

Déversement NON empêché Série 12

**Prof. Alain
Nussbaumer**

Greta Murtas, AN

CIVIL235 - Structures en métal

Démarche vérification au déversement :

1. Chercher longueur de déversement l_D à vérifier
2. Vérifier $\frac{N_{ed}}{N_{rd}} \leq 0.15$ (sinon sauter directement à l'étape **5b**)
3. Calculer $\psi = \frac{M_{min}}{M_{max}}$
4. Calculer longueur critique de déversement l_{cr} **Tableau 6 SIA 263**
5. Comparer l_D et l_{cr}
 - a. Si $l_D \leq l_{cr}$: Déversement empêché, $M_{y,Rd} = M_{y,classe,Rd}$
 - b. Si $l_D > l_{cr}$: Déversement NON empêché, $M_{y,Rd} \Rightarrow M_{D,Rd} = \chi_d * M_{y,Rd}$

EPFL Démarche vérification au déversement - Suite

3

6. Si $l_D > l_{cr}$ ou $\bar{\lambda}_D > 0.4$ Déversement NON empêché

7. $M_{y,Rd} \Rightarrow M_{D,Rd} = \chi_D M_{y,Rd}$ SIA 263 § 4.5.2

a. Calcul M_{cr} – Annexe B ou Eurocode – Voir diapos 5 et 6

b. Coeff. d'élanement normalisé au déversement : $\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{M_{y,pl}}{M_{cr}}}$

c. Coefficient imperfection α_D (0.21 laminé, 0.49 soudé)

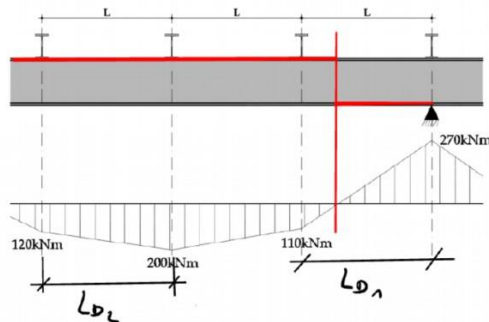
d. Calcul coefficient ϕ_D puis facteur χ_D

8. Vérifications: M, ou interaction(s) (et en section)

SIA 263 § 5.1.10

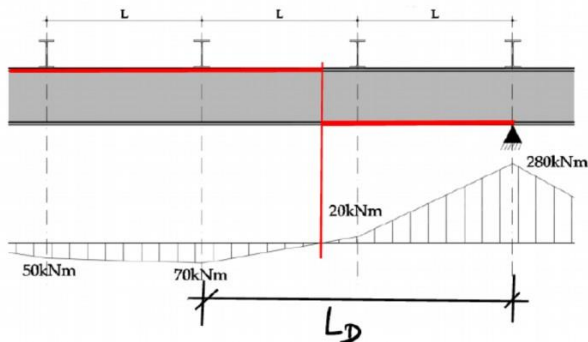
Longueur de déversement l_D - Rappels

4) Pannes appuyées sur un sommier



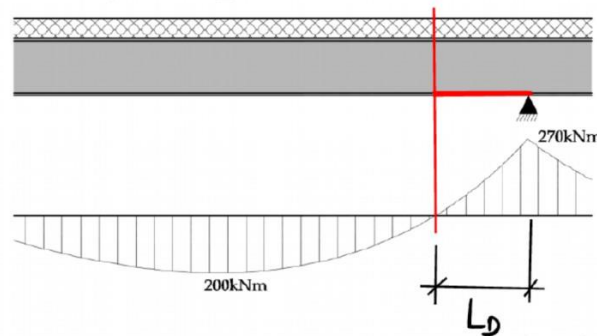
$$\begin{aligned}\psi_1 &= -\frac{110}{270} \\ &= -0,41 \\ \psi_2 &= \frac{120}{200} \\ &= 0,6\end{aligned}$$

5) Pannes appuyées sur un sommier



$$\begin{aligned}\psi &\approx -\frac{70}{280} \\ &= -0,25\end{aligned}$$

6) Dalle en béton appuyée sur un sommier



$$\psi = 0$$

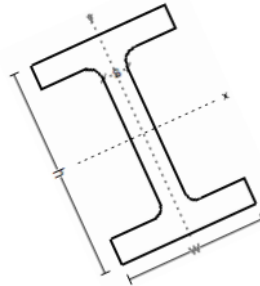
N.B.

- Alternativement, ψ peut être vu comme le rapport des valeurs absolues, puis ensuite il prend une valeur négative si les moments sont de signes opposés
- On a toujours $-1 \leq \psi \leq 1$
($-0.5 \leq \psi \leq 1$ pratiquement car on peut retourner la poutre)

$$M_{cr} = W_{el,y} \sigma_{cr,D} \longleftrightarrow \sigma_{cr,D} = \sqrt{\sigma_{Dv}^2 + \sigma_{Dw}^2}$$

■ Torsion Uniforme

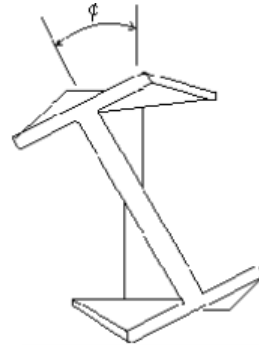
$$\sigma_{Dv} = \eta \frac{\pi}{L_D W_{el,y}} \sqrt{GK EI_z}$$



η	selon le chiffre B.6
L_D	longueur de déversement
$W_{el,y}$	module de section élastique selon l'axe fort de la section
G, E	selon le chiffre 3.2.2.1
K	constante de torsion uniforme
I_z	moment d'inertie de la section selon l'axe faible z.

■ Torsion non-uniforme

$$\sigma_{Dw} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_K^2}$$

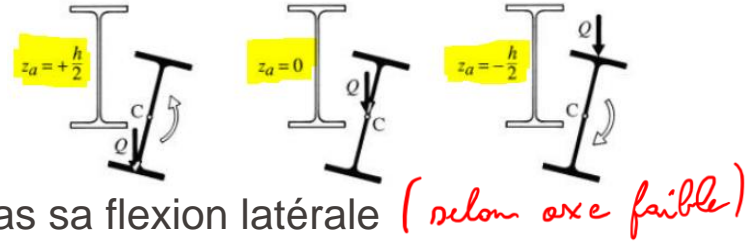


$\lambda_K = \frac{L_K}{i}$	élancement de la membrure comprimée
i	rayon de giration de la membrure comprimée
$L_K = \frac{L_D}{\sqrt{\eta}}$	longueur de déversement réduite
L_D	longueur de déversement (longueur du tronçon)

M_{cr} - Approche 2 – TGC10 (et Eurocode)

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{k_v k_\varphi L^2} \left(\sqrt{(C_2 z_a + C_3 \beta)^2 + \frac{I_\omega}{I_z} \left(\frac{G K k_\varphi^2 L^2}{\pi^2 E I_\omega} + 1 \right)} + C_2 z_a + C_3 \beta \right)$$

- L : Longueur de déversement l_D
- z_a : Position application charge la charge
- k_v et k_φ dépendent des conditions d'appuis:



- $k_v = 1$, Appui de la poutre **n'empêche** pas sa flexion latérale
 - $k_v = 0.5$, Appui de la poutre **empêche** sa flexion latérale
 - $k_\varphi = 1$, Gauchissement **NON** empêché (pas de raidisseurs)
 - $k_\varphi = 0.5$, Gauchissement empêché (avec des raidisseurs)
- C_1, C_2, C_3 : **TGC 10, Tableau 11.6** (type chargement et conditions appuis (k_v et k_φ))
- I_ω , (module d'inertie sectoriel), K (constante de torsion uniforme), β (caractéristique sectorielle de la section, $\beta=0$ pour section doublement symétrique) → formule dans TGC 10 p394
- **Approche 3:** Logiciel **LTBeam** calcul $M_{cr,D}$ pour toutes sortes de cas d'appuis et chargements

k_φ , k_v et Coefficients: C_1 , C_2 , C_3 pour $k_\varphi = 1$

Tableau 11.7 Conditions aux limites et valeurs approchées des coefficients d'encastrement d'une poutre dont les deux appuis sont identiques.

Schémas des appuis	Conditions aux limites	k_v et k_φ	Remarques
	$w = w_0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\varphi = 1.0$	Raidisseurs ou appuis latéraux au niveau de la membrure comprimée nécessaires afin d'empêcher la rotation de la poutre aux appuis. w_0 : déplacement vertical de l'appui.
	$w = 0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\varphi = 1.0$	Liaison articulée dans laquelle les cornières doivent être suffisantes pour empêcher la rotation de la poutre aux appuis.
	$w = 0$ $w'' = 0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\varphi = 1.0$	Liaison semi-rigide peu résistante en flexion et avec gauchissement non empêché des ailes. On néglige la rigidité à la torsion du poteau.
	$w = 0$ $w' = \phi_0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi'' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\varphi < 1.0$	Liaison semi-rigide résistante en flexion et avec gauchissement empêché des ailes ($k_\varphi < 1.0$). On néglige la rigidité à la torsion du poteau. ϕ_0 : inclinaison du poteau.
	$w = 0$ $w' = \phi_0$ $v = 0$ $v'' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi' = 0$	$k_v = 1.0$ $k_\varphi = 0.5$	Encastrement parfait de la poutre à la torsion, gauchissement empêché par les raidisseurs. On néglige la rigidité à la torsion du poteau. ϕ_0 : inclinaison du poteau.
	$w = 0$ $w' = 0$ $v = 0$ $v' = 0$ $\varphi = 0$ $\varphi' = 0$	$k_v = 0.5$ $k_\varphi = 0.5$	Encastrement parfait de la poutre à la flexion et à la torsion, gauchissement empêché par l'appui que l'on considère comme étant rigide à la torsion.

Tableau 11.8 Valeur des facteurs C_1 , C_2 et C_3 pour $k_\varphi = 1.0$.

Mode de chargement	$k_v = 1.0$			$k_v = 0.5$			$k_v = 2.0$		
	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3
M () M	1.00	①	1.00	1.00	①	1.76			
M () $M/2$	1.31	①	1.00	1.32	①	1.78			
M ()	1.77	①	1.16	1.76	①	1.83			
M () $M/2$	2.33	①	0.68	2.25	①	1.55			
M () M	2.56	①	0.00	2.25	①	0.00			
q	1.13	0.46	0.53	0.97	0.30	0.98			
q	-2.58	1.53	0.75	-1.49	2.00	1.07			
Q	1.36	0.59	1.73	1.07	0.43	3.06			
Q	-1.69	1.50	2.64	-0.94	0.71	4.80			
Q	1.05	0.43	1.12	1.01	0.41	1.89			
Q							$\frac{1.28}{\alpha}$	0.43	②
q							2.05	0.83	②

① Sans influence s'il n'y a pas de charge transversale

② Sans influence pour une section bisymétrique

Comparaison flambage et déversement

Sujet	Flambage	Déversement
Élément	Colonne	Poutre (traverse, solives, pannes...)
	Zone comprimée à cause de N (ou combinaison de N+M) dans une colonne	Zone comprimée à cause de M (ou combinaison de N+M) dans une poutre
Longueur à vérifier	l_k	l_D
Elancement	$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}}$	$\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{M_{y,pl}}{M_{cr}}}$ <i>classes 1, 2</i> <i>$M_{cr} \equiv M_{CRD}$</i>
Valeur critique	$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(l_k)^2}$	M_{cr} : 1. Annexe C SIA263 2. TGC10
Empêché si	$\bar{\lambda}_{k,y}$ et $\bar{\lambda}_{k,z} \leq 0.2$ (<i>relaxé selon z à 0.5</i>)	$l_D \leq l_{cr}$ ou $\bar{\lambda}_D \leq \mathbf{0.4}$
Facteur de réduction	χ_k	χ_D
Norme	SIA 263 4.5.1	SIA 263 4.5.2

Errata 2022, formules (50) et (51)

5.1.10.1 Dans le cas de barres à section constante, sollicitées en compression et en flexion selon les deux axes, la vérification de la stabilité peut être effectuée selon la formule:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{K,Rd}} + \frac{\omega_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{D,Rd}} + \frac{\omega_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0 \quad (50)$$

5.1.10.2 Dans le cas de sections I bisymétriques et de profilés creux rectangulaires laminés, sollicitées en compression et en flexion selon les deux axes, si le flambage hors du plan et le déversement ne sont pas empêchés, la vérification de la stabilité peut être effectuée selon la formule d'interaction suivante:

$$\left(\frac{\omega_y M_{y,Ed}}{M_{y,red,Rd}} \right)^\beta + \left(\frac{\omega_z M_{z,Ed}}{M_{z,red,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0 \quad (51)$$

$M_{D,Rd,min}$	valeur de calcul du moment de déversement selon le chiffre 4.5.2 avec un moment constant sur toute la longueur de la barre dans le cas d'une flexion selon les deux axes, avec la répartition effective des moments dans le cas d'une flexion selon un axe
$M_{D,Rd}$	valeur de calcul du moment de déversement selon le chiffre 4.5.2 avec la répartition effective des moments. Uniquement si $\omega_y = 1$ et $N_{k,Rd} = N_{ky,Rd}$

Vérification poutre-colonne

Déversement ?

$n = N_{ed}/N_{rd} \leq 0.15$?

oui

non

$I_D < I_{cr}$? (Tab. 6 SIA 263)

oui

non

Vérification de la
stabilité sans
déversement sous
interaction N+M

Vérification de la
stabilité avec le
déversement non-
empêché
N+M

TGC 10 : lectures et exercices conseillés

- Cours:

Chapitre 11: pp. 389 - 411

- Exemples numériques:

11.1, 11.2, 11.3, 11.4 , 11.5, 6.3

- Facultatif: refaire les exemples avec LTBeam