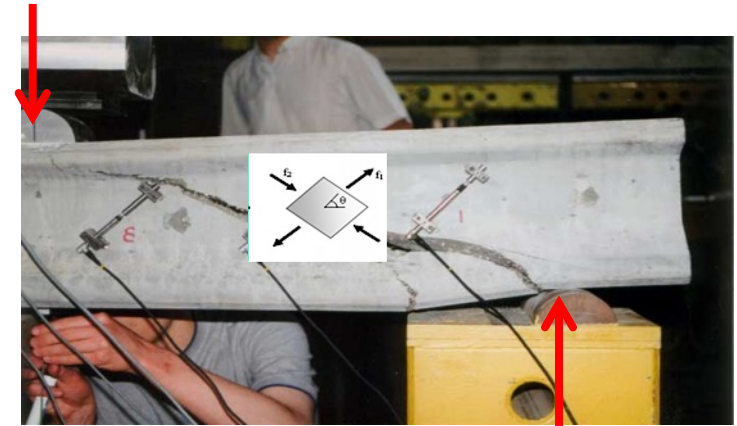
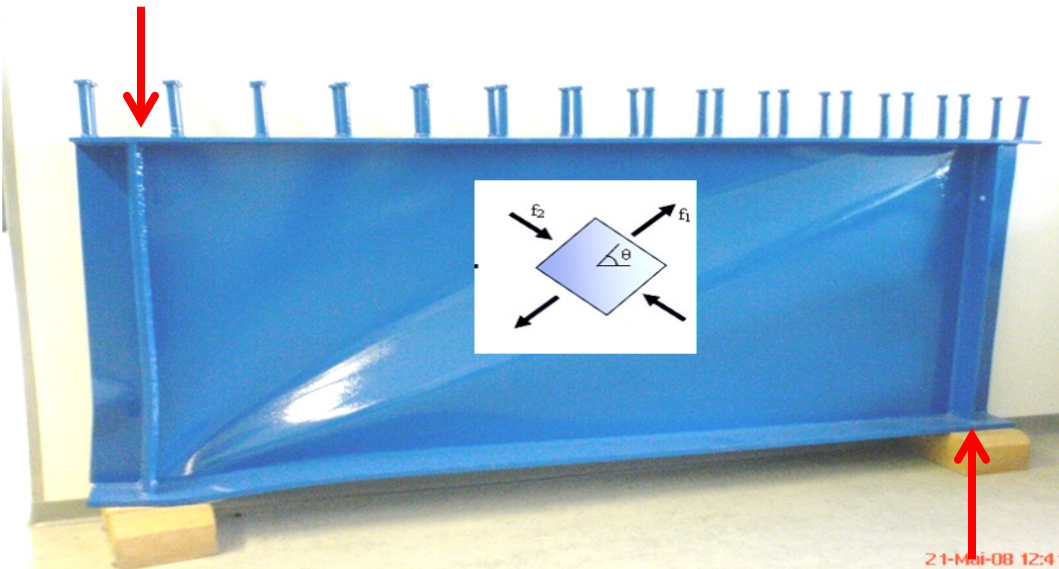


Cours structures en métal

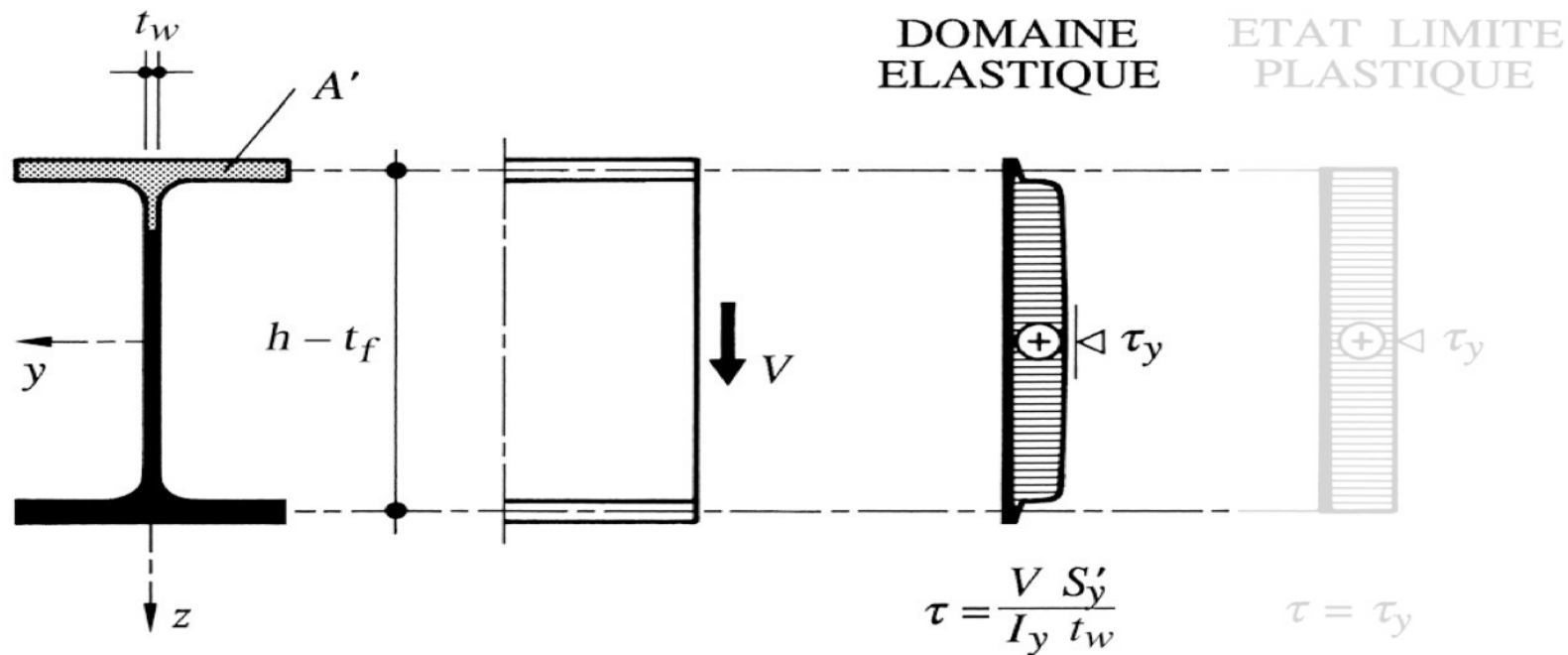
TGC 10, chapitre 4:
Résistance en section, partie 2

RESISTANCE A UN EFFORT TRANCHANT



- Sans voilement, ce chapitre
- Avec voilement, TGC 10 chap. 12

Fig. 4.15: Répartition contraintes tangentielles dans rectangle & HEA



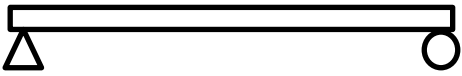
Note, sans voilement si:

$$\frac{h - t_f}{t_w} \leq \sqrt{\frac{4E}{f_y}}$$

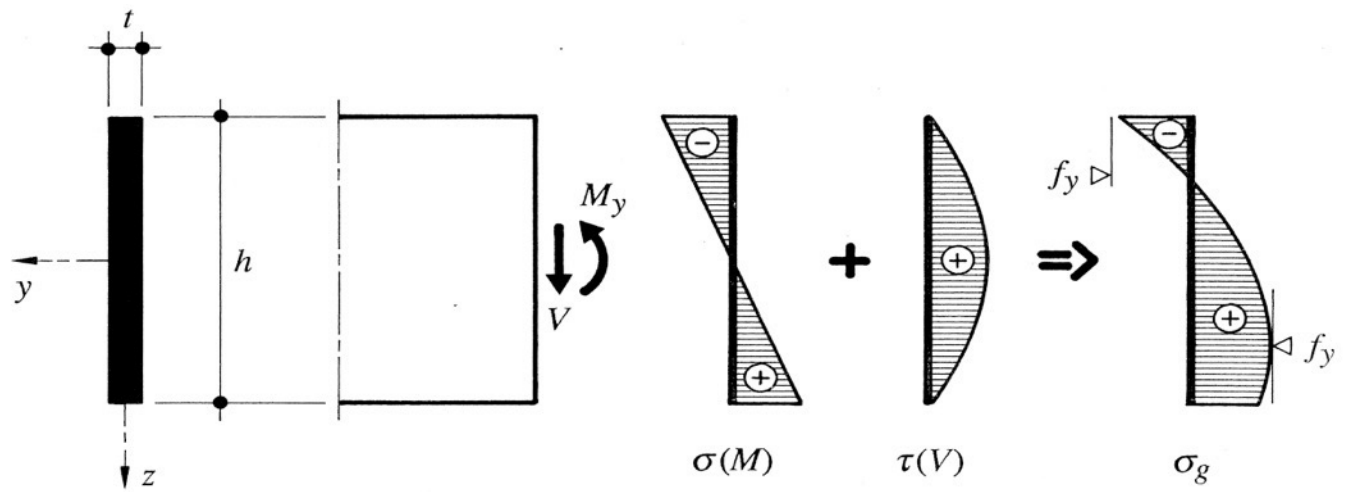
$$V_{el,Rd} = \frac{\tau_y}{\gamma_{M1}} \frac{I_y \cdot t_w}{S}$$

Fig. 4.36: Interaction M + V, résistance élastique

Poutre:



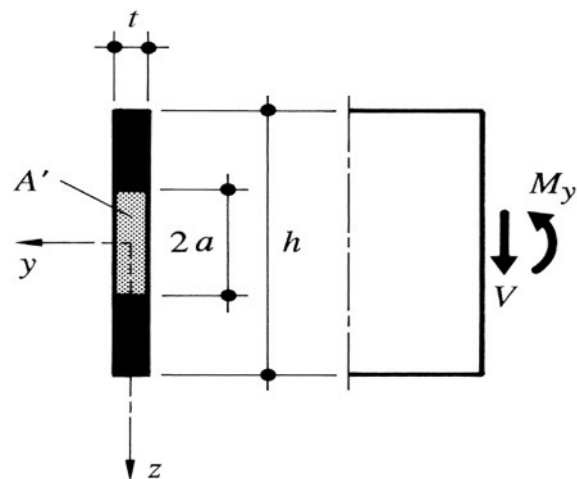
En section: cas section rectangulaire



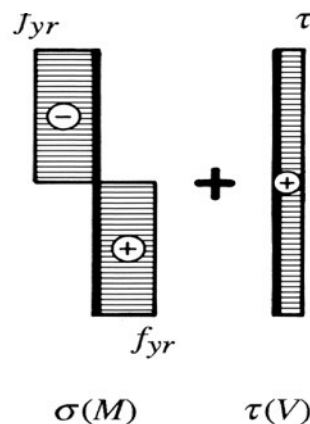
$$\sigma_{Ed} = \sqrt{(\sigma(M_{Ed}))^2 + 3 \cdot (\tau(V_{Ed}))^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_M}$$

Fig. 4.37: Interaction M + V, résistance plastique

Section rectangulaire

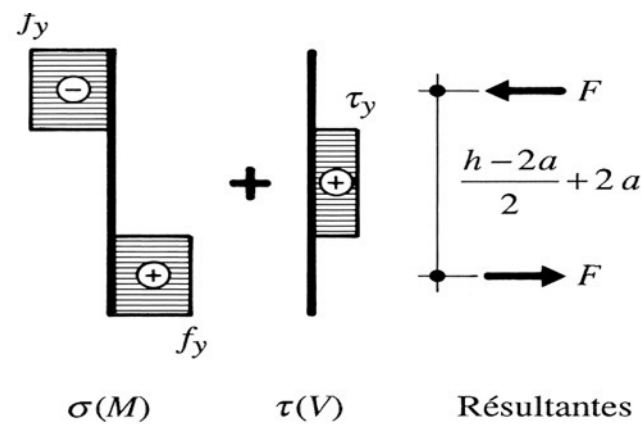


Modèle 1



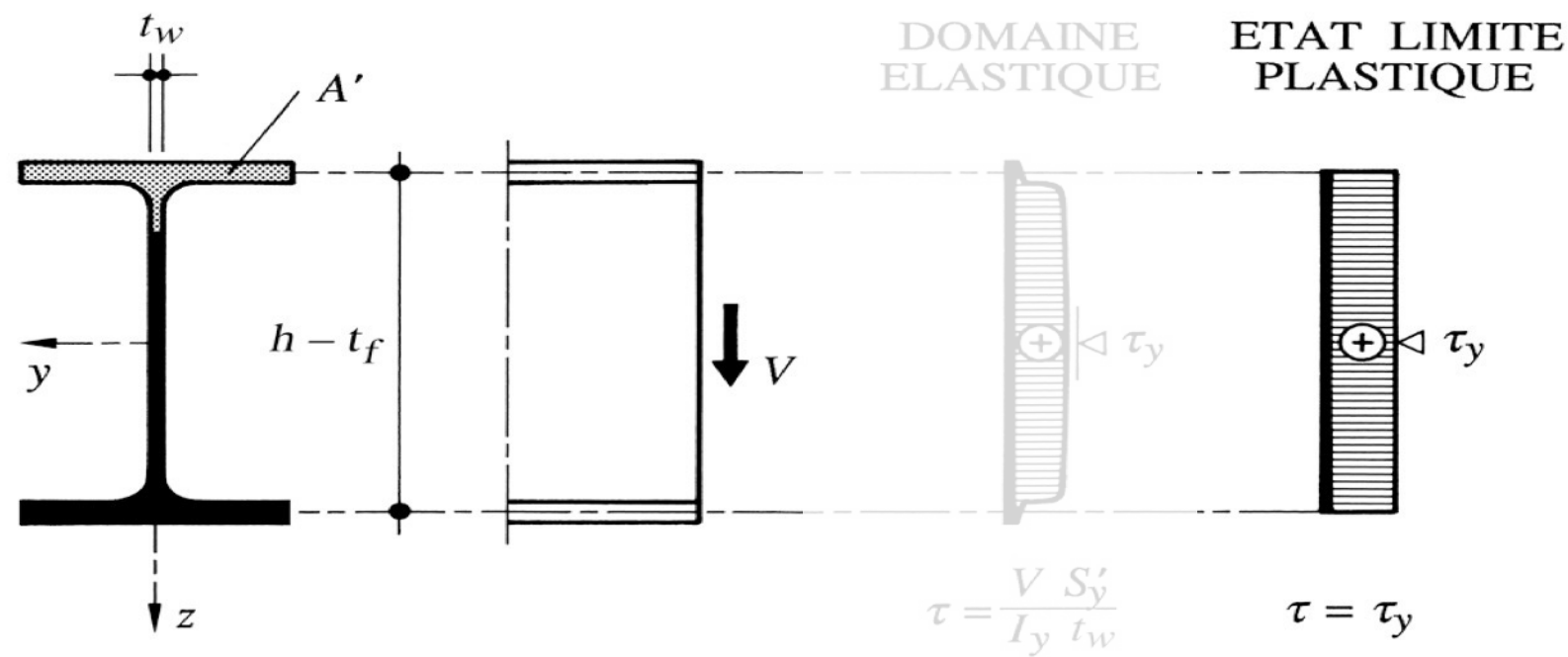
$$f_{yr} = (f_y^2 - 3\tau_{Ed}^2)^{1/2}$$

Modèles 2 et 3



$$A_w = A_v = 2at$$

Profilé en double-té, résistance plastique (Fig. 4.15)



Note, sans voilement si:

$$\frac{h - t_f}{t_w} \leq \sqrt{\frac{4E}{f_y}}$$

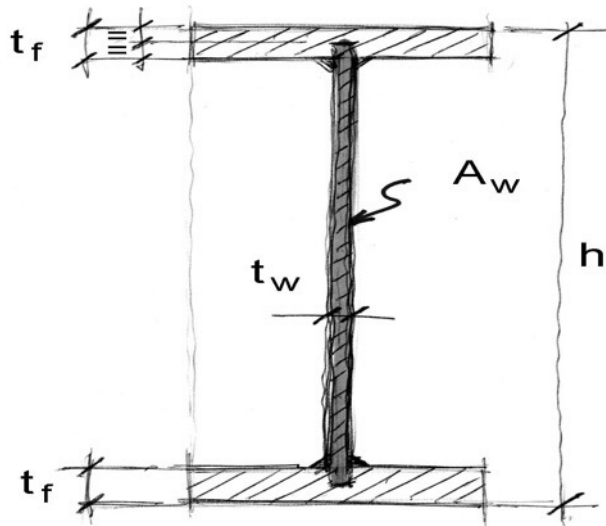
$$V_{el,Rd} = \frac{\tau_y}{\gamma_{M1}} \frac{I_y \cdot t_w}{S}$$

$$V_{pl,Rd} = \tau_y \cdot A_w / \gamma_{M1}$$

$$V_{pl,Rd} = \tau_y \cdot A_V / \gamma_{M1}$$

Résistance plastique : Définition de l'aire de cisaillement

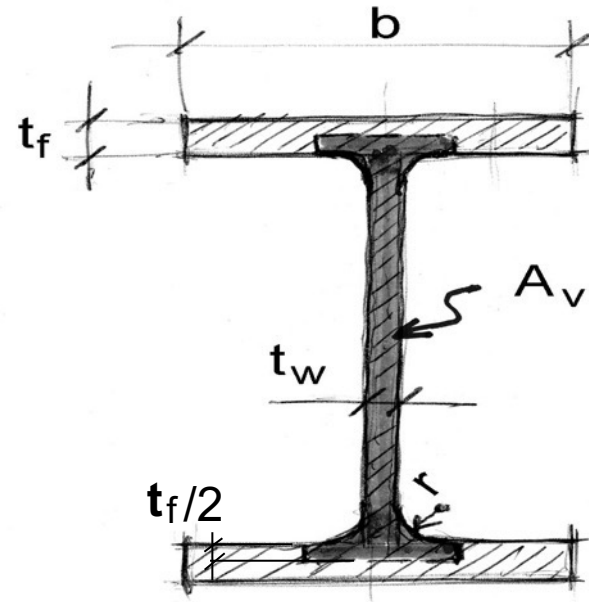
1^{er} et 2^{ème} modèles : A_w
(simplifié, SIA 161, SIA 269/3)



$$A_w = (h - t_f) t_w$$

$$A_w < A_v$$

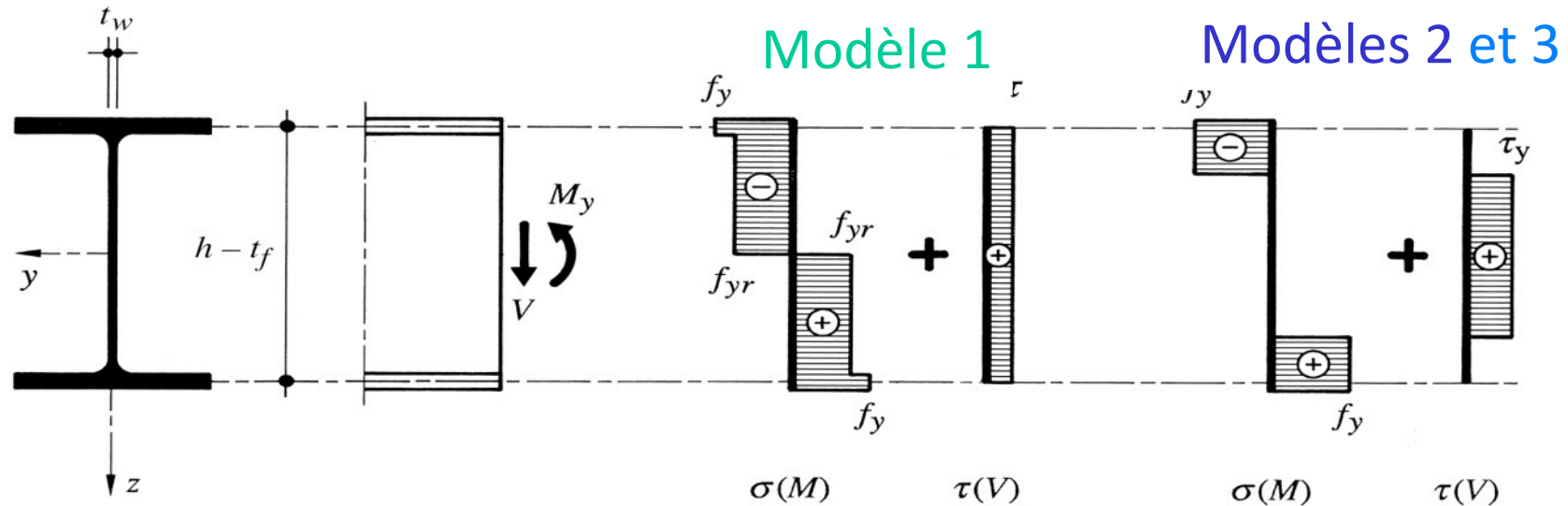
3^{ème} modèle : A_v (SIA 263 et EC 3)



$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

Fig. 4.38: Interaction M + V, résistance plastique profilé double-té

Profilé laminé en double té



$$f_{yr,\hat{a}me} = (f_{y,\hat{a}me}^2 - 3\tau_{Ed}^2)^{1/2}$$

Interaction M + V, résistance profilé laminé en double-té

Avec modèle 1, interaction toujours considérée

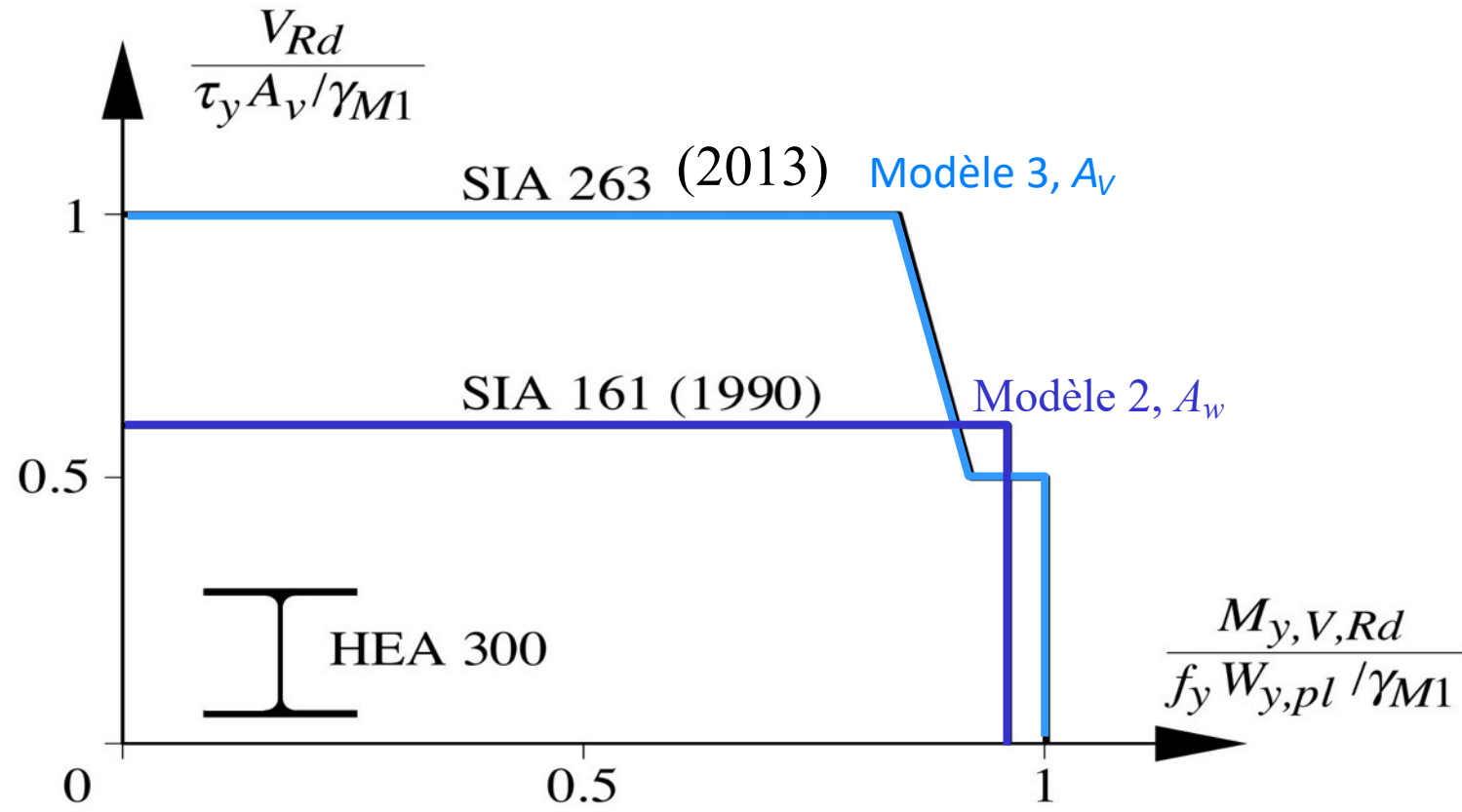
Avec modèle 2, A_w pas d'interaction à considérer

Avec modèle 3, A_v :

- Etant donné l'augmentation de V_{Rd} pour les profilés laminés, contrôler désormais l'interaction M, V
- Réduction de la valeur de calcul du moment résistant:

$$M_{V,Rd} = \underbrace{\frac{f_y b t_f (h - t_f)}{\gamma_{M1}}}_{\text{Moment écoulement ailes } M_{fd}} + \underbrace{\frac{h^2 t_w f_y}{4 \gamma_{M1}}}_{\text{M. plastique « âme »}} \underbrace{\left(1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^2\right)}_{\text{Facteur réduction}}$$

Fig. 4.39: Diagramme d'interaction plastique M + V



Vérification sous interaction M + V

- SIA 263 § 5.1.2: Pour une vérification plastique selon axe fort, utiliser A_v
- EN1993-1-1, identique, plus d'information sur le calcul de A_v pour les différents types de profilés

Avec modèle 3, A_v :
$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \tau_y \cdot A_v / \gamma_{M1}$$

$$M_{Ed} \leq M_{V,Rd} \quad \text{Réduction de } M_{Rd} \text{ si } V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$$

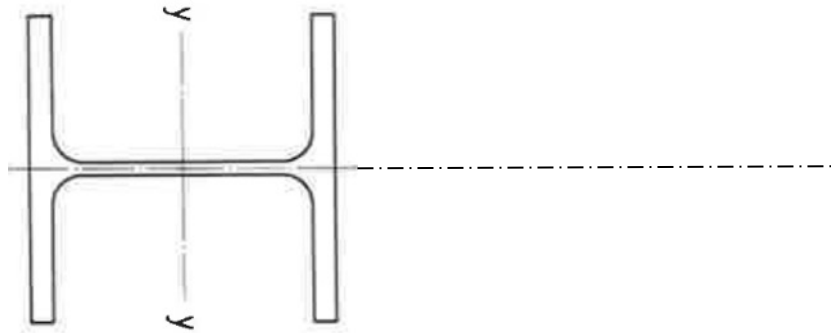
Remarques:

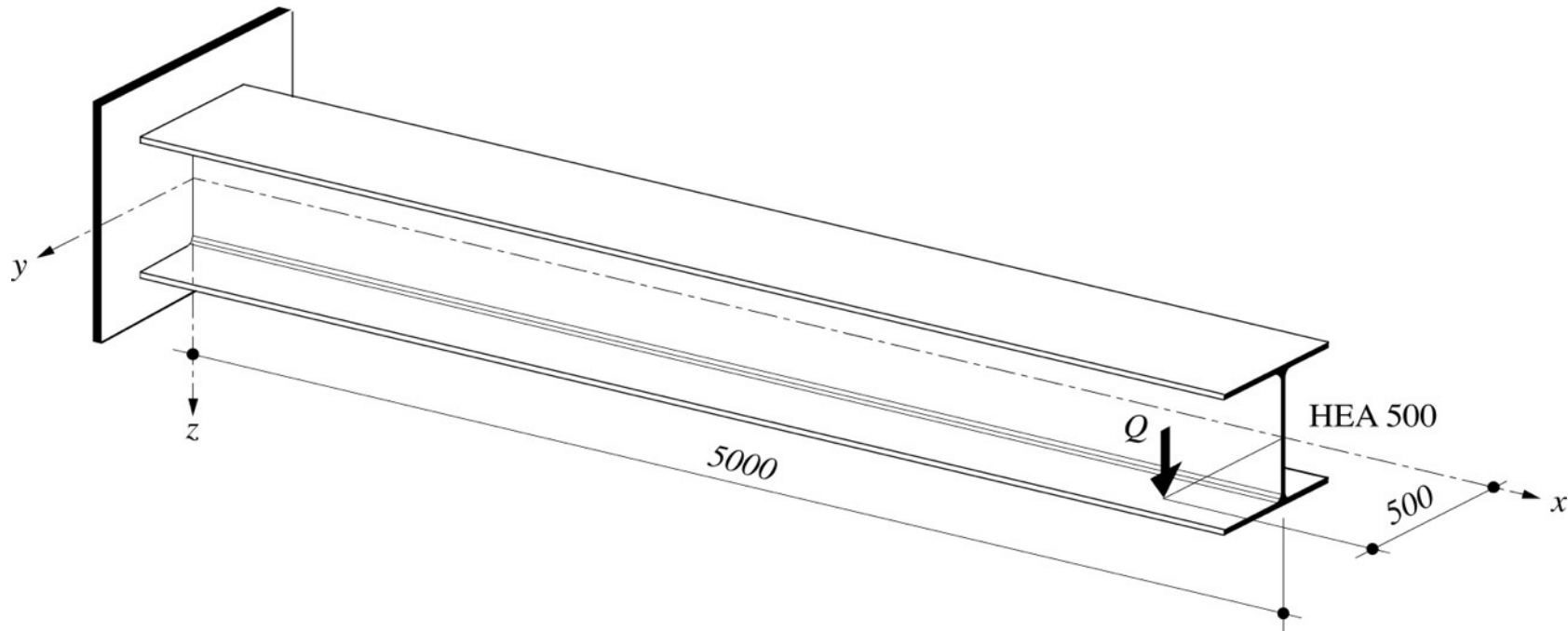
- Cas élastique et simplification, voir page suivante
- Eurocodes 2nd generation (2025), modèle utilisant A_v aussi pour d'autres cas et formules de réduction de M_{Rd} revues

Remarques sur résistance à l'interaction M + V

- Cas élastique, règles spécifiques
(mais peut toujours utiliser Von Mises)
$$\sigma_{Ed} = \sqrt{(\sigma(M_{Ed}))^2 + 3 \cdot (\tau(V_{Ed}))^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_M}$$
- En résistance élastique (SIA 263 § 5.2.4, classe 3), aussi condition $V_{Ed} < 50\% V_{el,Rd}$
- Sinon, alors réduction de $M_{y,Rd}$, devient $M_{y,V,Rd}$
- On a vu : $A_v > A_w$
- Donc pour prédimensionnement plastique, on peut tjs utiliser A_w (car pas d'interaction)
$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \tau_y \cdot A_w / \gamma_{M1}$$
$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

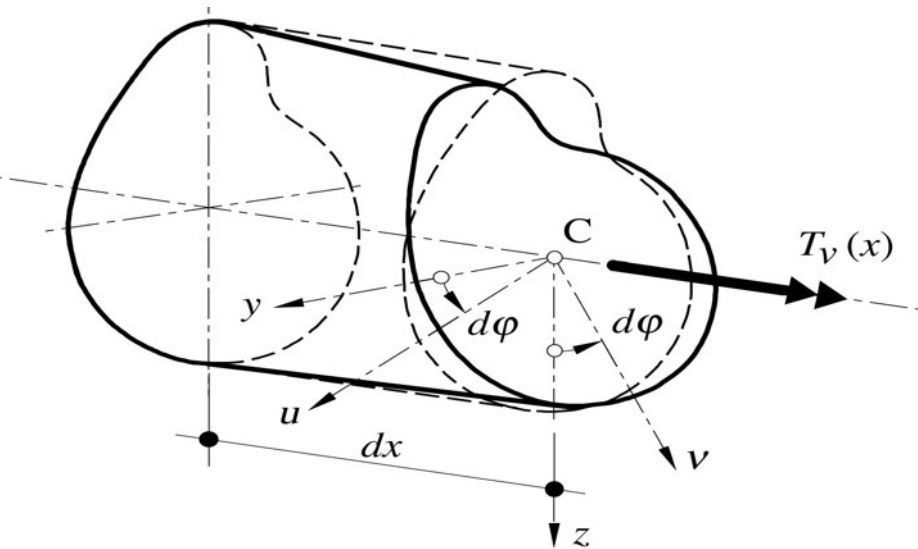
Et si V selon axe faible ?





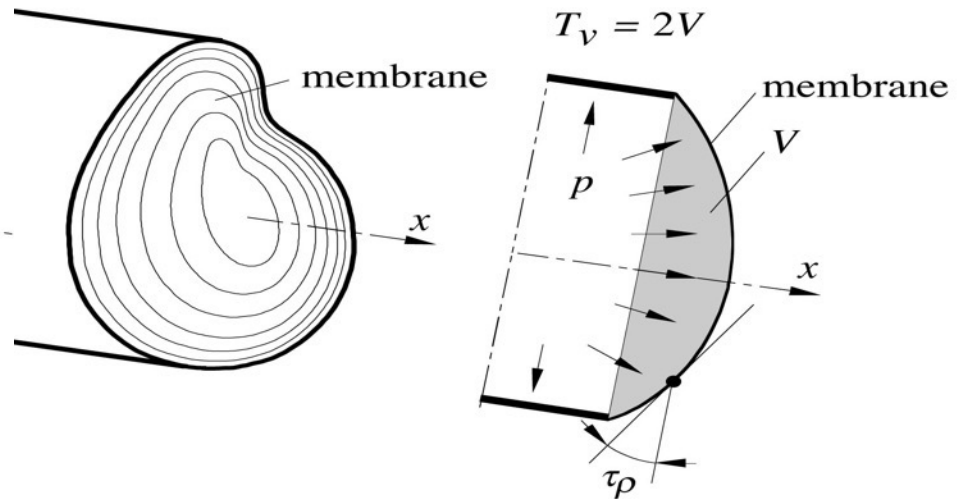
Une introduction uniquement, utile pour la résistance au déversement

ANNEXE Fig. 4.17 et 4.18: Torsion uniforme (St-Venant)



$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{T_V(x)}{GK}$$

$$T_V = \int_A \tau_\rho \cdot \rho \cdot dA$$

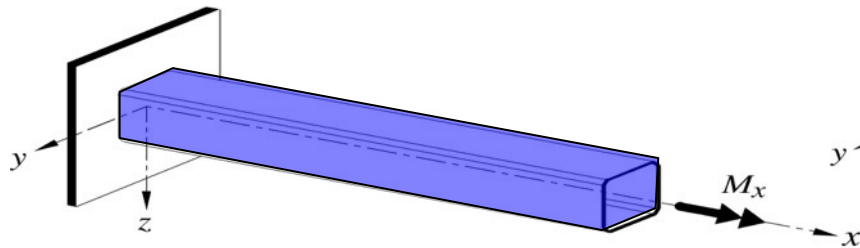


Analogie de la membrane.

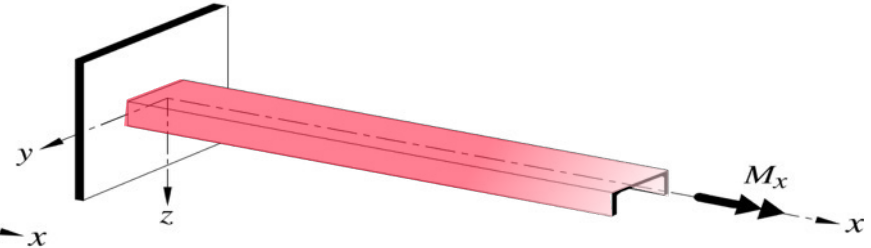
$K [\text{mm}^4]$ = cte de torsion uniforme (= $J = I_x$ dans TGC 2)

G = module de glissement = $E / 2(1+\nu) = 81000 \text{ N/mm}^2$

Fig. 4.16: Comportement sous un moment de torsion



(a) Section fermée.



(b) Section ouverte.

Mode prépondérant de résistance,
torsion uniforme : $M_x = T_v$

Flux de cisaillement fermé, τ_v

Mode prépondérant de résistance,
torsion non-uniforme: $M_x = T_w$

En particulier à l'encastrement car
gauchissement empêché, flux de
contraintes de torsion non-uniforme
 σ_w et τ_w

Note: modèles toujours ELASTIQUES

Fig. 4.23: Comparaison différentes sections en torsion

Question 2: Quel est le mode de résistance préférentiel de chacune des sections ci-dessous ?

2.1. A) T_v

B) T_w

2.2.

A) T_v

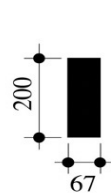
B) T_w

2.3.

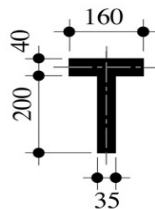
A) T_v

B) T_w

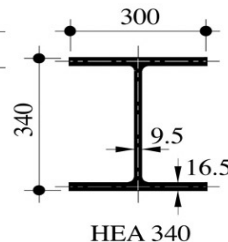
Section
rectangulaire



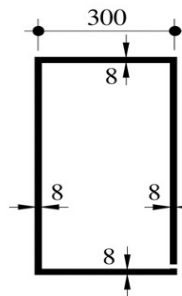
Section
en té



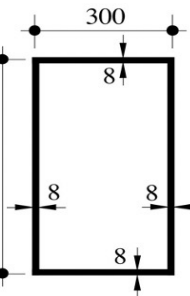
Profilé
laminé



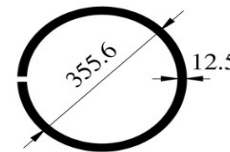
Caisson
ouvert



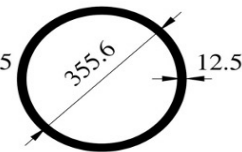
Caisson
fermé



Tube
ouvert



Tube
fermé



ROR 355.6 · 12.5

2.4.

A) T_v

B) T_w

2.5.

A) T_v

B) T_w

2.6.

A) T_v

B) T_w

Exemple 4.7: Fig. 4.23: Comparaison K ($\times 10^6 \text{ mm}^4$) pour différentes sections

$$A = 13400 \text{ mm}^2$$

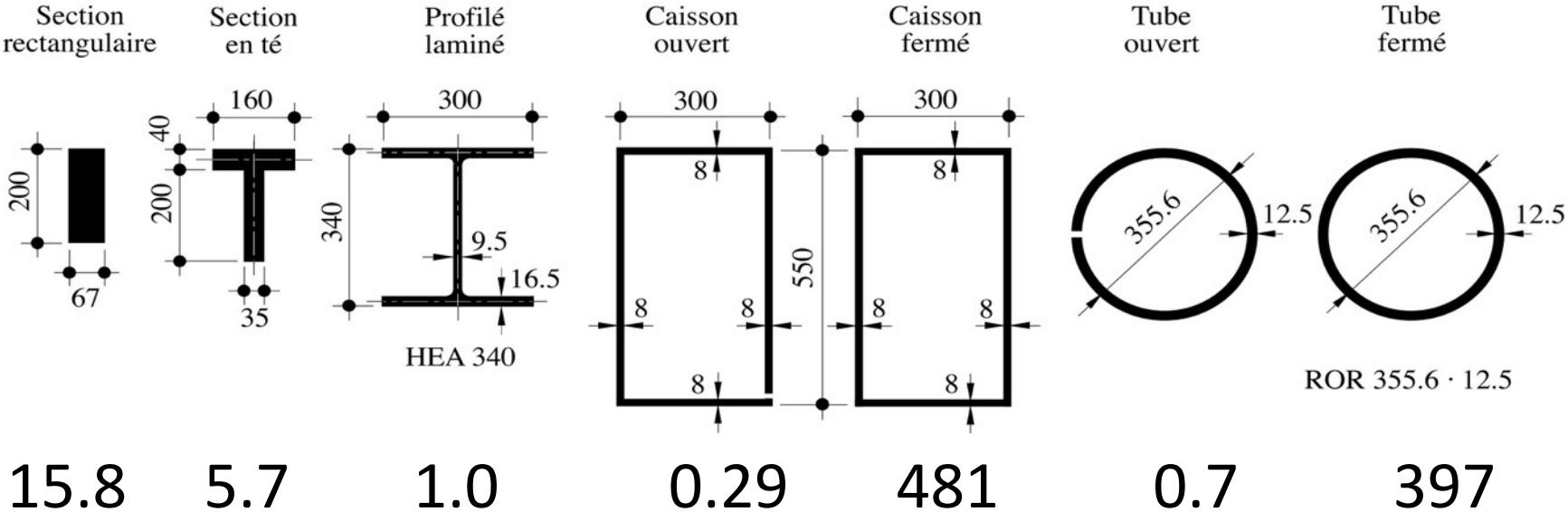
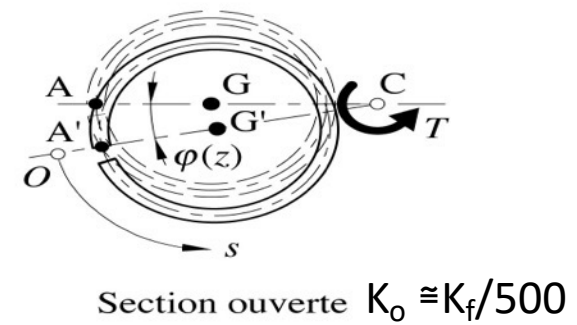
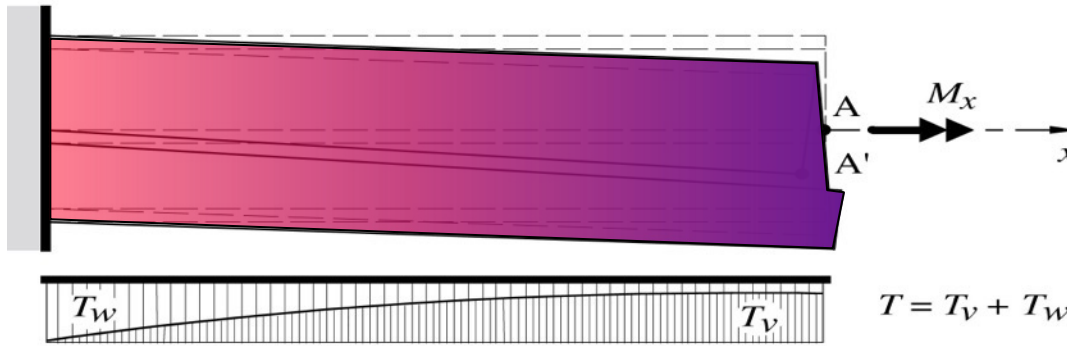
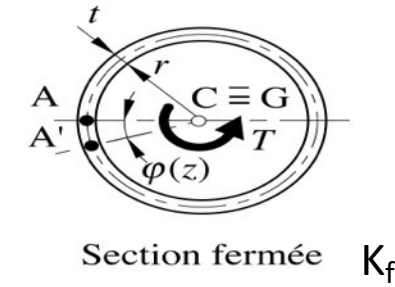
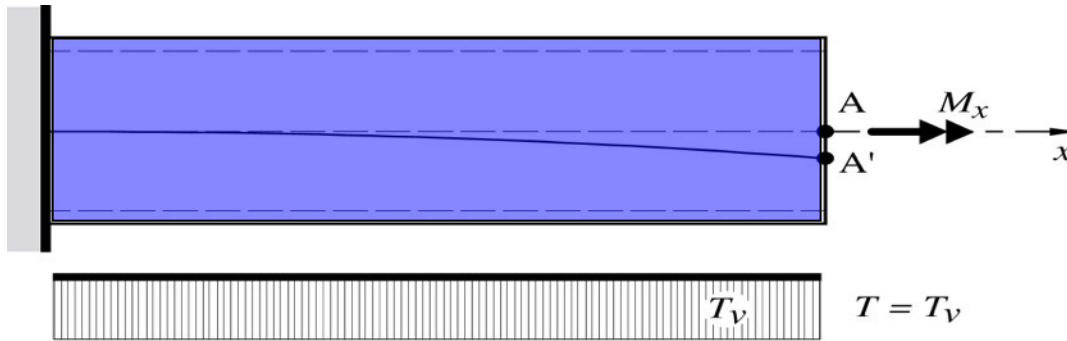


Fig. 4.26: Deux cas de sections circulaires en torsion



$$T = T_v + T_w$$

Fig. 4.28: Décomposition rotation barre prismatique encastrée

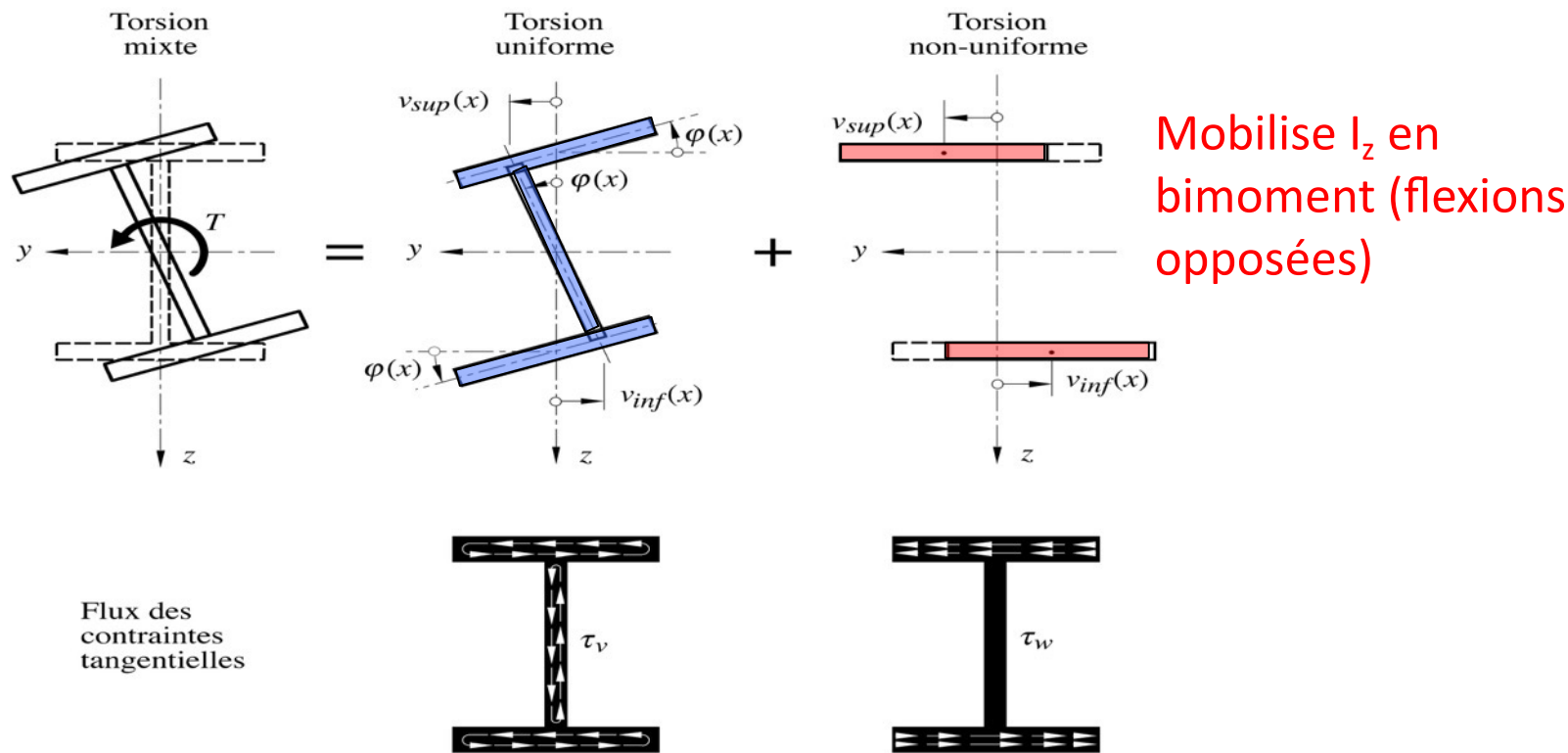
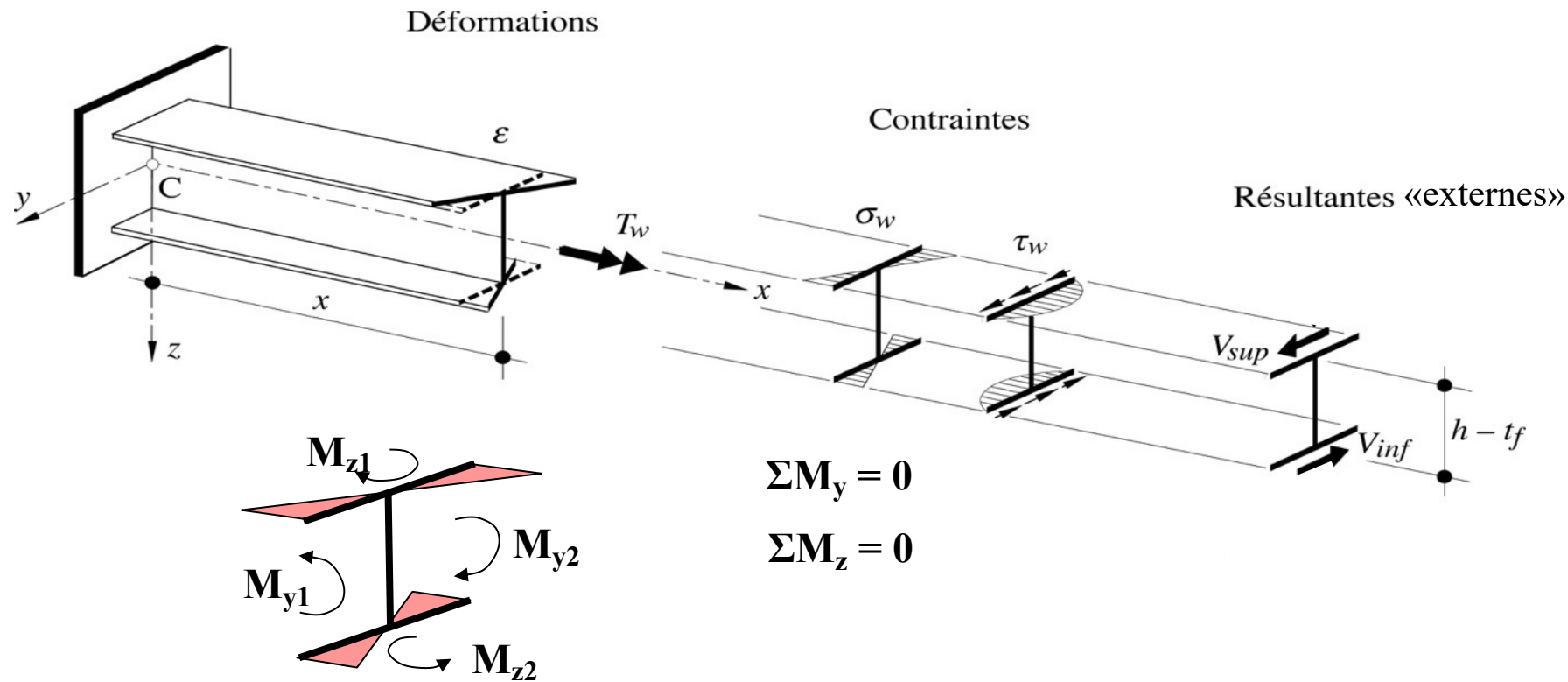


Fig. 4.29: Flexion antimétrique, dans leur plan, des ailes



Détermination des contraintes en torsion non-uniforme

Equ. différentielle de torsion non-uniforme: $T_{\omega}(x) = -EI_{\omega}\varphi'''(x)$ (4.51)

Contraintes de cisaillement: $\tau_{\omega} = -\frac{T_{\omega} \cdot S_{\omega}}{t \cdot I_{\omega}}$ (4.57a)

Normales (bimoment de torsion):

$$M_{\omega} = -EI_{\omega}\varphi'' \quad \sigma_{\omega} = \frac{M_{\omega}}{I_{\omega}} \cdot \omega \quad (4.57b)$$

ω coordonnée sectorielle normalisée

I_{ω} moment d'inertie sectorielle (mm⁶)

S_{ω} moment statique sectoriel (mm⁴)

À retenir, pour profilé double-té (4.59):

$$I_{\omega} = I_z \frac{(h - t_f)^2}{4} = I_{aile,z} \frac{(h - t_f)^2}{2}$$

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

Fig. 4.42: Exemple 4.10, section fermée sous interaction d'efforts

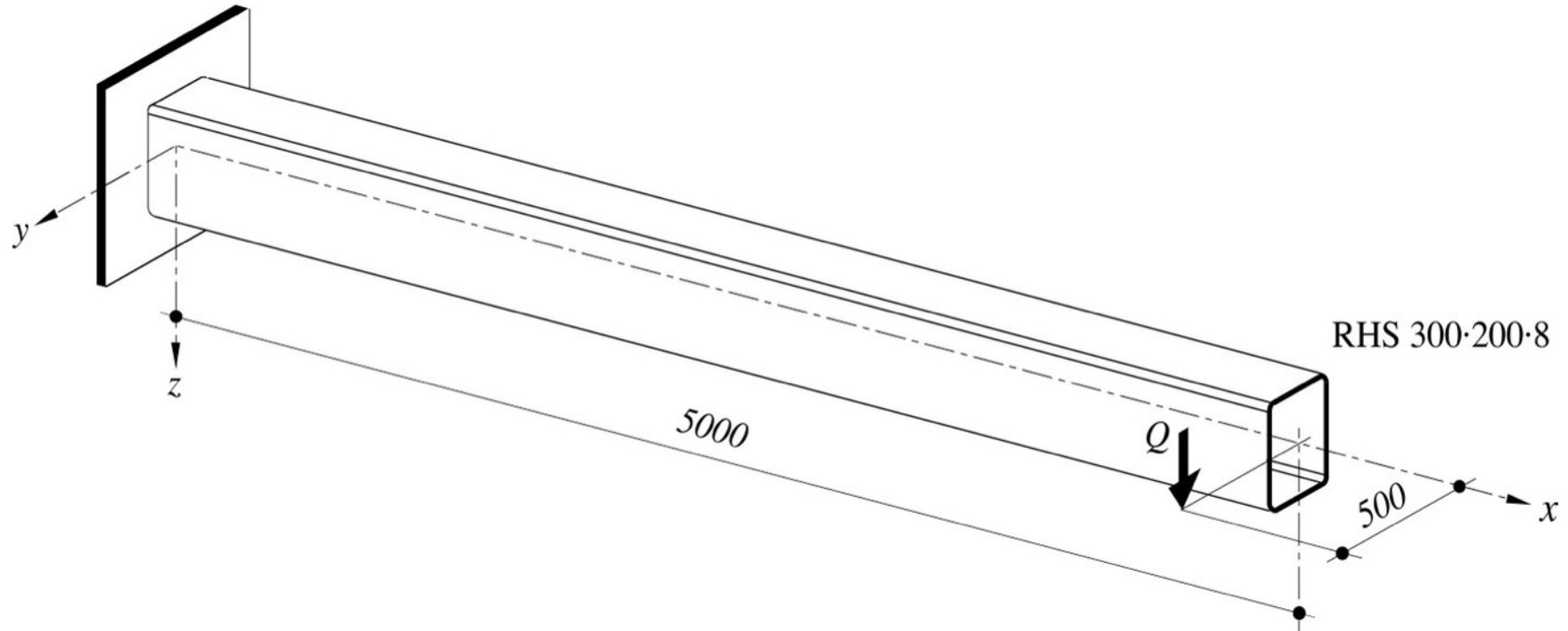


Fig. 4.43: répartitions des contraintes σ et τ à l'encastrement

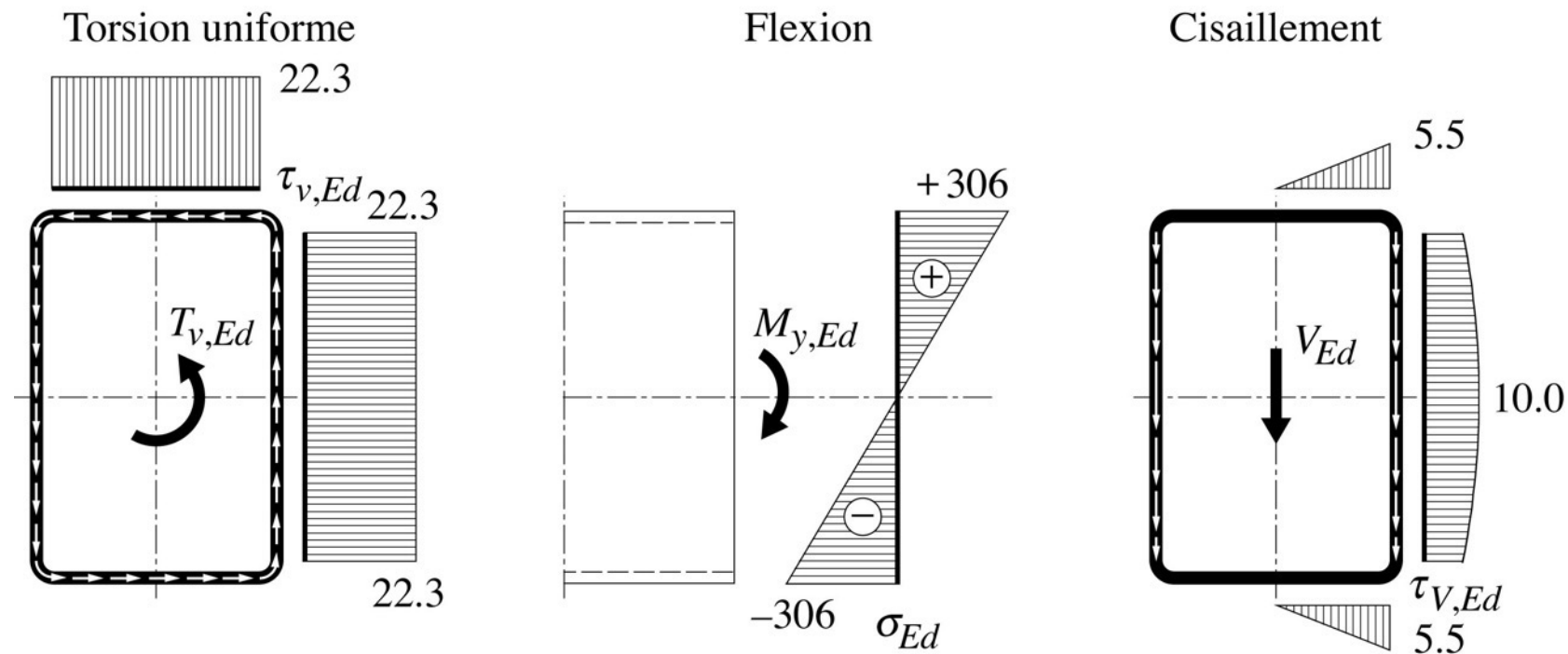


Fig. 4.44: Exemple 4.11, section prismatique sous interaction d'efforts

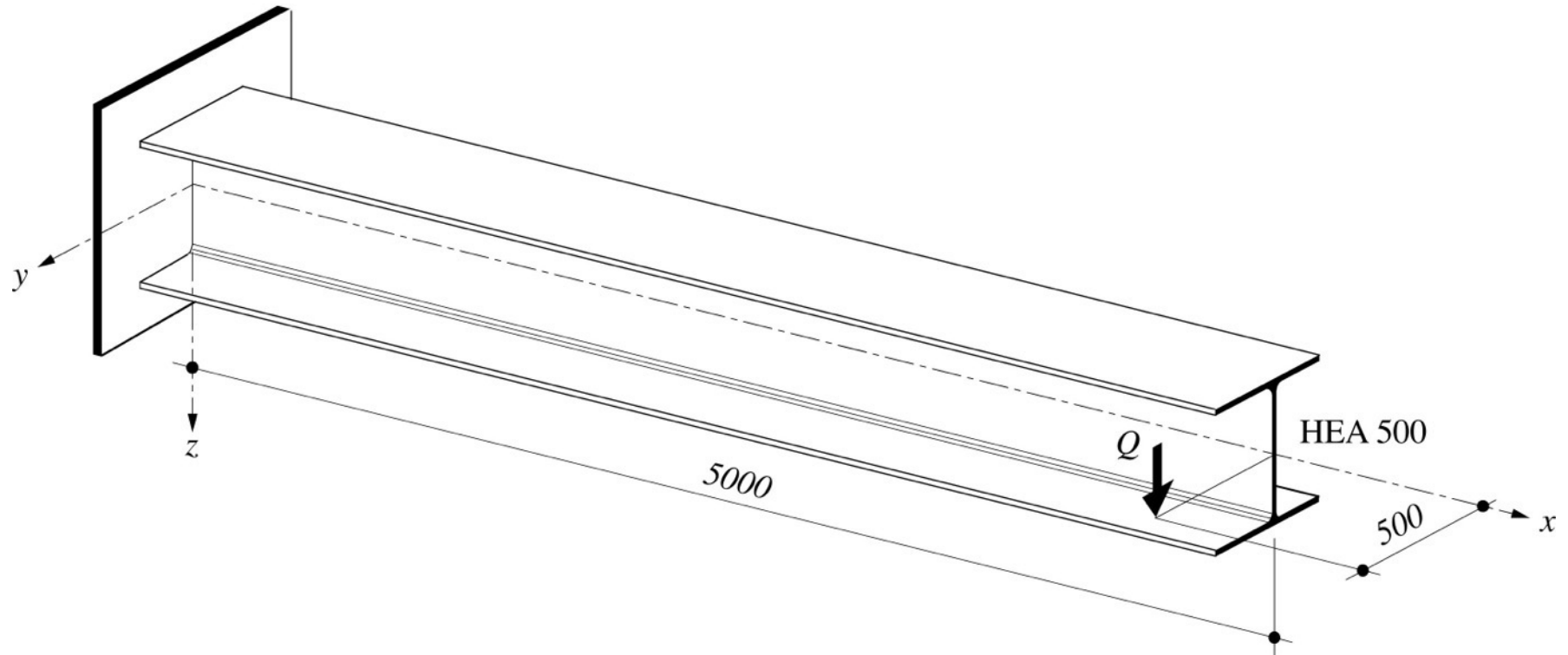
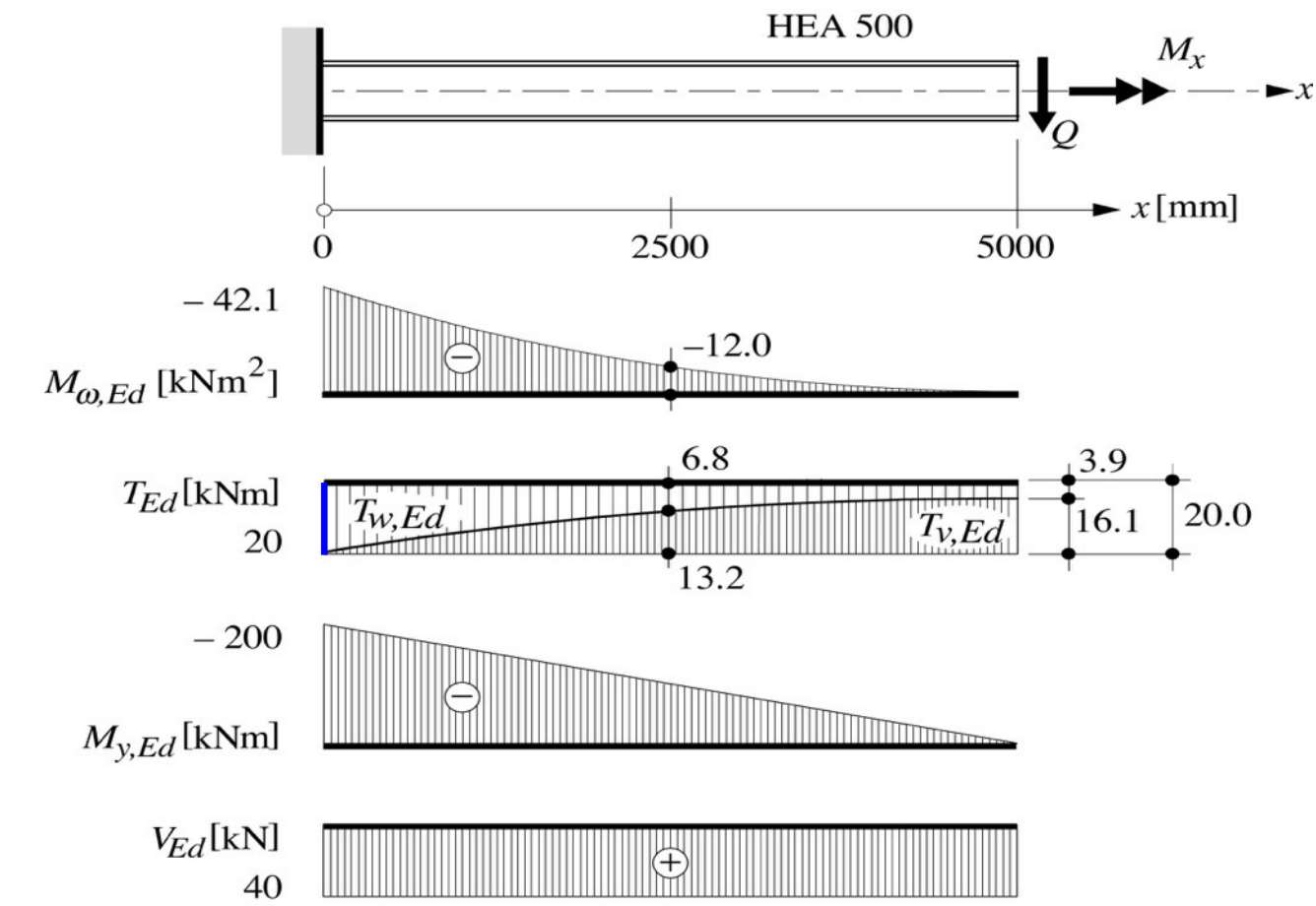
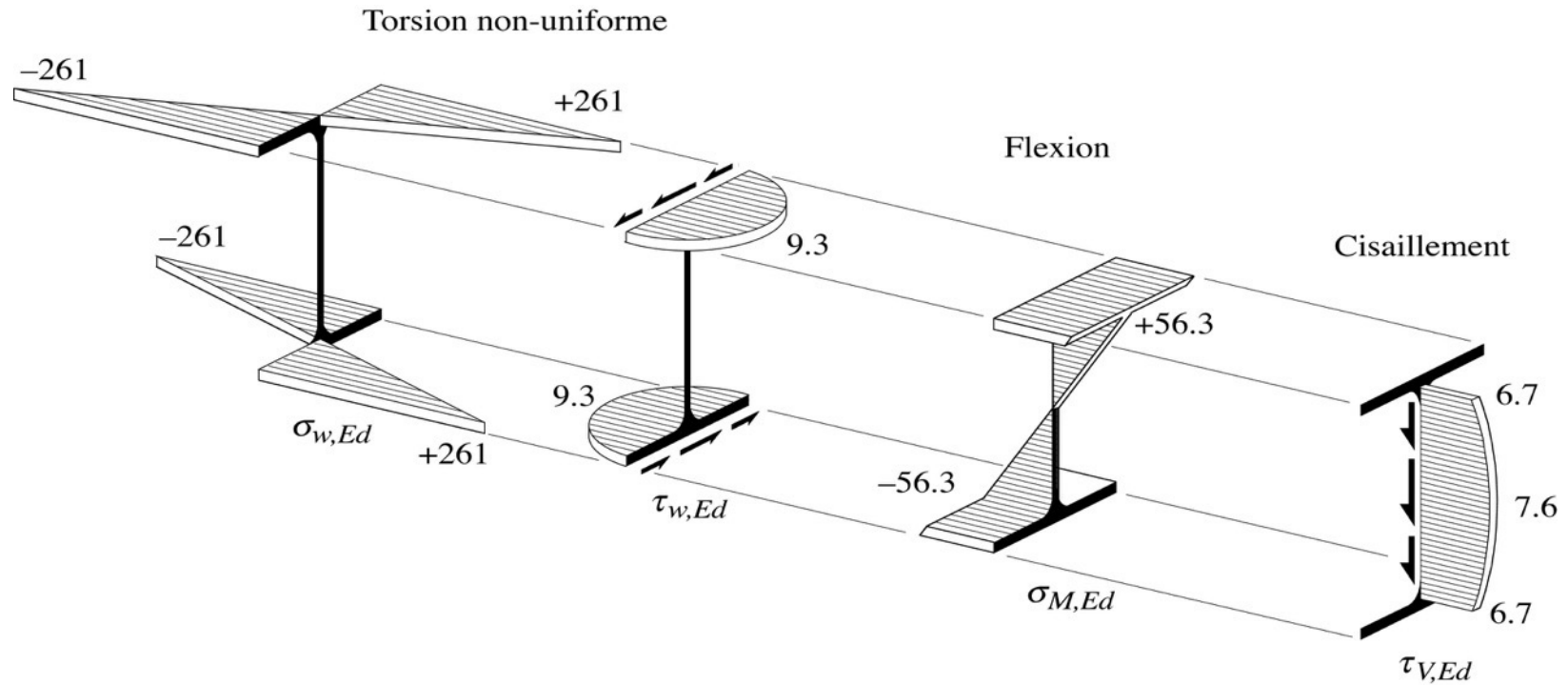


Fig. 4.45: Diagrammes des efforts intérieurs



$T = T_v + T_w$

Fig. 4.46: Répartitions des contraintes σ et τ à l'encastrement



Rappel: Formules de résistance dans la norme SIA 263

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

Résistance plastique,
principe: § 5.1.1.2

Et aussi von Mises, par ex. interaction avec torsion (SIA 263, § 3.2.2.5 et § 4.3.5.4):

$$\sigma_{m,E} = \sqrt{\sigma_{x,E}^2 + \sigma_{y,E}^2 + \sigma_{z,E}^2 - \sigma_{x,E}\sigma_{y,E} - \sigma_{x,E}\sigma_{z,E} - \sigma_{y,E}\sigma_{z,E} + 3(\tau_{xy,E}^2 + \tau_{xz,E}^2 + \tau_{zy,E}^2)}$$

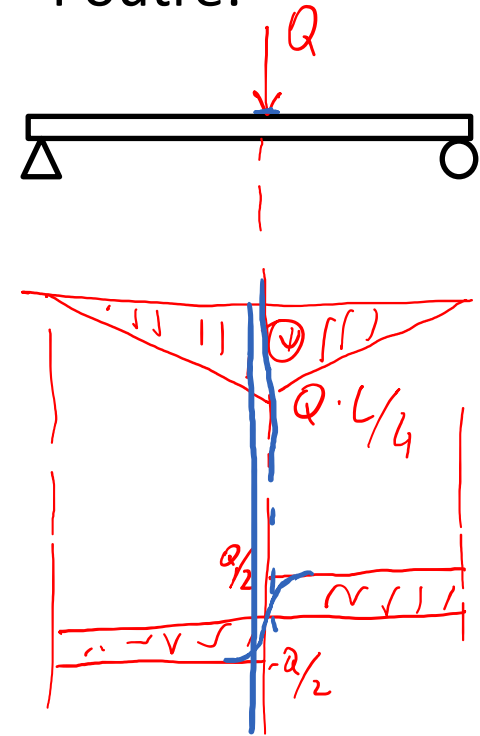


Passerelle d'Evry (Lux), bureau Schroeder & Associés

Annexe: Fig. 4.36: Interaction M + V, résistance élastique

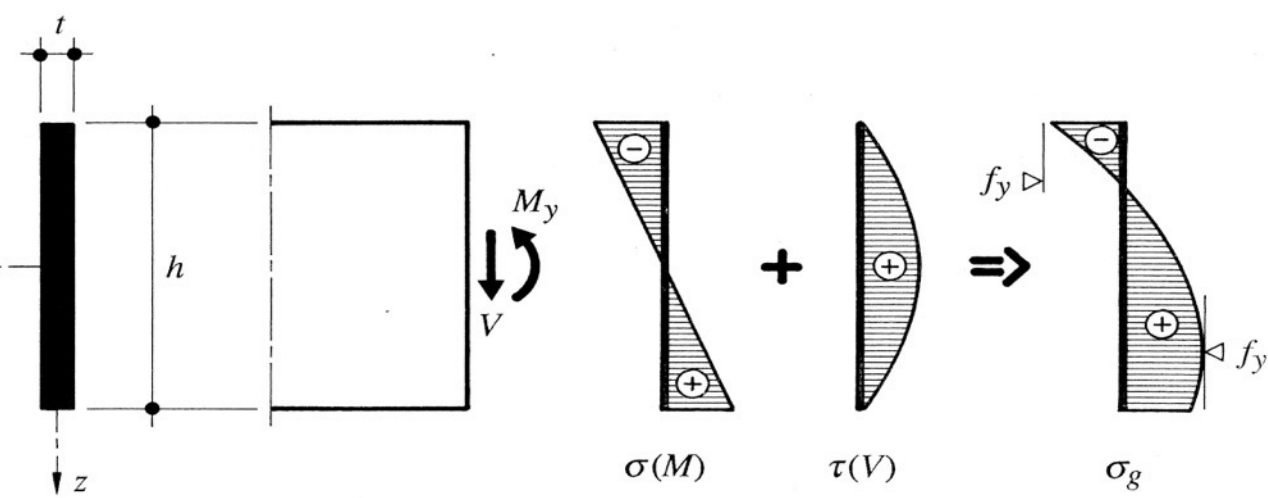
Poutre:

En section: cas section rectangulaire



(M)

(V)



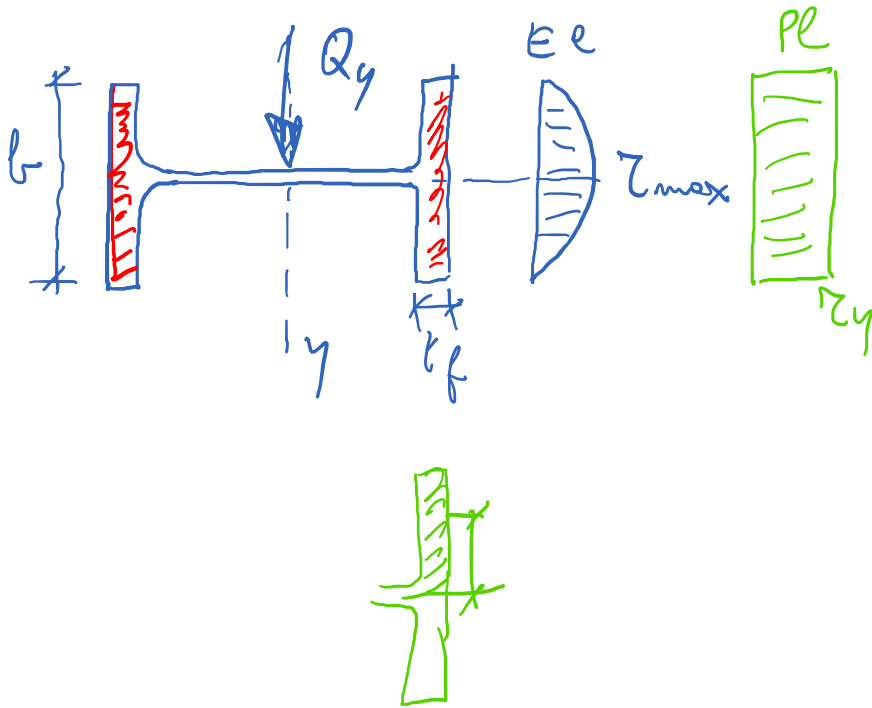
$$\sigma_{Ed} = \sqrt{(\sigma(M_{Ed}))^2 + 3 \cdot (\tau(V_{Ed}))^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_M}$$

$\sigma = 0$

$\sqrt{3 \cdot \tau^2} \leq f_y / \gamma_M$

$\tau_y \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \gamma_{M1}$

Annexe: Et si V selon axe faible ?



$$V_{y,el} = \frac{z_y \cdot I_z \cdot Z \cdot t_f}{S'_z}$$

$$S'_z = Z \left(\frac{b}{4} \cdot \frac{b}{2} \cdot t_f \right)$$

$$V_{y,pl} = Z \cdot z_y \cdot b \cdot t_f$$

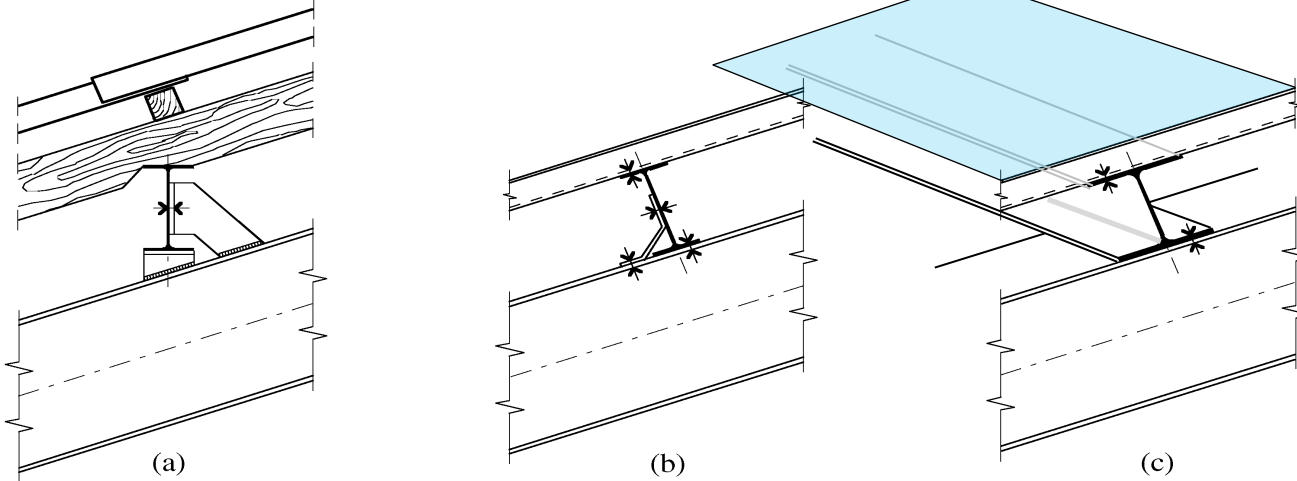
(valable si $M_{Ed} = 0$)

M - V:

$$M_{z,V,Rd} = M_{z,Rd} \left(1 - \left(\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,Rd}} \right)^2 \right)$$

Autre exemple de combinaison $M_x + M_y + M_z$

Une panne inclinée (TGC 11, § 5.3.3), étude en section



Quelles pannes sont soumises à de la torsion ?

A) a, B) b, C) c, D) a,b,c, E) b,c

ANNEXE Autre exemple de combinaison $M_x + M_y + M_z$

Une panne inclinée (TGC 11, § 5.3.3), étude en plan, **avec liernes**

