

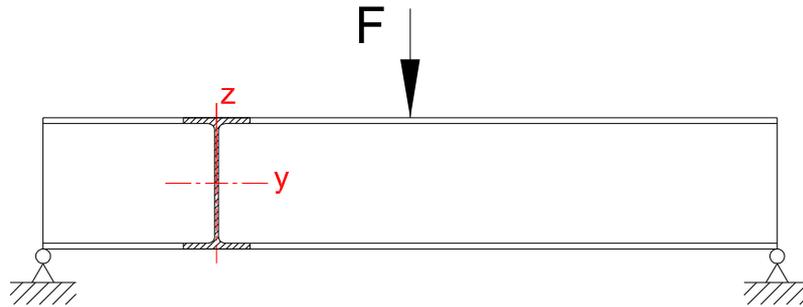
| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|------------------|
|  | E4 | Ch12-Déversement |
| | | 0-Cours |

- 1. Introduction 2
 - 1.1. Mise en évidence du phénomène..... 2
 - 1.2. Caractéristiques géométriques liées au déversement. 2
 - 1.3. Longueur de déversement..... 3
 - 1.4. Effet du chargement. 3
- 2. Tronçons de barres. 4
- 3. Moment critique de déversement. 5
- 4. Calcul de résistance au déversement..... 6
 - 4.1. Calcul réglementaire..... 6
 - 4.2. Exemple de calcul..... 6
- Annexe : calcul des coefficients C1 et C2..... 7
 - 4.3. Expression générale..... 7
 - 4.4. Barres avec moments d’extrémité. 7
 - 4.5. Barre avec chargement transversal. 7
 - 4.6. Barre avec moments d’extrémité et chargement uniforme transversal. 8
 - 4.7. Exemple de calcul..... 8

1. Introduction.

1.1. Mise en évidence du phénomène.

Flexion d'une poutre en I



Sous l'effet de la flexion, l'**aile supérieure** est soumise à des contraintes σ de compression :

- Le flambement de l'aile autour de y est empêché par l'âme.
- Le flambement autour de z (flambement latéral) est possible → **c'est le phénomène de déversement.**

Remarques :

Certains profils ne sont pas affectés par le déversement :

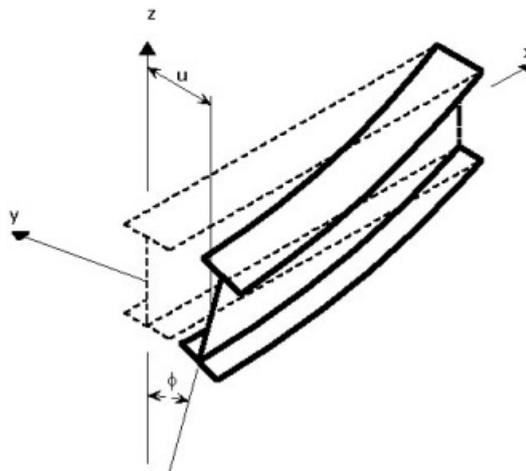
- Tube carré et circulaire,
- Tube rectangulaire dans certains cas.

1.2. Caractéristiques géométriques liées au déversement.

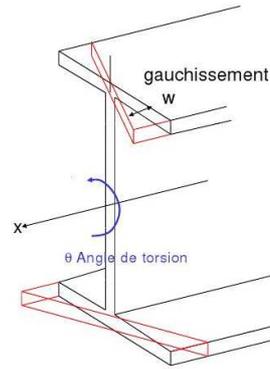
L'aile comprimée n'est pas libre de flamber autour de z . L'âme et l'aile tendue la « retiennent ».

Le déversement engendre pour les sections des déformations qui mettent en jeu certaines caractéristiques géométriques :

- Un déplacement latéral u , qui fait intervenir I_z (faible inertie).
- Une rotation ϕ suivant x (axe longitudinal), qui fait intervenir I_t (inertie de torsion).



→ Un gauchissement w , qui fait intervenir I_w (inertie de gauchissement).

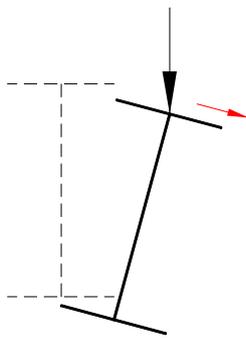


1.3. Longueur de déversement.

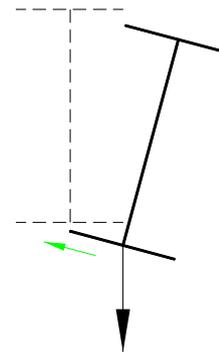
Tout comme pour le flambement, la longueur de déversement est un paramètre essentiel pour la résistance au déversement de l'élément.

Elle correspond à la distance entre 2 points d'inflexion de la déformée de déversement ou à **la distance entre points fixes de l'aile comprimée.**

1.4. Effet du chargement.



Effet déstabilisateur accentuant le déversement

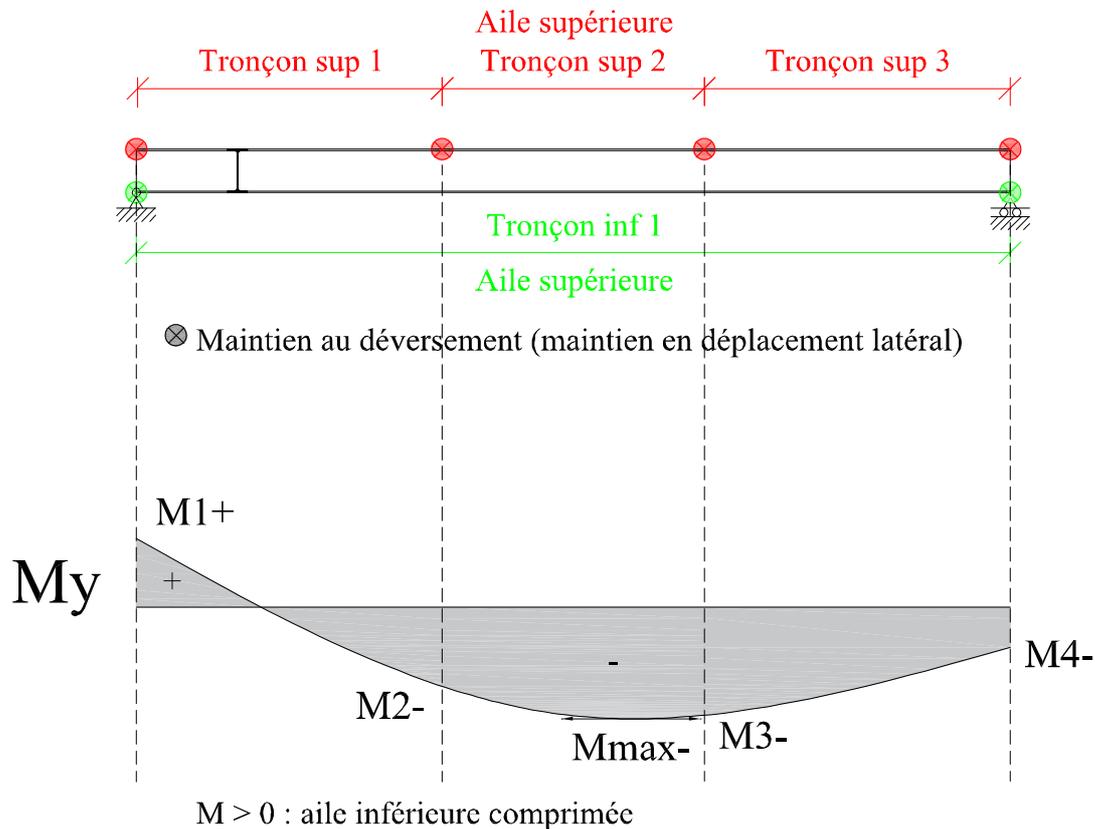


Effet stabilisateur limitant le déversement

2. Tronçons de barres.

Augmenter la résistance au déversement consiste souvent à placer des points de maintien latéraux sur la poutre (de préférence au niveau de l'aile comprimée) de manière à diminuer la longueur de déversement. On crée donc **des tronçons d'aile supérieure et inférieure** qui sont **étudiés séparément**.

Si un tronçon est de manière évidente le plus défavorable, seul celui-ci peut être vérifié. Dans le cas contraire, tous les tronçons présentant un risque de déversement devront être vérifiés.



Dans cet exemple on doit vérifier :

Le tronçon sup 2 qui est le plus défavorable pour l'aile supérieure car :

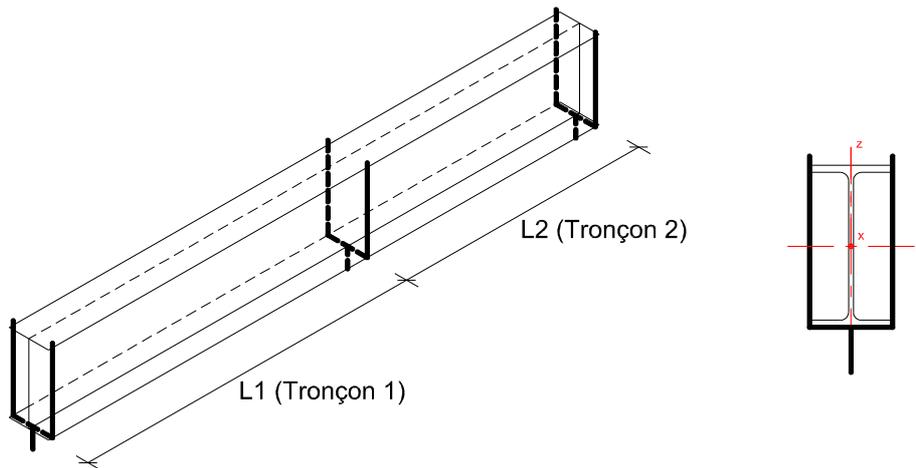
- Il possède la même longueur de déversement que sup 1 et sup 3 (donc le critère sur la longueur de déversement est équivalent pour les 3 tronçons et ne permet pas d'en identifier un plus défavorable que les autres).
 - ✓ Il possède le moment négatif le plus important.
 - ✓ Il a la forme de diagramme qui se rapproche le plus du diagramme uniforme.
- Le tronçon inf 1 car une partie (sur une faible longueur mais cela suffit) de l'aile inférieure est comprimée sous moment positif.

3. Moment critique de déversement.

Tout comme N_{cr} pour le flambement, on définit un moment critique M_{cr} pour le déversement qui correspond à la résistance d'une barre idéale.

L'annexe Nationale (p181 à 189) permet de calculer M_{cr} pour des tronçons d'éléments satisfaisant les conditions suivantes (Annexe M_{cr} - §1):

- Barres uniformes à sections transversales doublement symétriques,
- Barres simplement fléchies autour de y,
- Barre (ou tronçon de barre) maintenue aux 2 extrémités : maintien latéral u_y et maintien en rotation autour de x θ_x (appui à fourches).



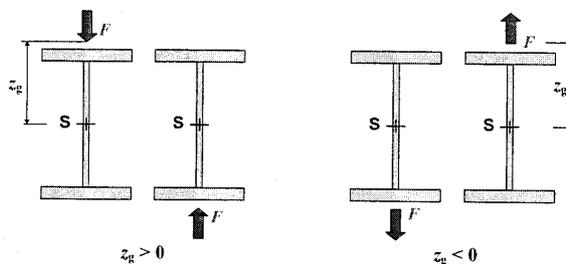
Appui à fourches

Dans ces conditions de maintien, l'expression de M_{cr} de chaque tronçon vaut :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left\{ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\}$$

Avec :

- $E = 210000 \text{ MPa}$, $G = 80770 \text{ MPa}$
- $I_y =$ inertie faible (cm^4)
- $I_t =$ inertie de torsion (cm^4)
- $I_w =$ inertie de gauchissement (cm^6)
- $z_g =$ distance entre le cdg et le point d'application des charges (effet stabilisateur $z_g < 0$ voir p182)



- $L =$ longueur de déversement (= longueur du tronçon considéré)
- $C1$ et $C2 =$ coefficients dépendant des conditions de maintien du tronçon et de son chargement

LTBeam est un logiciel gratuit créé et diffusé par le CTICM qui permet de calculer le moment critique des poutres en I ou H.

4. Calcul de résistance au déversement.

4.1. Calcul réglementaire.

→ Le calcul réglementaire est défini par [EC3-1.1-§6.3.2]

Critère :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0$$

M_{Ed} = moment fléchissant maximum de l'élément ou du tronçon d'élément

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y = W_{ply}$ (classe 1 ou 2) ou W_{ely} (classe 3)

$\frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ = capacité de la section (= $M_{pl,Rd}$ ou $M_{el,Rd}$ à γ_{M1} près mais $\gamma_{M1} = 1$)

χ_{LT} = coefficient de réduction avec $\chi \leq 1.0$ (la démarche de calcul de χ_{LT} est analogue à celle de χ_y ou χ_z du flambement)

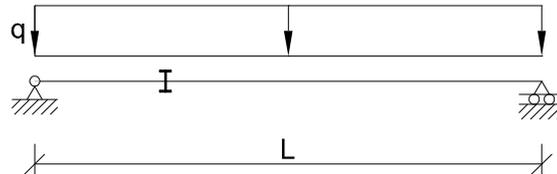
4.2. Exemple de calcul.

$L = 5.50$ m

$q = 40.00$ kN/m

IPE 400 S275

$M_{cr} = 216$ kN.m



→ Vérification au déversement

Critère [EC3-1.1-§6.3.2] :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0$$

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = 151.25 \text{ kN.m}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.43 \frac{1307 \cdot 10^{-6} \cdot 275 \cdot 10^3}{1} = 154.55 \text{ kN.m}$$

$W_y = W_{ply} = 1307 \text{ cm}^3$ (IPE400 c11 flexion)

$M_{cr} = 216$ kN.m

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1307 \cdot 10^{-6} \cdot 275 \cdot 10^3}{216}} = 1.29$$

Courbe de dévers^t : $h/b = 400/180 = 2.22 > 2 \rightarrow$ courbe b

$\chi_{LT} = 0.43$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{151.25}{154.55} = 0.98 < 1 \rightarrow \text{vérifié}$$

Annexe : calcul des coefficients C1 et C2.

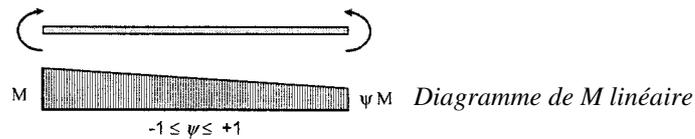
4.3. Expression générale.

L'annexe Nationale (p181 à 189) permet de calculer M_{cr} :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left\{ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\}$$

Les paramètres C1 et C2 sont à déterminer de la façon suivante.

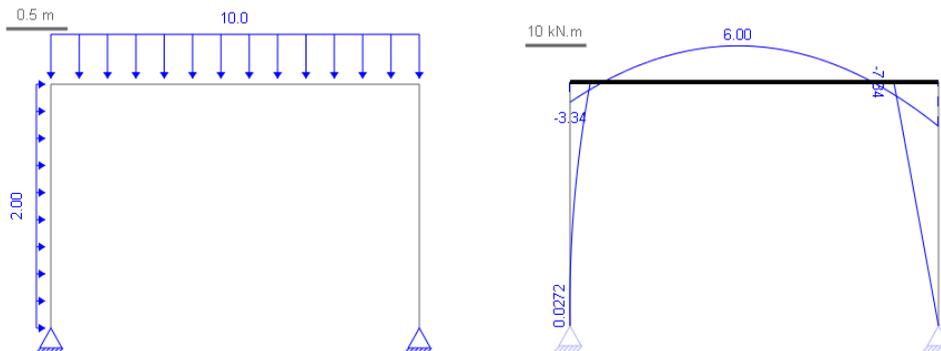
4.4. Barres avec moments d'extrémité.



C1 → voir tableau p183

C2 = 0

Exemple : poteau de portique non chargé dans son plan (diagramme triangulaire).



M = -7.84 kN.m

Ψ = 0

→ C1 = 1.77

→ C2 = 0

4.5. Barre avec chargement transversal.

Voir p183 du Doc AMCR

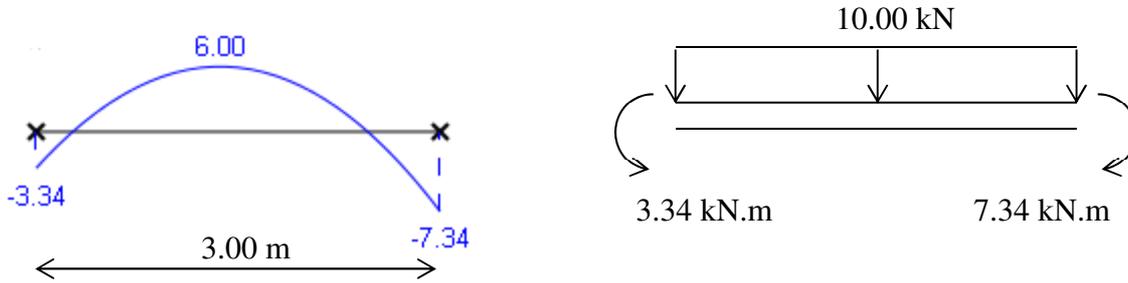
Tableau 2 - Valeurs de C₁ et C₂ pour des cas simples de charge (pour k_z = k_w = 1)

| Chargement et conditions d'appui dans le plan | Diagramme du moment fléchissant | C ₁ | C ₂ |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
| | | 1,13 | 0,45 |
| | | 2,57 | 1,55 |
| | | 1,35 | 0,59 |
| | | 1,69 | 1,50 |

4.6. Barre avec moments d'extrémité et chargement uniforme transversal.

Exemple : traverse de portique.

Diagramme du moment dans la traverse :



$M = \text{moment maxi} = -7.34 \text{ kN.m}$

$\Psi = -3.34 / -7.34 \approx 0.5$ (valeurs lues sur le diagramme de M)

$\mu = \frac{qL^2}{8M} = -\frac{10 \cdot 3^2}{8 \cdot 7.34} \approx -1.5$ ($\mu < 0$ car $M = -7.34 \text{ kN.m}$ ne fléchit pas la barre dans le même sens que q)

Valeurs de C_1 et C_2 lues dans les tableaux p188 et 189.

→ $C_1 = 1.640$

→ $C_2 = 0.979$

4.7. Exemple de calcul.

Calcul de M_{cr} de la traverse IPE160 S235 ci-dessus.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left\{ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\} = 24.40 \text{ kN.m}$$

$$C_1 = 1.640$$

$$C_2 = 0.979$$

$$I_z = 68.31 \text{ cm}^4 = 68.31 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_t = 3.60 \text{ cm}^4 = 3.60 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 3.96 \cdot 10^3 \text{ cm}^6 = 3.60 \cdot 10^{-9} \text{ m}^6$$

$$z_g = 160/2 = 80 \text{ mm} = 0.08 \text{ m}$$

$$L = 3.00 \text{ m}$$

$$E = 210000 \text{ MPa} = 2.1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$G = 80770 \text{ MPa} = 0.81 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$