

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU	Page	1	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE				
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1				
	Réalisé par	Mladen Lukic	Date	Janvier 2006		
	Vérifié par	Alain Bureau	Date	Janvier 2006		
Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE Cet exemple donne les détails de la vérification conformément à l'EN 1993-1-1 d'une panne sur deux appuis soumise à une charge uniforme. La panne est un profilé laminé en I maintenu latéralement par un bac acier. Application L'exemple couvre le calcul d'un profilé laminé à chaud utilisé comme panne, en flexion par rapport à son axe fort. La panne est maintenue latéralement par le bac acier. Cet exemple comprend : - la classification de la section transversale ; - le calcul de la résistance à la flexion, y compris le calcul précis du moment critique de déversement élastique ; - le calcul de la résistance au cisaillement ; - le calcul des flèches à l'état limite de service. La vérification du bac acier est en dehors du cadre de cet exemple d'application. Coefficients partiels de sécurité $\gamma_{Gmax} = 1,35$ (charges permanentes) $\gamma_{Gmin} = 1,00$ (charges permanentes) $\gamma_Q = 1,50$ (charges variables) $\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,0$ Charge La charge uniformément répartie comprend : - Le poids propre de la poutre - La toiture : 0,240 kN/m² - La charge de neige : 0,618 kN/m² - Les charges dues au vent (réaction d'appui négative) : 0,730 kN/m²						
						EN 1990
						EN 1993-1-1 § 6.1 (1)

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU		Page	2	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE					
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1					
	Réalisé par	Mladen Lukic			Date	Janvier 2006	
	Vérifié par	Alain Bureau			Date	Janvier 2006	

Données géométriques

Panne

- Portée : $L = 7,20\text{ m}$
- Espacement : $s = 3,00\text{ m}$

Calcul avec un profilé IPE 180 – Nuance d’acier S275

Hauteur

$h = 180\text{ mm}$

Largeur

$b = 91\text{ mm}$

Epaisseur de l’âme

$t_w = 5,3\text{ mm}$

Epaisseur de la semelle

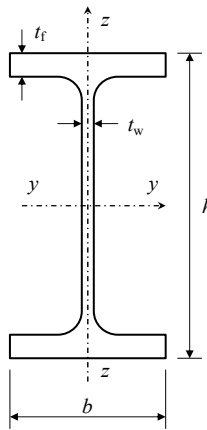
$t_f = 8\text{ mm}$

Congé de raccordement

$r = 9\text{ mm}$

Masse

$18,8\text{ kg/m}$



Aire de la section

$A = 23,9\text{ cm}^2$

Moment d’inertie par rapport à l’axe y-y

$I_y = 1317\text{ cm}^4$

Moment d’inertie par rapport à l’axe z-z

$I_z = 100,9\text{ cm}^4$

Inertie de torsion

$I_t = 4,79\text{ cm}^4$

Inertie de gauchissement

$I_w = 7430\text{ cm}^6$

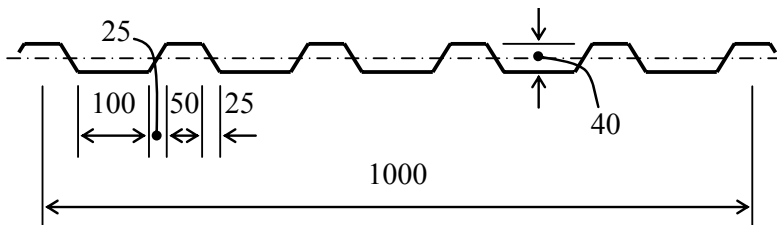
Module élastique par rapport à l'axe y-y

$W_{el,y} = 146,3\text{ cm}^3$

Module plastique par rapport à l’axe y-y

$W_{pl,y} = 166,4\text{ cm}^3$

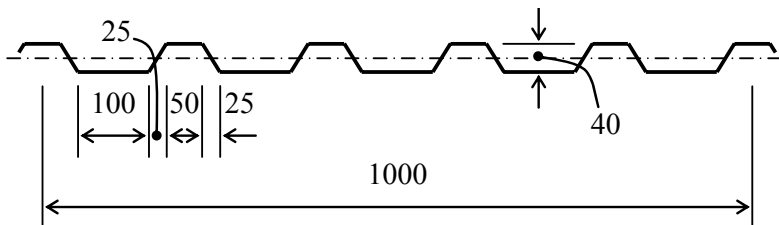
Tôle – Nuance d'acier S350



Epaisseur de la tôle $t = 0,7\text{ mm}$

Euronorm 19-57

Tôle – Nuance d'acier S350



Epaisseur de la tôle $t = 0,7\text{ mm}$

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU	Page	3	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE				
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1				
	Réalisé par	Mladen Lukic	Date	Janvier 2006		
	Vérifié par	Alain Bureau	Date	Janvier 2006		
Il est possible de calculer la rigidité en cisaillement des plaques nervurées attachées à la panne au droit de chaque nervure et au droit de chaque recouvrement transversal selon l'EN 1993-1-3. La formule est : $S = 1000 \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \sqrt[3]{b_{\text{roof}}} \right) \frac{s}{h_w}$ Les expressions suivantes sont calculées : $\sqrt{t^3} = \sqrt{0,7^3} = 0,586 \text{ mm}^{3/2}$ $50 + 10 \sqrt[3]{b_{\text{roof}}} = 50 + 10 \times \sqrt[3]{7200} = 243 \text{ mm}^{2/3}$ $\frac{s}{h_w} = \frac{3000}{40} = 75$ La rigidité en cisaillement est donc : $S = 1000 \times 0,586 \times 243 \times 75 \times 10^{-3} = 10680 \text{ kNm / m}$ <u>Capacité de la tôle pour le maintien de la panne</u> Maintien latéral continu Si l'exigence suivante est satisfaite, on peut considérer que la panne est maintenue latéralement dans le plan de la tôle : $S \geq S_{\min} = \left(\frac{\pi^2 E I_w}{L^2} + G I_t + \frac{\pi^2 E I_z (h/2)^2}{L^2} \right) \times \frac{70}{h^2}$ On calcule : $\frac{\pi^2 E I_w}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 7430 \times 10^6}{7200^2} \times 10^{-9} = 0,2971 \text{ kNm}^2$ $G I_t = 80770 \times 4,79 \times 10^4 \times 10^{-9} = 3,869 \text{ kNm}^2$ $\frac{\pi^2 E I_z (h/2)^2}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 100,9 \times 10^4 \times 90^2}{7200^2} \times 10^{-9} = 0,3268 \text{ kNm}^2$ La rigidité minimale est donc : $S_{\min} = (0,2971 + 3,869 + 0,3265) \times \frac{70}{0,18^2} = 9706 \text{ kNm/m}$						EN 1993-1-3 § 10.1.1 (10)
						EN 1993-1-1 §BB.2.1 EN 1993-1-3 § 10.1.1 (6)

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU	Page	4	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE				
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1				
	Réalisé par	Mladen Lukic	Date	Janvier 2006		
	Vérifié par	Alain Bureau	Date	Janvier 2006		

Par conséquent :

$$S = 10680 \text{ kNm/m} > S_{\min} = 9706 \text{ kNm/m}$$

La condition est donc remplie et on considère que le bac est suffisamment rigide pour maintenir la panne. Remarquons que les exigences concernant la résistance et la stabilité du bac acier sont données dans l'EN 1993-1-3 ; ces vérifications sont en dehors du cadre de cet exemple d'application.

Charges

- Pannes : $G_1 = (18,8 \times 9,81) \times 10^{-3} = 0,184 \text{ kN/m}$
- Toiture : $G_2 = 0,240 \times 3,00 = 0,720 \text{ kN/m}$
- Charge permanente : $G = G_1 + G_2 = 0,904 \text{ kN/m}$
- Neige : $Q_S = 0,618 \times 3,00 = 1,854 \text{ kN/m}$
- Charges dues au vent (réaction d'appui négative):
 $Q_W = 0,730 \times 3,00 = 2,190 \text{ kN/m}$

Remarque : On suppose que la pente du toit est tellement faible que la décomposition des charges verticales en deux composantes, l'une parallèle à l'âme et l'autre parallèle au plan du toit, n'est pas nécessaire dans le cas présent.

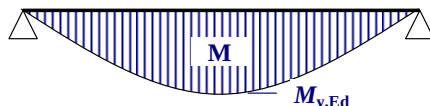
Combinaisons à l'ELU :

- Moment positif :
 $\gamma_{G_{\max}} G + \gamma_Q Q_S = 1,35 \times 0,904 + 1,50 \times 1,854 = 4,00 \text{ kN/m}$
- Moment négatif :
 $\gamma_{G_{\min}} G + \gamma_Q Q_S = 1,00 \times 0,904 - 1,50 \times 2,190 = -2,38 \text{ kN/m}$

[EN 1990](#)
[§ 6.4.3.2](#)

Diagramme du moment

- Moment positif maximal à mi-portée :
 $M_{y,Ed} = 0,125 \times 4,00 \times 7,20^2 = 25,92 \text{ kNm}$



[EN 1990](#)
[§ 6.5.3](#)

[EN 1993-1-1](#)
[Tableau 3.1](#)

[EN 1993-1-1](#)
[Tableau 5.2](#)
(page 2 sur 3)

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU	Page	6	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE				
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1				
	Réalisé par	Mladen Lukic	Date	Janvier 2006		
	Vérifié par	Alain Bureau	Date	Janvier 2006		
Paroi comprimée interne : âme en flexion pure $c = h - 2 t_f - 2 r = 180 - 2 \times 8 - 2 \times 9 = 146 \text{ mm}$ $c / t_w = 146 / 5,3 = 27,5 < 72 \varepsilon = 66,24 \quad \text{Classe 1}$ La classe de la section transversale est la classe la moins favorable des classes de la semelle et de l'âme, en l'occurrence : Classe 1 Ainsi, les vérifications à l'ELU doivent reposer sur la résistance plastique de la section transversale. <u>Moment résistant – Moment positif</u> La résistance de calcul à la flexion d'une section transversale s'obtient par : $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = (166,4 \times 275 / 1,0) \times 10^{-3}$ $M_{c,Rd} = 45,76 \text{ kNm}$ $M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 25,92 / 45,76 = 0,566 < 1 \quad \text{OK}$ Il n'est pas nécessaire d'effectuer la vérification contre le déversement puisque l'on considère que la semelle comprimée est complètement maintenue latéralement. <u>Moment résistant – Moment négatif</u> Le critère de résistance à la flexion est : $M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 15,42 / 45,76 = 0,337 < 1 \quad \text{OK}$ Cependant, il est nécessaire de vérifier la résistance au déversement puisque la semelle comprimée est désormais non maintenue latéralement. Coefficient de réduction pour le déversement Afin de déterminer le moment de résistance au déversement de la panne, le coefficient de réduction pour le déversement est déterminé à partir du moment critique de déversement élastique en prenant en compte le maintien latéral de la semelle en traction. Remarque : Le maintien en torsion dû au bac est également présent physiquement et peut être pris en compte. Dans cette feuille de calcul, on supposera qu'il est insignifiant et il ne sera donc pas considéré.						EN 1993-1-1 Tableau 5.2 (page 1 de 3)
						EN 1993-1-1 § 6.2.5
						EN 1993-1-1 § 6.2.5

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU		Page	7	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE					
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1					
	Réalisé par	Mladen Lukic			Date	Janvier 2006	
	Vérifié par	Alain Bureau			Date	Janvier 2006	
Moment critique de déversement Le moment critique peut être calculé en utilisant le logiciel <i>LTBeam</i> développé par le CTICM. Ce logiciel permet au projeteur de prendre en compte des conditions particulières de maintien comme un maintien continu le long de la semelle tendue, ainsi que sa position par rapport au centre de cisaillement. Note : <i>LTBeam</i> est un logiciel qui peut être téléchargé gratuitement sur le site Internet www.cticm.com Elancement réduit L'élancement réduit s'obtient à partir de la formule suivante : $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166400 \times 275 \times 10^{-6}}{27,20}} = 1,297$ Dans le cas de profilés laminés, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ Remarque : l'Annexe Nationale peut également donner la valeur de $\bar{\lambda}_{LT,0}$. La valeur recommandée est 0,4. Donc $\bar{\lambda}_{LT} = 1,297 > \bar{\lambda}_{LT,0}$ Coefficient de réduction Dans le cas d'un profilé laminé, le coefficient de réduction pour le déversement se calcule de la façon suivante : $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{mais} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1.0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$ où : $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0} \right) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$ α_{LT} est le facteur d'imperfection pour le déversement. Lorsque l'on applique la méthode pour les profilés laminés, la courbe de déversement doit être sélectionnée à partir du Tableau 6.5 : Pour $h/b = 180 / 91 = 1,97 \leq 2 \rightarrow$ Courbe b ($\alpha_{LT} = 0,34$) $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ et $\beta = 0,75$							
SN011 EN 1993-1-1 §6.3.2.2 (1) EN 1993-1-1 § 6.3.2.3 (1) EN 1993-1-1 Tableau 6.5 Tableau 6.3							

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU		Page	8	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE					
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1					
	Réalisé par	Mladen Lukic			Date	Janvier 2006	
	Vérifié par	Alain Bureau			Date	Janvier 2006	
Remarque : L'Annexe Nationale peut donner les valeurs de $\bar{\lambda}_{LT,0}$ et de β. Les valeurs recommandées sont respectivement 0,4 et 0,75. On obtient : $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,34 (1,297 - 0,4) + 0,75 \times 1,297^2 \right] = 1,283$ et : $\chi_{LT} = \frac{1}{1,283 + \sqrt{1,283^2 - 0,75 \times 1,297^2}} = 0,525$ On vérifie ensuite : $\chi_{LT} = 0,525 < 1,0$ OK et : $\chi_{LT} = 0,525 < 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,594$ Calcul du moment de résistance au déversement $M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}$ $M_{b,Rd} = (0,525 \times 166400 \times 275 / 1,0) \times 10^{-6} = 24,02 \text{ kNm}$ $M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 15,42 / 24,02 = 0,642 < 1$ OK Résistance au cisaillement En l'absence de torsion, la résistance plastique au cisaillement dépend de l'aire de cisaillement, qui se calcule au moyen de l'expression suivante : $A_{v,z} = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$ $A_{v,z} = 2390 - 2 \times 91 \times 8 + (5,3 + 2 \times 9) \times 8 = 1120 \text{ mm}^2$ Résistance plastique au cisaillement $V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1120 \times (275 / \sqrt{3})}{1,0} \times 10^{-3} = 177,8 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 14,4 / 177,8 = 0,081 < 1$ OK Remarque : Il n'est pas nécessaire de prendre en compte l'interaction entre l'effort tranchant et le moment puisque le moment maximal est obtenu à mi-portée et que l'effort tranchant maximal est obtenu aux appuis.							
EN 1993-1-1 § 6.3.2.1 EN 1993-1-1 § 6.2.6 (3) EN 1993-1-1 § 6.2.6 (2) EN1993-1-1 § 6.2.8							

FEUILLE DE CALCUL 	Réf. document :	SX021a-FR-EU	Page	9	de	10
	Titre	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE				
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1				
	Réalisé par	Mladen Lukic	Date	Janvier 2006		
	Vérifié par	Alain Bureau	Date	Janvier 2006		
Remarquons qu'il n'est pas nécessaire de vérifier la résistance au voilement par cisaillement lorsque : $h_w / t_w \leq 72 \varepsilon / \eta$ Par sécurité on peut prendre $\eta = 1,0$ $h_w / t_w = (180 - 2 \times 8) / 5,3 = 30,9 < 72 \times 0,92 / 1,0 = 66,24$ <u>Flèche – Moment positif</u> Flèche sous G $w = \frac{5 G L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 0,904 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 11,4 \text{ mm} = L/632$ Flèche sous Q $w = \frac{5 Q L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 1,854 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 23,5 \text{ mm} = L/306$ La flèche résultante sous (G+Q) est L/206 <u>Flèche – Moment négatif</u> Flèche sous G $w = \frac{5 G L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 0,904 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 11,4 \text{ mm} = L/632$ Flèche sous Q $w = \frac{5 Q L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times (-2,190) \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = -27,7 \text{ mm} = L/260$ La flèche résultante sous (G+Q) est L/442 Remarque : Le client devrait spécifier la flèche maximale tolérée. L'Annexe Nationale peut préciser quelques valeurs limites. Dans le cas présent, on peut considérer que les résultats sont pleinement satisfaisants.						EN 1993-1-1 § 6.2.6 (6) EN 1993-1-1 § 7.2.1 EN 1993-1-1 § 7.2.1



Enregistrement de la qualité

TITRE DE LA RESSOURCE	Exemple : Panne sur deux appuis en profilé IPE		
Référence(s)			
DOCUMENT ORIGINAL			
	Nom	Société	Date
Créé par	Mladen Lukic	CTICM	08/12/05
Contenu technique vérifié par	Alain Bureau	CTICM	08/12/05
Contenu rédactionnel vérifié par			
Contenu technique approuvé par les partenaires :			
1. Royaume-Uni	G W Owens	SCI	07/04/06
2. France	A Bureau	CTICM	07/04/06
3. Suède	B Uppfeldt	SBI	07/04/06
4. Allemagne	C Müller	RWTH	07/04/06
5. Espagne	J Chica	Labein	07/04/06
Ressource approuvée par le Coordonnateur technique	G W Owens	SCI	17/07/06
DOCUMENT TRADUIT			
Traduction réalisée et vérifiée par :		eTeams Inetrnational Ltd.	26/06/06
Ressource traduite approuvée par :	M. Lukic	CTICM	06/07/06