

# CHAPITRE N°08 :

# LES PORTIQUES COURANTS

- Enseignant : Cédric LOINTHIER – Promotion 2015
- Contact : [cedric.lointhier@ingemetal.fr](mailto:cedric.lointhier@ingemetal.fr)

# SOMMAIRE

---

- ❑ Objectifs d'apprentissage
- ❑ Rappel : Portique courant
- ❑ Sollicitations dans un portique
- ❑ Stabilité des portiques
- ❑ Règles de prédimensionnement d'un portique

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

---

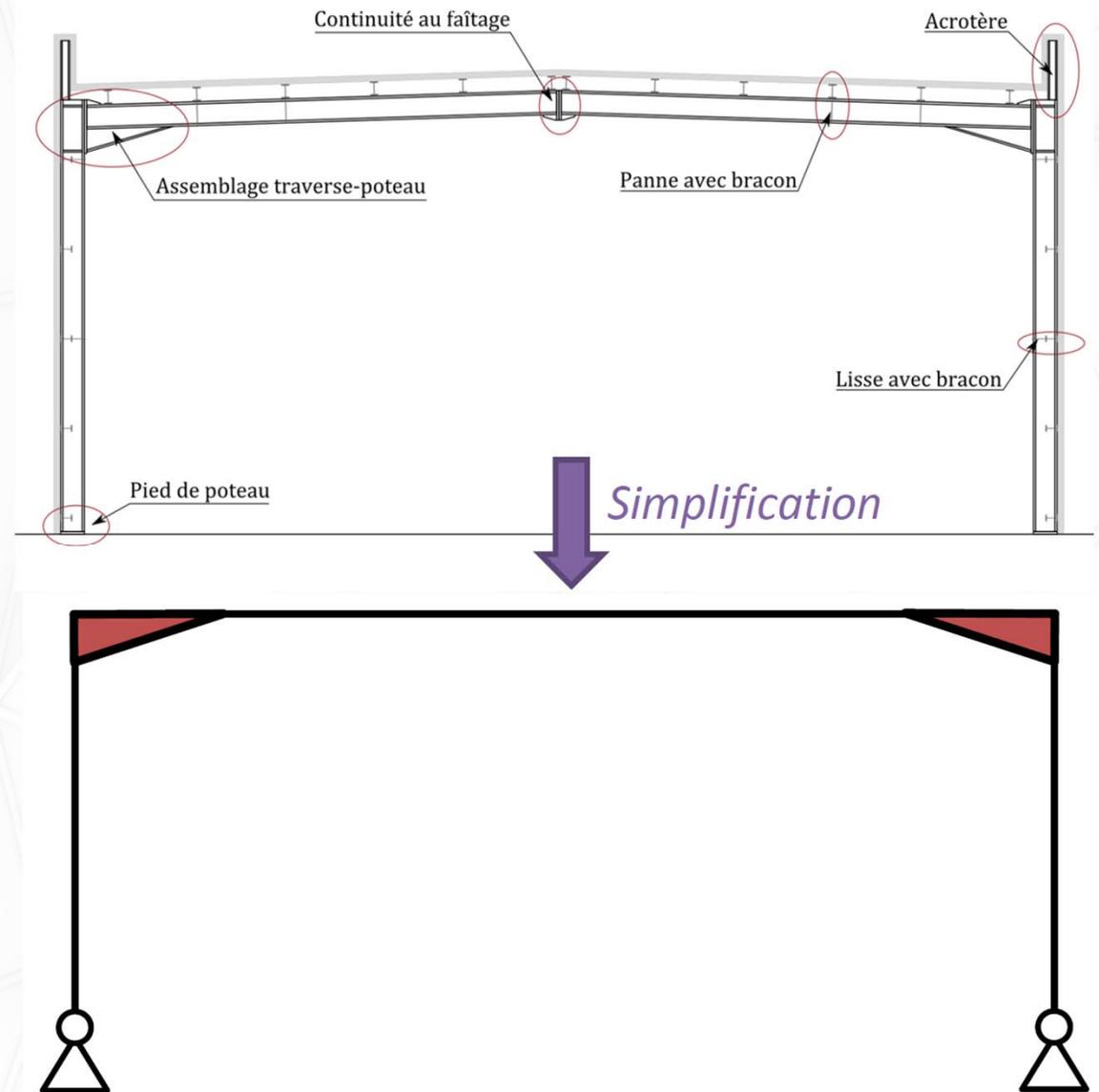
Être capable de :

- Concevoir un portique courant
- Retrouver les efforts caractéristiques d'un portique
- Pré-dimensionner un portique courant

# DEFINITION - RAPPEL D'UN PORTIQUE COURANT

## □ Portiques courants :

- Pied de poteau « articulé »
- Traverse « encastrée » sur le poteau
- Brisure / pente de la traverse peu prononcée



# DEFINITION - RAPPEL D'UN PORTIQUE COURANT

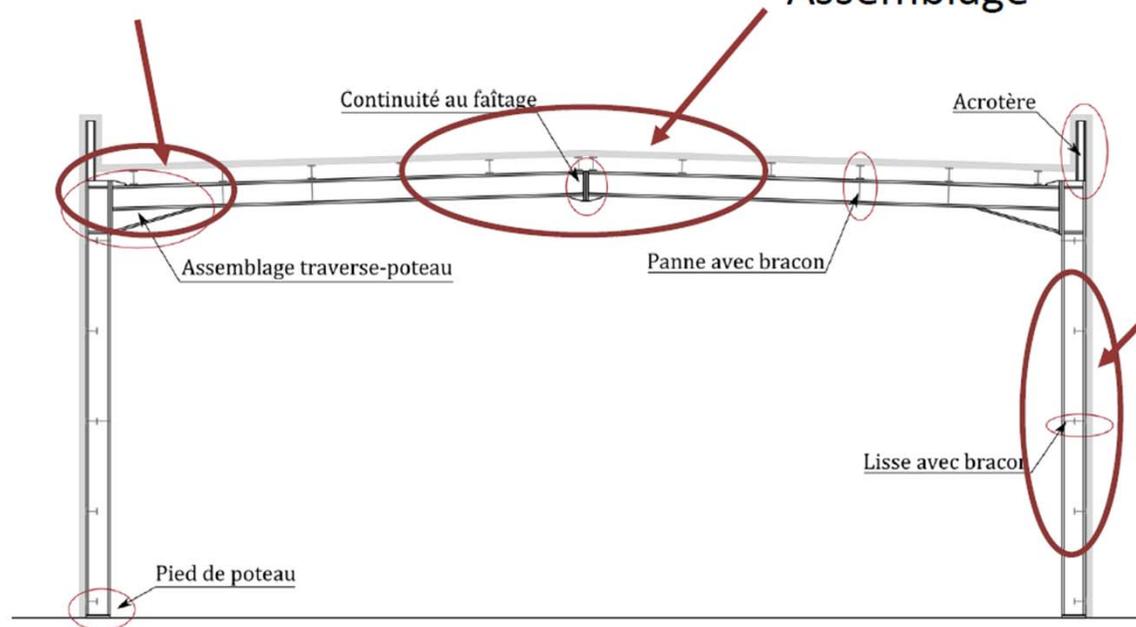
## □ Zones importantes pour le pré-dimensionnement d'un portique :

### Nœud poutre-poteau :

Résistance (y compris assemblage)  
Flèche horizontale en tête de poteau

### Barre fléchie :

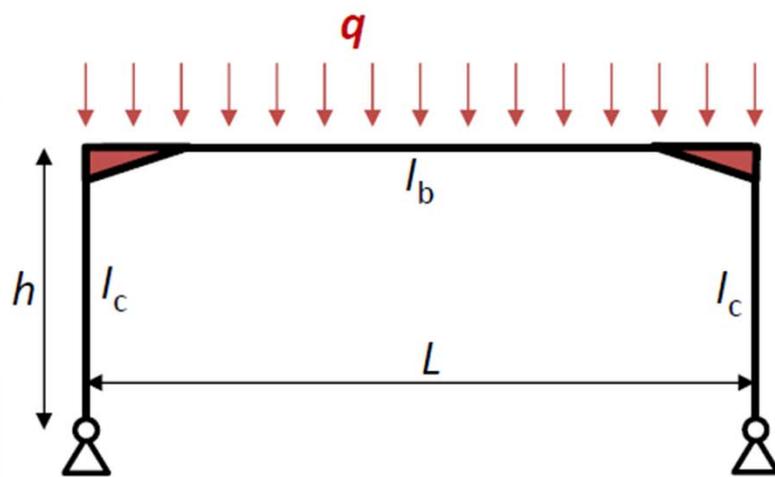
Résistance (avec déversement)  
Flèche de la traverse  
Assemblage



### Barre fléchie et comprimée :

Résistance (avec déversement)

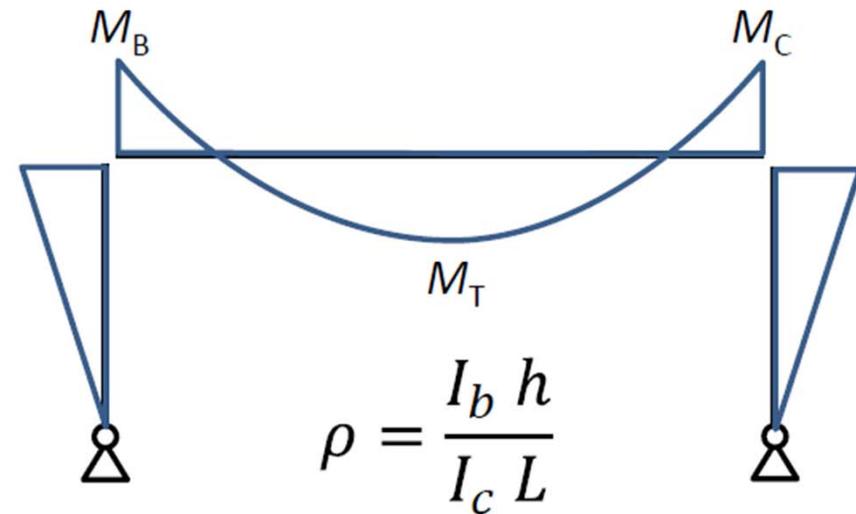
## Formulaire pour un portique simple :



Moments de flexion

$$M_B = M_C = \frac{q L^2}{12 + 8 \rho}$$

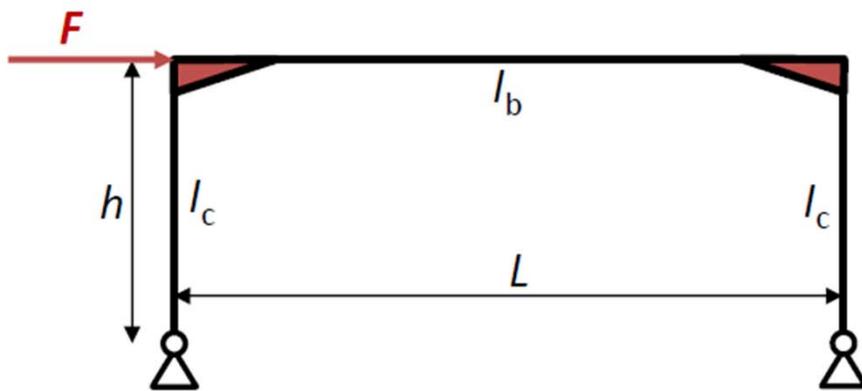
$$M_T = \frac{q L^2}{8} \times \frac{2 \rho + 1}{2 \rho + 3}$$



Flèche verticale de la traverse

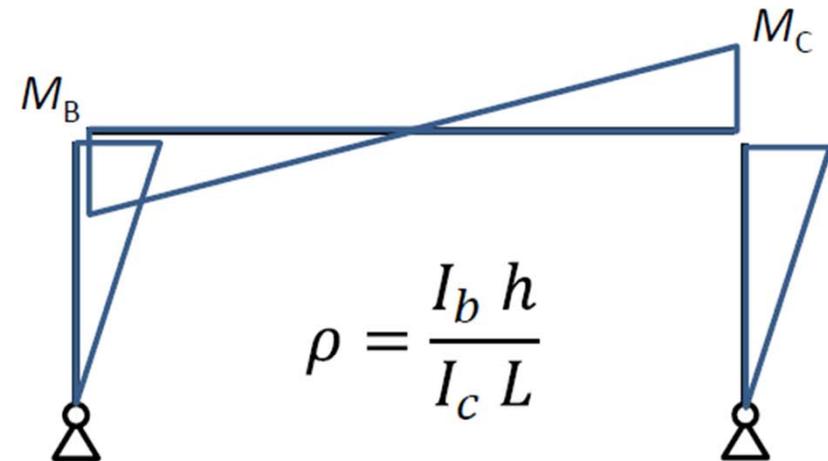
$$f_v = \frac{q L^4}{384 E I_b} \times \left[ 5 - \frac{4}{1 + \frac{2 \rho}{3}} \right]$$

## □ Formulaire pour un portique simple :



Moment de flexion au nœud  
poutre/poteau

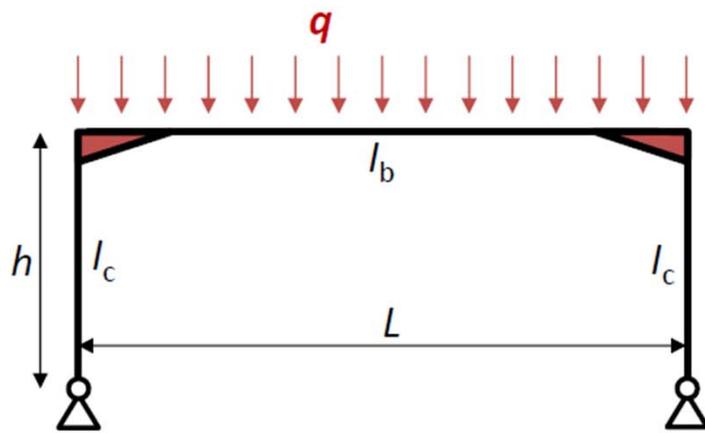
$$M_B = -M_C = \frac{F h}{2}$$



Flèche horizontale en tête de poteau

$$f_h = \frac{F h^3}{12 E I_c} \times \frac{1 + 2 \rho}{\rho}$$

□ En première approche :



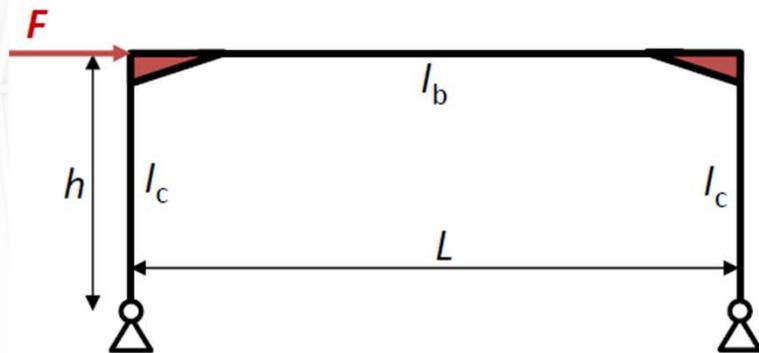
$\rho \approx 0,5$

↓

$$M_B = M_C \approx \frac{q L^2}{16} \quad M_T \approx \frac{q L^2}{16}$$

$$f_v \approx \frac{q L^4}{192 E I_b}$$

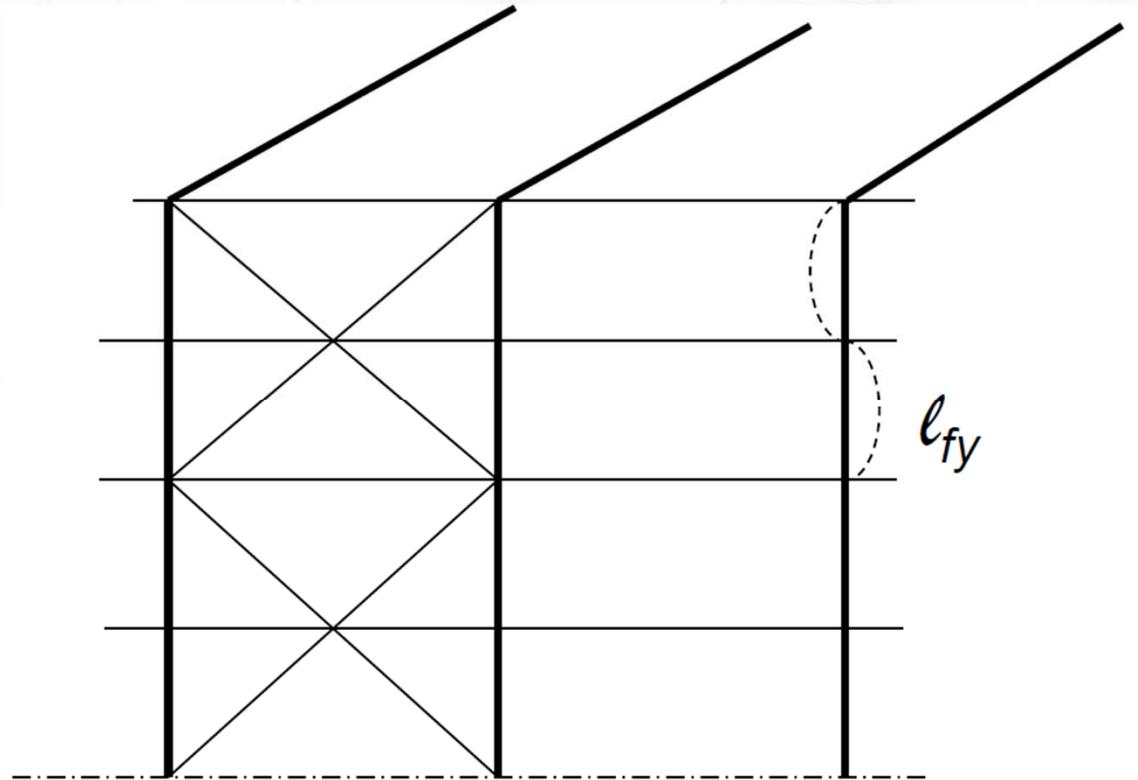

---



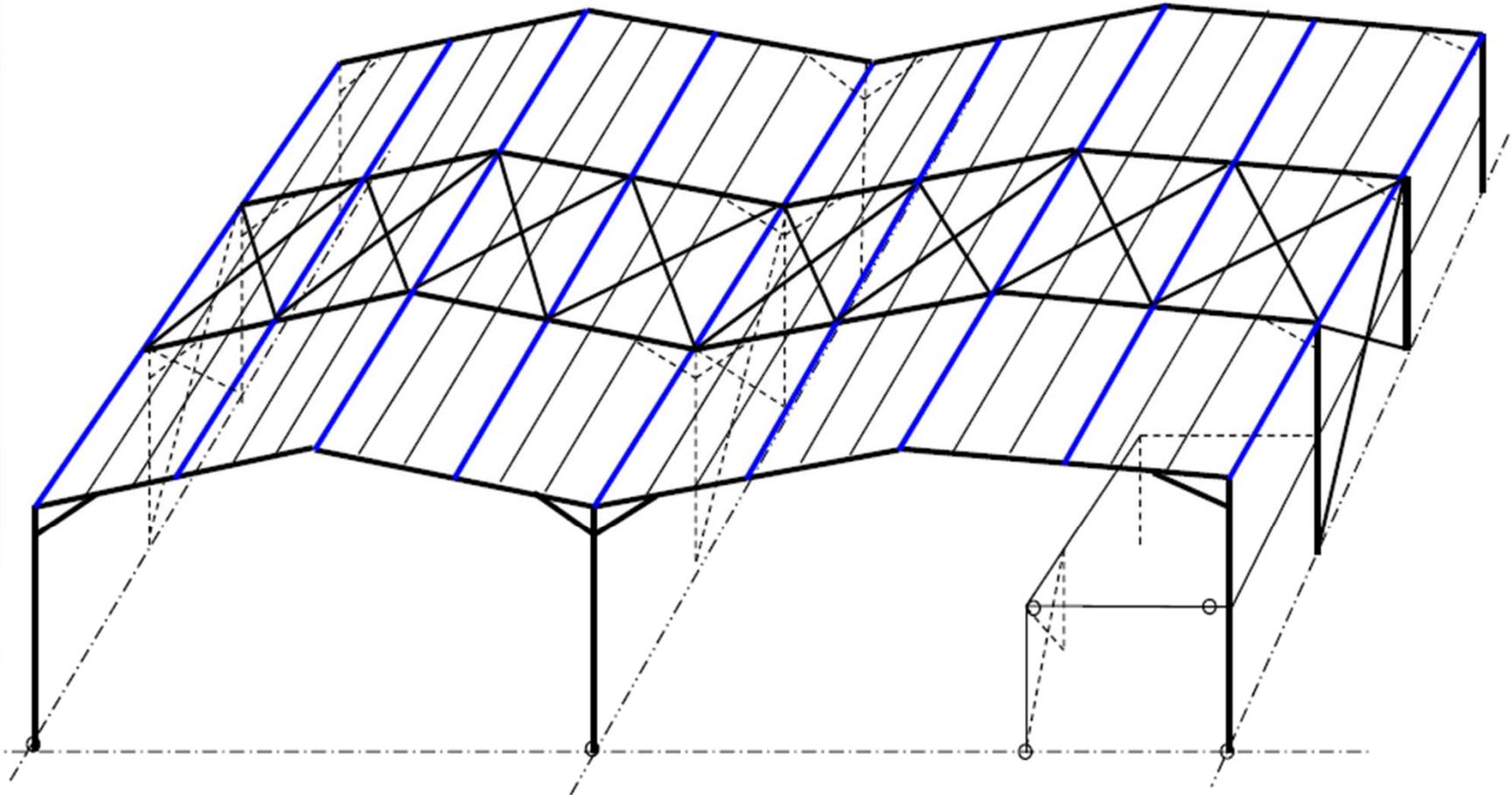
$$M_B = -M_C = \frac{F h}{2} \quad f_h \approx \frac{F h^3}{3 E I_c}$$

## □ Dans le plan perpendiculaire au portique :

- Flambement et déversement des poteaux : fonction des éléments secondaires bloqués sur un point fixe (lisses de bardage bloquées ou butons reliés sur palée de stabilité)
- Ne pas tenir compte des lisses intermédiaires non bloquées !



- Pannes de blocage anti-flambement hors plan de la traverse :



- Dispositions constructives pour éviter le déversement de la traverse :

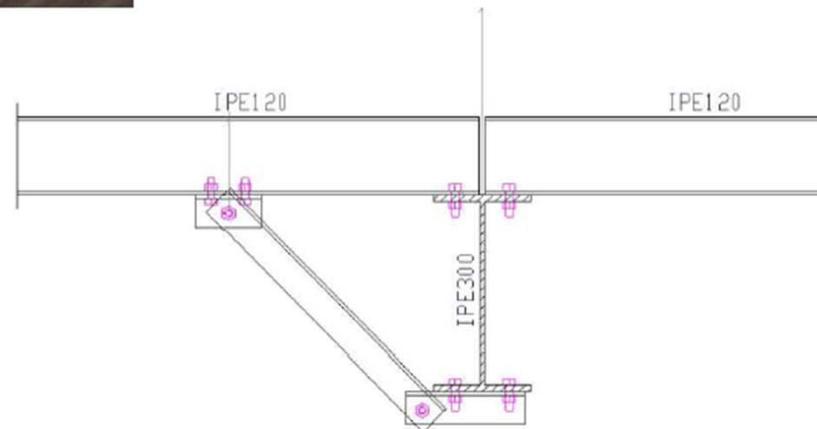


Maintien de la semelle supérieure par la panne

Bracon

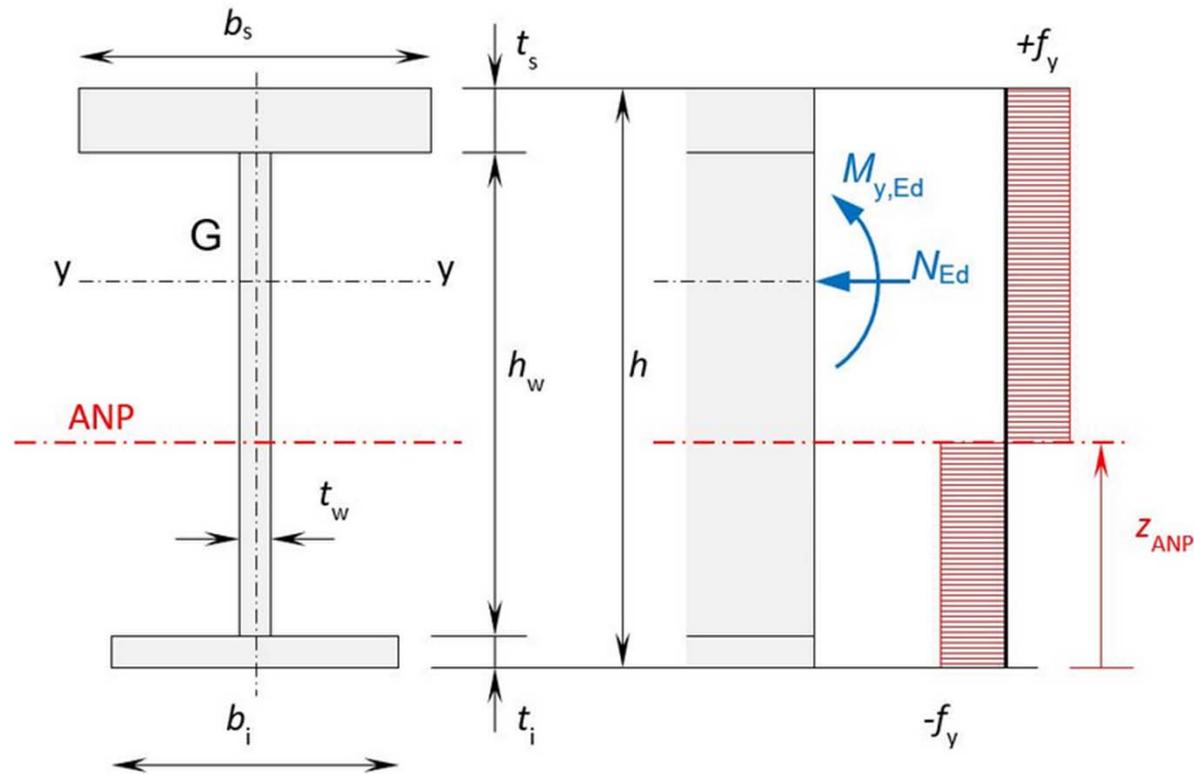
Maintien de la semelle inférieure dans le cas de compression (moment négatif)

Poutres sous toiture : Maintiens ponctuels par pannes et bracons



## □ Rappel de la flexion composée :

La flexion composée est une sollicitation combinée entre une flexion (moment fléchissant) et une charge de compression ( $N$ ) qui se trouvent au même temps dans la même section.



### □ Condition de résistance pour la flexion composée :

- Selon l'Eurocode 3 :

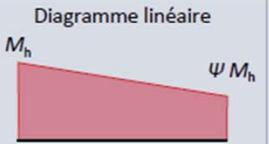
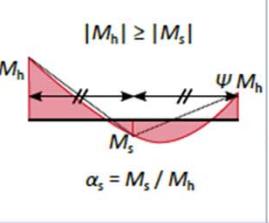
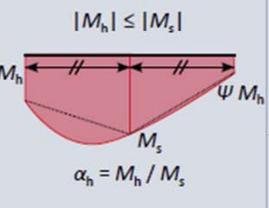
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

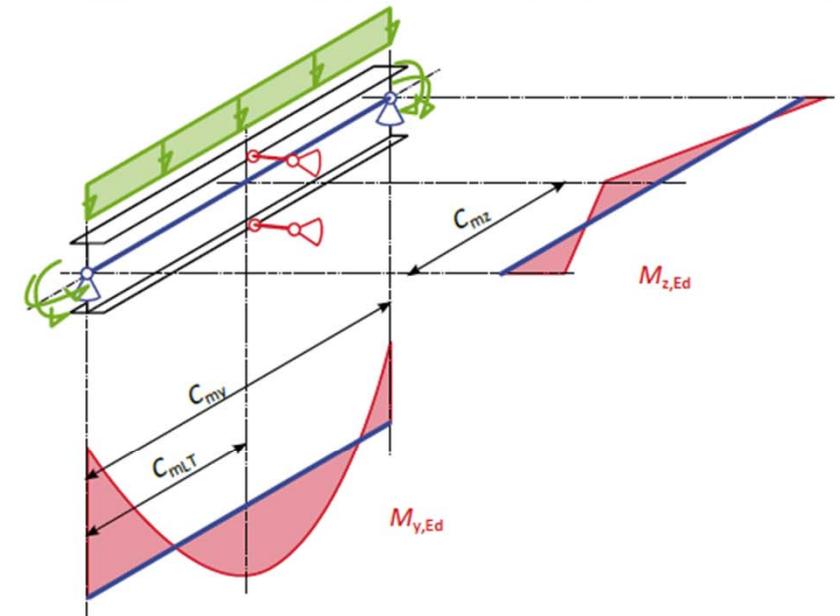
## □ Coefficients d'interactions :

	Propriétés plastiques (Classe 1 ou 2)	Propriétés élastiques (Classe 3 ou 4)	
$k_{yy}$	$\bar{\lambda}_y \leq 1,0$	$C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right]$	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right)$
	$\bar{\lambda}_y > 1,0$	$C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right)$
$k_{yz}$	$0,6 k_{zz}$		$k_{zz}$
$k_{zy}$	$\bar{\lambda}_z \leq 0,4$	$\min \left\{ 0,6 + \bar{\lambda}_z ; 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right\}$	$1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}}$
	$0,4 < \bar{\lambda}_z \leq 1,0$	$1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}}$	$1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}}$
	$\bar{\lambda}_z > 1,0$	$1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}}$	$1 - \frac{0,05}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}}$
$k_{zz}$	$\bar{\lambda}_z \leq 1,0$	$C_{mz} \left[ 1 + (2 \bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right)$
	$\bar{\lambda}_z > 1,0$	$C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right)$

## Facteurs de moment uniforme :

Diagramme de moment	Limites		Coefficients $C_{my}$ , $C_{mz}$ et $C_{mLT}$	
			Chargement uniforme	Chargement concentré
Diagramme linéaire 	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi (\geq 0,4)$	
$ M_h  \geq  M_s $  $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s (\geq 0,4)$	$-0,8 \alpha_s (\geq 0,4)$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8 \alpha_s (\geq 0,4)$	$-0,2 \psi - 0,8 \alpha_s (\geq 0,4)$
$ M_h  \leq  M_s $  $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \alpha_h (1 + 2 \psi)$	$0,90 + 0,10 \alpha_h (1 + 2 \psi)$

*Il convient de retenir  $C_{my} = 0,9$  ou  $C_{mz} = 0,9$  si dans cette direction la barre considérée présente un mode d'instabilité à nœuds déplaçables*



### □ Coefficients d'interactions :

- Ils dépendent de paramètres déterminés à l'occasion de la vérification vis-à-vis du flambement simple et d'un facteur de moment uniforme équivalent.
- Les valeurs enveloppes suivantes peuvent être retenues pour les facteurs d'interaction  $k_{ij}$  :

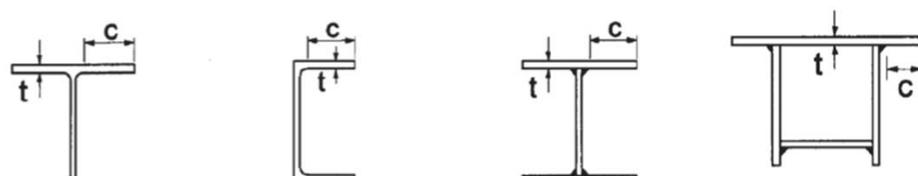
$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \right] \qquad k_{yz} = C_{mz} \left[ 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$$
$$k_{zy} = 1,0 \qquad k_{zz} = C_{mz} \left[ 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \right]$$

- Il est sécuritaire de considérer que  $C_{my}$  et  $C_{mz}$  sont tous les deux égaux à 1

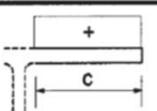
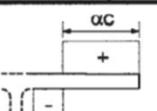
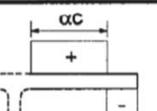
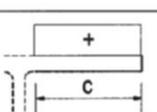
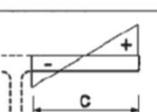
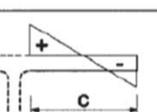
# PREDIMENSIONNEMENT - CLASSE DE SECTION

## Classes de sections :

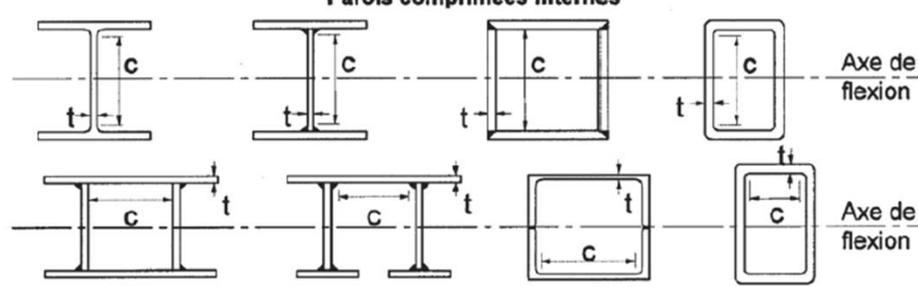
**Semelles en console**



Sections laminées                      Sections soudées

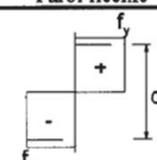
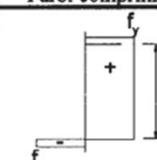
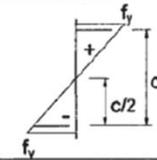
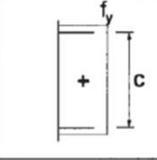
Classe	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée				
		Extrémité comprimée	Extrémité tendue			
						
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$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

**Parois comprimées internes**



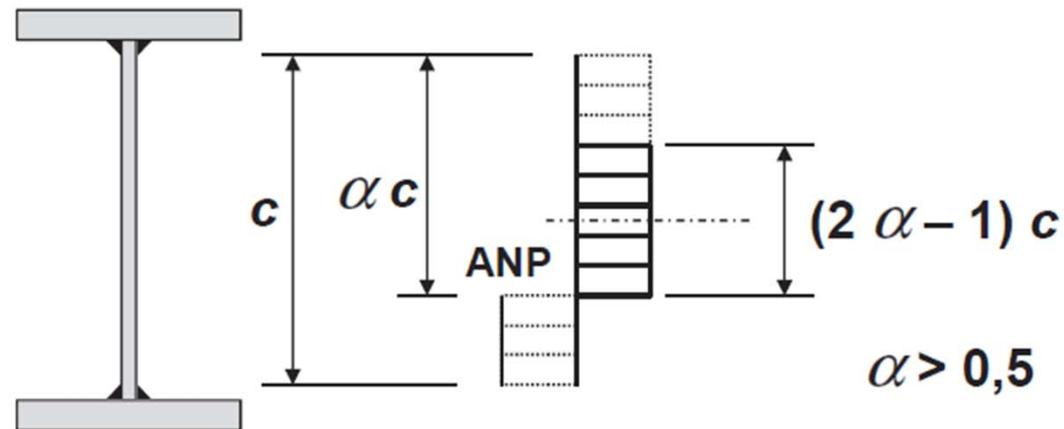
Axe de flexion

Axe de flexion

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

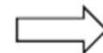
## □ Classe d'une âme en flexion composée :

- Effort axial  $N_{Ed}$  supposé connu (compression)
- On considère l'Etat Limite Ultime de l'âme



$$N_{Ed} = (2\alpha - 1) c t_w f_y$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{N_{pl.w}}$



$$\alpha = 0,5 (1 + N_{Ed} / N_{pl.w})$$

### □ Classe d'une âme en flexion composée :

- Condition d'appartenance à la Classe 1

$$\frac{c}{t_w} \leq \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1}$$

- On en déduit ...

**Classe 1 si...**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl.w}} \leq \frac{2}{13} \left( \frac{396 \varepsilon}{c/t_w} + 1 \right) - 1$$

## □ Classe d'une âme en flexion composée :

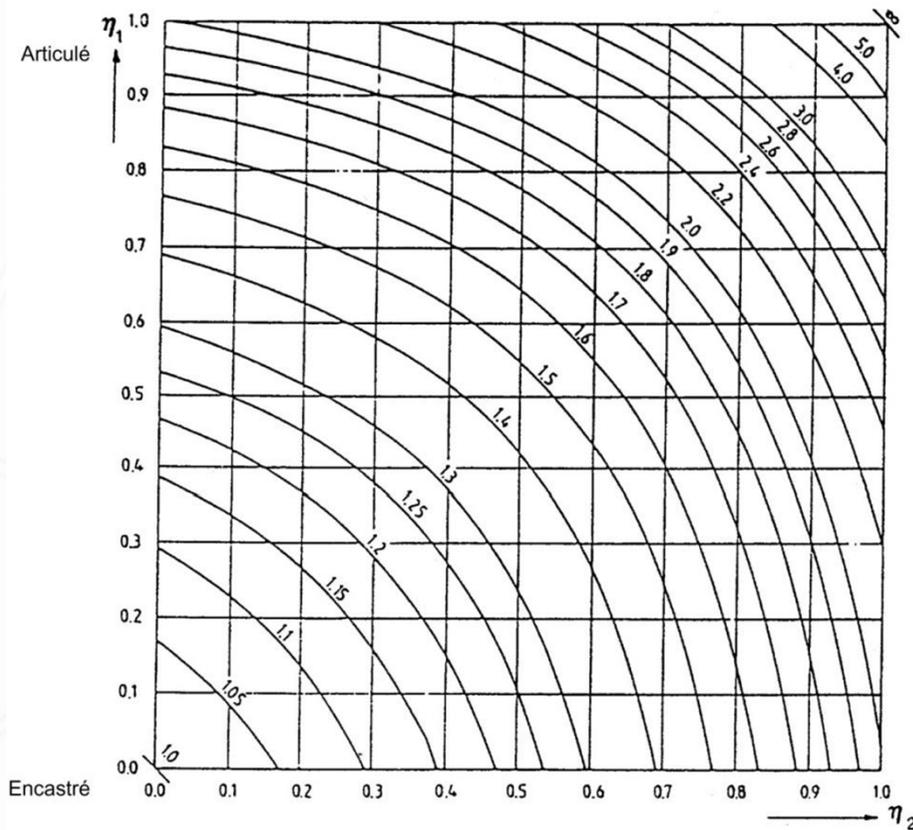
- Voir tableau ci-dessous :

<b>COMPRESSION</b>	<b>Classe 1</b>	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,w}} \leq \frac{2}{13} \left( \frac{396 \varepsilon}{c/t_w} + 1 \right) - 1$
	<b>Classe 2</b>	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,w}} \leq \frac{2}{13} \left( \frac{456 \varepsilon}{c/t_w} + 1 \right) - 1$
	<b>Classe 3</b>	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \leq \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{1}{0,33} \left( \frac{42 \varepsilon}{c/t_w} - 0,67 \right) \right]$
<b>TRACTION</b>	<b>Classe 1</b>	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,w}} \geq 1 - \frac{72 \varepsilon}{c/t_w}$
	<b>Classe 2</b>	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,w}} \geq 1 - \frac{83 \varepsilon}{c/t_w}$
	<b>Classe 3</b>	$\frac{c}{t_w} \leq 124 \varepsilon \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right) \sqrt{1 - \frac{2 N_{Ed}}{N_{pl}}}$

# PREDIMENSIONNEMENT - LONGUEUR DE FLAMBEMENT POTEAU

Les longueurs de flambement sont calculées réglementairement avec l'annexe E de l'Eurocode :

Pour les structures à nœuds déplaçables  $L_{cr} > L$



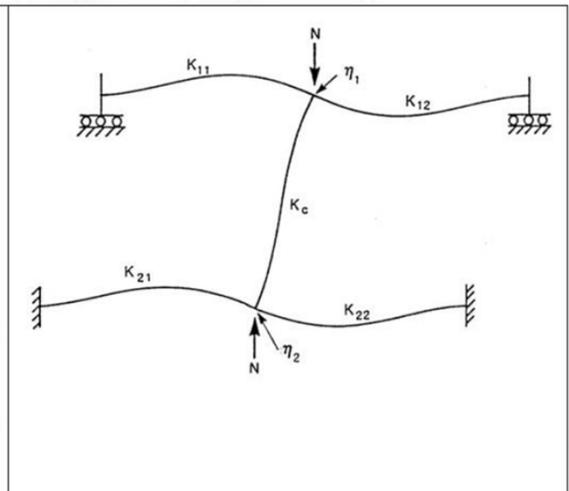
$$\frac{L_{cr}}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0.2(\eta_1 + \eta_2) - 0.12\eta_1\eta_2}{1 - 0.8(\eta_1 + \eta_2) + 0.6\eta_1\eta_2}}$$

$$\eta_1 = \frac{K_C}{K_C + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_C}{K_C + K_{21} + K_{22}}$$

$K_C$  est le coefficient de rigidité ( $I/L$ ) du poteau

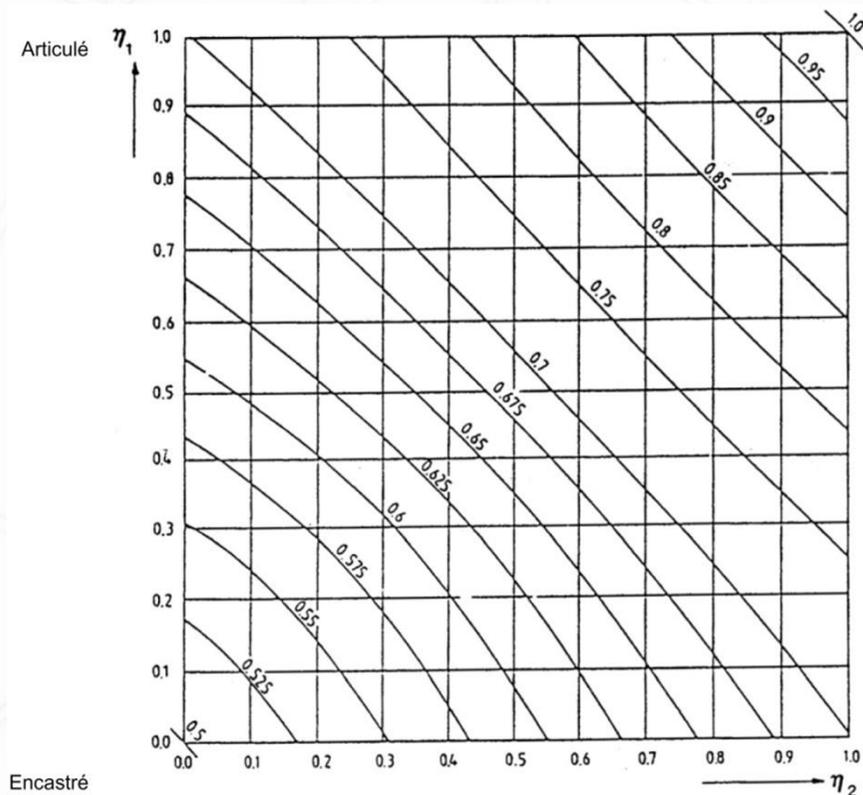
$K_{ij}$  est le coefficient de rigidité effective de la poutre  $ij$



# PREDIMENSIONNEMENT - LONGUEUR DE FLAMBEMENT POTEAU

Les longueurs de flambement sont calculées réglementairement avec l'annexe E de l'Eurocode :

Pour les structures à nœuds fixes  $L_{cr} < L$



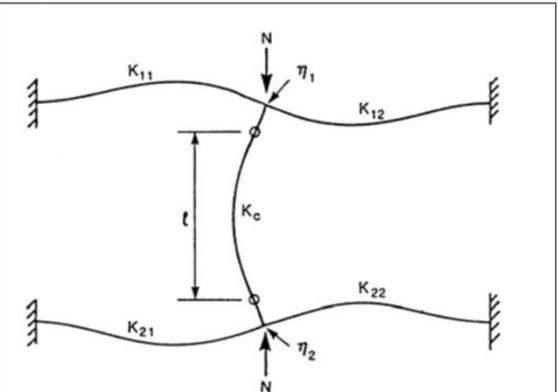
$$\frac{L_{cr}}{L} = 0.5 + 0.14(\eta_1 + \eta_2) + 0.055(\eta_1 + \eta_2)^2$$

$$\eta_1 = \frac{K_C}{K_C + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_C}{K_C + K_{21} + K_{22}}$$

$K_C$  est le coefficient de rigidité ( $I/L$ ) du poteau

$K_{ij}$  est le coefficient de rigidité effective de la poutre  $ij$



## □ Pour les traverses :

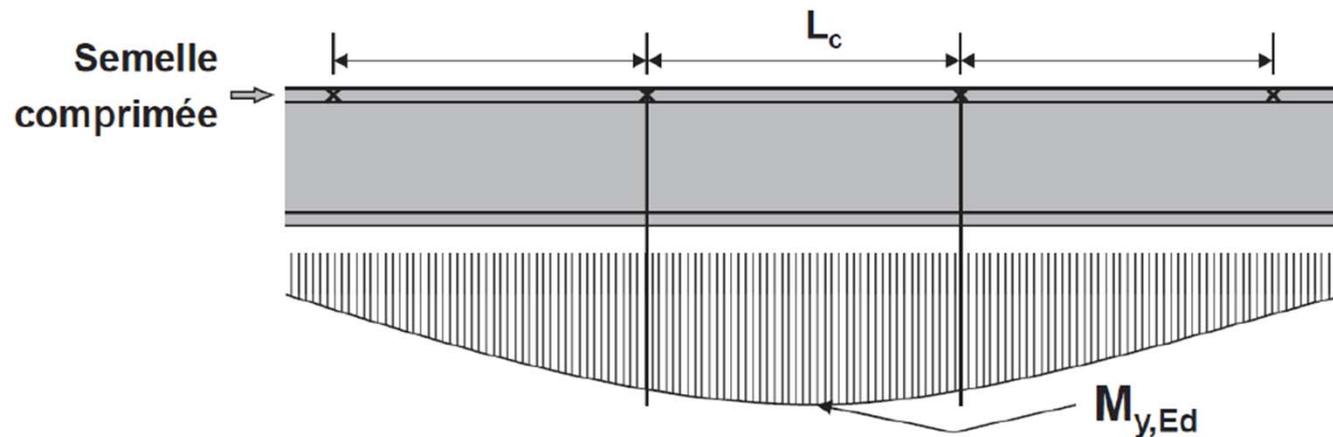
Utiliser la méthode simplifiée pour les poutres avec maintiens latéraux dans les bâtiments > *Voir le cours des poutres métalliques*

### Résistance au flambement latéral de la semelle comprimée

Condition :

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

EN 1993-1-1 § 6.3.2.4



Condition d'application : pas de charge entre les maintiens avec effet déstabilisant

### □ Pour les poteaux :

Calcul du moment critique de déversement en prenant en compte la forme du moment de flexion, c'est-à-dire :



En alternative, la formule approchée suivante peut être utilisée pour les sections en  $I$ , à partir de la hauteur  $h$ , la largeur  $b$  et l'épaisseur  $t_f$  des semelles :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L_{LT}^2} \left[ \sqrt{\frac{(h - t_f)^2}{4} + 0,156 \left( L_{LT} \frac{t_f}{b} \right)^2 + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right]$$

Cette expression enveloppe donne de meilleurs résultats pour les barres présentant des longueurs de déversement relativement faibles (inférieure à environ 10 fois la hauteur du profil).

Pour une barre sollicitée uniquement par des moments d'extrémité on considère que  $C_2 = 0$  et  $C_1$  s'obtient suivant la formule ci-dessous :

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{0,325 + 0,423 \psi + 0,252 \psi^2}}$$

# PREDIMENSIONNEMENT - MOMENT CRITIQUE DE DEVERSEMENT

## □ Pour les poteaux :

Calcul du moment critique de déversement en prenant en compte la forme du moment de flexion, c'est-à-dire :

où  $-1 \leq \psi \leq 1$  le rapport entre les moments d'extrémités  $|M_{Min}| / |M_{Max}|$ , en comptant  $\psi$  positif lorsque les deux moments d'extrémité sont de même signes et négatif lorsqu'ils sont de signes différents. Cette expression peut également être utilisée pour un tronçon de barre entre deux maintiens, lorsque le moment de flexion varie linéairement d'une extrémité à l'autre de ce tronçon.

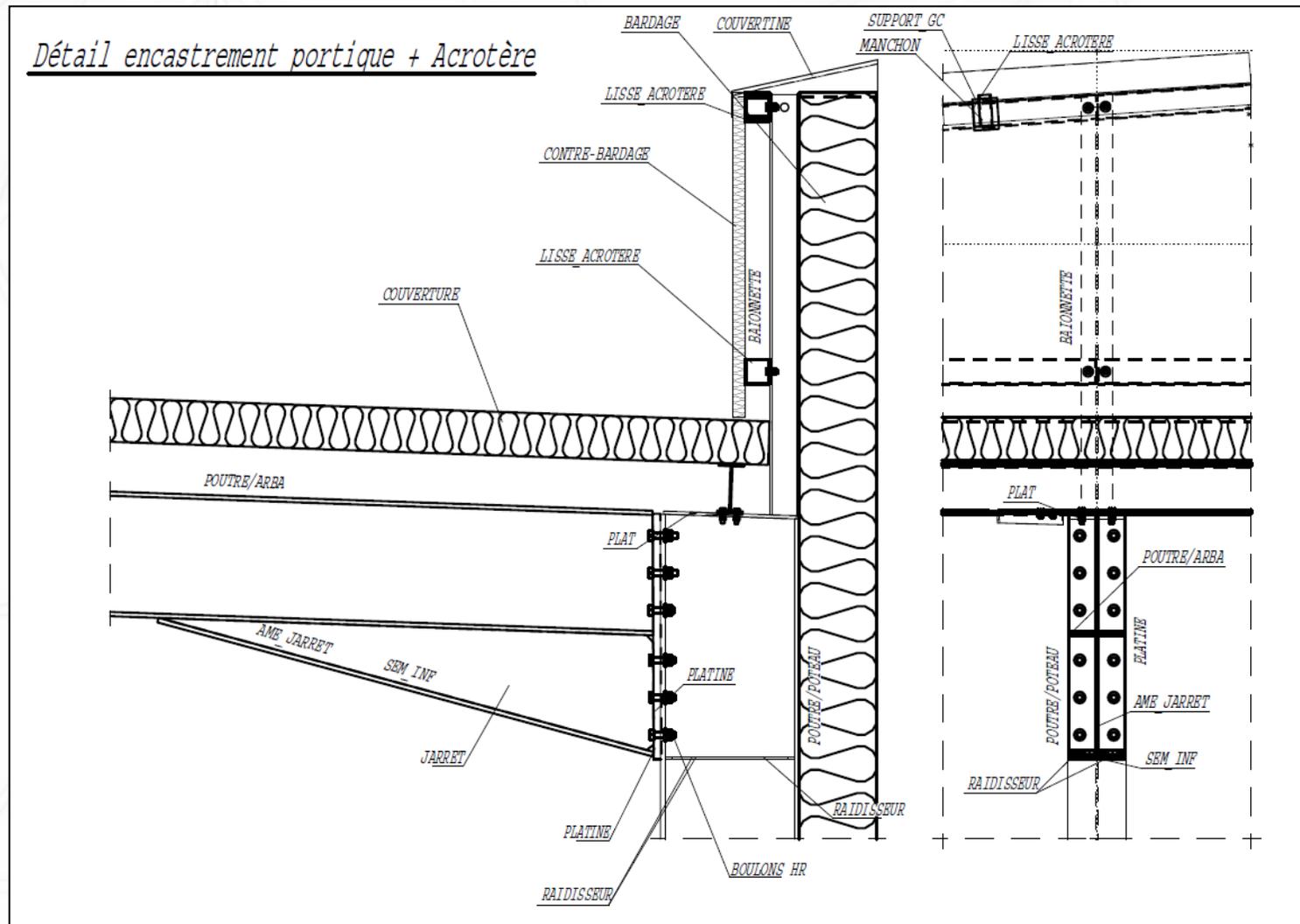
Pour d'autres configurations de poutres fléchies,  $C_1$  et  $C_2$  peuvent être déterminés à l'aide de l'Annexe E du présent document ou de l'Annexe M de la NF EN 1993-1-1/NA.

Coefficients $C_1$			
			
$\psi$	$k = 1$	$k = 0,7$	$k = 0,5$
+1,00	1,000	1,000	1,000
+0,75	1,141	1,270	1,305
+0,50	1,323	1,473	1,514
+0,25	1,563	1,739	1,788
0	1,879	2,092	2,150
-0,25	2,281	2,538	2,609
-0,50	2,704	3,009	3,093
-0,75	2,927	3,258	3,348
-1,00	2,752	3,063	3,149

# PREDIMENSIONNEMENT - STABILITE DES PORTIQUES

## □ Dispositions constructives pour conception du jarret en tête de poteau :

- Hauteur jarret = 1 x hauteur de la traverse
- Longueur jarret = 0,1 x portée de la traverse



## □ Prédimensionnement du jarret :

- Prendre la section transversale au droit de l'assemblage poteau-poutre
- Calculer l'inertie et le module de flexion (prendre une section simplifiée en I de classe 3 max)
- Vérifier la résistance du jarret par la formule de condition de résistance suivante :

- pour les sections transversales de Classe 1 ou 2 :

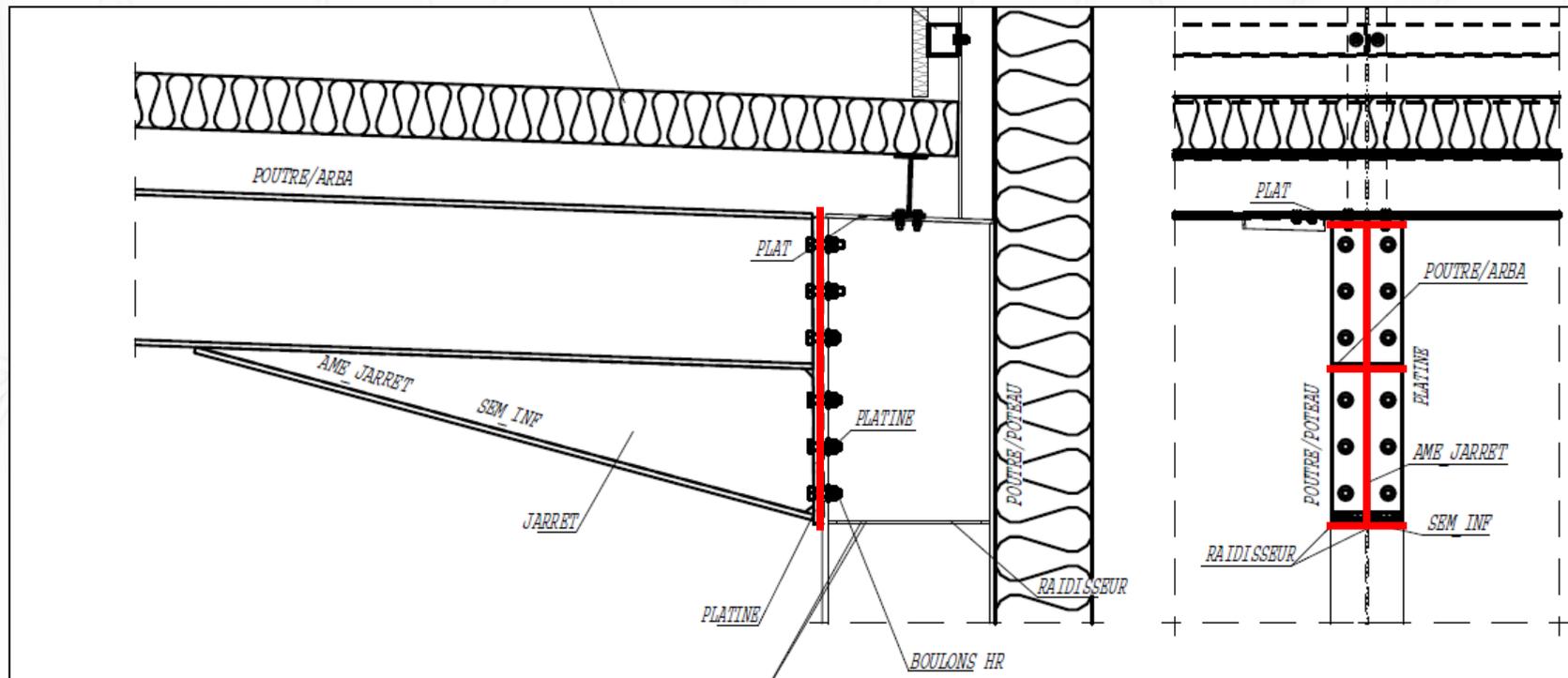
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

- pour les sections transversales de Classe 3 :

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

- pour les sections transversales de Classe 4 :

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



### □ Exemple de dimensionnement d'un portique :

- Hauteur du poteau : 6m (sans acrotères)
- Portée de la traverse : 16m
- Entraxe portique : 4m
  
- Charges permanentes :
  - Couverture : 25 kg/m<sup>2</sup>
  - Pannes : 10 kg/m<sup>2</sup>
  - Divers : 5 kg/m<sup>2</sup>
  
- Neige :
  - Charge de neige uniforme (sans accumulation) : 36 kg/m<sup>2</sup>
  
- Vent :
  - Vent descendant : 20 kg/m<sup>2</sup>
  - Vent contre la façade du bâtiment : 65 kg/m<sup>2</sup>

# PREDIMENSIONNEMENT - EXEMPLE

