

# Résumé pour séries résistance en section Série 3

Prof. Alain Nussbaumer

**G. Murtas/J. Klok**

▪ **CIVIL235 - Structures en métal**

# EPFL Tables de matières

- I. Etapes dimensionnement et vérification
  - 1. (Choisir/respecter la classes de section)
  - 2. SIA 263 Tableau 7:
    - a. Vérification résistance en section
      - i.  $N+My$  et  $N+Mz$
      - ii.  $V+My$  ou  $V+Mz$
      - iii.  $N+My+Mz$
      - iv. Tous les efforts:  $N + Vz + Vy + My + Mz$  (*plus tard, dans la Série 4*)
    - b. Introduction, vérification stabilité
      - i. Flambage (cas 1, *autres cas prochainement*)
      - ii. Déversement (*prochainement*)
- II. Torsion

# Étapes à suivre

Dimensionnement et vérification

# I. Choisir/respecter la classe de section

1<sup>ère</sup> lettre de la  
méthode

2<sup>ème</sup> lettre de la  
méthode

Tableau 4: Classification des sections

Classe de section	Détermination des efforts intérieurs	Détermination de la résistance ultime des sections	Méthode	Critères d'élancement
1	plastique	plastique	PP	tableaux 5a et 5b
2	élastique	plastique	EP	tableaux 5a et 5b
3	élastique	élastique	EE	tableaux 5a et 5b
4	élastique	élastique réduit	EER	chiffre 4.5.3

**1ère lettre indique le type de sollicitation:** (ex. «E» pour méthode EP)

- Plastique: classe 1: on cherche Q en passant par la formation de rotules plastique
- Élastique: classe 2-3-4: on cherche Q en calculant les charges

**2ème lettre indique le type de résistance du profilé:** (ex. «P» pour méthode EP)

- Plastique: classe 1-2: ex. on calcule avec  $A_v$  et  $W_{pl}$
- Élastique: classe 3-4: ex. on calcule avec  $A_w$  et  $W_{el}$

# Vérification résistance en section (et stabilité, vu plus tard)

Tableau 7: Renvois pour la vérification de la résistance et de la stabilité aux chiffres de la présente norme, en fonction de la sollicitation et de la classe de section de l'élément considéré

Classe de section		1 (PP) et 2 (EP)	3 (EE)	4 (EER)
Effort normal	Résistance	5.1.2	5.1.2	5.3.2
	Stabilité	4.5.1	4.5.1	5.3.8
Flexion	Résistance	5.1.3	5.2.3	5.3.3
	Stabilité	4.5.2	4.5.2	5.6.2
Effort tranchant	Résistance	5.1.4	5.2.4	5.3.4
	Stabilité	4.5.4	4.5.4	4.5.4
Flexion et effort normal	Résistance	5.1.6	5.2.6	5.3.5
	Stabilité	5.1.9 et 5.1.10	5.2.9	5.3.9, 5.6.2
Flexion et effort tranchant	Résistance	5.1.5	5.2.5	5.3.6
	Stabilité	4.5.2 et 4.5.4	4.5.2 et 4.5.4	4.5.4, 5.6.2 et 5.6.3
Flexion, effort normal et effort tranchant	Résistance	5.1.7 et 5.1.8	5.2.7 et 5.2.8	5.3.7
	Stabilité	4.5.4, 5.1.9 et 5.1.10	4.5.4 et 5.2.9	4.5.4 et 5.3.9

**Attention:**

Pour chaque élément à dimensionner, il faudra vérifier la **résistance en section**

**ET**

la **stabilité** (Flambage ou/et déversement)

# III. En détail : Résistance en section, Interaction entre efforts (cas plastique) N+My et N+Mz

N+My : Verification:  $M_{ed} < M_{y,N,Rd}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$$

$$a = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad \text{mais } a \leq 0,5$$

$$\xi = \frac{1}{1 - 0,5a}$$

$$M_{y,N,Rd} \leq M_{y,Rd}$$

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,Rd} \xi (1 - n)$$

N+Mz : Verification:  $M_{ed} < M_{z,N,Rd}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$$

$$a = \frac{A - 2bt_f}{A} \quad \text{mais } a \leq 0,5$$

pour  $n > a$

$$M_{z,N,Rd} = M_{z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n - a}{1 - a} \right)^2 \right]$$

pour  $n \leq a$

$$M_{z,N,Rd} = M_{z,Rd}$$

# III. En détail: Résistance en section, Interaction entre efforts (cas plastique)

## V+My ou V+Mz

Si  $V_{ed} < 0.5V_{rd}$  alors simplement\*:

$$M_{ed} < M_{rd} = \frac{W * f_y}{\gamma_{m1}}$$

Si  $V_{ed} > 0.5 V_{rd}$  alors  $M_{ed} < M_{v,rd}$

$$M_{V,Rd} = \frac{bt_1 f_y (h - t_1)}{\gamma_{M1}} + \frac{h_w^2 t_2 f_y}{4 \gamma_{M1}} \left[ 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \right)^2 \right]$$

\*Cette condition s'applique très souvent: nous «négligeons» l'interaction avec V si  $V_{ed} < 0.5V_{rd}$

## N+My+Mz

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 0,9$$

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0 \quad \beta \geq 1,1 \quad \alpha = 2$$

- $M_{y,N,Rd}$  et  $M_{z,N,Rd}$  se calculent comme montré précédemment
- Si  $N=0$ , on aura  $M_{y,Rd}$  et  $M_{z,Rd}$

# Torsion

Torsion uniforme et non-uniforme



# Torsion : rappel

- 2 types d'efforts internes induits par  $T$  : contraintes normales et tangentiels
- 2 modes de résistance :
  - Torsion uniforme  $T_v$  : prépondérant pour sections fermées
  - Torsion non uniforme  $T_w$  : prépondérant pour sections ouvertes (que si **gauchissement empêché**)
  - En torsion mixte :  $T = T_v + T_w$
  - La torsion induit un bimoment (flexion antisymétrique des ailes)

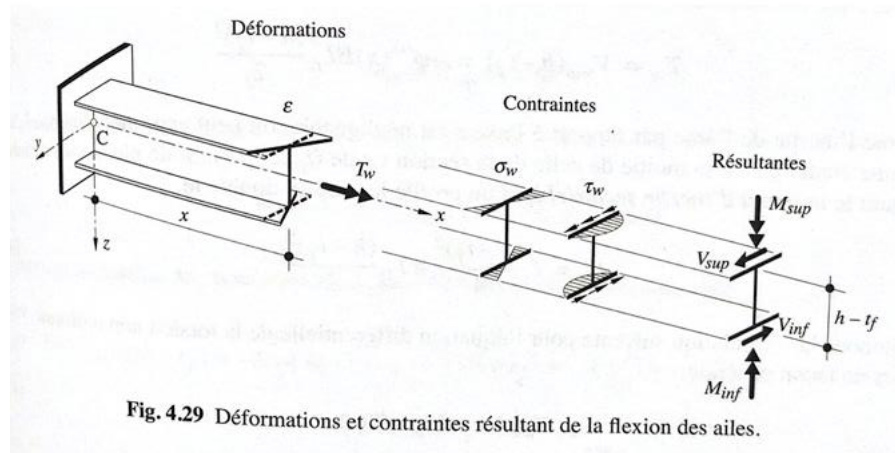


Fig. 4.29 Déformations et contraintes résultant de la flexion des ailes.

# Torsion : vérification torsion mixte

- Torsion : pas dans le tableau 7, SIA 263 ... comment faire ?
- Selon **SIA 263, § 4.3.5.4**, applicable pour la torsion :

- calcul élastique : utiliser Von Mises :  $\sigma_{g,Ed} = \sqrt{\sigma_{Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2} \leq \sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$
- Exemple SIA 263 :

Pour un état plan de contrainte, par ex. des éléments de section dans le plan x-y, la condition suivante doit être satisfaite:

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + 3\tau_{xy,Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6)$$

## Torsion mixte (TGC 10, §4.5.4)

## Efforts internes

$$M_{\omega}(x) = -EI_{\omega}\phi''(x) = \frac{TI}{\chi} \left( -\operatorname{th}\chi \operatorname{ch}\chi \frac{x}{l} + \operatorname{sh}\chi \frac{x}{l} \right)$$

$$T_w(x) = M'_{\omega}(x) = T \left( -\operatorname{th}\chi \operatorname{sh}\chi \frac{x}{l} + \operatorname{ch}\chi \frac{x}{l} \right)$$

$$T_v(x) = T - T_w(x) = T \left( 1 + \operatorname{th}\chi \operatorname{sh}\chi \frac{x}{l} - \operatorname{ch}\chi \frac{x}{l} \right)$$

A utiliser pour calculer les contraintes dues à  $T_v$

$\chi$	: rapport des rigidités de torsion de la barre ( $\chi = l \sqrt{GK/EI_{\omega}}$ )
$l$	: longueur de la barre
$GK$	: rigidité de torsion uniforme
$EI_{\omega}$	: rigidité de torsion non uniforme

## Torsion non uniforme (TGC 10, §4.5.3)

## Contraintes

$$\sigma_w(y, z) = \frac{M_{\omega}}{I_{\omega}} \omega(y, z) \quad S_{\omega} = \int_A \omega(y, z) dA$$

$$\tau_w = -\frac{T_w}{I_{\omega}} \omega(y, z) \quad I_{\omega} = \int_A \omega(y, z)^2 dA$$

Pour section double té

$$S_{\omega, \max} = -\frac{1}{16} t_f (h - t_f) b^2$$

$$I_{\omega} = \frac{1}{3} t_f (h - t_f)^2 \left( \frac{b}{2} \right)^3$$

$M_{\omega}$  = bimoment de torsion

$S_{\omega}$  = moment statique sectoriel

$I_{\omega}$  = inertie sectorielle

# IV. Bilan Série 3

- **Partie théorique**
- **Partie pratique: Problème 1**
  - Calcul plastique ( $\neq$  Série 2, Calcul élastique)
  - Panne inclinée: Résistance  $M_y$  et  $M_z$
  - Tableau 7 SIA 263
  - On donne les profilés (IPE 180 et HEA 140) et l'action  $M_{Ed}$  :  
vérification  $\neq$  dimensionnement  $\rightarrow$  cf. introduction de la Série 2
  - Rappel : facteur de forme :  $k = M_{pl}/M_{el} = W_{pl}/W_{el}$
- **Partie pratique: Problème 2**
  - Vérification à la torsion d'un porte-à-faux : calcul élastique
  - Quelle section vérifier ? Ici donnée : encastrement ( $x=0$ )
  - Réfléchir à quelles contraintes calculer et à utiliser dans Von Mises pour la vérification

# TGC 10 : lectures et exercices conseillés

- Cours:

Chapitre 4: 89- 138

- Exemples numériques: *(utiles aussi pour l'examen !)*

4.4 - 4.5 - 4.9 (révisions concepts de MDS, interaction)

4.7 - 4.8 - 4.10 - 4.11 (Torsion uniforme, non-uniforme)