

EXERCISE BAT2: MIXED BEAM - ANSWERS

Problem 1: Question 1.1

Spill prevented by sheet metal.

Classification of sections, SZS C5, class 2 for $n = 1.0$, so no limit to this class even under M+N, EP calculation.

Construction stage, structural safety (ES):

For this stage, the resistance of the steel beam is limited to M_{el} .

$$M_{el, Rd} = 235 \cdot 713000 / 1.05 = 159.6 \text{ kNm}$$

$$V_{el, Rd} = 135 \cdot 2390 / 1.05 = 308.8 \text{ kN}$$

Note: we can also conservatively use the RDM formula: $V_{el, Rd} = \frac{\tau_{yd} \cdot I_y \cdot t_w}{S_y} = 282 \text{ kN}$

Checks :

$$M_{Ed} = 131.4 \text{ kNm} < M_{el, Rd} = 159.6 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} = 58.8 \text{ kN} < V_{el, Rd} = 136 \cdot 2390 / 1.05 = 308.8 \text{ kN} \quad \text{OK No M-V interaction because simple beam under uniform loads.}$$

Problem 1: Question 1.2

Final stage, structural safety :

Resistance of the composite section of the joist :

Participating width (SIA 262 4.1.3.3 and TGC 10 p.209)

$$b_{eff,1} = 0.2 \cdot b_l + 0.1 \cdot l_0 \leq 0.2 \cdot l_0$$

$$b_{eff,i} = 0.2 (2000 - 160) / 2 + 0.1 \cdot 10000 = 1184 \text{ mm}$$

$$< 0.2 \cdot l_0 = 2000 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{eff,i} + b_w = 2 \cdot 1184 + 160 = 2528 \text{ mm} > 2000 \text{ mm} = a \text{ So } b_{eff}$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

Plastic equivalence coefficient (TGC 10 p.148)

$$n_{pl} = \frac{f_y \cdot \gamma_c}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot \gamma_a} = \frac{235 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.5}{0.85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.05} = 15.8$$

Neutral axis position (TGC 10, p.163, table 4.60, or TGC 11, tab. 10.23):

Assumption, the reinforcement is neglected.

$$A_a = 6260 \text{ mm}^2 < A_{c/npl} = 2000 \cdot (100 - 40) / 15.8 = 7595 \text{ mm}^2$$

$\Rightarrow$ a.n.p in the slab

Calculation annexed: $z_{pl,b} = h - n_{pl} \cdot A_a / b_{eff} = 430 - 15.8 \cdot 6260 / 2000 = 380.5 \text{ mm} (> 330 + 40, \text{ so well within the slab})$

Plastic moment of resistance

$$W_{pl,b}^+ = A \times \left(h - z - 0.5 \cdot \frac{A_a}{b_{eff}} \right)$$

$$W_{pl,b}^+ = 6260 (430 - 330/2 - 0.5 \cdot 15.8 \cdot \frac{6260}{2000}) = 1504 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,b,R} = \frac{235 \cdot 1504 \cdot 10^3}{1.05} = 336.6 \text{ kNm}$$

Checks :

$$M_{Ed} = 269.2 \text{ kNm} < M_{pl, b, Rd} = 336.6 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} = 104.2 \text{ kN} < V_{pl, Rd} = 398 \text{ kNOK} \quad \text{No M-V interaction because simple beam}$$

Remarks :

- If the check is not satisfactory, a temporary prop could be installed at mid-span.
- It is assumed that the sheet prevents the beams from tilting.
- In reality, according to the SIA, the assembly load applies to a maximum surface area of 3m x 3m. To simplify the calculation, a more unfavourable load case is considered here.

Problem 2: Question 1.1

Classification des sections et déversement

- Critères d'élancement au stade de construction

$$\text{Aile (compression)} : \frac{c}{t_f} = \frac{b - t_w - 2r}{2t_f} = \frac{280 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 2 \cdot 24 \text{ mm}}{2 \cdot 13 \text{ mm}} = 8.6 < 9\epsilon = 9 \Rightarrow \text{classe de section 1}$$

$$\text{Ame (flexion)} : \frac{b_w}{t_w} = \frac{h_1}{t_w} = \frac{196 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 24.5 < 72\epsilon = 72 \Rightarrow \text{classe de section 1}$$

- Critères d'élancement au stade définitif

$$\text{Aile (compression)} : \frac{c}{t_f} = 8.6 < 9\epsilon = 9 \Rightarrow \text{classe de section 1}$$

Ame (compression) : Cas défavorable, considérée comme entièrement comprimée

$$\frac{b_w}{t_w} = 24.5 < 33\epsilon = 33 \Rightarrow \text{classe de section 1}$$

Note : Selon la SZS C5/05, la section est de classe 1 pour $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = 1.0$.

- Déversement au stade de construction

Le sommier est tenu latéralement tous les 2 m par les solives : $l_D = 2000 \text{ mm}$.

Cas défavorable : $\psi = 1.0$

$$l_{cr} = 2.7i_z(1 - 0.5\psi)\sqrt{\frac{E}{f_{ya}}} = 2.7 \cdot 70 \text{ mm}(1 - 0.5 \cdot 1.0)\sqrt{\frac{210000 \text{ N/mm}^2}{235 \text{ N/mm}^2}} = 2825 \text{ mm}$$

Comme $l_D = 2000 \text{ mm} < 1.1 \cdot l_{cr} = 1.1 \cdot 2825 \text{ mm} = 3107 \text{ mm}$, le déversement n'est pas déterminant.

- Déversement au stade définitif

Vérification pas nécessaire car : $h_{HEA280} = 270 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$
 $h_{dalle} = 100 \text{ mm}$
 connexion par goujons à tête
 raidisseur sur appui

Problem 2: Question 1.2

Stage of construction, determination of internal forces for the load cases defined in the data :

$$M_{Ed}^+ = 1.35 [0.08 (g_a + g_p) + 0.0939 g_c] l^2 + 1.50 \cdot 0.0939 q_m l^2$$

$$= 1.35 [0.08 (2.2 \text{ kN/m} + 0.8 \text{ kN/m}) + 0.0939 \cdot 18 \text{ kN/m}] (6 \text{ m})^2$$

$$+ 1.50 \cdot 0.0939 \cdot 2 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = 104 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 1.35 [-0.1 (g_a + g_p) - 0.1167 g_c] l^2 + 1.50 (-0.1167) q_m l^2$$

$$= 1.35 [-0.1 (2.2 \text{ kN/m} + 0.8 \text{ kN/m}) - 0.1167 \cdot 18 \text{ kN/m}] (6 \text{ m})^2$$

$$+ 1.50 \cdot (-0.1167) \cdot 2 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = -129 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1.35 [0.6 (g_a + g_p) + 0.617 g_c] l + 1.50 \cdot 0.617 q_m l$$

$$= 1.35 [0.6 (2.2 \text{ kN/m} + 0.8 \text{ kN/m}) + 0.617 \cdot 18 \text{ kN/m}] 6 \text{ m}$$

$$+ 1.50 \cdot 0.617 \cdot 2 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m} = 116 \text{ kN}$$

Structural safety, construction stage (EE method)

The HEA 280 (S 235) profile meets the requirements of section class 3 and the joists prevent it from tipping over.

– Cross-sectional strength (SZS C5 cross-sectional

characteristics): $M_{el,Rd} = 1010 \cdot 10^{-3} \cdot 235/10^6 = 237.3$

kNm

$$V_{el,Rd} = 2060 \cdot 135/10^3 = 278.1 \text{ kN}$$

– Checks :

$$M_{Ed} = 129 \text{ kNm} < M_{el,Rd} = 237.31.05 = 226 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} = 116 \text{ kN} < V_{el,Rd} = 278.11.05 = 264.8 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

No interaction to check as $V_{Ed} < 50\% V_{Rd}$

Problem 2: Question 1.3

Final stage (EP), determination of load positions, then internal forces (using SZS C4)

- Stade définitif

Le calcul des efforts intérieurs est effectué selon la méthode élastique-plastique d'une poutre à inertie constante (section non fissurée). On peut donc admettre une redistribution des moments sur appui de 30%

– Charge permanente :

$$g_{Ed} = \gamma_G (g_a + g_p + g_c + g_{fin}) = 1.35 (2.2 \text{ kN/m} + 0.8 \text{ kN/m} + 18 \text{ kN/m} + 12.8 \text{ kN/m}) = 45.6 \text{ kN/m}$$

Moments élastiques

$$M_{g1,Ed} = 0.08 g_{Ed} l^2 = 0.08 \cdot 45.6 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = 131 \text{ kNm}$$

$$M_{g2,Ed} = 0.025 g_{Ed} l^2 = 0.025 \cdot 45.6 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = 41 \text{ kNm}$$

$$M_{gB,Ed} = -0.1 g_{Ed} l^2 = -0.1 \cdot 45.6 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = -164 \text{ kNm}$$

Moments redistribués

$$M_{gB,Ed} = (1 - 0.3) \cdot (-164 \text{ kNm}) = -115 \text{ kNm}$$

$$M_{g2,Ed} = 41 \text{ kNm} + 0.3 \cdot 164 \text{ kNm} = 90.2 \text{ kNm}$$

$$M_{g1,Ed} = -\frac{g_{Ed} x^2}{2} + R_{A,Ed} x = -\frac{45.6 \text{ kN/m} \cdot (2.55 \text{ m})^2}{2} + 118 \text{ kN} \cdot 2.55 \text{ m} = 153 \text{ kNm}$$

avec

$$V_{A,d} = R_{A,Ed} = \frac{-M_{B,Ed}}{l} + \frac{g_{Ed} l}{2} = \frac{-115 \text{ kNm}}{6 \text{ m}} + \frac{45.6 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 118 \text{ kN}$$

$$V_{B,g} = R_{B,Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{l} + \frac{g_{Ed} l}{2} = \frac{115 \text{ kNm}}{6 \text{ m}} + \frac{45.6 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 160 \text{ kN}$$

Position du point de moment maximal (effort tranchant nul)

$$x = \frac{R_{A,Ed}}{R_{A,Ed} + R_{B,Ed}} \cdot l = \frac{118 \text{ kN}}{118 \text{ kN} + 160 \text{ kN}} \cdot 6 \text{ m} = 2.55 \text{ m}$$

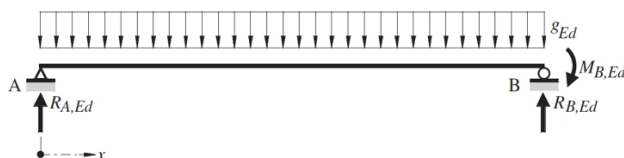


Figure 2.1 : Redistribution of moments on the edge span

– Charge utile :

$$q_{k,Ed} = \gamma_Q q_k = 1.50 \cdot 24 \text{ kN/m} = 36 \text{ kN/m}$$

La position des charges provoquant le moment maximal dans la première travée est illustrée à la Figure 2.2a

Moments élastiques

$$M_{qB,Ed} = -0.05 q_{k,Ed} l^2 = -0.05 \cdot 36 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = -64.8 \text{ kNm}$$

$$M_{q1,Ed} = 0.1013 q_{k,Ed} l^2 = 0.1013 \cdot 36 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = 131 \text{ kNm}$$

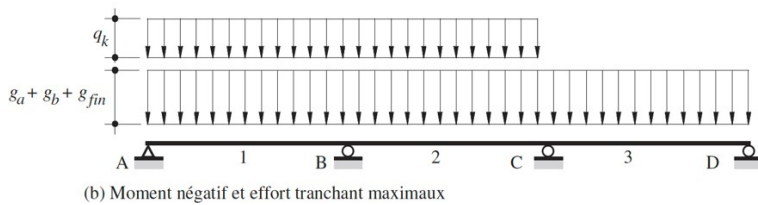
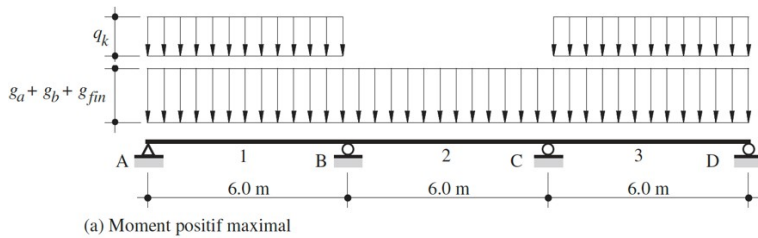


Figure 2.2: Position of loads to obtain maximum forces at the final stage.

Moments redistribués

$$M_{qB,Ed} = (1 - 0.3) \cdot (-64.8 \text{ kNm}) = -45.4 \text{ kNm}$$

$$M_{q1,Ed} = \frac{-q_{k,Ed} x^2}{2} + R_{A,Ed} x = \frac{-36 \text{ kN/m} \cdot (2.78 \text{ m})^2}{2} + 100 \text{ kN} \cdot 2.78 \text{ m} = 139 \text{ kNm}$$

avec

$$V_{A,d} = R_{A,Ed} = \frac{-M_{qB,Ed}}{l} + \frac{q_{k,Ed} l}{2} = \frac{-45.4 \text{ kNm}}{6 \text{ m}} + \frac{36 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kN}$$

$$V_{B,g} = R_{B,Ed} = \frac{M_{qB,Ed}}{l} + \frac{q_{k,Ed} l}{2} = \frac{45.4 \text{ kNm}}{6 \text{ m}} + \frac{36 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 116 \text{ kN}$$

$$x = \frac{R_{A,Ed}}{R_{A,Ed} + R_{B,Ed}} l = \frac{100 \text{ kN}}{100 \text{ kN} + 116 \text{ kN}} \cdot 6 \text{ m} = 2.78 \text{ m}$$

La position des charges provoquant le moment maximal sur appui est illustrée à la figure 2.2b.

Moment élastique

$$M_{qB,Ed} = -0.1167 q_{k,Ed} l^2 = -0.1167 \cdot 36 \text{ kN/m} \cdot (6 \text{ m})^2 = -151 \text{ kNm}$$

Moment redistribué

$$M_{qB,Ed} = (1 - 0.3) \cdot (-151 \text{ kNm}) = -106 \text{ kNm}$$

$$V_{B,g} = R_{B,Ed} = \frac{M_{qB,Ed}}{l} + \frac{q_{k,Ed} l}{2} = \frac{106 \text{ kNm}}{6 \text{ m}} + \frac{36 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m}}{2} = 126 \text{ kN}$$

– Valeurs de calcul des efforts intérieurs (charge utile prépondérante) :

En travée

$$M_{Ed}^+ = M_{g1,Ed} + M_{q1,Ed} = 153 \text{ kNm} + 139 \text{ kNm} = 292 \text{ kNm}$$

Sur appui

$$M_{Ed}^- = M_{g1,Ed} + M_{q1,Ed} = -115 \text{ kNm} - 106 \text{ kNm} = -221 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 160 \text{ kN} + 126 \text{ kN} = 286 \text{ kN}$$

Problem 2: Question 1.4

- Stade définitif (méthode EP)
 - Résistance des sections en travée de rive :
 Largeur participante (Figure 2.3a) :
 Dans cet exemple, nous utilisons la largeur participante $b_{eff,1}$ pour la première travée définie dans la norme EN 1994-1-1 ainsi que ses notations :
 $b_{eff,1} = b_0 + \sum b_{ei} = b_{e1} + b_{e2} = 2b_e$
 $b_{ei} = L_e/8 \leq b_i$
 avec $b_0 = 0$ (structure de bâtiment)
 $L_e = 0.85 L_1 = 0.85 \cdot 6000 \text{ mm} = 5100 \text{ mm}$
 $b_i = 8000 \text{ mm}/2 = 4000 \text{ mm}$
 $b_{eff,1} = 2b_e = 2 \cdot L_e/8 = 2 \cdot 5100 \text{ mm}/8 = 1275 \text{ mm}$

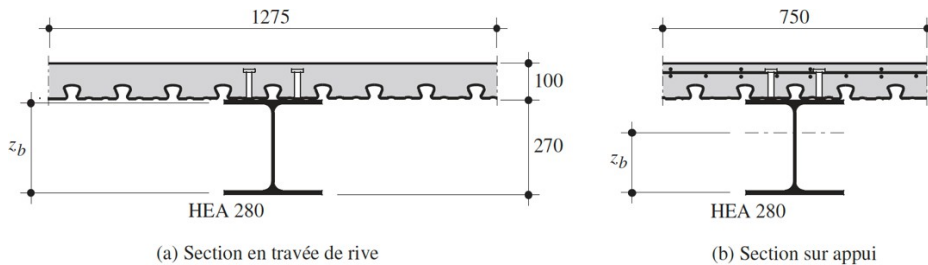


Figure 2.3: Cross-sections of the continuous mixed slab on span and on support.

Note : Le TGC vol. 10 simplifie et ne donne que le cas de la poutre simple, où $b_{eff} = \frac{L_0}{4} < a$. Dans le cas de cet exemple, on a $b_{eff} = 0.85 \cdot \frac{L_0}{4} < a$.

$$A_c = h_{eq} b_{eff,1} = 86.4 \text{ mm} \cdot 1275 \text{ mm} = 110 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Position de l'axe neutre

$$A_a = 9730 \text{ mm}^2 > \frac{A_c}{n_{pl}} = \frac{110 \cdot 10^3 \text{ mm}^2}{15.8} = 6962 \text{ mm}^2$$

$$\text{avec } n_{pl} = \frac{f_{ya}}{0.85 f_{ck}} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_a} = \frac{235 \text{ N/mm}^2}{0.85 \cdot 25 \text{ N/mm}^2} \cdot \frac{1.5}{1.05} = 15.8$$

⇒ L'axe neutre se situe dans le profilé. La tôle, comprimée, est négligée.

$$A_a - 2 b t_f = 9730 \text{ mm}^2 - 2 \cdot 280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} = 2450 \text{ mm}^2 < \frac{A_c}{n_{pl}} = 6962 \text{ mm}^2$$

⇒ L'axe neutre se situe dans l'aile supérieure du profilé.

Position de l'axe neutre

$$z_b = h_a + \frac{1}{2b} \left(\frac{A_c}{n_{pl}} - A_a \right) = 270 \text{ mm} + \frac{1}{2 \cdot 280 \text{ mm}} \cdot \left(\frac{110 \cdot 10^3 \text{ mm}^2}{15.8} - 9730 \text{ mm}^2 \right) = 265 \text{ mm}$$

Module de section plastique

$$\begin{aligned} W_{pl,b}^+ &= \frac{A_c}{n_{pl}} z_c - A_a z_a + b(h_a^2 - z_b^2) \\ &= \frac{110 \cdot 10^3 \text{ mm}^2}{15.8} \cdot \left(270 \text{ mm} + 100 \text{ mm} - \frac{86.4 \text{ mm}}{2} \right) - 9730 \text{ mm}^2 \cdot \frac{270 \text{ mm}}{2} \\ &\quad + 280 \text{ mm} \cdot \left[(270 \text{ mm})^2 - (265 \text{ mm})^2 \right] = 1714 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Valeur de calcul du moment résistant plastique

$$M_{pl,Rd}^+ = \frac{f_{ya} W_{pl,b}^+}{\gamma_a} = \frac{235 \text{ N/mm}^2 \cdot 1714 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{1.05} = 384 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 384 \text{ kNm}$$

– Résistance des sections sur appui :

Largeur participante $b_{eff,2}$ pour la travée centrale selon la norme EN 1994-1-1 (Figure 2.3b) :

$$L_e = 0.25(L_1 + L_2) = 0.25 \cdot 2 \cdot 6000 \text{ mm} = 3000 \text{ mm}$$

$$b_{eff,2} = 2 \cdot b_e = 2 \cdot \frac{L_e}{8} = 2 \cdot \frac{3000 \text{ mm}}{8} = 750 \text{ mm}$$

$$A_{ct} = h_{eq} b_{eff,2} = 86.4 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} = 64.8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Choix de l'armature $\emptyset 10 \text{ mm}$, $s_f = 200 \text{ mm}$, $A_s = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$:

Position de l'axe neutre (tab. 10.23)

$$n_{pls} = \frac{f_{yd}}{f_{sd}} = \frac{235 \text{ N/mm}^2}{500 \text{ N/mm}^2} \cdot \frac{1.15}{1.05} = 0.51$$

$$A_s = 393 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 0.75 \text{ m} = 295 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_a = 2b t_f + (h_a - 2t_f) t_w = 2 \cdot 280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} + (270 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm}) \cdot 8 \text{ mm} = 9232 \text{ mm}^2$$

$$A_a - 2b t_f = 9232 \text{ mm}^2 - 2 \cdot 280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} = 1952 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{n_{pls}} = \frac{295 \text{ mm}^2}{0.51} = 578 \text{ mm}^2$$

$$A_a - 2b t_f > \frac{A_s}{n_{pls}} \Rightarrow 1952 \text{ mm}^2 > 578 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{axe neutre dans l'âme du profilé}$$

Position de l'axe neutre

$$\begin{aligned} z_b &= \frac{1}{2 t_w} \left(\frac{A_s}{n_{pls}} - A_a \right) + \frac{b t_f}{t_w} + h_a - t_f \\ &= \frac{1}{2 \cdot 8 \text{ mm}} \cdot (578 \text{ mm}^2 - 9232 \text{ mm}^2) + \frac{280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} + 270 \text{ mm} - 13 \text{ mm} = 171 \text{ mm} \end{aligned}$$

Module de section plastique

$$\begin{aligned} W_{pl,b}^- &= \frac{A_s}{n_{pls}} z_s - A_a \cdot z_a + 2b t_f \left(h_a - \frac{t_f}{2} \right) + t_w (h_a - t_f)^2 - t_w z_b^2 \\ &= 578 \text{ mm}^2 \cdot \left(370 \text{ mm} - \frac{60 \text{ mm}}{2} \right) - 9232 \text{ mm}^2 \cdot \frac{270 \text{ mm}}{2} + 2 \cdot 280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} \\ &\quad \cdot \left(270 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} \right) + 8 \text{ mm} (270 \text{ mm} - 13 \text{ mm})^2 - 8 \text{ mm} \cdot (171 \text{ mm})^2 \\ &= 1163 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Valeur de calcul du moment résistant plastique

$$M_{pl,Rd}^- = \frac{f_{yd} W_{pl,B}^-}{\gamma_a} = \frac{235 \text{ N/mm}^2 \cdot 1163 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{1.05} = 260 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 260 \text{ kNm}$$

– Vérifications :

A mi-travée :

$$M_{Ed}^+ = 292 \text{ kNm} < M_{Rd}^+ = 384 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Sur appui :

$$M_{Ed}^- = 221 \text{ kNm} < M_{pl,Rd}^- = 260 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} = 286 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 410 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interaction M-V :

$$V_{Ed} = 286 \text{ kN} > 50\% V_{Ed} = 205 \text{ kN} \Rightarrow \text{l'interaction M-V doit être vérifiée.}$$

$$\begin{aligned} M_{V,Rd} &= \frac{b \cdot t_f \cdot f_y \cdot (h - t_f)}{\gamma_{M1}} + \frac{h_2^2 \cdot t_w \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \right)^2 \right] \\ &= \frac{280 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2 \cdot (270 \text{ mm} - 13 \text{ mm})}{1.05} \\ &\quad + \frac{(244 \text{ mm})^2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{4 \cdot 1.05} \cdot \left[1 - \left(\frac{286 \text{ kN}}{410 \text{ kN}} \right)^2 \right] \\ &= 223 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 223 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vérification :

$$M_{Ed}^- = 221 \text{ kN} < M_{V,Ed} = 223 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Problem 2: Question 1.5, fitness for duty

Assumption: in this exercise, the deflections are determined elastically using a constant inertia along the beam (inertia of the "I+" composite span section).

• Stade de construction

Il s'agit de vérifier la flèche de la poutre métallique sous l'effet des charges permanentes (cas de charge quasi permanent).

Flèche due au poids propre des profilés g_a et de la dalle ($g_p + g_c$) :

$$w(g_a + g_p + g_c) = \frac{32.2 \cdot (g_a + g_p + g_c) \cdot l^4}{I_{ya}} = \frac{32.2 \cdot (2.2 + 0.8 + 18) \cdot 10^3 \cdot (6 \text{ m})^4}{136.7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} = 6.4 \text{ mm}$$

Vérification :

$$w(g_a + g_p + g_c) = 6.4 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

• Stade définitif

Il s'agit de vérifier la flèche de la poutre mixte sous l'effet de cas de charge fréquent et quasi permanent. Les actions à considérer sont les charges permanentes, y compris les finitions, la charge utile ainsi que les effets à long terme dus au retrait et au fluage du béton.

Les inerties sont calculées à l'aide des formules du tableau 10.22. La détermination des flèches au stade définitif est effectuée à l'aide de la SZS C4/06. Les principales grandeurs sont résumées dans le tableau

Table 2.1: Résumé des principales grandeurs pour le calcul des flèches.

	Poids des finitions g_{fin}	Charge utile		Retrait
		Courte durée	Longue durée	
g, q [kN/m]	12.8	24	24	
n	18.3	6.1	18.3	12.2
I_b^- [10^6 mm^4]	149	149	149	149
I_b^+ [10^6 mm^4]	269	377	269	308
I_b^- / I_b^+	0.55	0.39	0.55	0.48

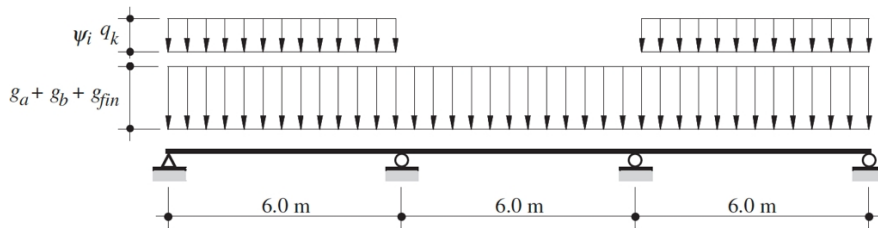


Figure 2.4: Position of loads for calculating deflections.

Checking arrows : (Figure 2.4):

-Frequent load cases, serviceability

$$w = w_2 + w_{31} \leq \frac{l}{350}$$

$$w = w(g_{fin}) + w_s + \psi_1 w(q_k)_{court}$$

$$w(g_{fin}) = \frac{32.2 \cdot g_{fi} \cdot l^4}{I_{b\phi}^+} = \frac{32.2 \cdot 12.8 \cdot 10^3 \frac{N}{m} \cdot (6m)^4}{269 \cdot 10^6 mm^4} = 2.0 mm$$

$$w_s = \frac{M_{cs}^2}{20EI_{bs}^+} = \frac{95 \cdot 10^6 Nmm \cdot (6000 mm)^2}{20 \cdot 210 \cdot 10^3 N/mm^2 \cdot 308 \cdot 10^6 mm^4} = 2.6 mm$$

With :

$$M_{cs} = N_{cs} (z_c - z_{bs}) = 947 kN \cdot (0.327 m - 0.227 m) = 95 kNm$$

$$N_{cs} = \frac{E_{cs}}{E_{cs,00}} E_{cs} A_c = 0.50 \cdot 10^{-3} \cdot 17.2 \frac{kN}{mm^2} \cdot 1275 mm \cdot 86.4 mm$$

$$z_c = 370 mm - \frac{86.4 mm}{2} = 327 mm$$

$$\psi_1 w(q_k)_{court} = 0.5 \cdot \frac{47.1 q_k l^4}{I_{b0}^+} = \frac{47.1 \cdot 24 \frac{10^3 N}{m} \cdot (6m)^4}{377 \cdot 10^6 mm^4} = 0.5 \cdot 3.9 mm = 2.0 mm$$

$$w = 2.0 mm + 2.6 mm + 2.0 mm = 6.6 mm \leq \frac{l}{350} = 17.1 mm$$

Cas de charge fréquent, utilisation et exploitation, confort

$$w = \psi_1 w(q_k)_{court} = 0.5 \cdot 3.9 mm = 2.0 mm < \frac{l}{350} = 17.1 mm$$

Cas de charge quasi permanent, aspect

$$w = w(g_a + g_b) + w(g_{fin}) + w_s + \psi_2 w(q_k)_{long} \leq \frac{l}{300}$$

$$w = 6.4 mm + 2.0 mm + 2.6 mm + 0.3 \cdot 5.4 mm$$

$$= 12.6 mm < \frac{6000 mm}{300} = 20 mm$$

According to SIA 264, the verification of serviceability must take into account the various effects set out in clause 5.1.3.1 . However, it is becoming difficult to take all these effects into account when calculating by hand.

5.1.3 Aptitude au service

5.1.3.1 Le calcul des contraintes et des déformations à l'état-limite d'aptitude au service doit, le cas échéant, prendre en compte les aspects suivants :

- largeur participante (traînage de cisaillement)
- glissement provenant d'une connexion partielle importante et/ou soulèvement
- fissuration de la dalle en béton dans les zones de moments négatifs
- fluage et retrait du béton
- plastification éventuelle de l'acier de construction ou de l'acier d'armature.

Appendix: Calculation of inertia in table 2.1

Short duration: $n_{el,court} = 6.1$

Position of neutral axis :

$$A \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) \geq \frac{A_c}{n_{el,court}} \frac{h_c}{2} \Rightarrow \text{Neutral axis in metal profile}$$

$$Aa \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = 9730 \text{ mm}^2 (370 \text{ mm} - 135 \text{ mm} - 86.4 \text{ mm}) = 1.45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{A_c}{n_{el,court}} \frac{h_c}{2} = \frac{86.4 \text{ mm} \cdot 1275 \text{ mm}}{6.1} \frac{86.4 \text{ mm}}{2} = 0.78 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$A_b = A_a + \frac{A_c}{n_{el,court}} = 9730 \text{ mm}^2 + \frac{1275 \cdot 86.4}{6.1} = 27'789 \text{ mm}^2$$

$$z_b = \frac{1}{b} \cdot \frac{A_a}{n_{el,court}} + \frac{A_c}{n_{el,court}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = \frac{1}{6.1} \cdot [9730 \cdot 135 + \frac{1275 \cdot 86.4}{2} (370 - \frac{86.4}{2})] = 259.64 \text{ mm}$$

$$I_{b,co} = I_a + A_a \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{A_c}{n_{el,court}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{1}{3} \frac{A_c}{n_{el,court}} \frac{h_c^3}{6.1} - 27789 (370 - 259.64)^2 = 380 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Long duration: $n_{el,long} = 18.3$

Position of neutral axis :

$$A \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) \geq \frac{A_c}{n_{el,long}} \frac{h_c}{2} \Rightarrow \text{Neutral axis in metal profile}$$

$$Aa \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = 9730 \text{ mm}^2 (370 \text{ mm} - 135 \text{ mm} - 86.4 \text{ mm}) = 1.45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{A_c}{n_{el,long}} \frac{h_c}{2} = \frac{86.4 \text{ mm} \cdot 1275 \text{ mm}}{18.3} \frac{86.4 \text{ mm}}{2} = 0.26 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$A_b = A_a + \frac{A_c}{n_{el,long}} = 9730 \text{ mm}^2 + \frac{1275 \cdot 86.4}{18.3} = 15'750 \text{ mm}^2$$

$$z_b = \frac{1}{b} \cdot \frac{A_a}{n_{el,long}} + \frac{A_c}{n_{el,long}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = \frac{1}{18.3} \cdot [9730 \cdot 135 + \frac{1275 \cdot 86.4}{2} (370 - \frac{86.4}{2})] = 208.30 \text{ mm}$$

$$I_{b,lo} = I_a + A_a \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{A_c}{n_{el,long}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{1}{3} \frac{A_c}{n_{el,long}} \frac{h_c^3}{18.3} - 15750 (370 - 208.3)^2 = 277 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Shrinkage: $n_{el,cs} = 12.2$

Position of neutral axis :

$$A \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) \geq \frac{A_c}{n_{el,cs}} \frac{h_c}{2} \Rightarrow \text{Neutral axis in metal profile}$$

$$Aa \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = 9730 \text{ mm}^2 (370 \text{ mm} - 135 \text{ mm} - 86.4 \text{ mm}) = 1.45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{A_c}{n_{el,cs}} \frac{h_c}{2} = \frac{86.4 \text{ mm} \cdot 1275 \text{ mm}}{12.2} \frac{86.4 \text{ mm}}{2} = 0.39 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

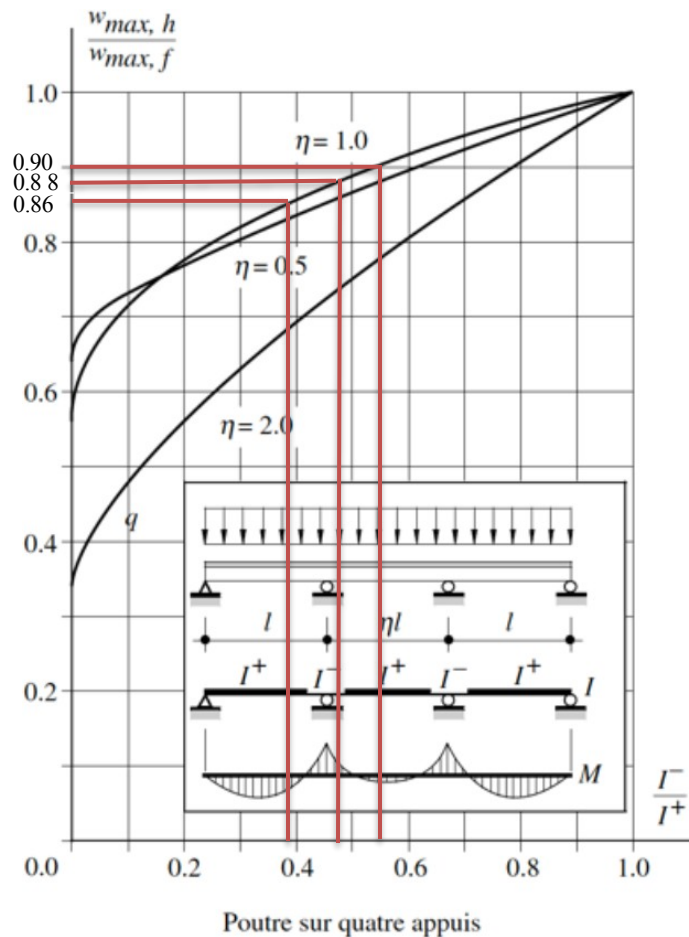
$$A_b = A_a + \frac{A_c}{n_{el,cs}} = 9730 \text{ mm}^2 + \frac{1275 \cdot 86.4}{12.2} = 18'759 \text{ mm}^2$$

$$z_b = \frac{1}{b} \cdot \frac{A_a}{n_{el,cs}} + \frac{A_c}{n_{el,cs}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right) = \frac{1}{12.2} \cdot [9730 \cdot 135 + \frac{1275 \cdot 86.4}{2} (370 - \frac{86.4}{2})] = 227.33 \text{ mm}$$

$$I_{b,cs} = I_a + A_a \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{A_c}{n_{el,cs}} \left(\frac{h}{2} - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{1}{3} \frac{A_c}{n_{el,cs}} \frac{h_c^3}{12.2} - 18759 (370 - 227.33)^2 = 315 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Influence of cracking on the calculation of deflections

Using the inertia ratios given in Table 2.1, we can calculate the ratio between the deflection determined for a constant inertia and the deflection taking into account the influence of cracking on the support.



Checking arrows :

-Frequent load cases, serviceability

$$w = w_2 + w_{31} \leq \frac{l}{350}$$

$$w = w(g_{fin}) + w_s + \psi_1 w(q_k)_{court}$$

$$w(g_{fin}) = 2.0 \text{ mm} \quad \frac{l^-}{l^+} = 0.55 \Rightarrow \frac{w_h}{w_f} = 0.9$$

$$w(g_{fin})_f = \frac{2 \text{ mm}}{0.9} = 2.22 \text{ mm}$$

$$w_s = 2.6 \text{ mm} \quad \frac{l^-}{l^+} = 0.48 \Rightarrow \frac{w_h}{w_f} = 0.88$$

$$w_s_f = \frac{2.6 \text{ mm}}{0.88} = 2.95 \text{ mm}$$

$$\psi_1 w(q_k) = 2.0 \text{ mm} \quad \frac{l^-}{l^+} = 0.39 \Rightarrow \frac{w_h}{w_f} = 0.39$$

$$\psi_1 w(q_k)_f = \frac{2.0}{0.86} = 2.32 \text{ mm}$$

$$w_{,f} = 2.22 \text{ mm} + 2.95 \text{ mm} + 2.32 \text{ mm} = 7.5 \text{ mm} \leq \frac{l}{350} = 17.1 \text{ mm} \quad (=+15\% \text{ arrow})$$

Cas de charge fréquent, utilisation et exploitation, confort

$$w = \psi_1 w(q_k)_{court} = 0.5 \cdot 3.9 \text{ mm} = 2.0 \text{ mm} < \frac{l}{350} = 17.1 \text{ mm} \quad 2.32 \text{ mm} (=+15\% \text{ deflection})$$

Cas de charge quasi permanent, aspect

$$w = w(g_a + g_b) + w(g_{fin}) + w_s + \psi_2 w(q_k)_{long} \leq \frac{l}{300}$$

$$w = 6.4 \text{ mm} + 2.0 \text{ mm} + 2.6 \text{ mm} + 0.3 \cdot 5.4 \text{ mm}$$

$$= 12.6 \text{ mm} < \frac{6000 \text{ mm}}{300} = 20 \text{ mm}$$

$$6.4 + 2.22 + 2.95 + 0.3 \cdot 5.4 / 0.9 = 13.4 \text{ mm}$$

Acts on metal section
only (constant inertia)