FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	1 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires

Cet exemple donne les détails de la vérification d'une poutre simple soumise à une charge uniforme. La poutre est maintenue latéralement par des pannes.

Application

Cet exemple traite d'une poutre de toiture sur appuis simples, avec maintiens latéraux intermédiaires, soumise à une charge uniformément répartie :

- poids propre de la poutre
- couverture avec pannes
- charges climatiques

La poutre est un profilé en I laminé, en flexion par rapport à son axe fort.

Cet exemple comprend :

- la classification de la section transversale,
- le calcul de la résistance en flexion,
- le calcul de la résistance au cisaillement,
- le calcul de la flèche à l'état limite de service.

Coefficients partiels de sécurité

$\gamma_{G,sup}$	= 1,35	(charges permanentes)	EN 1990
$\gamma_{G,inf}$	= 1,0	(charges permanentes)	Tableau A1.2 (B)
γ_{Q}	= 1,50	(charges variables)	
γ_{M0}	= 1,0		EN 1993-1-1
γ_{M1}	= 1,0		§ 6.1 (1)

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

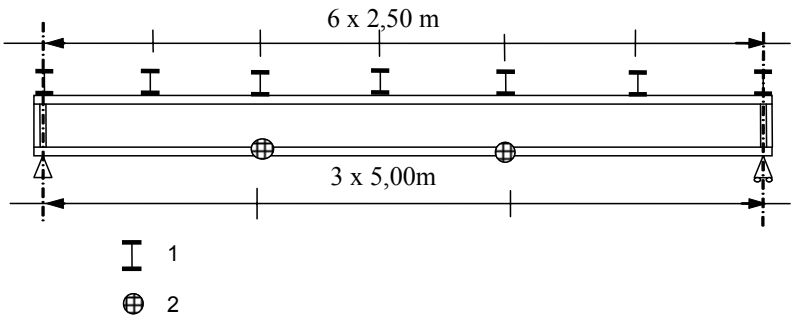
FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	2 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Données

Calcul d'une poutre de toiture non mixte à l'aide des données suivantes. On considère que la poutre est maintenue latéralement à ses extrémités.

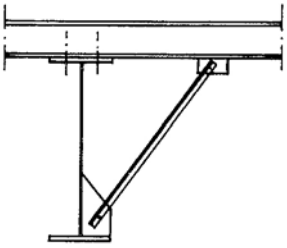
Portée :	15,00 m	
Espacement :	6,00 m	
Couverture :	0,30 kN/m^2	
Charge climatique :	Neige	0,60 kN/m^2
Charge climatique :	Vent	–0,50 kN/m^2 (soulèvement)
Nuance d'acier :	S235	

Les charges climatiques sont données par leurs valeurs caractéristiques que l'on suppose avoir été calculées selon EN 1991.



1 : Maintiens latéraux (pannes)

2 : Maintiens latéraux (système de contreventement)



Système de contreventement

La poutre est maintenue latéralement aux appuis, au niveau des semelles supérieures par les pannes (espacées de 2,50 m) et au niveau des semelles inférieures par des entretoises (espacées de 5,00 m).

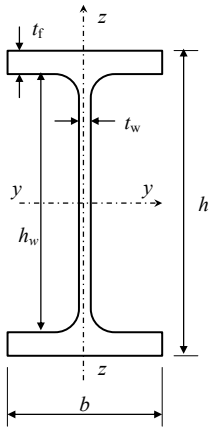
Elle est fabriquée avec une contre-flèche égale à l/500, w_c = 30 mm.

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	3 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Considérons le profilé IPE 400 – Nuance d'acier S235

Euronorme 19-57



Hauteur	$h = 400$ mm
Hauteur de l'âme	$h_w = 373$ mm
Largeur	$b = 180$ mm
Epaisseur de l'âme	$t_w = 8{,}6$ mm
Epaisseur de l'aile	$t_f = 13{,}5$ mm
Congé de raccordement	$r = 21$ mm
Masse	66,3 kg/m

Aire de la section	$A = 84{,}46$ cm^2
Moment d'inertie par rapport à l'axe y-y	$I_y = 23130$ cm^4
Moment d'inertie par rapport à l'axe z-z	$I_z = 1318$ cm^4
Inertie de torsion	$I_t = 51{,}08$ cm^4
Inertie de gauchissement	$I_w = 490\,000$ cm^6
Module élastique par rapport à l'axe y-y	$W_{el,y} = 1156$ cm^3
Module plastique par rapport à l'axe y-y	$W_{el,y} = 1307$ cm^3

Poids propre de la poutre : $(66{,}3 \times 9{,}81) \times 10^{-3} = 0{,}65$ kN/m

Charges permanentes :

$G = 0{,}65 + 0{,}30 \times 6{,}00 = 2{,}45$ kN/m

Charge climatique :

$Q_s = 0{,}60 \times 6{,}0 = 3{,}60$ kN/m

$Q_w = -0{,}50 \times 6{,}0 = -3{,}00$ kN/m

Combinaison à l'ELU (Etat Limite Ultime) :

Combinaison 1 $\gamma_{G,sup}\, G + \gamma_Q\, Q_s = 1{,}35 \times 2{,}45 + 1{,}50 \times 3{,}60 = 8{,}71$ kN/m

Combinaison 2 $\gamma_{G,inf}\, G + \gamma_Q\, Q_w = 1{,}00 \times 2{,}45 - 1{,}50 \times 3{,}00 = -2{,}05$ kN/m

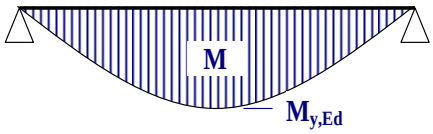
EN 1990 § 6.4.3.2

Expression 6.10

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	4 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Diagramme du moment

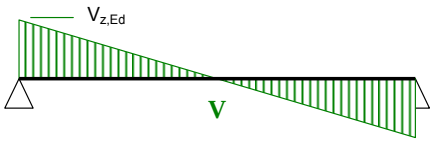


Moment maximal à mi-portée :

Combinaison 1 $M_{y,Ed} = 0{,}125 \times 8{,}71 \times 15^2 = 244{,}97$ kNm

Combinaison 2 $M_{y,Ed} = 0{,}125 \times -2{,}05 \times 15^2 = -57{,}66$ kNm

Diagramme de l'effort tranchant



Effort tranchant maximal aux appuis :

Combinaison 1 $V_{z,Ed} = 0{,}5 \times 8{,}71 \times 15 = 65{,}33$ kN

Combinaison 2 $V_{z,Ed} = 0{,}5 \times -2{,}05 \times 15 = -15{,}38$ kN

Limite d'élasticité

Nuance de l'acier S235 — EN 1993-1-1

L'épaisseur maximale est de 13,5 mm < 40 mm, donc : $f_y = 235$ N/mm^2 — Tableau 3.1

Remarque : L'Annexe nationale peut imposer soit les valeurs de f_y tirées du Tableau 3.1, soit celles de la norme du produit.

Classification de la section :

Le paramètre ε est fonction de la limite d'élasticité : $\varepsilon = \sqrt{\dfrac{235}{f_y\,[\text{N/mm}^2]}} = 1$ — EN 1993-1-1 Tableau 5.2 (page 2 de 3)

Aile « en console » : aile soumise à un effort de compression uniforme

$c = (b - t_w - 2\,r) / 2 = (180 - 8{,}6 - 2 \times 21)/2 = 64{,}7$ mm

$c/t_f = 64{,}7 / 13{,}5 = 4{,}79 \leq 9\,\varepsilon = 9$ Classe 1

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	5 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Partie interne comprimée : âme en flexion simple — EN 1993-1-1 Tableau 5.2 (page 1 de 3)

$c = h - 2\,t_f - 2\,r = 400 - 2 \times 13{,}5 - 2 \times 21 = 331$ mm

$c / t_w = 331 / 8{,}6 = 38{,}49 \quad < \quad 72\,\varepsilon = 72 \qquad$ Classe 1

La classe de la section transversale est la classe la plus élevée (c'est-à-dire la moins favorable) entre l'aile et l'âme, en l'occurrence : Classe 1

Ainsi, les vérifications à l'ELU doivent reposer sur la résistance plastique de la section transversale, puisque celle-ci est de classe 1.

Moment résistant

La résistance en flexion d'une section transversale s'obtient par : — EN 1993-1-1 § 6.2.5

$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = (1307 \times 235 / 1{,}0) / 1000$

$M_{c.Rd} = 307{,}15$ kNm

Combinaison 1 $\quad M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 244{,}97 / 307{,}15 = 0{,}798 \quad < \quad 1$ **OK**

Combinaison 2 $\quad M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 57{,}66 / 307{,}15 = 0{,}188 \quad < \quad 1$ **OK**

Vérification au déversement à l'aide des méthodes de calcul simplifiées pour les poutres avec maintiens latéraux dans les bâtiments : — EN 1993-1-1 6.3.2.4 (1)B

Dans les bâtiments, les éléments avec maintiens latéraux discrets de la semelle comprimée ne sont **pas sujets** au déversement si la longueur L_c entre maintiens ou l'élancement résultant équivalent $\bar{\lambda}_f$ de l'aile comprimée satisfait :

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

où :

$M_{y,Ed}$ est la valeur de calcul maximale du moment fléchissant entre les maintiens

k_c est un facteur de correction de l'élancement pour la distribution des moments entre les maintiens, voir EN 1993-1-1 Tableau 6.6 ;

$i_{f,z}$ est le rayon de giration de la semelle comprimée, incluant 1/3 de la partie comprimée de l'aire de l'âme, par rapport à l'axe faible de la section ;

$\bar{\lambda}_{c0}$ est l'élancement de l'élément comprimé ci-dessus :

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0{,}10$$

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	6 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Dans le cas de profilés laminés, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}40$

Remarque : L'Annexe nationale peut également donner la valeur $\bar{\lambda}_{c0}$ .de la limite d'élancement.

EN 1993-1-1 6.3.2.3 (1)

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9\varepsilon \qquad \text{et} \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y\,[\text{N/mm}^2]}} = 1$$

Application :

$I_{f,z} = [1318 - (2 \times 37{,}3 / 3) \times 0{,}86^3 / 12] / 2 = 658{,}34\ \text{cm}^4$

$A_{f,z} = [84{,}46 - (2 \times 37{,}3 / 3) \times 0{,}86] / 2 = 31{,}54\ \text{cm}^2$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{658{,}34}{31{,}54}} = 4{,}57\ \text{cm}$$

$W_y = W_{pl,y} = 1307\ \text{cm}^3$

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9$$

EN 1993-1-1 6.3.2.3

$\bar{\lambda}_{c0} = 0{,}40 + 0{,}10 = 0{,}50$

$$M_{c,Rd} = W_y\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = (1307 \times \frac{235}{1{,}0}) / 1000 = 307{,}15\ \text{kNm}$$

Combinaison 1

Remarque : Entre maintiens au milieu de la poutre, où le moment est maximal, la distribution du moment peut être considérée comme constante :

EN 1993-1-1 Tableau 6.6

$k_c = 1$

$L_c = 2{,}50$ m

$$\bar{\lambda}_f = \frac{1 \times 250}{4{,}57 \times 93{,}9} = 0{,}583$$

$$\bar{\lambda}_{c0}\, M_{c,Rd} / M_{y,Ed} = 0{,}50 \times \frac{307{,}15}{244{,}97} = 0{,}627$$

$$\bar{\lambda}_f = 0{,}583 \quad \leq \quad \bar{\lambda}_{c0}\, M_{c,Rd} / M_{y,Ed} = 0{,}627 \qquad \textbf{OK}$$

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	7 de 8	
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires			
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004			
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005	
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005	

Combinaison 2

$k_c = 1$

$L_c = 5{,}00$ m

$$\bar{\lambda}_f = \frac{1 \times 500}{4{,}57 \times 93{,}9} = 1{,}165$$

$$\bar{\lambda}_{c0}\, M_{c,Rd} / M_{y,Ed} = 0{,}50 \times \frac{307{,}15}{57{,}66} = 2\ 663$$

$$\bar{\lambda}_f = 1{,}165 \quad \leq \quad \bar{\lambda}_{c0}\, M_{c,Rd} / M_{y,Ed} = 2{,}663 \ \textbf{OK}$$

Résistance au cisaillement

En l'absence de torsion, la résistance plastique au cisaillement dépend de l'aire de cisaillement, qui se calcule grâce à la formule suivante :

EN 1993-1-1 § 6.2.6 (3)

$$A_{v,z} = A - 2\, b\, t_f + (t_w + 2\, r)\, t_f$$

$$A_{v,z} = 8446 - 2 \times 180 \times 13{,}5 + (8{,}6 + 2 \times 21) \times 13{,}5 = 4269 \text{ mm}^2$$

Résistance plastique au cisaillement

EN 1993-1-1 § 6.2.6 (2)

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z}\,(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4269 \times (235 / \sqrt{3})}{1{,}0} / 1000 = 579{,}21 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 65{,}33 / 579{,}21 = 0{,}113 \quad < \quad 1 \quad \textbf{OK}$$

Remarquons qu'il n'est pas nécessaire de vérifier la résistance au voilement par cisaillement lorsque :

EN 1993-1-1 § 6.2.6 (6)

$$h_w / t_w \leq 72\, \varepsilon / \eta$$

Par sécurité, on peut prendre la valeur $\eta = 1{,}0$

$$h_w / t_w = (400 - 2 \times 13{,}5) / 8{,}6 = 43{,}37 \quad < \quad 72 \times 1 / 1{,}0 = 72$$

Remarque : Il n'est pas nécessaire de prendre en considération 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 points d'appui. En général, pour une combinaison de flexion et de cisaillement, voir EN 1993-1-1 § 6.2.8.

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

FEUILLE DE CALCUL	Réf. document	SX003a-FR-EU	Feuille	8 de 8
	Title	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires		
	Réf. Eurocode	EN 1993-1-1:2004		
	Réalisé par	Valérie LEMAIRE	Date	Mai 2005
	Vérifié par	Alain BUREAU	Date	Mai 2005

Vérification à l'Etat Limite de Service

Combinaison à l'ELS — EN 1990

Combinaison caractéristique — § 6.5.3

$G + Q_s = 2{,}45 + 3{,}60 = 6{,}05$ kN/m — § A1.4.2

Flèche résultant de $G+Q_s$:

$$w_{tot} = \frac{5\,(G+Q_s)\,L^4}{384\,E\,I_y} = \frac{5\times 6{,}05\times(15000)^4}{384\times 210000\times 23130\times 10^4} = 82{,}10 \text{ mm}$$

EN 1990 § A1.4.3

$w_c = 30$ mm contre-flèche

$w_{max} = w_{tot} - w_c = 82{,}10 - 30 = 52{,}10$ mm

La flèche résultant de $(G+Q_s)$ est de $L/288$.

Flèche résultant de Q_s :

$$w_3 = \frac{5\,(Q_s)\,L^4}{384\,E\,I_y} = \frac{5\times 3{,}60\times(15000)^4}{384\times 210000\times 23130\times 10^4} = 48{,}90 \text{ mm}$$

La flèche résultant de Q_s est de $L/307$.

Remarque : Le client devrait spécifier la flèche maximale tolérée. L'Annexe nationale peut préciser quelques valeurs limites. — EN 1993-1-1 § 7.2.1

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel

Enregistrement de la qualité

TITRE DE LA RESSOURCE	Exemple: Poutre sur appuis simples avec maintiens latéraux intermédiaires		
Référence(s)			
DOCUMENT ORIGINAL			
	Nom	**Société**	**Date**
Créé par	Valérie LEMAIRE	CTICM	13/03/2005
Contenu technique vérifié par	Alain BUREAU	CTICM	27/05/2005
Contenu rédactionnel vérifié par	D C Iles	SCI	11/7/05
Contenu technique approuvé par les partenaires STEEL :			
1. Royaume-Uni	G W Owens	SCI	30/06/05
2. France	A Bureau	CTICM	30/06/05
3. Allemagne	C Müller	RWTH	30/06/05
4. Suède	A Olsson	SBI	30/06/05
5. Espagne	J Chica	Labein	30/06/05
Ressource approuvée par le Coordonnateur technique	G W Owens	SCI	21/05/06
DOCUMENT TRADUIT			
Traduction réalisée et vérifiée par :		eTeams International Ltd	
Ressource traduite approuvée par :		CTICM	19/01/06

Créé le lundi 12 novembre 2007
Ce contenu est protégé par des droits d'auteur - tous droits réservés. L'usage de ce document est soumis aux termes et conditions du contrat de licence d'Access Steel