

Flambage

Série 5

Prof. Alain Nussbaumer

Greta Murtas

▪ CIVIL235 - Structures en métal

Table de matière

I. Rappel étapes dimensionnement

II. Flambage

I. Cas possibles

II. Étapes de calcul du cas 1

I. Calcul élancement au flambage

II. Calcul élancement limite élastique

III. Calcul du coefficient d'élancement

IV. Choisir type de courbe

V. Calculer le coefficient de réduction de flambage

VI. Vérification finale

VII. Raccourcis avec tables

III. Étapes de calcul du cas 2

Etapes dimensionnement et vérification

1. Choisir/respecter la classes de section
2. Vérifier classe de section choisie/donnée (Élancement)
3. SIA 263 Tableau 7:
 - a. Vérification résistance en section
 - i. $N+My$ et $N+Mz$
 - ii. $V+My$ ou $V+Mz$
 - iii. $N+My+Mz$
 - iv. Tous les efforts: $N + Vz + Vy + My + Mz$
 - b. Introduction, vérification stabilité
 - i. **Flambage (cas 1)**
 - ii. Déversement (*prochainement*)

Flambage: vérification selon effort

CAS POSSIBLES	Articles NORME SIA 263	EXERCICES
N Vérification selon axe fort (Y) Vérification selon axe faible (Z)	4.5.1.3	TGC 10 exercice 6.1
N + My et <u>flambage hors plan empêché</u> et déversement empêché	5.1.9 avec $Mrd = My,rd$	TGC 10 exercice 6.2
N + Mz et <u>flambage hors plan empêché</u> et déversement empêché	5.1.9 avec $Mrd = Mz,rd$	
N + My et flambage hors plan empêché et <u>déversement</u>	5.1.9 avec $Mrd = MD,rd$	TGC 10 exercice 6.3
N + My + Mz et <u>flambage hors plan pas empêché</u> et <u>déversement</u>	5.1.10	

Stabilité – Vérification au Flambage – Cas1: N

Objectif:

$$\text{Vérifier } Ned < N_{K,Rd} = \frac{\chi_K f_y A}{\gamma_M}$$

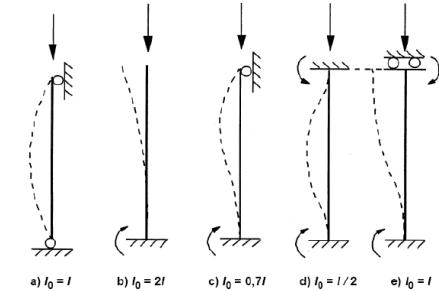
Deux vérifications

- 1) Flambage selon Axe de forte inertie (Y)
- 2) Flambage selon Axe de faible inertie (Z)

Méthode

1) Trouver L_k (I_0 dans la figure) selon conditions d'appuis

- Attention à bien considérer la longueur de flambage **L_k selon les deux axes** (les conditions d'appuis peuvent être différentes): flambage selon l'axe fort si dans le plan x-z et flambage selon l'axe faible si dans le plan x-y
- Attention à tous les cas non-tenus latéralement (dépl. d'une des extrémités) $L_k > L$



2) Calculer coefficient de réduction: χ_k

→ Attention: Différent selon axe (inertie du profilé différente pour axe Y ou Z)

$$2.1 \text{ Élancement au flambage} \quad \lambda_K = \frac{L_K}{i} = L_K \sqrt{\frac{A}{I}}$$

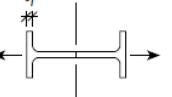
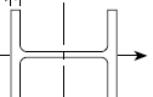
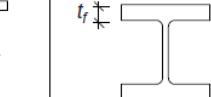
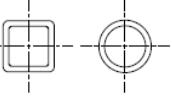
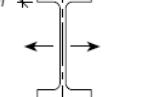
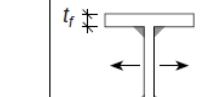
$$2.2 \text{ Élancement limite élastique} \quad \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$2.3 \text{ Coefficient d'élançement} \quad \bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,K}}} = \lambda_K / \lambda_E = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}}$$

Si $\bar{\lambda}_K < 0.2$ **Flambage est empêché, STOP**
($\chi_{k,z} = 1$ et $N_{k,z,rd} = N_{rd}$)

Sinon, calculer coefficient de réduction au flambage χ_k

3) Choisir type de courbe de flambage, SIA 263 figure 7

a	b	c	d
profilés laminés à ailes étroites, selon l'axe fort  $(h-t_f)/b > 1,2$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$	profilés laminés, selon l'axe fort  $t_f \leq 100 \text{ mm}$	profilés laminés, selon l'axe faible  $t_f \leq 100 \text{ mm}$	profilés laminés, selon les deux axes, ailes épaisses  $t_f > 100 \text{ mm}$
profilés creux, finis à chaud  $(h-t_f)/b > 1,2$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$	profilés laminés, à ailes étroites, selon l'axe faible  $t_f \leq 40 \text{ mm}$	profilés en double té soudés, selon l'axe faible  $t_f \leq 40 \text{ mm}$	profilés en double té soudés, selon l'axe faible  $t_f > 40 \text{ mm}$

Les cas les plus fréquents:

- IPE selon axe Y: courbe A
- IPE selon axe Z: courbe B
- HEA selon axe Y: courbe B
- HEA selon axe Z: courbe C

Contre-exemple: HEA 500

$$(h-t_f)/b = 467/300 = 1,56 > 1,2$$

↔ Courbe a

4) Calculer le coefficient de réduction de flambage

A. Par calcul

A.1 Trouver α_K

Tableau 8: Facteurs d'imperfection α_K

Courbe de flambage	a	b	c	d
Facteur d'imperfection α_K	0,21	0,34	0,49	0,76

A.2 Calculer Φ_K

$$\Phi_K = 0,5 [1 + \alpha_K (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2]$$

A.3 χ_K

Déduire 1

$$\chi_K = \frac{1}{\Phi_K + \sqrt{\Phi_K^2 - \bar{\lambda}_K^2}} \leq 1,0$$

5) Vérification de stabilité: $N_{Ed} \leq N_{k,Rd} = \min\left(\frac{\chi_{ky} f_y A}{\gamma_{M1}}, \frac{\chi_{kz} f_y A}{\gamma_{M1}}\right)$

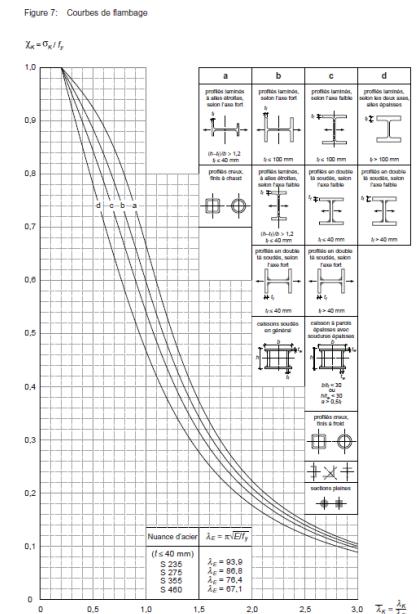
Greta Murtas

B. En lisant le graphique

En connaissant:

- $\bar{\lambda}_K$
- Type de courbe

On lit χ_K dans le graphique figure 7 SIA263



1. Table C5:

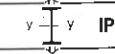
Valeurs calculées de N_{Rd} , V_{Rd} , $M_{y,Rd}$, $M_{y,Rd}$ pour profilé HEA – HEB – IPE – HEM

2. Table C4:

- Valeurs tabulées de $\bar{\lambda}_K$, χ_K
- Valeurs calculées de $N_{K,Rd}$ pour profilé HEA – HEB – IPE – HEM pour les axes Y et Z (valeurs L_k par pas de 0.5m, interpolation entre)
 - **NB:** Si la valeur de $N_{K,Rd}$, pour un L_k un peu supérieur, est supérieure à N_{Ed} , alors pas besoin d'interpoler pour la vérification au flambage

Extraitable C4, pour IPE selon axe fort

- Exemple:
- IPE 400, S355, $L_{ky} = 5 \text{ m}$
- $N_{ky} = 2725 \text{ kN}$
- Note < $N_{pl,Rd} = 2857 \text{ kN}$

Zentrisches Knicken: Knickwiderstand Flambage centré: Résistance au flambage	$N_{ky,Rd} = \sigma_{Kd} \cdot A \text{ [kN]}$	
Bemessungswerte Treppenlinie für $\lambda_K = 50 - 100 - 200$, max. $\lambda_K = 250$	Valeurs de calcul Lignes brisées pour $\lambda_K = 50 - 100 - 200$, max. $\lambda_K = 250$	Raster: Einfluss Eigenlast quer berücksichtigen. Zone ombrée: Considérer l'effet du poids propre.

IPE	m kg/m	A mm ²	i _y mm	Knicklänge in [m] - Longueur de flambage en [m]									
				0.0	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
80	6.0	764	32.4	171	186	148	134	115	96	79	68	54	48
100	8.1	1030	40.7	231	227	211	200	185	167	146	126	107	92
120	10.4	1320	49.0	295	294	279	269	257	241	223	201	179	157
140	12.9	1640	57.4	367	387	352	343	332	319	304	285	263	239
160	15.8	2010	65.8	450	450	437	429	418	406	392	378	356	333
180	18.8	2390	74.2	535	535	526	515	505	494	481	465	448	429
200	22.4	2850	82.6	638	638	630	620	610	596	586	572	553	538
220	25.2	3340	91.1	748	748	742	722	710	688	665	670	653	633
240	30.7	3910	99.7	876	875	852	831	810	787	764	739	703	673
270	36.1	4590	112	1027	1027	1019	1008	988	984	971	957	942	912
300	42.2	5380	125	1204	1204	1201	1189	1178	1165	1152	1139	1124	1109
330	48.7	6260	137	1401	1401	1401	1391	1379	1366	1353	1333	1325	1312
360	57.1	7270	150	1822	1822	1827	1827	1822	1810	1807	1803	1803	1804
400	66.3	8450	165	1881	1881	1881	1881	1881	1880	1887	1853	1838	1824
450	77.6	9680	185	2111	2111	2111	2111	2111	2111	2111	2111	2111	2111
500	90.7	11600	204	2568	2568	2566	2566	2566	2566	2561	2567	2561	2546
550	106	13490	223	2989	2989	2989	2989	2989	2989	2989	2989	2987	2957
600	122	15680	243	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3477	3460
750x137	137	17500	303	3917	3917	3917	3917	3917	3917	3917	3917	3917	3917
750x147	147	18700	298	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185
750x173	173	22100	305	4946	4946	4946	4946	4946	4946	4946	4946	4946	4946
750x196	196	25100	310	5618	5618	5618	5618	5618	5618	5618	5618	5618	5618

IPE	m kg/m	A mm ²	i _y mm	Knicklänge in [m] - Longueur de flambage en [m]									
				0.0	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
80	6.0	784	32.4	258	246	204	170	135	106	85	68	57	47
100	8.1	1030	40.7	348	339	304	276	240	202	167	138	115	97
120	10.4	1320	49.0	446	440	408	388	355	317	276	236	201	173
140	12.9	1640	57.4	554	551	520	500	474	442	403	359	315	278
160	15.8	2010	65.8	680	660	648	629	608	577	542	501	456	408
180	18.8	2390	74.2	808	808	780	761	739	714	683	646	603	555
200	22.4	2850	82.6	964	964	938	916	888	873	845	811	771	725
220	26.2	3340	91.1	1129	1129	1107	1085	1067	1042	1013	984	941	895
240	30.7	3910	99.7	1322	1322	1304	1283	1263	1236	1211	1181	1147	1107
270	36.1	4590	112	1652	1552	1545	1530	1496	1475	1450	1422	1390	1355
300	42.2	5380	125	1819	1819	1815	1794	1772	1749	1724	1697	1669	1635
330	49.1	6260	137	2116	2116	2098	2075	2052	2028	2000	1971	1939	1901
360	57.1	7270	150	2436	2436	2410	2384	2360	2334	2324	2318	2287	2255
400	66.3	8450	165	2857	2857	2857	2857	2857	2857	2857	2857	2775	2691
450	77.6	9680	185	3610	3610	3543	3474	3392	3304	3238	3261	3222	3192
500	90.7	11600	204	3922	3882	3922	3932	3932	3901	3973	3944	3814	3784
550	106	13400	223	4530	4530	4530	4530	4530	4525	4496	4466	4435	4404
600	122	15600	243	5274	5274	5274	5274	5274	5274	5266	5225	5193	5160
750x137	137	17500	303	5917	5917	5917	5917	5917	5917	5917	5917	5896	5868
750x147	147	18700	298	6322	6322	6322	6322	6322	6322	6322	6322	6295	6254
750x173	173	22100	305	7473	7473	7472	7472	7472	7472	7472	7472	7448	7413
750x196	196	25100	310	8486	8486	8486	8486	8486	8486	8486	8486	8466	8429

Stabilité - Vérification au Flambage

Selon l'axe considéré

Objectif:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{K,Rd}} + \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}} \cdot \frac{\omega M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

SIA 263 5.1.9

- Cas 2 N+My
- Cas 3 N+Mz

1. Vérifier flambage hors plan empêché (relaxation): $\bar{\lambda}_K, z < 0.5$ & $N_{Ed} < \frac{N_{k,z}}{\gamma_{M1}}$

2. Calculer $N_{k,Rd} = \min\left(\frac{\chi_{ky}f_yA}{\gamma_{M1}}, \frac{\chi_{kz}f_yA}{\gamma_{M1}}\right)$

selon l'axe y

3. Calculer N_{cri} $N_{cri} = \frac{\pi^2 EI}{L_K^2}$

selon l'axe z

$$N_{cri,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{Ky}^2}$$

$$N_{cri,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{Kz}^2}$$

On choisit l'axe en fonction du moment de flexion qu'on est en train de vérifier

Stabilité - Vérification au Flambage

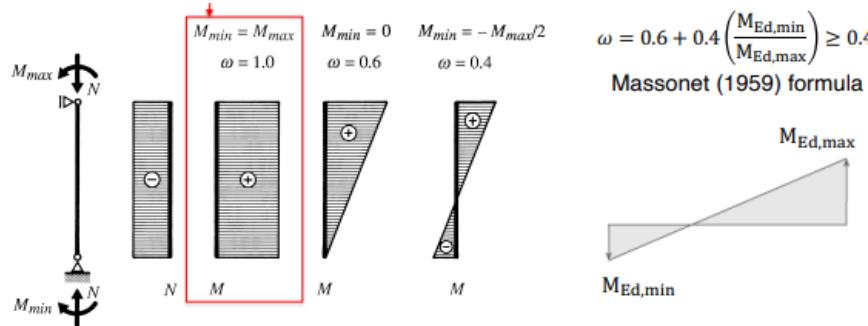
Selon l'axe considéré

Objectif: $\frac{N_{Ed}}{N_{K,Rd}} + \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}} \cdot \frac{\omega M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$

SIA 263 5.1.9

- Cas 2 N+My
- Cas 3 N+Mz

4. Calculer ω_i



4. Vérifier au flambage (SIA 263 5.1.9)

5. Si $\omega_i < 1,0 \Rightarrow$ vérification en section aussi nécessaire

Si M non-linéaire ou cadre libre latéralement, alors $\omega_i = 1,0$
(§ 5.1.9.1 dernière phrase)

Calcul de l'effort normal dans le montant

SIA 260

4.4.3.4

Pour les situations de dimensionnement durables et transitoires, les valeurs de dimensionnement des effets des actions selon (10) seront déterminées comme suit:

$$E_d = E \{ \gamma_G G_k, \gamma_P P_k, \gamma_{Q1} Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d \} \quad (16)$$

Les facteurs de charge γ_G et γ_Q , ainsi que les coefficients de réduction ψ_{0i} , sont indiqués dans le tableau 1 et dans les annexes A à F. Les facteurs de charge γ_P sont donnés dans les normes SIA 262 et SIA 267.

Charges permanentes Action de précontrainte Charge prépondérante

Valeur rare de l'action variable concomitante i

Valeurs caractéristiques

4.4.3.3

Pour les états-limites des types 2 et 3, la sécurité structurale est vérifiée lorsque le critère de dimensionnement suivant est rempli:

$$E_d \leq R_d \quad (15)$$

Tableau 1 : Facteurs de charge pour la vérification de la sécurité structurale

Actions	γ_F	État-limite		
		Type 1	Type 2	Type 3
Actions permanentes				
- avec effet défavorable	$\gamma_{G,sup}$	1,10 ¹⁾	1,35 ¹⁾	1,00
- avec effet favorable	$\gamma_{G,inf}$	0,90 ¹⁾	0,80 ¹⁾	1,00
Actions variables				
- en général	γ_Q	1,50	1,50	1,30
- charges dues au trafic routier	γ_Q	1,50	1,50	1,30
- charges dues au trafic ferroviaire				
- modèles de charge 1, 2, 4 à 7	γ_Q	1,45	1,45	1,25
- modèle de charge 3	γ_Q	1,45	1,20	1,25
Actions du terrain de fondation				
Charges de terre				
- avec effet défavorable	$\gamma_{G,inf}$	1,10	1,35 ²⁾⁽³⁾	1,00
- avec effet favorable	$\gamma_{G,sup}$	0,90	0,80	1,00
Poussée des terres				
- avec effet défavorable	$\gamma_{G,Q,sup}$	1,35	1,35	1,00
- avec effet favorable ⁴⁾	$\gamma_{G,Q,inf}$	0,80	0,70	1,00
Pression hydraulique				
- avec effet défavorable	$\gamma_{G,Q,sup}$	1,05	1,20 ³⁾	1,00
- avec effet favorable	$\gamma_{G,Q,inf}$	0,95	0,90	1,00

¹⁾ G est multiplié par $\gamma_{G,sup}$ ou par $\gamma_{G,inf}$ selon que l'effet d'ensemble de l'action est défavorable ou favorable.

²⁾ Pour des hauteurs de remblai de 2 à 6 m, $\gamma_{G,sup}$ peut être réduit linéairement de 1,35 à 1,20.

³⁾ Lors de l'application de la méthode observationnelle, des valeurs réduites sont admises dans certains cas, selon la norme SIA 267.

⁴⁾ Pour la butée des terres exerçant une action favorable, on a $F_d = R_d$, selon la norme SIA 267.

Question 2.1

Cadres tous les 5m

Surface d'influence des charges pour la poutre concernée

$$q_{ed} = \gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k$$

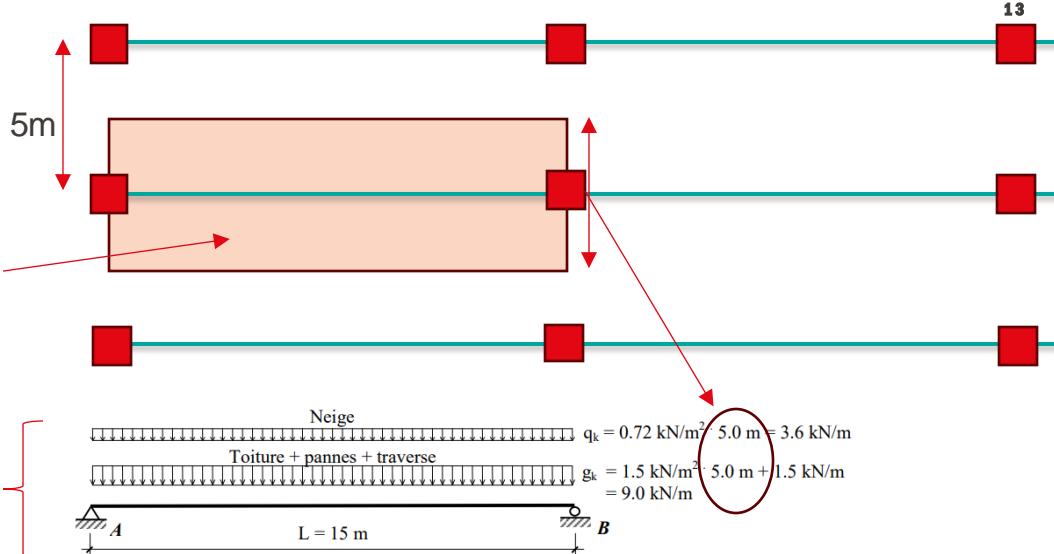


Figure 4 – Système statique et charges d'une traverse

Selon le système statique & le type de charges
 → SZS C4 : réactions d'appuis/diagramme moments

TGC 10 : lectures et exercices conseillés

- Cours:

Chapitre 6: 231- 253

- Exercices:

6.1. et 6.2