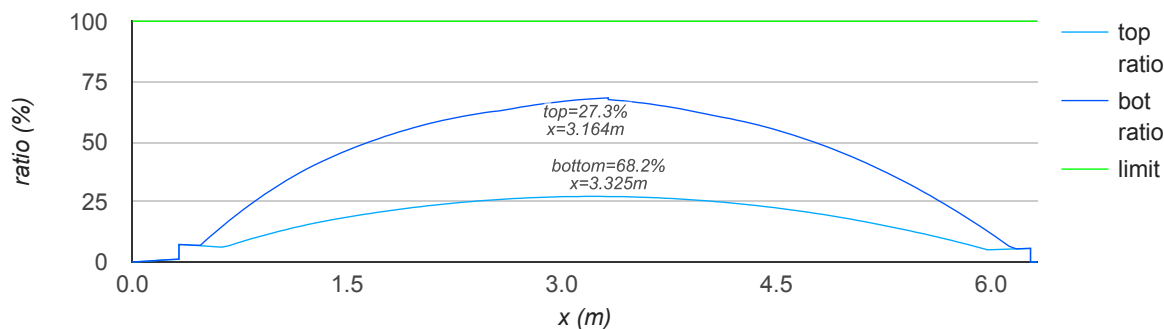


Rapport : Panne entre portiques 1 et 2 du cours 3 sur couverture droite

RéférenceProfils Zed - Z200*2.0 S350GD Z275

Propriétés | Chargements | Efforts | Déformations | Contraintes | ELU 69% + | ELS 73% +

ELU StructurelG + 1.5*W_{240(cpe+.cpi+)}

Localisation

A l'abscisse $x=3.325$ m, les calculs sont effectués sur :

- zone sans effet d'appui sur l'axe z-z
- zone sans effet d'appui sur l'axe y-y

La portée du tronçon est de 6000 mm entre appuis sur l'axe z-z.

Sens de la charge

La combinaison de charges provoque un soulèvement.

Maintien apporté par la surface :

Référence de la surface : Nersup C42S perforé sur plage [4.42.1010] 88/100e

Classe de construction :

- Classe souhaitée par l'utilisateur: 2
- Classe optimale provenant du catalogue: 2
- Classe corrigée selon l'utilisation de la surface: 2

Détails :

- Proportions géométriques de la poutre: **Oui**(vérifier le catalogue)
- Proportions géométriques de la surface: **Oui**(vérifier le catalogue)

- Maintien latéral: Oui

avec :

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.1(10) :

la rigidité partielle au cisaillement apportée par la surface à l'élément examiné connecté à la surface :

$$S = 1000 \cdot \sqrt{t_{\text{core}}^3} \cdot (50 + 10 \cdot \sqrt[3]{b_{\text{roof}}}) \cdot \frac{s}{t_{\text{w}}} \\ S = 1000 \cdot \sqrt{0.842^3} \cdot (50 + 10 \cdot \sqrt[3]{7987}) \cdot \frac{1778.0}{42.0} \\ S = 8171232.3 \text{ N} = 8171.2 \text{ kN}$$

avec :

- L'épaisseur de calcul de la surface :
 $t_{\text{core}} = 0.842 \text{ mm}$
- La largeur du toit :
 $b_{\text{roof}} = 7987 \text{ mm}$
- Espacement max des poutres :
 $s = 1778 \text{ mm}$
- La hauteur des nervures de la surface :
 $h_w = 42 \text{ mm}$

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.1(6) :

la limite admissible de la rigidité au cisaillement de la surface :

$$S_{\text{min}} = \left(E \cdot I_w \cdot \frac{\pi^2}{L^2} + G \cdot I_t + E \cdot I_z \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \cdot 0.25 \cdot h^2 \right) \cdot \frac{70}{h^2} \\ S_{\text{min}} = (210000.0 \cdot 3984699828 \cdot \frac{\pi^2}{6000.0^2} + 80769.0 \cdot 889 + \\ 210000.0 \cdot 558976 \cdot \frac{\pi^2}{6000.0^2} \cdot 0.25 \cdot 200.0^2) \cdot \frac{70}{200.0^2} \\ S_{\text{min}} = 1090258.1 \text{ N} = 1090.3 \text{ kN} - \text{L'exigence } S \geq S_{\text{min}} \text{ est vérifiée}$$

avec :

- Le moment d'inertie de gauchissement de la poutre :
 $I_w = 3984699828 \text{ mm}^6$
- La portée de la poutre :
 $L = 6000 \text{ mm}$
- Le moment d'inertie de torsion de la poutre :
 $I_t = 889 \text{ mm}^4$
- Le moment d'inertie de la section transversale par rapport à l'axe faible de la section transversale de la poutre :
 $I_z = 558976 \text{ mm}^4$
- La hauteur de la poutre :
 $h = 200 \text{ mm}$

- Maintien en rotation: Oui (0.01300 N/mm²)

avec :

- Surface fixée en : fonds de nervure
- Sens de pose de la surface : positif (Onde en contact avec la barre)

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.5.2(5) :

Rigidité en rotation de l'assemblage poutre/surface:

$$c_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT} \\ c_{D,A} = 2600.0 \cdot 0.354 \cdot 1.192 \cdot 0.733 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \\ c_{D,A} = 804.047 \text{ N.m/m/rad}$$

avec :

- Coefficient de rotation pour tôle d'acier trapézoïdale :
 $C_{100} = 2600 \text{ N.m/m}$
- Coefficient tenant compte de la largeur de la semelle de la poutre :
 $k_{ba} = 0.354$
- Coefficient tenant compte de l'épaisseur :
 $k_t = 1.192$
- Coefficient tenant compte de la largeur de nervure :
 $k_{bR} = 0.733$
- Coefficient tenant compte de l'effet du chargement :
 $k_A = 1$
- Coefficient tenant compte de la largeur de la nervure de la surface à travers laquelle elle est fixée à la poutre :
 $k_{bT} = 1$

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.5.2(4)

Rigidité en rotation correspondant à la rigidité en flexion de la surface :

$$c_{D,C} = \frac{k \cdot E \cdot I_{\text{eff}}}{s} = \frac{6 \cdot 210000.0 \cdot 219.3}{1778.0} = 155450.505 \text{ N.m/m/rad}$$

avec :

- Coefficient tenant compte de la position de la poutre et de la direction de la charge :
 $k = 6$
- Le moment d'inertie, par unité de longueur, de la section efficace de la plaque nervurée :
 $I_{\text{eff}} = 219.3 \text{ mm}^4/\text{mm} (21.93 \text{ cm}^4/\text{m})$
- Espacement max des poutres :
 $s = 1778 \text{ mm}$

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.5.2(1)

Rigidité élastique totale en rotation :

$$c_D = \frac{1}{\left(\frac{1}{c_{D,A}} + \frac{1}{c_{D,C}}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{804.047} + \frac{1}{155450.505}\right)} = 799.909 \text{ N.m/m/rad}$$

- Selon EN 1993-1-3 §10.1.5.1(1)

Rigidité élastique latérale totale :

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B} + \frac{1}{k_C}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.02} + \frac{1}{0.034} + \frac{1}{3.886}\right)} = 0.013 \text{ N/mm}^2$$

avec :

- Rigidité latérale correspondant à la rigidité en rotation de l'assemblage surface/poutre :

$$K_A = \frac{c_{D,A}}{h^2} = \frac{804.047}{200.0^2} = 0.02 \text{ N/mm}^2$$

- Rigidité latérale résultant de la distorsion de la section transversale de la poutre :

$$K_B = \frac{E \cdot t_{\text{cive}}^3}{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot h^2 \cdot (h_d + b_{\text{mod}})}$$

$$K_B = \frac{210000.0 \cdot 1.962^3}{4 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 200.0^2 \cdot (200.0 + 119.0)}$$

$$K_B = 0.034 \text{ N/mm}^2$$

avec :

- La hauteur développée de l'âme de la poutre :

$$h_d = 200 \text{ mm}$$

- La dimension :

$$b_{\text{mod}} = 2a + b = 2 \cdot 29.75 + 59.5 = 119 \text{ mm}$$

- Rigidité latérale résultant de la rigidité de flexion des plaques nervurées :

$$K_C = \frac{c_{D,C}}{h^2} = \frac{155450.505}{200.0^2} = 3.886 \text{ N/mm}^2$$

Recommandations principales

- Afin d'éviter l'écrasement de l'âme sous l'effet de la réaction d'appui, la panne sera suspendue par les échantignoles.
- Pendant la phase d'assemblage, les fardeaux seront stockés au droit des arbalétriers.

Analyse de la section transversale globale

- Effort axial : $N_{Ed} = 0 \text{ kN}$
- Effort de cisaillement : $V_{z,Ed} = -0.092 \text{ kN}$

- Résistance au cisaillement (EN 1993-1-3 §6.1.5):

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w}{\sin \Phi} \cdot t \cdot f_{bv} = \frac{198.0}{\sin 90} \cdot 1.962 \cdot 121.3 = 47130.4 \text{ N} = 47.13 \text{ kN}$$

$$\text{Vérification : } V_{z,Ed} / V_{b,Rd} = -0.092 / 47.13 = 0.2\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

avec :

- La hauteur d'âme entre les fibres moyennes des semelles : $h_w = 198 \text{ mm}$ (EN 1993-1-3 fig. 5.1(c))
- L'angle d'inclinaison de l'âme par rapport aux semelles : $\Phi = 90^\circ$ (EN 1993-1-3 fig. 6.5)
- La résistance au cisaillement compte tenu du voilement, pour $0.83 < \lambda_w = 1.385 < 1.40$:

$$f_{bv} = 0.48 \cdot \frac{f_{yb}}{\lambda_w} = 0.48 \cdot \frac{350.0}{1.385} = 121.3 \text{ MPa} \text{ (EN 1993-1-3 tab. 6.1)}$$

avec :

- L'éclatement relatif de l'âme :

$$\tau_w = 0.346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0.346 \cdot \frac{192.3}{1.962} \sqrt{\frac{350.0}{210000.0}} = 1.385 \text{ (EN 1993-1-3 eq. 6.10a - pour les âmes sans raidisseurs longitudinaux)}$$

- La largeur d'âme, entre les points médians des arrondis : $s_w = 192.3 \text{ mm}$

Analyse des semelles

- Moments de flexion :

- Autour de l'axe fort y-y : $M_{y,Ed} = -4.029 \text{ kN.m}$
- Autour de l'axe faible z-z : $M_{z,Ed} = 0 \text{ kN.m}$

- La charge latérale équivalente agissant sur la semelle, résultant de la torsion et de la flexion latérale :

$$q_{h,Ed} = k_h \cdot qEd = 0.03 \cdot 0.864 = 0.026 \text{ kN/m} \text{ (EN 1993-1-3 eq. 10.4)}$$

avec :

- La charge linéaire sur l'axe z-z : $q_{Ed} = 0.864 \text{ kN/m}$

- Le coefficient en succion : $k_h = k_{h0} - \frac{b - t_N - e}{h - t_N} = 0.166 - \frac{59.5 - 2.0}{200.0 - 2.0} = 0.03$ (EN 1993-1-3 fig. 10.3)

- La position du centre de cisaillement sur l'axe y-y : $e = 1.9 \text{ mm}$

- Le facteur de charge latérale sur la semelle : $k_{h,0} = \frac{h \cdot t_N \cdot \left(b^2 + 2 \cdot c \cdot b - 2 \cdot c^2 \cdot \frac{b}{h}\right)}{4 \cdot I_y} = \frac{200.0 \cdot 2.0 \cdot \left(65.0^2 + 2 \cdot 22.0 \cdot 65.0 - 2 \cdot 22.0^2 \cdot \frac{65.0}{200.0}\right)}{4 \cdot 4086086} = 0.166$ (EN 1993-1-3 fig. 10.3)

- **Semelle supérieure**

- Flexion dans le plan (EN 1993-1-3 §6.1.4) :

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{42326,0 \cdot 350,0}{1,0} = 14814139 \text{ N.mm} = 14,814 \text{ kN.m}$$

$$\text{Vérification : } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = -4,029 / 14,814 = 27,2\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

avec :

- Le module d'inertie de la section efficace par rapport à l'axe y-y : $W_{y,eff} = 42326 \text{ mm}^3$

- Flexion latérale due à la charge selon la pente (EN 1993-1-3 §6.1.4) :

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN.m}; \text{ (La flexion autour de l'axe z-z est reprise par la surface)}$$

$$\text{Vérification : } M_{z,Ed} / M_{fz,Rd} = 0,0\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

- Effort de cisaillement, effort axial et moment fléchissant combinés (EN 1993-1-3 eq. 6.27) :

Il n'est pas nécessaire de tenir compte d'une réduction de capacité due à l'effort de cisaillement dès lors que $V_{z,Ed} \leq 0,5 V_{w,Rd}$.

$$\text{Ici: } 0,2\% \leq 50\% \quad \checkmark$$

- Résistance au flambement de la semelle (EN 1993-1-3 eq. 10.7) :

La semelle est en traction, il n'est donc pas nécessaire de vérifier sa résistance au flambement latéral.

Ratio max : 27,2%

• Semelle inférieure

- Flexion dans le plan (EN 1993-1-3 §6.1.4) :

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{36274,0 \cdot 350,0}{1,0} = 12695868 \text{ N.mm} = 12,696 \text{ kN.m}$$

$$\text{Vérification : } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = -4,029 / 12,696 = 31,7\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

avec :

- Le module d'inertie de la section efficace par rapport à l'axe y-y : $W_{y,eff} = 36274 \text{ mm}^3$

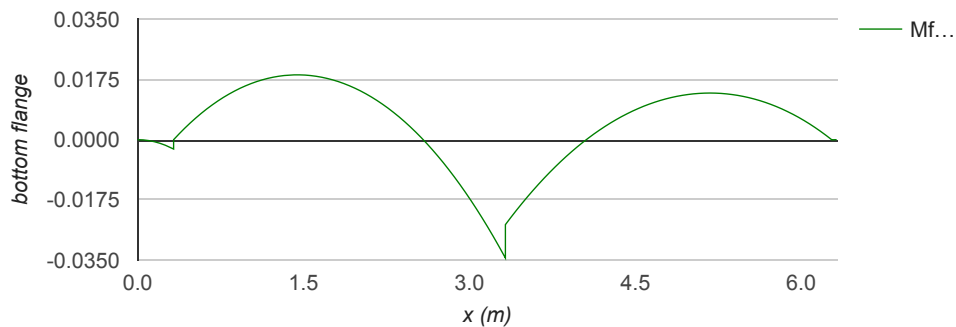
- Flexion latérale provoquée par la charge latérale équivalente agissant sur la semelle (EN 1993-1-3 §6.1.4) :

$$M_{fz,Rd} = \frac{W_{fz} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{3990 \cdot 350,0}{1,0} = 1396500 \text{ N.mm} = 1,396 \text{ kN.m}$$

$$\text{Vérification : } M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} = -0,034 / 1,396 = 2,5\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

avec :

- Moment de flexion latéral dans la semelle :



$$M_{fz,Ed} = -0,034 \text{ kN.m (Résolution analytique)}$$

- Le module d'inertie de la section efficace par rapport à l'axe z-z : $W_{fz} = 3990 \text{ mm}^3$

- Flexion déviée (EN 1993-1-3 eq. 6.7) :

$$\text{Vérification : } M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} = 31,7\% + 2,5\% = 34,2\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

- Effort de cisaillement, effort axial et moment fléchissant combinés (EN 1993-1-3 eq. 6.27) :

Il n'est pas nécessaire de tenir compte d'une réduction de capacité due à l'effort de cisaillement dès lors que $V_{z,Ed} \leq 0,5 V_{w,Rd}$.

$$\text{Ici: } 0,2\% \leq 50\% \quad \checkmark$$

- Résistance au flambement de la semelle (EN 1993-1-3 eq. 10.7) :

$$\left(\frac{1}{\chi_{LT}} \cdot \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{fz,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{fz,Rd}} \right) \right) \cdot \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{1}{0.483} \cdot (31.7\% + 0.0\%) + 2.5\% \right) \cdot \frac{1.0}{1.10} = 68.1\% \leq 100\% \quad \checkmark$$

avec :

- Le coefficient de réduction pour le déversement : (EN 1993-1-1 §6.3.2.3)

$$\chi_{LT} = \min \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}}, \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2}, 1 = \min \frac{1}{1.379 + \sqrt{1.379^2 - 0.75 \cdot 1.379^2}}, \frac{1}{1.379^2}, 1 = 0.483$$

avec :

- $\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0.5 \cdot \left[1 + 0.34 \cdot (1.379 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.379^2 \right] = 1.379$
- $\alpha_{LT} = 0.34$ (en utilisant la courbe de flambement b - EN 1993-1-3 §10.1.4.2(1))
- $\overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ (EN 1993-1-3 §10.1.4.2(1))
- $\beta = 0.75$ (EN 1993-1-3 §10.1.4.2(1))

- $\overline{\lambda}_{LT} = \overline{\lambda}_{fz} = \frac{l_{fz}}{\lambda_1} = \frac{2472.1}{76.95} = 1.379$ (EN 1993-1-3 eq. 10.8)

avec :

- $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{J_{yb}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000.0}{350.0}} = 76.95$

- Le rayon de giration de la section transversale brute de la semelle plus la partie participante de l'âme, pour la flexion par rapport à l'axe z-z : $i_{fz} = 23.3$ mm

- La longueur de flambement de la semelle :

$$l_{fz} = \eta_1 \cdot L_a \cdot (1 + \eta_2 \cdot R^{\eta_3})^{\eta_4} = 0.902 \cdot 3000.0 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.415^{2.18})^{-0.111} = 2472.1 \text{ mm (EN 1993-1-3 eq. 10.9)}$$

avec :

- La distance entre liernes : $L_a = 3000$ mm

- La rigidité de l'appui élastique : $R = \frac{K \cdot L_a^4}{\pi^4 \cdot E \cdot I_{fz}} = \frac{0.013 \cdot 3000.0^4}{\pi^4 \cdot 210000.0 \cdot 120300} = 0.415$

- Comme indiqué dans EN 1993-1-3 Tableaux 10.2, pour une travée simple d'une poutre soumise à une charge non uniforme :

$$\eta_1 = 0.902 ; \eta_2 = 8.55 ; \eta_3 = 2.18 ; \eta_4 = -0.111$$

- Flexion latérale de la semelle :

$$\frac{M_{fz,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{fz,Rd}} = \frac{-0.034 + 0.0}{1.396} = 2.5\%$$

Ratio max : 68.2%