

Cours de construction en bois

Bachelor

La barre

Traction, compression, flambage

EPFL

Résistance des matériaux

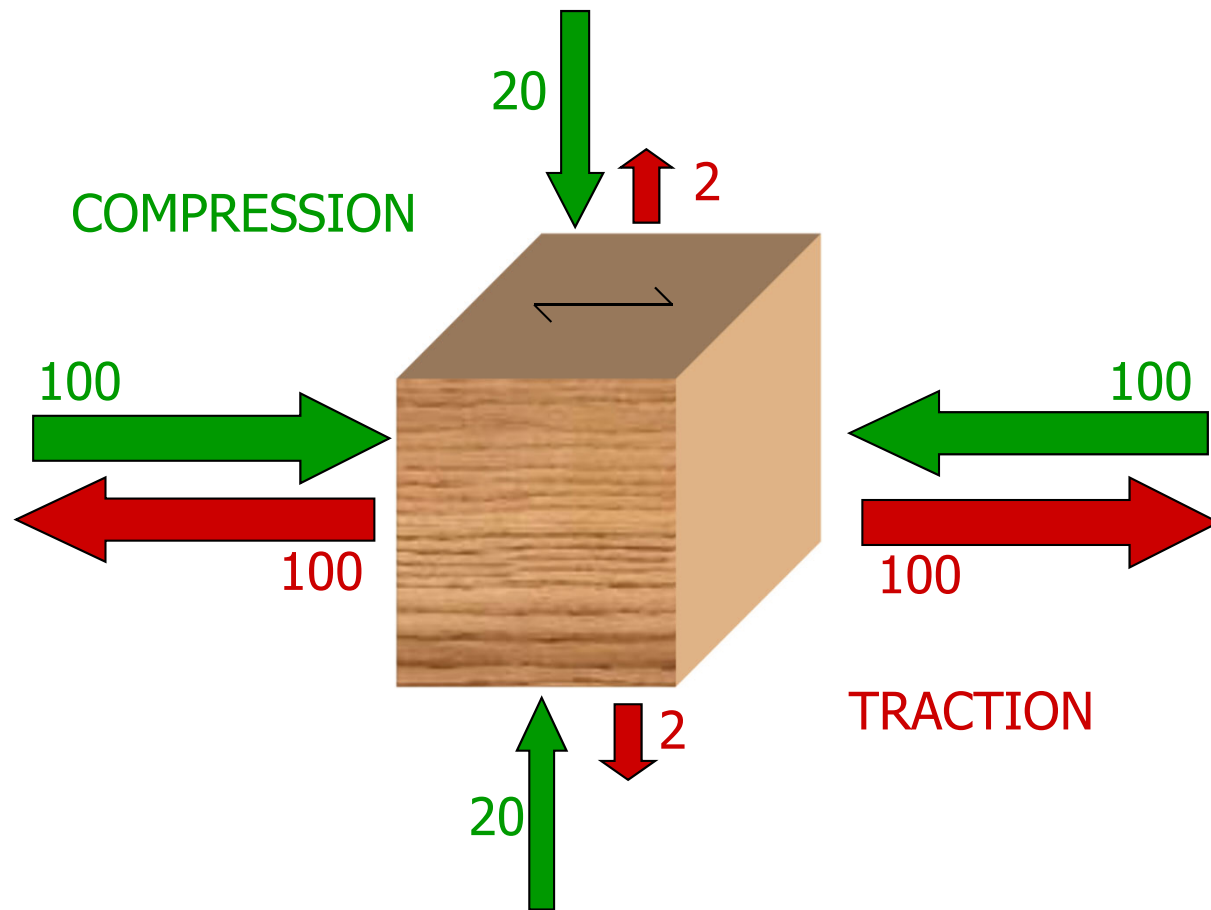
■ Résistance à l'effort normal bois massif

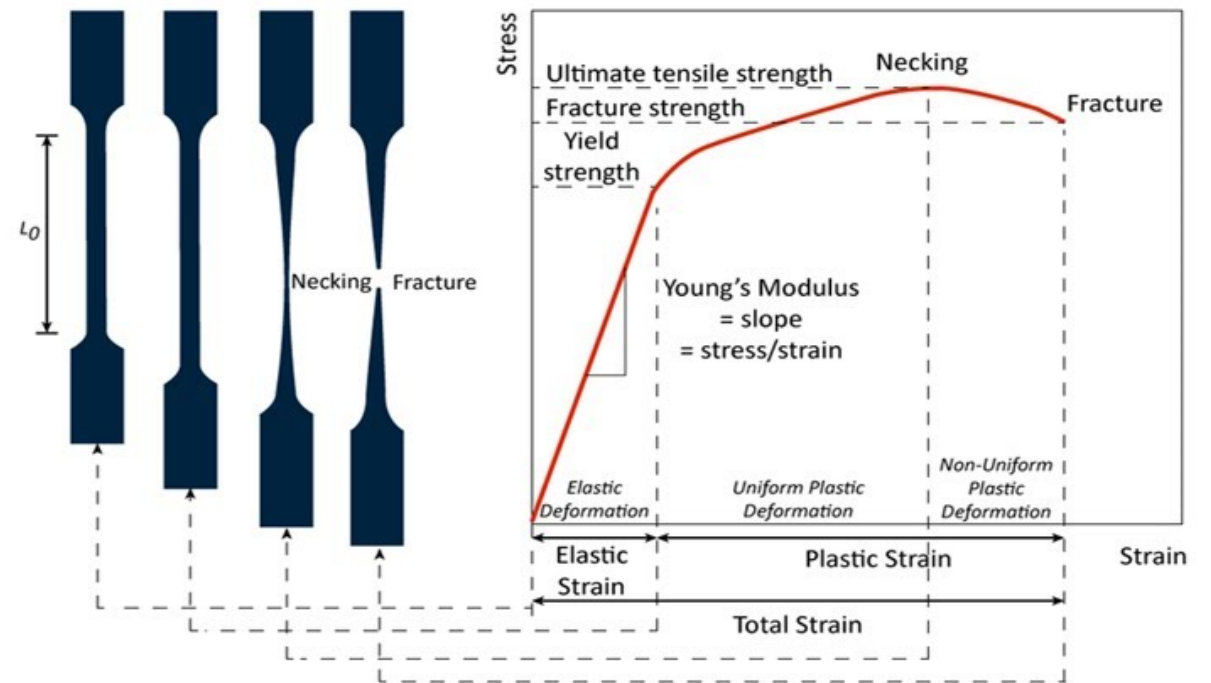
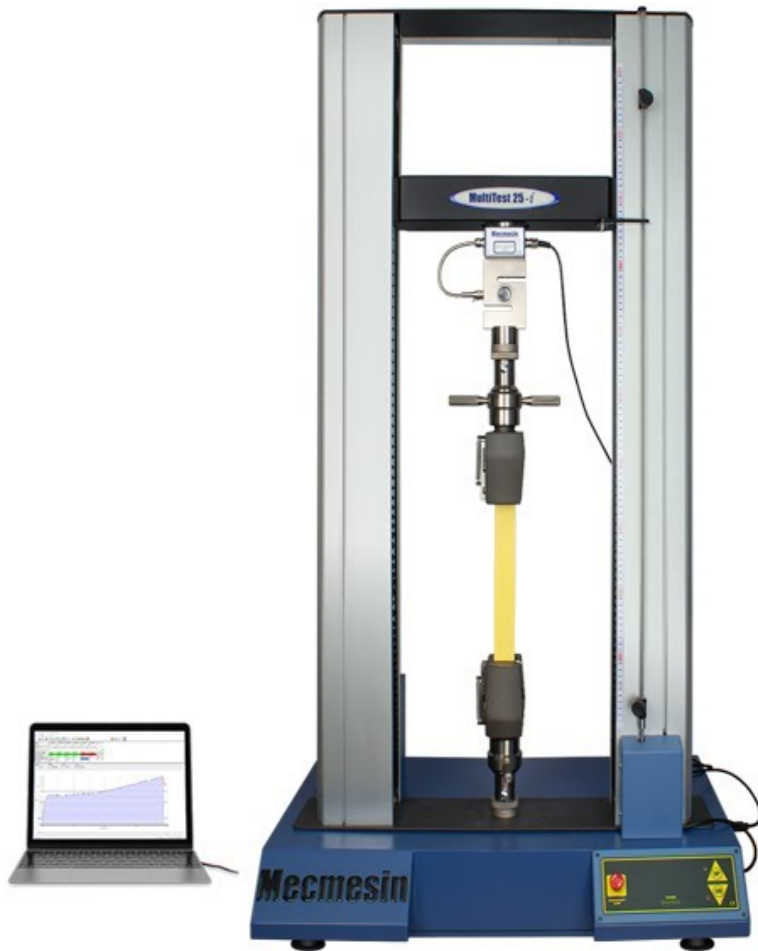
Classes de résistance				Résineux			Chêne Hêtre
				C16	C24	C30	D30
ϕ	Traction au fil	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	5,5 ²⁾	8	10,5	10
	Compression au fil	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	9,5	12	13,5	13

■ Résistance à l'effort normal bois lamellé collé

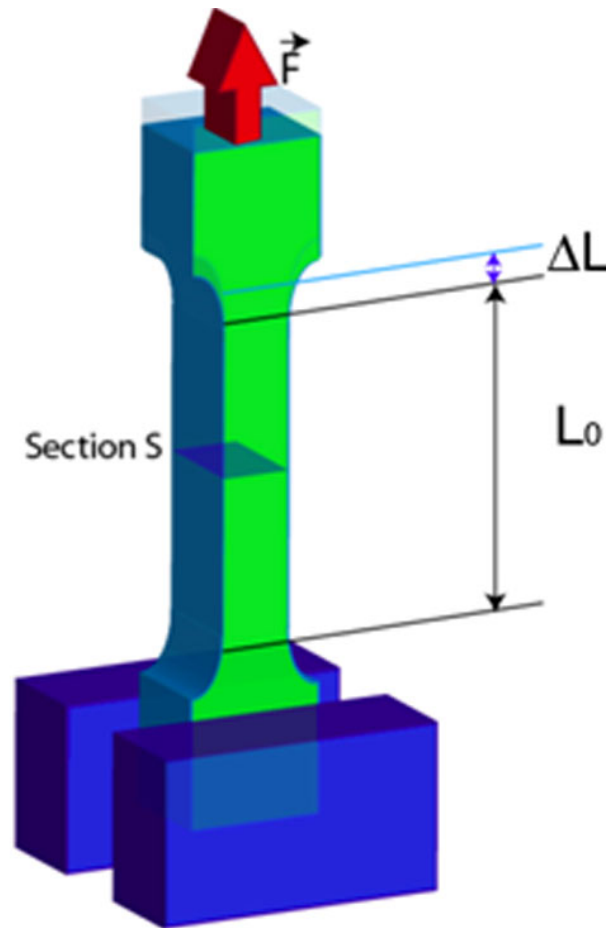
Classes de résistance				BLC normal				BLC haute qualité ⁵⁾			
				GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL32k	GL32h	GL36k	GL36h
ϕ	Traction au fil	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	10	12	12	14	14	16	16	18
	Compression au fil	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	13	14,5	16	17	17,5	19	18	20,5

Résistance du bois

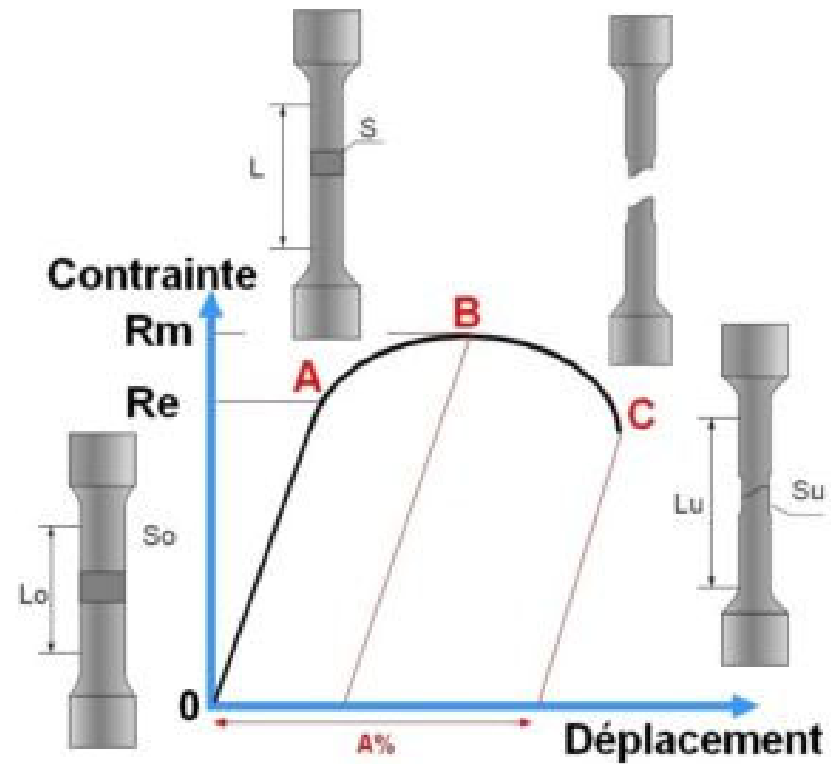




bois



acier



Matériaux sans défauts !!!





Barre en traction

- La vérification

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (SIA\ 265 - 4.2.1.1 - (6))$$

soit avec tous les paramètres :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A_{nette}} \leq f_{t,0,d} = f_{t,0,d} (\eta_t=1, \eta_w=1) \cdot \eta_t \cdot \eta_w$$

Définition de la section nette

A_{nette}

Barre en traction

■ Valeur indicative du rapport

$Coef_A$ Valeurs indicatives du rapport, section nette sur section complète pour le prédimensionnement (TCB1)

Moyens d'assemblage	Remarques	A_{nette} / A
Clous sans préperçage	$d_N \leq 5 \text{ mm}$	1.00
	$d_N > 5 \text{ mm}$	0.80
Clous avec préperçage		0.75
Broches	Bois-bois	0.65
	Acier-bois	0.60
Boulons (de charpente)	Bois-bois	0.60
Vis à bois	Universelles ou avec préperçage	0.75
Goujons annulaires	Avec le boulon correspondant	0.50

$Coef_A$: Valeur indicative du rapport entre la section affaiblie et la section complète

■ Calcul rapide avec la TCB 1

TCB 1 p. 34 à 37 (résistance pour $A_{\text{nette}} = A$)

b mm	h mm	A mm ² · 10 ³	I_y mm ⁴ · 10 ⁶	W_y mm ³ · 10 ⁶	i_y mm	I_z mm ⁴ · 10 ⁶	W_z mm ³ · 10 ⁶	i_z mm	Résistances des sections en C24				Mode de débit généralement possible ³⁾
									$N_{Rd}^{1)}$ kN	$V_{Rd}^{2)}$ kN	$M_{y,Rd}$ kNm	$M_{z,Rd}$ kNm	
60	100	6,00	5,00	0,100	28,9	1,80	0,060	17,3	48,0	6,00	1,40	0,840	hors moelle
	120	7,20	8,64	0,144	34,6	2,16	0,072	17,3	57,6	7,20	2,02	1,01	hors moelle
	140	8,40	13,7	0,196	40,4	2,52	0,084	17,3	67,2	8,40	2,74	1,18	hors moelle
	160	9,60	20,5	0,256	46,2	2,88	0,096	17,3	76,8	9,60	3,58	1,34	hors moelle
	180	10,8	29,2	0,324	52,0	3,24	0,108	17,3	86,4	10,8	4,54	1,51	hors moelle
	200	12,0	40,0	0,400	57,7	3,60	0,120	17,3	96,0	12,0	5,60	1,68	hors moelle
80	100	8,00	6,67	0,133	28,9	4,27	0,107	23,1	64,0	8,00	1,87	1,49	hors moelle
	120	9,60	11,5	0,192	34,6	5,12	0,128	23,1	76,8	9,60	2,69	1,79	hors moelle
	140	11,2	18,3	0,261	40,4	5,97	0,149	23,1	89,6	11,2	3,66	2,09	hors moelle

¹⁾ Les résistances à la traction du tableau sont des valeurs maximales théoriques. A cause des affaiblissements inévitables dans les zones d'assemblage, les résistances n'atteignent en pratique que 0,4 à 0,8 fois ces valeurs (voir page 50). Pour la résistance à la compression, voir pages 55 à 57.

Exemple de dimensionnement

Calculez la valeur de dimensionnement de la traction que peut reprendre une barre BLCGL24h de section 140 / 240 mm assemblée par des broches avec une tôle entaillée ?

<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	<i>A</i> mm ² · 10 ³	<i>I_y</i> mm ⁴ · 10 ⁶	<i>W_y</i> mm ³ · 10 ⁶	<i>i_y</i> mm	<i>I_z</i> mm ⁴ · 10 ⁶	<i>W_z</i> mm ³ · 10 ⁶	<i>i_z</i> mm	Résistances des sections en GL24h			
									<i>N_{Rd}</i> ¹⁾ kN	<i>V_{Rd}</i> kN	<i>M_{y,Rd}</i> kNm	<i>M_{z,Rd}</i> kNm
100	120	12,0	14,4	0,240	34,6	10,0	0,200	28,9	144	14,4	4,22	3,63
	160	16,0	34,1	0,427	46,2	13,3	0,267	28,9	192	19,2	7,51	5,12
	200	20,0	66,7	0,667	57,7	16,7	0,333	28,9	240	24,0	11,7	6,40
	240	24,0	115	0,960	69,3	20,0	0,400	28,9	288	28,8	16,8	7,68
	280	28,0	183	1,31	80,8	23,3	0,467	28,9	336	33,6	22,6	8,96
	320	32,0	273	1,71	92,4	26,7	0,533	28,9	384	38,4	29,1	10,2
	360	36,0	389	2,16	104	30,0	0,600	28,9	432	43,2	36,4	11,5
	400	40,0	533	2,67	115	33,3	0,667	28,9	480	48,0	44,4	12,8
	440	44,0	710	3,23	127	36,7	0,733	28,9	528	52,8	53,3	14,1
120	120	14,4	17,3	0,288	34,6	17,3	0,288	34,6	173	17,3	5,07	5,22
	160	19,2	41,0	0,512	46,2	23,0	0,384	34,6	230	23,0	9,01	7,37
	200	24,0	80,0	0,800	57,7	28,8	0,480	34,6	288	28,8	14,1	9,22
	240	28,8	138	1,15	69,3	34,6	0,576	34,6	346	34,6	20,2	11,1
	280	33,6	220	1,57	80,8	40,3	0,672	34,6	403	40,3	27,1	12,9
	320	38,4	328	2,05	92,4	46,1	0,768	34,6	461	46,1	34,9	14,7
	360	43,2	467	2,59	104	51,8	0,864	34,6	518	51,8	43,6	16,6
	400	48,0	640	3,20	115	57,6	0,960	34,6	576	57,6	53,3	18,4
	440	52,8	852	3,87	127	63,4	1,06	34,6	634	63,4	63,9	20,3
	480	57,6	1 106	4,61	139	69,1	1,15	34,6	691	69,1	75,4	22,1
140	160	22,4	47,8	0,597	46,2	36,6	0,523	40,4	269	26,9	10,5	10,0
	200	28,0	93,3	0,933	57,7	45,7	0,653	40,4	336	33,6	16,4	12,5
	240	33,6	161	1,34	69,3	54,9	0,784	40,4	403	40,3	23,6	15,1
	280	39,2	256	1,83	80,8	64,0	0,915	40,4	470	47,0	31,6	17,6
	320	44,8	382	2,39	92,4	73,2	1,05	40,4	538	53,8	40,7	20,1
	360	50,4	544	3,02	104	82,3	1,18	40,4	605	60,5	50,9	22,6

$Coef_A$ Valeurs indicatives du rapport, section nette sur section complète pour le prédimensionnement ($TCB1$)

Moyens d'assemblage	Remarques	A_{nette} / A
Clous sans préperçage	$d_N \leq 5 \text{ mm}$	1.00
	$d_N > 5 \text{ mm}$	0.80
Clous avec préperçage		0.75
Broches	Bois-bois	0.65
	Acier-bois	0.60
Boulons (de charpente)	Bois-bois	0.60
Vis à bois	Universelles ou avec préperçage	0.75
Goujons annulaires	Avec le boulon correspondant	0.50

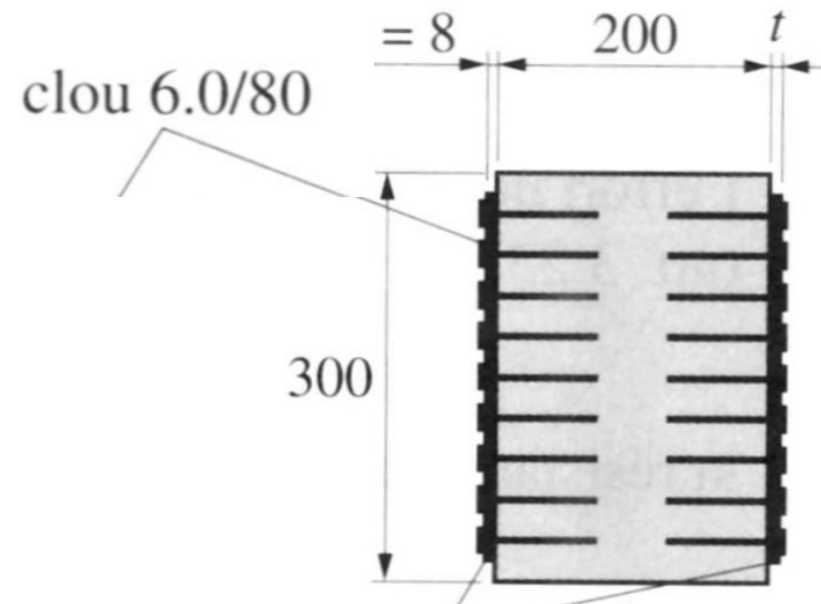
$Coef_A$: Valeur indicative du rapport entre la section affaiblie et la section complète

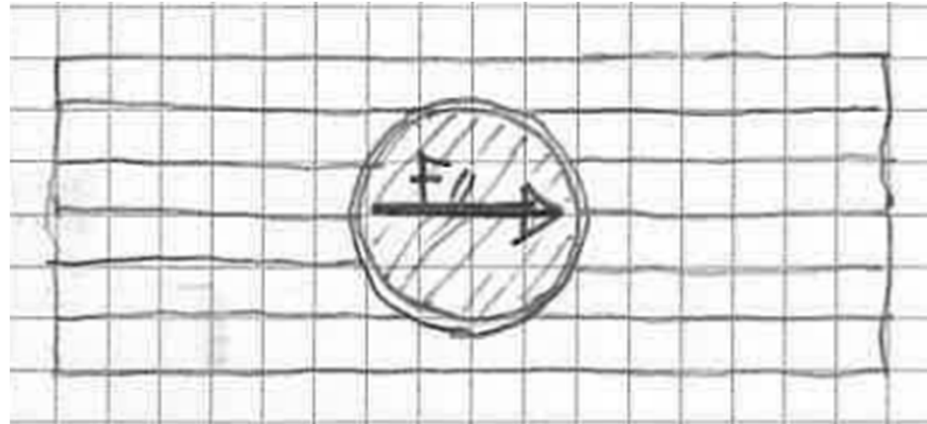
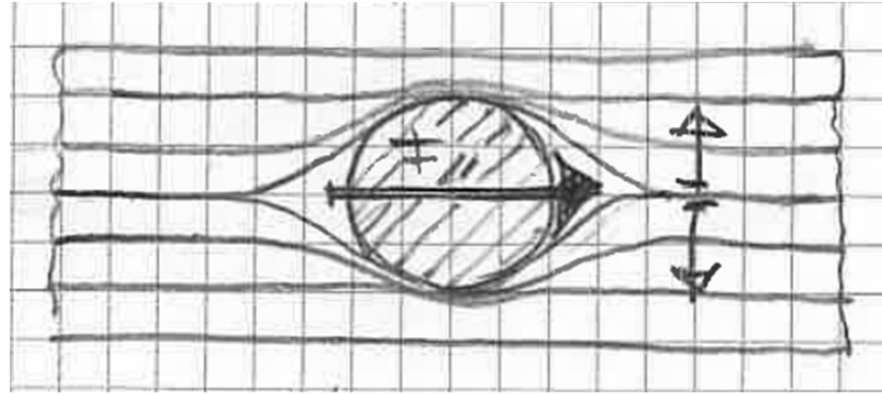
Il en résulte:

$$N_{Ed} = 403 \text{ kN} \times 0,6 = 240 \text{ kN}$$

Barre en traction

- Section nette : assemblage cloué
 - Clous sans préperçage pas de réduction
 $d_n \leq 5.0\text{mm}$
 - Clous avec préperçage réduction du diamètre du clou et de sa profondeur





Barre en traction

- Clous 6/80 pré-percé

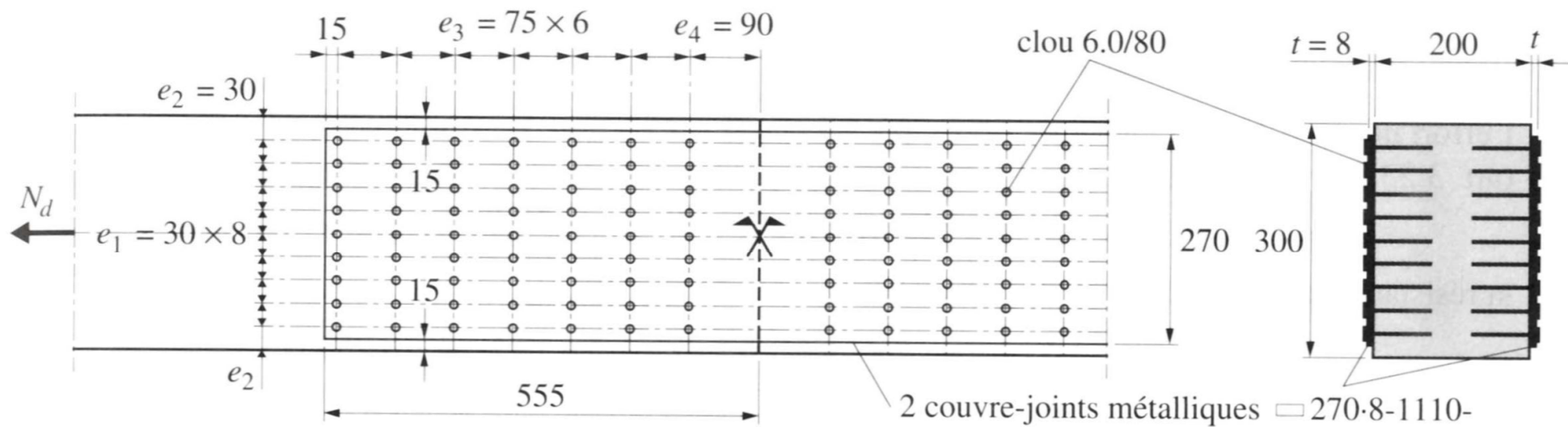


Fig. 5.89 Géométrie de l'assemblage cloué avec double couvre-joint métallique.

Barre en traction

■ Goujons annulaires

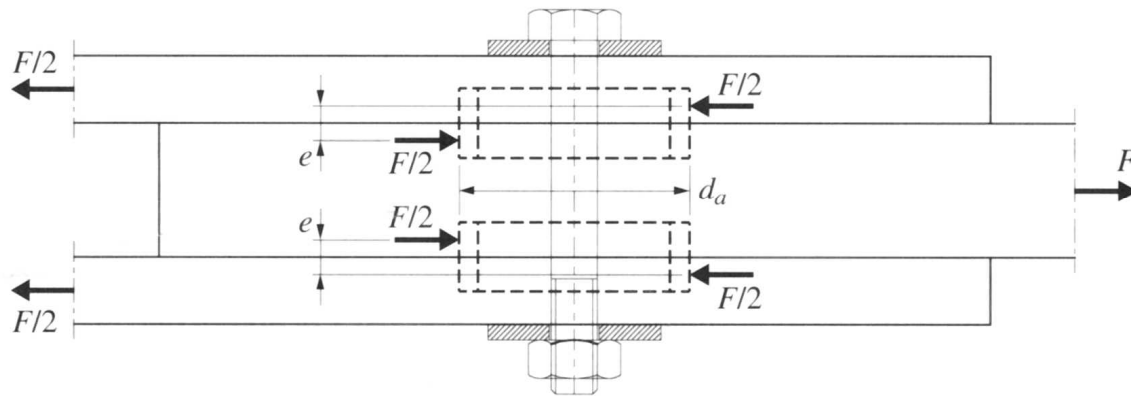
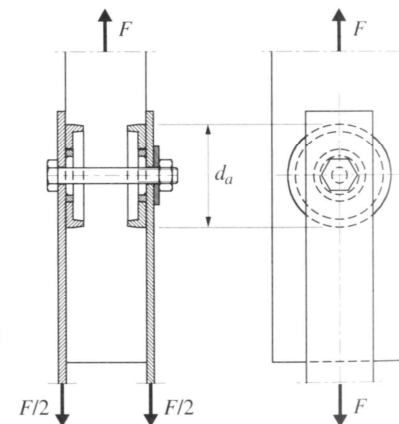
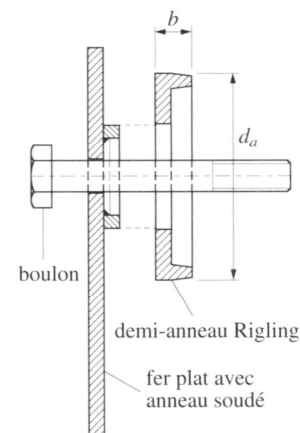
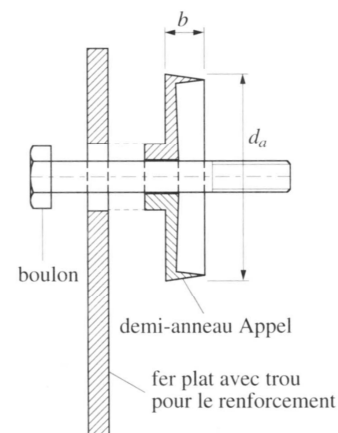


Abb. zu 86.857.01-09



Barre en traction

■ Goujons annulaires

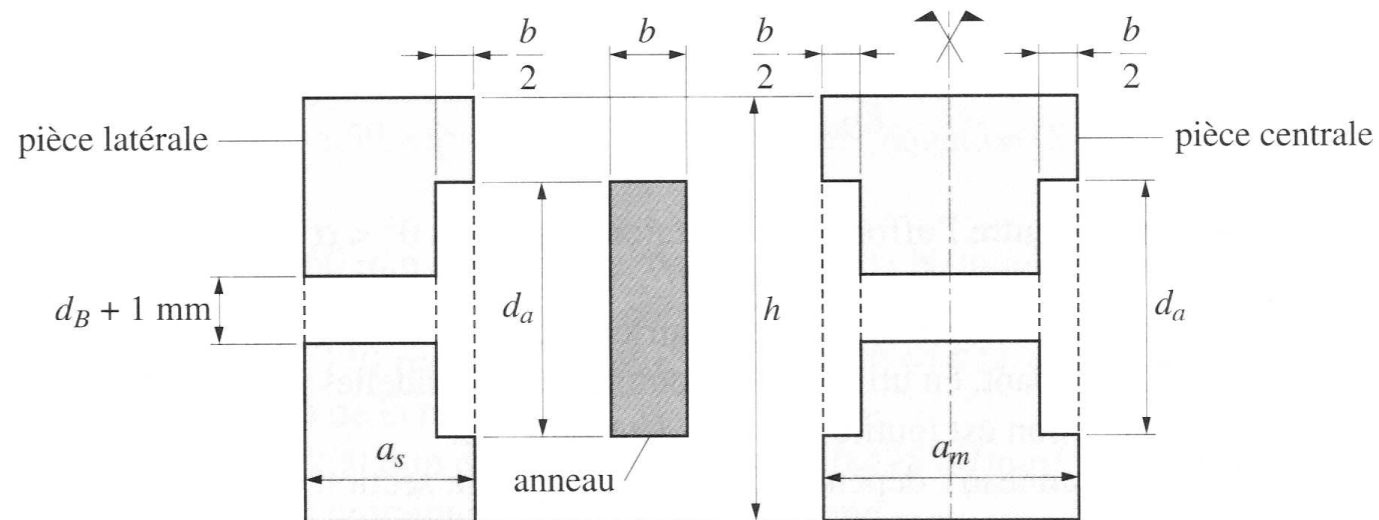


Fig. 5.61 Sections nettes résultantes dans les membrures pour un assemblage réalisé au moyen d'anneaux.

Barre en traction

■ Crampons

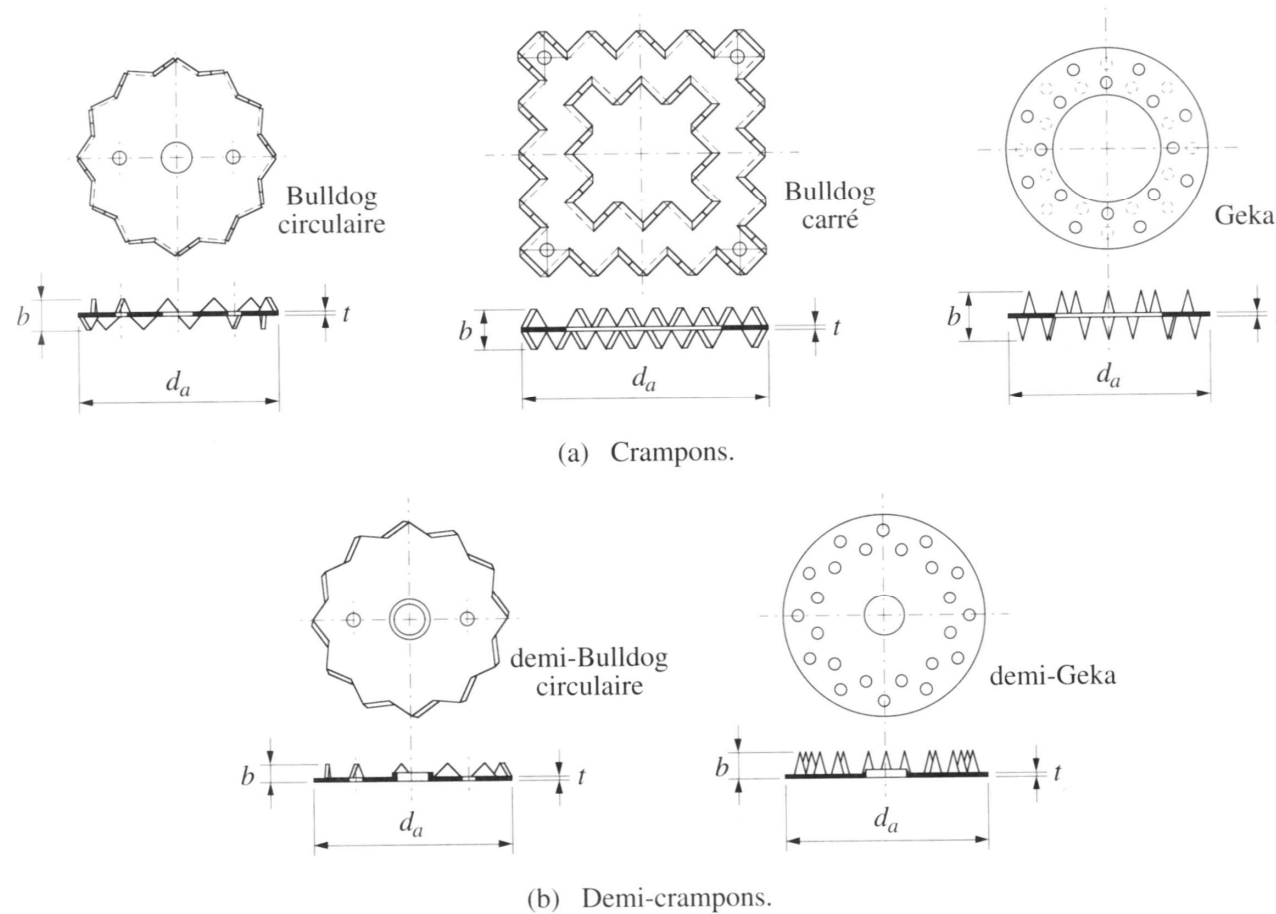


Fig. 5.62 Principaux connecteurs de surface de type crampons à presser.

Barre en traction

■ Crampons

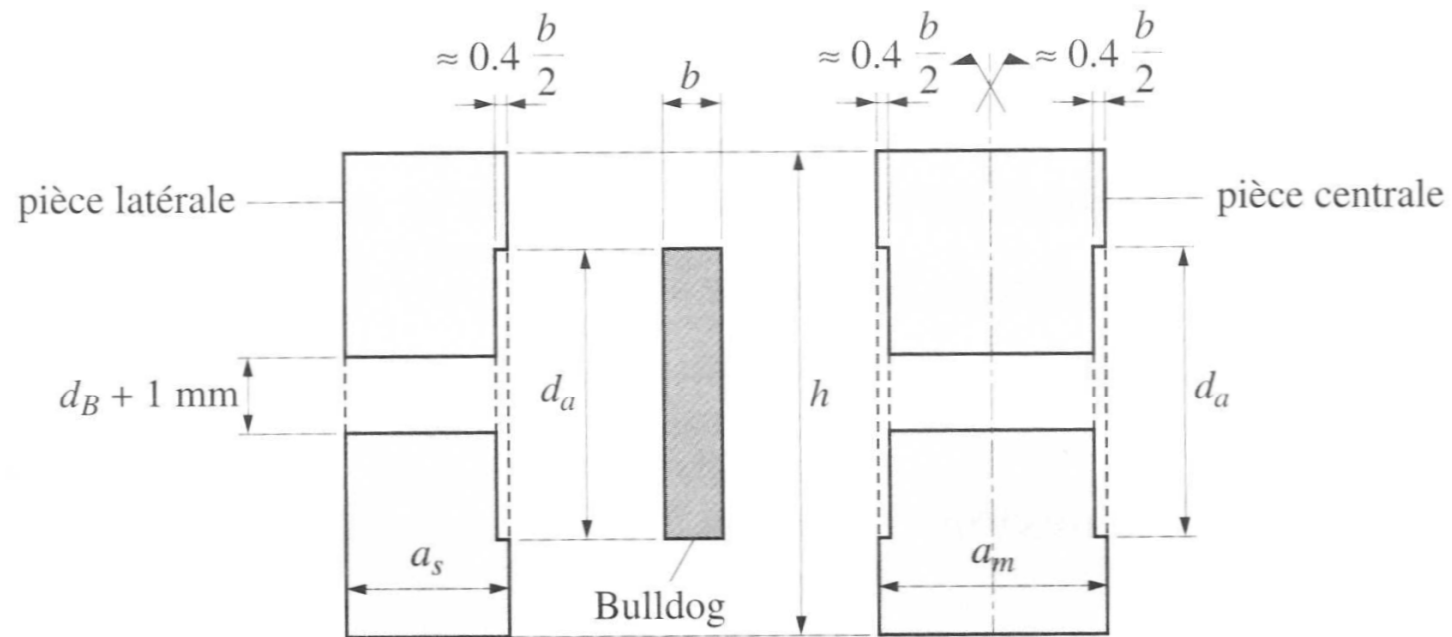


Fig. 5.65 Section nette résultante pour un assemblage par Bulldog.

Barre en traction

■ Assemblage par broche

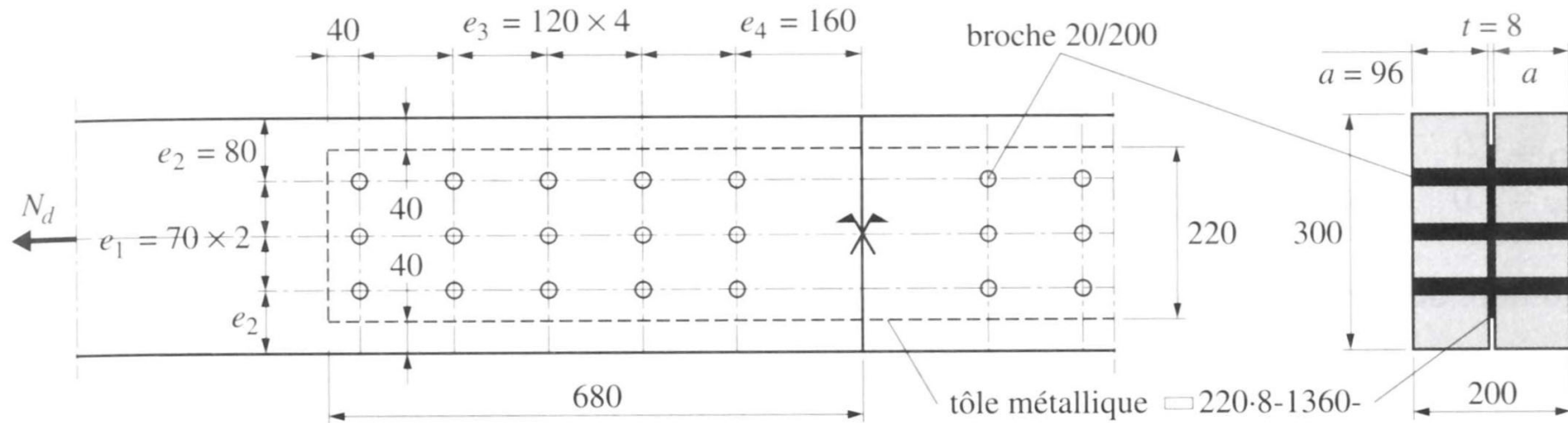


Fig. 5.90 Géométrie de l'assemblage avec broches et une seule tôle entaillée.

Barre en traction

■ Assemblage par broche

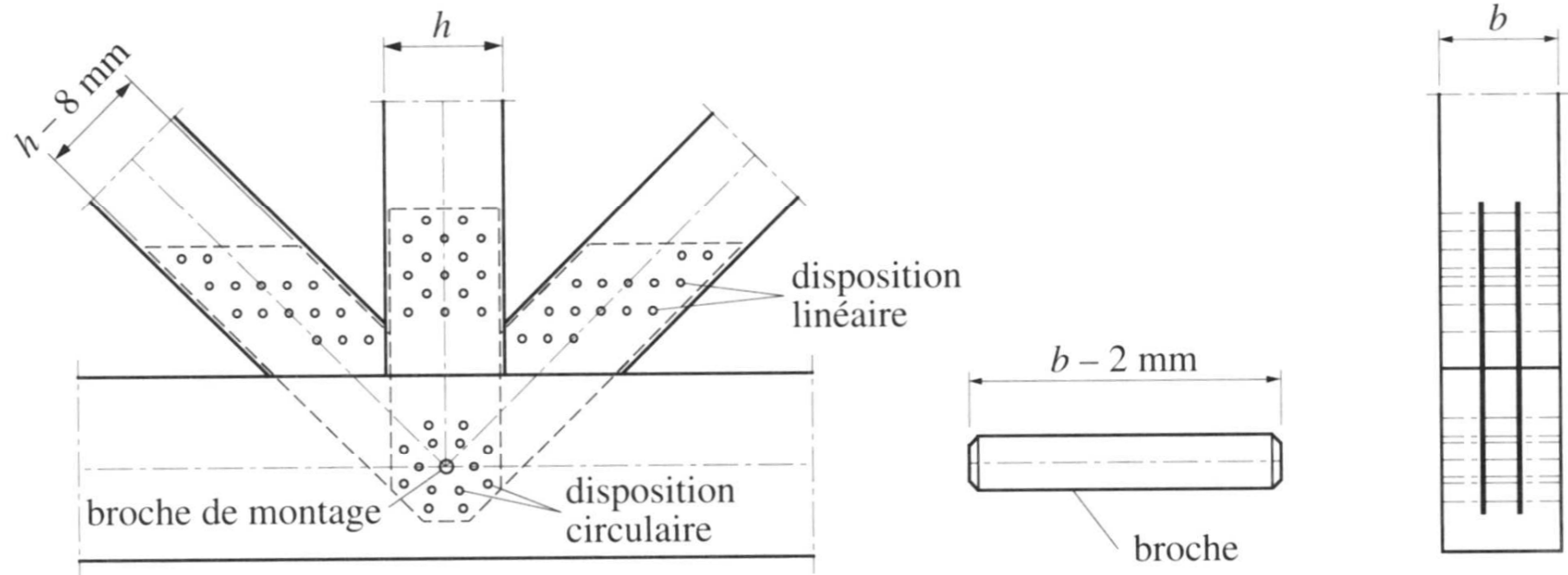
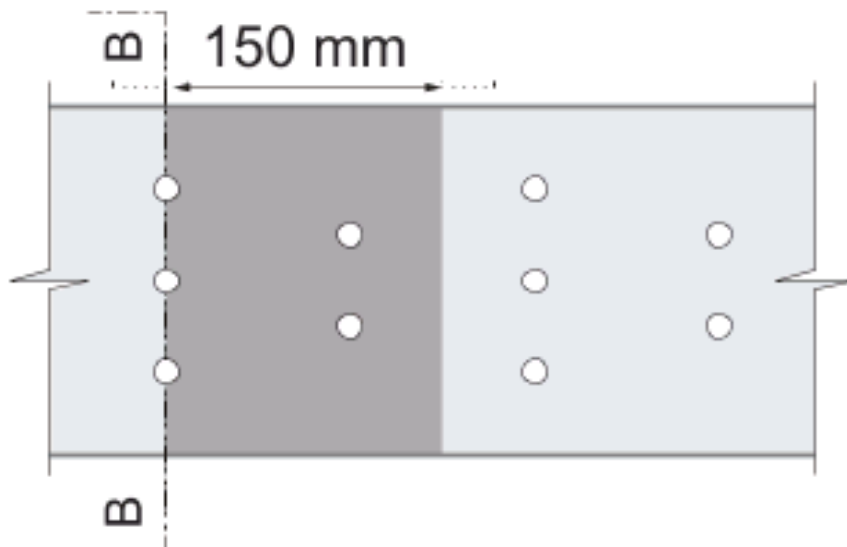


Fig. 5.67 Assemblage d'une poutre triangulée avec le système BSB.

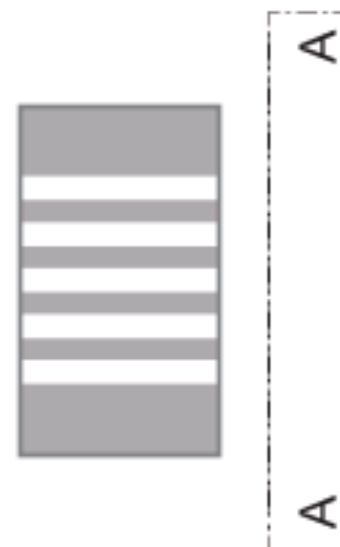
Barre en traction

Figure 24: Section réduite à considérer dans les assemblages

Vue A – A:



Section efficace déterminante dans la coupe B – B



Barre en traction

■ Assemblage par broche

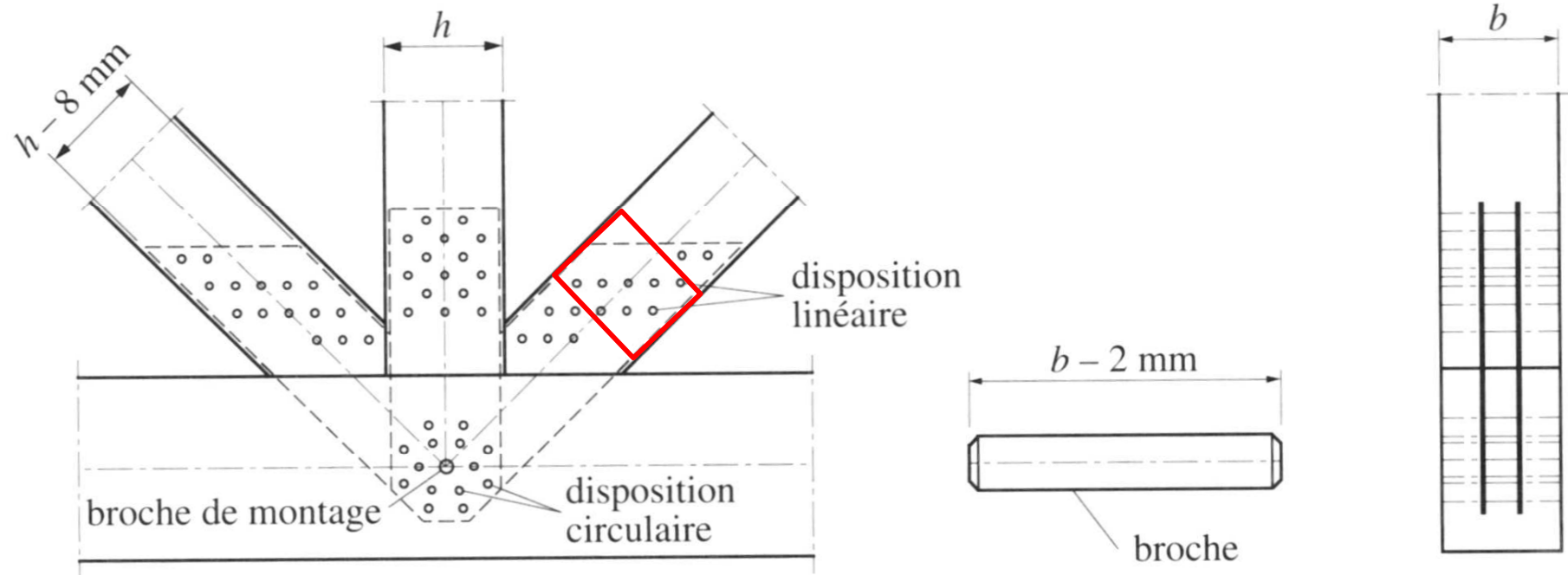
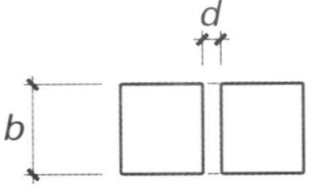


Fig. 5.67 Assemblage d'une poutre triangulée avec le système BSB.

Barre en traction

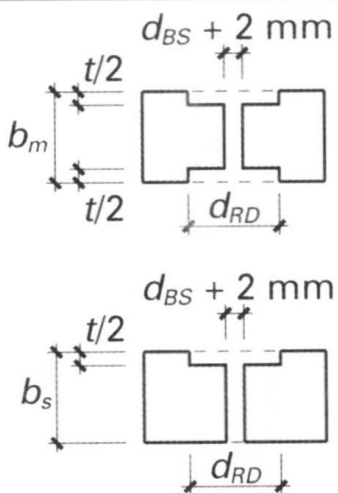
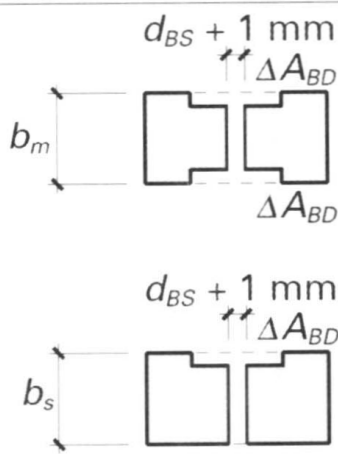
■ Réduction des section a prendre en compte (TCB 1 p 51)

Réduction de section à prendre en compte par moyen d'assemblage selon le type d'assemblage :

Moyens d'assemblage	Ø	Remarques	Surface de la réduction mm ² 1)	Dimensions
Clous sans préperçage	d_N	$d_N \leq 5 \text{ mm}$	-	
		$d_N > 5 \text{ mm}$	$b \cdot d_N$	
Clous avec préperçage	d_N		$b \cdot d_N$	
Broches et boulons ajustés	d_{SD}		$b \cdot d_{SD}$	
Boulons (de charpente)	d_{BS}		$b \cdot (d_{BS} + 1 \text{ mm})$	
Vis avec ou sans préperçage	d_{HS}		$b \cdot d_{HS}$	

Barre en traction

- Réduction des section a prendre en compte (TCB 1 p 51)

Goujons annulaires	d_{RD}	<p>Bois intérieurs :</p> $2 \cdot d_{RD} \cdot \frac{t}{2} + \left[\left(b_m - 2 \cdot \frac{t}{2} \right) \cdot (d_{BS} + 2 \text{ mm}) \right]$ <p>Bois extérieurs :</p> $d_{RD} \cdot \frac{t}{2} + \left[\left(b_s - \frac{t}{2} \right) \cdot (d_{BS} + 2 \text{ mm}) \right]$	
Crampons	d_{BD}	<p>Bois intérieurs :</p> $2 \cdot \Delta A_{BD} + b_m \cdot (d_{BS} + 1 \text{ mm})$ <p>Bois extérieurs :</p> $\Delta A_{BD} + b_s \cdot (d_{BS} + 1 \text{ mm})$	

Barre en traction

■ Tampon Bertsche

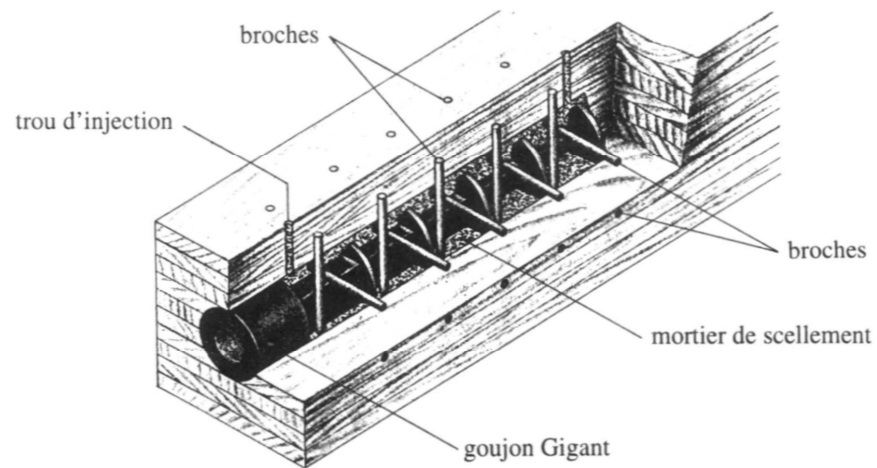
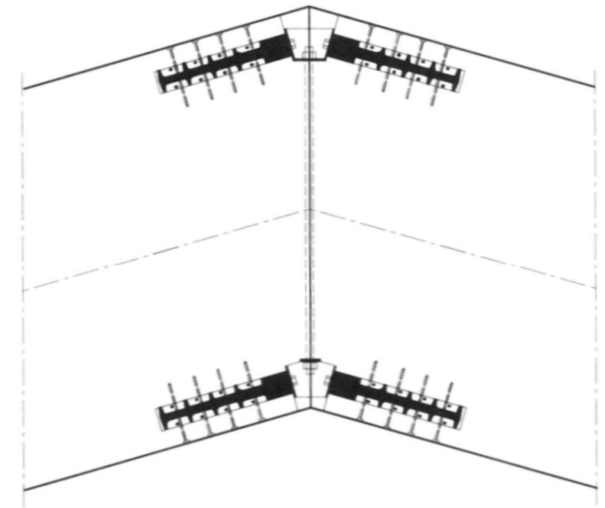


Fig. 5.72 Goujon profilé scellé Gigant, pour les assemblages en traction de grandes structures.



angle de cadre rigide



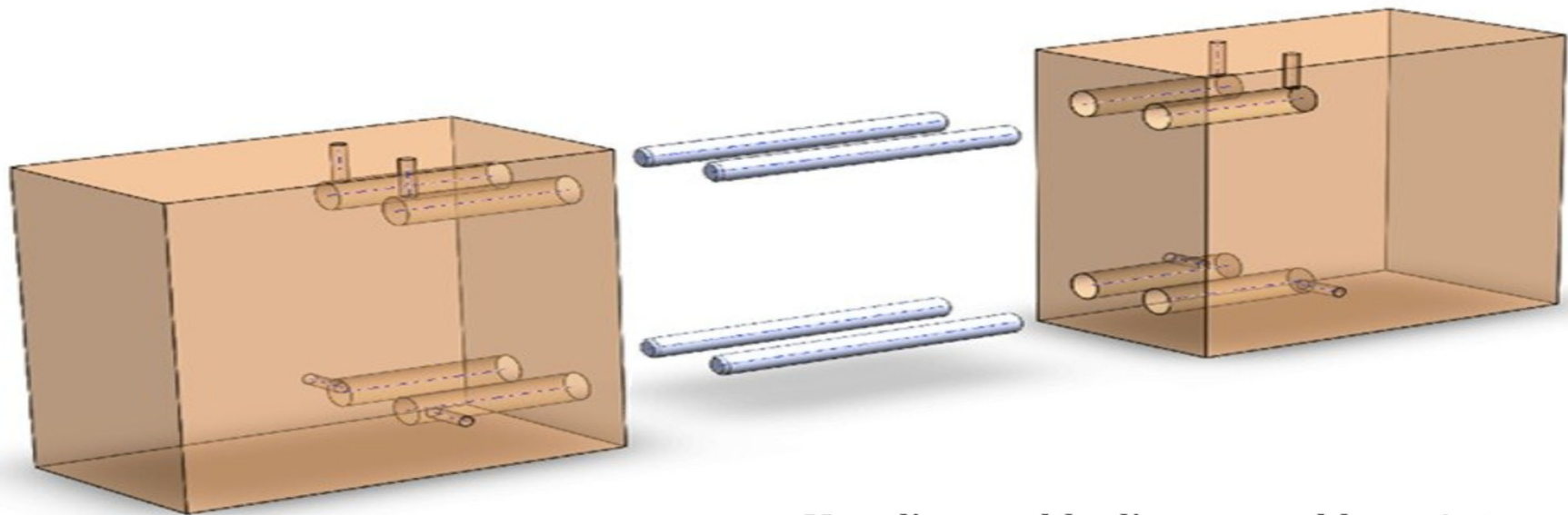
<http://www.bertsche-office.de/uk/>

Coef A = 0.85

Barre en traction

- Tige filetée encollée

Assemblage bois



Vue d'ensemble d'un assemblage 4 tiges.

Renoantic.ch

Coef A = 0.8 – 0.9

Barre

Résistance à la compression

Résistance des matériaux

■ Résistance à l'effort normal bois massif

Classes de résistance				Résineux			Chêne Hêtre
				C16	C24	C30	D30
ϕ	Traction au fil	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	5,5 ²⁾	8	10,5	10
	Compression au fil	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	9,5	12	13,5	13

■ Résistance à l'effort normal bois lamellé collé

Classes de résistance				BLC normal				BLC haute qualité ⁵⁾			
				GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL32k	GL32h	GL36k	GL36h
ϕ	Traction au fil	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	10	12	12	14	14	16	16	18
	Compression au fil	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	13	14,5	16	17	17,5	19	18	20,5

Barre en compression

- La vérification

$$\sigma_{c,d} \leq k_c f_{c,d}$$

avec: k_c coefficient de flambage selon le chiffre 4.2.8.3.

La charge critique

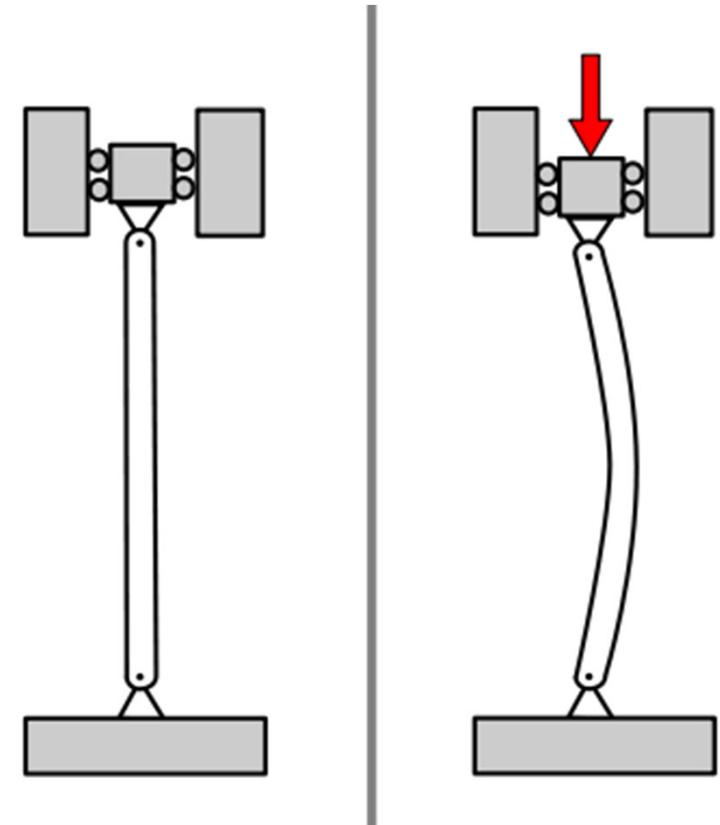
- Leonhard Euler (1707 à 1783)



www.wikipedia.org

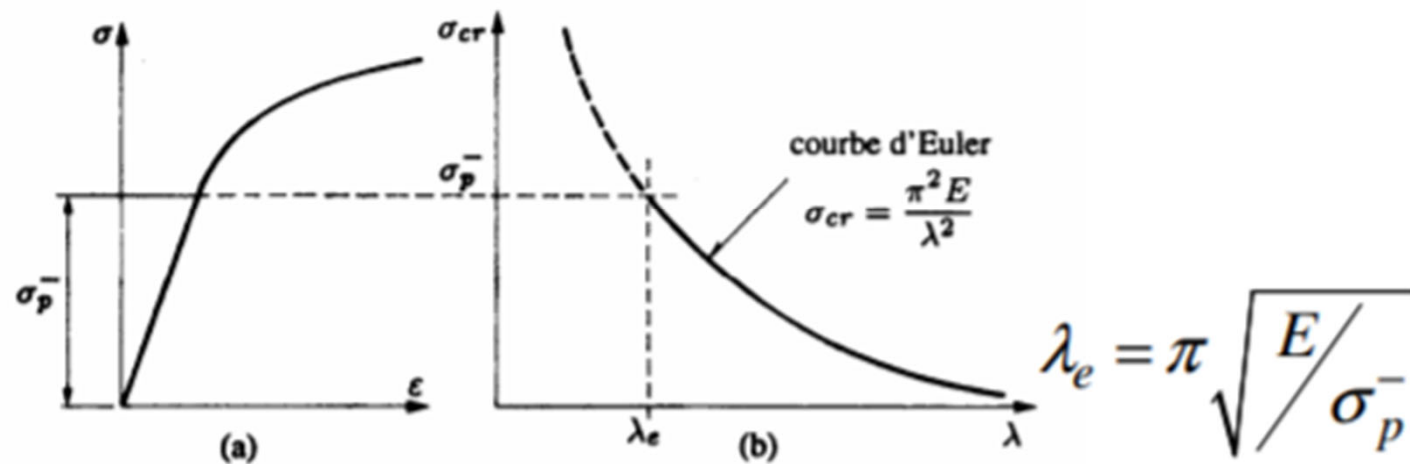
La charge critique de Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

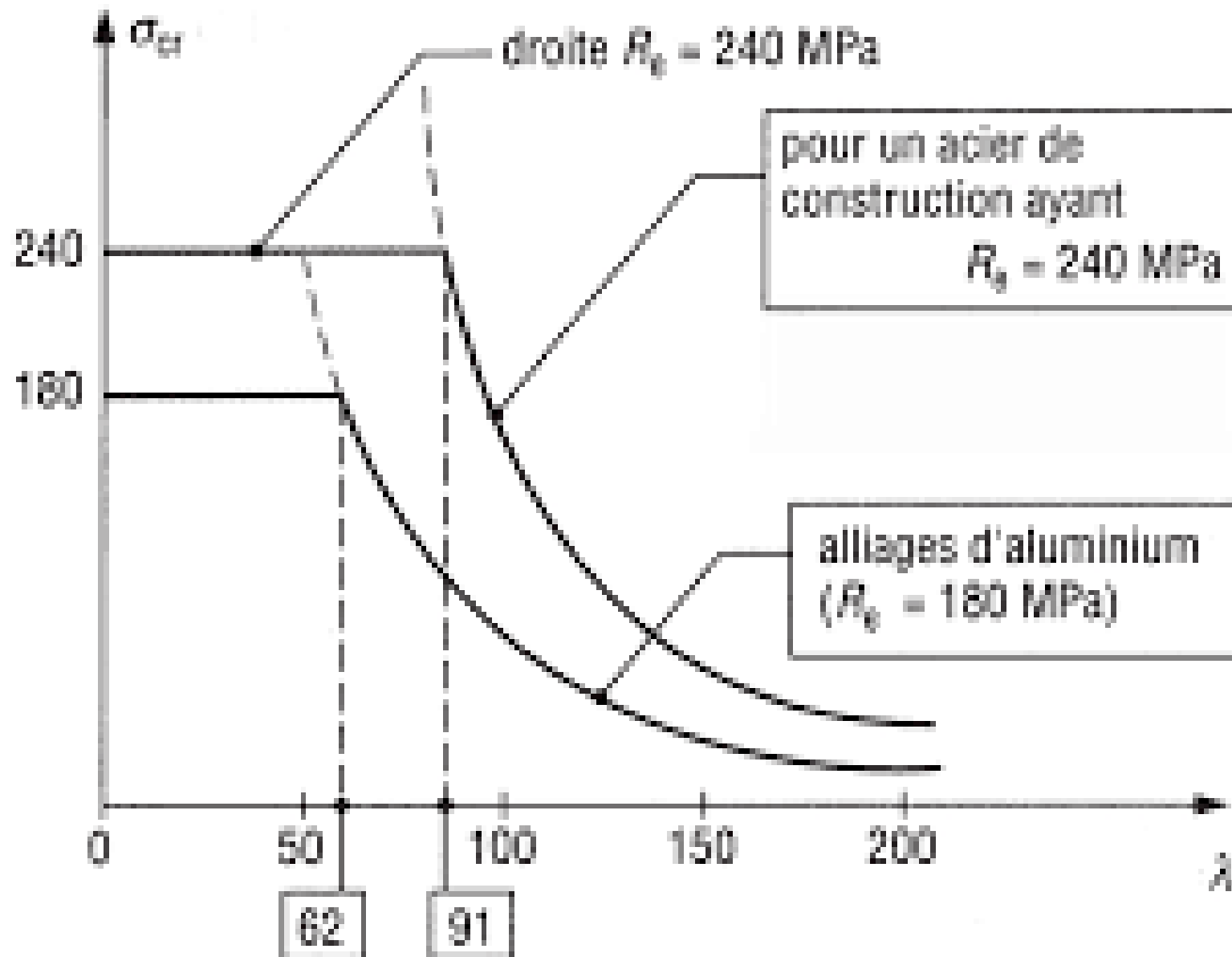


Validité de la théorie d'Euler

- hypothèse de linéarité matérielle (loi de Hooke)
- valable si $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_p^-$ (limite de proportionnalité)



[Frey, 2000, Vol. 2]



Exercice pratique:

x

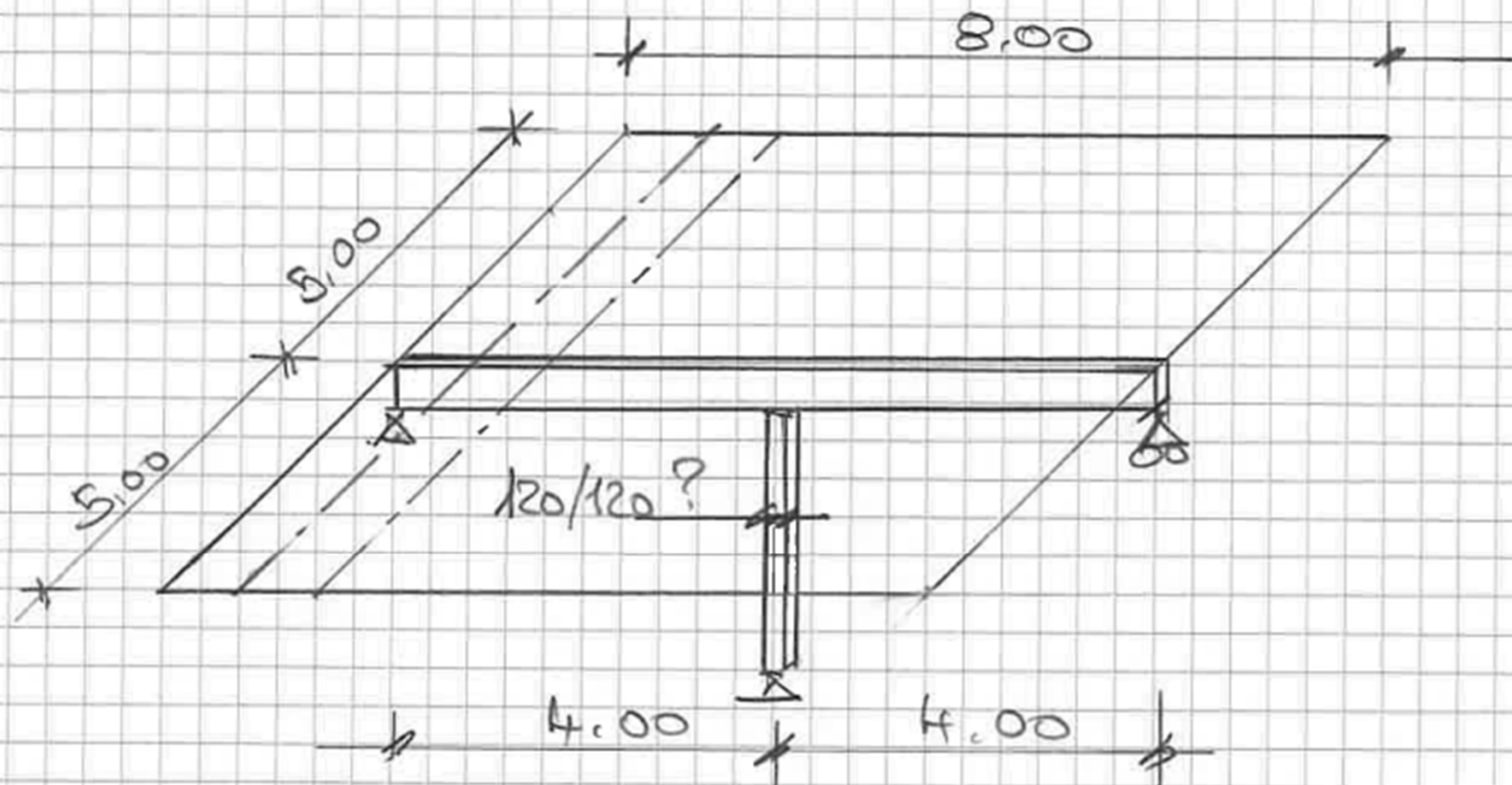
Vous êtes à la montagne et vous vous arrêtez dans un chalet chez un berger. Vous discutez, dehors il fait froid et vous voilà que dites au berger que vous êtes future ingénieur ! Il vous harponne et vous demande si un poteau de 12/12 serait suffisant. Que faites vous?

1.

**Vous demandez quelle sont les charges et quelle est
la géométrie de la construction**

charge utile admiss $7,5 \text{ kN/m}^2$
(selon SIA 261 créées en vrac)

Géométrie



2.

Vous effectuez la descente de charge
(multiplier par 1,25 car la poutre est continue).

$$H = 7,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 1,25 = 188 \text{ kN}$$

* poids propre structure + plancher négligé

3.

Vérification par Euler mais attention c'est un mathématicien du 17ème siècle. Alors que dans la construction on s'est rendu compte de la problématique flambage qu'a la fin du XIXème. Nous décidons donc d'appliquer un coefficient de sécurité de 2

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10'000 \cdot \frac{120 \cdot 120^3}{12}}{4000^2} = 106 \text{ kN}$$

admis fact. sécurité de 2 = 53 kN

$$53 \ll 180 \text{ kN}$$

\Rightarrow il faut augmenter la section

avec 180 / 180

$$N_{cr} = 540 \text{ kN} \Rightarrow 270 \text{ kN} > 180 \text{ kN}$$

\Rightarrow section 180 / 180 ok

La valeur ω (K. Möhler) ou k_c

- Norme SIA 265

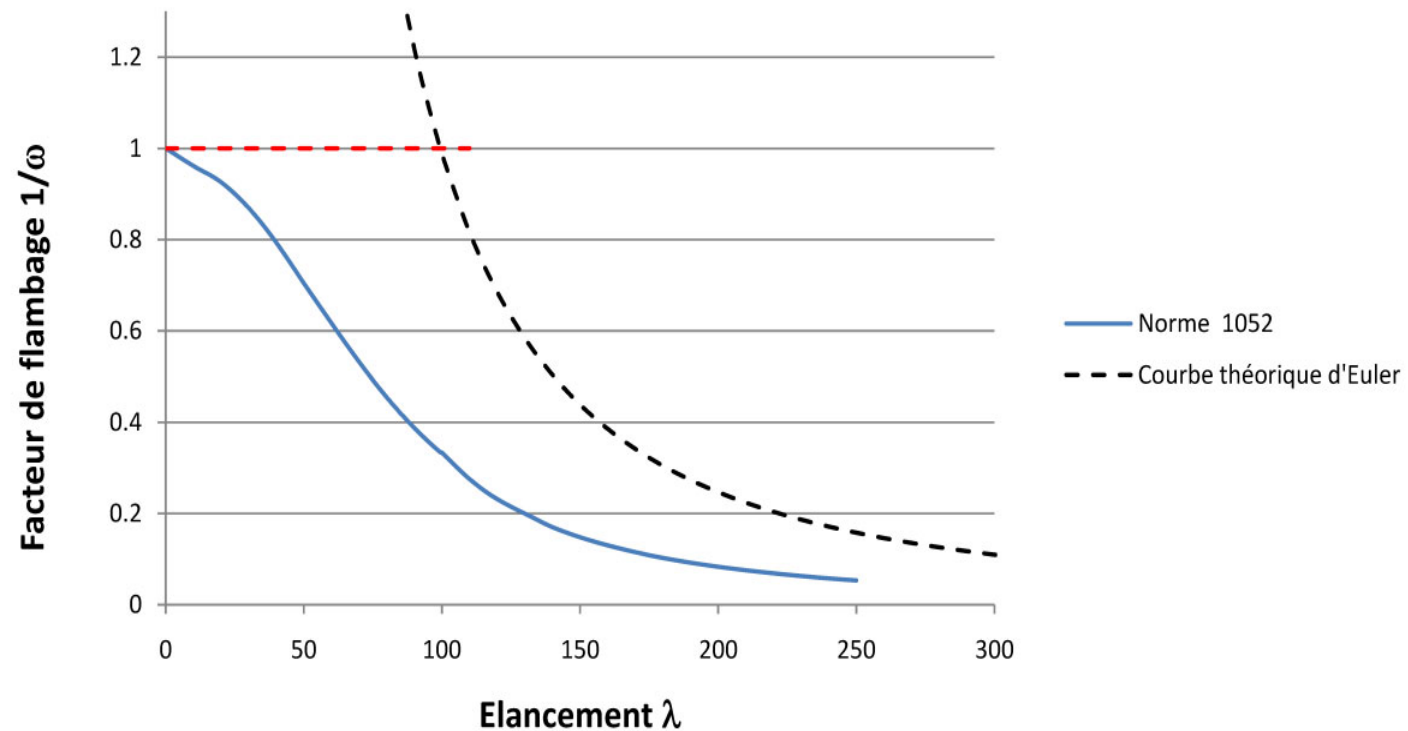
$$\sigma_d = \frac{F_d}{A} < k_c \sigma_{c,0,d}$$

- DIN 1052 - 1994

$$\text{zul } \sigma_d = \frac{F}{A} < \frac{\text{zul } \sigma_{\text{druck}}}{\omega}$$

La barre en compression

■ Comparaison Euler et Omega



4.

Vérification par estimation du coefficient de flambage

$$N_{Ed} = 188 \text{ kN} \cdot \gamma_Q = \underline{\underline{282 \text{ kN}}}$$

$$\sigma_{c,d} \leq k_c \cdot f_{c,d}$$

$$120/120 \Rightarrow d = \frac{4000}{0,289 \cdot 120} \approx 115$$

$$d = 115 \Rightarrow k_c \approx 0,25$$

$$\Rightarrow \sigma_{c,d} = \frac{282 \cdot 10^3 \text{ N}}{120 \cdot 120 \text{ mm}^2} = 19,5 \text{ N/mm}^2 > k_c \cdot f_{c,d} = 0,25 \cdot 14,5 = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

(Ne passerait même pas sans flambage)

$$\text{avec section } 180/180 \quad d = 77$$

$$\Rightarrow k_c \approx 0,5$$

$$\Rightarrow \sigma_{c,d} = \frac{282 \cdot 10^3}{180 \cdot 180} = 8,7 \text{ N/mm}^2 > k_c \cdot f_{c,d} = 0,5 \cdot 14,5 = 7,3 \text{ N/mm}^2$$

\Rightarrow ok,

\Rightarrow hypothèse top pessimiste de k_c

$$d_{rel} = \frac{77}{2011} = 1,22 \Rightarrow k_c = 0,585$$

$$\sigma_{c,d} = 8,7 \approx 0,585 \cdot 14,5 = 8,5$$

(dépassement de 2,5%)

5.

Vérification par la TCB 1

Vérification avec la TCB 1

(page 59)

GL24h	h mm	A mm ² · 10 ³	i _x mm	N _{Rd} kN	l _{crit,x} m	Résistance au flambage N _{K,x,Rd} en kN pour une longueur de flambage l _{K,x} en m												h mm
						1,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,6	4,0	
b = 80 mm	80	6,4	23,1	92,8	0,43	86,5	73,1	51,9	43,3	36,4	30,9	26,6	23,1	20,2	17,8	14,2	11,5	80
	120	9,6		139		130	110	77,9	64,9	54,6	46,4	39,9	34,6	30,3	26,7	21,3	17,3	120
	160	12,8		186		173	146	104	86,5	72,8	61,9	53,2	46,1	40,4	35,7	28,3	23,1	160
	200	16,0		232		216	183	130	108	91,0	77,3	66,5	57,7	50,5	44,6	35,4	28,8	200
	240	19,2		278		260	219	156	130	109	92,8	79,8	69,2	60,6	53,5	42,5	34,6	240
	280	22,4		325		303	256	182	151	127	108	93,0	80,7	70,7	62,4	49,6	40,4	280
	320	25,6		371		346	292	208	173	146	124	106	92,3	80,8	71,3	56,7	46,1	320
b = 100 mm	100	10,0	28,9	145	0,54	140	131	111	97,3	84,2	72,6	63,0	55,0	48,3	42,8	34,1	27,9	100
	120	12,0		174		168	157	133	117	101	87,2	75,6	66,0	58,0	51,3	41,0	33,4	120
	160	16,0		232		224	210	178	156	135	116	101	88,0	77,3	68,5	54,6	44,6	160
	200	20,0		290		280	262	222	195	168	145	126	110	96,7	85,6	68,3	55,7	200
	240	24,0		348		336	314	266	234	202	174	151	132	116	103	82,0	66,9	240
	280	28,0		406		392	367	311	273	236	203	176	154	135	120	95,6	78,0	280
	320	32,0		464		448	419	355	312	269	232	202	176	155	137	109	89,1	320
	360	36,0		522		504	472	400	350	303	262	227	198	174	154	123	100	360
	400	40,0		580		559	524	444	389	337	291	252	220	193	171	137	111	400
b = 120 mm	120	14,4	34,6	209	0,65	205	197	183	172	157	140	124	110	97,3	86,6	69,1	57,0	120
	160	19,2		278		273	263	245	229	209	187	166	146	130	116	92,8	76,0	160
	180	21,6		313		307	296	275	258	235	210	186	165	146	130	104	85,5	180
	200	24,0		348		341	329	306	286	261	234	207	183	162	144	116	95,0	200
	240	28,8		418		409	395	367	343	313	280	248	220	195	173	139	114	240
	280	33,6		487		477	460	428	401	366	327	290	256	227	202	162	133	280
	320	38,4		557		545	526	489	458	418	374	331	293	260	231	186	152	320
	400	48,0		696		682	658	611	572	522	467	414	366	324	289	232	190	400
	440	52,8		766		750	723	672	630	575	514	455	403	357	318	255	209	440
	480	57,6		835		818	789	734	687	627	561	497	439	389	347	278	228	480

■ λ > 150: admis seulement pour les sollicitations de courte durée ou des chocs

GL24h	h mm	A mm ² · 10 ³	i_x mm	N_{Rid} kN	$i_{crit,x}$ m	Résistance au flambage $N_{k,x,Rid}$ en kN pour une longueur de flambage $l_{k,x}$ en m													
						1,0	1,5	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	
$b = 140$ mm	140	19,6	40,4	284	0,75	281	272	255	243	228	210	191	172	155	139	126	114	104	
	160	22,4		325		321	311	291	278	261	240	218	197	177	159	144	130	119	
	200	28,0		406		401	388	364	348	326	300	273	246	221	199	180	163	148	
	240	33,6		487		482	466	437	417	391	360	327	295	265	239	216	196	178	
	280	39,2		568		562	544	510	487	457	420	382	344	310	279	252	228	208	
	320	44,8		650		642	622	583	556	522	480	436	393	354	319	288	261	237	
	360	50,4		731		722	699	656	626	587	540	491	442	398	359	324	294	267	
	400	56,0		812		803	777	728	695	652	600	545	492	442	398	360	326	297	
	440	61,6		893		883	855	801	765	717	660	600	541	487	438	396	359	326	
	480	67,2		974		963	932	874	835	783	720	654	590	531	478	432	391	356	
520	72,8	1056	1043	1010	947	904	848	780	709	639	575	518	468	424	386				
$b = 160$ mm	160	25,6	46,2	371	0,86	369	360	346	337	326	311	292	271	249	228	208	189	173	
	200	32,0		464		461	450	433	422	408	389	366	339	312	285	260	237	216	
	240	38,4		557		554	540	519	506	489	467	439	407	374	342	311	284	260	
	280	44,8		650		646	631	606	591	571	544	512	475	436	398	363	331	303	
	320	51,2		742		738	721	692	675	652	622	585	543	498	455	415	379	346	
	360	57,6		835		831	811	779	759	734	700	658	610	561	512	467	426	389	
	400	64,0		928		923	901	865	844	815	778	731	678	623	569	519	473	433	
	440	70,4		1021		1015	991	952	928	897	855	804	746	685	626	571	521	476	
	480	76,8		1114		1108	1081	1038	1012	978	933	877	814	748	683	623	568	519	
	520	83,2		1206		1200	1171	1125	1097	1060	1011	951	882	810	740	675	618	562	
$b = 180$ mm	180	32,4	52,0	470	0,97	469	460	447	440	431	420	405	386	364	340	315	291	268	
	200	36,0		522		521	511	497	489	479	466	450	429	405	378	350	323	296	
	240	43,2		626		626	614	596	587	575	559	540	515	486	454	421	388	358	
	280	50,4		731		730	716	696	685	671	653	630	601	567	529	491	453	417	
	320	57,6		835		834	818	795	782	766	746	720	687	648	605	561	518	477	
	360	64,8		940		939	920	895	880	862	839	810	773	729	681	631	582	536	
	400	72,0		1044		1043	1023	994	978	958	932	900	858	810	756	701	647	596	
	440	79,2		1148		1147	1125	1093	1076	1054	1026	989	944	891	832	771	712	656	
	480	86,4		1253		1251	1227	1193	1174	1150	1119	1079	1030	972	907	841	776	715	
	520	93,6		1357		1356	1330	1292	1272	1245	1212	1169	1116	1053	983	911	841	776	
$b = 200$ mm	200	40,0	57,7	580	1,08	580	572	559	553	545	536	524	509	491	469	444	417	389	
	240	48,0		696		696	686	671	664	654	643	629	611	589	563	533	500	467	
	280	56,0		812		812	801	783	774	763	750	734	713	688	657	622	584	545	
	320	64,0		928		928	915	895	885	873	857	839	815	786	751	711	667	623	
	360	72,0		1044		1044	1029	1007	995	982	965	943	917	884	845	799	751	701	
	400	80,0		1160		1160	1144	1119	1106	1091	1072	1048	1019	982	938	888	834	779	
	440	88,0		1276		1276	1258	1231	1217	1200	1179	1153	1121	1081	1032	977	918	857	
	480	96,0		1392		1392	1372	1343	1327	1309	1286	1258	1223	1179	1126	1066	1001	935	
	520	104		1508		1508	1487	1455	1438	1418	1393	1363	1324	1277	1220	1155	1084	1012	

$$N_{Ed} = 188 \text{ kN} \cdot \gamma_Q = 188 \cdot 1,5 = 282 \text{ kN}$$

KB1 p.59 BLC 9624h

$$120/120 \Rightarrow N_{R,z,Ed} = 57 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 282 \text{ kN} \gg N_{R,z,Ed} = 57 \text{ kN}$$

\Rightarrow ne passe pas

$$180/180 \Rightarrow N_{R,z,Ed} = 268 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \approx N_{R,z,Ed} \quad (\text{dépassement de } 5\%)$$

peut être admis mais limite

La barre en compression

- La démarche pour calculer k_c selon SIA 265

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

TCB 1 page 52

- Avec $k = 0.5[1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2]$

- Coefficient de rectitude

$$\beta_c = 0.2 \text{ (bois massif)}$$

$$\beta_c = 0.1 \text{ (lamellé collé)}$$

La barre en compression

- L'élancement

$$\lambda = \frac{l_{eff}}{i} \quad \text{TCB 1 page 52}$$

- L'élancement relatif

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \begin{array}{l} \text{Valeurs tabulées} \\ \text{TCB 1 page 52} \end{array}$$

La barre en compression

■ Fractile 5% (Annexe B SIA 265)

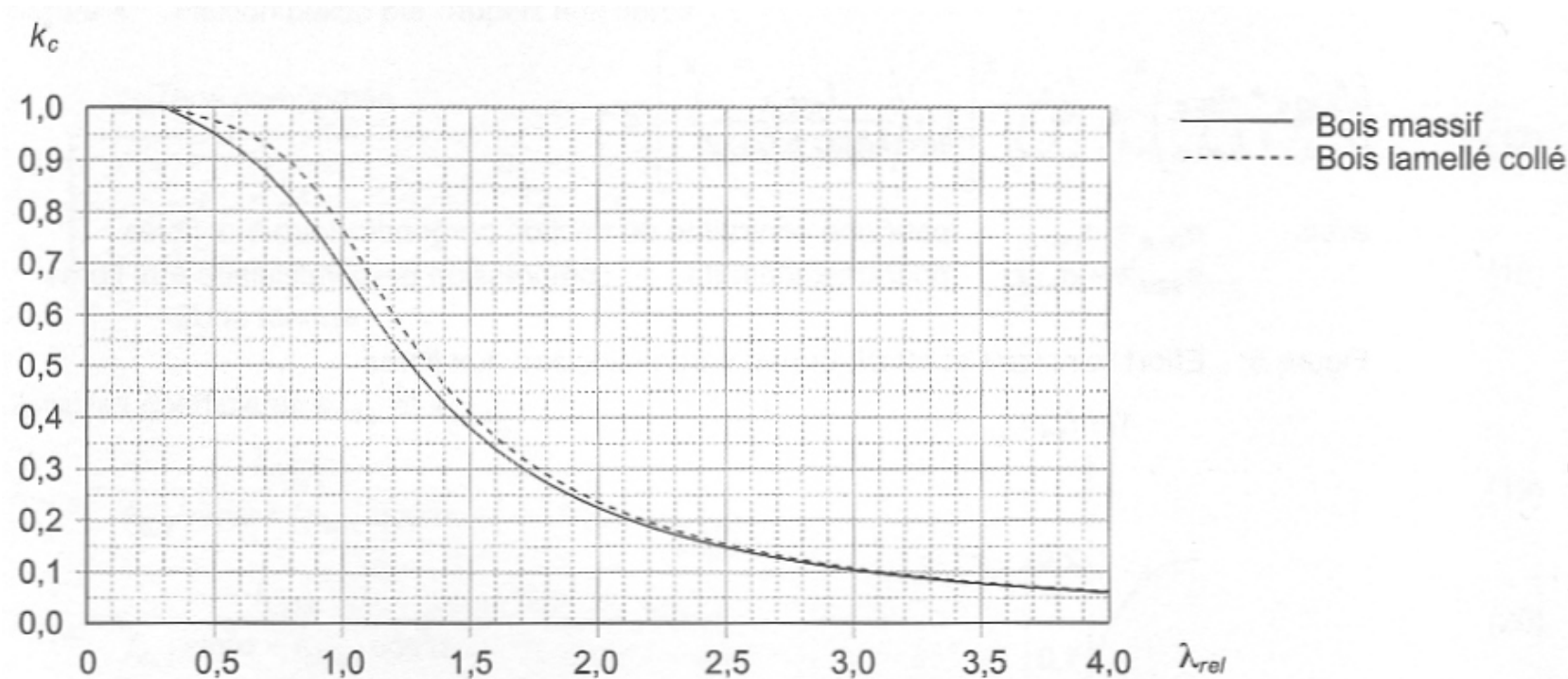
Classes de résistance		Résineux			Hêtre Chêne
		C16	C24	C30	D30
Résistance à la compression parallèle au fil	$f_{c,0,k}$ N/mm ²	17	21	24	24
Module d'élasticité parallèle au fil (fractile 5%)	$E_{0,05}$ N/mm ²	5'400	7'400	8'000	9'200

Classes de résistance	BLC normal					BLC haute résis- tance ¹⁾	
	GL20h ¹⁾	GL24c	GL24h	GL28c	GL28h	GL32c ¹⁾	GL32h ¹⁾
Résistance $f_{c,0,k}$ N/mm ² à la com- pression parallèle au fil	20	21,5	24	24	28	24,5	32
Module $E_{0,05}$ N/mm ² d'élasticité parallèle au fil (fractile 5%)	7'000	9'100	9'600	10'400	10'500	11'200	11'800

¹⁾ Il faut s'assurer de la disponibilité de ces classes.

La barre en compression

■ Valeur k_c dans la pratique



TCB 1 page 52

pour le bois massif $\lambda_{rel} \approx \frac{\lambda}{18 \cdot \pi}$ (265.35)

pour le bois lamellé-collé $\lambda_{rel} \approx \frac{\lambda}{20 \cdot \pi}$ (265.36)

– bois massif $\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{57}$

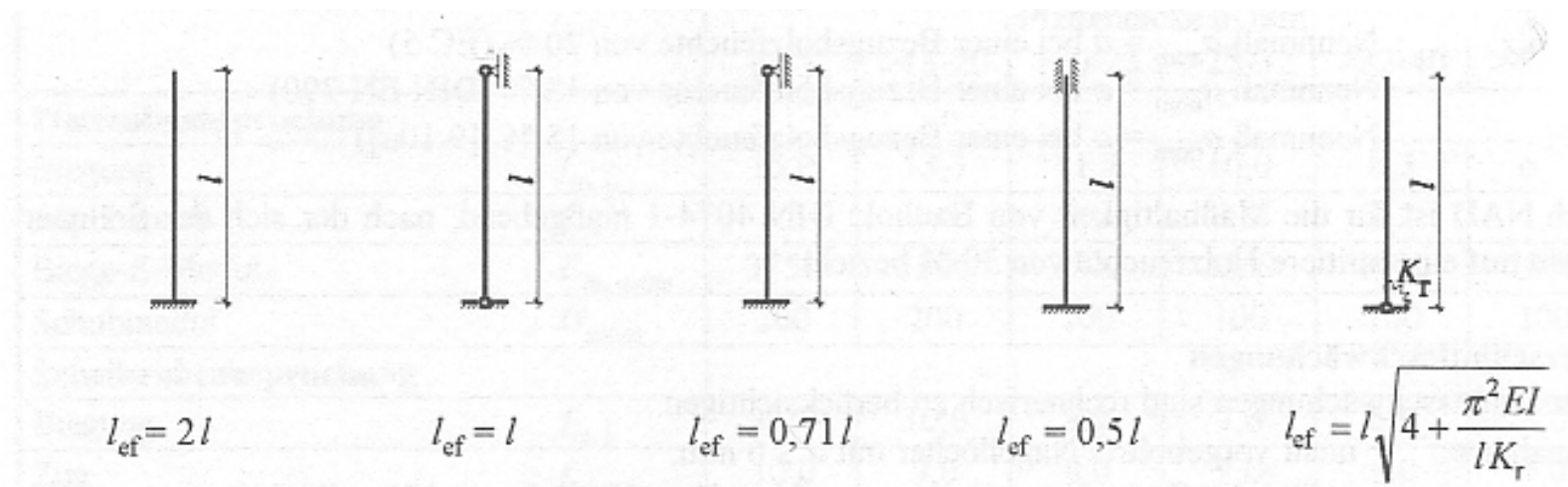
– bois lamellé collé $\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{60}$

Les longueurs de flambages

■ Les classiques

Le premier paramètre essentiel pour une vérification est la **longueur de flambement**.

Cas classiques de longueur de flambage selon Euler :



Le rayon de giration

TCB 1 page 52 (formule générale)

i rayon de giration $i = \sqrt{I/A}$ pour la direction considérée

TCB 1 page 34 et 36 (avec simplification pour les sections rectangulaires)

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \approx 0,289 \cdot h$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \approx 0,289 \cdot b$$

6.

Vérification par calcul complet

$$N_{ed} = 188 \text{ kN} \quad Y_Q = 282 \text{ kN}$$

$$l_k = 4000 \text{ mm}$$

$$d = \frac{l_k}{i} = \frac{4000}{0,289 \cdot 120} \approx 115$$

$$d_{rel} = \frac{d}{20\pi} = \frac{115}{20\pi} = 1,84 \Rightarrow k_c = 0,278$$

$$\sigma_{cd} = \frac{282 \cdot 10^3}{120^2} = 19,5 > k_c \cdot f_{c,0,d} = 0,278 \cdot 14,5 = 4,0$$

\Rightarrow section insuffisante

Pour une section BLC G12th 180/180

$$d = \frac{4000}{0,289 \cdot 180} = 77$$

$$d_{rel} = \frac{d}{20\pi} = 1,22 \Rightarrow k_c = 0,585 \text{ (TCB1 p. 52)}$$

(on lecture directe $k_c \cdot f_{c,0,d}$ TCB1 p 53)




$$k_c \cdot f_{c,0,d} = 8,48$$

$$\sigma_{c,d} = \frac{282 \cdot 10^3}{180^2} = 8,7 \approx 8,48 \text{ N/mm}^2$$

(dépassement de 2,6% admis ok)

Longueurs de flambages

- Statik und Stabilität der Baukonstruktionen
- Petersen Christian (1983)

Biegemoment										
	ζ	f_3	f_7	f_{11}				Schrägst.	Σ	
$\epsilon = 1,75$	4	1.0000	0	0	+ 11.24	0	0	0	+ 11.24	
	3	0.9788	1.0651	0.9108	+ 11.00	+ 210.35	7.27	0	+ 228.62	
	2	0.7800	1.4630	1.4254	+ 8.77	+ 288.94	11.37	0	+ 309.08	
	1	0.25	0.4289	1.0651	1.1646	+ 4.82	+ 210.35	9.29	0	+ 224.46
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

für $\zeta = 0.25$ und 0.75
geradlinig interpoliert

kNm

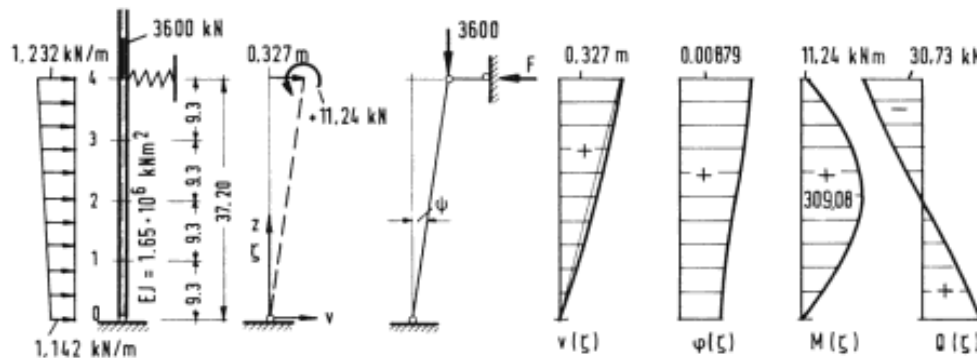


Bild IV.4

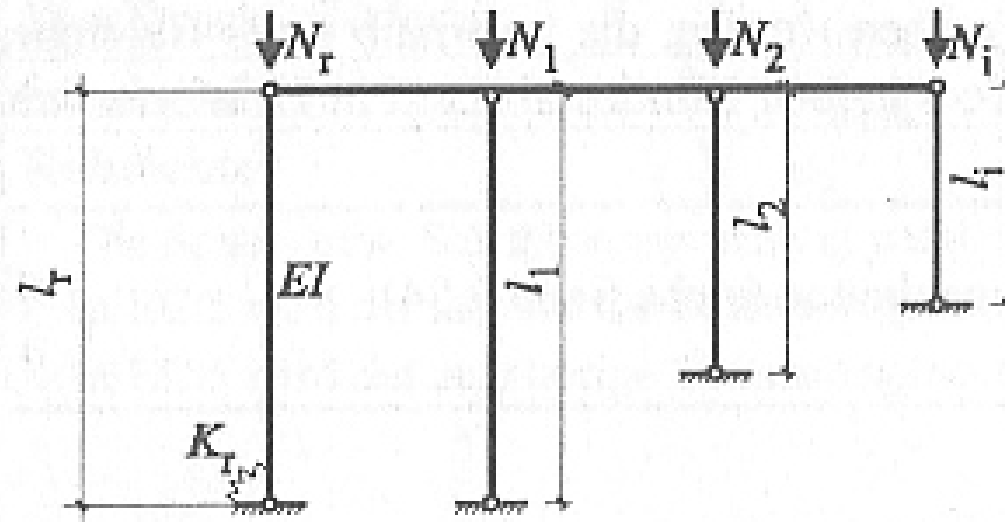
In B.IV.4 (oben) sind die einzelnen Anteile ausgewiesen und aufsummiert. Die Graphen der Größen v, ϕ, M und Q sind im unteren Bildteil dargestellt.



1'000 pages

Longueurs de flambages

- Série de poteaux avec appui élastique

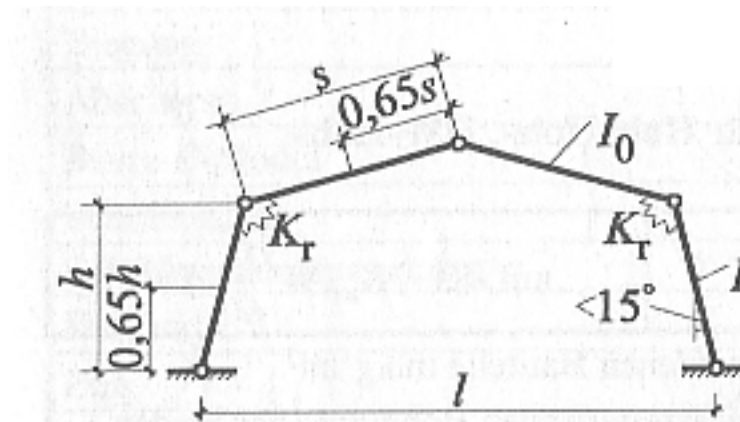


$$\alpha = \frac{l_r}{N_r} \sum \frac{N_i}{l_i}$$

$$l_{ef} = l_r \pi \sqrt{\frac{5 + 4\alpha}{12} + \frac{(1 + \alpha)EI}{l_r K_r}}$$

Longueur de flambage

- Portique à deux ou trois articulation



Poteau :
$$l_{ef} = h \sqrt{4 + 3,2 \frac{I s}{I_0 h} + 10 \frac{EI}{h K_T}}$$

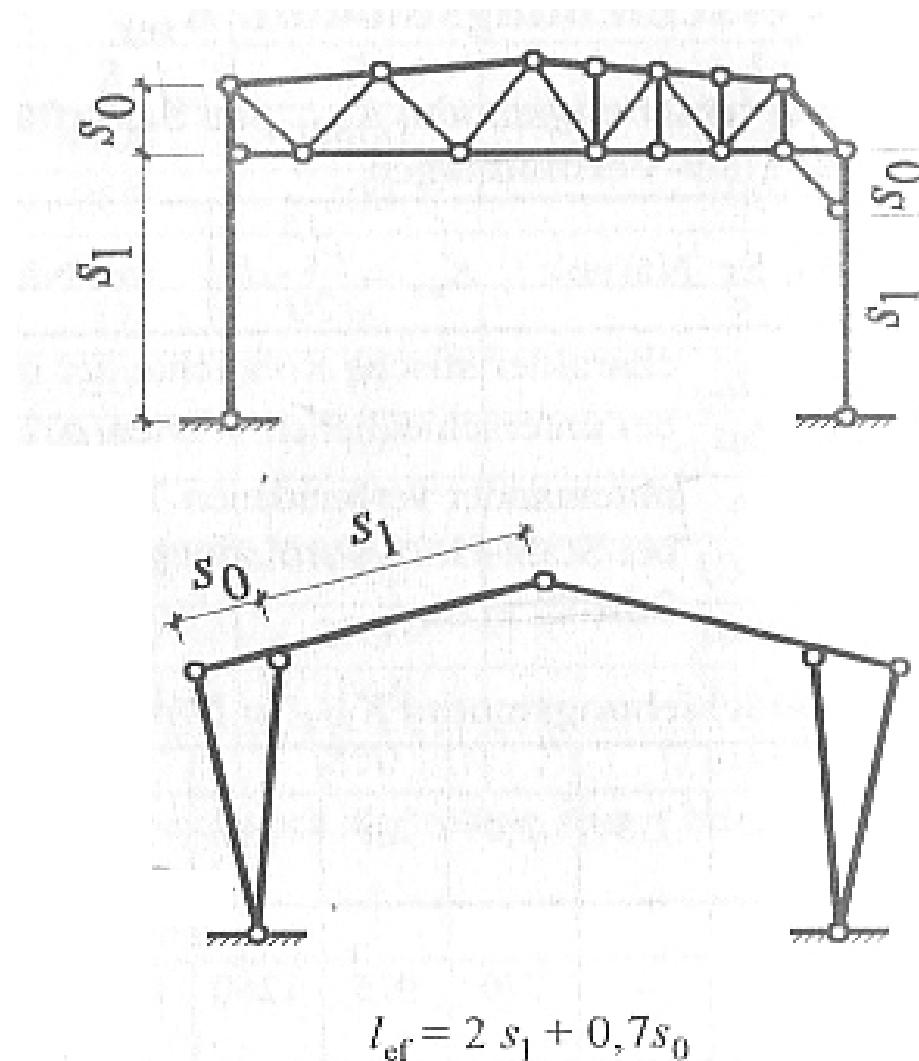
Arbalétrier :
$$l_{ef} = h \sqrt{4 + 3,2 \frac{I s}{I_0 h} + 10 \frac{EI}{h K_T} \sqrt{\frac{I_0 N}{I N_0}}}$$

N = effort normal du poteau

N₀ = effort normal de l'arbalétrier

Longueur de flambage

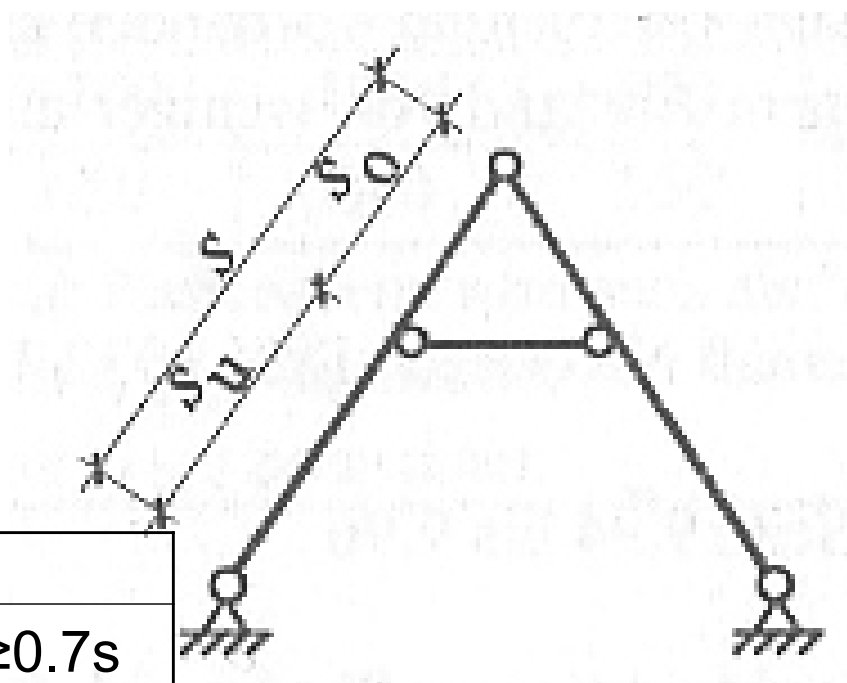
- Portique en treillis et poteaux en V



Longueur de flambage

■ Longueur effective de flambement

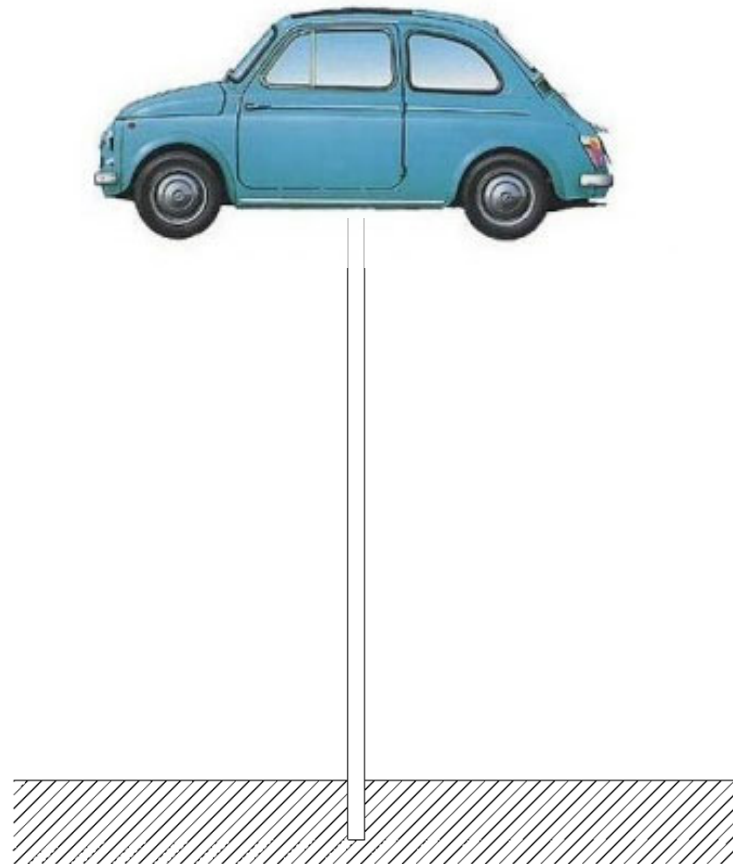
Charpente à
faux entrants



non-rigide :		
s_u	$<0.7s$	$\geq 0.7s$
l_{ef}	$0.8s$	s
rigide :		
$l_{ef} = s_u \text{ ou } s_o$		

Compression avec stabilité :

Est-ce possible?



Compression avec stabilité

■ Rectitude des barres (SIA 265 § 8.2.5)

Pour les éléments comprimés, la déformation mesurée au milieu de la pièce par rapport à la ligne théorique ne doit pas excéder la fraction de la longueur suivante:

- barres comprimées en bois lamellé collé ou en dérivés du bois: $l/500$
- barres comprimées en bois massif (équarris): $l/300$
- pièces fléchies, arcs et cadres (déviations latérales): $l/600$.

Compression avec stabilité

- Limite de l'élancement λ , dans la norme SIA 265-2021:
 - Élément porteurs principaux 150
 - Éléments secondaire et de stabilisation 200
- !!! Attention c'est nouveau !!!

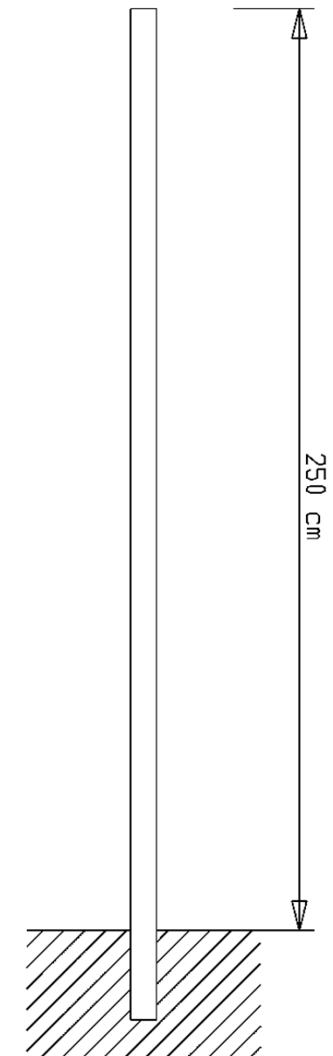
Barre en compression

■ Exemple

Poteau encastré section 70/70
 hauteur 2.5m
 Bois GL24h

Section

Largeur	b	70.00	mm
Hauteur	h	70.00	mm
Aire	A	4'900.00	mm ²
Inertie	I	2'000'833.33	mm ⁴



Compression avec stabilité :

Aire	A	4 900,00	mm^2	
Inertie	I	2 000 833,33	mm^4	
Longueur de flambage	L_k	5 000,00	mm	
Rayon de giration	i	20,21	-	
Elancement	λ	247,44	-	
Résistance à la compression	$f_{c,0,d}$	14,50	N/mm^2	GL24
Module de rigidité (moyenne)	E_{mean}	11 000,00	N/mm^2	
Module de rigidité (5%)	$E_{0.05}$	9 400,00	N/mm^2	Annexe B
Valeur cara. de résistance	f_{cok}	24,00	N/mm^2	GL24
Fonction de rectitude	β_c	0,10	-	Bois lamellé collé
Elancement relatif	λ_{rel}	3,98	-	
Facteur complémentaire	k	8,60	-	
Coefficient de flambage	k_c	0,06	-	
Résistance	R_d	4 377,58	N	
Charge critique d'Euler	F_{cri}	7 425,03	kN	
		1,70		

longueur de flambage $2 \times 2,5\text{m} = 5000\text{mm}$

$$i = 0,289 \cdot 70\text{mm} = 20,23\text{mm}$$

$$\lambda = l_e/i = \frac{5000}{20,23} = 247$$

$$\Rightarrow \lambda_{rel} = \frac{247}{20\pi} = 3,9$$

(lecture TCR1 plus possible)

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$k = 0,5 \left[1 + 0,1 (3,9 - 0,3) + 3,9^2 \right] = 8,3$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{8,3 + \sqrt{8,3^2 - 3,9^2}} = 0,06$$

Δ avec un élanement pareil la résistance n'est plus que de 6% de ce que peut prendre cette barre s'il n'y a pas de flambage

$$\Rightarrow N_{Ed} = A \cdot k_c \cdot f_{c,0,d} = 70 \times 70 \times 0,06 \cdot 14,5$$

$$\Rightarrow N_{Ed} \approx 4300\text{N} = 4,3\text{kN} \quad (430\text{kg})$$

Compression et flexion avec stabilité :

- Combinaison traction et flexion

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Compression et flexion avec stabilité :

- Combinaison compression et flexion

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Compression et flexion avec stabilité :

- Combinaison compression et flexion

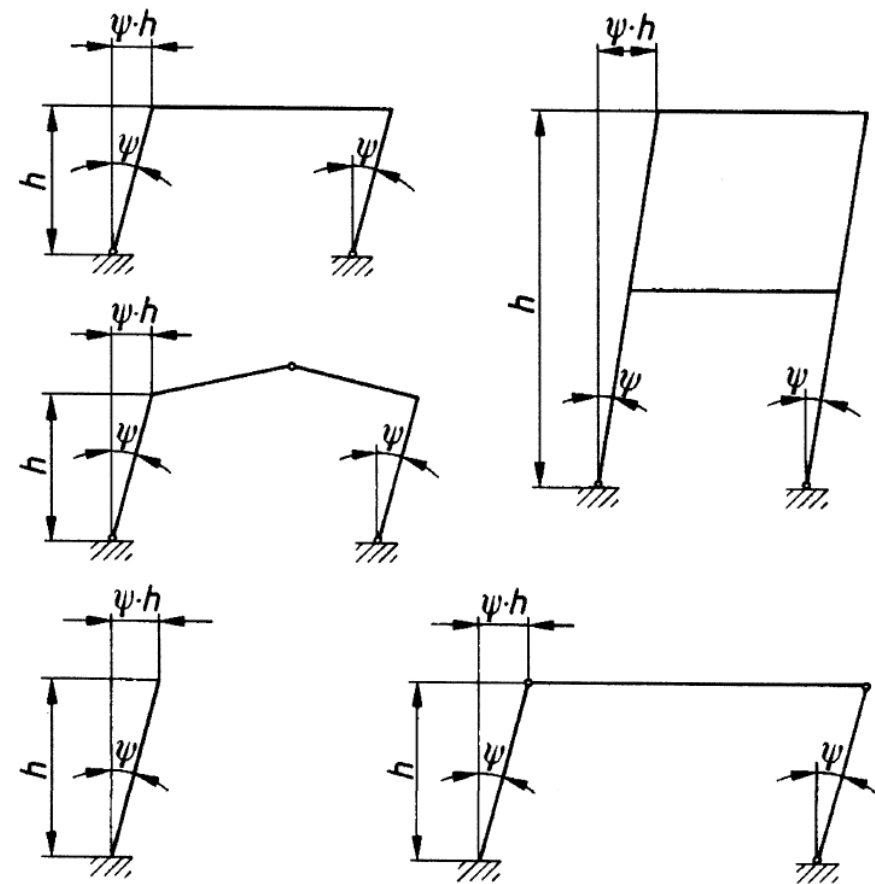
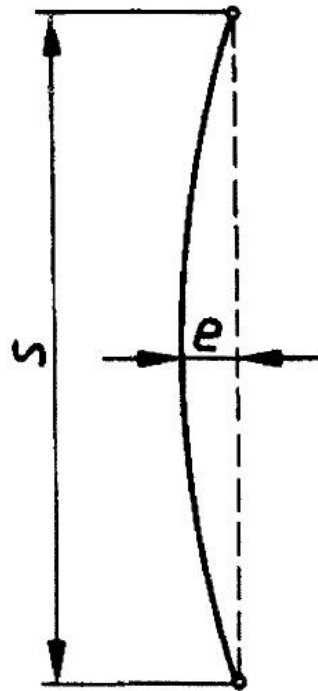
$$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

La théorie du second ordre

Théorie du second ordre

- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

Les imperfections



Théorie du second ordre

- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

Vérification des contraintes

Contraintes
$\frac{N^{\text{II}} / A}{\gamma_1 \text{zul } \sigma_{D_{\text{II}}}} + \frac{M^{\text{II}} / W}{\gamma_1 \text{zul } \sigma_B} \leq 1.0$

$$\gamma_1 = 2.0$$

N^{II} et M^{II} sont issu de la structure chargée à γ_1 fois la charge
 $\text{zul } \sigma_{D_{\text{II}}}$ et $\text{zul } \sigma_B$ contraintes admissibles de la DIN 1052

Théorie du second ordre

- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

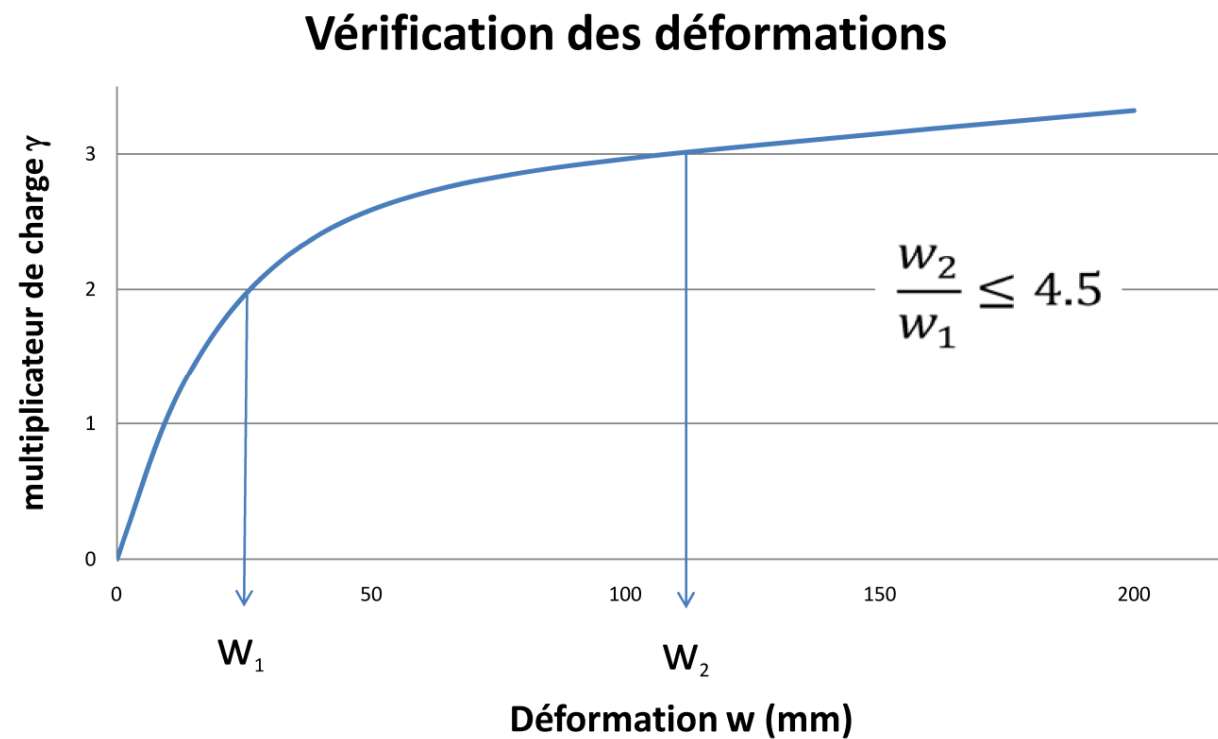
Vérification des déformations

Déformation	
$\frac{f(\gamma_2 \times \text{la charge})}{f(\gamma_1 \times \text{la charge})} \leq 4.5$	
$\gamma_1 = 2.0$	$\gamma_2 = 3.0$

Théorie du second ordre

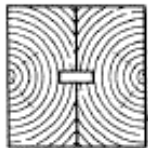
- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

Vérification des déformations

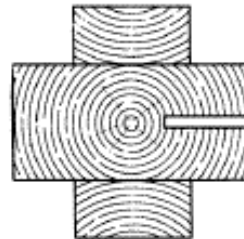


Composition d'un élément

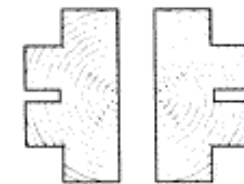
En bois massif



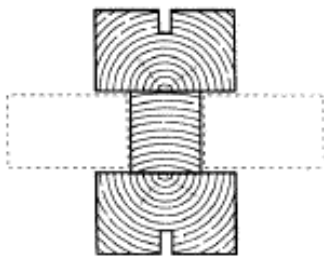
à partir de madriers à cœur refendu,
avec gorge de décharge à l'intérieur



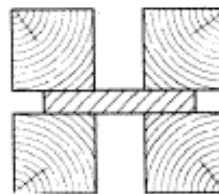
section en croix à partir de trois madriers



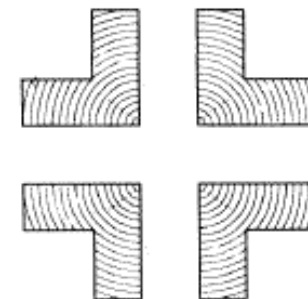
sections en croix à partir de profils à
cœur refendu et gorge de décharge



profil en I à partir de madriers

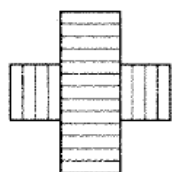


section rectangulaire composée d'un
bastaing et de quatre madriers

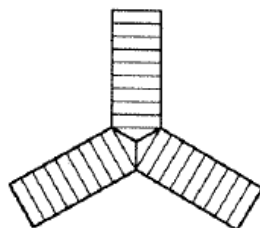


sections en L

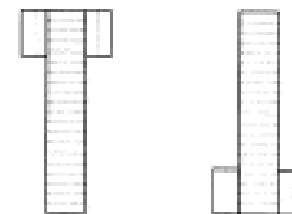
Composition d'un élément En bois lamellé collé



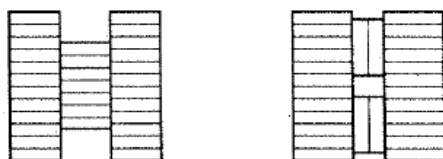
à éléments croisés



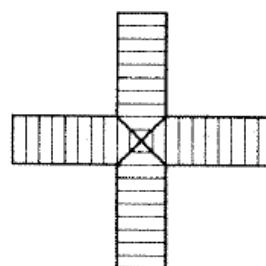
poteau triangulaire non massif



sections en T



profils en I



poteau en croix



section en U retournée, section à caisson

Exercice du jour section nette

- Système Blummer BSB

