

ELEMENTS COMPRIMES : Flambement

*Exposé de la méthode de vérification des éléments soumis au flambement simple.
Exemple d'application pour une section en profilé laminé de classe 1.*

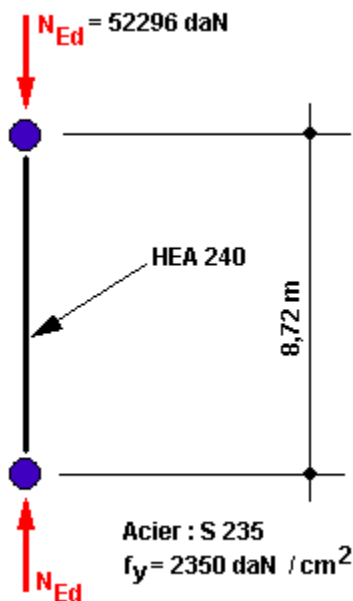
Dans un premier temps, nous énoncerons les données du problème

Dans un second temps, nous mènerons l'analyse théorique

Enfin, nous modéliserons ce cas dans SCIA Engineer

1 - Problème

On se propose de vérifier un poteau bi articulé soumis à un effort normal N de compression, selon les prescriptions de la norme : **NF EN 1993-1-1 - Octobre 2005.**



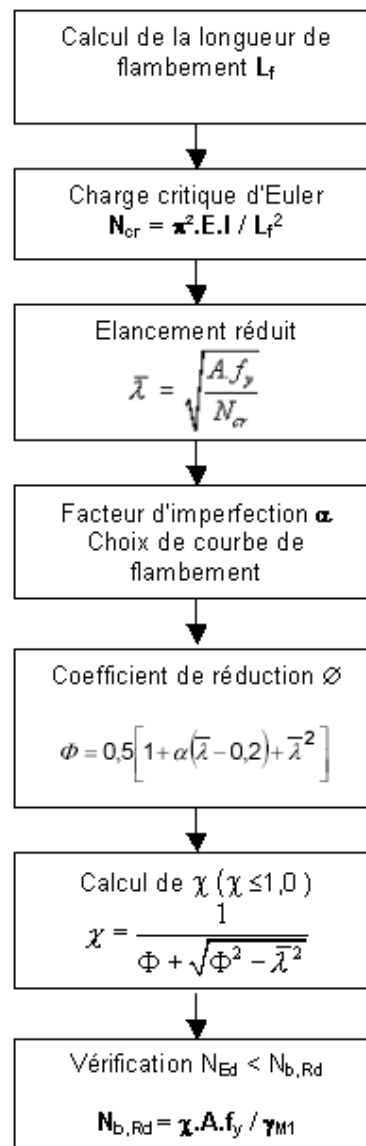
Caractéristique géométriques

Type, Nom	HEA240	CS1
Matériau de l'élément	S 235	
Image		
A [cm ²]	76.80	
i y, z [cm]	10.05	6.01
I y, z [cm ⁴]	7760.00	2770.00
W _{el} y, z [cm ³]	675.00	231.00
i y, z [cm]	10.05	6.01
H, B [mm]	230.0	240.0
t, s [mm]	12.0	7.5
R [mm]	21.0	

Caractéristiques du HEA 240

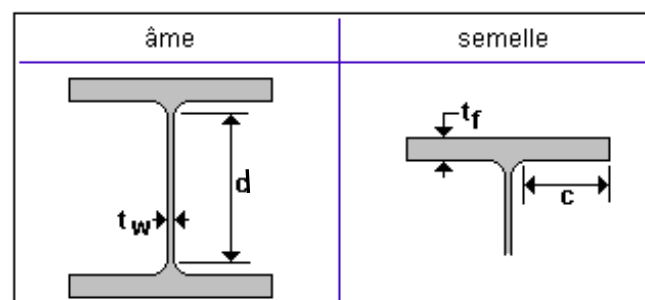
$h = 230\text{mm}$	$b = 240\text{mm}$	$t_f = 12\text{mm}$	$t_w = 7,5\text{mm}$
$A = 76,84\text{cm}^2$	$I_y = 7763\text{cm}^4$	$I_z = 2769 \text{cm}^4$	$r = 21 \text{mm}$
$i_y = 10.05\text{cm}$	$i_z = 6.0\text{cm}$		

2 - Organigramme (résistance de la barre comprimée)



3 - Classification de la section de profilé

Notations pour la détermination de la classe de la section



- Détermination de la classe de la semelle supérieure
 - $c = [(240 / 2) - (7,5 / 2) - 21] = 95,75 \text{ mm}$
 - $t_f = 12 \text{ mm}$
 - $c / t_f = 95,75 / 12 = 7,97 < 9 \cdot \varepsilon$ ($\varepsilon = [235 / f_y]^{0,5} = 1$)

Conclusion : La semelle est de **classe 1**.

- Détermination de la classe de l'âme du profilé
 - $d = 230 - 2 \cdot (12 + 21) = 164 \text{ mm}$
 - $t_w = 7,5 \text{ mm}$
 - $d / t_w = 164 / 7,5 = 21,8 < 33 \cdot \varepsilon$

Conclusion : L'âme du profilé est de **classe 1**.

Le profilé de section HEA 240 est de classe 1.

4 - Vérification en section : Effort axial de compression

Il faut vérifier $N_{Ed} < N_{C,Rd}$; avec

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

- $N_{C,Rd}$: résistance de la section transversale à la compression
- $A = 76,84 \text{ cm}^2$: section du profilé
- $f_y = 23,5 \text{ daN/mm}^2$: limite d'élasticité

$$N_{C,Rd} = 76,84 \cdot 2350 / 1 = 180574 \text{ daN}$$

$$N_{Ed} < N_{C,Rd}$$

OK!

5 - Vérification de l'élément : Flambement en compression simple

La démarche est celle de l'organigramme du paragraphe 2 ci-dessus. Le poteau doit être examiné dans les 2 directions.

Le poteau est bi articulé dans les deux directions (avec un appui intermédiaire hors plan, donc :

- L_{fy} : longueur de flambement dans le de l'axe yy
 - $L_{fy} = 872 \text{ cm}$
- L_{fz} : longueur de flambement dans le de l'axe zz
 - $L_{fz} = 436 \text{ cm}$

5-1 - Flambement suivant l'axe yy :

- Charge critique

$$N_{cr,y} = \pi^2 * E * I_y / L_y^2$$

- E = 210 000MPa; module de young
- I_y = 7763 mm⁴ ; moment d'inertie de la section
- L_y = 872 cm

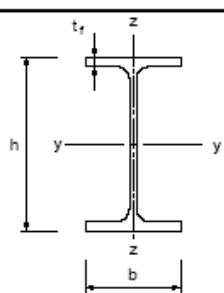
$$N_{cr,y} = \pi^2 \cdot 2100000 \cdot 7763 / 872^2 = 211600 \text{ daN}$$

- Élancement réduit

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{76.84 * 2350}{211600}} = 0.924 > 0.2$$

- Choix de la courbe de flambement

$$h / b = 230 / 240 < 1,2 \text{ et } t_f = 12\text{mm donc :}$$

Section transversale	Limites	Flamb ¹ selon l'axe	Courbe de flamb ²	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
	h/b > 1,2	t _f ≤ 40 mm	y-y z-z	a a ₀
		40 mm < t _f ≤ 100	y-y z-z	b a
	h/b ≤ 1,2	t _f ≤ 100 mm	y-y z-z	b c
		t _f > 100 mm	y-y z-z	d c

- donc α = 0,34 (courbe b)

α : facteur d'imperfection

Courbe de flambement	a ₀	a	b	c	d
Facteur d'imperfection α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

- Coefficient Φ

$$\text{où } \varphi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,34 (0,924 - 0,2) + 0,924^2) = 1,050$$

- Facteur de réduction pour le flambement considéré

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{mais } \chi \leq 1.0$$

$$\chi_y = 1 / (1,05 + (1,05^2 - 0,924^2)^{1/2}) = \mathbf{0,646}$$

5-2 Flambement suivant l'axe zz

- Charge critique

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot 2100000 \cdot 2769 / 436^2 = 301904 \text{ daN}$$

- Élancement réduit

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{76.84 \cdot 2350}{301904}} = 0.773 > 0.2$$

- Choix de la courbe de flambement

courbe "c" : $\alpha = 0,49$

- Coefficient Φ

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 (0.773 - 0,2) + 0.773^2) = 0.94$$

- Facteur de réduction pour le flambement considéré

$$\chi_z = 1 / (0.94 + (0.94^2 - 0.773^2)^{1/2}) = \mathbf{0,68}$$

$\chi_y > \chi_z$, on retient la valeur de χ_y : **Flambement dans le plan yy**

5.3 - Vérification du critère

Il faut vérifier $N_{Ed} < N_{b,Rd}$; avec

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

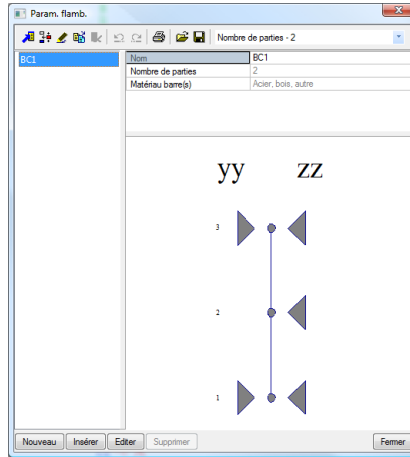
- $\chi = \chi_y = 0,646$
- $A = 76.84 \text{ mm}^2$
- $\gamma_{M1} = 1$

$$N_{b,Rd} = 0.646 \cdot 76,84 \cdot 2350 = 116650 \text{ daN}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 52296 / 116650 = \mathbf{0,44} < \mathbf{1} \quad \mathbf{OK!}$$

6 – Implémentation et calcul dans SCIA

Modélisation 2D portique XZ



Contrôle acier

Contrôle acier EN 1993-1-1

Barre B1	HEA240	S 235	LC1	0.45
----------	--------	-------	-----	------

Données de base EC3 : EN 1993	
Facteur partiel sécurité Gamma M0 de résistance des sections	1.00
coef. de sécurité partiel Gamma M1 pour la stabilité	1.00
Facteur partiel sécurité Gamma M2 de résistance des sections nettes	1.25

Données matériaux		
limite élastique fy	235.00	MPa
limite de rupture fu	360.00	MPa
fabrication	laminé	

CONTROLE EN SECTION :

Rapport largeur-épaisseur pour parois internes comprimées (EN 1993-1-1 : Tab.5.2. feuille 1).

rapport 21.87 sur position 0.00 m

rapport		
rapport maximal	1	33.00
rapport maximal	2	38.00
rapport maximal	3	42.00

=> Classe section 1

Rapport largeur-épaisseur pour parois semelles en consoles (EN 1993-1-1 : Tab.5.2. feuille 2).

rapport 7.94 sur position 0.00 m

rapport		
rapport maximal	1	9.00
rapport maximal	2	10.00
rapport maximal	3	14.00

=> Classe section 1

Ame : 7.94 pour SCIA à comparer à 7.97

Semelle : 21.8 pour SCIA à comparer à 21.8

Contrôle critique sur position 0.00 m

Efforts internes		
NEd	-522.96	kN
Vy,Ed	0.00	kN
Vz,Ed	0.00	kN
TEd	0.00	kNm
My,Ed	0.00	kNm
Mz,Ed	0.00	kNm

Contrôle compression

Conforme à l'article EN 1993-1-1 : 6.2.4 et formule EN 1993-1-1 : (6.9)

Classe de la section est 1.

Tableau des valeurs		
Nc.Rd	1804.80	kN
Contrôle unité	0.29	

1804.8kN pour SCIA à comparer à 1805.74kN

Contrôle combiné flexion, effort normal et tranchant

Conforme à l'article EN 1993-1-1 : 6.2.9.1. et formule EN 1993-1-1 : (6.31)

Classe de la section est 1.

Tableau des valeurs		
MNVy.Rd	141.92	kNm
MNVz.Rd	82.49	kNm

Barre satisfait au contrôle de section !

CONTROLE DE STABILITE:

Paramètres de flambement	yy	zz	
type	non-contrev.	contreventé	
Elancement	86.75	72.60	
Elancement réduit	0.92	0.77	
Courbe de flambement	b	c	
Imperfection	0.34	0.49	
Facteur de réduction	0.65	0.68	
Longueur	8.72	4.36	m
Coeff. flambement	1.00	1.00	
Longueur flambement	8.72	4.36	m
Charge critique Euler	2115.18	3020.13	kN

Facteur de réduction

χ_y 0.65 pour SCIA à comparer à 0.646

χ_z 0.68 pour SCIA à comparer à 0.66

Charges critique d'Euler

2115kN pour SCIA à comparer à 2116 kN

3020 pour SCIA à comparer à 3019 kN

Contrôle flambement

Conforme à l'article EN 1993-1-1 : 6.3.1.1. et formule EN 1993-1-1 : (6.46)

Tableau des valeurs		
Nb.Rd	1165.75	kN
Contrôle unité	0.45	

1166kN pour SCIA à comparer à 1165kN

Barre satisfait au contrôle de stabilité !