

E-mail : vincentjp@mairie-aixenprovence.fr



Tél : 04.91.90.32.01 – Fax : 04.91.90.03.94 – E-mail : contact@eqcem.com

Note de calculs

1/11

Sommaire

.....	3
Documents de référence	3
LogICiels de calculs utilisés	3
Hypothèses	3
Géométrie	3
Matériaux	4
Acier de charpente	4
Charges	4
Charges permanentes (G)	4
Charges d'exploitation (GR)	5
Combinaisons	5
.....	6
Poutres porteuses IPN200	6
Entretoises UPN80	8
Platelage tôle 5mm	9
Conclusion	11

ANNEXE A : Note descriptive de la modélisation 14

ANNEXE B : Sorties graphiques 19

Objet de la note Cette note a pour objet la vérification structurelle d'une passerelle piétonne franchissant la rivière l'Arc à Aix-en-Provence (13).

Documents de référence

1. NF EN 1990 Eurocode 0 (et son annexe nationale) : base de calculs des structures + NF EN 1991 Eurocode 1 (et son annexe nationale) : Actions sur les structures + NF EN 1992 Eurocode 2 (et son annexe nationale) : Calcul des structures en béton + Relevé de la géométrie de la passerelle établi lors du diagnostic (pas de numéro référence)

LogICiels de calculs utilisés

Logiciel	Version	Distributeur
ADVANCE	2014 SP1	Graitec

Hypothèses

Géométrie

Il s'agit d'une passerelle métallique de 1.50m de largeur supportée par deux profilés IPN200 sur chacun de ses bords. Elle est équipée d'un platelage en tôle acier de 5mm posé sur des entretoises UPN80 chaque mètre.

D'une longueur totale de 34.25m, la passerelle présente un profil en long courbe. Elle se compose de 4 travées continues sur appuis. Les appuis 2 et 4 sont des piles et seront représentés comme des appuis linéaires. Le reste des appuis sont des appuis simples.

On présente ci-après le profil en long et la coupe type de la passerelle :

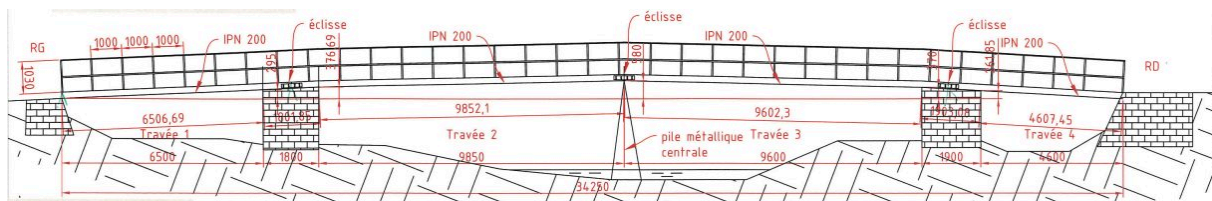


Fig. 1. – : Passerelle - Vue en élévation

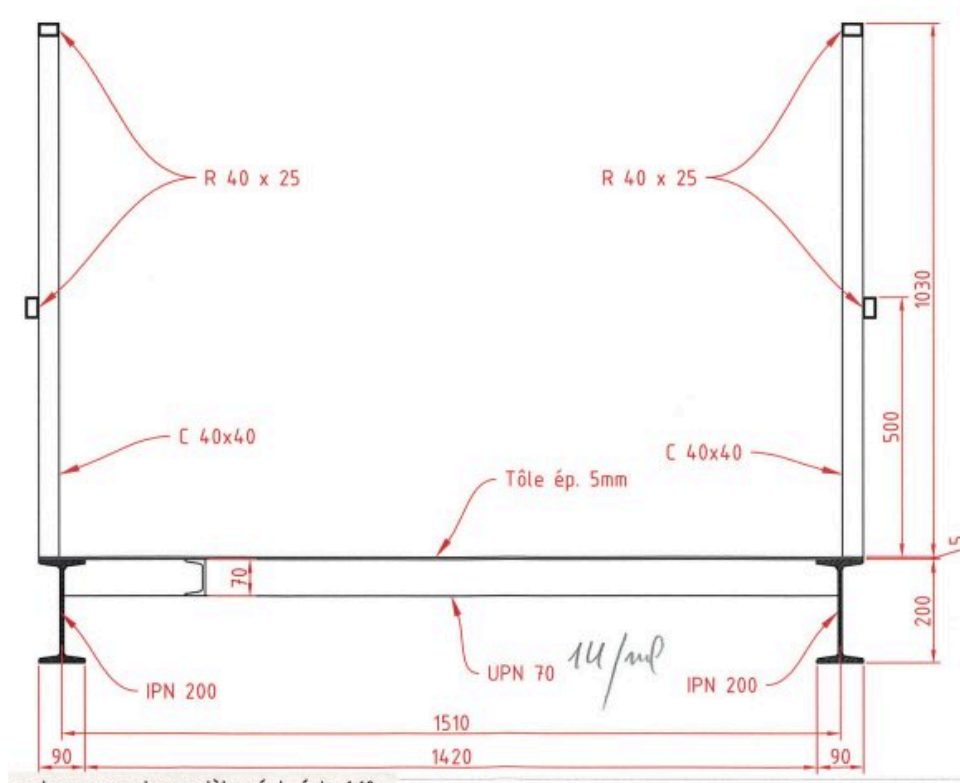


Fig. 2. - : Passerelle - Coupe type

Matériaux

Acier de charpente

La nuance de l'acier constituant la passerelle n'est pas connue. Une reconnaissance de la résistance de cet acier serait susceptible de modifier les conclusions de cette étude. Pour l'heure nous faisons les hypothèses suivantes :

- Nuance : S235
- Limite d'élasticité : $f_y = 235\text{MPa}$
- Masse volumique : $\rho = 7850\text{ kg/m}^3 = 78.50\text{ kN/m}^3$
- Caractéristiques des sections utilisées :

Section	M [kg/ml]	I _y [cm ⁴]	W _{ely} [cm ³]	W _{ply} [cm ³]	Av [cm ²]	Classe
IPN 200	26.2	2140	214	250	16.03	I
UPN 80	8.65	106	26.5	31.8	5.10	I

NOTA : Il n'est pas tenu compte dans cette note de l'état de corrosion de la passerelle et des éventuels chocs qu'elle a pu subir susceptible de modifier la résistance de la structure.

Charges

Charges permanentes (G)

- PP (IPN200) = 0.262 kN/ml
- PP (UPN80) = 0.087 kN/ml (1 UPN80 par mètre)

- $PP(\text{tôle } 5\text{mm}) = 0.005 \cdot 78.50 = 0.393 \text{ kN/m}^2$
- $PP(\text{garde-corps}) = 0.35 \text{ kN/ml}$

La passerelle ayant une largeur de 1.50m la charge permanente uniformément répartie sur une des deux poutres porteuses vaut :

- $g = 0.262 + 0.087 \cdot 1.50/2 + 0.393 \cdot 1.50/2 + 0.35 = 0.972 \text{ kN/ml}$

Charges d'exploitation (GR)

Selon l'EC1, deux modèles de charge sont à prendre en compte pour la passerelle. Un modèle de charge uniformément répartie (GR1) et un modèle de charge concentrée (GR2).

- Modèle de charge uniformément répartie (gr1)
- $q_{fk} = 5.0 \text{ kN/m}^2$
- Modèle de charge concentrée (gr2)
- $Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$ (surface d'impact 0.10m x 0.10m)

NOTA : On ne considère pas de charge correspondant au passage d'un véhicule de service car les dimensions de la passerelle ne permettent pas le cheminement de véhicule.

Combinaisons

On rappelle ci-après les coefficients partiels à prendre en compte pour la constitution des combinaisons :

		Charges permanentes	gr1a ponctuelle	gr1a surfacique
		G	GR1	GR2
γ		1.35	1.35	1.35
ψ_0		0	0.4	0
ψ_1		0	0.4	0
ψ_2		0	0	0

ELS Caractéristique	Principale	$1 \cdot Q$		1	1
	Accomp	$\psi_0 \cdot Q$		0.4	0
ELS Fréquent	Principale	$\psi_1 \cdot Q$		0.4	0
	Accomp	$\psi_2 \cdot Q$		0	0
ELS Quasi-permanent	Principale	$\psi_2 \cdot Q$		0	0
	Accomp	$\psi_2 \cdot Q$		0	0
ELU STR	Principale	$\gamma \cdot Q$		1.35	1.35
	Accomp	$\gamma \cdot \psi_0 \cdot Q$		0.54	0
G	1	1			
	favorable	1			
	défavorable	1.35			

D'où les combinaisons suivantes :

		G	GR1	GR2
ELS Quasi-permanent	ECELSQP	1.00	0.00	
ELS Quasi-permanent	ECELSQP	1.00		0.00
ELS Fréquent	ECELSFQ	1.00	0.40	
ELS Fréquent	ECELSFQ	1.00		0.00
ELS Caractéristique	ECELSCQ	1.00	1.00	
ELS Caractéristique	ECELSCQ	1.00		1.00
ELU STR	ECELUSTR	1.35	1.35	
ELU STR	ECELUSTR	1.35		1.35

Vérification des profilés

Poutres porteuses IPN200

On détermine ci-après le moment de flexion résistant $M_{c, Rd}$, ainsi que l'effort de cisaillement résistant $V_{c, Rd}$ du profilé.

- Moment de flexion résistant : $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} =$

$$W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 250 \cdot 235 / 1.0 = 58.75 \text{ kN.m}$$

- Effort de cisaillement résistant : $V_{c, Rd} =$

$$A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 16.03 \cdot (235 / \sqrt{3}) / 1.0 = 217.5 \text{ kN}$$

si $V_{Ed} > V_{c, Rd} / 2$ alors $M_{c, Rd} = (1 - \rho) \cdot M_{pl, Rd}$ avec $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{c, Rd} - 1)^2$ sinon $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd}$

A l'aide d'un modèle élément fini on détermine les sollicitations du profilé IPN200 pour les combinaisons d'état limite ultime. La combinaison où la charge uniformément répartie est disposée en damier est la plus pénalisante COMB111 [1.35 G + 1.50 GR1]. On obtient :

- $M_{Ed} = 55.59 \text{ kN.m}$ (sur appui)
- $V_{Ed} = 77.75 \text{ kN}$ (sur appui)

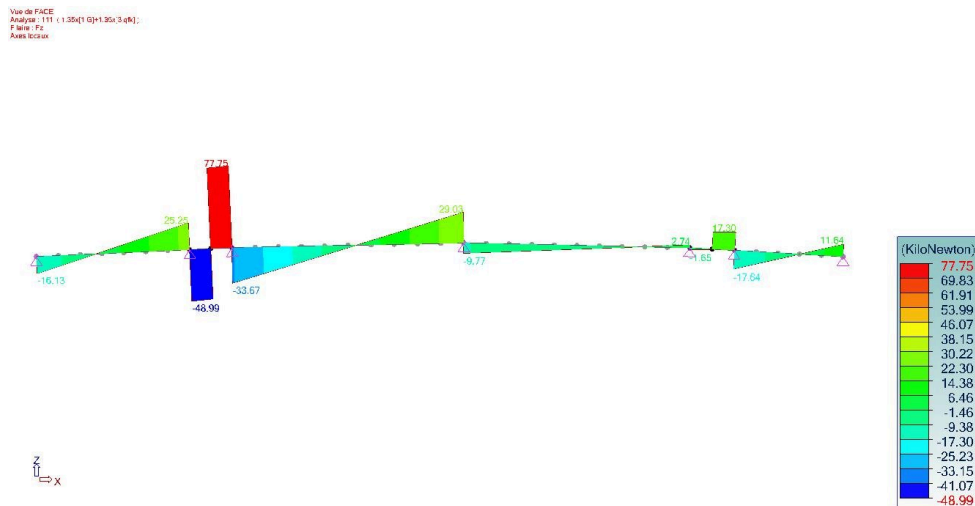


Fig. 5. - : COMB111 - Effort de cisaillement Fz - ELU

On note que $V_{Ed} = 77.75 \text{ kN} < V_{pl, Rd} = 217.5 \text{ kN}$. **Vérifié !**

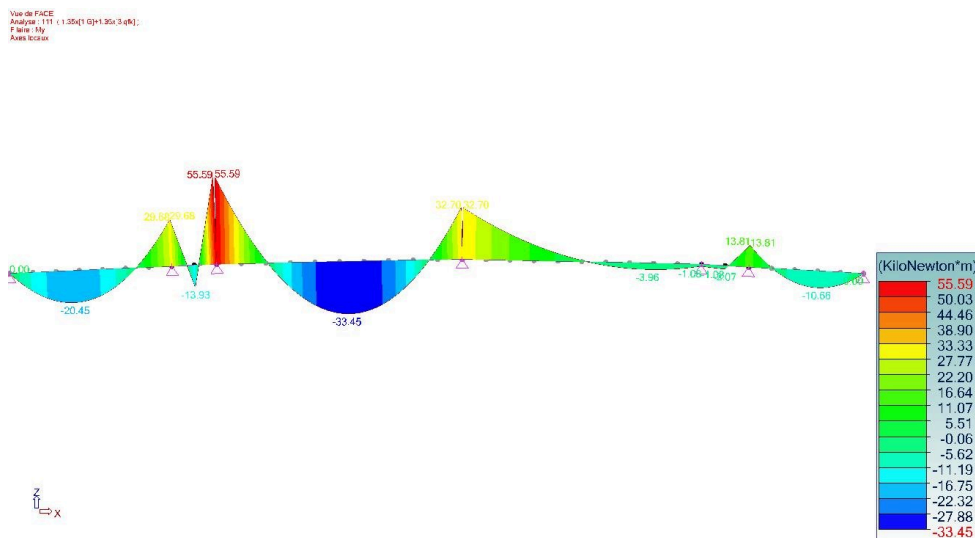


Fig. 6. - : COMB111 - Moment de flexion My - ELU

$V_{Ed} < V_{pl, Rd}/2$, ainsi $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} = 58.75 \text{ kN.m}$

On constate que $M_{Ed} = 55.59 \text{ kN.m} < M_{c, Rd} = 58.75 \text{ kN.m}$ **Vérifié !**

On présente ci-après la distribution des contraintes le long de la poutre pour la combinaison ELU 111 :

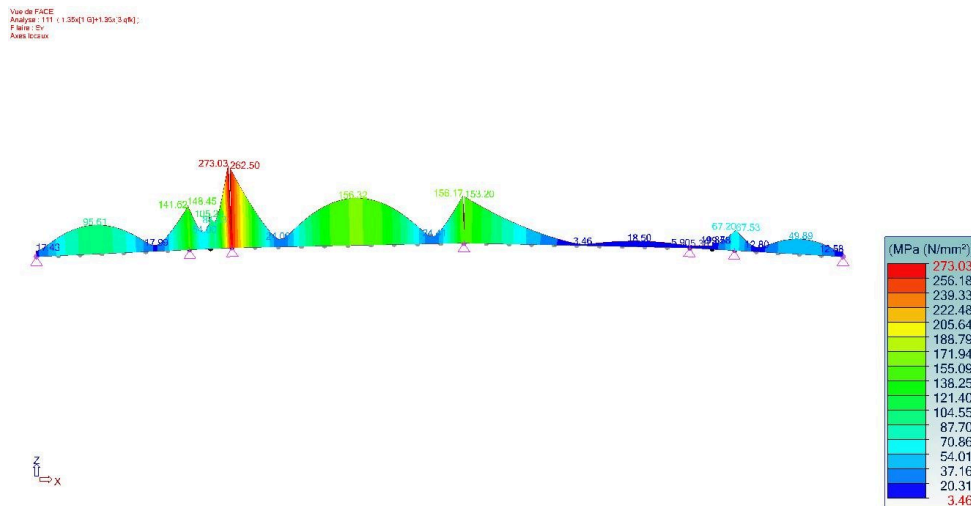


Fig. 7. - : COMB 111 - Distribution des contraintes - Sv

On constate que $\sigma_{Ed} / (f_y / \gamma_{M0}) = 273 / (235 / 1.0) = 1.16 > 1.00$ **Non vérifié !**

On présente ci-après la déformée d'une poutre porteuse pour la combinaison ELS la plus pénalisante COMB107 [1.00 G + 1.00 GR1] avec q_{fk} (5.00 kN/m²) réparti en damier.

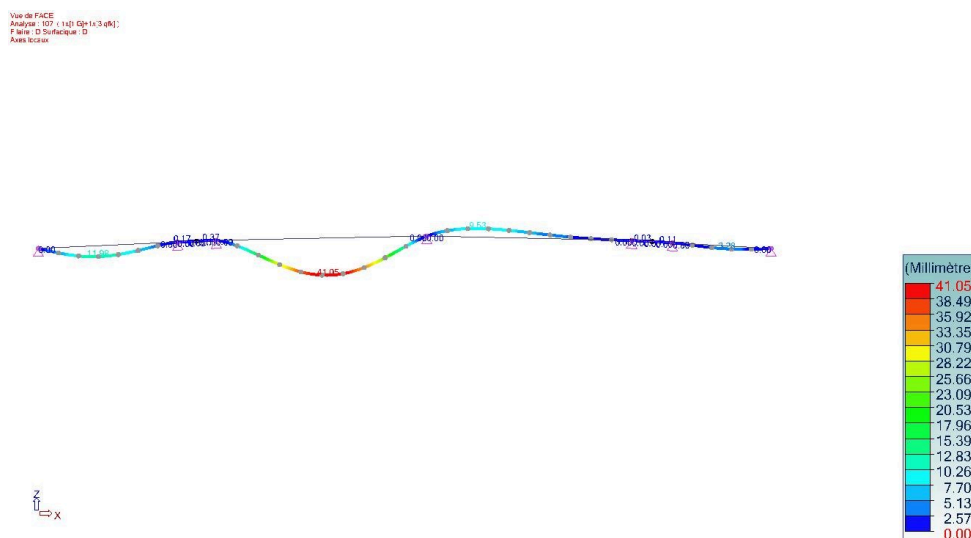


Fig. 8. - : COMB107 - Déformée D - ELS

On obtient une flèche de 41.05 mm dans la travée n°2 d'une portée de 9.85m.

Ainsi, la flèche obtenue vaut **L/239**

Entretoises UPN80

On détermine ci-après le moment de flexion résistant $M_{c, Rd}$, ainsi que l'effort de cisaillement résistant $V_{c, Rd}$ du profilé.

- Moment de flexion résistant : $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd} =$

$$W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 26.5 \cdot 235 / 1.0 = 6.23 \text{ kN.m}$$

- Effort de cisaillement résistant : $V_{pl, Rd} =$

$$A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 5.10 \cdot (235 / \sqrt{3}) / 1.0 = 69.20 \text{ kN}$$

si $V_{Ed} > V_{pl, Rd}/2$ alors $M_{c, Rd} = (1-\rho) \cdot M(\ll pl, Rd \gg)$ avec $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl, Rd} - 1)^2$ sinon $M(\ll c, Rd \gg) = M_{pl, Rd}$

On détermine ci-après les sollicitations du profilé UPN80 pour les combinaisons d'état limite ultime.

Entre deux entretoises la répartition des charges est la suivantes :

Chaque entretoise reprend les charges appliquées à la surface dessinée en rouge sur le dessin ci-dessus.

Ainsi, le chargement d'une entretoise a le profil trapézoïdal suivant :

Avec q la charge uniformément répartie sur le platelage en kN/m^2 .

Pour la combinaison [1.35 G + 1.50 GR1] :

- $p_{0_ELU} = 1.35 \cdot (0.0865 + 78.50 \cdot 0.005) + 1.50 \cdot 5.00 = 8.15 \text{ kN/ml}$
- $M_{Ed} = p_{0_ELU} \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2) / 24 = 8.15 \cdot (3 \cdot 1.50^2 - 4 \cdot 0.50^2) / 24 = 1.95 \text{ kN.m}$
- $V_{Ed} = p_{0_ELU} / 2 \cdot (L - a) = 8.15 / 2 \cdot (1.50 - 0.50) = 4.08 \text{ kN}$

On constate que :

- $V_{Ed} = 4.08 \text{ kN} < V_{pl, Rd} / 2 < V_{pl, Rd} = 69.20 \text{ kN}$

ainsi, $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd}$ **Vérifié !**

- $M_{Ed} = 1.95 \text{ kN.m} < M_{c, Rd} = 6.23 \text{ kN.m}$

Vérifié !

On calcule ci-après les contraintes dans l'entretoise à l'état limite ultime :

- $\sigma_{x, Ed} = M_{Ed} / W_{pl} = 1.95 / 250 \cdot 10^{-6} = 7.8 \text{ MPa}$
- $\tau_{Ed} = \sqrt{3} \cdot (V_{Ed} / A_v) = \sqrt{3} \cdot 4.08 / 5.1 \cdot 10^{-4} = 13.9 \text{ MPa}$
- $\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{x, Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} = \sqrt{7.8^2 + 3 \cdot 13.9^2} = 25.3 \text{ MPa}$
- $\sigma_{Ed} / f_{y, i} / \gamma_{M0} = 25.3 / 235 / 1.0 = 0.11 < 1.0$

Vérifié !

On calcule ci-après la flèche d'une entretoise pour la combinaison ELS [1.00 G + 1.00 GR1] :

- $p_{ELS} = 1.00 \cdot (0.0865 + 78.50 \cdot 0.005) + 1.00 \cdot 5.00 = 5.48 \text{ kN/ml}$
- $f_{ELS} = p_{ELS} / (1920 \cdot E \cdot I) \cdot (5 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)^2 = 5.48 / (1920 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 106 \cdot 10^{-8}) \cdot (5 \cdot 1.50^2 - 4 \cdot 0.50^2)^2 = 0.13 \text{ mm} = \mathbf{L/11539}$

Platelage tôle 5mm

Pour ces vérifications, la tôle est considérée comme une appuyée simplement sur quatre appuis entre les entretoises et les poutres porteuses. On détermine ci-après les caractéristiques mécaniques de la tôle pour cette géométrie.

$$I = b \cdot e^3 / 12 = 100 \cdot 0.5^3 / 12 = 1.04 \text{ cm}^4$$

$$W_{el} = I / v = b \cdot e^2 / 6 = 100 \cdot 0.5^2 / 6 = 4.17 \text{ cm}^3$$

$$A_v = b \cdot e = 100 \cdot 0.5 = 50 \text{ cm}^2$$

On détermine ci-après le moment de flexion résistant $M_{c, Rd}$, ainsi que l'effort de cisaillement résistant $V_{c, Rd}$ de la tôle.

- Moment de flexion résistant : $M_{c, Rd} = M_{el, Rd} =$

$$W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 4.17 \cdot 235 / 1.0 = 0.98 \text{ kN.m}$$

- Effort de cisaillement résistant : $V_{pl, Rd} =$

$$A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 50 \cdot (235 / \sqrt{3}) / 1.0 = 678.4 \text{ kN}$$

si $V_{Ed} > V_{pl, Rd} / 2$ alors $M_{c, Rd} = (1 - \rho) \cdot M_{pl, Rd}$ avec $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{pl, Rd} - 1)^2$ sinon $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd}$

Pour la combinaison [1.35 G + 1.50 GR1] :

- $p_{ELU} = 1.35 \cdot (78.50 \cdot 0.005) + 1.50 \cdot 5.00 = 8.03 \text{ kN/ml}$

- $M_{Ed, x} = \beta \cdot p_{ELU} \cdot a^2 = 0.0812 \cdot 8.03 \cdot 1.00^2 =$

$$0.65 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed, x} = \gamma \cdot p_{ELU} \cdot a = 0.424 \cdot 8.03 \cdot 1.00 = 0.28 \text{ kN}$$

Les coefficients beta et gamma sont extraits d'un formulaire de RDM pour une plaque dont le rapport longueur/largeur vaut 1.5, simplement appuyées sur ses quatre bords et soumise à une charge uniformément répartie.

- $V_{Ed} = 0.28 \text{ kN} < V_{pl, Rd} / 2 < V_{pl, Rd} = 678.4 \text{ kN}$

ainsi, $M_{c, Rd} = M_{pl, Rd}$ **Vérifié !**

- $M_{Ed} = 0.65 \text{ kN.m} < M_{c, Rd} = 0.98 \text{ kN.m}$

Vérifié !

On calcule ci-après les contraintes dans la tôle à l'état limite ultime :

- $\sigma_{x, Ed} = M_{Ed} / W_{el} = 0.65 / 4.17 \cdot 10^{-6} = 155.9 \text{ MPa}$

- $\tau_{Ed} = \sqrt{3} \cdot (V_{Ed} / A_v) = \sqrt{3} \cdot 0.28 / 50 \cdot 10^{-4} = 0.1 \text{ MPa}$

- $\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{x, Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} =$

$$\sqrt{155.9^2 + 3 \cdot 0.1^2} = 155.9 \text{ MPa}$$

- $\sigma_{Ed} / f_y / \gamma_{M0} = 155.9 / 235 / 1.0 = 0.66 < 1.0$

Vérifié !

On calcule ci-après la flèche de la tôle pour la combinaison ELS [1.00 G + 1.00 GR1] :

On considère la tôle comme une plaque (1.50m*1.00m ; b/a=1.50) articulée sur quatre côtés pour le calcul de la flèche.

- $p_{ELS} = 1.00 \cdot (78.50 \cdot 0.005) + 1.00 \cdot 5.00 = 5.39 \text{ kN/ml}$

- $f_{ELS} = -\alpha \cdot p_{ELS} \cdot a^4 / (E \cdot e^3) =$

$$0.0843 \cdot 5.39 \cdot 1.0^4 / (200 \cdot 10^9 \cdot 0.005^3)$$

$$= 17 \text{ mm} = L/59$$

Conclusion

Il apparaît que les poutres porteuses de la passerelle sont légèrement sous dimensionnées par rapport aux hypothèses retenues sur la qualité de l'acier.

On rappelle les principaux résultats dans le tableau suivant :

	Flexion		Cisaillement		Contraintes		Taux de travail
	M_{Ed} [kN.m]	$M_{c, Rd}$ [kN.m]	V_{Ed} [kN]	$V_{c, Rd}$ [kN]	$\sigma_{x, Ed}$ [MPa]	τ_{Ed} [MPa]	
Poutres porteuses IPN 200	55.6	58.8	77.8	217.5	259.8	48.5	116%
Entre-toises UPN 80	1.95	6.23	4.08	69.2	7.8	13.9	11%
Platelage Tôle 5mm	0.65	0.98	0.28	678.4	155.9	0.1	66%

Bien que les poutres porteuses soient suffisamment résistantes pour reprendre les efforts appliqués aux ELU, la vérification en contrainte n'est pas satisfaisante au droit de l'appui n°2.

Les vérifications des entretoises et du platelage quant à elles sont satisfaisantes.