement $V_{pl,Rd}$ donnée par :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

où A_v représente l'aire de cisaillement définie selon les profils dans le tableau 7.1. Dans le catalogue ARCELOR, A_v est donné par la colonne A_{vz}

- En calcul élastique, on peut utiliser le critère suivant en un point critique de la section transversale :

$$\frac{\tau_{Ed} \cdot (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})}{f_y} \leq 1,0$$

avec

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot \mu}{I \cdot t}$$

ou V_{Ed} est la valeur de l'effort tranchant calculé, μ le moment statique de l'aire de la section, I le moment d'inertie de flexion de la section complète, et t l'épaisseur au point considéré.

Ce calcul place en sécurité car il exclut toute plastification partielle de la section.

Pour les sections en I ou H, la contrainte de cisaillement peut être prise égale à :

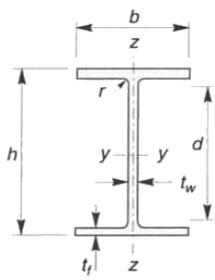
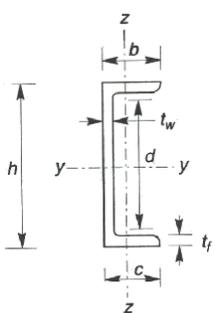
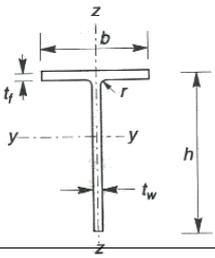
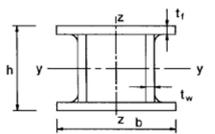
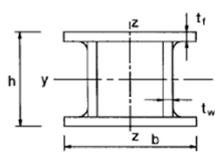
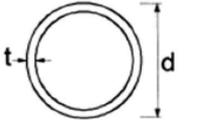
$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$$

si

$$\frac{A_f}{A_w} \geq 0,6$$

avec A_f et A_w représentant respectivement l'aire d'une semelle et l'aire de l'âme.

TABLE 7.1 – Calcul des aires de cisaillement A_v pour des sections courantes

Type de section	Orientation de l'effort	Valeur de l'aire A_v	Schéma
Sections laminées en I et H	Parallèle à l'âme	$A - 2.b.t_f + (t_w + 2.r).t_f$ et au minimum $A_v > \eta.(h - 2.t_f).t_w$ Sécurité : $\eta = 1,0$ ou EN1933-1-5	
Sections laminées en U	Parallèle à l'âme	$A - 2.b.t_f + (t_w + 2.r).t_f$	
Sections laminées en T	Parallèle à l'âme	$A - b.t_f + (t_w + 2.r).\frac{t_f}{2}$	
Sections soudées en T		$t_w.(h - \frac{t_f}{2})$	
Sections soudées en I, H, U ou en caisson	Parallèle à l'âme	$\eta. \sum (h_w.t_w)$ avec : $\eta = 1, 2$ pour les aciers jusqu'à S460 inclus et $\eta = 1$ au delà	
Sections soudées en I, H, U ou en caisson	Parallèle aux semelles	$A - \sum (h_w.t_w)$	
Sections creuses rectangulaires laminées d'épaisseur uniforme	Parallèle à l'âme (chargement // h)	$\frac{A.h}{b + h}$	
Sections creuses rectangulaires laminées d'épaisseur uniforme	Perpendiculaire à l'âme	$\frac{A.b}{b + h}$	
Sections creuses circulaires et tubes d'épaisseur uniforme	Quelconque	$\frac{2.A}{\pi}$	

7.1.4 Résistance au moment de torsion

Les calculs de la résistance à la torsion ne seront pas détaillés dans ce cours.

7.2 RESISTANCE AUX SOLLICITATIONS COMPOSEES

7.2.1 Interaction Moment Fléchissant-Effort Normal-Effort Tranchant

Influence de l'effort tranchant

Lorsqu'il existe un effort tranchant, il convient de prendre en compte son incidence sur le moment résistant :

- Si $V_{Ed} \leq 0,5.V_{pl,Rd}$ son effet peut être négligé, sauf s'il y a des risques d'instabilité par voilement.
- Dans le cas contraire, il convient de réduire le moment résistant, en considérant une limite d'élasticité réduite $(1 - \rho).f_y$ où ρ est déterminé par :

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

avec

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Interaction effort normal – moment fléchissant

SECTIONS TRANSVERSALES DE CLASSE 1 ET 2

Il faut vérifier que la valeur de calcul du moment fléchissant M_{Ed} est inférieure à la valeur de calcul de la *résistance à la flexion réduit par l'effort normal* par rapport à un axe principal de la section de la barre noté $M_{N,Rd}$, soit :

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

ou

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1,0$$

Les expressions de $M_{N,Rd}$ sont explicités dans les paragraphes qui suivent.

Section pleine rectangulaire sans trou de fixation

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]$$

Sections bi-symétriques en I ou en H et autres

- Si $N_{Ed} \leq 0,25.N_{pl,Rd}$ et $N_{Ed} \leq \frac{0,5.h_w.t_w.f_y}{\gamma_{M0}}$, il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'effet de l'effort normal dans le calcul plastique autour de l'axe y-y (avec $h_w = h - 2.t_f$).
- Si $N_{Ed} \leq \frac{h_w.t_w.f_y}{\gamma_{M0}}$, il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'effet de l'effort normal dans le calcul plastique autour de l'axe z-z.

- Sinon, pour les laminés courants en I ou H , ou les sections soudées en I et H à semelles égales, sans prise en compte des trous de fixation :
 - Autour de l'axe fort y-y :

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5a} = W_{pl,y} \cdot f_y \cdot \frac{1-n}{1-0,5a}$$

et

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

- Autour de l'axe faible z-z :
 - * pour : $n \leq a$,

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_y$$

- * pour : $n > a$,

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$\text{Avec : } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \text{ et } a = \frac{(A-2 \cdot b \cdot t_f)}{A} \text{ et } a \leq 0,5$$

Profils creux rectangulaires d'épaisseur uniforme

Pour les profils creux rectangulaires d'épaisseur uniforme et les sections en caisson soudées à ailes égales et à âmes égales, on peut faire les approximations suivantes où les trous de fixation ne sont pas pris en compte :

- Autour de l'axe fort y-y :

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5a_w}$$

et

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

- Autour de l'axe faible z-z :

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5a_f}$$

et

$$M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

Avec :

Type de section	$a_w = \frac{(A-2 \cdot b \cdot t)}{A}$ et $a_w \leq 0,5$	$a_f = \frac{(A-2 \cdot h \cdot t)}{A}$ et $a_f \leq 0,5$
Sections en caisson soudées	$a_w = \frac{(A-2 \cdot b \cdot t_f)}{A}$ et $a_w \leq 0,5$	$a_f = \frac{(A-2 \cdot h \cdot t_w)}{A}$ et $a_f \leq 0,5$

Cas d'une flexion bi-axiale

On peut alors vérifier que :

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

avec les expressions de $M_{N,y,Rd}$ et $M_{N,z,Rd}$ vues précédemment, et α et β pouvant être pris en toute sécurité égaux à 1, ou selon le tableau ci-dessous :

Sections en I ou H	$\alpha = 2, \beta = 5.n, \text{ et } \beta \geq 1$
Sections creuses circulaires	$\alpha = 2, \beta = 2$
Sections creuses rectangulaires	$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13.n}, \text{ ou } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$

SECTIONS DE CLASSE 3

Le critère simplifié pouvant être utilisé dans ce cas s'exprime par :

$$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,ed}}{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,ed}}{\frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$$

avec :

- A l'aire de la section transversale, en la supposant soumise à une compression uniforme,
- $W_{el,y}$ et $W_{el,z}$ les modules de flexion élastique de la section transversale en supposant celle-ci soumise uniquement au moment exercé selon l'axe approprié.

SECTIONS DE CLASSE 4

Le critère simplifié pouvant être utilisé dans ce cas s'exprime par :

$$\frac{N_{ed}}{N_{eff,Rd}} + \frac{M_{y,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{M_{eff,y,Rd}} + \frac{M_{z,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{M_{eff,z,Rd}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{\frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{\frac{W_{eff,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$$

avec :

- A_{eff} l'aire efficace de la section transversale, en la supposant soumise à une compression uniforme,
- $W_{eff,y,min}$ et $W_{eff,z,min}$ les modules de flexion efficace de la section transversale en supposant celle-ci soumise uniquement au moment exercé selon l'axe approprié,
- e_{Ny} et e_{Nz} sont les décalages d'axes neutres appropriés en supposant la section transversale soumise à la seule compression.

Chapitre 8

L'instabilité de flambement

8.1 INTRODUCTION AUX INSTABILITES

Le calcul d'une structure consiste à assurer sa stabilité statique sous toutes les combinaisons d'actions définies réglementairement. Cette stabilité doit être assurée au niveau d'ensemble de la structure, mais également au niveau de chacun des éléments qui la constituent.

En fait il s'agit de vérifier que sous les sollicitations de charge, les contraintes et les déformations restent en deçà des valeurs limites acceptables.

On distingue deux cas de figures pour les déformations :

- Les petites déformations pour lesquelles les sollicitations ne sont pas modifiées par les déformations de la structure et de ses éléments.
- Les grandes déformations pour lesquelles les sollicitations à l'origine de celles-ci sont modifiées.

Les déformations importantes d'une structure peuvent apparaître lorsque :

- Dans le domaine élastique, la corrélation linéaire entre efforts et déformations n'est plus vérifiée. Les déformations augmentent alors plus vite que les sollicitations.
- Dans le domaine élasto-plastique, lorsqu'il y a écoulement plastique.

Les grandes déformations affectent les zones comprimées des pièces qui peuvent alors présenter trois formes de grandes déformations nommées instabilités, le flambement, le déversement et le voilement. Ces instabilités apparaissent dans les éléments tels que les poutres et les poteaux et peuvent donc conduire à la ruine de la structure.

8.2 LE FLAMBEMENT

Le flambement est un phénomène qui peut être mis en évidence sur une poutre longue soumise à une compression simple N de valeur croissante.

Tant que l'effort N est inférieur à une valeur critique N_k , la poutre reste droite. Au-delà de cette valeur, on constate un fléchissement rapide de la poutre pouvant conduire à sa ruine, bien que cette charge critique n'induit dans la poutre que des contraintes normales inférieures à la limite élastique de celle-ci : c'est le *flambement*.

8.2.1 Notions sur le phénomène de flambement

Théorie d'Euler en flexion simple

Le flambement simple affecte les pièces soumises à un effort de compression simple. Son étude est due à EULER.

Considérons une poutre droite d'axe Gx soumise à un effort unique de compression. On suppose que :

- la poutre est articulée à chacune de ses extrémités,
- l'effort normal de compression N est parfaitement centré sur l'axe Gx de la poutre,
- les dimensions de la poutre selon les axes Gy et Gz sont faibles devant celle selon Gx : la poutre est dite élancée,
- les inerties sont maximales selon le plan Gxz et minimales selon le plan Gxy , soit $I_y > I_z$.

Lorsque l'effort N croit au-delà d'une valeur critique N_k , on constate que la poutre se déforme et fléchit, Figure 8.1.

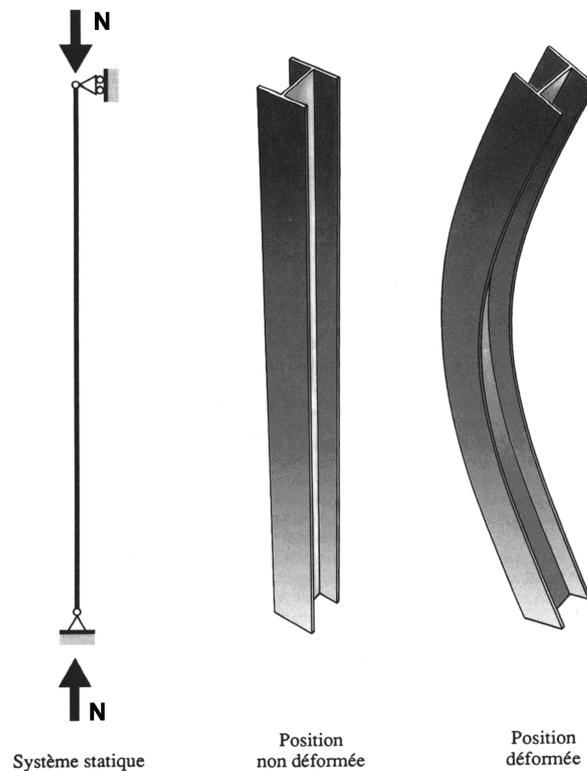


FIGURE 8.1 – Flambement d'une poutre comprimée

D'après les lois de la résistance des matériaux, le moment de flexion $M_z(x)$ sur une section située à une distance x du point A peut s'exprimer en fonction de la flèche $y(x)$ par :

$$M_z(x) = -E \cdot I_z \cdot \frac{d^2 y(x)}{dx^2}$$

Avec E Le module d'élasticité du matériau et I_z le moment d'inertie de la section par rapport à l'axe Gz Or d'après la figure 8.2, on a aussi :

$$M_z(x) = N \cdot y(x)$$

d'où on obtient :

$$E \cdot I_z \cdot \frac{d^2 y(x)}{dx^2} + N \cdot y(x) = 0$$

ou

$$\frac{d^2y(x)}{dx^2} + \frac{N}{E.I_z}.y(x) = 0$$

On pose $\alpha = \sqrt{\frac{N}{E.I_z}}$ et on obtient alors

$$\frac{d^2y(x)}{dx^2} + \alpha^2.y(x) = 0$$

La solution générale de cette équation du second ordre est de la forme :

$$y(x) = A.\cos(\alpha.x) + B.\sin(\alpha.x)$$

On peut déterminer les valeurs de A et B par les conditions aux limites :

- En A , $x = 0$ et $y(0) = 0$, d'où $A = 0$
- En B , $x = l_0$ et $y(l_0) = 0$ d'où $B.\sin(\alpha.l_0) = 0$, soit $B = 0$ ou $\sin(\alpha.l_0) = 0$.

La solution $B = 0$, n'a pas d'intérêt car elle conduit au fait que la poutre reste droite. Il reste donc $\sin(\alpha.l_0) = 0$.

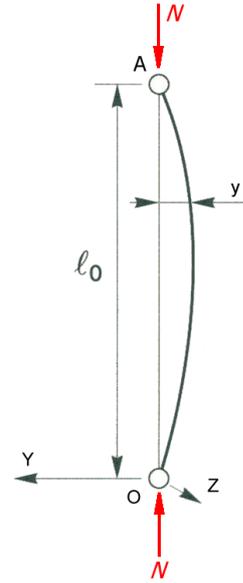


FIGURE 8.2 - Flambement d'un poteau comprimé - Modèle mécanique

On en déduit alors $\alpha.l_0 = k.\pi$ que l'on peut écrire $\sqrt{\frac{N}{E.I_z}}.l_0 = k.\pi$

Le phénomène de flambement apparaît donc dès que N vérifie $N = \frac{k^2.\pi^2.E.I_z}{l_0^2}$.

La **charge critique de flambement** N_k est donc exprimée par :

$$N = \frac{\pi^2.E.I_z}{l_0^2}$$

A cette force critique d'Euler N_k correspond une contrainte normale critique dans une section droite :

$$\sigma_k = \frac{\pi^2.E.I_z}{l_0^2.A} = \frac{\pi^2.E}{l_0^2}.i_z^2$$

avec i_z le rayon de giration de la section autour de l'axe Gz .

Si on définit l'élancement λ par $\lambda = \frac{l_0}{i_z}$, on a alors $\sigma_k = \frac{\pi^2.E}{\lambda^2}$

On peut tracer la courbe (Figure 8.3) $\sigma_k = \frac{\pi^2.E}{\lambda^2}$ en fonction de λ , appelée hyperbole d'Euler.

Cette courbe théorique permet pour un matériau donné de limite élastique $\sigma_k = f_y$ de déterminer la valeur limite de λ à ne pas dépasser afin d'éviter un risque d'instabilité de flambement. Comme on peut le voir Figure 8.3, les barres industrielles ont des hyperboles réelles différentes de l'hyperbole théorique d'Euler. Il faudra donc corriger les valeurs théoriques d'Euler dans les calculs de vérification de barres réelles.

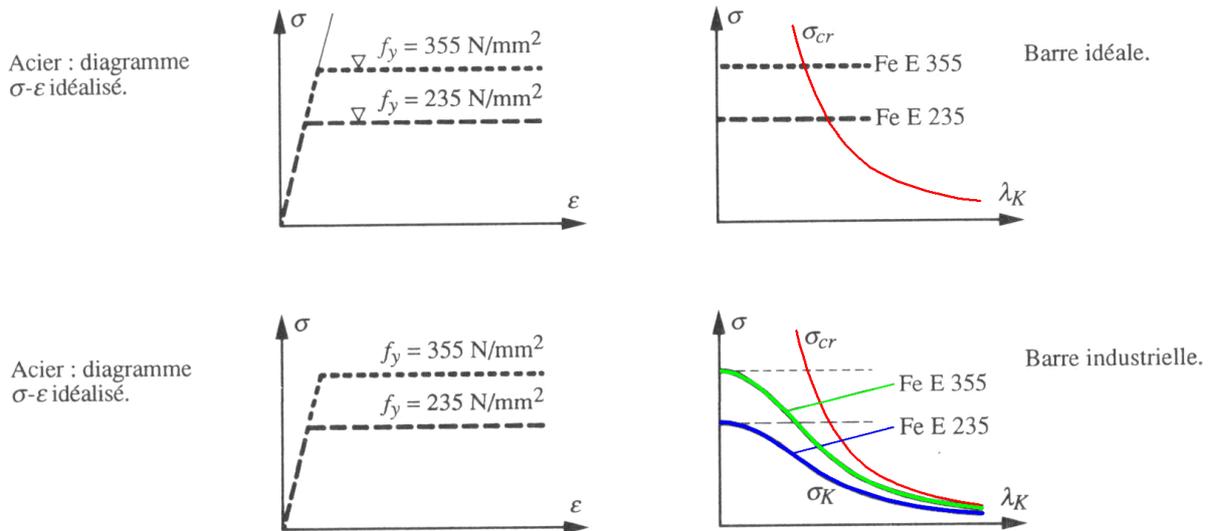


FIGURE 8.3 – Hyperbole d'Euler

On définit λ_1 l'**élancement de référence d'Euler** ou **élancement limite élastique** par l'expression :

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91 \cdot \epsilon$$

avec :

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ou f_y est exprimé en MPa. On peut alors définir l'**élancement réduit** $\bar{\lambda}$ par :

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

que l'on peut également écrire sous la forme

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_k}}$$

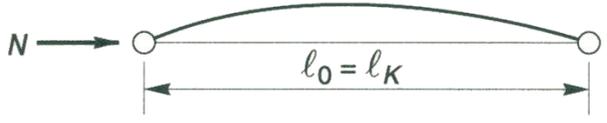
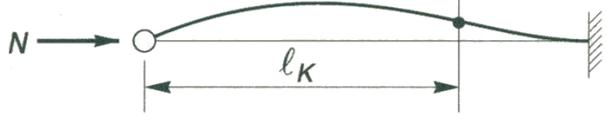
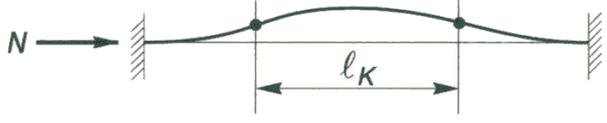
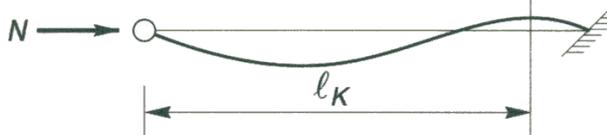
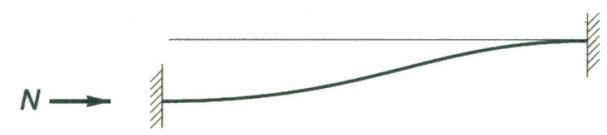
Autre cas de liaisons aux extrémités

Pour d'autres configurations de liaisons aux extrémités de poutre, on peut réaliser des approches similaires. Le résultat de la valeur de la charge critique d'Euler peut alors être généralisé sous la forme :

$$N = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_k^2}$$

avec l_k la **longueur critique de flambement** définie par $l_k = \frac{l_0}{\sqrt{m}}$, avec les valeurs de m données dans le tableau 8.1 suivant .

TABLE 8.1 - Longueurs critiques de flambement

Conditions d'appui	m	l_k
Sans déplacement aux extrémités		
	1	l_0
	2	$0,7.l_0$
	4	$0,5.l_0$
	$1 < m < 2$	$> 0,7.l_0$
Avec liberté de déplacements aux extrémités		
	$1/4$	$2.l_0$
	1	l_0
	$< 1/4$	$> 2.l_0$

8.2.2 Complément sur les longueurs de flambement (Annexe E de l'EC3)

Dans le tableau 8.1, les liaisons aux extrémités de l'élément étudié sont supposées parfaites. En réalité, dans le cas d'un élément en flambement et lié à ses extrémités à d'autres éléments d'une structure, il est logique de considérer que les rigidités des éléments voisins jouent sur la rotation aux extrémités et donc sur la détermination de la longueur de flambement de l'élément considéré. La longueur de flambement d'un élément peut être déterminée en fonction de sa longueur nominale à partir de l'annexe E de l'Eurocode 3 (informative), reproduite partiellement ici.

Bases

- La longueur de flambement l_0 d'un élément comprimé est la longueur d'un élément bi-articulé, par ailleurs similaire, ayant la même résistance élastique.
- Par défaut, on peut adopter en se plaçant en sécurité la longueur théorique de flambement élastique. (cf. Tableau 8.1).

Poteaux d'ossatures de bâtiment

On calcule deux facteurs de distribution de rigidité η_1 et η_2 , respectivement en tête et en pied de poteau qui valent :

$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

et

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

Avec :

- $K_c = \frac{I}{l_0}$ la rigidité du poteau concerné, avec I son inertie et l_0 sa longueur
- K_1 et K_2 les rigidités des poteaux adjacents
- K_{ij} la rigidité des poutres associées au nœud considéré selon la figure 8.4

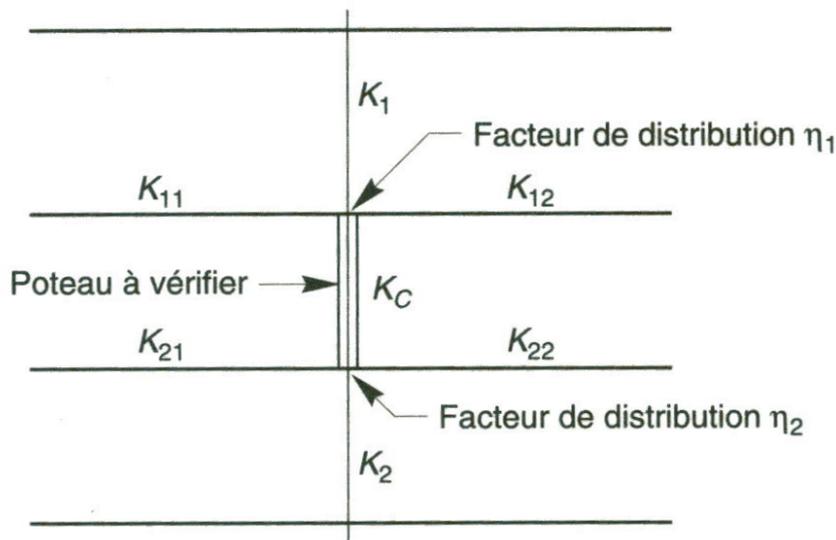
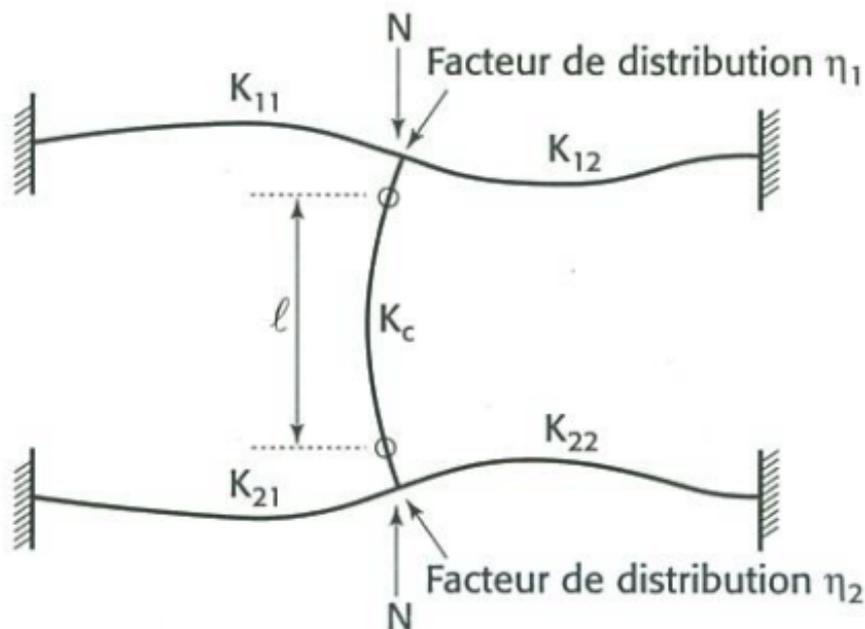


FIGURE 8.4 – Coefficient de rigidité des éléments voisins

Lorsque les poutres ne sont pas soumises à des efforts axiaux, leurs rigidités effectives peuvent être déterminées en se référant au tableau E1 de l'annexe E (tableau 8.2) de l'Eurocode à condition que les poutres restent élastiques sous les moments de calculs.

TABLE 8.2 – tableau E1 de l'annexe E : Rigidités effectives

Condition de maintien en rotation à l'extrémité opposée de la poutre	Rigidité effective K de la poutre (à condition que la poutre reste élastique)
Encastrée	$1,0 \cdot \frac{I}{l_0}$
Articulée	$0,75 \cdot \frac{I}{l_0}$
Rotation égale à celle de l'extrémité adjacente (double courbure)	$1,5 \cdot \frac{I}{l_0}$
Rotation égale et opposée à celle de l'extrémité adjacente (simple courbure)	$0,5 \cdot \frac{I}{l_0}$
Cas général; rotation θ_a à l'extrémité adjacente et θ_b à l'extrémité opposée	$\left(1 + 0,5 \cdot \frac{\theta_b}{\theta_a}\right) \cdot \frac{I}{l_0}$



(a) Mode de financement à nœuds fixes

FIGURE 8.5 – Facteurs de distribution en fonction de la rigidité des éléments voisins

A l'aide des figures 8.5, 8.6 et 8.7 ou des équations associées, on peut alors déterminer le rapport l_k/l_0 selon que la structure se situe en mode nœuds fixes ou déplaçables.

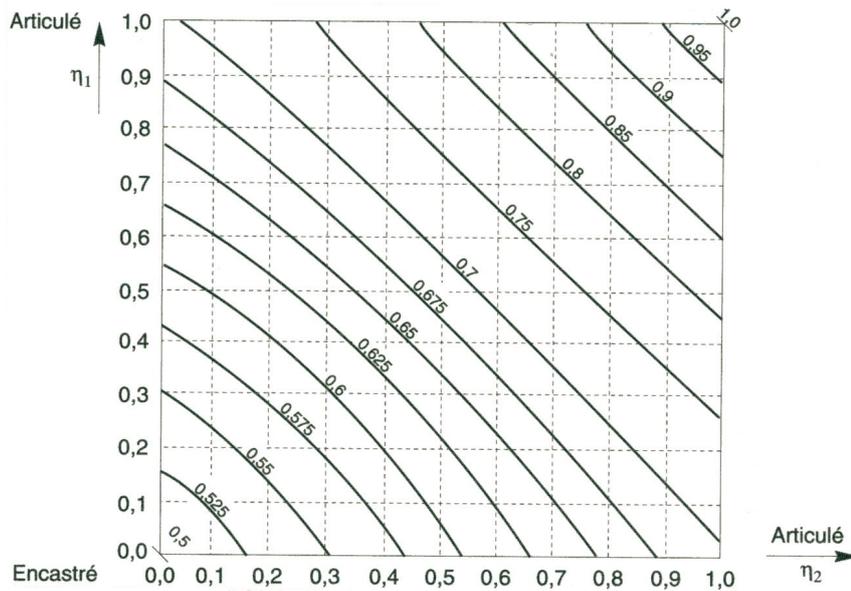


FIGURE 8.6 – Valeurs de l_k/l_0 en mode nœuds fixes

ou

$$\frac{l_k}{l_0} = \left[\frac{1 + 0,145 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{2 - 0,364 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} \right]$$

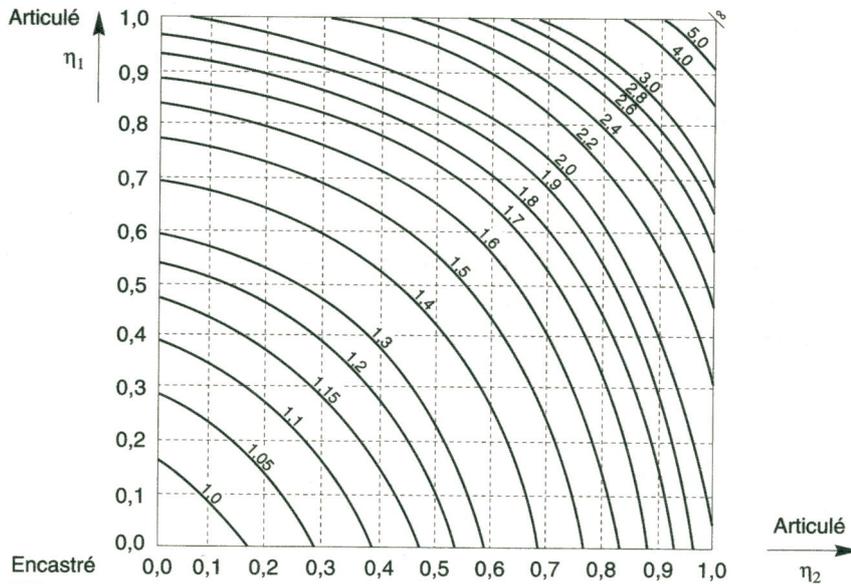


FIGURE 8.7 – Valeurs de l_k/l_0 en mode nœuds déplaçables

ou

$$\frac{l_k}{l_0} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}}$$

8.2.3 Vérification au flambement en compression pure selon l'EC3

La vérification est nécessaire seulement si

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \text{et} \quad \frac{N_{Ed}}{N_k} > 0,04 \quad \text{avec} \quad N_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_k^2}$$

avec $\bar{\lambda}$ l'élanement réduit, N_{Ed} la valeur de calcul de l'effort de compression et N_k l'effort critique de flambement élastique.

L'étude doit être faite dans le plan Oxy et dans le plan Oxz , c'est à dire autour de l'axe fort et autour de l'axe faible de la section.

L'élanement réduit $\bar{\lambda}$ est donné par :

- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_k}}$ pour les sections de classe 1, 2 et 3,
- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_k}}$ pour les sections de classe 4

La vérification doit se faire en contrôlant que :

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

où $N_{b,Rd}$ est la résistance de calcul de la barre comprimée au flambement, avec :

- $N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ pour les sections de classe 1, 2 et 3,
- $N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ pour les sections de classe 4

γ_{M1} est le **coefficient partiel des barres aux instabilités** ($\gamma_{M1} = 1,0$), χ est un **coefficient de réduction pour le mode de flambement** déterminé à partir de l'élanement réduit $\bar{\lambda}$, et des courbes de flambement $a_0, a, b, c,$ (Figure 8.8) fonctions :

- des sections transversales,
- des épaisseurs des profilés,
- de l'axe de flambement
- des nuances d'acier.

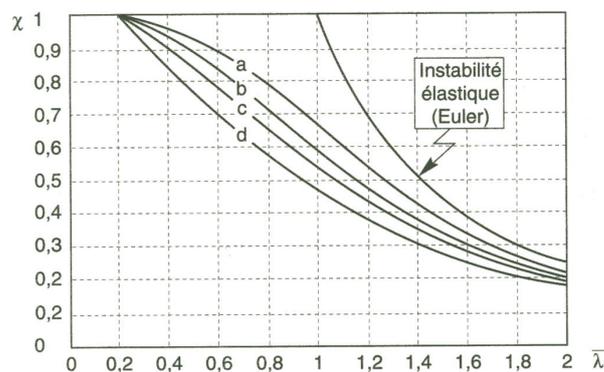


FIGURE 8.8 – Allures des courbes de flambement

χ est calculé par :

$$\chi = \frac{1}{\psi + \sqrt{\psi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{et} \quad \chi \leq 1,0$$

avec

- $\psi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$
- α étant le **facteur d'imperfection** donné par le tableau 9.1, en fonction des courbes de flambement déterminées à partir de la figure 8.9

Le calcul est mené autour de l'axe fort et de l'axe faible, afin d'obtenir respectivement χ_y et χ_z . La valeur qui sera conservée sera la plus petite valeur des deux :

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z)$$

TABLE 8.3 – Valeurs des facteurs d'imperfection α

Courbes de flambement	a_0	a	b	c	d
Facteur d'imperfection	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

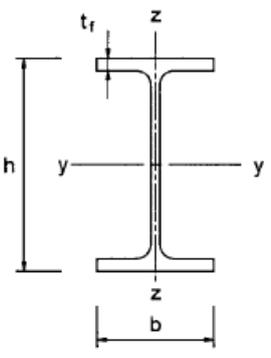
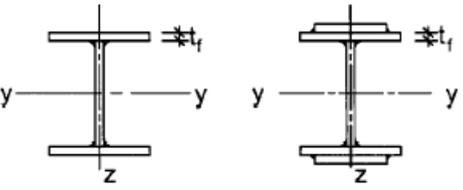
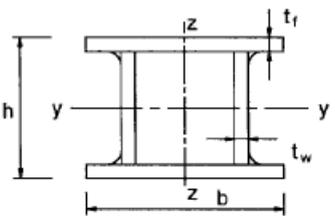
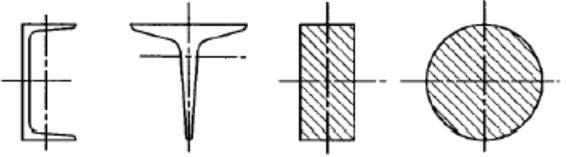
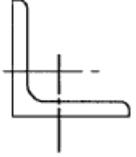
Section transversale		Limites	Flambement Selon l'axe	Courbe de flambement		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Sections en I laminées		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
Sections en I soudées		$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
		$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
Sections creuses		Finies à chaud	Quelconque	a	a ₀	
		Formées à froid	Quelconque	c	c	
Sections en caisson soudées		En général (sauf comme indiqué ci-dessous)	Quelconque	b	b	
		Soud. épaisses : $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Quelconque	c	c	
Sections en U, T et pleines			Quelconque	c	c	
Sections en L			Quelconque	b	b	

FIGURE 8.9 – Choix des courbes de flambement

8.2.4 Vérification au flambement en compression-flexion selon l'EC3

La vérification est nécessaire seulement si

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \text{et} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} > 0,1$$

avec $\bar{\lambda}$ l'élançement réduit.

Là encore, l'étude doit être faite dans le plan Oxy et dans le plan Oxz , c'est à dire autour de l'axe fort et autour de l'axe faible de la section.

La vérification doit se faire en contrôlant que :

- pour les sections de classe 1 et 2 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,ed}}{\frac{M_{pl,y}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,ed}}{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

- pour les sections de classe 3 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,ed}}{\frac{M_{el,y}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{M_{el,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,ed}}{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

- pour les sections de classe 4 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot (M_{y,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny})}{\frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot (M_{z,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz})}{\frac{W_{eff,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Avec :

- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y}$ et $k_y \leq 1,5$, k_y peut prendre une valeur inférieure à 1.
- $\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}}$ en classe 1 et 2; $\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4)$ en classe 3 .
On a de plus $\mu_y \leq 0,9$ et μ_y peut prendre une valeur négative.
- $k_z = 1 - \frac{\mu_z \cdot N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}$ et $k_z \leq 1,5$, k_z peut prendre une valeur inférieure à 1.
- $\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4) + \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}}$ en classe 1 et 2; $\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4)$ en classe 3 . On a de plus $\mu_z \leq 0,9$ et μ_z peut prendre une valeur négative.
- β_{My} et β_{Mz} sont les **facteurs de moment uniforme équivalent** pour le flambement en flexion, dont les valeurs sont calculées en fonction du diagramme des moments fléchissant $M_y(x)$ et respectivement $M_z(x)$ et à l'aide de la figure 8.10.

- $N_{Ed.e_{Ny}}$ et $N_{Ed.e_{Nz}}$ représentent des **moments additionnels dus aux décalage des axes neutres**; e_{Ny} et e_{Nz} représentent les décalages d'axe neutre appropriés en supposant la section transversale soumise à la seule compression.

Remarque :

- Dans le cas de la sollicitation simple de compression, la condition de stabilité au flambement :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1, 0$$

conduit automatiquement à la vérification de la résistance plastique de la section étant donné que $\gamma_{M1} > \gamma_{M0}$

- Dans le cas d'une sollicitation en compression-flexion, la condition de stabilité au flambement :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,ed}}{\frac{M_{el,y,Rd}}{\gamma_{M1}}} \leq 1, 0$$

ne conduit pas automatiquement à la vérification de la stabilité en section étant donné que le coefficient k_y peut-être inférieur à 1. Si $k_y < 1$, il est donc nécessaire de s'assurer de la vérification de la résistance en section.

8.2.5 Augmentation de la résistance au flambement

Le moyen le plus économique d'améliorer la résistance au flambement d'une barre comprimée est de diminuer sa longueur de flambement. Pour cela on peut :

- disposer des appuis intermédiaires, (la solution la plus simple)
- modifier ses conditions d'appuis, (pas forcément le plus économique)

La force que doit reprendre un appui intermédiaire pour constituer un point fixe est de l'ordre de 1% de l'effort de compression dans la barre.

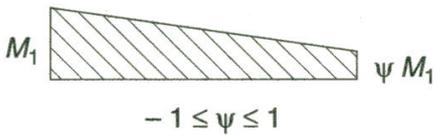
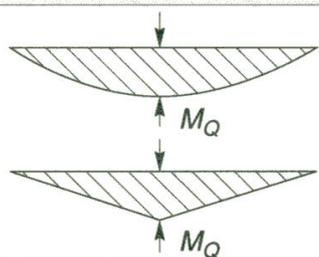
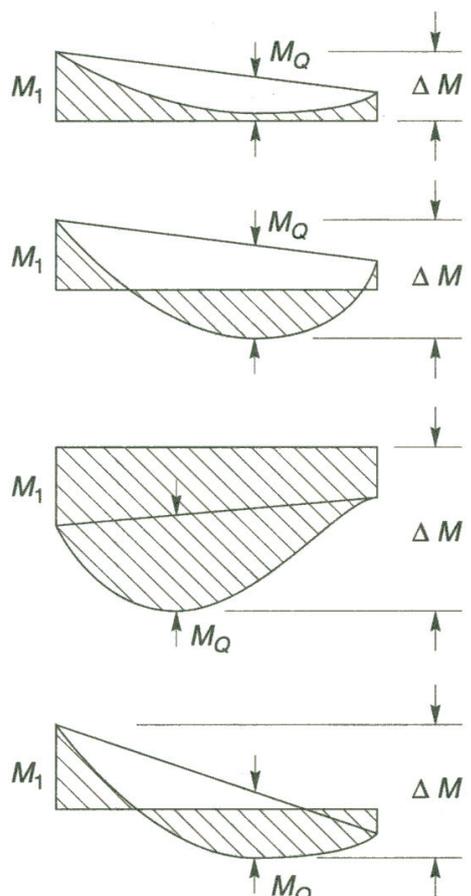
Facteurs de moment uniforme équivalent	
Diagramme de moment	Facteurs de moment uniforme équivalent β_m
<p>Moments d'extrémités</p>  <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p>	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
<p>Moments dus à des charges latérales</p> 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
<p>Moments dus à des charges latérales plus des moments d'extrémités</p> 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M \quad \text{dû aux charges latérales seulement}$ <p>pour diagramme de moment sans changement de signe</p> $\Delta M = \begin{cases} \max M \\ \max M + \min M \end{cases}$ <p>pour diagramme de moment avec changement de signe</p>

FIGURE 8.10 – Détermination des facteurs de moment uniforme équivalent

Chapitre 9

L'instabilité de déversement

9.1 NOTIONS SUR LE DEVERSEMENT

9.1.1 Phénomène de déversement

Considérons une poutre mince posée sur deux appuis encastrés vis-à-vis de la torsion, mais libre vis-à-vis de la flexion.

Cette poutre est soumise à une charge F croissante appliquée verticalement dans la section de son centre de gravité. On constate que pour une valeur critique F_{cr} , la section tourne autour de l'axe de la poutre, entraînant une torsion de celle-ci et un effondrement de la poutre.

Pourtant cette charge critique induit dans la poutre des contraintes inférieures à la limite élastique de celle-ci. C'est le *déversement*

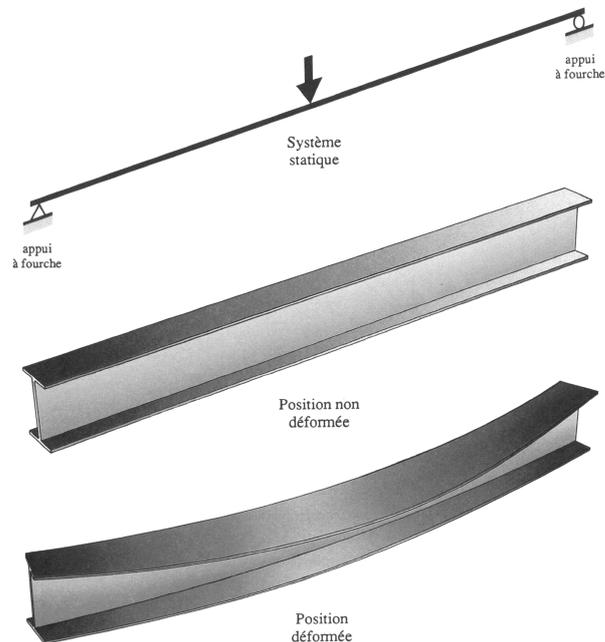


FIGURE 9.1 – déversement d'un poutre fléchie

9.1.2 Théorie linéaire du déversement de Timoshenko

L'étude est due à TIMOSHENKO.

Il considère une poutre simple en flexion. Les hypothèses sont les suivantes :

- La poutre est parfaitement rectiligne de section bi-symétrique constante sur toute la longueur.
- La poutre est idéale, sans imperfection (déformation initiale, contraintes résiduelles...).
- La section de la poutre est indéformable.
- Les appuis sont de type "appuis à fourches".
- Le matériau est infiniment élastique linéaire.
- L'inertie de la section I_z est faible vis-à-vis de l'inertie I_y .
- les déformations sont petites ($\sin \Phi \approx \Phi$, $\cos \Phi \approx 1$).

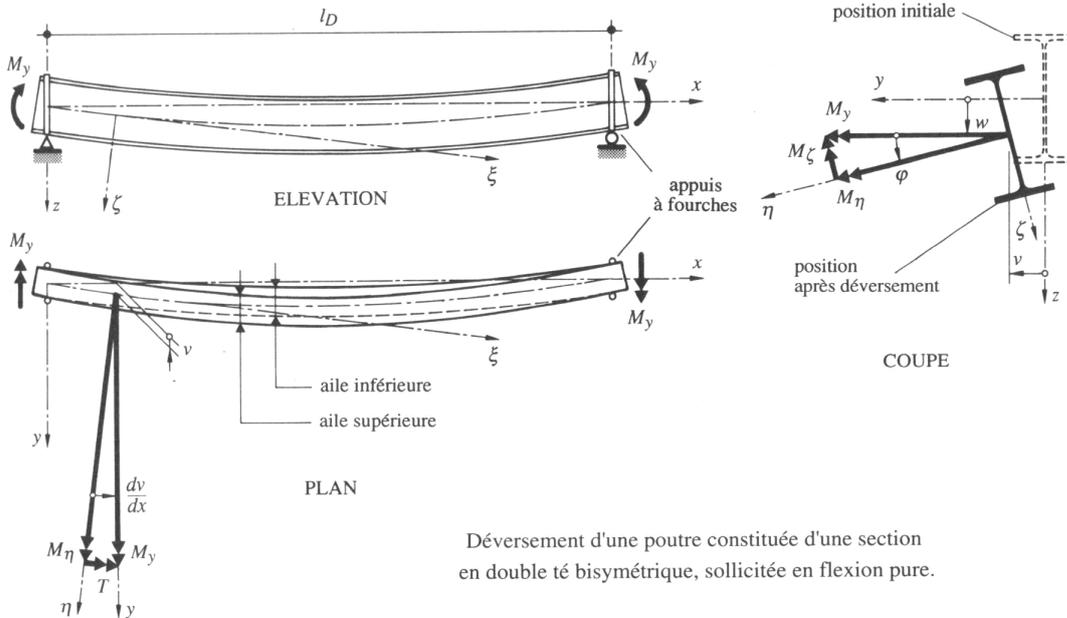


FIGURE 9.2 – Poutre en déversement – Décomposition des moments

Les équations différentielles obtenues sont :

- flexion selon l'axe η :

$$E.I_y \cdot \frac{d^2 w(x)}{dx^2} + M_y = 0 \quad \text{avec} \quad M_\eta = M_y \cdot \cos(\Phi) \approx M_y$$

- flexion selon l'axe ζ :

$$E.I_z \cdot \frac{d^2 v(x)}{dx^2} + \Phi(x) \cdot M_y = 0 \quad \text{avec} \quad M_\zeta = M_y \cdot \sin(\Phi) \approx \Phi \cdot M_y$$

- torsion autour de l'axe ζ :

$$E.I_w \cdot \frac{d^3 \Phi(x)}{dx^3} - G.J. \cdot \frac{d^2 \Phi(x)}{dx^2} + \frac{M_y^2}{E.I_y} \cdot \frac{dv(x)}{dx} = 0$$

En combinant les 3 équations différentielles, on peut obtenir la valeur du **moment critique de déversement élastique** M_{cr} pour lequel le système est en équilibre métastable.

Mais, dans la réalité,

- les appuis sont souvent des encastremets à la flexion et à la torsion,
- les charges extérieures ne sont pas un simple moment de flexion,
- la section de la barre peut être dissymétrique.

Cela conduit à une étude plus générale prenant en compte tous ces paramètres.

9.2 VERIFICATION DE LA TENUE AU DEVERSEMENT

9.2.1 Verification au déversement en flexion pure selon l'EC3

Le déversement concernent principalement les sections en I sollicitées en **flexion autour de leur axe fort yy** .

La vérification au déversement est à considérer si

$$\overline{\lambda}_{LT} > 0,4$$

:

La vérification doit se faire en contrôlant que :

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

où $M_{b,Rd}$ est le moment ultime de déversement.

Pour un élément de section constante, en flexion simple par rapport à l'axe de forte inertie et tel que M_{Ed} est le moment de flexion maxi dans la poutre

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

avec :

- $\beta_w = 1$ pour les sections de classe 1 ou 2
- $\beta_w = \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ pour les sections de classe 3
- $\beta_w = \frac{W_{eff,y}}{W_{pl,y}}$ pour les sections de classe 4

χ_{LT} est le **coefficient de réduction pour le déversement** qui est fonction de l'**élancement réduit** $\overline{\lambda}_{LT}$ de l'élément vis-à-vis du déversement. Il peut être obtenu de la même façon que les coefficients de réduction en flambement en prenant $\overline{\lambda} = \overline{\lambda}_{LT}$ et $\chi = \chi_{LT}$, avec pour le choix des courbes de flambement les conditions suivantes :

- la courbe *a* pour les profils laminés en I tels que $\frac{h}{b} \leq 2$,
- la courbe *b* pour les profils laminés en I tels que $\frac{h}{b} > 2$,
- la courbe *c* pour les profils reconstitués soudés en I tels que $\frac{h}{b} \leq 2$,
- la courbe *d* pour les profils reconstitués soudés en I tels que $\frac{h}{b} > 2$, et pour toutes les autres sections.

TABLE 9.1 – Valeurs des facteurs d'imperfection α

Courbes de flambement	a_0	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Facteur d'imperfection	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

χ_{LT} est donc obtenu à l'aide de :

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\psi_{LT} + \sqrt{\psi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{et} \quad \chi_{LT} \leq 1,0$$

avec

$$\psi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + \overline{\lambda_{LT}}^2]$$

$\overline{\lambda_{LT}}$ est obtenu à l'aide de l'expression :

$$\overline{\lambda_{LT}} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_w} \quad \text{ou} \quad \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91 \cdot \epsilon$$

et

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{\sqrt{C_1 \cdot \left[1 + \frac{1}{20} \cdot \left(\frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{L}{b}} \right)^2 \right]}}$$

Le coefficient C_1 dépend des conditions de charge et d'appuis. Ses valeurs sont obtenus à partir des tableaux présentés dans le paragraphe suivant

Coefficient C_1

Cas d'une poutre soumise à un chargement transversal uniquement

Les valeurs du coefficient C_1 (C_2 et C_3) peuvent être déduites de la figure 9.3

Les coefficients k (et k_w) dépendent des conditions d'appuis aux extrémités et leurs valeurs sont indiquées dans la figure 9.4

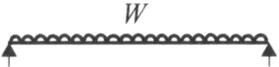
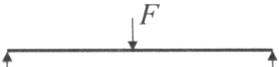
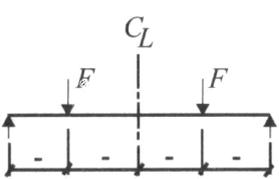
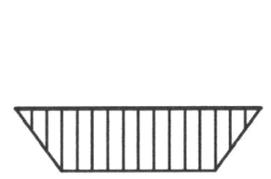
Chargement et conditions d'appuis	Diagramme de moment de flexion	Valeur de k	Coefficients		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980
		1,0	2,57	1,562	0,753
		0,5	0,712	0,652	1,070
		1,0	1,365	0,553	1,730
		0,5	1,070	0,432	3,050
		1,0	1,565	1,267	2,640
		0,5	0,938	0,715	4,800
		1,0	1,046	0,430	1,120
		0,5	1,010	0,410	1,890

FIGURE 9.3 – Coefficients C_1 , (C_2 et C_3) dans le cas de charges transversales

Schémas des appuis	Conditions aux limites	k_v et k_ϕ	Remarques
	$w = w_0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\phi = 0$ $\phi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\phi = 1.0$	Raidisseurs ou appuis latéraux au niveau de la membrure comprimée nécessaires afin d'empêcher la rotation de la poutre aux appuis. w_0 : déplacement vertical de l'appui.
	$w = 0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\phi = 0$ $\phi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\phi = 1.0$	Liaison articulée dans laquelle les cornières doivent être suffisantes pour empêcher la rotation de la poutre aux appuis.
	$w = 0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\phi = 0$ $\phi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\phi = 1.0$	Liaison semi-rigide peu résistante en flexion et avec gauchissement non empêché des ailes. On néglige la rigidité à la torsion du poteau.
	$w = 0$ $w' = \phi_0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\phi = 0$ $\phi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\phi < 1.0$	Liaison semi-rigide résistante en flexion et avec gauchissement empêché des ailes ($k_\phi < 1.0$). On néglige la rigidité à la torsion du poteau. ϕ_0 : inclinaison du poteau.
	$w = 0$ $w' = \phi_0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\phi = 0$ $\phi' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\phi = 0.5$	Encastrement parfait de la poutre à la torsion, gauchissement empêché par les raidisseurs. On néglige la rigidité à la torsion du poteau. ϕ_0 : inclinaison du poteau.
	$w = 0$ $w' = 0$ $v = 0$ $v' = 0$ $\phi = 0$ $\phi' = 0$	$k_v = 0.5$ $k_\phi = 0.5$	Encastrement parfait de la poutre à la flexion et à la torsion, gauchissement empêché par l'appui que l'on considère comme étant rigide à la torsion.

FIGURE 9.4 – Coefficients k , (k_w) selon les conditions d'appuis, D'après [10]

Cas d'une poutre soumise à des moments d'extrémités

Les valeurs du coefficient C_1 (C_2 et C_3) peuvent être déduites de la figure 9.5

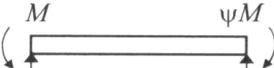
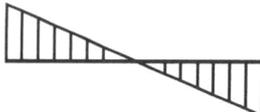
Chargement et conditions d'appuis	Diagramme de moment de flexion	Valeur de k	Coefficients		
			C_1	C_2	C_3
	$\psi = +1$ 	1,0 0,7 0,5	1,000 1,000 1,000	-	1,000 1,113 1,144
	$\psi = +3/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,141 1,270 1,305	-	0,998 1,565 2,283
	$\psi = +1/2$ 	1,0 0,7 0,5	1,323 1,473 1,514	-	0,992 1,556 2,271
	$\psi = +1/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,563 1,739 1,788	-	0,977 1,531 2,235
	$\psi = +0$ 	1,0 0,7 0,5	1,879 2,092 2,150	-	0,939 1,473 2,150
	$\psi = -1/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,281 2,538 2,609	-	0,855 1,340 1,957
	$\psi = -1/2$ 	1,0 0,7 0,5	2,704 3,009 3,093	-	0,676 1,059 1,546
	$\psi = -3/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,927 3,258 3,348	-	0,366 0,575 0,837
	$\psi = -1$ 	1,0 0,7 0,5	2,752 3,063 3,149	-	0,000 0,000 0,000

FIGURE 9.5 – Coefficients C_1 , (C_2 et C_3) dans le cas de charges par moments d'extrémités

Cas d'une poutre soumise à une charge transversale et à des moments d'extrémités

On utilise alors les figures 9.6 à 9.13 pour déterminer les valeurs des coefficients C_1 et C_2 . La lecture des coefficients se fait une fois connus les paramètres ψ et μ , tels que :

- ψ , rapport entre les moments d'extrémité ($-1 \leq \psi \leq 1$)
- μ le rapport du moment isostatique dû à la charge q répartie ou F ponctuelle et au moment d'extrémité maximal M . $\mu > 0$ si q (ou F) et M fléchissent la poutre dans le même sens. Pour une charge répartie q on a donc $\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M}$ et $\mu = \frac{F \cdot L}{4 \cdot M}$ pour une charge ponctuelle F .

C_1																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu = qL^2/8M > 0$	0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
	0,1	2,450	2,411	2,337	2,246	2,148	2,046	1,943	1,842	1,744	1,648	1,558	1,472	1,391	1,315	1,245	1,179	1,119	1,070	1,037	1,018	1,012
	0,2	2,233	2,160	2,076	1,986	1,894	1,802	1,712	1,625	1,541	1,461	1,385	1,314	1,246	1,187	1,139	1,101	1,071	1,049	1,034	1,025	1,022
	0,3	2,003	1,925	1,843	1,760	1,678	1,598	1,521	1,446	1,375	1,310	1,254	1,206	1,165	1,131	1,102	1,080	1,062	1,048	1,039	1,033	1,030
	0,4	1,790	1,717	1,642	1,569	1,497	1,430	1,370	1,316	1,269	1,227	1,190	1,159	1,131	1,108	1,089	1,073	1,061	1,051	1,044	1,039	1,037
	0,5	1,604	1,539	1,479	1,423	1,373	1,326	1,284	1,247	1,213	1,184	1,157	1,135	1,115	1,098	1,084	1,072	1,063	1,055	1,049	1,046	1,043
	0,6	1,468	1,421	1,377	1,336	1,299	1,265	1,234	1,206	1,181	1,159	1,139	1,122	1,106	1,093	1,082	1,073	1,065	1,059	1,054	1,051	1,049
	0,7	1,382	1,346	1,313	1,282	1,253	1,227	1,203	1,181	1,161	1,144	1,128	1,114	1,102	1,091	1,082	1,074	1,068	1,063	1,059	1,056	1,054
	0,8	1,324	1,296	1,270	1,245	1,222	1,201	1,182	1,164	1,148	1,134	1,121	1,110	1,100	1,090	1,083	1,076	1,071	1,066	1,062	1,060	1,058
	0,9	1,284	1,261	1,239	1,219	1,201	1,183	1,167	1,153	1,140	1,128	1,117	1,107	1,098	1,091	1,084	1,078	1,073	1,069	1,066	1,063	1,061
	1	1,254	1,236	1,217	1,201	1,185	1,170	1,157	1,145	1,133	1,123	1,114	1,105	1,098	1,091	1,085	1,080	1,076	1,072	1,069	1,067	1,065
	1,1	1,233	1,217	1,201	1,187	1,174	1,161	1,150	1,139	1,129	1,120	1,112	1,104	1,098	1,092	1,087	1,082	1,078	1,075	1,072	1,070	1,068
	1,2	1,216	1,202	1,189	1,176	1,165	1,154	1,144	1,135	1,126	1,118	1,111	1,104	1,098	1,093	1,088	1,084	1,081	1,077	1,075	1,072	1,071
	1,3	1,203	1,191	1,179	1,168	1,158	1,148	1,139	1,131	1,124	1,117	1,110	1,104	1,099	1,094	1,090	1,086	1,083	1,079	1,077	1,075	1,073
	1,4	1,193	1,181	1,172	1,162	1,153	1,144	1,136	1,129	1,122	1,116	1,110	1,104	1,099	1,095	1,091	1,087	1,084	1,081	1,079	1,077	1,075
	1,5	1,184	1,175	1,165	1,157	1,148	1,141	1,134	1,127	1,121	1,115	1,110	1,105	1,100	1,096	1,092	1,089	1,086	1,083	1,081	1,079	1,078
	1,6	1,177	1,168	1,160	1,152	1,145	1,138	1,131	1,125	1,120	1,114	1,110	1,105	1,101	1,097	1,094	1,091	1,088	1,085	1,083	1,081	1,080
	1,7	1,171	1,164	1,156	1,149	1,142	1,135	1,130	1,124	1,119	1,114	1,109	1,105	1,102	1,098	1,095	1,092	1,089	1,087	1,085	1,083	1,081
	1,8	1,167	1,159	1,153	1,146	1,140	1,134	1,128	1,123	1,118	1,114	1,109	1,106	1,102	1,099	1,096	1,093	1,090	1,088	1,086	1,084	1,083
	2	1,159	1,153	1,147	1,141	1,136	1,131	1,126	1,122	1,118	1,114	1,110	1,107	1,103	1,101	1,098	1,095	1,093	1,091	1,089	1,087	1,086
2,2	1,153	1,148	1,143	1,138	1,133	1,129	1,125	1,121	1,117	1,114	1,111	1,107	1,105	1,102	1,100	1,097	1,095	1,093	1,091	1,090	1,089	
2,5	1,148	1,143	1,139	1,135	1,131	1,127	1,124	1,120	1,117	1,114	1,111	1,109	1,107	1,104	1,102	1,100	1,098	1,096	1,094	1,093	1,092	
3	1,141	1,138	1,135	1,131	1,128	1,126	1,123	1,120	1,117	1,115	1,113	1,111	1,109	1,107	1,105	1,103	1,102	1,100	1,099	1,098	1,096	
3,5	1,137	1,134	1,132	1,130	1,127	1,125	1,122	1,120	1,118	1,116	1,114	1,112	1,111	1,109	1,108	1,106	1,105	1,103	1,102	1,101	1,100	
4	1,135	1,133	1,130	1,128	1,126	1,124	1,122	1,121	1,119	1,117	1,115	1,114	1,112	1,111	1,110	1,108	1,107	1,105	1,105	1,104	1,103	
5	1,132	1,130	1,129	1,127	1,126	1,124	1,122	1,121	1,119	1,118	1,117	1,116	1,115	1,114	1,112	1,111	1,110	1,109	1,108	1,108	1,107	
7	1,129	1,128	1,127	1,126	1,125	1,124	1,123	1,122	1,121	1,120	1,119	1,118	1,117	1,116	1,115	1,114	1,114	1,114	1,113	1,112	1,112	
10	1,128	1,127	1,127	1,126	1,125	1,125	1,124	1,123	1,123	1,122	1,121	1,121	1,120	1,119	1,119	1,118	1,118	1,118	1,117	1,117	1,116	
∞	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	

FIGURE 9.6 – Valeurs du coefficient C_1 avec une charge répartie et $\mu > 0$

C_2																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu = qL^2/8M > 0$	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,1	0,081	0,076	0,072	0,070	0,068	0,066	0,065	0,063	0,062	0,060	0,058	0,056	0,054	0,052	0,049	0,047	0,045	0,043	0,041	0,039	0,037
	0,2	0,142	0,136	0,131	0,128	0,125	0,122	0,119	0,116	0,112	0,109	0,105	0,101	0,097	0,093	0,090	0,086	0,082	0,079	0,075	0,072	0,069
	0,3	0,192	0,186	0,181	0,176	0,172	0,167	0,163	0,158	0,154	0,149	0,144	0,138	0,133	0,128	0,123	0,118	0,113	0,109	0,104	0,100	0,096
	0,4	0,234	0,227	0,222	0,216	0,211	0,205	0,199	0,193	0,187	0,181	0,175	0,169	0,163	0,157	0,151	0,145	0,140	0,134	0,129	0,125	0,120
	0,5	0,269	0,262	0,255	0,249	0,242	0,236	0,229	0,222	0,215	0,208	0,201	0,194	0,187	0,181	0,174	0,168	0,162	0,157	0,151	0,146	0,141
	0,6	0,298	0,290	0,283	0,276	0,268	0,261	0,253	0,245	0,238	0,230	0,223	0,216	0,208	0,201	0,195	0,188	0,182	0,176	0,170	0,165	0,159
	0,7	0,322	0,313	0,305	0,297	0,289	0,281	0,273	0,265	0,257	0,249	0,241	0,234	0,226	0,219	0,212	0,205	0,199	0,193	0,187	0,181	0,175
	0,8	0,341	0,332	0,324	0,315	0,307	0,298	0,290	0,282	0,273	0,265	0,257	0,250	0,242	0,235	0,228	0,221	0,214	0,208	0,202	0,196	0,190
	0,9	0,357	0,348	0,339	0,330	0,321	0,313	0,304	0,296	0,287	0,279	0,271	0,263	0,256	0,248	0,241	0,234	0,227	0,221	0,215	0,209	0,203
	1	0,370	0,361	0,352	0,342	0,334	0,325	0,316	0,308	0,299	0,291	0,283	0,275	0,268	0,260	0,253	0,246	0,240	0,233	0,227	0,221	0,215
	1,1	0,380	0,371	0,362	0,353	0,344	0,335	0,327	0,318	0,310	0,302	0,294	0,286	0,278	0,271	0,264	0,257	0,250	0,244	0,238	0,232	0,226
	1,2	0,389	0,380	0,371	0,362	0,353	0,344	0,336	0,327	0,319	0,311	0,303	0,295	0,288	0,281	0,274	0,267	0,260	0,254	0,248	0,241	0,236
	1,3	0,397	0,387	0,378	0,369	0,360	0,352	0,343	0,335	0,327	0,319	0,311	0,304	0,296	0,289	0,282	0,275	0,269	0,263	0,256	0,251	0,245
	1,4	0,403	0,394	0,385	0,376	0,367	0,359	0,350	0,342	0,334	0,326	0,318	0,311	0,304	0,297	0,290	0,284	0,277	0,271	0,265	0,259	0,253
	1,5	0,408	0,399	0,390	0,381	0,373	0,364	0,356	0,348	0,340	0,333	0,325	0,318	0,311	0,304	0,297	0,291	0,284	0,278	0,272	0,266	0,261
	1,6	0,413	0,404	0,395	0,386	0,378	0,370	0,362	0,354	0,346	0,339	0,331	0,324	0,317	0,310	0,304	0,297	0,291	0,285	0,279	0,274	0,268
	1,7	0,416	0,408	0,399	0,391	0,383	0,375	0,367	0,359	0,351	0,344	0,337	0,330	0,323	0,316	0,310	0,303	0,297	0,291	0,286	0,280	0,274
	1,8	0,420	0,411	0,403	0,394	0,386	0,379	0,371	0,363	0,356	0,349	0,342	0,335	0,328	0,322	0,315	0,309	0,303	0,297	0,291	0,286	0,281
	2	0,425	0,417	0,409	0,401	0,393	0,386	0,378	0,371	0,364	0,357	0,351	0,344	0,338	0,331	0,325	0,319	0,313	0,308	0,302	0,297	0,292
2,2	0,429	0,421	0,414	0,406	0,399	0,392	0,385	0,378	0,371	0,365	0,358	0,352	0,346	0,340	0,334	0,328	0,323	0,317	0,312	0,306	0,301	
2,5	0,433	0,426	0,419	0,412	0,406	0,399	0,392	0,386	0,380	0,374	0,368	0,362	0,356	0,350	0,345	0,339	0,334	0,329	0,324</			

C₁																							
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
μ=qL²/8M < 0	0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000	
	-0,1	2,450	2,672	2,805	2,815	2,751	2,653	2,538	2,415	2,288	2,160	2,033	1,909	1,791	1,678	1,573	1,475	1,385	1,302	1,227	1,158	1,095	
	-0,2	2,233	2,490	2,763	2,972	3,034	2,987	2,890	2,770	2,637	2,497	2,354	2,210	2,069	1,932	1,802	1,680	1,567	1,464	1,371	1,286	1,209	
	-0,3	2,003	2,231	2,505	2,817	3,108	3,249	3,236	3,149	3,027	2,886	2,735	2,576	2,414	2,252	2,094	1,942	1,800	1,670	1,551	1,444	1,348	
	-0,4	1,790	1,980	2,210	2,491	2,828	3,190	3,440	3,489	3,423	3,306	3,162	3,001	2,829	2,648	2,463	2,279	2,101	1,934	1,781	1,644	1,522	
	-0,5	1,604	1,759	1,944	2,171	2,450	2,795	3,201	3,570	3,726	3,703	3,601	3,461	3,296	3,113	2,915	2,705	2,490	2,279	2,081	1,902	1,742	
	-0,6	1,468	1,570	1,719	1,897	2,115	2,385	2,722	3,140	3,598	3,908	3,971	3,902	3,775	3,614	3,426	3,214	2,979	2,728	2,477	2,240	2,027	
	-0,7	1,382	1,410	1,530	1,671	1,840	2,046	2,300	2,618	3,020	3,507	3,972	4,191	4,192	4,094	3,945	3,760	3,540	3,281	2,989	2,685	2,400	
	-0,8	1,324	1,316	1,372	1,486	1,618	1,776	1,967	2,201	2,493	2,862	3,326	3,863	4,290	4,433	4,397	4,276	4,104	3,882	3,600	3,253	2,884	
	-0,9	1,284	1,278	1,271	1,332	1,438	1,562	1,708	1,882	2,095	2,357	2,685	3,101	3,617	4,175	4,550	4,646	4,584	4,438	4,219	3,898	3,471	
	-1	1,254	1,250	1,245	1,242	1,291	1,389	1,503	1,637	1,796	1,986	2,218	2,505	2,865	3,317	3,865	4,419	4,754	4,820	4,724	4,498	4,089	
	-1,1	1,233	1,229	1,226	1,223	1,222	1,248	1,339	1,444	1,566	1,709	1,879	2,083	2,331	2,638	3,019	3,491	4,045	4,574	4,869	4,871	4,590	
	-1,2	1,216	1,213	1,211	1,209	1,208	1,208	1,208	1,290	1,386	1,496	1,625	1,775	1,954	2,168	2,428	2,746	3,136	3,607	4,133	4,583	4,712	
	-1,3	1,203	1,201	1,199	1,198	1,197	1,197	1,198	1,200	1,241	1,329	1,429	1,544	1,678	1,834	2,019	2,239	2,504	2,823	3,207	3,648	4,084	
	-1,4	1,193	1,191	1,190	1,189	1,189	1,189	1,189	1,190	1,192	1,195	1,199	1,274	1,364	1,467	1,586	1,723	1,883	2,070	2,292	2,555	2,865	3,221
	-1,5	1,184	1,183	1,182	1,182	1,182	1,183	1,184	1,185	1,188	1,191	1,196	1,221	1,303	1,396	1,501	1,621	1,760	1,920	2,107	2,325	2,578	
	-1,6	1,177	1,176	1,176	1,176	1,176	1,177	1,178	1,180	1,183	1,186	1,190	1,194	1,200	1,245	1,328	1,422	1,528	1,649	1,788	1,946	2,128	
	-1,7	1,171	1,171	1,171	1,171	1,171	1,172	1,174	1,176	1,178	1,181	1,185	1,189	1,194	1,199	1,207	1,266	1,350	1,444	1,550	1,670	1,805	
	-1,8	1,167	1,166	1,166	1,167	1,167	1,168	1,170	1,171	1,174	1,177	1,180	1,184	1,189	1,194	1,200	1,207	1,214	1,283	1,366	1,460	1,564	
	-2	1,159	1,159	1,159	1,160	1,161	1,162	1,163	1,165	1,167	1,170	1,173	1,176	1,180	1,185	1,190	1,195	1,201	1,208	1,215	1,223	1,232	
	-2,2	1,153	1,154	1,154	1,155	1,156	1,157	1,159	1,160	1,162	1,165	1,167	1,170	1,174	1,178	1,182	1,186	1,192	1,197	1,203	1,209	1,217	
-2,5	1,148	1,148	1,148	1,149	1,151	1,152	1,153	1,155	1,157	1,159	1,161	1,164	1,167	1,170	1,173	1,177	1,181	1,185	1,189	1,195	1,201		
-3	1,141	1,142	1,143	1,143	1,144	1,146	1,147	1,148	1,150	1,152	1,154	1,156	1,158	1,160	1,163	1,166	1,169	1,172	1,175	1,179	1,183		
-3,5	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,143	1,144	1,146	1,147	1,149	1,151	1,152	1,155	1,157	1,159	1,161	1,164	1,167	1,170	1,173		
-4	1,135	1,136	1,136	1,137	1,138	1,139	1,140	1,142	1,143	1,144	1,145	1,147	1,149	1,151	1,152	1,154	1,156	1,158	1,160	1,163	1,165		
-5	1,132	1,133	1,133	1,134	1,135	1,136	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,144	1,145	1,146	1,148	1,149	1,151	1,152	1,154	1,156		
-7	1,129	1,130	1,130	1,131	1,132	1,133	1,133	1,134	1,135	1,136	1,137	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,143	1,144	1,145	1,146		
-10	1,128	1,129	1,129	1,130	1,130	1,131	1,131	1,132	1,132	1,133	1,133	1,134	1,134	1,134	1,135	1,136	1,137	1,138	1,139	1,139	1,140		
∞	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127		

FIGURE 9.8 – Valeurs du coefficient C₁ avec une charge répartie et μ < 0

C₂																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
μ=qL²/8M < 0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	-0,1	0,083	0,094	0,096	0,089	0,083	0,080	0,077	0,076	0,074	0,073	0,071	0,069	0,067	0,064	0,061	0,058	0,055	0,052	0,050	0,047	0,044
	-0,2	0,150	0,172	0,197	0,209	0,197	0,181	0,171	0,165	0,161	0,159	0,156	0,153	0,149	0,144	0,138	0,132	0,124	0,118	0,111	0,104	0,098
	-0,3	0,205	0,232	0,265	0,307	0,338	0,328	0,298	0,277	0,266	0,259	0,256	0,253	0,249	0,243	0,235	0,224	0,212	0,200	0,187	0,175	0,164
	-0,4	0,250	0,279	0,315	0,360	0,418	0,477	0,487	0,445	0,406	0,384	0,372	0,367	0,364	0,360	0,353	0,341	0,325	0,306	0,285	0,265	0,246
	-0,5	0,287	0,316	0,352	0,396	0,453	0,526	0,612	0,665	0,629	0,567	0,526	0,505	0,497	0,494	0,491	0,483	0,467	0,442	0,412	0,381	0,350
	-0,6	0,317	0,345	0,380	0,421	0,474	0,540	0,625	0,731	0,834	0,849	0,777	0,708	0,669	0,652	0,648	0,646	0,638	0,616	0,578	0,532	0,485
	-0,7	0,340	0,368	0,400	0,439	0,486	0,544	0,617	0,710	0,829	0,968	1,067	1,035	0,946	0,878	0,844	0,834	0,832	0,823	0,789	0,731	0,661
	-0,8	0,358	0,385	0,415	0,451	0,493	0,544	0,606	0,683	0,780	0,904	1,058	1,223	1,300	1,241	1,151	1,091	1,065	1,058	1,039	0,982	0,888
	-0,9	0,373	0,398	0,427	0,460	0,498	0,542	0,596	0,660	0,738	0,836	0,958	1,113	1,302	1,483	1,544	1,482	1,403	1,355	1,328	1,280	1,169
	-1	0,385	0,409	0,435	0,465	0,500	0,540	0,586	0,640	0,705	0,783	0,878	0,996	1,145	1,330	1,548	1,743	1,807	1,760	1,696	1,628	1,498
	-1,1	0,394	0,417	0,442	0,469	0,501	0,536	0,577	0,624	0,678	0,742	0,819	0,910	1,022	1,160	1,332	1,543	1,785	1,994	2,071	2,025	1,876
	-1,2	0,402	0,423	0,446	0,472	0,500	0,532	0,569	0,609	0,656	0,710	0,773	0,847	0,934	1,039	1,166	1,322	1,513	1,742	1,993	2,190	2,204
	-1,3	0,409	0,428	0,450	0,474	0,500	0,529	0,561	0,597	0,638	0,685	0,737	0,798	0,869	0,951	1,049	1,165	1,305	1,474	1,678	1,911	2,133
	-1,4	0,414	0,433	0,453	0,475	0,499	0,525	0,555	0,587	0,623	0,664	0,709	0,760	0,819	0,886	0,964	1,054	1,161	1,286	1,436	1,613	1,817
	-1,5	0,419	0,436	0,455	0,475	0,498	0,522	0,549	0,578	0,610	0,646	0,685	0,730	0,780	0,836	0,900	0,973	1,056	1,154	1,267	1,400	1,554
	-1,6	0,422	0,439	0,457	0,476	0,497	0,519	0,543	0,570	0,599	0,631	0,666	0,705	0,748	0,796	0,850	0,910	0,978	1,056	1,146	1,248	1,366
	-1,7	0,426	0,441	0,458	0,476	0,495	0,516	0,539	0,563	0,589	0,618	0,650	0,684	0,722	0,763	0,809	0,861	0,918	0,982	1,055	1,137	1,230
	-1,8	0,428	0,443	0,459	0,476	0,494	0,513	0,534	0,557	0,581	0,607	0,635	0,666	0,700	0,737	0,777	0,821	0,870	0,924	0,985	1,052	1,128
	-2	0,433	0,446	0,461	0,476	0,492	0,509	0,527	0,546	0,567	0,589	0,612	0,638	0,665	0,695	0,726	0,761	0,799	0,839	0,884	0,933	0,986
	-2,2	0,436	0,448	0,461	0,475	0,489	0,504	0,520	0,537	0,555	0,574	0,594	0,616	0,639	0,663	0,690	0,718	0,748	0,780	0,815	0,853	0,893
-2,5	0,440	0,451	0,462	0,474	0,486	0,499	0,513	0,527	0,542	0,558	0,574	0,592	0,610	0,629	0,650	0,672	0,695	0,719	0,745	0,772	0,802	
-3	0,444	0,453																				

C_1																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu = FL/4M > 0$	0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
	0,1	2,494	2,475	2,408	2,317	2,216	2,109	2,002	1,896	1,792	1,693	1,597	1,507	1,423	1,344	1,271	1,203	1,140	1,082	1,029	1,028	1,027
	0,2	2,348	2,285	2,200	2,105	2,006	1,906	1,807	1,711	1,619	1,532	1,449	1,371	1,298	1,231	1,168	1,109	1,055	1,055	1,055	1,053	1,051
	0,3	2,168	2,089	2,000	1,908	1,815	1,724	1,636	1,551	1,470	1,394	1,322	1,255	1,192	1,134	1,079	1,080	1,080	1,078	1,077	1,074	1,072
	0,4	1,983	1,901	1,816	1,730	1,646	1,564	1,486	1,412	1,342	1,276	1,213	1,155	1,101	1,102	1,103	1,102	1,101	1,098	1,096	1,093	1,090
	0,5	1,809	1,730	1,651	1,573	1,498	1,426	1,358	1,293	1,231	1,174	1,120	1,122	1,124	1,124	1,123	1,121	1,118	1,116	1,112	1,109	1,105
	0,6	1,650	1,577	1,505	1,436	1,370	1,306	1,246	1,189	1,136	1,140	1,142	1,143	1,143	1,141	1,140	1,137	1,134	1,131	1,127	1,123	1,119
	0,7	1,508	1,442	1,378	1,317	1,258	1,203	1,150	1,155	1,158	1,160	1,161	1,160	1,159	1,157	1,154	1,151	1,148	1,144	1,140	1,136	1,132
	0,8	1,383	1,324	1,267	1,213	1,161	1,168	1,173	1,175	1,177	1,177	1,177	1,175	1,173	1,170	1,167	1,163	1,160	1,156	1,152	1,147	1,143
	0,9	1,273	1,221	1,170	1,179	1,185	1,189	1,191	1,192	1,192	1,190	1,188	1,185	1,185	1,182	1,178	1,174	1,170	1,166	1,162	1,158	1,153
	1	1,177	1,187	1,194	1,200	1,203	1,206	1,207	1,206	1,205	1,204	1,201	1,199	1,195	1,192	1,188	1,184	1,180	1,176	1,171	1,167	1,163
	1,1	1,202	1,209	1,214	1,217	1,219	1,220	1,219	1,218	1,217	1,214	1,211	1,208	1,205	1,201	1,197	1,193	1,188	1,184	1,180	1,175	1,171
	1,2	1,222	1,227	1,230	1,231	1,232	1,231	1,230	1,229	1,226	1,223	1,220	1,217	1,213	1,209	1,205	1,201	1,196	1,192	1,187	1,183	1,179
	1,3	1,238	1,241	1,243	1,243	1,243	1,241	1,240	1,237	1,235	1,231	1,228	1,224	1,220	1,216	1,212	1,208	1,203	1,199	1,194	1,190	1,186
	1,4	1,252	1,253	1,254	1,253	1,252	1,250	1,248	1,245	1,242	1,238	1,235	1,231	1,227	1,223	1,218	1,214	1,210	1,205	1,201	1,196	1,192
	1,5	1,263	1,263	1,263	1,262	1,260	1,258	1,255	1,252	1,248	1,245	1,241	1,237	1,233	1,229	1,224	1,220	1,216	1,211	1,207	1,202	1,198
	1,6	1,273	1,272	1,271	1,269	1,267	1,264	1,261	1,258	1,254	1,250	1,246	1,242	1,238	1,234	1,230	1,225	1,221	1,217	1,212	1,208	1,204
	1,7	1,280	1,279	1,277	1,275	1,273	1,270	1,266	1,263	1,259	1,255	1,251	1,247	1,243	1,239	1,235	1,230	1,226	1,222	1,217	1,213	1,209
	1,8	1,287	1,286	1,283	1,281	1,278	1,275	1,271	1,268	1,264	1,260	1,256	1,252	1,248	1,243	1,239	1,235	1,231	1,226	1,222	1,218	1,214
	2	1,298	1,296	1,293	1,290	1,287	1,283	1,279	1,276	1,272	1,268	1,264	1,260	1,256	1,251	1,247	1,243	1,239	1,235	1,231	1,226	1,222
	2,2	1,306	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290	1,286	1,282	1,278	1,274	1,270	1,266	1,262	1,258	1,254	1,250	1,246	1,242	1,238	1,234	1,230
	2,5	1,315	1,312	1,309	1,305	1,302	1,298	1,294	1,290	1,287	1,283	1,279	1,275	1,271	1,267	1,263	1,259	1,255	1,251	1,247	1,244	1,240
	3	1,325	1,322	1,318	1,315	1,311	1,307	1,304	1,300	1,296	1,293	1,289	1,285	1,282	1,278	1,274	1,271	1,267	1,263	1,260	1,257	1,253
	3,5	1,331	1,328	1,324	1,321	1,317	1,314	1,311	1,307	1,304	1,300	1,297	1,293	1,290	1,287	1,283	1,280	1,277	1,273	1,270	1,267	1,263
	4	1,335	1,332	1,328	1,325	1,322	1,319	1,316	1,312	1,309	1,306	1,303	1,300	1,296	1,293	1,290	1,287	1,284	1,281	1,278	1,275	1,272
	5	1,339	1,337	1,334	1,331	1,328	1,325	1,322	1,320	1,317	1,314	1,311	1,308	1,306	1,303	1,300	1,298	1,295	1,292	1,290	1,287	1,284
	7	1,343	1,341	1,339	1,337	1,334	1,332	1,330	1,328	1,326	1,323	1,321	1,319	1,317	1,315	1,313	1,311	1,308	1,306	1,304	1,302	1,300
	10	1,346	1,344	1,342	1,341	1,339	1,337	1,336	1,334	1,332	1,331	1,329	1,327	1,326	1,324	1,322	1,321	1,319	1,318	1,316	1,315	1,313
∞	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	

FIGURE 9.10 – Valeurs du coefficient C_1 avec une charge ponctuelle et $\mu > 0$

C_2																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\mu = FL/4M > 0$	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	0,1	0,060	0,057	0,054	0,053	0,053	0,054	0,055	0,055	0,056	0,056	0,055	0,054	0,053	0,051	0,050	0,048	0,046	0,044	0,042	0,040	0,038
	0,2	0,109	0,105	0,103	0,103	0,104	0,105	0,106	0,106	0,106	0,105	0,103	0,101	0,099	0,095	0,092	0,089	0,085	0,081	0,078	0,075	0,071
	0,3	0,153	0,151	0,150	0,151	0,152	0,153	0,153	0,152	0,151	0,149	0,145	0,142	0,138	0,133	0,129	0,124	0,119	0,114	0,110	0,105	0,101
	0,4	0,196	0,195	0,195	0,196	0,196	0,196	0,195	0,193	0,190	0,186	0,182	0,177	0,172	0,166	0,160	0,154	0,149	0,143	0,138	0,132	0,127
	0,5	0,237	0,236	0,236	0,236	0,235	0,234	0,231	0,228	0,223	0,219	0,213	0,207	0,201	0,194	0,188	0,181	0,175	0,168	0,162	0,156	0,151
	0,6	0,275	0,274	0,273	0,272	0,270	0,267	0,263	0,258	0,253	0,247	0,240	0,233	0,226	0,219	0,212	0,205	0,198	0,191	0,184	0,178	0,172
	0,7	0,310	0,308	0,306	0,303	0,300	0,295	0,290	0,284	0,278	0,271	0,264	0,256	0,249	0,241	0,233	0,226	0,218	0,211	0,204	0,198	0,191
	0,8	0,340	0,337	0,334	0,330	0,325	0,320	0,314	0,307	0,300	0,292	0,284	0,276	0,268	0,260	0,252	0,245	0,237	0,229	0,222	0,215	0,208
	0,9	0,367	0,363	0,358	0,353	0,347	0,341	0,334	0,326	0,319	0,311	0,303	0,294	0,286	0,277	0,269	0,261	0,253	0,246	0,238	0,231	0,224
	1	0,390	0,385	0,379	0,373	0,366	0,359	0,351	0,343	0,335	0,327	0,318	0,310	0,301	0,293	0,285	0,276	0,268	0,261	0,253	0,246	0,239
	1,1	0,410	0,404	0,397	0,390	0,383	0,375	0,367	0,359	0,350	0,341	0,333	0,324	0,315	0,307	0,298	0,290	0,282	0,274	0,267	0,259	0,252
	1,2	0,426	0,420	0,413	0,405	0,397	0,389	0,380	0,372	0,363	0,354	0,345	0,337	0,328	0,319	0,311	0,302	0,294	0,287	0,279	0,271	0,264
	1,3	0,441	0,434	0,426	0,418	0,410	0,401	0,392	0,383	0,375	0,366	0,357	0,348	0,339	0,331	0,322	0,314	0,306	0,298	0,290	0,283	0,276
	1,4	0,453	0,446	0,437	0,429	0,420	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,367	0,358	0,349	0,341	0,333	0,324	0,316	0,308	0,301	0,293	0,286
	1,5	0,464	0,456	0,448	0,439	0,430	0,421	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,368	0,359	0,350	0,342	0,334	0,326	0,318	0,310	0,303	0,296
	1,6	0,473	0,465	0,456	0,448	0,439	0,430	0,421	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,368	0,359	0,351	0,343	0,335	0,327	0,320	0,312	0,305
	1,7	0,482	0,473	0,464	0,455	0,446	0,437	0,428	0,419	0,410	0,401	0,393	0,384	0,376	0,367	0,359	0,351	0,343	0,335	0,328	0,321	0,313
	1,8	0,489	0,480	0,471	0,462	0,453	0,444	0,435	0,426	0,417	0,408	0,400	0,391	0,383	0,375	0,366	0,358	0,351	0,343	0,336	0,328	0,321
	2	0,500	0,491	0,482	0,473	0,465	0,456	0,447	0,438	0,429	0,421	0,412	0,404	0,396	0,388	0,380	0,372	0,365	0,357	0,350	0,343	0,336
	2,2	0,509	0,500	0,491	0,483	0,474	0,465	0,457	0,448	0,440	0,431	0,423	0,415	0,407	0,399	0,392	0,384	0,377	0,369	0,362	0,355	0,349
	2,5	0,519	0,511	0,502	0,494	0,485	0,477	0,469	0,460	0,452	0,444	0,436	0,429	0,421	0,414	0,407	0,399	0,392	0,385	0,379	0,372	0,365
	3	0,530	0																			

C₁																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
μ=FL/4M < 0	0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
	-0,1	2,494	2,682	2,760	2,737	2,663	2,563	2,451	2,333	2,212	2,090	1,970	1,852	1,740	1,633	1,533	1,439	1,353	1,274	1,202	1,136	1,075
	-0,2	2,348	2,597	2,804	2,889	2,868	2,792	2,690	2,575	2,451	2,324	2,195	2,066	1,939	1,817	1,700	1,590	1,489	1,395	1,310	1,232	1,161
	-0,3	2,168	2,417	2,689	2,916	3,012	2,994	2,919	2,817	2,700	2,573	2,440	2,304	2,166	2,029	1,896	1,769	1,649	1,538	1,437	1,344	1,261
	-0,4	1,983	2,207	2,472	2,763	3,012	3,124	3,114	3,044	2,943	2,826	2,697	2,560	2,417	2,270	2,123	1,978	1,838	1,707	1,586	1,476	1,377
	-0,5	1,809	2,000	2,231	2,505	2,811	3,083	3,219	3,225	3,163	3,067	2,950	2,821	2,681	2,532	2,377	2,218	2,059	1,906	1,762	1,631	1,512
	-0,6	1,650	1,811	2,004	2,236	2,514	2,828	3,122	3,291	3,322	3,274	3,185	3,072	2,943	2,801	2,647	2,483	2,311	2,138	1,970	1,813	1,671
	-0,7	1,508	1,643	1,802	1,992	2,222	2,496	2,811	3,122	3,332	3,399	3,372	3,295	3,189	3,062	2,919	2,760	2,586	2,400	2,210	2,025	1,855
	-0,8	1,383	1,496	1,627	1,783	1,968	2,189	2,453	2,760	3,080	3,332	3,449	3,453	3,394	3,297	3,175	3,032	2,868	2,681	2,477	2,267	2,066
	-0,9	1,273	1,368	1,478	1,605	1,754	1,931	2,141	2,390	2,681	2,998	3,283	3,458	3,508	3,475	3,393	3,278	3,135	2,963	2,760	2,533	2,302
	-1	1,177	1,258	1,349	1,454	1,576	1,718	1,884	2,080	2,312	2,583	2,885	3,185	3,414	3,523	3,529	3,469	3,363	3,220	3,035	2,807	2,554
	-1,1	1,202	1,220	1,239	1,327	1,427	1,542	1,675	1,831	2,012	2,225	2,472	2,753	3,048	3,313	3,485	3,544	3,515	3,422	3,273	3,066	2,806
	-1,2	1,222	1,239	1,258	1,279	1,301	1,396	1,505	1,629	1,773	1,940	2,133	2,357	2,612	2,889	3,163	3,382	3,500	3,512	3,434	3,273	3,031
	-1,3	1,238	1,255	1,273	1,293	1,314	1,338	1,363	1,465	1,581	1,713	1,865	2,040	2,242	2,470	2,722	2,984	3,222	3,366	3,439	3,374	3,193
	-1,4	1,252	1,268	1,285	1,304	1,324	1,346	1,369	1,395	1,424	1,531	1,652	1,791	1,949	2,129	2,333	2,559	2,798	3,029	3,210	3,291	3,233
	-1,5	1,263	1,278	1,295	1,312	1,331	1,351	1,374	1,397	1,423	1,451	1,481	1,592	1,718	1,861	2,022	2,203	2,403	2,616	2,827	3,003	3,090
	-1,6	1,273	1,287	1,302	1,319	1,337	1,356	1,376	1,398	1,422	1,447	1,474	1,503	1,534	1,648	1,777	1,921	2,082	2,258	2,446	2,633	2,792
	-1,7	1,280	1,294	1,309	1,325	1,341	1,359	1,378	1,398	1,420	1,443	1,468	1,494	1,522	1,551	1,581	1,698	1,827	1,969	2,125	2,289	2,453
	-1,8	1,287	1,300	1,314	1,329	1,345	1,361	1,379	1,398	1,418	1,439	1,461	1,485	1,511	1,537	1,565	1,594	1,623	1,739	1,866	2,003	2,147
	-2	1,298	1,310	1,323	1,336	1,350	1,364	1,380	1,396	1,413	1,431	1,451	1,471	1,492	1,514	1,537	1,561	1,585	1,611	1,636	1,660	1,683
	-2,2	1,306	1,317	1,329	1,341	1,353	1,366	1,380	1,394	1,409	1,425	1,441	1,458	1,476	1,495	1,515	1,535	1,556	1,577	1,599	1,621	1,642
-2,5	1,315	1,325	1,335	1,345	1,356	1,367	1,379	1,391	1,403	1,416	1,430	1,444	1,458	1,473	1,489	1,505	1,522	1,539	1,556	1,574	1,592	
-3	1,325	1,333	1,341	1,349	1,358	1,367	1,376	1,386	1,395	1,405	1,416	1,426	1,437	1,448	1,460	1,472	1,484	1,497	1,509	1,522	1,535	
-3,5	1,331	1,338	1,344	1,351	1,359	1,366	1,373	1,381	1,389	1,397	1,406	1,414	1,423	1,432	1,441	1,450	1,460	1,469	1,479	1,489	1,499	
-4	1,335	1,341	1,346	1,352	1,359	1,365	1,371	1,378	1,384	1,391	1,398	1,405	1,412	1,420	1,427	1,435	1,442	1,450	1,458	1,466	1,475	
-5	1,339	1,344	1,348	1,353	1,358	1,363	1,367	1,372	1,377	1,382	1,388	1,393	1,398	1,404	1,409	1,414	1,420	1,426	1,432	1,437	1,443	
-7	1,343	1,347	1,350	1,353	1,356	1,359	1,363	1,366	1,369	1,372	1,376	1,379	1,383	1,386	1,390	1,393	1,397	1,401	1,404	1,408	1,411	
-10	1,346	1,348	1,350	1,352	1,354	1,356	1,358	1,361	1,363	1,365	1,367	1,369	1,372	1,374	1,376	1,379	1,381	1,383	1,386	1,388	1,390	
∞	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	

FIGURE 9.12 – Valeurs du coefficient C₁ avec une charge ponctuelle et μ < 0

C₂																						
		-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
μ=FL/4M < 0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	-0,1	0,067	0,073	0,069	0,063	0,059	0,057	0,057	0,058	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060	0,058	0,056	0,053	0,051	0,048	0,046	0,044
	-0,2	0,134	0,154	0,163	0,151	0,135	0,125	0,121	0,120	0,122	0,125	0,128	0,129	0,130	0,128	0,126	0,121	0,116	0,111	0,105	0,099	0,094
	-0,3	0,202	0,231	0,263	0,277	0,253	0,222	0,202	0,193	0,191	0,194	0,198	0,203	0,206	0,206	0,204	0,198	0,191	0,181	0,172	0,161	0,152
	-0,4	0,267	0,304	0,349	0,396	0,416	0,382	0,332	0,298	0,280	0,275	0,277	0,282	0,289	0,293	0,293	0,288	0,278	0,265	0,250	0,235	0,220
	-0,5	0,326	0,368	0,419	0,482	0,548	0,581	0,543	0,475	0,421	0,391	0,378	0,376	0,381	0,388	0,392	0,390	0,381	0,365	0,345	0,322	0,300
	-0,6	0,377	0,420	0,474	0,541	0,621	0,707	0,761	0,736	0,658	0,583	0,533	0,508	0,499	0,501	0,506	0,507	0,500	0,483	0,457	0,427	0,396
	-0,7	0,419	0,463	0,516	0,582	0,662	0,757	0,862	0,943	0,947	0,875	0,787	0,717	0,674	0,652	0,646	0,645	0,639	0,623	0,592	0,552	0,509
	-0,8	0,452	0,496	0,548	0,610	0,684	0,775	0,882	1,002	1,110	1,156	1,113	1,026	0,942	0,880	0,842	0,822	0,808	0,789	0,754	0,703	0,645
	-0,9	0,480	0,522	0,571	0,629	0,697	0,779	0,876	0,991	1,122	1,252	1,341	1,346	1,282	1,197	1,121	1,065	1,026	0,993	0,949	0,886	0,808
	-1	0,502	0,542	0,588	0,642	0,704	0,777	0,863	0,965	1,084	1,220	1,364	1,490	1,552	1,532	1,463	1,383	1,313	1,252	1,189	1,108	1,005
	-1,1	0,520	0,558	0,601	0,651	0,707	0,773	0,849	0,938	1,041	1,161	1,299	1,449	1,598	1,710	1,748	1,716	1,647	1,567	1,481	1,376	1,243
	-1,2	0,535	0,571	0,611	0,657	0,709	0,767	0,835	0,913	1,002	1,105	1,224	1,360	1,512	1,670	1,815	1,910	1,930	1,887	1,803	1,683	1,523
	-1,3	0,547	0,581	0,619	0,661	0,708	0,762	0,822	0,890	0,968	1,057	1,159	1,276	1,408	1,556	1,716	1,875	2,008	2,079	2,070	1,983	1,824
	-1,4	0,557	0,589	0,624	0,664	0,707	0,756	0,810	0,871	0,940	1,017	1,105	1,205	1,318	1,446	1,588	1,744	1,905	2,053	2,155	2,174	2,084
	-1,5	0,565	0,596	0,629	0,665	0,706	0,750	0,799	0,854	0,915	0,984	1,060	1,146	1,243	1,352	1,474	1,610	1,759	1,915	2,064	2,177	2,209
	-1,6	0,572	0,601	0,632	0,666	0,704	0,745	0,790	0,839	0,894	0,955	1,022	1,098	1,182	1,275	1,380	1,496	1,625	1,765	1,913	2,055	2,167
	-1,7	0,578	0,606	0,635	0,667	0,702	0,740	0,781	0,826	0,876	0,930	0,991	1,057	1,131	1,212	1,302	1,402	1,513	1,635	1,766	1,904	2,036
	-1,8	0,584	0,609	0,637	0,667	0,700	0,735	0,773	0,815	0,860	0,909	0,963	1,023	1,088	1,159	1,238	1,325	1,421	1,526	1,641	1,764	1,891
	-2	0,592	0,615	0,640	0,667	0,696	0,726	0,760	0,795	0,833	0,875	0,920	0,968	1,021	1,078	1,140	1,207	1,281	1,361	1,449	1,543	1,645
	-2,2	0,598	0,620	0,642	0,666	0,692	0,719	0,748	0,779	0,812	0,848	0,886	0,926	0,970	1,017	1,068	1,123	1,181	1,245	1,314	1,388	1,467
-2,5	0,605	0,624	0,644	0,665	0,686	0,710	0,734	0,760	0,788	0,817	0,847	0,880	0,915	0,952	0,991	1,033	1,077	1,125	1,176	1,230	1,287	
-3	0,612	0,628	0,644	0,661	0,679	0,6																

Autre expression de $\overline{\lambda_{LT}}$

On peut également exprimer l'**élancement réduit au déversement** $\overline{\lambda_{LT}}$ en fonction du moment critique de déversement M_{cr} à l'aide de l'expression :

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

avec le moment critique de déversement M_{cr} exprimé selon l'Annexe F de l'EUROCODE 3 par :

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

avec :

- C_1 et C_2 les coefficients définis au paragraphe précédent,
- k et k_w les coefficients dépendant des conditions d'appuis et définis figure 9.4,
- $z_g = z_a - z_s$ avec z_a la coordonnée du point d'application de la charge et z_s celle du centre de cisaillement,
- $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$ le module de cisaillement ($G = 80000 \text{ Mpa}$ pour l'acier),
- I_t le module d'inertie de torsion, caractéristique de la section,
- I_w le module d'inertie de gauchissement, caractéristique de la section,
- I_z le module d'inertie de flexion autour de l'axe faible, caractéristique de la section,
- L la longueur de la poutre entre les points de maintien latéraux.

9.2.2 Verification au déversement en compression et flexion selon l'EC3

Si le déversement est un mode de ruine potentiel, c'est à dire si :

$$\overline{\lambda_{LT}} > 0,4$$

les vérifications suivantes devront être faites :

- pour les sections de classe 1 et 2 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

- pour les sections de classe 3 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{el,y}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{M_{el,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

ou

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z,ed}}{\frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

- pour les sections de classe 4 :

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot (M_{y,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny})}{\frac{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot (M_{z,ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz})}{\frac{W_{eff,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

avec :

- $k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}$ et $k_{LT} \leq 1,0$
- $\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{MLT} - 0,15$ et $\mu_{LT} \leq 0,9$
- $k_z = 1 - \frac{\mu_z \cdot N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}$ et $k_z \leq 1,5$, k_z peut prendre une valeur inférieure à 1,
- $\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4) + \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}}$ en classe 1 et 2; $\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4)$ en classe 3. On a de plus $\mu_z \leq 0,9$,
- Si la longueur de déversement est égale à la longueur de flambement autour de l'axe fort, alors β_{MLT} est égal à β_{My} facteur de moment uniforme équivalent pour le flambement en flexion autour de l'axe fort dépendant du moment fléchissant $M_y(x)$,
- β_{Mz} est le facteur de moment uniforme équivalent pour le flambement en flexion autour de l'axe faible, dépendant du moment fléchissant $M_z(x)$,
- $N_{Ed} \cdot e_{Ny}$ et $N_{Ed} \cdot e_{Nz}$ représentent des moments additionnels dus aux décalage des axes neutres; e_{Ny} et e_{Nz} représentent les décalages d'axe neutre appropriés en supposant la section transversale soumise à la seule compression.

Bibliographie

- [1] NF EN 1993-1-1 , Eurocode 3 - calcul des structures en acier - partie 1-1 :règles générales et règles pour les bâtiments +Amendement A1 (juillet2014), 2005. Indice de classement : P22-311-1.
- [2] NF EN 1993-1-8 , Eurocode 3 - calcul des structures en acier - partie 1-8 : Calcul des assemblages, 2005. Indice de classement : P22-318-1.
- [3] NF EN 1993-1-8 /NA, Eurocode 3 - calcul des structures en acier - partie 1-8 : Calcul des assemblages Annexe nationale à la NF EN 1993-1-8 : 2005, 2007. Indice de classement : P22-318-1/NA.
- [4] NF EN 1993-1-1 /NA, Eurocode 3 - calcul des structures en acier - partie 1-1 :règles générales et règles pour les bâtiments +Amendement A1 (juillet2014) - Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1, 2013. Indice de classement : P22-311-1/NA.
- [5] Recommandations pour le dimensionnement des assemblages selon l'EN 1993-1-8, 2015. N0175.
- [6] APK. *Construction métallique et mixte acier-béton – Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4*. Editions Eyrolles, 1996.
- [7] Collectif d'auteurs. *Eurocode 3 et document d'application nationale - Calcul des structures en acier – Partie1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*. Editions Eyrolles, 1996.
- [8] Collectif d'auteurs. *Structures métalliques – Ouvrages simples – Guide technique et de calcul des éléments structurels en acier*. Editions CAPEB, CTICM, OTUA, 2008.
- [9] C. HAZARD, F. LELONG, and B. QUINZAIN. *Memotech – Structures métalliques*. ed. Castella Educativres, 1997.
- [10] M.A. HIRT, R. BEZ, and A. NUSSBAUMER. *Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne , Vol.10 : Construction Métallique – Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2003.
- [11] M. LANDOWSKI and B. LEMOINE. *Concevoir et construire en acier*. ed. ArcelorMittal, collection Mémento acier, 2008.
- [12] Guy LE RUN. *Structures Métalliques - Dimensionnement des ossatures acier selon les eurocodes - Cours et applications*. Editions Ellipses, 2014.
- [13] Yvon LESCOUARC'H. *Les pieds de poteaux articulés en acier : Dispositions constructives, méthodes de calcul, standardisation*. Collection CTICM, 1982.
- [14] Yvon LESCOUARC'H. *Initiation au calcul d'un bâtiment à structure en acier*. Collection CTICM, 1997.
- [15] Yvon LESCOUARC'H. *Construction métallique – Conception des structures de bâtiment*. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2008.
- [16] Pierre MAITRE. *Formulaire de la construction métallique, Eurocodes 1 et 3, Règles NV65, Règles CM66 + additif 80, Normes d'assemblages, 3ème édition*. Editions Le Moniteur, 2009.

- [17] Pierre MAITRE. *Formulaire de la construction métallique selon l'Eurocode 3*. Editions Le Moniteur, 2013.
- [18] Jean MOREL. *Calcul des structures selon l'Eurocode 3*. Editions Eyrolles, 1997.
- [19] Jean Pierre MUZEAU. *Manuel de construction métallique - Extraits des eurocodes à l'usage des étudiants*. Editions Eyrolles - AFNOR, 2012.
- [20] Jean Pierre MUZEAU. *La construction métallique avec les eurocodes - Interprétation, Exemples de calcul*. Editions Eyrolles - AFNOR, 2014.
- [21] European Steel Design Education Program. Groupe de travail 11 " assemblages sous chargement statique", leçon 11.4.1 "analyse des assemblages -1è partie : Distribution élémentaire des efforts".
- [22] Ivor RYAN. *Assemblages de pieds de poteaux en acier :Dimensionnement des assemblages de pieds de poteaux métalliques encastrés et articulés, Guide Plan Europe*. CSTB/ CTICM, 2010.

Long Carbon Europe



ArcelorMittal

Profilés et Aciers Marchands
Sections and Merchant Bars
Profil- und Stabstahl

Programme de Vente / Sales Programme / Verkaufsprogramm



Poutrelles I européennes

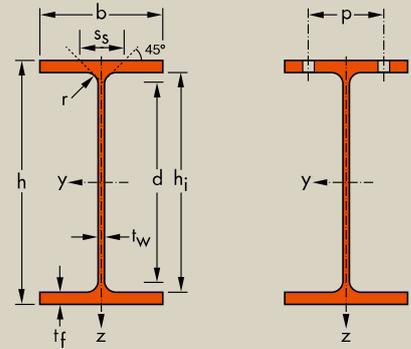
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _r mm	r mm		h _i mm	d mm	∅	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE AA 80*	4,9	78	46	3,2	4,2	5,0	6,31	69,6	59,6	-	-	-	0,325	65,62
IPE A 80·/*	5,0	78	46	3,3	4,2	5,0	6,38	69,6	59,6	-	-	-	0,325	64,90
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5,0	7,64	69,6	59,6	-	-	-	0,328	54,64
IPE AA 100*	6,7	97,6	55	3,6	4,5	7,0	8,56	88,6	74,6	-	-	-	0,396	58,93
IPE A 100·/*	6,9	98	55	3,6	4,7	7,0	8,8	88,6	74,6	-	-	-	0,397	57,57
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7,0	10,3	88,6	74,6	-	-	-	0,400	49,33
IPE AA 120*	8,4	117	64	3,8	4,8	7,0	10,7	107,4	93,4	-	-	-	0,470	56,26
IPE A 120·	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7,0	11,0	107,4	93,4	-	-	-	0,472	54,47
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7,0	13,2	107,4	93,4	-	-	-	0,475	45,82
IPE AA 140*	10,1	136,6	73	3,8	5,2	7,0	12,8	126,2	112,2	-	-	-	0,546	54,26
IPE A 140·	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7,0	13,4	126,2	112,2	-	-	-	0,547	52,05
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7,0	16,4	126,2	112,2	-	-	-	0,551	42,70
IPE AA 160*	12,1	156,4	82	4,0	5,6	7,0	15,4	145,2	131,2	-	-	-	0,621	50,40
IPE A 160·	12,7	157	82	4,0	5,9	9,0	16,2	145,2	127,2	-	-	-	0,619	48,70
IPE 160	15,8	160	82	5,0	7,4	9,0	20,1	145,2	127,2	-	-	-	0,623	39,47
IPE AA 180*	14,9	176,4	91	4,3	6,2	9,0	19,0	164,0	146,0	M 10	48	48	0,693	46,37
IPE A 180·	15,4	177	91	4,3	6,5	9,0	19,6	164,0	146,0	M 10	48	48	0,694	45,15
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8,0	9,0	23,9	164,0	146,0	M 10	48	48	0,698	37,13
IPE O 180+	21,3	182	92	6,0	9,0	9,0	27,1	164,0	146,0	M 10	50	50	0,705	33,12
IPE AA 200*	18,0	196,4	100	4,5	6,7	12,0	22,9	183,0	159,0	M 10	54	58	0,763	42,51
IPE A 200·	18,4	197	100	4,5	7,0	12,0	23,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,764	41,49
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12,0	28,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,768	34,36
IPE O 200+	25,1	202	102	6,2	9,5	12,0	32,0	183,0	159,0	M 10	56	60	0,779	31,05
IPE AA 220*	21,2	216,4	110	4,7	7,4	12,0	27,0	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	39,78
IPE A 220·	22,2	217	110	5,0	7,7	12,0	28,3	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	38,02
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12,0	33,4	201,6	177,6	M 12	60	62	0,848	32,36
IPE O 220+	29,4	222	112	6,6	10,2	12,0	37,4	201,6	177,6	M 10	58	66	0,858	29,24

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	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 mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,y}$ mm ³ x10 ³	$W_{pl,y} \blacklozenge$ mm ³ x10 ³	i_y mm x10	A_z mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,z}$ mm ³ x10 ³	$W_{pl,z} \blacklozenge$ mm ³ x10 ³	i_z mm x10	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
IPE AA 80	4,9	64,1	16,4	18,9	3,19	3,00	6,85	2,98	4,7	1,04	17,5	0,40	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 80	5,0	64,4	16,5	19,0	3,18	3,07	6,85	2,98	4,7	1,04	17,6	0,42	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 80	6,0	80,1	20,0	23,2	3,24	3,58	8,49	3,69	5,8	1,05	20,1	0,70	0,12	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 100	6,7	136	27,9	31,9	3,98	4,40	12,6	4,57	7,2	1,21	20,8	0,73	0,27	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 100	6,9	141	28,8	33,0	4,01	4,44	13,1	4,77	7,5	1,22	21,2	0,77	0,28	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 100	8,1	171	34,2	39,4	4,07	5,08	15,9	5,79	9,2	1,24	23,7	1,20	0,35	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 120	8,4	244	41,7	47,6	4,79	5,36	21,1	6,59	10,4	1,41	21,6	0,95	0,66	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 120	8,7	257	43,8	49,9	4,83	5,41	22,4	7,00	11,0	1,42	22,2	1,04	0,71	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 120	10,4	318	53,0	60,7	4,90	6,31	27,7	8,65	13,6	1,45	25,2	1,74	0,89	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 140	10,1	407	59,7	67,6	5,64	6,14	33,8	9,27	14,5	1,63	22,4	1,19	1,46	1	1	-	1	2	-	✓		
IPE A 140	10,5	435	63,3	71,6	5,70	6,21	36,4	10,0	15,5	1,65	23,2	1,36	1,58	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE 140	12,9	541	77,3	88,3	5,74	7,64	44,9	12,3	19,3	1,65	26,7	2,45	1,98	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 160	12,1	646	82,6	93,3	6,47	7,24	51,6	12,6	19,6	1,83	23,4	1,57	2,93	1	1	-	1	3	-	✓		
IPE A 160	12,7	689	87,8	99,1	6,53	7,80	54,4	13,3	20,7	1,83	26,3	1,96	3,09	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE 160	15,8	869	109	124	6,58	9,66	68,3	16,7	26,1	1,84	30,3	3,60	3,96	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 180	14,9	1020	116	131	7,32	9,13	78,1	17,2	26,7	2,03	27,2	2,48	5,64	1	1	-	2	3	-	✓		
IPE A 180	15,4	1063	120	135	7,37	9,20	81,9	18,0	28,0	2,05	27,8	2,70	5,93	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE 180	18,8	1317	146	166	7,42	11,3	101	22,2	34,6	2,05	31,8	4,79	7,43	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 180	21,3	1505	165	189	7,45	12,7	117	25,5	39,9	2,08	34,5	6,76	8,74	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 200	18,0	1533	156	176	8,19	11,4	112	22,4	35,0	2,21	32,0	3,84	10,1	1	1	-	2	4	-	✓		
IPE A 200	18,4	1591	162	182	8,23	11,5	117	23,4	36,5	2,23	32,6	4,11	10,5	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 200	22,4	1943	194	221	8,26	14,0	142	28,5	44,6	2,24	36,7	6,98	13,0	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 200	25,1	2211	219	249	8,32	15,5	169	33,1	51,9	2,30	39,3	9,45	15,6	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 220	21,2	2219	205	230	9,07	12,8	165	29,9	46,5	2,47	33,6	5,02	17,9	1	1	-	2	4	-	✓		
IPE A 220	22,2	2317	214	240	9,05	13,6	171	31,2	48,5	2,46	34,5	5,69	18,7	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 220	26,2	2772	252	285	9,11	15,9	205	37,3	58,1	2,48	38,4	9,07	22,7	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 220	29,4	3134	282	321	9,16	17,7	240	42,8	66,9	2,53	41,1	12,3	26,8	1	1	1	1	2	2	✓	✓	✓

◆ W_{pl} pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.
 ◆ W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 ◆ W_{pl} bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles I européennes (suite)

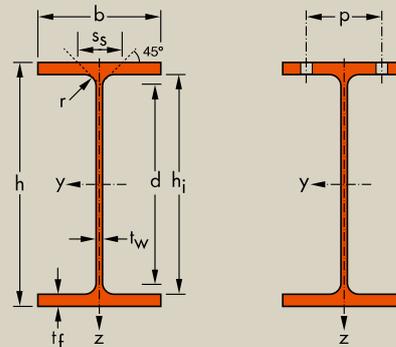
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profil (Fortsetzung)

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h ₁ mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE AA 240*	24,9	236,4	120	4,8	8,0	15,0	31,7	220,4	190,4	M 12	64	68	0,917	36,86
IPE A 240·	26,2	237	120	5,2	8,3	15,0	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15,0	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240+	34,3	242	122	7,0	10,8	15,0	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17
IPE A 270·	30,7	267	135	5,5	8,7	15,0	39,2	249,6	219,6	M 16	70	72	1,037	33,75
IPE 270	36,1	270	135	6,6	10,2	15,0	45,9	249,6	219,6	M 16	72	72	1,041	28,86
IPE O 270+	42,3	274	136	7,5	12,2	15,0	53,8	249,6	219,6	M 16	72	72	1,051	24,88
IPE A 300·	36,5	297	150	6,1	9,2	15,0	46,5	278,6	248,6	M 16	72	86	1,156	31,65
IPE 300	42,2	300	150	7,1	10,7	15,0	53,8	278,6	248,6	M 16	72	86	1,160	27,46
IPE O 300+	49,3	304	152	8,0	12,7	15,0	62,8	278,6	248,6	M 16	74	88	1,174	23,81
IPE A 330·	43,0	327	160	6,5	10,0	18,0	54,7	307,0	271,0	M 16	78	96	1,250	29,09
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18,0	62,6	307,0	271,0	M 16	78	96	1,254	25,52
IPE O 330+	57,0	334	162	8,5	13,5	18,0	72,6	307,0	271,0	M 16	80	98	1,268	22,24
IPE A 360·	50,2	357,6	170	6,6	11,5	18,0	64,0	334,6	298,6	M 22	86	88	1,351	26,91
IPE 360	57,1	360	170	8,0	12,7	18,0	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70
IPE O 360+	66,0	364	172	9,2	14,7	18,0	84,1	334,6	298,6	M 22	90	90	1,367	20,69
IPE A 400·	57,4	397	180	7,0	12,0	21,0	73,1	373,0	331,0	M 22	94	98	1,464	25,51
IPE 400	66,3	400	180	8,6	13,5	21,0	84,5	373,0	331,0	M 22	96	98	1,467	22,12
IPE O 400+	75,7	404	182	9,7	15,5	21,0	96,4	373,0	331,0	M 22	96	100	1,481	19,57
IPE A 450·	67,2	447	190	7,6	13,1	21,0	85,6	420,8	378,8	M 24	100	102	1,603	23,87
IPE 450	77,6	450	190	9,4	14,6	21,0	98,8	420,8	378,8	M 24	100	102	1,605	20,69
IPE O 450+	92,4	456	192	11,0	17,6	21,0	118	420,8	378,8	M 24	102	104	1,622	17,56
IPE A 500·	79,4	497	200	8,4	14,5	21,0	101	468,0	426,0	M 24	100	112	1,741	21,94
IPE 500	90,7	500	200	10,2	16,0	21,0	116	468,0	426,0	M 24	102	112	1,744	19,23
IPE O 500+	107	506	202	12,0	19,0	21,0	137	468,0	426,0	M 24	104	114	1,760	16,4

• Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

• Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

• Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	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	I _y	W _{el,y}	W _{pl,y} ♦	i _y	A _{vz}	I _z	W _{el,z}	W _{pl,z} ♦	i _z	s _s	I _t	I _w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
IPE AA 240	24,9	3154	267	298	9,97	15,3	231	38,6	60,0	2,70	38,4	7,33	30,1	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE A 240	26,2	3290	278	312	9,94	16,3	240	40,0	62,4	2,68	39,4	8,35	31,3	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 240	30,7	3892	324	367	9,97	19,1	284	47,3	73,9	2,69	43,4	12,9	37,4	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 240	34,3	4369	361	410	10,0	21,4	329	53,9	84,4	2,74	46,2	17,2	43,7	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 270	30,7	4917	368	413	11,2	18,8	358	53,0	82,3	3,02	40,5	10,3	59,5	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 270	36,1	5790	429	484	11,2	22,1	420	62,2	97,0	3,02	44,6	15,9	70,6	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE O 270	42,3	6947	507	575	11,4	25,2	514	75,5	118	3,09	49,5	24,9	87,6	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 300	36,5	7173	483	542	12,4	22,3	519	69,2	107	3,34	42,1	13,4	107	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 300	42,2	8356	557	628	12,5	25,7	604	80,5	125	3,35	46,1	20,1	126	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 300	49,3	9994	658	744	12,6	29,1	746	98,1	153	3,45	51,0	31,1	158	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 330	43	10230	626	702	13,7	27,0	685	85,6	133	3,54	47,6	19,6	172	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 330	49,1	11770	713	804	13,7	30,8	788	98,5	154	3,55	51,6	28,2	199	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 330	57	13910	833	943	13,8	34,9	960	119	185	3,64	56,6	42,2	246	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 360	50,2	14520	812	907	15,1	29,8	944	111	172	3,84	50,7	26,5	282	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 360	57,1	16270	904	1019	15,0	35,1	1043	123	191	3,79	54,5	37,3	314	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 360	66	19050	1047	1186	15,1	40,2	1251	146	227	3,86	59,7	55,8	380	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 400	57,4	20290	1022	1144	16,7	35,8	1171	130	202	4,00	55,6	34,8	432	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 400	66,3	23130	1160	1307	16,6	42,7	1318	146	229	3,95	60,2	51,1	490	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 400	75,7	26750	1324	1502	16,7	48,0	1564	172	269	4,03	65,3	73,1	588	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE A 450	67,2	29760	1331	1494	18,7	42,3	1502	158	246	4,19	58,4	45,7	705	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 450	77,6	33740	1500	1702	18,5	50,9	1676	176	276	4,12	63,2	66,9	791	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 450	92,4	40920	1795	2046	18,7	59,4	2085	217	341	4,21	70,8	109	998	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE A 500	79,4	42930	1728	1946	20,6	50,4	1939	194	302	4,38	62,0	62,8	1125	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 500	90,7	48200	1930	2194	20,4	59,9	2142	214	336	4,31	66,8	89,3	1249	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 500	107	57780	2284	2613	20,6	70,2	2622	260	409	4,38	74,6	144	1548	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓

♦ W_{pl} pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.

♦ W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.

♦ W_{pl} bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles I européennes (suite)

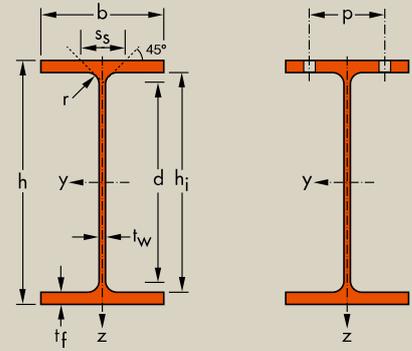
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 État de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profil (Fortsetzung)

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE A 550•	92,1	547	210	9,0	15,7	24,0	117	515,6	467,6	M 24	106	122	1,875	20,36
IPE 550	106	550	210	11,1	17,2	24,0	134	515,6	467,6	M 24	110	122	1,877	17,78
IPE O 550+	123	556	212	12,7	20,2	24,0	156	515,6	467,6	M 24	110	122	1,893	15,45
IPE A 600•	108	597	220	9,8	17,5	24,0	137	562,0	514,0	M 27	114	118	2,013	18,72
IPE 600	122	600	220	12,0	19,0	24,0	156	562,0	514,0	M 27	116	118	2,015	16,45
IPE O 600+	154	610	224	15,0	24,0	24,0	197	562,0	514,0	M 27	118	122	2,045	13,24
IPE 750 x 137*	137	753	263	11,5	17,0	17,0	175	719,0	685,0	M 27	102	162	2,506	18,28
IPE 750 x 147	147	753	265	13,2	17,0	17,0	188	719,0	685,0	M 27	104	164	2,510	17,06
IPE 750 x 173+	173	762	267	14,4	21,6	17,0	221	718,8	684,8	M 27	104	166	2,534	14,58
IPE 750 x 196+	196	770	268	15,6	25,4	17,0	251	719,2	685,2	M 27	106	166	2,552	12,96

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- + Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.
- * Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
- + Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
- * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.
- + Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.
- * Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	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	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y} \blacklozenge$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z} \blacklozenge$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
IPE A 550	92,1	59980	2193	2475	22,6	60,3	2432	232	362	4,55	68,5	86,5	1710	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 550	106	67120	2440	2787	22,4	72,3	2668	254	401	4,45	73,6	123	1884	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 550	123	79160	2847	3263	22,5	82,7	3224	304	481	4,55	81,2	188	2302	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPE A 600	108	82920	2778	3141	24,6	70,1	3116	283	442	4,77	72,9	119	2607	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 600	122	92080	3070	3512	24,3	83,8	3387	308	486	4,66	78,1	165	2846	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 600	154	118300	3879	4471	24,5	104	4521	404	640	4,79	91,1	318	3860	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPE 750 x 137	137	159900	4246	4865	30,3	92,9	5166	393	614	5,44	65,4	137	6980	1	2	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 750 x 147	147	166100	4411	5110	29,8	105	5289	399	631	5,31	67,1	162	7141	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 750 x 173	173	205800	5402	6218	30,5	116	6873	515	810	5,57	77,5	274	9391	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE 750 x 196	196	240300	6241	7174	31,0	127	8175	610	959	5,71	86,3	409	11290	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

\blacklozenge W_{pl} pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.
 \blacklozenge W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 \blacklozenge W_{pl} bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Long Carbon Europe



ArcelorMittal

Profilés et Aciers Marchands
Sections and Merchant Bars
Profil- und Stabstahl

Programme de Vente / Sales Programme / Verkaufsprogramm



Poutrelles européennes à larges ailes

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger

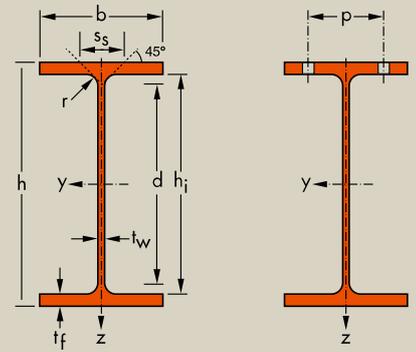
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	Ø	p _{min}	p _{max}	A _L	A _G
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
HE 100 AA*	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,553	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	33,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA*	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,669	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	34,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16
HE 140 AA*	18,1	128	140	4,3	6	12	23,0	116	92	M 16	64	76	0,787	43,53
HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,4	116	92	M 16	64	76	0,794	32,21
HE 140 B	33,7	140	140	7	12	12	43,0	116	92	M 16	66	76	0,805	23,88
HE 140 M	63,2	160	146	13	22	12	80,6	116	92	M 16	72	82	0,857	13,56
HE 160 AA*	23,8	148	160	4,5	7	15	30,4	134	104	M 20	76	84	0,901	37,81
HE 160 A	30,4	152	160	6	9	15	38,8	134	104	M 20	78	84	0,906	29,78
HE 160 B	42,6	160	160	8	13	15	54,3	134	104	M 20	80	84	0,918	21,56
HE 160 M	76,2	180	166	14	23	15	97,1	134	104	M 20	86	90	0,970	12,74
HE 180 AA*	28,7	167	180	5	7,5	15	36,5	152	122	M 24	84	92	1,018	35,51
HE 180 A	35,5	171	180	6	9,5	15	45,3	152	122	M 24	86	92	1,024	28,83
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	65,3	152	122	M 24	88	92	1,037	20,25
HE 180 M	88,9	200	186	14,5	24	15	113,3	152	122	M 24	94	98	1,089	12,25
HE 200 AA*	34,6	186	200	5,5	8	18	44,1	170	134	M 27	96	100	1,130	32,62
HE 200 A	42,3	190	200	6,5	10	18	53,8	170	134	M 27	98	100	1,136	26,89
HE 200 B	61,3	200	200	9	15	18	78,1	170	134	M 27	100	100	1,151	18,78
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131,3	170	134	M 27	106	106	1,203	11,67
HE 220 AA*	40,4	205	220	6	8,5	18	51,5	188	152	M 27	98	118	1,247	30,87
HE 220 A	50,5	210	220	7	11	18	64,3	188	152	M 27	98	118	1,255	24,85
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	91,0	188	152	M 27	100	118	1,270	17,77
HE 220 M	117	240	226	15,5	26	18	149,4	188	152	M 27	108	124	1,322	11,27
HE 240 AA*	47,4	224	240	6,5	9	21	60,4	206	164	M 27	104	138	1,359	28,67
HE 240 A	60,3	230	240	7,5	12	21	76,8	206	164	M 27	104	138	1,369	22,70
HE 240 B	83,2	240	240	10	17	21	106,0	206	164	M 27	108	138	1,384	16,63
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199,6	206	164	M 27	116	146	1,460	9,318

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	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	I_y	$W_{el,y}$	$W_{ply,\blacklozenge}$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z,\blacklozenge}$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
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	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
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	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	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	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	1	3	3	1	3	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	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	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	1	2	1	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	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	120,0	54,33	1	1	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	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	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	1	1	✓	✓	✓
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	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	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	2	3	1	2	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	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	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	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	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	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	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	3	4	3	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	193,3	1	2	3	1	2	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	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	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	3	4	3	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	2	3	1	2	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	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	-	✓	✓	✓

◆ W_{pl} pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.
 ◆ W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.
 ◆ W_{pl} bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

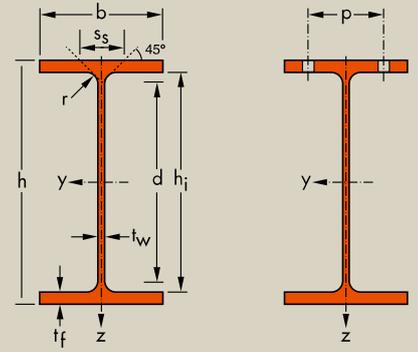
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	Ø	p _{min}	p _{max}	A _L	A _G
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
HE 260 AA*	54,1	244	260	6,5	9,5	24	69,0	225	177	M 27	110	158	1,474	27,22
HE 260 A	68,2	250	260	7,5	12,5	24	86,8	225	177	M 27	110	158	1,484	21,77
HE 260 B	93,0	260	260	10	17,5	24	118,4	225	177	M 27	114	158	1,499	16,12
HE 260 M	172	290	268	18	32,5	24	219,6	225	177	M 27	122	166	1,575	9,133
HE 280 AA*	61,2	264	280	7	10	24	78,0	244	196	M 27	110	178	1,593	26,01
HE 280 A	76,4	270	280	8	13	24	97,3	244	196	M 27	112	178	1,603	20,99
HE 280 B	103	280	280	10,5	18	24	131,4	244	196	M 27	114	178	1,618	15,69
HE 280 M	189	310	288	18,5	33	24	240,2	244	196	M 27	122	186	1,694	8,984
HE 300 AA*	69,8	283	300	7,5	10,5	27	88,9	262	208	M 27	116	198	1,705	24,42
HE 300 A	88,3	290	300	8,5	14	27	112,5	262	208	M 27	118	198	1,717	19,43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	149,1	262	208	M 27	120	198	1,732	14,80
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303,1	262	208	M 27	132	208	1,832	7,699
HE 320 AA*	74,2	301	300	8	11	27	94,6	279	225	M 27	118	198	1,740	23,43
HE 320 A	97,6	310	300	9	15,5	27	124,4	279	225	M 27	118	198	1,756	17,98
HE 320 B	127	320	300	11,5	20,5	27	161,3	279	225	M 27	122	198	1,771	13,98
HE 320 M	245	359	309	21	40	27	312,0	279	225	M 27	132	204	1,866	7,616
HE 340 AA*	78,9	320	300	8,5	11,5	27	100,5	297	243	M 27	118	198	1,777	22,52
HE 340 A	105	330	300	9,5	16,5	27	133,5	297	243	M 27	118	198	1,795	17,13
HE 340 B	134	340	300	12	21,5	27	170,9	297	243	M 27	122	198	1,810	13,49
HE 340 M	248	377	309	21	40	27	315,8	297	243	M 27	132	204	1,902	7,670
HE 360 AA*	83,7	339	300	9	12	27	106,6	315	261	M 27	118	198	1,814	21,67
HE 360 A	112	350	300	10	17,5	27	142,8	315	261	M 27	120	198	1,834	16,36
HE 360 B	142	360	300	12,5	22,5	27	180,6	315	261	M 27	122	198	1,849	13,04
HE 360 M	250	395	308	21	40	27	318,8	315	261	M 27	132	204	1,934	7,730
HE 400 AA*	92,4	378	300	9,5	13	27	117,7	352	298	M 27	118	198	1,891	20,46
HE 400 A	125	390	300	11	19	27	159,0	352	298	M 27	120	198	1,912	15,32
HE 400 B	155	400	300	13,5	24	27	197,8	352	298	M 27	124	198	1,927	12,41
HE 400 M	256	432	307	21	40	27	325,8	352	298	M 27	132	202	2,004	7,835
HE 450 AA*	99,7	425	300	10	13,5	27	127,1	398	344	M 27	120	198	1,984	19,89
HE 450 A	140	440	300	11,5	21	27	178,0	398	344	M 27	122	198	2,011	14,39
HE 450 B	171	450	300	14	26	27	218,0	398	344	M 27	124	198	2,026	11,84
HE 450 M	263	478	307	21	40	27	335,4	398	344	M 27	132	202	2,096	7,959

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	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	I_y	$W_{el,y}$	$W_{ply,\blacklozenge}$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z,\blacklozenge}$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
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	3	4	3	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	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 260 B	93,0	14920	1148	1283	11,22	37,59	5135	395,0	602,2	6,58	73,12	123,8	753,7	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 260 M	172	31310	2159	2524	11,94	66,89	10450	779,7	1192	6,90	111,1	719,0	1728	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 AA	61,2	10560	799,8	873,1	11,63	27,52	3664	261,7	399,4	6,85	55,12	36,22	590,1	3	3	4	3	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	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12,11	41,09	6595	471,0	717,6	7,09	74,62	143,7	1130	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 300 AA	69,8	13800	975,6	1065	12,46	32,37	4734	315,6	482,3	7,30	60,13	49,35	877,2	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 300 A	88,3	18260	1260	1383	12,74	37,28	6310	420,6	641,2	7,49	68,13	85,17	1200	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 300 B	117	25170	1678	1869	12,99	47,43	8563	570,9	870,1	7,58	80,63	185,0	1688	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 320 A	97,6	22930	1479	1628	13,58	41,13	6985	465,7	709,7	7,49	71,63	108,0	1512	1	2	3	1	2	3	✓	HI	HI
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	1	1	1	1	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	3	4	3	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	1	3	1	1	3	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 360 AA	83,7	23040	1359	1495	14,70	42,17	5410	360,7	553,0	7,12	64,63	70,99	1444	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 360 A	112	33090	1891	2088	15,22	48,96	7887	525,8	802,3	7,43	76,63	148,8	2177	1	1	2	1	1	2	✓	HI	HI
HE 360 B	142	43190	2400	2683	15,46	60,60	10140	676,1	1032	7,49	89,13	292,5	2883	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 400 AA	92,4	31250	1654	1824	16,30	47,95	5861	390,8	599,7	7,06	67,13	84,69	1948	2	3	3	2	3	4	✓	✓	✓
HE 400 A	125	45070	2311	2562	16,84	57,33	8564	570,9	872,9	7,34	80,63	189,0	2942	1	1	1	1	2	2	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 450 AA	99,7	41890	1971	2183	18,16	54,70	6088	405,8	624,4	6,92	68,63	95,61	2572	1	3	3	2	4	4	✓	✓	✓
HE 450 A	140	63720	2896	3216	18,92	65,78	9465	631,0	965,5	7,29	85,13	243,8	4148	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 450 B	171	79890	3551	3982	19,14	79,66	11720	781,4	1198	7,33	97,63	440,5	5258	1	1	1	1	1	2	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

◆ W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.
 ◆ W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.
 ◆ W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

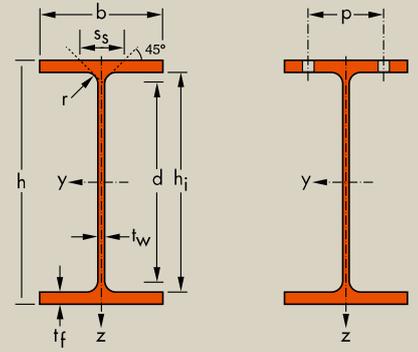
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 12

HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 12 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche		
	G	h	b	t _w	t _f	r	A	h _i	d	Ø	p _{min}	p _{max}	A _L	A _G
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
HE 500 AA*	107	472	300	10,5	14	27	136,9	444	390	M 27	120	198	2,077	19,33
HE 500 A	155	490	300	12	23	27	197,5	444	390	M 27	122	198	2,110	13,60
HE 500 B	187	500	300	14,5	28	27	238,6	444	390	M 27	124	198	2,125	11,34
HE 500 M	270	524	306	21	40	27	344,3	444	390	M 27	132	202	2,184	8,079
HE 550 AA*	120	522	300	11,5	15	27	152,8	492	438	M 27	122	198	2,175	18,13
HE 550 A	166	540	300	12,5	24	27	211,8	492	438	M 27	122	198	2,209	13,29
HE 550 B	199	550	300	15	29	27	254,1	492	438	M 27	124	198	2,224	11,15
HE 550 M	278	572	306	21	40	27	354,4	492	438	M 27	132	202	2,280	8,195
HE 600 AA*	129	571	300	12	15,5	27	164,1	540	486	M 27	122	198	2,272	17,64
HE 600 A	178	590	300	13	25	27	226,5	540	486	M 27	122	198	2,308	12,98
HE 600 B	212	600	300	15,5	30	27	270,0	540	486	M 27	126	198	2,323	10,96
HE 600 M	285	620	305	21	40	27	363,7	540	486	M 27	132	200	2,372	8,308
HE 600 x 337*	337	632	310	25,5	46	27	429,2	540	486	M 27	138	202	2,407	7,144
HE 600 x 399*	399	648	315	30	54	27	508,5	540	486	M 27	142	208	2,450	6,137
HE 650 AA*	138	620	300	12,5	16	27	175,8	588	534	M 27	122	198	2,369	17,17
HE 650 A	190	640	300	13,5	26	27	241,6	588	534	M 27	124	198	2,407	12,69
HE 650 B	225	650	300	16	31	27	286,3	588	534	M 27	126	198	2,422	10,77
HE 650 M	293	668	305	21	40	27	373,7	588	534	M 27	132	200	2,468	8,411
HE 650 x 343*	343	680	309	25	46	27	437,5	588	534	M 27	138	202	2,500	7,278
HE 650 x 407*	407	696	314	29,5	54	27	518,8	588	534	M 27	142	206	2,543	6,243
HE 700 AA*	150	670	300	13	17	27	190,9	636	582	M 27	122	198	2,468	16,46
HE 700 A	204	690	300	14,5	27	27	260,5	636	582	M 27	124	198	2,505	12,25
HE 700 B	241	700	300	17	32	27	306,4	636	582	M 27	126	198	2,520	10,48
HE 700 M	301	716	304	21	40	27	383,0	636	582	M 27	132	200	2,560	8,513
HE 700 x 352*	352	728	308	25	46	27	448,6	636	582	M 27	138	200	2,592	7,359
HE 700 x 418*	418	744	313	29,5	54	27	531,9	636	582	M 27	142	206	2,635	6,310
HE 800 AA*	172	770	300	14	18	30	218,5	734	674	M 27	130	198	2,660	15,51
HE 800 A	224	790	300	15	28	30	285,8	734	674	M 27	130	198	2,698	12,03
HE 800 B	262	800	300	17,5	33	30	334,2	734	674	M 27	134	198	2,713	10,34
HE 800 M	317	814	303	21	40	30	404,3	734	674	M 27	138	198	2,746	8,655
HE 800 x 373*	373	826	308	25	46	30	474,6	734	674	M 27	144	200	2,782	7,469
HE 800 x 444*	444	842	313	30	54	30	566,0	734	674	M 27	148	206	2,824	6,357

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 8; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 8; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 8; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte											Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
		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							
		I_y mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,y}$ mm ³ x10 ³	$W_{ply,\blacklozenge}$ mm ³ x10 ³	i_y mm x10	A_{vz} mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,z}$ mm ³ x10 ³	$W_{pl,z,\blacklozenge}$ mm ³ x10 ³	i_z mm x10	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 500 AA	107	54640	2315	2576	19,98	61,91	6314	420,9	649,3	6,79	70,13	107,7	3304	1	3	3	2	4	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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 550 AA	120	72870	2792	3128	21,84	72,66	6767	451,1	698,6	6,65	73,13	133,7	4338	1	2	3	3	4	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	✓	HI	HI
HE 550 B	199	136700	4971	5591	23,20	100,1	13080	871,8	1341	7,17	104,6	600,3	8856	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 600 AA	129	91900	3218	3623	23,66	81,29	6993	466,2	724,5	6,53	74,63	149,8	5381	1	2	3	3	4	4	✓	✓	✓
HE 600 A	178	141200	4787	5350	24,97	93,21	11270	751,4	1156	7,05	94,63	397,8	8978	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	
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	✓	HI	
HE 650 AA	138	113900	3676	4160	25,46	90,40	7221	481,4	750,7	6,41	76,13	167,5	6567	1	1	3	4	4	4	✓	✓	✓
HE 650 A	190	175200	5474	6136	26,93	103,2	11720	781,6	1205	6,97	97,13	448,3	11030	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	
HE 650 x 407	407	405400	11650	13620	27,95	224,8	28020	1785	2803	7,35	169,1	3958	28710	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 700 AA	150	142700	4260	4840	27,34	100,3	7673	511,5	799,7	6,34	78,63	195,2	8155	1	1	2	4	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	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
HE 700 M	301	329300	9198	10540	29,32	169,8	18800	1240	1929	7,01	132,6	1589	21400	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
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	✓	HI	
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	✓	HI	
HE 800 AA	172	208900	5426	6225	30,92	123,8	8134	542,2	856,6	6,10	85,15	256,8	11450	1	1	1	4	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	✓	HI	HI
HE 800 B	262	359100	8977	10230	32,78	161,8	14900	993,6	1553	6,68	118,6	946,0	21840	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
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	✓	HI	HI
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	✓	HI	
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	✓	HI	

HI = HISTAR®

◆ W_{pl} pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 219.
 ◆ W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 219.
 ◆ W_{pl} bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 219.

Long Carbon Europe



ArcelorMittal

Profilés et Aciers Marchands
Sections and Merchant Bars
Profil- und Stabstahl

Programme de Vente / Sales Programme / Verkaufsprogramm



Fers U à ailes parallèles

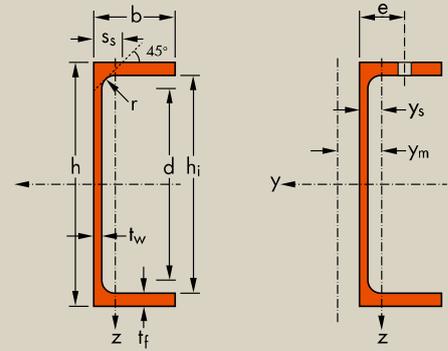
Dimensions: DIN 1026-2: 2002-10
 Tolérances: EN 10279: 2000
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Channels with parallel flanges

Dimensions: DIN 1026-2: 2002-10
 Tolerances: EN 10279: 2000
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

U-Profil mit parallelen Flanschen

Abmessungen: DIN 1026-2: 2002-10
 Toleranzen: EN 10279: 2000
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
UPE 80*	7,90	80	50	4,0	7,0	10	10,1	66	46	-	-	-	0,343	43,45
UPE 100*	9,82	100	55	4,5	7,5	10	12,5	85	65	M 12	35	36	0,402	41,00
UPE 120*	12,1	120	60	5,0	8,0	12	15,4	104	80	M 12	35	41	0,460	37,98
UPE 140*	14,5	140	65	5,0	9,0	12	18,4	122	98	M 16	35	38	0,520	35,95
UPE 160*	17,0	160	70	5,5	9,5	12	21,7	141	117	M 16	36	43	0,579	34,01
UPE 180*	19,7	180	75	5,5	10,5	12	25,1	159	135	M 16	36	48	0,639	32,40
UPE 200*	22,8	200	80	6,0	11,0	13	29,0	178	152	M 20	46	47	0,697	30,60
UPE 220*	26,6	220	85	6,5	12,0	13	33,9	196	170	M 22	47	49	0,756	28,43
UPE 240*	30,2	240	90	7,0	12,5	15	38,5	215	185	M 24	47	51	0,813	26,89
UPE 270*	35,2	270	95	7,5	13,5	15	44,8	243	213	M 27	48	50	0,892	25,34
UPE 300*	44,4	300	100	9,5	15,0	15	56,6	270	240	M 27	50	55	0,968	21,78
UPE 330*	53,2	330	105	11,0	16,0	18	67,8	298	262	M 27	54	60	1,043	19,60
UPE 360*	61,2	360	110	12,0	17,0	18	77,9	326	290	M 27	55	65	1,121	18,32
UPE 400*	72,2	400	115	13,5	18,0	18	91,9	364	328	M 27	57	70	1,218	16,87

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
 * Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte														Classification EN 1993-1-1: 2005				EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	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	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$ ■	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	i_z	s_s	I_t	I_w	y_s	y_m	S235	S355	S235				S355
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹	mm x10	mm x10								
UPE 80	7,90	107	26,8	31,2	3,26	4,05	25,5	8,0	14,3	1,59	16,9	1,47	0,22	1,82	3,71	1	1	1	1	✓		
UPE 100	9,82	207	41,4	48,0	4,07	5,34	38,3	10,6	19,3	1,75	17,9	2,01	0,53	1,91	3,93	1	1	1	1	✓		
UPE 120	12,1	364	60,6	70,3	4,86	7,18	55,5	13,8	25,3	1,90	20,0	2,90	1,12	1,98	4,12	1	1	1	1	✓		
UPE 140	14,5	600	85,6	98,8	5,71	8,25	78,8	18,2	33,2	2,07	21,0	4,05	2,20	2,17	4,54	1	1	1	1	✓		
UPE 160	17,0	911	114	132	6,48	10,0	107	22,6	41,5	2,22	22,0	5,20	3,96	2,27	4,76	1	1	1	1	✓		
UPE 180	19,7	1350	150	173	7,34	11,2	144	28,6	52,3	2,39	23,0	6,99	6,81	2,47	5,19	1	1	1	1	✓		
UPE 200	22,8	1910	191	220	8,11	13,5	187	34,5	63,3	2,54	24,6	8,89	11,0	2,56	5,41	1	1	1	1	✓		
UPE 220	26,6	2680	244	281	8,90	15,8	247	42,5	78,2	2,70	26,1	12,1	17,6	2,70	5,70	1	1	1	1	✓		
UPE 240	30,2	3600	300	347	9,67	18,8	311	50,1	92,2	2,84	28,3	15,1	26,4	2,79	5,91	1	1	1	1	✓		
UPE 270	35,2	5250	389	451	10,8	22,2	401	60,7	112	2,99	29,8	19,9	43,6	2,89	6,14	1	1	1	2	✓		
UPE 300	44,4	7820	522	613	11,8	30,3	538	75,6	137	3,08	33,3	31,5	72,7	2,89	6,03	1	1	1	1	✓		
UPE 330	53,2	11010	667	792	12,7	38,8	681	89,7	156	3,17	37,5	45,2	112	2,90	6,00	1	1	1	1	✓		
UPE 360	61,2	14830	824	982	13,8	45,6	844	105	178	3,29	39,5	58,5	166	2,97	6,12	1	1	1	1	✓		
UPE 400	72,2	20980	1050	1260	15,1	56,2	1045	123	191	3,37	42,0	79,1	259	2,98	6,06	1	1	1	1	✓		

- $W_{pl,y}$ est calculé selon l'hypothèse d'un diagramme de contraintes bi-rectangulaire et n'est applicable que si deux ou plusieurs fers U sont associés de façon à constituer une section doublement symétrique pour laquelle un moment de flexion agissant dans le plan du centre de gravité n'engendre pas de torsion.
- $W_{pl,y}$ is determined assuming a bi-rectangular stress block distribution. Thus, the given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double symmetric cross-section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- Für die Berechnung von $W_{pl,y}$ wurde eine doppelrechteckige Spannungsverteilung angenommen. Der angegebene Wert ist daher nur anwendbar, wenn zwei oder mehr U-Profile so miteinander kombiniert sind, dass sie einen doppelsymmetrischen Querschnitt bilden, womit ein Biegemoment, das in der Schwerpunkzebene angreift, keine Torsion hervorruft.

Fers U normaux européens

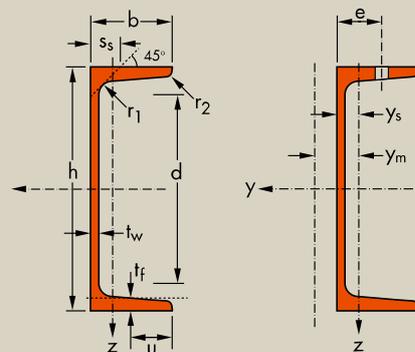
Dimensions: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
 Tolérances: EN 10279: 2000
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European standard channels

Dimensions: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
 Tolerances: EN 10279: 2000
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische U-Stahl-Normalprofile

Abmessungen: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
 Toleranzen: EN 10279: 2000
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm		d mm	Ø	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _C m ² /t
UPN 50*	5,59	50	38	5,0	7,0	7,0	3,5	7,12	21	-	-	-	0,232	42,22
UPN 65*	7,09	65	42	5,5	7,5	7,5	4,0	9,03	34	-	-	-	0,273	39,57
UPN 80*	8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	47	-	-	-	0,312	37,10
UPN 100*	10,6	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	13,5	64	-	-	-	0,372	35,10
UPN 120	13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	82	-	-	-	0,434	32,52
UPN 140	16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	98	M 12	33	37	0,489	30,54
UPN 160	18,8	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	115	M 12	34	42	0,546	28,98
UPN 180	22,0	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	28,0	133	M 16	38	41	0,611	27,80
UPN 200	25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	32,2	151	M 16	39	46	0,661	26,15
UPN 220	29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	37,4	167	M 16	40	51	0,718	24,46
UPN 240	33,2	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	42,3	184	M 20	46	50	0,775	23,34
UPN 260	37,9	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	48,3	200	M 22	50	52	0,834	22,00
UPN 280	41,8	280	95	10,0	15,0	15,0	7,5	53,3	216	M 22	52	57	0,890	21,27
UPN 300	46,2	300	100	10,0	16,0	16,0	8,0	58,8	232	M 24	55	59	0,950	20,58
UPN 320*	59,5	320	100	14,0	17,5	17,5	8,8	75,8	246	M 22	58	62	0,982	16,50
UPN 350	60,6	350	100	14,0	16,0	16,0	8,0	77,3	282	M 22	56	62	1,05	17,25
UPN 380*	63,1	380	102	13,5	16,0	16,0	8,0	80,4	313	M 24	59	60	1,11	17,59
UPN 400*	71,8	400	110	14,0	18,0	18,0	9,0	91,5	324	M 27	61	62	1,18	16,46

	h ≤ 300	h > 300
u	$\frac{b}{2}$	$\frac{b - t_w}{2}$
Inclinaison des ailes Flange slope Flanschneigung	8%	5%

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
 * Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

UPN

Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte														Classification EN 1993-1-1: 2005				EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	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	I_y	$W_{el,y}$	W_{ply}	i_y	A_{vz}	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	i_z	s_s	I_t	I_w	y_s	y_m	S235	S355	S235				S355
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹	mm x10	mm x10								
UPN 50	5,59	26,4	10,6	13,1	1,92	2,77	9,12	3,75	6,78	1,13	16,7	1,12	0,03	1,37	2,47	1	1	1	1	✓		
UPN 65	7,09	57,5	17,7	21,7	2,52	3,68	14,1	5,07	9,38	1,25	18,0	1,61	0,08	1,42	2,60	1	1	1	1	✓		
UPN 80	8,64	106	26,5	32,3	3,10	4,90	19,4	6,36	11,9	1,33	19,4	2,20	0,18	1,45	2,67	1	1	1	1	✓		
UPN 100	10,6	206	41,2	49,0	3,91	6,46	29,3	8,49	16,2	1,47	20,3	2,81	0,41	1,55	2,93	1	1	1	1	✓		
UPN 120	13,4	364	60,7	72,6	4,62	8,80	43,2	11,1	21,2	1,59	22,2	4,15	0,90	1,60	3,03	1	1	1	1	✓		
UPN 140	16,0	605	86,4	103	5,45	10,4	62,7	14,8	28,3	1,75	23,9	5,68	1,80	1,75	3,37	1	1	1	1	✓		
UPN 160	18,8	925	116	138	6,21	12,6	85,3	18,3	35,2	1,89	25,3	7,39	3,26	1,84	3,56	1	1	1	1	✓		
UPN 180	22,0	1350	150	179	6,95	15,1	114	22,4	42,9	2,02	26,7	9,55	5,57	1,92	3,75	1	1	1	1	✓		
UPN 200	25,3	1910	191	228	7,70	17,7	148	27,0	51,8	2,14	28,1	11,9	9,07	2,01	3,94	1	1	1	1	✓		
UPN 220	29,4	2690	245	292	8,48	20,6	197	33,6	64,1	2,30	30,3	16,0	14,6	2,14	4,20	1	1	1	1	✓		
UPN 240	33,2	3600	300	358	9,22	23,7	248	39,6	75,7	2,42	31,7	19,7	22,1	2,23	4,39	1	1	1	1	✓		
UPN 260	37,9	4820	371	442	9,99	27,1	317	47,7	91,6	2,56	33,9	25,5	33,3	2,36	4,66	1	1	1	1	✓		
UPN 280	41,8	6280	448	532	10,9	29,3	399	57,2	109	2,74	35,6	31,0	48,5	2,53	5,02	1	1	1	1	✓		
UPN 300	46,2	8030	535	632	11,7	31,8	495	67,8	130	2,90	37,3	37,4	69,1	2,70	5,41	1	1	1	1	✓		
UPN 320	59,5	10870	679	826	12,1	47,1	597	80,6	152	2,81	43,0	66,7	96,1	2,60	4,82	1	1	1	1	✓		
UPN 350	60,6	12840	734	918	12,9	50,8	570	75,0	143	2,72	40,7	61,2	114	2,40	4,45	1	1	1	1	✓		
UPN 380	63,1	15760	829	1010	14,0	53,2	615	78,7	148	2,77	40,3	59,1	146	2,38	4,58	1	1	1	1	✓		
UPN 400	71,8	20350	1020	1240	14,9	58,6	846	102	190	3,04	44,0	81,6	221	2,65	5,11	1	1	1	1	✓		

- W_{ply} est calculé selon l'hypothèse d'un diagramme de contraintes bi-rectangulaire et n'est applicable que si deux ou plusieurs fers U sont associés de façon à constituer une section doublement symétrique pour laquelle un moment de flexion agissant dans le plan du centre de gravité n'engendre pas de torsion.
- W_{ply} is determined assuming a bi-rectangular stress block distribution. Thus, the given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double symmetric cross-section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- Für die Berechnung von W_{ply} wurde eine doppelrechteckige Spannungsverteilung angenommen. Der angegebene Wert ist daher nur anwendbar, wenn zwei oder mehr U-Profile so miteinander kombiniert sind, dass sie einen doppelsymmetrischen Querschnitt bilden, womit ein Biegemoment, das in der Schwerpunktebene angreift, keine Torsion hervorruft.

Long Carbon Europe



ArcelorMittal

Profilés et Aciers Marchands
Sections and Merchant Bars
Profil- und Stabstahl

Programme de Vente / Sales Programme / Verkaufsprogramm



Cornières à ailes égales ▼

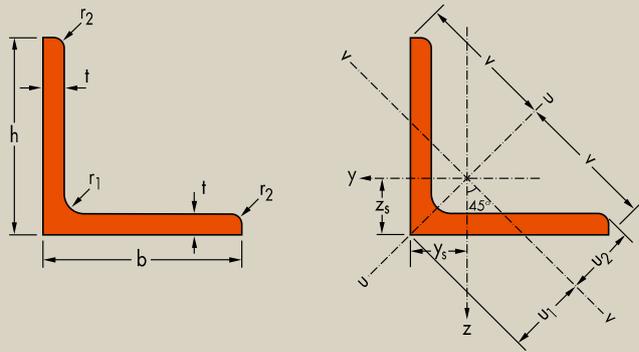
Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2: 1993
Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles ▼

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2: 1993
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl ▼

Abmessungen: EN 10056-1: 1998
Toleranzen: EN 10056-2: 1993
Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Dimensions Abmessungen			A mm ² x10 ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
		h=b mm	t mm	r ₁ mm		z _s =y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _C m ² /t
L 20 x 20 x 3 ^{-/*}	0,882	20	3	3,5	1,12	0,596	1,41	0,843	0,700	0,077	87,40
L 25 x 25 x 3 ^{-/*}	1,12	25	3	3,5	1,42	0,721	1,77	1,02	0,877	0,097	86,88
L 25 x 25 x 4 ^{-/*}	1,45	25	4	3,5	1,85	0,761	1,77	1,08	0,892	0,097	66,67
L 30 x 30 x 3 ^{-/*}	1,36	30	3	5	1,74	0,835	2,12	1,18	1,05	0,116	84,87
L 30 x 30 x 4 ^{-/*}	1,78	30	4	5	2,27	0,878	2,12	1,24	1,06	0,116	65,02
L 35 x 35 x 4 ^{-/*}	2,09	35	4	5	2,67	1,00	2,47	1,42	1,24	0,136	64,82
L 35 x 35 x 5 ^{-/*}	2,57	35	5	5	3,28	1,04	2,47	1,48	1,25	0,136	52,76
L 40 x 40 x 4 ^{-/*}	2,42	40	4	6	3,08	1,12	2,83	1,58	1,40	0,155	64,07
L 40 x 40 x 5 ^{-/*}	2,97	40	5	6	3,79	1,16	2,83	1,64	1,41	0,155	52,07
L 40 x 40 x 6 ^{-/*}	3,52	40	6	6	4,48	1,20	2,83	1,70	1,43	0,155	44,04
L 45 x 45 x 3 [▶]	2,09	45	3	7	2,66	1,18	3,18	1,67	1,57	0,174	83,24
L 45 x 45 x 4 ^{*/◄}	2,74	45	4	7	3,49	1,23	3,18	1,75	1,57	0,174	63,46
L 45 x 45 x 4,5 ^{*/-/*}	3,06	45	4,5	7	3,90	1,26	3,18	1,78	1,58	0,174	56,83
L 45 x 45 x 5 ^{*/◄}	3,38	45	5	7	4,30	1,28	3,18	1,81	1,58	0,174	51,51
L 45 x 45 x 6 [*]	4,00	45	6	7	5,09	1,32	3,18	1,87	1,59	0,174	43,52
L 45 x 45 x 7 [*]	4,60	45	7	7	5,86	1,36	3,18	1,92	1,61	0,174	37,81
L 50 x 50 x 4 ^{-/*}	3,06	50	4	7	3,89	1,36	3,54	1,92	1,75	0,194	63,49
L 50 x 50 x 5 ^{-/*}	3,77	50	5	7	4,80	1,40	3,54	1,99	1,76	0,194	51,46
L 50 x 50 x 6 ^{-/*}	4,47	50	6	7	5,69	1,45	3,54	2,04	1,77	0,194	43,41
L 50 x 50 x 7 ^{*/◄}	5,15	50	7	7	6,56	1,49	3,54	2,10	1,78	0,194	37,66
L 50 x 50 x 8	5,82	50	8	7	7,41	1,52	3,54	2,16	1,80	0,194	33,34
L 50 x 50 x 9 [*]	6,47	50	9	7	8,24	1,56	3,54	2,21	1,82	0,194	29,98
L 55 x 55 x 4 [*]	3,38	55	4	8	4,31	1,47	3,89	2,08	1,92	0,213	63,01
L 55 x 55 x 5 ^{*/▶}	4,18	55	5	8	5,32	1,52	3,89	2,15	1,93	0,213	51,05
L 55 x 55 x 6	4,95	55	6	8	6,31	1,56	3,89	2,21	1,94	0,213	43,04
L 60 x 60 x 4	3,70	60	4	8	4,71	1,60	4,24	2,26	2,10	0,233	63,07
L 60 x 60 x 5 ^{-/*}	4,57	60	5	8	5,82	1,64	4,24	2,32	2,11	0,233	51,04
L 60 x 60 x 6 ^{-/*}	5,42	60	6	8	6,91	1,69	4,24	2,39	2,11	0,233	42,99

▼ Autres dimensions sur demande.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998.

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994.

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 215–219 / Bezeichnungen Seiten 215–219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*									Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009	
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v				Pure compression					
	G	$I_y = I_z$	$W_{ely} = W_{elz}$	$i_y = i_z$	I_u	i_u	I_v	i_v	I_{yz}	S235	S355				
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴							
L 20 x 20 x 3	0,882	0,388	0,276	0,589	0,614	0,740		0,162	0,380	-0,226	1	1	✓		
L 25 x 25 x 3	1,12	0,796	0,448	0,749	1,26	0,944		0,329	0,481	-0,467	1	1	✓		
L 25 x 25 x 4	1,45	1,01	0,582	0,740	1,60	0,930		0,425	0,479	-0,587	1	1	✓		
L 30 x 30 x 3	1,36	1,40	0,649	0,899	2,23	1,13		0,579	0,578	-0,825	1	4	✓		
L 30 x 30 x 4	1,78	1,80	0,850	0,892	2,86	1,12		0,749	0,575	-1,05	1	1	✓		
L 35 x 35 x 4	2,09	2,95	1,18	1,05	4,69	1,33		1,22	0,68	-1,73	1	1	✓		
L 35 x 35 x 5	2,57	3,56	1,45	1,04	5,64	1,31		1,49	0,67	-2,08	1	1	✓		
L 40 x 40 x 4	2,42	4,47	1,55	1,21	7,10	1,52		1,84	0,77	-2,63	1	4	✓		
L 40 x 40 x 5	2,97	5,43	1,91	1,20	8,61	1,51		2,25	0,77	-3,18	1	1	✓		
L 40 x 40 x 6	3,52	6,31	2,26	1,19	9,99	1,49		2,64	0,77	-3,67	1	1	✓		
L 45 x 45 x 3	2,09	4,93	1,49	1,36	7,81	1,71		2,04	0,88	-2,88	4	4	✓		
L 45 x 45 x 4	2,74	6,43	1,97	1,36	10,21	1,71		2,65	0,87	-3,78	1	4	✓		
L 45 x 45 x 4,5	3,06	7,15	2,20	1,35	11,35	1,71		2,95	0,87	-4,20	1	4	✓		
L 45 x 45 x 5	3,38	7,84	2,43	1,35	12,45	1,70		3,24	0,87	-4,60	1	1	✓		
L 45 x 45 x 6	4,00	9,16	2,88	1,34	14,52	1,69		3,81	0,86	-5,36	1	1	✓		
L 45 x 45 x 7	4,60	10,40	3,31	1,33	16,44	1,67		4,36	0,86	-6,04	1	1	✓		
L 50 x 50 x 4	3,06	8,97	2,46	1,52	14,25	1,91		3,70	0,97	-5,28	4	4	✓		
L 50 x 50 x 5	3,77	10,96	3,05	1,51	17,41	1,90		4,52	0,97	-6,45	1	4	✓		
L 50 x 50 x 6	4,47	12,84	3,61	1,50	20,37	1,89		5,31	0,97	-7,53	1	1	✓		
L 50 x 50 x 7	5,15	14,61	4,16	1,49	23,14	1,88		6,09	0,96	-8,52	1	1	✓		
L 50 x 50 x 8	5,82	16,28	4,68	1,48	25,71	1,86		6,85	0,96	-9,43	1	1	✓		
L 50 x 50 x 9	6,47	17,86	5,20	1,47	28,11	1,85		7,61	0,96	-10,25	1	1	✓		
L 55 x 55 x 4	3,38	12,00	2,98	1,67	19,05	2,10		4,95	1,07	-7,05	4	4	✓		
L 55 x 55 x 5	4,18	14,71	3,70	1,66	23,37	2,10		6,06	1,07	-8,66	1	4	✓		
L 55 x 55 x 6	4,95	17,29	4,39	1,66	27,44	2,09		7,13	1,06	-10,16	1	1	✓		
L 60 x 60 x 4	3,70	15,78	3,58	1,83	25,04	2,31		6,51	1,18	-9,26	4	4	✓		
L 60 x 60 x 5	4,57	19,37	4,45	1,82	30,77	2,30		7,97	1,17	-11,40	4	4	✓		
L 60 x 60 x 6	5,42	22,79	5,29	1,82	36,20	2,29		9,38	1,17	-13,41	1	4	✓		

* Les valeurs statiques sont calculées avec $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Sectional properties have been calculated with $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Die statischen Werte sind berechnet mit $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

Cornières à ailes égales[▼] (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

État de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles[▼] (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

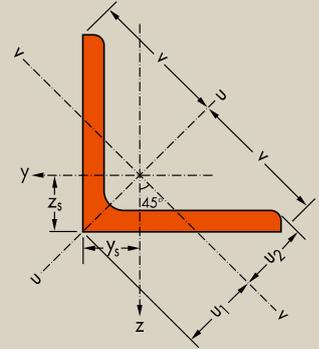
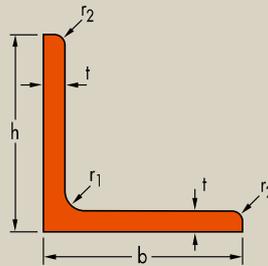
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl[▼] (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen				Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
G	kg/m	h=b	t	r ₁	A	z _s =y _s	v	u ₁	u ₂	A _L	A _E
		mm	mm	mm	mm ²	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
					x10 ²	x10	x10	x10	x10		
L 60 x 60 x 7*	6,26	60	7	8	7,98	1,73	4,24	2,45	2,13	0,233	37,22
L 60 x 60 x 8 [▲]	7,09	60	8	8	9,03	1,77	4,24	2,50	2,14	0,233	32,89
L 60 x 60 x 10*	8,69	60	10	8	11,1	1,85	4,24	2,61	2,17	0,233	26,83
L 63 x 63 x 5*	4,82	63	5	9	6,14	1,71	4,45	2,42	2,21	0,244	50,71
L 63 x 63 x 6*	5,72	63	6	9	7,29	1,75	4,45	2,48	2,21	0,244	42,70
L 63 x 63 x 6,5*	6,17	63	6,5	9	7,85	1,78	4,45	2,51	2,22	0,244	39,62
L 65 x 65 x 4*	4,02	65	4	9	5,13	1,71	4,60	2,41	2,28	0,252	62,68
L 65 x 65 x 5*	4,97	65	5	9	6,34	1,76	4,60	2,49	2,28	0,252	50,71
L 65 x 65 x 6 ^{*/▶}	5,91	65	6	9	7,53	1,80	4,60	2,55	2,28	0,252	42,70
L 65 x 65 x 7 [▶]	6,83	65	7	9	8,70	1,85	4,60	2,61	2,29	0,252	36,95
L 65 x 65 x 8 ^{*/▶}	7,73	65	8	9	9,85	1,89	4,60	2,67	2,31	0,252	32,64
L 65 x 65 x 9*	8,62	65	9	9	11,0	1,93	4,60	2,73	2,32	0,252	29,28
L 65 x 65 x 10*	9,49	65	10	9	12,1	1,97	4,60	2,78	2,34	0,252	26,59
L 65 x 65 x 11*	10,3	65	11	9	13,2	2,00	4,60	2,83	2,35	0,252	24,39
L 70 x 70 x 5	5,37	70	5	9	6,84	1,88	4,95	2,66	2,46	0,272	50,73
L 70 x 70 x 6 [▶]	6,38	70	6	9	8,13	1,93	4,95	2,73	2,46	0,272	42,68
L 70 x 70 x 7 [▶]	7,38	70	7	9	9,40	1,97	4,95	2,79	2,47	0,272	36,91
L 70 x 70 x 8 [▶]	8,37	70	8	10	10,7	2,01	4,95	2,84	2,47	0,271	32,41
L 70 x 70 x 9 [▲]	9,32	70	9	9	11,9	2,05	4,95	2,90	2,50	0,272	29,20
L 70 x 70 x 10*	10,3	70	10	9	13,1	2,09	4,95	2,96	2,51	0,272	26,50
L 75 x 75 x 4*	4,65	75	4	9	5,93	1,96	5,30	2,76	2,63	0,292	62,82
L 75 x 75 x 5*	5,76	75	5	9	7,34	2,01	5,30	2,84	2,63	0,292	50,75
L 75 x 75 x 6 ^{*/*}	6,85	75	6	9	8,73	2,05	5,30	2,90	2,64	0,292	42,66
L 75 x 75 x 7*	7,93	75	7	9	10,1	2,10	5,30	2,96	2,65	0,292	36,88
L 75 x 75 x 8 [▶]	8,99	75	8	9	11,4	2,14	5,30	3,02	2,66	0,292	32,53
L 75 x 75 x 9*	10,0	75	9	9	12,8	2,18	5,30	3,08	2,67	0,292	29,14
L 75 x 75 x 10*	11,1	75	10	9	14,1	2,22	5,30	3,13	2,69	0,292	26,43

▼ Autres dimensions sur demande.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

▲ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

▲ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

▲ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*									Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v				Pure compression				
	G	$I_y = I_z$	$W_{ely} = W_{elz}$	$i_y = i_z$	I_u	i_u	I_v	i_v	I_{yz}	S235	S355			
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴						
L 60 x 60 x 7	6,26	26,05	6,10	1,81	41,34	2,28	10,76	1,16	-15,23	1	1	✓		
L 60 x 60 x 8	7,09	29,15	6,89	1,80	46,19	2,26	12,11	1,16	-17,04	1	1	✓		
L 60 x 60 x 10	8,69	34,93	8,41	1,78	55,10	2,23	14,76	1,15	-20,17	1	1	✓		
L63 x 63 x 5	4,82	22,42	4,88	1,91	35,61	2,41	9,24	1,23	-13,18	4	4	✓		
L63 x 63 x 6	5,72	26,44	5,82	1,90	41,99	2,40	10,89	1,22	-15,55	1	4	✓		
L63 x 63 x 6,5	6,17	28,37	6,27	1,90	45,06	2,40	11,69	1,22	-16,68	1	4	✓		
L 65 x 65 x 4	4,02	20,09	4,19	1,98	31,86	2,49	8,32	1,27	-11,77	4	4	✓		
L 65 x 65 x 5	4,97	24,74	5,22	1,98	39,29	2,49	10,19	1,27	-14,55	4	4	✓		
L 65 x 65 x 6	5,91	29,19	6,21	1,97	46,36	2,48	12,01	1,26	-17,17	1	4	✓		
L 65 x 65 x 7	6,83	33,43	7,18	1,96	53,08	2,47	13,78	1,26	-19,65	1	1	✓		
L 65 x 65 x 8	7,73	37,49	8,13	1,95	59,46	2,46	15,52	1,26	-21,97	1	1	✓		
L 65 x 65 x 9	8,62	41,37	9,05	1,94	65,52	2,44	17,22	1,25	-24,15	1	1	✓		
L 65 x 65 x 10	9,49	45,08	9,94	1,93	71,26	2,43	18,91	1,25	-26,17	1	1	✓		
L 65 x 65 x 11	10,3	48,64	10,82	1,92	76,69	2,41	20,58	1,25	-28,06	1	1	✓		
L 70 x 70 x 5	5,37	31,24	6,10	2,14	49,61	2,69	12,86	1,37	-18,37	4	4	✓		
L 70 x 70 x 6	6,38	36,88	7,27	2,13	58,60	2,69	15,16	1,37	-21,72	4	4	✓		
L 70 x 70 x 7	7,38	42,30	8,41	2,12	67,19	2,67	17,41	1,36	-24,89	1	4	✓		
L 70 x 70 x 8	8,37	47,27	9,46	2,10	75,01	2,65	19,52	1,35	-27,75	1	1	✓		
L 70 x 70 x 9	9,32	52,47	10,60	2,10	83,18	2,65	21,76	1,35	-30,71	1	1	✓		
L 70 x 70 x 10	10,3	57,24	11,66	2,09	90,60	2,63	23,88	1,35	-33,36	1	1	✓		
L 75x75x4	4,65	31,43	5,67	2,30	49,85	2,90	13,01	1,48	-18,42	4	4	✓		
L 75x75x5	5,76	38,77	7,06	2,30	61,59	2,90	15,96	1,47	-22,82	4	4	✓		
L 75 x 75 x 6	6,85	45,83	8,41	2,29	72,84	2,89	18,82	1,47	-27,01	4	4	✓		
L 75 x 75 x 7	7,93	52,61	9,74	2,28	83,60	2,88	21,62	1,46	-30,99	1	4	✓		
L 75 x 75 x 8	8,99	59,13	11,03	2,27	93,91	2,86	24,35	1,46	-34,78	1	4	✓		
L 75 x 75 x 9	10,0	65,40	12,29	2,26	103,8	2,85	27,03	1,45	-38,36	1	1	✓		
L 75 x 75 x 10	11,1	71,43	13,52	2,25	113,2	2,83	29,68	1,45	-41,75	1	1	✓		

* Les valeurs statiques sont calculées avec $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Sectional properties have been calculated with $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Die statischen Werte sind berechnet mit $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

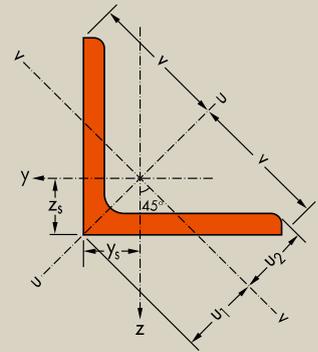
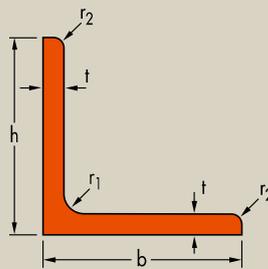
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Dimensions Abmessungen			A mm ² x10 ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
		h=b mm	t mm	r ₁ mm		z _s =y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _G m ² /t
L 80 x 80 x 5*	6,17	80	5	10	7,86	2,12	5,66	3,00	2,81	0,311	50,49
L 80 x 80 x 6 [▲]	7,34	80	6	10	9,35	2,17	5,66	3,07	2,81	0,311	42,44
L 80 x 80 x 7*	8,49	80	7	10	10,8	2,21	5,66	3,13	2,82	0,311	36,67
L 80 x 80 x 8 [▲]	9,63	80	8	10	12,3	2,26	5,66	3,19	2,83	0,311	32,34
L 80 x 80 x 9*	10,8	80	9	10	13,7	2,30	5,66	3,25	2,84	0,311	28,96
L 80 x 80 x 10 [▼] *	11,9	80	10	10	15,1	2,34	5,66	3,30	2,85	0,311	26,26
L 90 x 90 x 5*	6,97	90	5	11	8,88	2,35	6,36	3,33	3,16	0,351	50,29
L 90 x 90 x 6 [▶]	8,28	90	6	10	10,5	2,42	6,36	3,42	3,16	0,351	42,44
L 90 x 90 x 7 [▶]	9,61	90	7	11	12,2	2,45	6,36	3,47	3,16	0,351	36,48
L 90 x 90 x 8 [▶]	10,9	90	8	11	13,9	2,50	6,36	3,53	3,17	0,351	32,15
L 90 x 90 x 9 [▶]	12,2	90	9	11	15,5	2,54	6,36	3,59	3,18	0,351	28,77
L 90 x 90 x 10 [▼] *	13,4	90	10	11	17,1	2,58	6,36	3,65	3,19	0,351	26,07
L 90 x 90 x 11 [*]	14,7	90	11	11	18,7	2,62	6,36	3,70	3,21	0,351	23,86
L 90 x 90 x 16	20,7	90	16	11	26,4	2,81	6,36	3,97	3,29	0,351	16,93
L 100 x 100 x 6 [▶]	9,26	100	6	12	11,8	2,64	7,07	3,74	3,51	0,390	42,09
L 100 x 100 x 7	10,7	100	7	12	13,7	2,69	7,07	3,81	3,51	0,390	36,33
L 100 x 100 x 8 [▶]	12,2	100	8	12	15,5	2,74	7,07	3,87	3,52	0,390	32,00
L 100 x 100 x 9	13,6	100	9	12	17,3	2,78	7,07	3,93	3,53	0,390	28,62
L 100 x 100 x 10 [▶]	15,0	100	10	12	19,2	2,82	7,07	3,99	3,54	0,390	25,92
L 100 x 100 x 11	16,4	100	11	12	20,9	2,86	7,07	4,05	3,55	0,390	23,70
L 100 x 100 x 12 [▶]	17,8	100	12	12	22,7	2,90	7,07	4,11	3,57	0,390	21,86
L 100 x 100 x 14*	20,6	100	14	12	26,2	2,98	7,07	4,22	3,60	0,390	18,95
L 100 x 100 x 16	23,2	100	16	12	29,6	3,06	7,07	4,32	3,63	0,390	16,77
L 110 x 110 x 6	10,2	110	6	12	13,0	2,89	7,78	4,09	3,87	0,430	42,12
L 110 x 110 x 7	11,8	110	7	12	15,1	2,94	7,78	4,16	3,87	0,430	36,34
L 110 x 110 x 8 [▶]	13,4	110	8	12	17,1	2,99	7,78	4,22	3,87	0,430	31,98
L 110 x 110 x 9	15,0	110	9	12	19,1	3,03	7,78	4,28	3,88	0,430	28,59
L 110 x 110 x 10 [▶]	16,6	110	10	13	21,2	3,06	7,78	4,33	3,88	0,429	25,79
L 110 x 110 x 11	18,2	110	11	13	23,2	3,11	7,78	4,39	3,89	0,429	23,58
L 110 x 110 x 12	19,7	110	12	13	25,1	3,15	7,78	4,45	3,91	0,429	21,73

▼ Autres dimensions sur demande.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998.

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994.

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 215-219 / Bezeichnungen Seiten 215-219

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*									Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v		I _{yz}	Pure compression						
	G	I _y = I _z	W _{el y} = W _{el z}	i _y = i _z	I _u	i _u	I _v		i _v	S235	S355	S460			
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴							
L 80 x 80 x 5	6,17	47,14	8,02	2,45	74,83	3,09	19,45	1,57	-27,69	4	4	-	✓		
L 80 x 80 x 6	7,34	55,82	9,57	2,44	88,69	3,08	22,96	1,57	-32,87	4	4	-	✓		
L 80 x 80 x 7	8,49	64,19	11,09	2,44	102,0	3,07	26,38	1,56	-37,81	1	4	-	✓		
L 80 x 80 x 8	9,63	72,25	12,58	2,43	114,8	3,06	29,72	1,56	-42,52	1	4	-	✓		
L 80 x 80 x 9	10,8	80,01	14,03	2,42	127,0	3,05	33,01	1,55	-47,01	1	1	-	✓		
L 80 x 80 x 10	11,9	87,50	15,45	2,41	138,8	3,03	36,24	1,55	-51,27	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 5	6,97	67,67	10,18	2,76	107,3	3,48	27,98	1,78	-39,68	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 6	8,28	80,72	12,26	2,77	128,3	3,49	33,16	1,77	-47,57	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 7	9,61	92,55	14,13	2,75	147,1	3,47	38,03	1,76	-54,52	4	4	-	✓		
L 90 x 90 x 8	10,9	104,4	16,05	2,74	165,9	3,46	42,89	1,76	-61,50	1	4	-	✓		
L 90 x 90 x 9	12,2	115,8	17,93	2,73	184,0	3,44	47,65	1,75	-68,19	1	4	-	✓		
L 90 x 90 x 10	13,4	126,9	19,77	2,72	201,5	3,43	52,33	1,75	-74,59	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 11	14,7	137,6	21,57	2,71	218,3	3,42	56,94	1,74	-80,70	1	1	-	✓		
L 90 x 90 x 16	20,7	186,4	30,11	2,66	293,5	3,34	79,40	1,74	-107,0	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 6	9,26	111,1	15,09	3,07	176,3	3,87	45,80	1,97	-65,25	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 7	10,7	128,2	17,54	3,06	203,7	3,86	52,72	1,96	-75,48	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 8	12,2	144,8	19,94	3,06	230,2	3,85	59,49	1,96	-85,35	4	4	-	✓		
L 100 x 100 x 9	13,6	161,0	22,30	3,05	255,9	3,84	66,13	1,95	-94,86	1	4	-	✓		
L 100 x 100 x 10	15,0	176,7	24,62	3,04	280,7	3,83	72,66	1,95	-104,0	1	4	-	✓		
L 100 x 100 x 11	16,4	191,9	26,89	3,03	304,7	3,81	79,09	1,94	-112,8	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 12	17,8	206,7	29,12	3,02	327,9	3,80	85,44	1,94	-121,3	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 14	20,6	235,0	33,48	3,00	372,1	3,77	97,92	1,93	-137,1	1	1	-	✓		
L 100 x 100 x 16	23,2	261,7	37,70	2,97	413,3	3,74	110,2	1,93	-151,5	1	1	-	✓		
L 110 x 110 x 6	10,2	149,5	18,43	3,39	237,3	4,27	61,60	2,18	-87,87	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 7	11,8	172,7	21,43	3,39	274,4	4,27	70,94	2,17	-101,7	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 8	13,4	195,3	24,37	3,38	310,5	4,26	80,11	2,16	-115,2	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 9	15,0	217,3	27,26	3,37	345,5	4,25	89,10	2,16	-128,2	4	4	-	✓		
L 110 x 110 x 10	16,6	238,0	29,99	3,35	378,2	4,23	97,74	2,15	-140,2	1	4	-	✓		
L 110 x 110 x 11	18,2	258,8	32,79	3,34	411,2	4,21	106,4	2,14	-152,4	1	4	-	✓		
L 110 x 110 x 12	19,7	279,1	35,54	3,33	443,2	4,20	115,0	2,14	-164,1	1	1	-	✓		

* Les valeurs statiques sont calculées avec $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Sectional properties have been calculated with $r_2 = 1/2 \cdot r_1$

* Die statischen Werte sind berechnet mit $r_2 = 1/2 \cdot r_1$



ArcelorMittal



Profils creux de construction finis à froid. Les dimensions des côtés varient selon une gamme qui va de 30x20 à 400x250 mm.
Etat de surface : noir
Qualité de base : S235JRH
Cordon de soudure : cordon intérieur non raclé
Longueur de livraison : 6 m environ
Extrémités : coupées perpendiculairement à l'axe du tube et non ébavurées



TUBES ET PROFILS CREUX

PROFILS CREUX DE CONSTRUCTION FINIS À FROID

Norme de référence : NF EN 10219

État de surface : noir

Qualité de base : S235JRH

SECTIONS CARRÉES FORMÉES À FROID

DIMENSION EXTÉRIEURE mm	ÉPAISSEUR mm	MASSE LINÉIQUE kg/m	AIRE DE SECTION TRANSVERSALE cm ²	MOMENT D'INERTIE DE FLEXION cm ⁴	RAYON DE GIRATION cm
20 x 20	1,5	0,83	1,05	0,58	0,74
	2	1,05	1,34	0,69	0,72
25 x 25	2	1,36	1,74	1,48	0,92
	2,5	1,64	2,09	1,69	0,90
	3	1,89	2,41	1,84	0,87
30 x 30	1,5	1,30	1,65	2,20	1,15
	2	1,68	2,14	2,72	1,13
	2,5	2,03	2,59	3,16	1,10
	3	2,36	3,01	3,50	1,08
35 x 35	2	1,99	2,54	4,51	1,33
	2,5	2,42	3,09	5,29	1,31
	3	2,83	3,61	5,95	1,28
40 x 40	2	2,31	2,94	6,94	1,54
	2,5	2,82	3,59	8,21	1,51
	3	3,30	4,21	9,32	1,49
	4	4,20	5,35	11,08	1,44
	5	4,99	6,36	12,30	1,39
45 x 45	2	2,62	3,34	10,10	1,74
	2,5	3,21	4,09	12,10	1,72
	3	3,77	4,81	13,80	1,69
	4	4,83	6,15	16,60	1,64
50 x 50	2	2,93	3,74	14,15	1,95
	2,5	3,60	4,59	16,94	1,92
	3	4,25	5,41	19,47	1,90
	4	5,45	6,95	23,74	1,85
	5	6,56	8,36	27,04	1,80
60 x 60	2	3,56	4,54	25,14	2,35
	3	5,19	6,61	35,13	2,31



TUBES ET PROFILS CREUX

PROFILS CREUX DE CONSTRUCTION FINIS À FROID

Norme de référence : NF EN 10219

État de surface : noir

Qualité de base : S235JRH

SECTIONS CARRÉES FORMÉES À FROID

DIMENSION EXTÉRIEURE	ÉPAISSEUR	Module de flexion élastique	Module de flexion plastique	Moment d'inertie de torsion	Module de torsion	Surface superficielle par m de long.	Longueur nominale par tonne
mm	mm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m	m
20 x 20	1,5	0,58	0,72	0,98	0,88	0,075	1211
	2	0,69	0,88	1,21	1,06	0,075	953
25 x 25	2	1,19	1,47	2,53	1,80	0,095	733
	2,5	1,35	1,71	2,97	2,07	0,095	610
	3	1,47	1,91	3,33	2,27	0,095	529
30 x 30	1,5	1,46	1,74	3,57	2,21	0,115	771
	2	1,81	2,21	4,54	2,75	0,115	596
	2,5	2,10	2,61	5,40	3,20	0,115	492
	3	2,34	2,96	6,15	3,58	0,115	424
35 x 35	2	2,58	3,09	7,41	3,89	0,133	502
	2,5	3,02	3,69	8,89	4,58	0,131	412
	3	3,40	4,23	10,20	5,18	0,130	353
40 x 40	2	3,47	4,13	11,28	5,23	0,155	434
	2,5	4,11	4,97	13,61	6,21	0,155	355
	3	4,66	5,72	15,75	7,07	0,155	303
	4	5,54	7,01	19,44	8,48	0,155	238
	5	6,13	8,02	22,30	9,49	0,143	200
45 x 45	2	4,50	5,32	16,30	6,77	0,173	382
	2,5	5,36	6,43	19,80	8,09	0,171	312
	3	6,12	7,44	23,00	9,27	0,170	265
	4	7,38	9,22	28,70	11,30	0,166	207
50 x 50	2	5,66	6,66	22,63	8,51	0,195	341
	2,5	6,78	8,07	27,53	10,22	0,195	278
	3	7,79	9,39	32,13	11,76	0,195	236
	4	9,49	11,73	40,42	14,43	0,195	183
	5	10,82	13,70	47,46	16,56	0,195	152
60 x 60	2	8,38	9,79	39,79	12,59	0,235	281
	3	11,71	13,95	57,09	17,65	0,235	193



TUBES ET PROFILS CREUX

PROFILS CREUX DE CONSTRUCTION FINIS À FROID

Norme de référence : NF EN 10219

État de surface : noir

Qualité de base : S235JRH

SECTIONS CARRÉES FORMÉES À FROID

DIMENSION EXTÉRIEURE	ÉPAISSEUR	MASSE LINÉIQUE	AIRE DE SECTION TRANSVERSALE	MOMENT D'INERTIE DE FLEXION	RAYON DE GIRATION
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm
60 x 60	4	6,71	8,55	43,55	2,26
	5	8,13	10,36	50,50	2,21
70 x 70	2	4,19	5,34	40,70	2,76
	3	6,13	7,81	57,52	2,71
	4	7,97	10,15	72,12	2,67
	5	9,70	12,36	84,63	2,62
80 x 80	2	4,82	6,14	61,70	3,17
	3	7,07	9,01	87,84	3,12
	3,5	8,16	10,40	99,80	3,10
	4	9,22	11,75	111,04	3,07
	5	11,27	14,36	131,44	3,03
	6	13,21	16,83	149,18	2,98
90 x 90	3	8,01	10,21	127,28	3,53
	4	10,48	13,35	161,91	3,48
	5	12,84	16,36	192,92	3,43
	6	15,10	19,23	220,47	3,39
100 x 100	3	8,96	11,41	177,04	3,94
	4	11,73	14,95	226,34	3,89
	5	14,41	18,36	271,09	3,84
	6	16,98	21,63	311,46	3,79
	7	19,10	24,40	337	3,72
120 x 120	3	10,84	13,81	312,33	4,76
	4	14,25	18,15	402,26	4,71
	5	17,55	22,36	485,45	4,66
	6	20,75	26,43	562,13	4,61
	7	23,50	30,00	617	4,54
140 x 140	3	12,70	16,20	503	5,57
	4	16,76	21,35	651,59	5,52



TUBES ET PROFILS CREUX

PROFILS CREUX DE CONSTRUCTION FINIS À FROID

Norme de référence : NF EN 10219

État de surface : noir

Qualité de base : S235JRH

SECTIONS CARRÉES FORMÉES À FROID

DIMENSION EXTÉRIEURE	ÉPAISSEUR	Module de flexion élastique	Module de flexion plastique	Moment d'inertie de torsion	Module de torsion	Surface superficielle par m de long.	Longueur nominale par tonne
mm	mm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m	m
60 x 60	4	14,52	17,64	72,64	21,97	0,235	149
	5	16,83	20,88	86,42	25,61	0,235	123
70 x 70	2	11,60	13,50	64,00	17,50	0,273	239
	3	16,44	19,41	92,42	24,74	0,275	163
	4	20,60	24,75	118,52	31,11	0,275	126
	5	24,18	29,55	142,21	36,65	0,275	103
80 x 80	2	15,40	17,80	96,30	23,20	0,313	208
	3	21,96	25,78	139,93	33,02	0,315	141
	3,5	25,00	29,50	161	37,60	0,308	123
	4	27,76	33,07	180,44	41,84	0,315	108
	5	32,86	39,73	217,83	49,68	0,315	89
	6	37,29	45,78	252,07	56,59	0,315	76
90 x 90	3	28,28	33,04	201,42	42,51	0,355	125
	4	35,98	42,58	260,80	54,17	0,355	95
	5	42,87	51,41	316,26	64,70	0,355	78
	6	48,99	59,54	367,76	74,16	0,355	66
100 x 100	3	35,41	41,21	278,68	53,19	0,395	112
	4	45,27	53,30	362,01	68,10	0,395	85
	5	54,22	64,59	440,52	81,72	0,395	69
	6	62,29	75,09	514,16	94,12	0,395	59
	7	67,40	82,70	583	105	0,370	52,30
120 x 120	3	52,06	60,23	487,72	78,15	0,475	92
	4	67,04	78,32	636,57	100,75	0,475	70
	5	80,91	95,44	778,50	121,75	0,475	57
	6	93,69	111,60	913,46	141,22	0,475	48
	7	103	124	1044	158	0,450	42,50
140 x 140	3	71,9	82,9	781	108	0,550	78,60
	4	93,08	108,15	1023,32	139,80	0,555	60