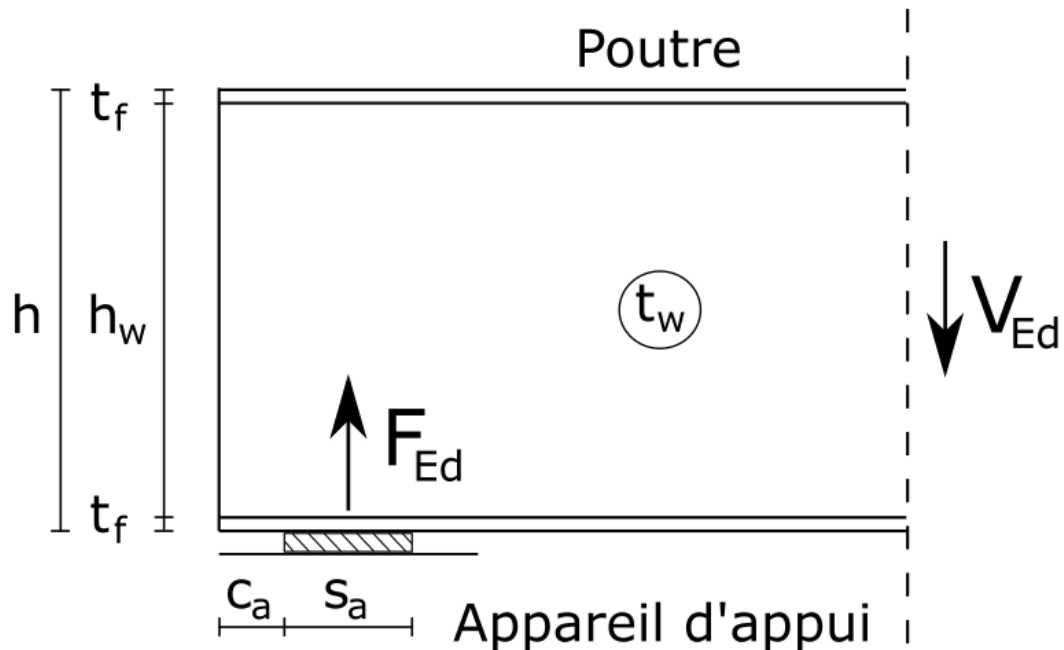


Données d'entrée

Détail étudié

Cet exemple propose la justification de l'âme d'une poutre PRS bi-symétrique non raidie vis-à-vis de sa réaction d'appui en extrémité. Cette réaction, notée F_{Ed} , est en équilibre avec l'effort tranchant V_{Ed} au voisinage de l'appui. Le détail de l'interface entre la poutre et son appareil d'appui est exposé ci-dessous :



Détail à l'interface entre la poutre et son appareil d'appui

Poutre

La poutre ne présente aucun raidisseur transversal ou longitudinal. Les dimensions de la section sont les suivantes :

- Hauteur totale $h = 1000$ mm
- Épaisseur de l'âme $t_w = 12$ mm
- Largeur des semelles $b_f = 400$ mm
- Épaisseur des semelles $t_f = 30$ mm
- Hauteur de l'âme $h_w = 940$ mm

Appui

- Distance au bord $c_a = 130$ mm
- Longueur de l'appareil d'appui $s_a = 190$ mm
- Réaction d'appui transmise à la poutre $F_{Ed} = 700$ kN

Matériau

La poutre est en acier de nuance S355. Les valeurs nominales de limite d'élasticité sont déduites selon le tableau 3.1 de la NF EN 1993-1-1.

- Limite d'élasticité de l'âme $f_{yw} = 355 \text{ MPa}$
- Limite d'élasticité des semelles $f_{yf} = 355 \text{ MPa}$
- Module d'Young $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Coefficient partiel

Selon la note 2B du paragraphe 6.1 (1) de la NF EN 1993-1-1, pour une poutre de bâtiment :

- Coefficient lié aux instabilités $\gamma_{M1} = 1,00$

Application de la charge

1^{re} étape : choix du type d'application de la charge

L'application de la charge est de type (c) selon la figure 6.1 de la NF EN 1993-1-5. Comme la poutre ne possède pas de raidisseur au droit de ses appuis, la distance a est ignorée et sera prise comme étant infiniment grande dans le calcul de ℓ_y .

2^e étape : détermination de la longueur d'appui rigide

En tenant compte d'une diffusion à 45° dans la semelle :

$$s_s = s_a + 2 t_f = 190 + 2 \times 30 = 250 \text{ mm} \leq h_w \text{ OK}$$

$$c = c_a - t_f = 130 - 30 = 100 \text{ mm}$$

Calculs intermédiaires

3^e étape : calcul des coefficients de diffusion

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} = \frac{355 \times 400}{355 \times 12} = 33,33 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.8)}$$

$$m_2 = 0 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.9)}$$

L'hypothèse $\bar{\lambda}_F \leq 0,5$ devra être vérifiée à l'étape n°7.

4^e étape : calcul du coefficient de voilement

La poutre n'a pas de raidisseurs longitudinaux, et d'après le type d'application (c) :

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) = 2 + 6 \left(\frac{250 + 100}{940} \right) = 4,23 \leq 6 \quad \text{OK} \quad \text{NF EN 1993-1-5 Figure 6.1}$$

5^e étape : calcul de la longueur chargée efficace

$$\ell_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} = \frac{4,23 \times 210\,000 \times 12^2}{2 \times 355 \times 940} = 191,7 \text{ mm} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.13)}$$

$$\ell_e \leq s_s + c = 250 + 100 = 350 \text{ mm OK}$$

$$\ell_{y,1} = s_s + 2 t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

$$\ell_{y,1} = 250 + 2 \times 30 \times (1 + \sqrt{33,33 + 0}) \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.10)}$$

$$\ell_{y,1} = 656,4 \text{ mm} \leq a = +\infty \text{ OK}$$

$$\ell_{y,2} = \ell_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{\ell_e}{t_f}\right)^2 + m_2}$$

$$\ell_{y,2} = 191,7 + 30 \times \sqrt{\frac{33,33}{2} + \left(\frac{191,7}{30}\right)^2 + 0} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.11)}$$

$$\ell_{y,2} = 419,1 \text{ mm}$$

$$\ell_{y,3} = \ell_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$\ell_{y,3} = 191,7 + 30 \times \sqrt{33,33 + 0} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.12)}$$

$$\ell_{y,3} = 364,9 \text{ mm}$$

$$\ell_y = \min \{\ell_{y,1}; \ell_{y,2}; \ell_{y,3}\} = 364,9 \text{ mm}$$

6^e étape : calcul de la force critique de voilement local

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.5)}$$

$$F_{cr} = 0,9 \times 4,23 \times 210 \times \frac{12^3}{940} = 1469,7 \text{ kN}$$

7^e étape : calcul de l'élancement réduit

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{364,9 \times 12 \times 355}{1469,7 \times 10^3}} = 1,03 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.4)}$$

$$\bar{\lambda}_F > 0,5$$

L'hypothèse faite à l'étape n°3 est alors invalidée et les étapes n°3, 5 et 7 sont à reprendre. A noter que les valeurs de m_1 , k_F , ℓ_e et F_{Cr} restent inchangées lors de la 2^{ème} itération.

3^e étape : calcul des coefficients de diffusion – 2^e itération

Seul le deuxième coefficient m_2 est à recalculer :

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 = 0,02 \times \left(\frac{940}{30} \right)^2 = 19,64 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.9)}$$

5^e étape : calcul de la longueur chargée efficace – 2^{ème} itération

En remplaçant m_2 dans les expressions de $\ell_{y,1}$, $\ell_{y,2}$ et $\ell_{y,3}$:

$$\begin{aligned} \ell_{y,1} &= 250 + 2 \times 30 \times (1 + \sqrt{33,33 + 19,64}) \\ \ell_{y,1} &= 746,7 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.10)}$$

$$\begin{aligned} \ell_{y,2} &= 191,7 + 30 \times \sqrt{\frac{33,33}{2} + \left(\frac{191,7}{30} \right)^2 + 19,64} \\ \ell_{y,2} &= 455,1 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.11)}$$

$$\begin{aligned} \ell_{y,3} &= 191,7 + 30 \times \sqrt{33,33 + 19,64} \\ \ell_{y,3} &= 410,0 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.12)}$$

$$\ell_y = 410,0 \text{ mm}$$

7^e étape : calcul de l'élanement réduit – 2^e itération

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{Cr}}} = \sqrt{\frac{410,0 \times 12 \times 355}{1469,7 \times 10^3}} = 1,09 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.4)}$$

$$\bar{\lambda}_F > 0,5$$

L'hypothèse faite à l'étape n°3 est cette fois-ci validée. Le calcul peut donc poursuivre et passer à l'étape n°8.

8^e étape : calcul de la longueur efficace pour la résistance aux forces transversales

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{1,09} = 0,459 \leq 1,00 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.3)}$$

$$L_{\text{eff}} = \chi_F \ell_y = 0,459 \times 410,0 = 188,2 \text{ mm} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.2)}$$

Vérification de la résistance sous force transversale

9^e étape : calcul de la résistance de l'âme aux forces transversales

En arrondissant à l'unité près :

$$F_{\text{Rd}} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \times 188,2 \times 12}{1,00 \times 10^3} = 802 \text{ kN} \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.1)}$$

10^e étape : vérifications sous la force transversale

$$\eta_2 = \frac{F_{\text{Ed}}}{F_{\text{Rd}}} = \frac{700}{802} = 0,87 \leq 1 \quad \text{NF EN 1993-1-5 eq. (6.14)}$$

La résistance locale de l'âme de la poutre vis-à-vis de la force transversale, liée à la réaction d'appui en extrémité, est donc vérifiée.

À l'inverse, si le critère n'avait pas été satisfait, la manière la plus efficace d'empêcher les modes de ruine d'écrasement et d'instabilité de l'âme aurait été de souder des raidisseurs transversaux au droit de l'appui, de part et d'autre de l'âme, entre les deux semelles. Le cas échéant, il aurait fallu vérifier le voilement par cisaillement de l'âme, en prenant en compte la position des nouveaux raidisseurs transversaux le long de la poutre.

Ce mode de ruine, survenant principalement pour des âmes très élancées, est traité dans le chapitre 5 de la NF EN 1993-1-5. Il n'est pas abordé dans cet exemple.