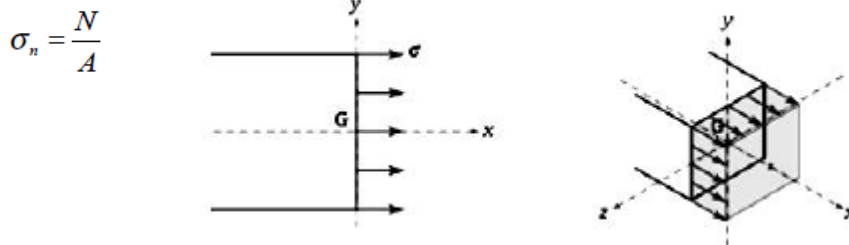


## IV Sollicitations des éléments de la construction en acier

### IV-1 Eléments tendus ou comprimés

Lorsqu'un élément de construction rectiligne est sollicité par un effort de traction  $N$  dirigé suivant son axe, sa section transversale est soumise uniformément à une contrainte normale de traction :



Distribution des contraintes normales dans une section transversale

Dans le cas d'un assemblage boulonné ou riveté, il faut vérifier que :

$$\sigma_n = \frac{N}{A_n}$$

$A_n$  : section nette au droit des boulons

Sous l'action de cet effort de traction, l'élément s'allonge d'une valeur  $\delta$  :

$$\frac{\delta}{l} = \frac{\sigma_n}{E} = \frac{N}{EA}$$

$E$  : Module de Young

$l$  : longueur de la barre

Il faut s'assurer que :  $\delta \leq \delta_{ad}$

$\delta_{ad}$  Valeur du déplacement maximal fixé par le cahier des charges

### IV-2 Eléments fléchis :

#### a. Flexion simple

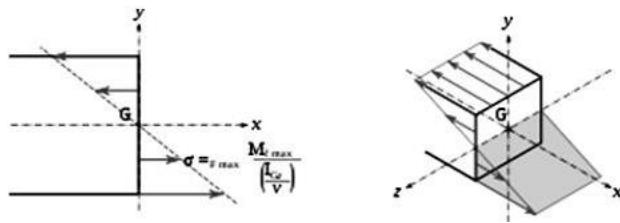
Une poutrelle laminée est soumise à une flexion lorsque dans une section quelconque A d'axe  $yy'$  et  $zz'$  se développent :

- Un moment fléchissant  $M$  exprimé en daN.m.
- Un effort tranchant  $T$  exprime en daN

Le moment fléchissant  $M$  engendre une contrainte normale :  $\sigma_f = \frac{M}{I/v}$

$I/v$  : Module d'inertie de de la section.

La répartition des  $\sigma_f$  est triangulaire (Fig), la moitié de la section  $A$  est tendue. L'autre est comprimée et présente de ce fait un risque d'instabilité élastique.



Distribution des contraintes de flexion dans une section transversale

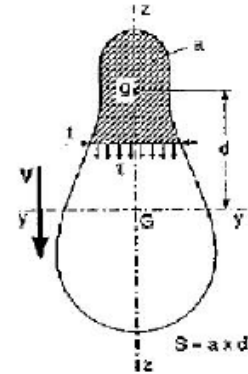
L'effort tranchant V engendré une contrainte tangente  $\tau$

$$\tau = \frac{V.S}{t.I}$$

I : Moment d'inertie de la section transversale autour de l'axe principale perpendiculaire à l'effort tranchant.

S : Moment statique par rapport à ce même axe de la section hachurée.

t : La largeur de la section au niveau du point considéré.



Distribution des contraintes de cisaillement dans une section transversale

La flèche maxi engendrée par les déformations est :

$$\delta_{maxi} \leq \delta_{ad}$$

$\delta_{ad}$ : Valeur du déplacement maximal fixé par le cahier des charges

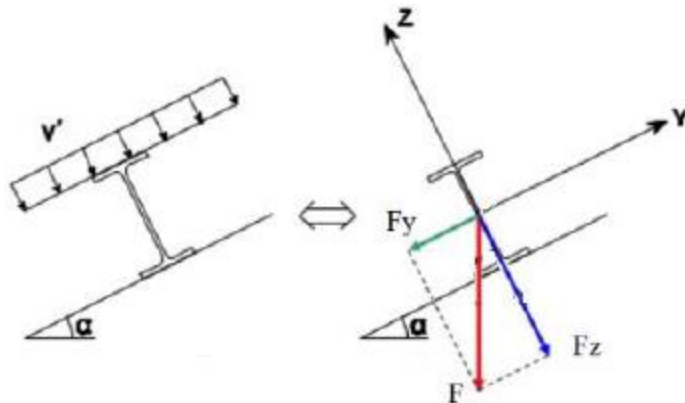
La condition de déformation s'exprime par un facteur  $K = 1/200, 1/300, 1/500 \dots$  et est fonction de la portée L de la poutre  $\delta_{maxi} \leq K.L$

### Conditions de flèches (Exemples) :

- Plancher : 1/300
- Couverture : 1/200
- La flèche due aux seules surcharges rapidement variables ne doit pas dépasser 1/500
- Conditions de déplacement poteaux : 1/150 de la hauteur
- En cas de poutre consoles la flèche maximum est égale au double de la flèche autorisée pour une poutre sur deux appuis.

### b) Flexion déviée :

On a de la flexion déviée lorsque la poutre est fléchie suivant deux plans de symétrie



Exemple de flexion déviée dans poutre de section I

**Critère de résistance des sections :**

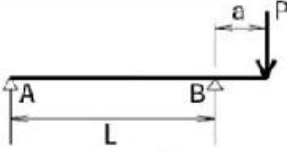
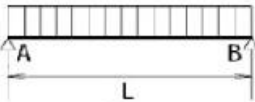
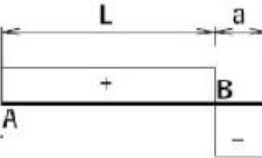
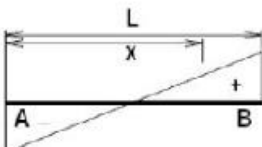
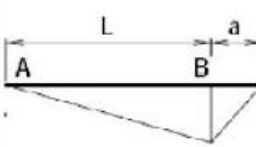
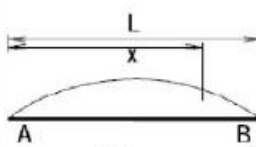
$$\sigma_{fy} + \sigma_{fz} = \frac{M_y}{I_y / v_y} + \frac{M_z}{I_z / v_z} \leq \sigma_e$$

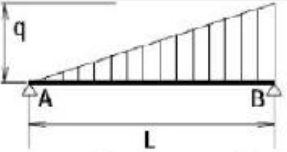
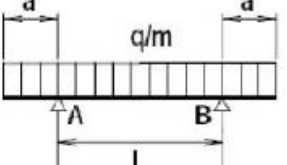
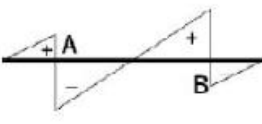
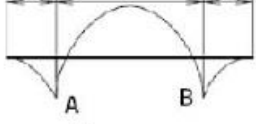
### c) Flexion composée :

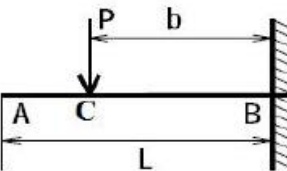
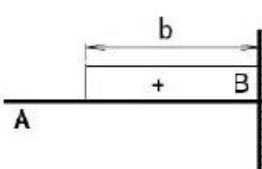
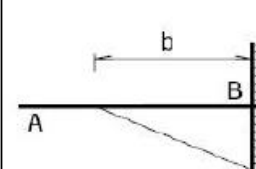
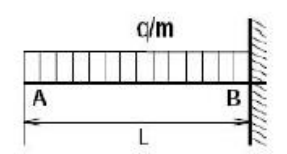
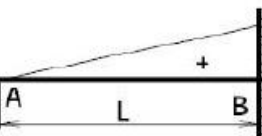
Dans le cas où un élément sollicité par un effort normal est des moments de flexion, le critère de vérification des sections est :

$$\sigma + \sigma_{fy} + \sigma_{fz} \leq \sigma_e$$

|                                                                                                                                     | Effort tranchant                                                                         | Moment de flexion                                                                 | Observations                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p> <math>R_A = \frac{P \cdot b}{L}</math>   <math>R_B = \frac{P \cdot a}{L}</math><br/>           Charge concentrée P         </p> | <p> <math>V_{AC} = -R_A</math>   <math>V_{CB} = R_B</math> </p>                          | <p> <math>M_0 = \frac{P \cdot a \cdot b}{L}</math> pour <math>x_0 = a</math> </p> | La flèche est maximale<br>pour $x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$<br>$f = -\frac{Fb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$<br>$\theta_A = \frac{F \cdot a \cdot b \cdot (L + b)}{EIL}$<br>$\theta_B = \frac{F \cdot a \cdot b \cdot (L + a)}{EIL}$ |
| <p> <math>R_A = P</math>   <math>R_B = P</math><br/>           Charges concentrées sur porte-à-faux         </p>                    | <p> <math>V_{gA} = P</math>   <math>V_{dB} = -P</math><br/> <math>V_{AB} = 0</math> </p> | <p> <math>M_0 = -P \cdot a</math> </p>                                            | Moment constant de A à B.                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $R_A = -\frac{P.a}{L}$ $R_B = \frac{P.(L+a)}{L}$ <p>Charge concentrée sur un porte-à-faux</p>  $R_A = \frac{qL}{2} \quad R_A = R_B$ <p>Charge uniformément répartie</p> |  $V_{AB} = -R_A \quad V_{dB} = P$  $V_A = -\frac{qL}{2} \quad V_B = +\frac{qL}{2}$ $V(x) = \frac{q.L^2}{2} - q.x$ |  $M_0 = M_B = -P.a$  $M_0 = \frac{q.L^2}{8} \text{ pour } x_0 = \frac{L}{2}$ $M(x) = \frac{q.x}{2}(L-x)$ | <p>Sens des actions aux appuis :</p> <p><math>R_A</math> : vers le bas.</p> <p><math>R_B</math> : vers le haut.</p> <p>Flèche</p> $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI}$ <p>pour <math>x = \frac{L}{2}</math></p> $-\theta_A = \theta_B = \frac{q.L^3}{24EI}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

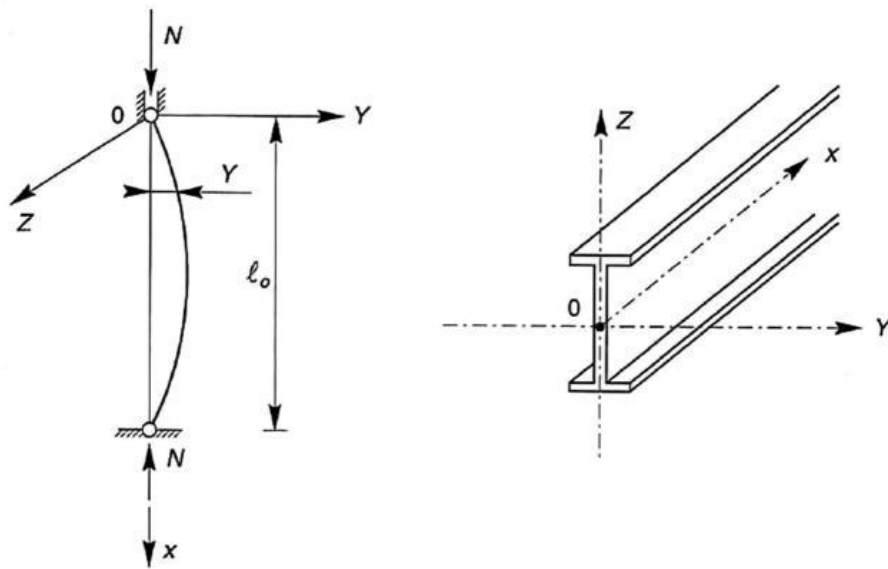
|                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $R_A = \frac{qL}{6} \quad R_B = \frac{qL}{3}$ <p>Charge à répartition variable</p> |  $V_A = -R_A \quad V_B = R_B$ $V_0 = 0 \text{ pour } x = \frac{L}{\sqrt{3}}$             |  $M(x) = \frac{qLx}{6} \left[ 1 - \frac{x^2}{L^2} \right]$ $M_0 = \frac{qL^2}{9\sqrt{3}} \text{ pour } x_0 = \frac{L}{\sqrt{3}}$ | <p>Avec <math>P = \frac{qL}{2}</math></p> $R_A = \frac{P}{3} \quad R_B = \frac{2}{3}P$ $M_0 = \frac{2PL}{9\sqrt{3}}$ |
|  $R_A = q \frac{(L+2a)}{2} \quad R_A = R_B$ <p>Charges uniformément réparties</p>  |  $V_{eA} = qA \quad V_{dA} = -\frac{qL}{2}$ $V_{dB} = \frac{qL}{2} \quad V_{dB} = -qA$ |  $M_0 = \frac{q}{8}(L^2 - 4a^2) \text{ à mi-portée.}$ $M_A = M_B = -q \frac{a^2}{2}$                                           |                                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $R_B = P.b \quad M_B = -P.b$ <p>Charge concentrée</p>                       |  $V_A = 0 \quad V_{CB} = P$ |  $M_B = -P.b$                                      | <p>Flèche en A :</p> $f = \frac{P.b^2}{6EI}(3L-b)$ <p>Flèche en C : <math>f = \frac{P.b^3}{3EI}</math></p> $\theta_A = \theta_C = \frac{P.b^2}{2EI}$ |
|  $R_B = qL \quad M_B = -\frac{q.L^2}{2}$ <p>Charge uniformément répartie</p> |  $V_B = qL$ $V(x) = px$     |  $M_B = -\frac{qL^2}{2}$ $M(x) = -q \frac{x^2}{2}$ | <p>Flèche en A :</p> $f = \frac{qL^4}{8EI}$ $\theta_A = \frac{q.L^3}{6EI}$                                                                           |

### IV-3 Le flambement

#### 1. Définition

Lorsqu'une pièce élancée est comprimée, une flexion parasite se produit à partir d'une certaine contrainte. Cette contrainte est appelée contrainte critique de flambement ou contrainte d'Euler. Lors du flambement on se trouve dans le cas de grandes déformations où la linéarité contrainte déformations n'est plus assurée, voire on se trouve dans le domaine plastique.



Phénomène de flambement

La valeur critique de  $N$  pour que la poutre soit fléchie est :

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{\ell_k^2} \quad \text{avec } \ell_k : \text{Longueur de flambement}$$

La contrainte critique est donc :

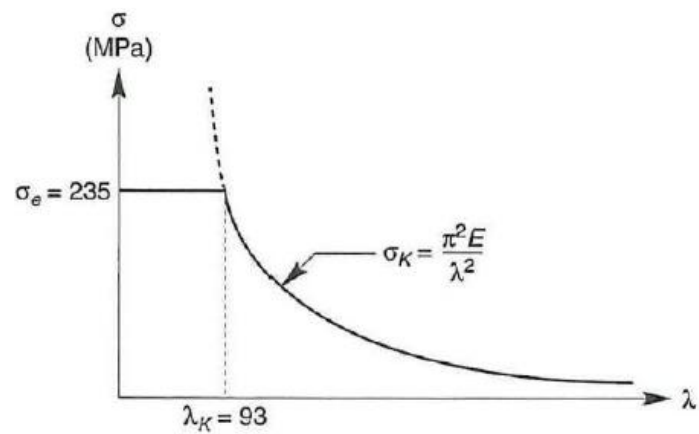
$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} : \text{Elancement maximal.}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} : \text{Rayon de giration minimal, correspondant à l'inertie } I \text{ minimale.}$$

Lorsque  $\sigma_k > \sigma_e$  aucun risque de flambement, la ruine survient pour  $\sigma = \sigma_e$

Lorsque  $\sigma_k < \sigma_e$  il y a ruine par flambement dès que  $\sigma = \sigma_k$

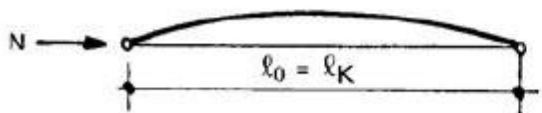
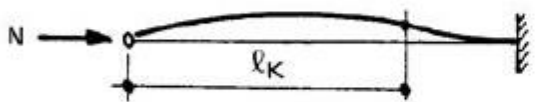
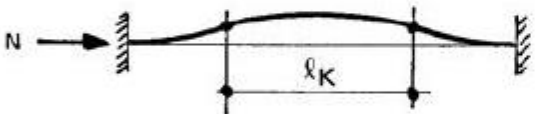
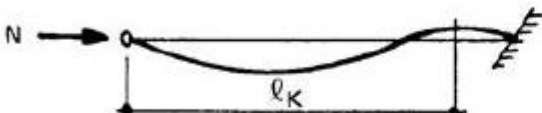


Evolution de la contrainte critique en fonction de l'élancement

La longueur de flambements pour des poutres courantes est :

$$\ell_k = \frac{\ell_0}{\sqrt{m}}$$

$\ell_0$  : Longueur réelle de la barre.  
 $\ell_k$  : Longueur de flambement.

| CONDITIONS D'APPUIS                                                                 | m             | $\ell_K$       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | 1             | $\ell_0$       |
|  | 2             | $0,7 \ell_0$   |
|  | 4             | $0,5 \ell_0$   |
|  | $1 < m < 2$   | $> 0,7 \ell_0$ |
|  | $\frac{1}{4}$ | $2 \ell_0$     |

Longueur de flambement

## Aspect réglementaire du flambement - Règles CM 66

### a. Flambement simple

Pour une poutre soumise à une contrainte de compression  $\sigma$ , les règles CM66 précisent que pour les poutres à âme pleine, la condition de non-flambement est :

$$k \sigma \leq \sigma_e$$

avec

$$k = (0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_k}) + \sqrt{(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_k})^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_k}}$$
$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{et} \quad \lambda = \max(\lambda_y, \lambda_z)$$

### b. Flambement flexion

Pour une poutre soumise à une contrainte de compression  $\sigma$  et une contrainte de flexion  $\sigma_f$  autour de l'axe y, les règles CM 66 précisent que pour les poutres à âme pleine, la condition de non-flambement est :

$$k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_e$$

$k_1$  est un coefficient d'amplification des contraintes de compression :

$$k_1 = \frac{\mu_1 - 1}{\mu_1 - 1.3} \quad \text{avec} \quad \mu_1 = \frac{\sigma_k}{\sigma}$$
$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{et} \quad \lambda = \max(\lambda_y, \lambda_z)$$

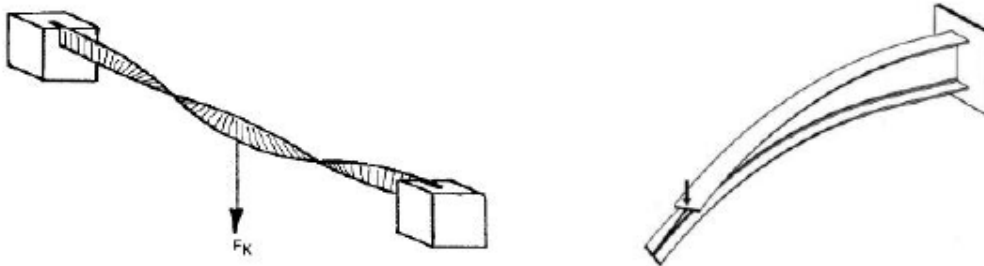
$k_f$  est un coefficient d'amplification des contraintes de flexion qui dépend de  $\mu$  et du mode de distributions des efforts engendrant la flexion. Dans la pratique,  $k_f$  est pris pour le cas le plus défavorable qui correspond à un moment constant ou variant linéairement (CM66 3,513) :

$$k_f = \frac{\mu + 0.25}{\mu - 1.3} \quad \text{avec} \quad \mu = \frac{\sigma_{ky}}{\sigma} \quad \text{et} \quad \sigma_{ky} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$$

## IV-4 Le déversement :

### 1. Définition :

Le déversement est lié à la flexion, il s'agit d'un flambement de l'aile comprimée et présente des analogies certaines avec les phénomènes de flambement. La poutre, pour un moment critique entre en flexion et en torsion dans son plan de plus faible inertie. Ce phénomène se produit en général pour des poutres ayant une faible inertie à la flexion transversale et à la torsion.



Phénomène de déversement

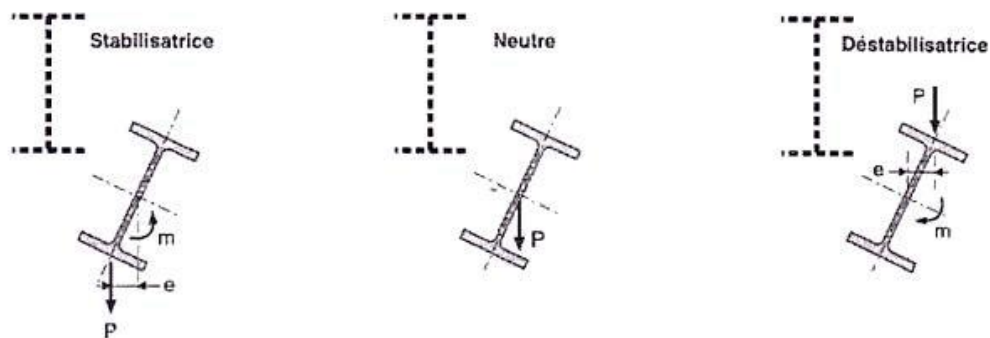
## 2- Paramètre influençant le déversement :

### Forme de la section :

- Augmenter le moment d'inertie en flexion transversale
- Choisir ou créer une section fermée (grande raideur en torsion)

### Conditions d'appui et de retenue :

- Créer des éléments d'entretoisement pour stabiliser la poutre (bracon).
- Les éléments fixés ponctuellement sur la semelle comprimée réduisent le risque de déversement (Solives sur poutre principale, Pannes sur traverse de portique)
- Les éléments fixés en continu sur la semelle comprimée réduisent le risque de déversement (e.g. dalle béton fixée sur une poutre de plancher par des goudjons). A noter que les éléments doivent être fixés et non simplement posés pour constituer des appuis efficaces.
- Niveau d'application des charges :



Effet du niveau d'application des charges

## 3. Aspect réglementaire du déversement des pièces fléchies

### a. Cas des poutres en I - Règles CM66 (CM66 art 3.611)

Critère général de résistance :

$$k_d \cdot \sigma_f \leq \sigma_e \quad \text{avec } k_d \text{ coefficient de déversement}$$

### Conditions de la méthode :

- Profil en I doublements symétriques de section constante
- Flexion dans le plan de l'âme
- Rotation (z) bloquée au droit des appuis

On distingue trois cas :

### a. Pièces symétriquement appuyées et chargées :

- Poutre de plancher
- Poteau de bardage
- Pannes isostatiques

### b. Poutres avec moments différents au droit des appuis :

- Pannes continues
- Poteaux de portiques

- Arbalétrier

### c. Poutres consoles

Influence du point d'application de la charge :

- Charge sur l'aile comprimée : cas défavorable
- Charge au centre de gravité : cas neutre
- Charge sur l'aile tendue : cas favorable

### Dispositions relatives contre le déversement :

Les constructions doivent bloquer la membrure comprimée pour éviter tout risque de déversement transversal, notamment :

- En créant des points fixes : ceux-ci diminuent la longueur de flambement de la membrure ; on peut utiliser des contreventements, bracons, encastrement latéral de la membrure comprimée, etc. (les bracons sont dimensionnés pour reprendre 2% de l'effort capable de compression ou de traction de la semelle inférieure du profil)
- En renforçant la membrure comprimée
- En encastrant latéralement la membrure comprimée

### Le déversement n'est pas à craindre lorsque :

- La membrure comprimée est maintenue transversalement sur toute sa longueur (e.g. poutre de plancher)
- La membrure comprimée est maintenue en des points suffisamment rapprochés (e.g. poutre avec traverses intermédiaires)

## 4. Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

### a. Calcul de D, coefficient caractéristique des dimensions de la pièce

Pour les poutrelles laminées courantes, on peut utiliser les valeurs de D du tableau ci-après (CM66-3,641):

| I P E                                     | I P N                                          | H N et H E                                     |                                                |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                           |                                                | $h > 380 \text{ mm}$                           | $h < 360 \text{ mm}$                           |
| $\sqrt{1 + \left(\frac{le}{bh}\right)^2}$ | $\sqrt{1 + \left(\frac{1,08 le}{bh}\right)^2}$ | $\sqrt{1 + \left(\frac{le}{1,06 bh}\right)^2}$ | $\sqrt{1 + \left(\frac{le}{1,09 bh}\right)^2}$ |

$h$  la hauteur de la section ;

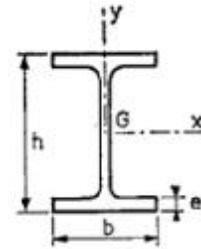
$l$  la longueur de flambement de la membrure comprimée supposée isolée du reste de la pièce ;

$b$  et  $e$  la largeur et l'épaisseur de chaque semelle ;

### b. Calcul de C, coefficient caractéristique de la répartition longitudinale des charges

Selon le chapitre (CM66 - 3,642)

| Encastrement par rapport à l'axe |      | Moment constant | Charge concentrée au milieu | Charge uniformément répartie | 2 charges symétriques à c des appuis                             |
|----------------------------------|------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Gy                               | Gx   |                 |                             |                              |                                                                  |
| sans ( $l_0 = l$ )               | sans | 1               | 1,365                       | 1,132                        | $1 + 2,92 \left(\frac{c}{l}\right)^3$                            |
|                                  | avec | -               | 0,938                       | 0,576                        | $0,1 + 1,2 \frac{c}{l} + 1,9 \left(\frac{c}{l}\right)^3$         |
| avec ( $l_0 = 2l$ )              | sans | 1               | 1,076                       | 0,972                        | $1 + \left(\frac{c}{l}\right)^3 \left(\frac{c}{l} - 0,93\right)$ |
|                                  | avec | -               | 0,633                       | 0,425                        | $0,181 + 0,307 \frac{c}{l} + \left(\frac{c}{l} - 0,474\right)^3$ |



**c. Calcul de B, coefficient caractéristique du niveau d'application des charges,**  
Selon le chapitre (CM66 - 3,643.1)

$$B = \sqrt{1 + \left(\frac{y_a}{h} \frac{8 \beta C}{\pi^2 D}\right)^2} - \frac{y_a}{h} \frac{8 \beta C}{\pi^2 D}$$

$y_a$  est la distance du point d'application des charges au centre de gravité de la section, comptée positivement au-dessus du centre de gravité. En particulier, en cas d'application des charges au niveau :

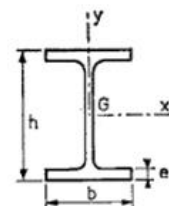
☐ Membrane supérieure :  $B = \sqrt{1 + \left(0,405 \frac{\beta C}{D}\right)^2} - 0,405 \frac{\beta C}{D}$

☐ Fibre neutre :  $B = 1$

☐ Membrane inférieure :  $B = \sqrt{1 + \left(0,405 \frac{\beta C}{D}\right)^2} + 0,405 \frac{\beta C}{D}$

Calcul du coefficient  $\beta$  (CM66 - 3,643.1) :

| Encastrement par rapport à l'axe |      | Moment constant | Charge concentrée au milieu | Charge uniformément répartie | 2 charges symétriques à c des appuis                          |
|----------------------------------|------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Gy                               | Gx   |                 |                             |                              |                                                               |
| sans ( $l_0 = l$ )               | sans | 0               | 1                           | 1                            | $6 \frac{c}{l} - 8 \frac{c^2}{l^2}$                           |
|                                  | avec | -               | 2                           | 3                            | $5 - 2 \frac{c}{l} - 8 \frac{c^2}{l^2}$                       |
| avec ( $l_0 = 2l$ )              | sans | 0               | 1                           | 0,75                         | $5 \left(\frac{c}{l}\right)^3 \left(1,2 - \frac{c}{l}\right)$ |
|                                  | avec | -               | 2                           | 2,25                         | $\frac{c^2}{l^2} \left(13 - 11 \frac{c}{l}\right)$            |



#### d. Calcul de la contrainte de déversement

La contrainte de déversement en (daN/mm<sup>2</sup>) selon le chapitre (CM66 - 3,643.1) est :

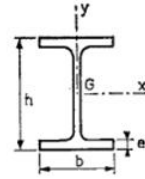
$$\sigma_d = 40\,000 \frac{I_y}{I_x} \frac{h^2}{\ell^2} (D-1)BC$$

avec  $D$  : Coefficient fonction des dimensions de la pièce. (CM66 - 3,641)

$C$  : Coefficient fonction de la répartition des charges. (CM66 - 3,642)

$B$  : Coefficient fonction du niveau d'application des charges. (CM66 - 3,643)

$\ell$  : longueur de flambement de la semelle comprimée supposée isolée du reste de la pièce



Si  $\sigma_d \geq \sigma_e$  aucun risque de déversement

Si  $\sigma_d < \sigma_e$  on détermine un élancement,  $\lambda_0$  (CM66 - 3,611)

$$\lambda_0 = \frac{\ell}{h} \sqrt{\frac{4}{BC} \frac{I_x}{I_y} \left(1 - \frac{\sigma_d}{\sigma_e}\right)}$$

On en tire le coefficient de déversement  $k_d$  :

$$k_d = \frac{k_0}{1 + \frac{\sigma_d}{\sigma_e} (k_0 - 1)}$$

$$k_0 = \left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_K}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_K}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_K}} \quad \text{et} \quad \sigma_K = \frac{\pi^2 E}{\lambda_0^2}$$

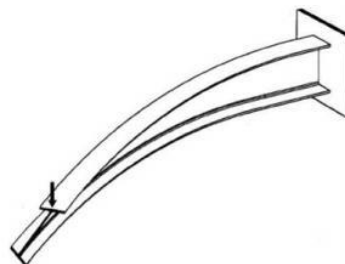
Et on vérifie que

$$\sigma_f \cdot k_d \leq \sigma_e$$

#### 5. Déversement des poutres consoles

a. Conditions de la méthode :

- ☐ Les charges appliquées sont de mêmes sens
- ☐ Profils doublements symétriques
- ☐ Flexion dans le plan de l'âme
- ☐ Poutre parfaitement encastree



**b. Vérifications à effectuer :**

$$\sigma_f \cdot k_d \leq \sigma_e$$

**c. Notations :**

*l<sub>o</sub>* longueur de la poutre libre

*l* longueur de déversement

*h* hauteur du profil

*b* largeur de l'aile

*e* épaisseur de la semelle

*C* coefficient de la répartition longitudinale des charges

**d. Calcul de C :**

- Charge uniformément répartie :  $l=2l_o$  et  $C=4.93$
- Charge ponctuelle à l'extrémité :  $l=2l_o$  et  $C=2.77$
- Charge ponctuelle quelconque :  $l=2l_o$  et  $C = \frac{1}{c} + 0.19 \frac{l^2}{c^2}$  (c distance de la charge à l'encastrement)

**e. Calcul de  $k_d$ :**

- Charges appliquées sur ailes supérieures :  $k_d = 1 + 0.375 C h \frac{b}{e}$
- Charges appliquées au centre de gravité :  $k_d = 0.1 + 2.2 \frac{lh}{1000Cbe} \frac{\sigma_e}{24}$
- Charges appliquées sur ailes inférieures :  $k_d = 1 - 0.375 C h \frac{b}{e}$