Chapitre IV Déversement des pièces métalliques

Définition

Le déversement des pièces fléchies est le second phénomène d'instabilité élastique, après le flambement, avec lequel il présente une analogie certaine. Les pièces fléchies non maintenues latéralement seront affectées par le déversement avant que la flexion atteint sa limite d'élasticité.

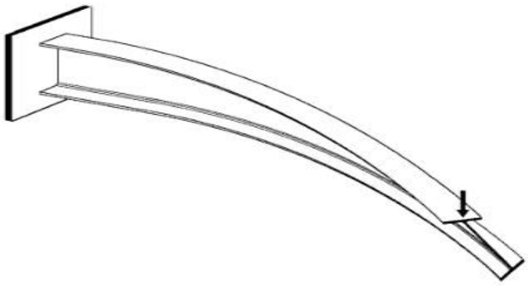

Figure 1. Déversement d'une poutre en acier

Vérification de la stabilité au déversement des pièces fléchies (Selon l'eurocode 3)

Pour les éléments à section transversale constante, le moment de flexion maximal M_f doit être inferieur au moment ultime de déversement :

$$M_f \leq x_{LT}.B_W.W_{pl,y}\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

avec

$B_W = 1$ pour les sections de classe 1 et 2

$B_W = \frac{W_{el}}{W_{pl}}$ pour les sections de classe 3

$B_W = \frac{W_{eff}}{W_{pl}}$ pour les sections de classe 4

x_{LT} est le coefficient de réduction pour le déversement, qui est fonction de l'élancement réduit

Coefficient de réduction du déversement x_{LT}

Le coefficient de réduction du déversement est déterminé en fonction de l'élancement réduit :

$x_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT}+[\phi_{LT}^2-\bar{\lambda}_{LT}^2]^{0.5}}$ avec $x_{LT} \leq 1$

où :

$$\phi_{LT} = 0.5\left[1 + \alpha_{LT}\left(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2\right) + \bar{\lambda}_{LT}^2\right]$$

$\alpha_{LT} = 0.21$ pour les profilés laminés (IPE, UAP, HEA,…)

$\alpha_{LT} = 0.49$ pour les sections soudées

Calcul de l'élancement

Selon l'Eurocode 3**,** L'élancement réduit $\bar{\boldsymbol{\lambda}}_{\boldsymbol{LT}}$ est donné par la formule suivante ;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[B_W . W_{pl,y} \frac{f_y}{M_{cr}}\right]^{0.5} = \left[\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1}\right] . [B_W]^{0.5}$$

avec $\lambda_1 = \pi \left[\frac{E}{f_y}\right]^{0.5} = 93.9 . \varepsilon$ avec $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

avec M_{cr} : Moment critique élastique de déversement

Moment critique élastique du déversement M_{cr}

Le moment critique élastique de déversement M_{cr} est calculé avec les caractéristiques de la section brute. pour les sections de classe 4, l'inertie de torsion uniforme de l'élément sera négligée (It = 0) lors de calculer M_{cr}.

Les valeurs du coefficient X_{LT} seront obtenues à partir du tableau des coefficients de réduction de flambement en remplaçant $\bar{\lambda}$ et x par $\bar{\lambda}_{LT}$ et x_{LT} successivement.

on utilise la courbe a ($\alpha = 0.21$) pour les profilés laminés (IPE, UAP, HEA,…) et la courbe c ($\alpha = 0.49$) pour les profils soudés,

N.B : Lorsque$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$, il est inutile de prendre en compte le déversement

Pour les poutres à section transversale constante et doublement symétriques (séries de profils laminés I et H), l'élancement λ_{LT} peut être déterminé par la formule approximative suivante :

$$\lambda_{LT} = \frac{L/i_z}{\sqrt{c_1}\left[1+\frac{1}{20}\left(\frac{L/i_z}{h/t_f}\right)^2\right]^{0.25}}$$

Calcul du moment critique élastique M_{cr} (selon l'Eurocode 3)

Pour les poutres à section transversale constante, le moment critique élastique de déversement est déterminé par la formule générale :

$$M_{cr} = c_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2}\left\{\left[\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_Z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + \left(c_2 z_g - c_3 z_j\right)^2\right]^{1/2} - \left(c_2 z_g - c_3 z_j\right)\right\}$$

Où :

C_1, C_2 et C_3 facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement, donnés dans le tableau 1.

Lorsque l'élément soumis aux plusieurs chargement, le coefficient Ci peut être calculé par la formule suivante :

$$c_1 = \frac{\sum M_i}{\sum(M_i/C1i)}$$

K et k_w facteur de longueur effective

$$z_g = z_a - z_s$$

$$z_j = z_S - \frac{\int_A z(y^2+z^2)dA}{2I_y}$$

z_a cordonnée du point d'application de la charge.

z_s cordonnée du centre de cisaillement

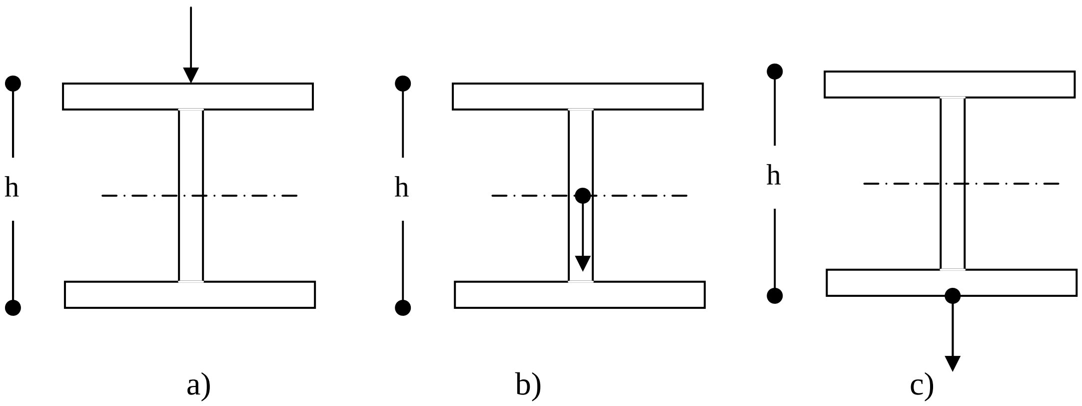

Figure 2. position de Z_g : a) $Z_g = + h/2$, b) $Z_g = 0$, c) $Z_g = - h/2$

Les facteurs de longueur de flambement k et k_w varient de 0.5 pour encastrement parfait à 1.0 pour articulation parfaite, avec 0.7 pour une extrémité fixe et l'autre simplement appuyée.

Le facteur k concerne la rotation de l'extrémité en plan.

Le facteur k_w concerne le gauchissement d'extrémité, est pris égal à 1.0

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

I_t : moment d'inertie de torsion

I_w : facteur de gauchissement = $I_z \left(\frac{h-t_f}{2}\right)^2$

I_w moment d'inertie de flexion suivant l'axe de faible inertie

L : longueur de la poutre entre points latéralement maintenus

Vérification de la stabilité de déversement des pièces soumises à la flexion déviée

Pour les bâtiments industriels (Hall, Hangars,…etc.), les pannes et lisses sont généralement sollicitées en flexion déviée plus le déversement.

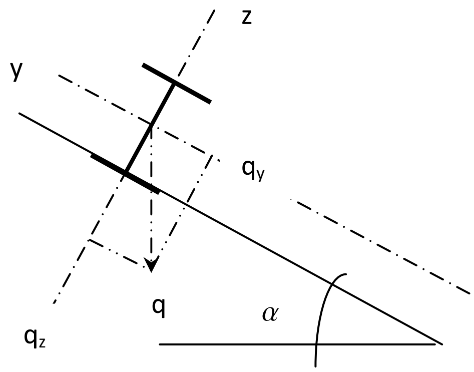

Figure 3. Présentation d'une panne en IPE

Les éléments à section transversale de classe 1 et 2 doivent satisfaire à la condition :

$$\frac{M_{y,sd}}{x_{LT}\frac{\mathrm{M_{Pl,y}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}+\frac{M_{z,sd}}{\frac{\mathrm{M_{Pl,z}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}\leq 1$$

avec ;

$$\mathrm{M_{pl,y}}=\mathrm{W_{pl,y}}.f_{\mathrm{y}},\quad \mathrm{M_{pl,z}}=\mathrm{W_{pl,z}}.f_{\mathrm{y}}$$

Les éléments à section transversale de classe 3 doivent satisfaire à la condition :

$$\frac{M_{y,sd}}{x_{LT}\frac{\mathrm{M_{el,y}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}+\frac{M_{z,sd}}{\frac{\mathrm{M_{el,z}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}\leq 1$$

avec ;

$$\mathrm{M_{el,y}}=\mathrm{W_{el,y}}.f_{\mathrm{y}},\quad \mathrm{M_{el,z}}=\mathrm{W_{el,z}}.f_{\mathrm{y}}$$

Les éléments à section transversale de classe 4 doivent satisfaire à la condition :

$$\frac{M_{y,sd}}{x_{LT}\frac{\mathrm{M_{eff,y}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}+\frac{M_{z,sd}}{\frac{\mathrm{M_{eff,z}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}}\leq 1$$

avec ;

$M_{eff,y} = W_{eff,y} . f_y, \quad M_{el,z} = W_{eff,z} . f_y$

Vérification de la stabilité de déversement des pièces comprimées et fléchies

Dans une structure métallique, les poteaux sont généralement sollicités par déversement, flexion et compression simultanément, Les éléments à section transversale de classe 1 et 2 doivent satisfaire à la condition :

$$\frac{N_{sd}}{\frac{N_{pl}}{\gamma_{M1}}\chi_z} + K_{LT}\frac{M_{y,sd}}{x_{LT}.\frac{M_{Pl,y}}{\gamma_{M1}}} + K_z\frac{M_{z,sd}}{\frac{M_{Pl,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Avec ;

$$N_{pl} = A. f_y, \quad M_{pl,y} = W_{pl,y} . f_y, \quad M_{pl,z} = W_{pl,z} . f_y$$

Les éléments à section transversale de classe 3 doivent satisfaire à la condition :

$$\frac{N_{sd}}{\frac{N_{pl}}{\gamma_{M1}}\chi_z} + K_{LT}\frac{M_{y,sd}}{x_{LT}\frac{M_{el,y}}{\gamma_{M1}}} + K_z\frac{M_{z,sd}}{\frac{M_{el,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

avec ;

$M_{el,y} = W_{el,y} . f_y, \quad M_{el,z} = W_{el,z} . f_y$

x_z et K_z; le (voir chapitre flambement)

$$K_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT}.N_{sd}}{\chi_z.A.f_y} \qquad avec \qquad K_{LT} \leq 1$$

d'où :

$\mu_{LT} = 0.15. \overline{\lambda_Z}. \beta_{MLT} - 0.15$ avec $\mu_{LT} \leq 0.9$

β_{MLT} ; Facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement (voir chapitre Flambement avec flexion).

- Les pièces à section transversale de classe 4:

$$\frac{N_{sd}}{\frac{A_{eff}.f_y}{\gamma_{M1}}\chi_z} + K_{LT}\frac{(M_{y,sd}+N_{sd}\times e_{Ny})}{x_{LT}\frac{M_{eff.y}\times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_Z\frac{(M_{z,sd}+N_{sd}\times e_{NZ})}{x_{LT}\frac{M_{effZ.}\times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

avec ;

$$M_{eff.y} = W_{eff,y}.f_y, \quad M_{eff,z} = W_{eff,z}.f_y$$

Les coefficients K_{LT} et X_{LT} peuvent être calculés en remplaçant A par A_{eff} .