

Résistance plastique d'une section en I bissymétrique sous interaction de flexion, cisaillement et effort normal – Partie II : exemple d'application.

Le moment résistant plastique d'une section soumise à une combinaison de flexion, cisaillement et effort normal peut être déterminé à partir de la formulation présentée dans la Partie I de cette série. Un exemple d'application de cette méthode est présenté ci-après.

Données de l'exemple

La résistance en section du PRS constitué d'acier S235 dont la section est présentée à la Figure 1 est vérifiée sous une combinaison de flexion, de cisaillement et d'effort axial. Les propriétés de la section transversale sont les suivantes :

- Aire de la section : $A = 11\,500 \text{ mm}^2$,
- Module de résistance plastique : $W_{pl,y} = 1\,786\,250 \text{ mm}^3$,
- Aire de cisaillement : $A_v = 3\,500 \text{ mm}^2$.

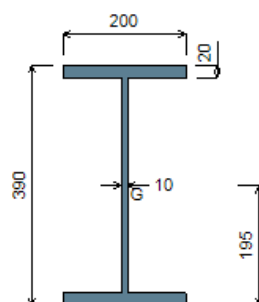


Figure 1 : Section transversale de PRS étudié (dimensions en mm)

Les épaisseurs d'âme et de semelles étant inférieures à 40 mm, le Tableau 3.1 de l'EN 1993-1-1 [1] indique que la limite d'élasticité est : $f_y = 235 \text{ MPa}$.

D'après les critères présentés au Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1 [1], la section étudiée est de classe 2 sous compression uniforme.

Conformément à la clause 6.1(1) de l'annexe nationale à l'EN 1993-1-1 [2], la valeur suivante du coefficient partiel γ_{M0} peut être utilisée :

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

La valeur de calcul de la résistance plastique à la compression uniforme $N_{pl,Rd}$ est :

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11500 \times 235}{1} \times 10^{-3} = 2702,5 \text{ kN}$$

La valeur de calcul de la résistance plastique à la flexion simple autour de l'axe y-y $M_{pl,Rd}$ est :

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1786250 \times 235}{1} \times 10^{-6} = 419,8 \text{ kN.m}$$

La valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement $V_{pl,Rd}$ est :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{3500 \times 235}{\sqrt{3} \times 1} \times 10^{-3} = 474,9 \text{ kN}$$

Les charges de calcul sont les suivantes :

- Un effort tranchant parallèle à l'âme $V_{Ed} = 400 \text{ kN}$;
- Un moment de flexion dans le plan de forte inertie $M_{y,Ed} = 250 \text{ kN.m}$;
- Un effort normal de compression $N_{Ed} = 900 \text{ kN}$.

Conditions de résistance sous sollicitations simples

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{900}{2702,5} = 0,33 \leq 1,0$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{250}{419,8} = 0,60 \leq 1,0$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{400}{474,9} = 0,84 \leq 1,0$$

Les critères de résistance en section sous sollicitation simple sont satisfaisants.

Par ailleurs, le dernier critère montre une influence notable de l'effort tranchant sur la résistance en flexion composée de la section puisque :

$$V_{Ed} = 400 \text{ kN} > \frac{V_{pl,Rd}}{2} = 237,4 \text{ kN}$$

L'impact significatif de l'effort tranchant sur la résistance en section est caractérisé par :

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \times 400}{474,9} - 1 \right)^2 = 0,469$$

Ainsi, la limite d'élasticité dans l'âme est réduite à :

$$(1 - \rho) f_y = (1 - 0,469) \times 235 = 124,8 \text{ MPa}$$

Position de l'Axe Neutre Plastique

L'ANP se situe dans l'âme si le critère suivant est respecté :

$$N_{Ed} < h_w t_w \frac{(1 - \rho) f_y}{\gamma_{M0}}$$

Or,

$$N_{Ed} = 900 \text{ kN} > 350 \times 10 \frac{124,8}{10^3} = 436,9 \text{ kN}$$

L'ANP ne se situe pas dans l'âme mais dans une semelle. La distribution plastique des contraintes normales dans la section étudiée est présentée à la Figure 2. La distance z_{ANP} entre le centre de gravité de la section et l'ANP est :

$$z_{ANP} = \frac{h_w}{2} \left[1 - \frac{t_w}{b} (1 - \rho) \right] + \frac{N_{Ed}}{2bf_y \gamma_{M0}} = \frac{350}{2} \left[1 - \frac{10}{200} (1 - 0,469) \right] + \frac{900 \times 10^3}{2 \times 200 \times 235} = 179,9 \text{ mm}$$

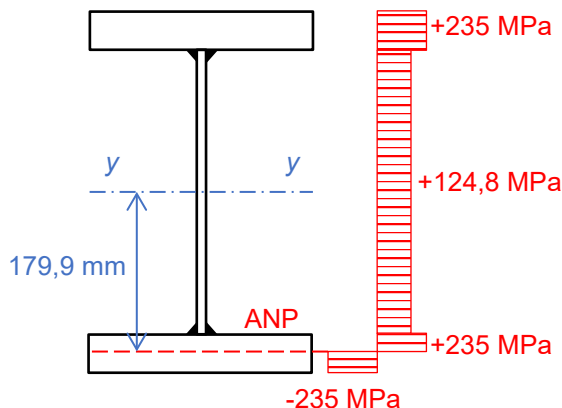


Figure 2 : Distribution des contraintes normales dans la section étudiée sous l'effet des sollicitations appliquées

Moment résistant plastique

Le moment résistant plastique $M_{NV,y,Rd}$ prenant en compte les effets de l'effort tranchant et de l'effort normal est obtenu à partir de l'expression suivante :

$$M_{NV,y,Rd} = \frac{bt_f f_y}{\gamma_{M0}} (h_w + t_f) + \frac{bf_y}{\gamma_{M0}} \left(\frac{h_w^2}{4} - z_{ANP}^2 \right)$$

L'application numérique nous donne :

$$M_{NV,y,Rd} = 200 \times 20 \times 235 \times (350 + 20) \times 10^{-6} + 200 \times 235 \left(\frac{350^2}{4} - 179,9^2 \right) 10^{-6}$$

$$\rightarrow M_{NV,y,Rd} = 265,6 \text{ kN.m}$$

Finalement :

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{NV,y,Rd}} = \frac{250}{265,6} = 0,94 \leq 1,0$$

Le critère de résistance de la section sous interaction de flexion, cisaillement et effort normal est vérifié.

Diagrammes d'interaction

Pour aller plus loin et à titre informatif, les courbes de résistance plastique adimensionnelles n - m caractérisant le PRS étudié sont présentées à la Figure 3 pour différentes valeurs du rapport $V_{Ed}/V_{pl,Rd}$ où :

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$$

$$m = M_{y,Ed}/M_{pl,y,Rd}$$

La section étant doublement symétrique, les courbes de résistance sont symétriques par rapport aux deux axes donc un seul quart de ces courbes est représenté.

Dans le cas où $V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd}$, l'effort tranchant a une influence négligeable sur la résistance en section. La courbe de résistance plastique correspondante de la Figure 3 caractérise l'interaction du moment de flexion et de l'effort normal.

Dans le cas opposé où $V_{Ed} = V_{pl,Rd}$, la totalité de la résistance de l'âme est mobilisée par l'effort de cisaillement. Alors, l'interaction du moment de flexion et de l'effort normal ne peut mobiliser que la résistance des semelles. Pour le PRS étudié, la Figure 3 montre que la résistance plastique apportée par les deux semelles correspond à :

- 70% de $N_{pl,Rd}$ sous effort normal seul et
- 83% de $M_{pl,y,Rd}$ sous moment de flexion seul.

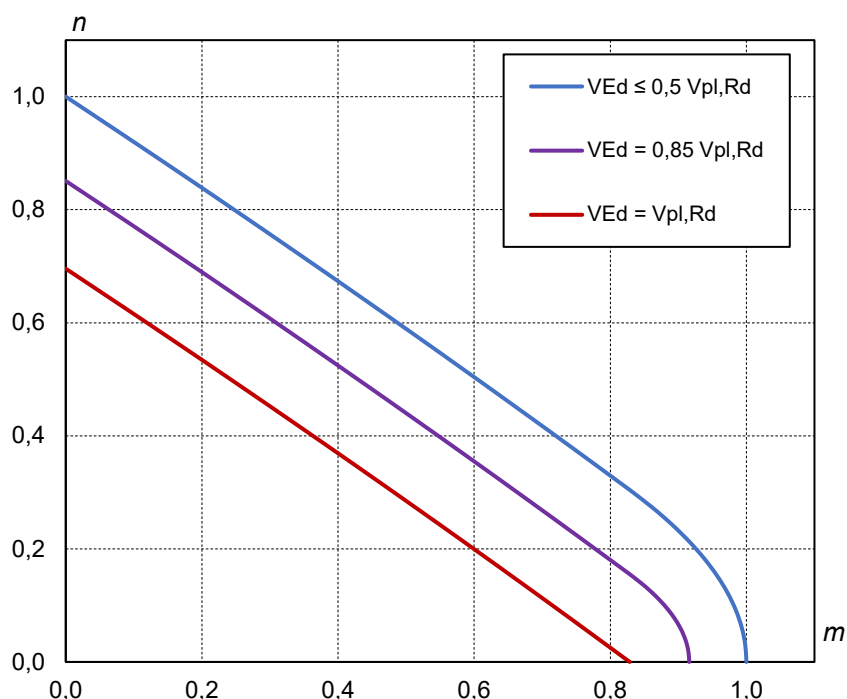


Figure 3 : Courbes de résistance plastique pour l'interaction flexion, cisaillement et effort normal

Références

- [1] NF EN 1993-1-1 – Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. AFNOR, Octobre 2005.
- [2] NF EN 1993-1-1/NA : Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments – Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1. AFNOR, Mars 2007.