



جامعة أبو بكر بلقايد

كلية التكنولوجيا

UNIVERSITÉ DE TLEMCEEN

Faculté de Technologie



L3 INGÉNIEUR GC

MATIÈRE : CHARPENTE MÉTALLIQUE 2

GÉNÉRALITÉS ET NOTIONS DE BASE

DR. TABET-DERRAZ MOULAY IDRIS

Email: moulayidriss.tabetderraz@univ-tlemcen.dz

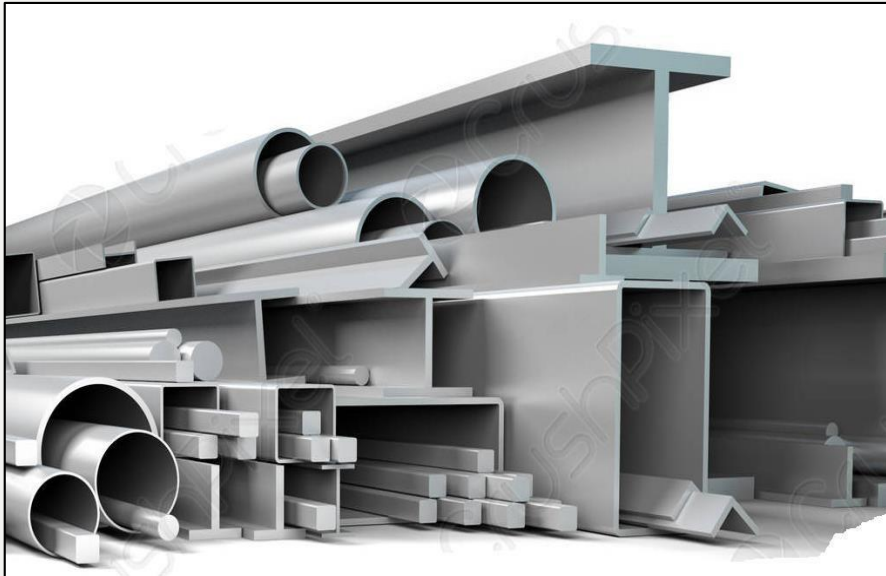
INTRODUCTION

- La construction métallique est un domaine de la construction, mais aussi de la mécanique ou du génie civil qui s'intéresse à la construction d'ouvrages en métal et plus particulièrement en acier.



INTRODUCTION

L'ère de l'acier «Steel» (de 1880 à nos jours), l'acier qui succède à la fonte, est plus résistant mais aussi plus ductile avec la mise au point du convertisseur.



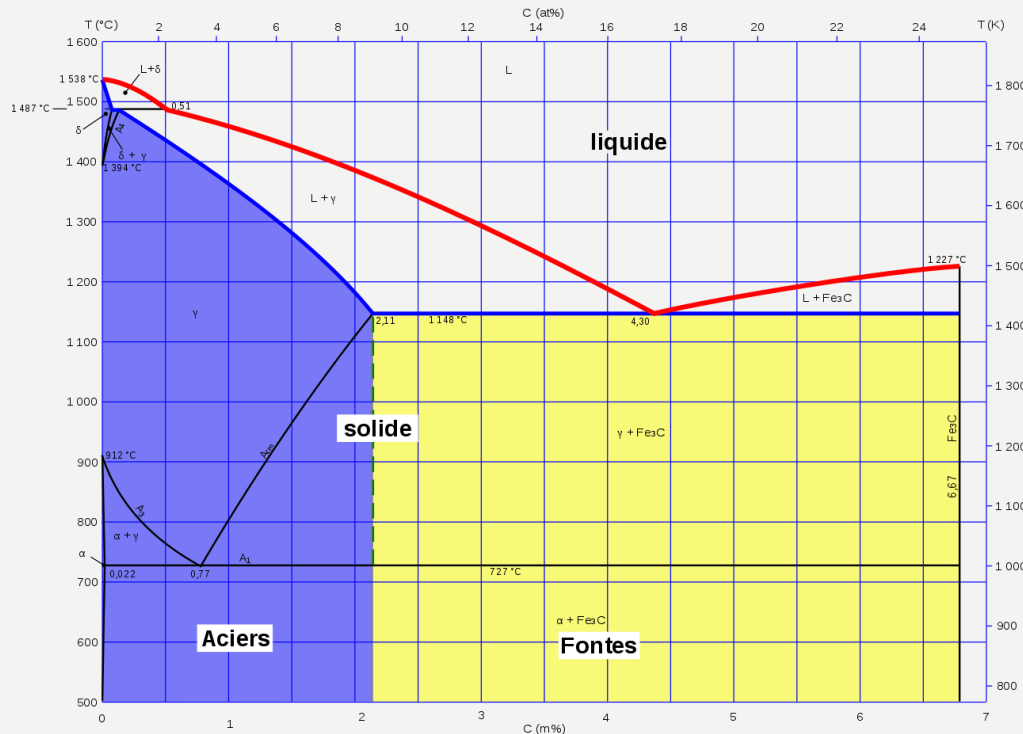
Produits finis de l'acier
(Profilé, Barres et Coques)



INTRODUCTION

L'ère de l'acier «Steel» (de 1880 à nos jours), qui succède au fer, avec la mise au point du convertisseur.

la mise au point des procédés Bessemer et Martin et Thomas conduit à la fabrication d'un nouveau matériau nommée **l'Acier**, plus résistant mais aussi plus ductile que le fer et la fonte en réduisant le pourcentage du Carbone de moins de **2%**



INTRODUCTION

L'ère de l'acier «Steel »(de 1880 à nos jours), qui succède au fer, avec la mise au point du convertisseur,

L'acier devient la pratique de la fabrication et dans quelques années, s'étendra à la **construction civile et industrielle**, en particulier aux **États-Unis**.



Insurance Building (55m)
Chicago (1884)



Flatiron Building (87 m)
New York (1903).



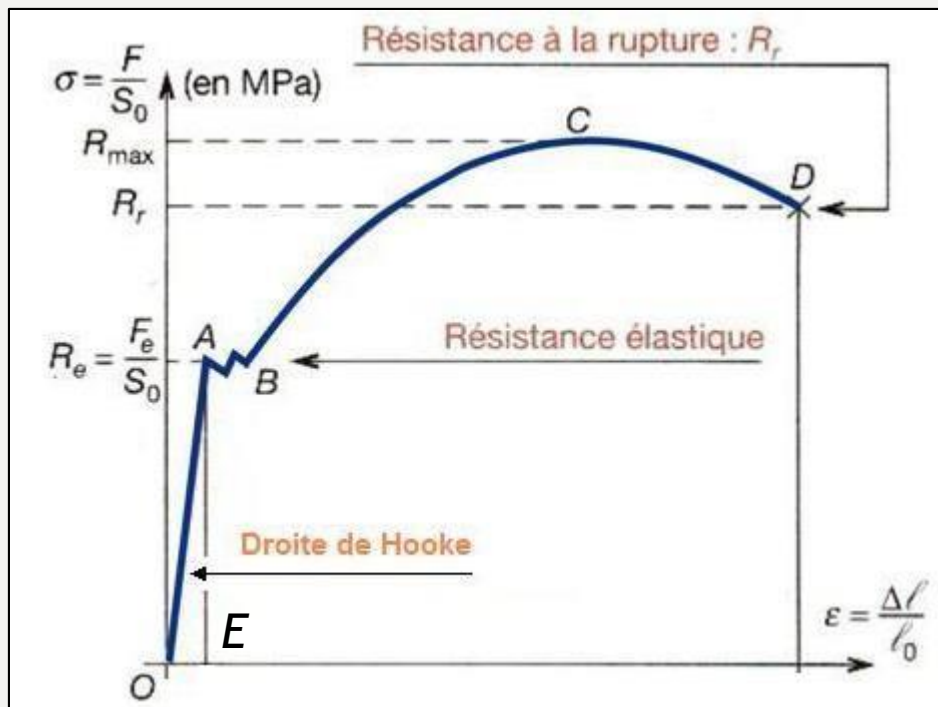
Empire State Building (381m)
New York (1903).

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES STRUCTURES EN ACIER

Avantages	Inconvénients
Mise En Œuvre Rapide (Produit fini)	Sensible Au Feu
Facilité Du Montage	Sensible À la Corrosion
Structure Démontable	Sensible Aux efforts horizontaux (structure très souple)
Une Solution Économique (Légèreté)	
Souplesse Architecturale (Grande Portée)	

COMPORTEMENT DE L'ACIER

L'acier « **Steel** » est un matériau durable et résistant, capable de supporter des charges lourdes. Il résiste bien à la traction et à la compression, ne se déformant pas durablement. Il est également ductile, ce qui le rend précieux dans la construction pour absorber l'énergie des charges soudaines comme les séismes.



R_e : limite élastique; **R_{max}** : résistance max en traction; **E** : module d'élasticité

COMPORTEMENT DE L'ACIER

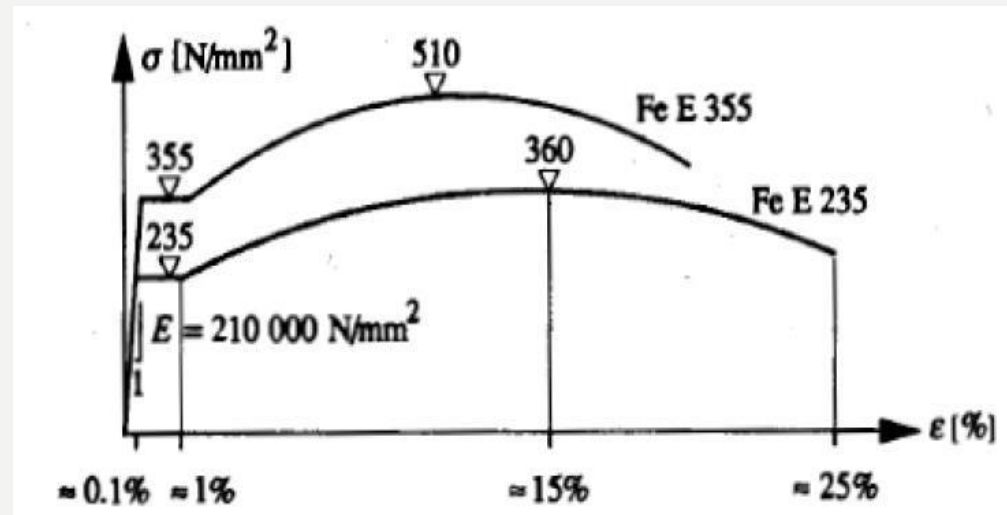
La nuance d'Acier est définie par sa limite d'élasticité f_y . Un acier ayant une valeur nominale de la limite d'élasticité $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ est appelé acier FeE235 (Fe pour fer, E pour limite d'élasticité). Le tableau suivant donne la désignation et quelques caractéristiques des principaux aciers de construction.

Type d'acier	Nuance de l'acier	épaisseur t (mm)			
		t ≤ 40 mm		40 mm ≤ t ≤ 100 mm *	
		f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
S 235	Fe 360	235	360	215	340
S 275	Fe 430	275	430	255	410
S 355	Fe 510	355	510	335	490

f_y : limite élastique; f_u : résistance max en traction; t : épaisseur semelle ou âme

COMPORTEMENT DE L'ACIER

la relation contrainte-déformation spécifique des deux principaux types d'acier utilisés dans la construction (FeE235 et FeE355)



Les valeurs de calcul normalisées des principales caractéristiques des aciers de construction sont les suivants :

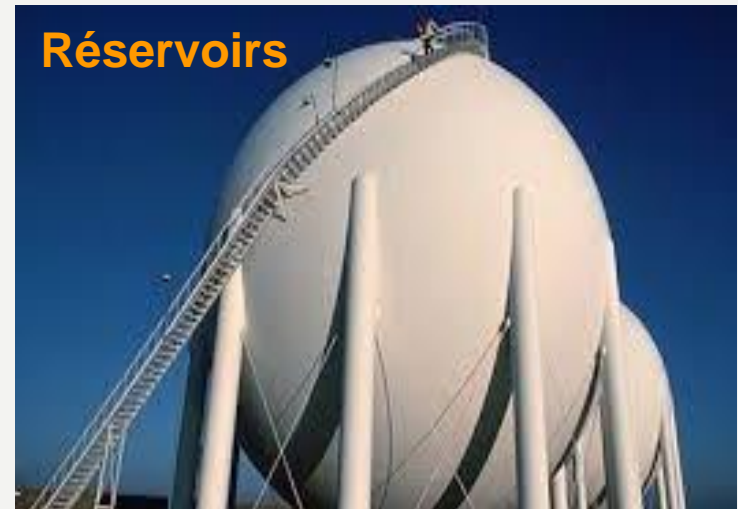
- Module d'élasticité : $E = 210000\ N/mm^2 = 210\ KN/mm^2$
- Module de cisaillement : $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 81\ KN/mm^2$
- Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
- Coefficient de dilatation thermique : $\alpha_T = 1.2 \times 10^{-5} / ^\circ C$
- Charge volumique : $\gamma = 78.5\ KN/m^3$

ÉLÉMENTS EN ACIER

Par constructions métallique, on entend une structure dans laquelle les poteaux, les poutres et les poutres portant les planchers, sont réalisés en acier (squelette en acier).



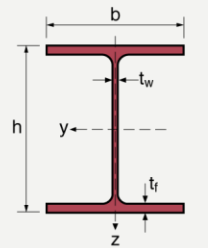
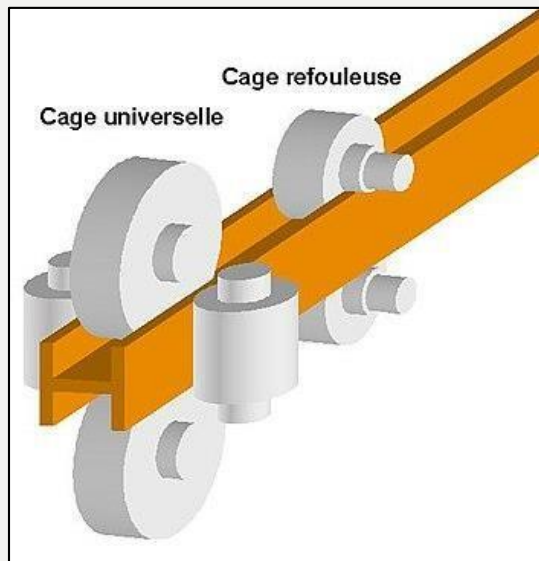
Système de barres : constitué essentiellement par des **poutres**, des **fermes** et des **poteaux**



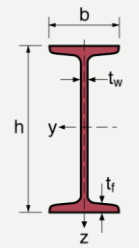
Système de coque : constitué essentiellement par des **tôles métalliques**

ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

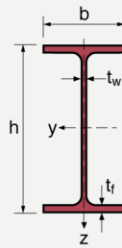
Systeme de barres : Les profilés métalliques en acier laminés



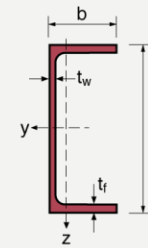
HEA/HEB/HEM



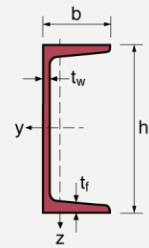
INP



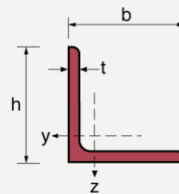
IPE



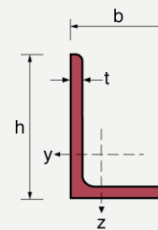
UPE



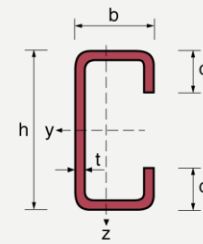
UNP
($h > 80$ mm)



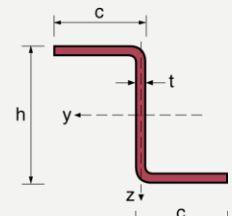
L ég.
L égales



L inég.
L inégales



C
formé à froid



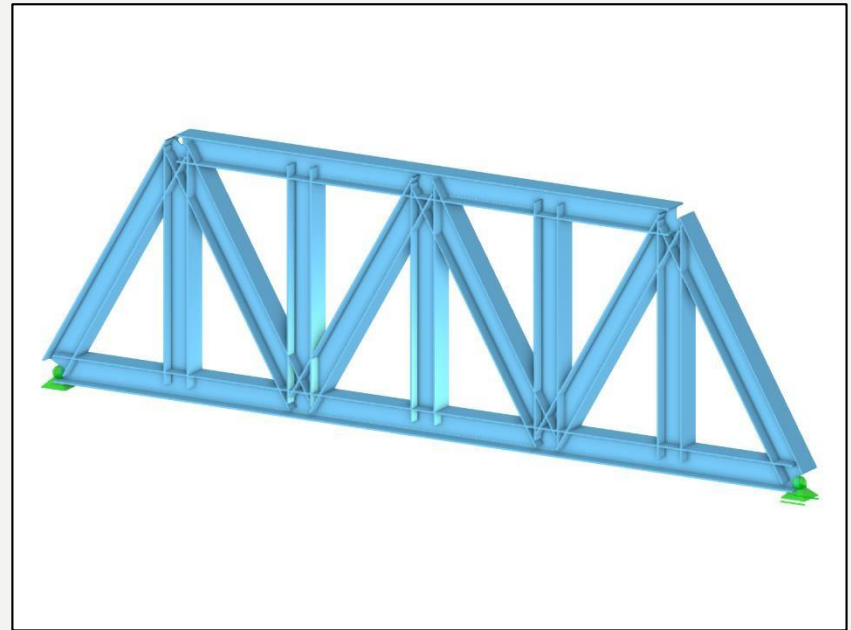
Z
formé à froid

ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

La construction métallique peut être composée des éléments poutre qui résiste à la flexion et des éléments en treillis qui travaillent uniquement en traction et compression



Élément poutre



Élément treillis

ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

Produits laminés à chaud

1. Profilés en double té

On peut les classer en deux groupes

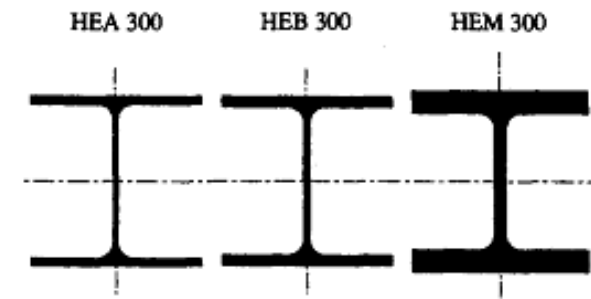
- Les profilés en double té à ailes étroites

- I_z est petit vis-à-vis de I_y
- Poids unitaire relativement faible
- Principalement utilisés comme éléments fléchis
- On distingue:
 - Série IPE (légère); les ailes sont d'épaisseur constante
 - Série INP (légèrement plus lourde); les faces internes des ailes inclinées

	INP 300	IPE 300
m [kg/m]	54.2	42.2
A [mm ²]	6900	5380
I_y [10 ⁶ mm ⁴]	98.0	83.6
I_z [10 ⁶ mm ⁴]	4.51	6.04

- Les profilés en double té à large ailes

- I_z est plus élevé que celui des profilés à ailes étroites
- Éléments utilisé en flexion, en flexion déviée ou soumis à un effort normal
- On distingue **HEA**, **HEB** et **HEM**



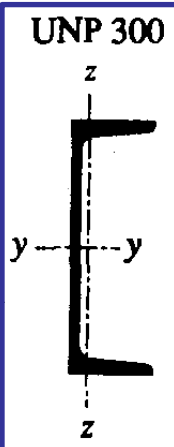
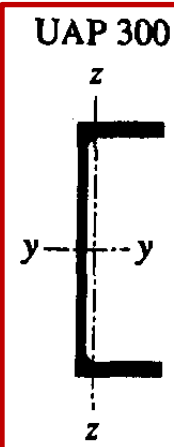
	HEA 300	HEB 300	HEM 300
m [kg/m]	88.3	117	238
A [mm ²]	11 300	14 900	30 300
I_y [10 ⁶ mm ⁴]	182.6	251.7	592.0
I_z [10 ⁶ mm ⁴]	63.1	85.6	194.0

ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

Produits laminés à chaud

2. Profilés en U

- Ils sont souvent utilisés comme éléments secondaires. On distingue:
 - Série UNP avec des faces internes des ailes inclinées
 - Série UAP à épaisseur d'ailes constante

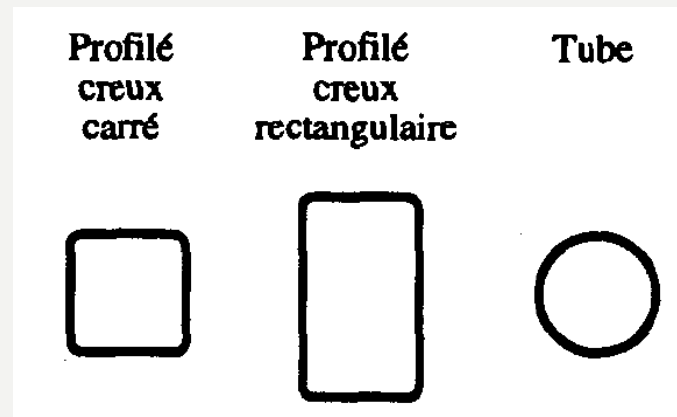
	UNP 300	UAP 300
		
m [kg/m]	46.2	42.2
A [mm ²]	5880	5860
I_y [10 ⁶ mm ⁴]	80.03	81.7
I_z [10 ⁶ mm ⁴]	4.95	5.62

ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

Produits laminés à chaud

3. Profilés tubulaires

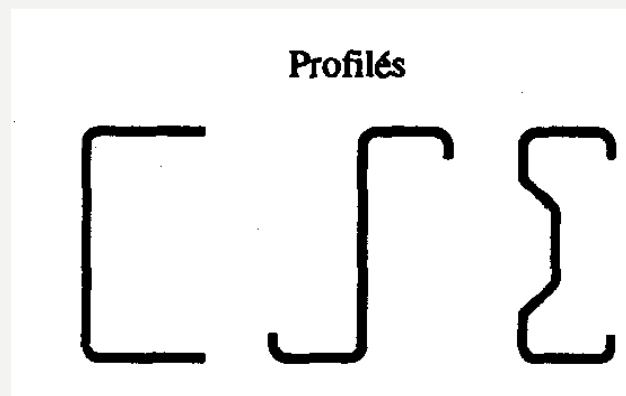
- Ils sont de plus en plus employés en CM (treillis)
- Ils sont plus chers que les profiles usuels
- Avantage: flambement (même inertie % 2 axes)
- Ils sont souvent préférés pour des raisons esthétiques
- On les trouve sous forme de tubes carrés, rectangulaires et ronds



ÉLÉMENTS EN ACIER (BARRES)

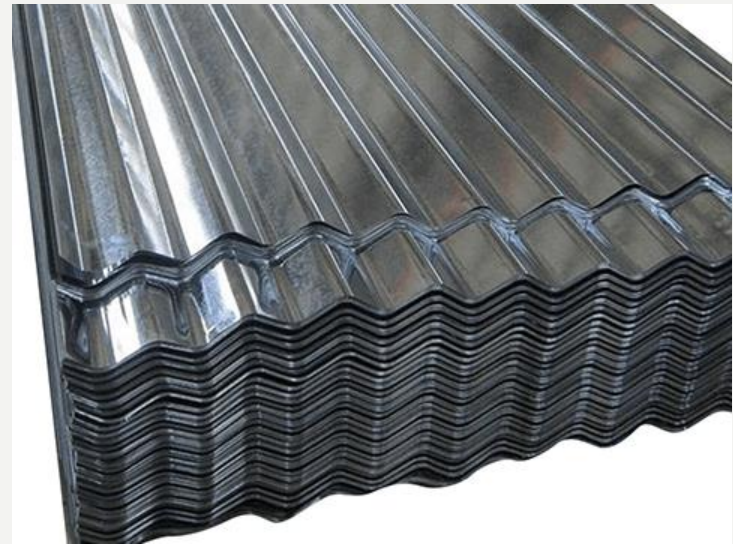
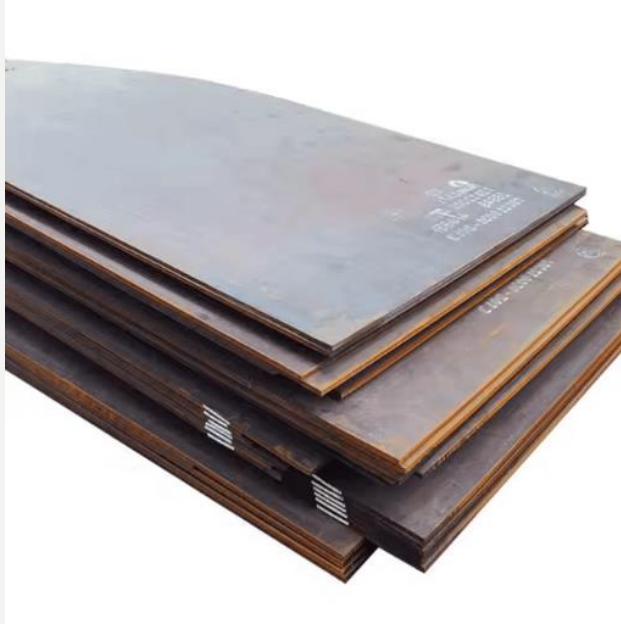
Produits façonnés à froid

- Caractérisés par leur **forme parfois assez élaborée** et par leur **faible épaisseur**; ce sont **surtout des tôles minces** et plus **rarement des profilés**
- Il existe actuellement une grande variété de tôles façonnées à froid. Citons la tôle ondulée ou nervurée (en général galvanisée) utilisée pour les couvertures de toits et les tôles profilées employées comme coffrage perdus en construction mixte. La surface des tôles striées présente un relief en losange.



ÉLÉMENTS EN ACIER (COQUE/TÔLES)

Le système coque ou tôles est utilisé pour la fabrication des PRS par des tôles laminés à chaud et pour le revêtements par des tôles façonnés à froid.



ÉLÉMENTS EN ACIER (COQUE/TÔLES)

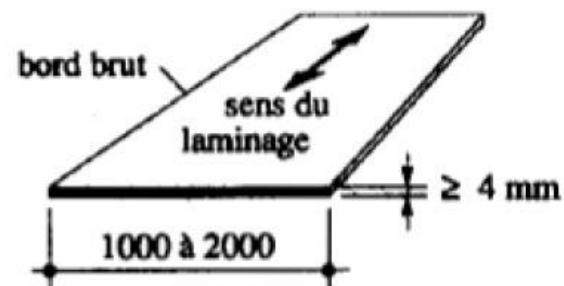
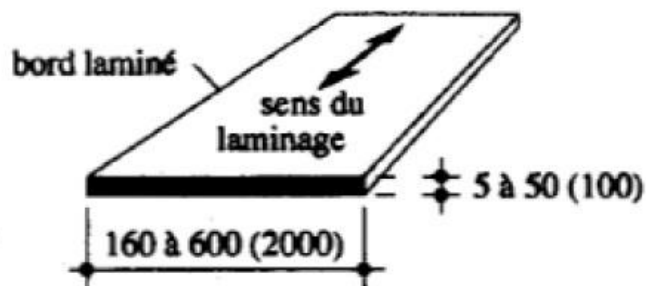
Produits Laminés à chaud

Les tôles : Elles sont laminées à chaud seulement sur les grandes faces (Fig.7). Elles sont subdivisées selon les normes en trois catégories :

- Les tôles fortes : épaisseur $t \geq 5mm$; largeur : de 600 à 4000 mm
- Les tôles moyennes : $3mm \leq t < 5mm$; largeur : de 600 à 2000 mm
- Les tôles fines : $t < 3mm$; largeur : de 500 à 1800 mm

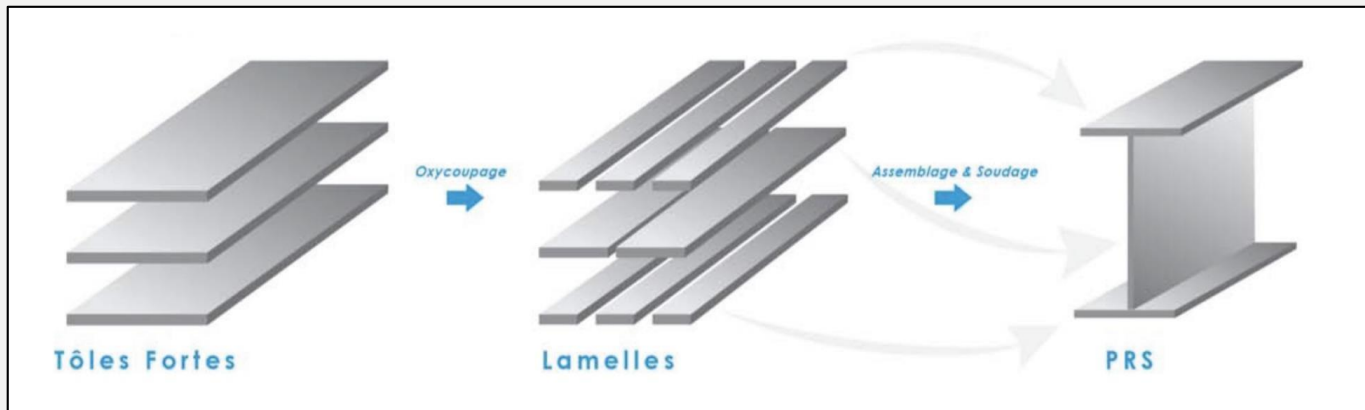
Le domaine d'utilisation : section composées ; poutres dépassant 600 mm de hauteur, ex : poutre des ponts roulants.

Les tôles fines ont un emploi limité en construction métallique en raison de leur souplesse et de leur faible épaisseur (danger de corrosion)



ÉLÉMENTS EN ACIER (COQUE/TÔLES)

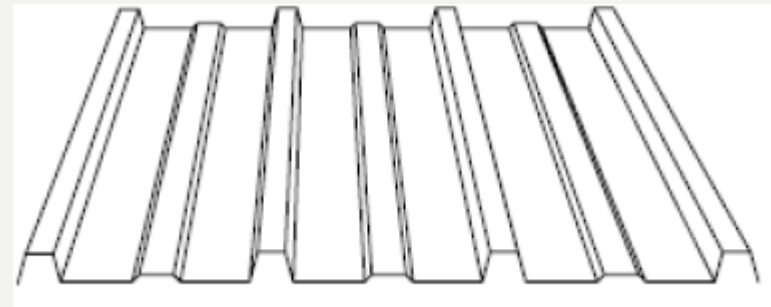
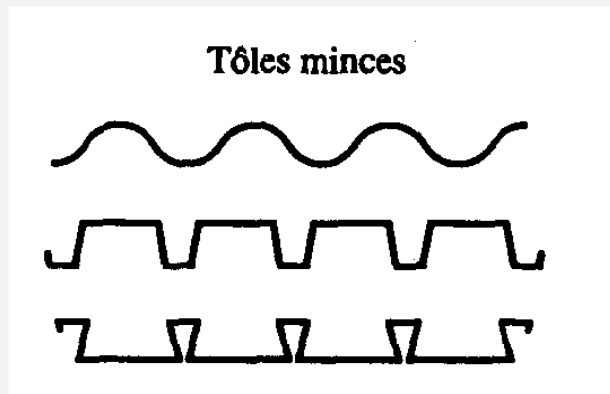
Les profilés métalliques en acier reconstitués soudés (PRS)



ÉLÉMENTS EN ACIER (COQUE/TÔLES)

Produits façonnés à froid

- Les profilés laminés à froid sont utilisés pour des structures légères (serres, couverture provisoire...) et plus particulièrement dans les constructions standardisées. Il présentent l'avantage d'être très légers, facilement transportable et s'obtiennent dans un grand choix de formes.

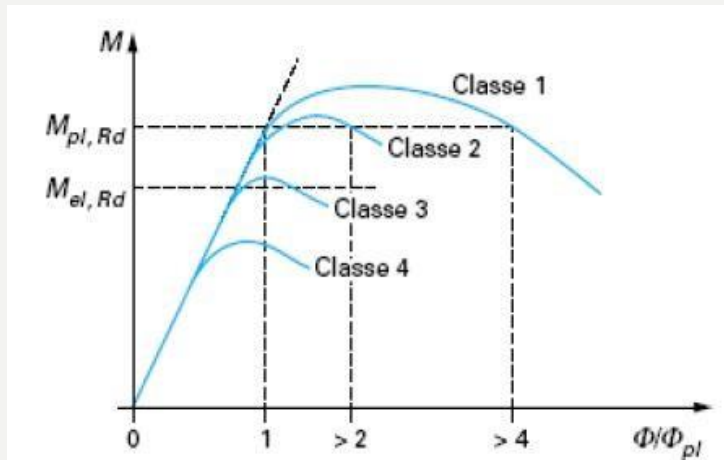


CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER

Les sections sont classées de 1 à 4, en fonction de l'élançement de l'âme et de la semelle dans les zone comprimée (largeur/épaisseur), de la limite d'élasticité :

- **Classe 1** : Section transversale qui peut atteindre sa résistance plastique sans le risque de voilement, et qui possède une réserve plastique suffisante pour développer une rotule plastique pour une analyse plastique.
- **Classe 2** : Section transversale qui peut fournir un moment résistant plastique mais avec une plasticité limitée (moins de capacité de rotation que la classe 1).
- **Classe 3** : Section transversale qui peut atteindre la limite élastique sur les fibres d'extrémités mais avec un grand risque de voilement locale qui empêche la section à déployer le moment résistant plastique.
- **Classe 4** : Section transversale avec des parois élançées qui ne permet pas d'atteindre la limite élastique et sa résistance est calculé par la prise en considération de l'influence du voilement local produit.

CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER



C1 & C2 : Résistance plastique

C3 : Résistance élastique

C4 : Résistance élastique
avec section efficace

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

CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER

Section en L et circulaire

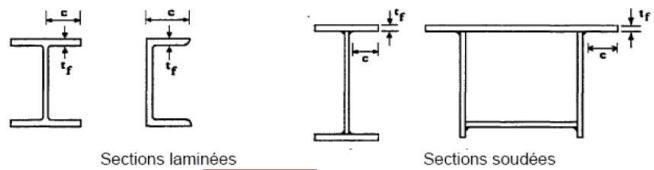
<p>d) <u>Cornières</u></p> <p>Se référer aussi à (c) "Parois de semelles en console" (voir feuille 3)</p>		<p>(Ne s'applique pas aux cornières en contact continu avec d'autres composants)</p>		
Classe	Section comprimée			
Distribution de contraintes dans la section (compression positive)				
3	$\frac{h}{t} \leq 15\epsilon$	$\frac{b+h}{2t} \leq 11, 5\epsilon$		
(e) <u>Sections tubulaires</u>				
Classe	Section fléchie et/ou comprimée			
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$			
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$			
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81
	ϵ^2	1	0,85	0,66

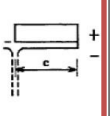
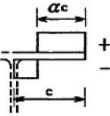
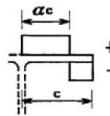
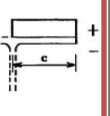
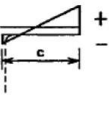
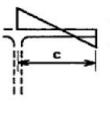
La cornière est souvent mise en contreventement et donc résiste en compression ou en traction et elle est calculée dans la phase élastique donc en classe 3 ou 4 en raison du risque de voilement prématuré.

CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER

Section en I et en H (cas de la semelle comprimée) :

(b) Parois semelles en console :



Classe	Type de section	Paroi comprimée	Paroi en flexion composée		
			bord comprimé	bord tendu	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)					
					
1	laminées soudées	$c/t_f \leq 10 \epsilon$ $c/t_f \leq 9 \epsilon$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$ $c/t_f \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
2	laminées soudées	$c/t_f \leq 11 \epsilon$ $c/t_f \leq 10 \epsilon$	$c/t_f \leq \frac{11\epsilon}{\alpha}$ $c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{11\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)					
					
3	laminées soudées	$c/t_f \leq 15 \epsilon$ $c/t_f \leq 14 \epsilon$	$c/t_f \leq 23 \epsilon \sqrt{k_\sigma}$ $c/t_f \leq 21 \epsilon \sqrt{k_\sigma}$ Pour k_σ voir tableau 5.3.3		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y (N/mm ²)	235	275	355
		ϵ	1	0,92	0,81

Dans la construction la semelle comprimée est rarement en flexion composée donc on la considère toujours comprimée

CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER

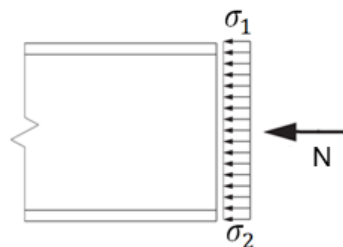
Section en I et en H (cas de l'âme) :

(a) Ames : (parois internes perpendiculaires à l'axe de flexion)

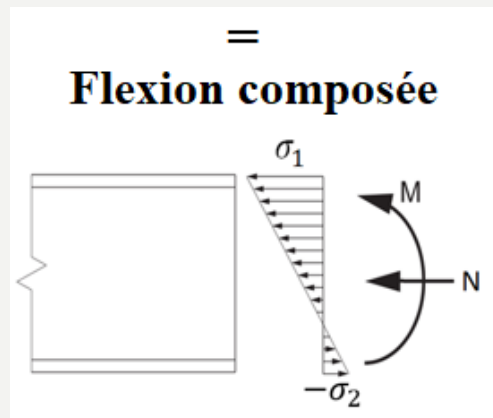
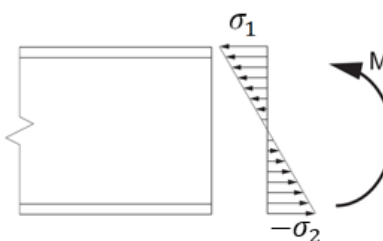
Classe	Ame fléchie	Ame comprimée	Ame en flexion composée	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
1	$d/t_w \leq 72 \epsilon$	$d/t_w \leq 33 \epsilon$	Quand $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quand $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 36 \epsilon / \alpha$	
2	$d/t_w \leq 83 \epsilon$	$d/t_w \leq 38 \epsilon$	Quand $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quand $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 41,5 \epsilon / \alpha$	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
3	$d/t_w \leq 124 \epsilon$	$d/t_w \leq 42 \epsilon$	Quand $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42 \epsilon / (0,67 + 0,33\psi)$ Quand $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62 \epsilon (1 - \psi) / (-\psi)$	
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

La flexion composée :

Compression



Flexion simple

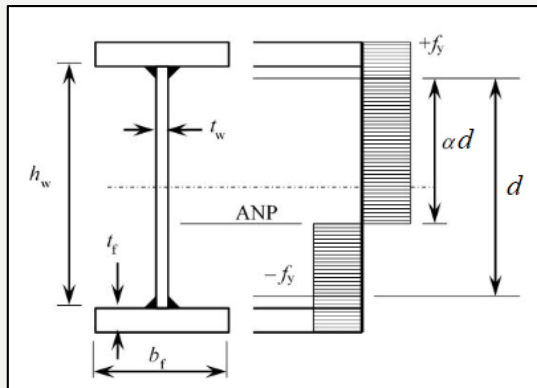


CLASSIFICATION DES SECTIONS EN ACIER

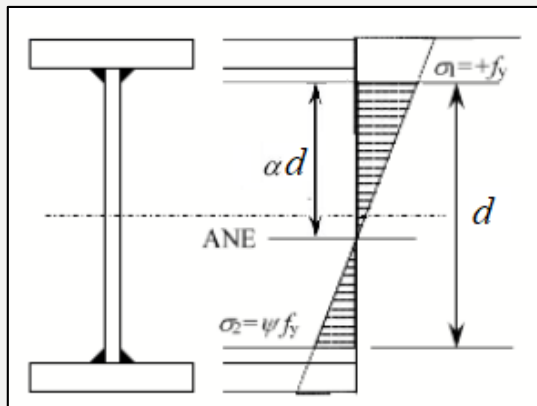
Section en I et en H (cas de l'âme) :

Lorsque l'âme est en flexion composée :

Classe 1 & 2



Classe 3 & 4



$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{ed}}{d \cdot t_w \cdot f_y} \right)$$

$\alpha = 0$ si l'âme est uniformément tendue

$\alpha = 1$ si l'âme est uniformément comprimée

$0 \leq \alpha \leq 1$ si l'âme est partiellement tendue et comprimée.

$$\psi = \frac{\sigma_1}{-\sigma_2} = 2 \frac{N_{ed}}{A \cdot f_y} - 1$$

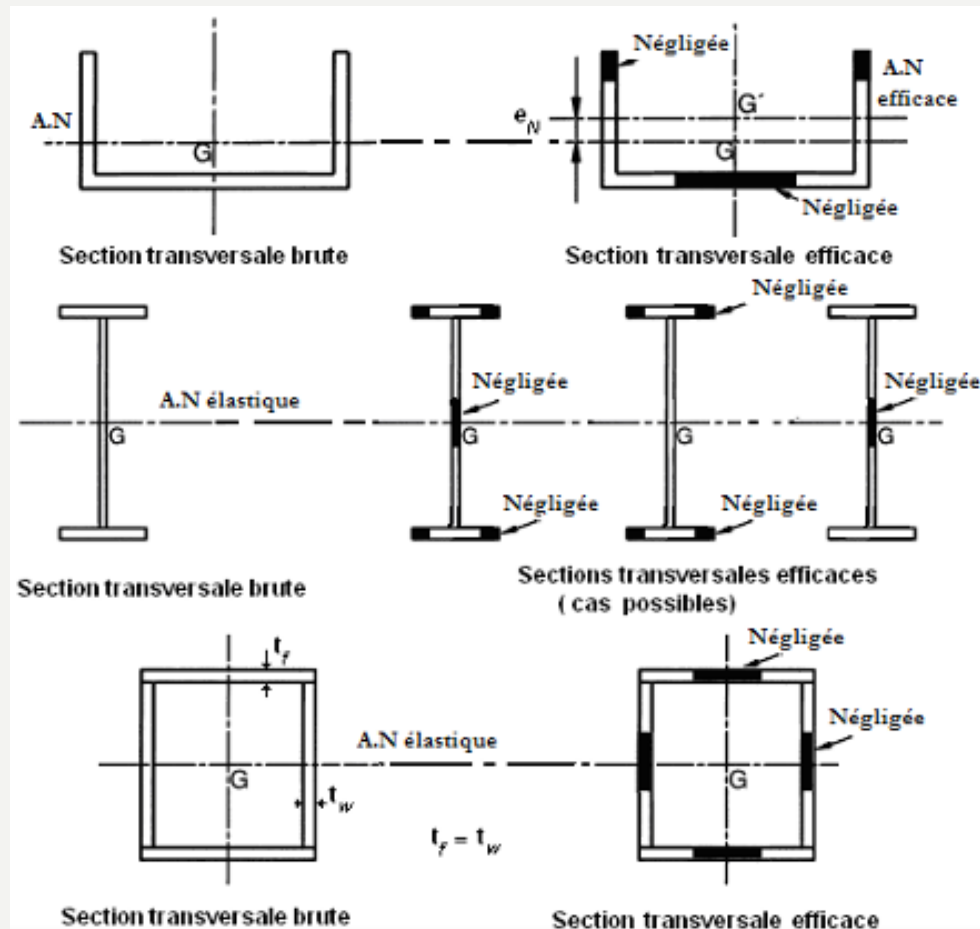
$\psi \leq 0$ L'âme est partiellement tendue et comprimée

$0 \leq \psi \leq +1$ L'âme est en compression non uniforme $\sigma_1 > \sigma_2$

N_{ed} est l'effort axial, positif pour la compression et négatif pour la traction.

SECTION EFFICACE DE CLASSE 4

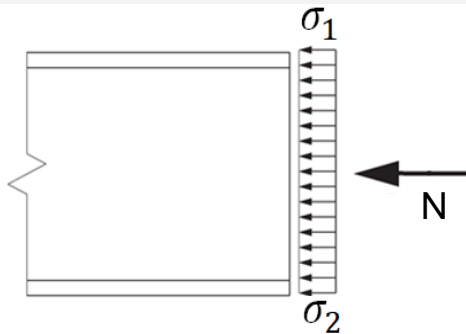
Les profilés de classe 4 travail avec la section efficace c.-à-d. qu'il y a des zones qui sont négligées dans la résistance :



SECTION EFFICACE DE CLASSE 4

D'abord il faut connaitre la distribution de contrainte sur la section transversale, La **semelle supérieure** est toujours **comprimée** par contre l'**âme** peut être **totalemt comprimée, fléchis ou en flexion composée** elle est paramétré par ψ selon la sollicitation :

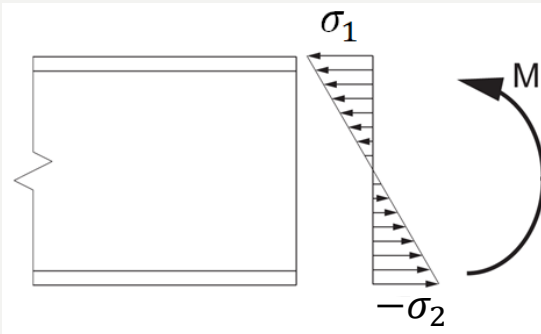
Compression



$$\sigma_1 = \sigma_2$$

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1$$

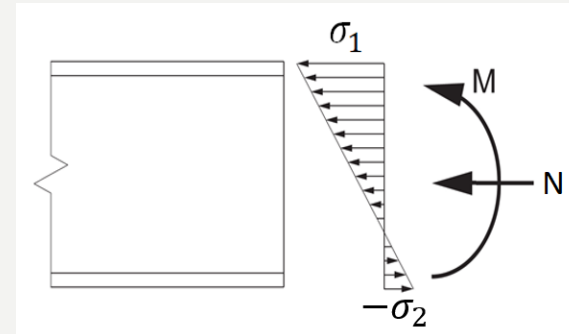
Flexion simple



$$\sigma_1 = -\sigma_2$$

$$\psi = \frac{\sigma_1}{-\sigma_2} = -1$$

Flexion composé

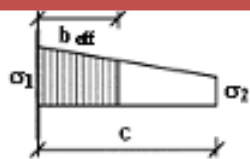
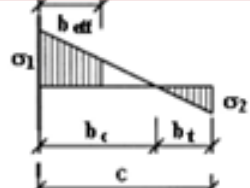


$$\sigma_1 \neq -\sigma_2$$

$$\psi = \frac{\sigma_1}{-\sigma_2} = 2 \frac{N_{ed}}{A \cdot f_y} - 1$$

SECTION EFFICACE DE CLASSE 4

Les parois en console (pour les sections en I et en H on parle de la semelle comprimée) :

		Distribution des contraintes (Compression positive)		Largeur efficace b_{eff} De la partie comprimée de la paroi												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Compression</div>		$0 \leq \psi < +1 :$ $b_{eff} = \rho \cdot c$		$0 < \psi :$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \rho \cdot \frac{c}{1 - \psi}$												
							<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Flexion</div>		$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$		<table border="1"> <tr> <td>-1</td> <td>$-1 < \psi < 0$</td> <td>0</td> <td>$0 < \psi < +1$</td> <td>+1</td> </tr> <tr> <td>k_σ</td> <td>23,8</td> <td>$1,7 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2$</td> <td>1,70</td> <td>$\frac{0,578}{0,34 + \psi}$</td> <td>0,43</td> </tr> </table>		-1	$-1 < \psi < 0$	0	$0 < \psi < +1$
-1	$-1 < \psi < 0$	0	$0 < \psi < +1$	+1												
k_σ	23,8	$1,7 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2$	1,70	$\frac{0,578}{0,34 + \psi}$	0,43											
		k_σ : Le coefficient de voilement.														

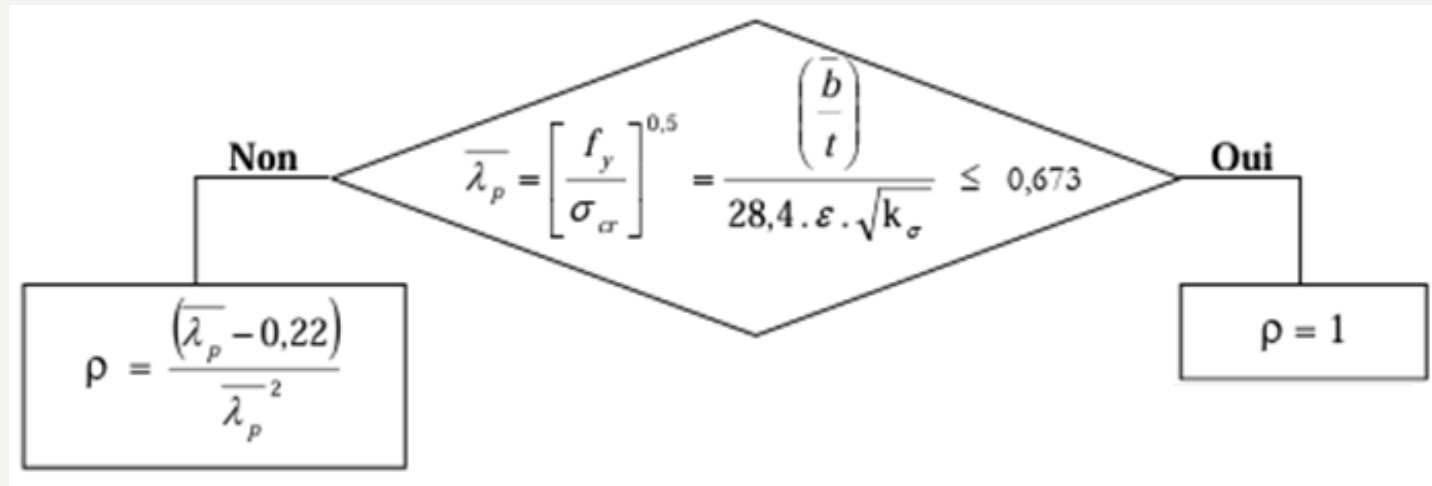
SECTION EFFICACE DE CLASSE 4

Les parois interne (pour les sections en I et en H on parle de l'âme) :

	Distribution des contraintes (Compression positive)		Largeur efficace b_{eff} De la partie comprimée de la paroi				
Compression			$\psi = +1:$	$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$			
			$b_{e1} = 0,5 \cdot b_{eff}$		$b_{e2} = 0,5 \cdot b_{eff}$		
Flexion			$0 \leq \psi < +1:$	$b_{eff} = \rho \cdot b$			
			$b_{e1} = \frac{2 \cdot b_{eff}}{5 - \psi}$		$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
			$\psi < 0:$	$b_{eff} = \rho \cdot b_c = \rho \cdot \frac{\bar{b}}{1 - \psi}$			
			$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff}$		$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff}$		
	$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$	$-2 < \psi < -1$	-1	$-1 < \psi < 0$	0	$0 < \psi < +1$	$+1$
	k_σ	$5,98(1-\psi)^2$	$23,9$	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	$7,81$	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	$4,0$
Alternativement, pour $-1 \leq \psi \leq +1$:							
$k_\sigma = \frac{16}{(1+\psi) + \sqrt{(1+\psi)^2 + 0,112(1-\psi)^2}}$							
k_σ : Le coefficient de voilement.							

SECTION EFFICACE DE CLASSE 4

Le calcul du coefficient ρ pour déterminer la largeur efficace se fait en calculant l'élançement réduit $\bar{\lambda}_p$:



Traduction de quelques mots clés

- Acier: **steel**
- Béton: **concrete**
- Masse: **mass**
- Volume: **volume**
- Poids: **weight**
- Epaisseur: **thikness**
- Bâtiment: **building**
- Poteau: **colomn**
- Poutre: **beam**
- Ferme: **truss**
- Plancher: **roof**
- Etage: **floor**
- Réservoir: **tank**
- Pont: **bridge**
- Corrosion: **corrosion**
- Feu: **fire**
- Incendie: **fire, burning**
- Sol: **soil**
- Constructions métallique: **steel structure**
- Phénomène d'instabilité : **Instability Phenomenon**
- Flambement: **buckling**
- Déversement: **lateral buckling**
- Voilement: **Local buckling**
- Section efficace : **Effective Section**
- Charge permanente: **Permanent Load**
- Charge d'exploitation: **Live Load**
- Surcharge climatique: **Environmental Load**
- Action accidentelle: **Accidental Load**
- Vent: **wind**
- Neige: **snow**
- Température: **temperature**
- Séisme: **earthquake**
- Contrainte: **stress**
- Dimensionnement: **design**
- Effondrement: **collapse**
- Déplacement: **displacement**
- Déformation: **deformation, strain**