

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
⊕	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
⊕	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 traction

- La vérification

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

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	$d_N \leq 5$ mm	1.00
	$d_N > 5$ 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

Barre en traction

- Section nette : assemblage cloué

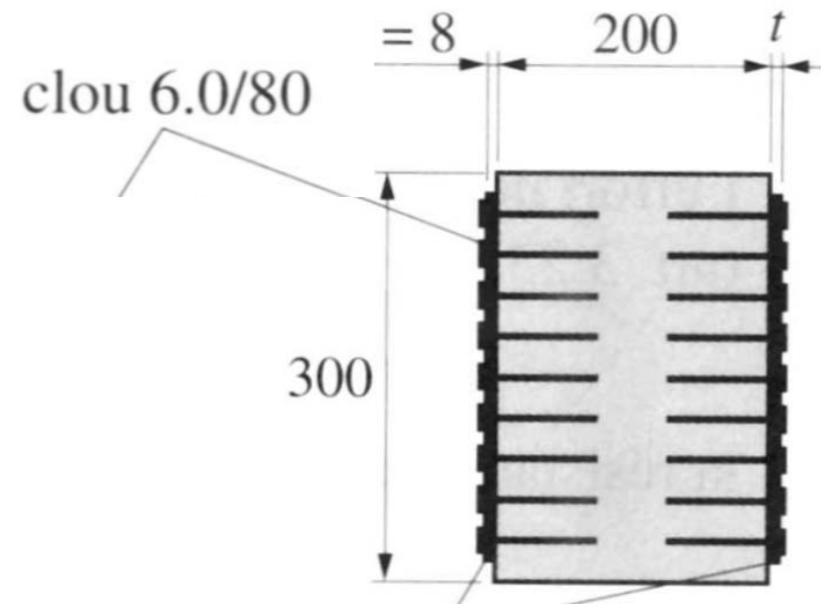
- Clous sans préperçage

$$d_n < 5.0\text{mm}$$

pas de réduction

- Clous avec préperçage

réduction du diamètre du clous et de sa profondeur



Barre en traction

- Clous 6/80 pré-percé

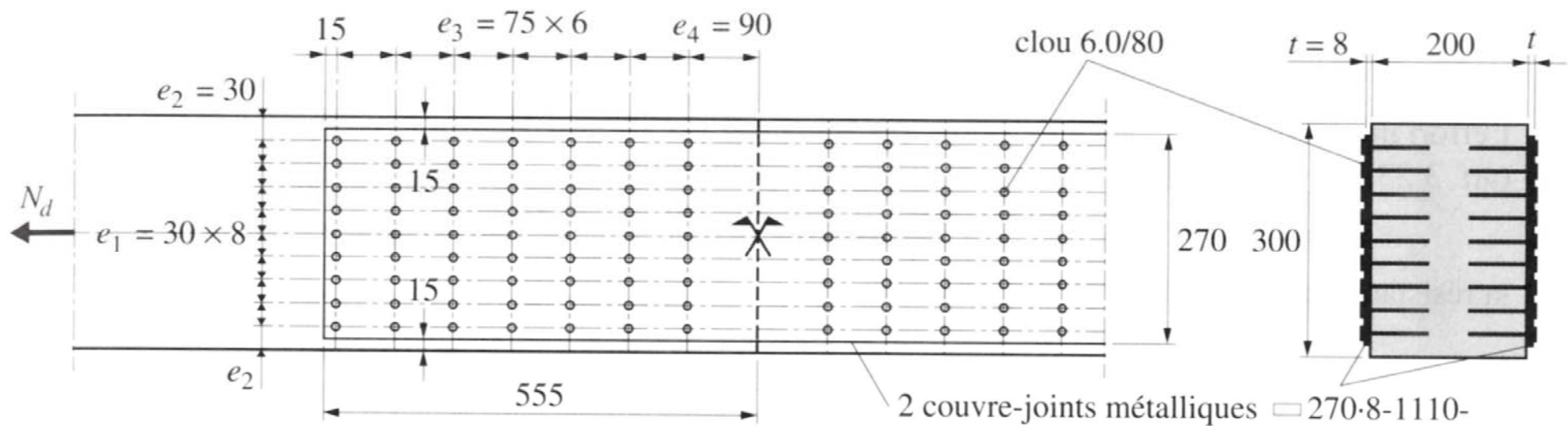


Fig. 5.89 Géométrie de l'assemblage cloué avec double couvre-joint métallique.

Barre en traction

■ Goujons annulaires

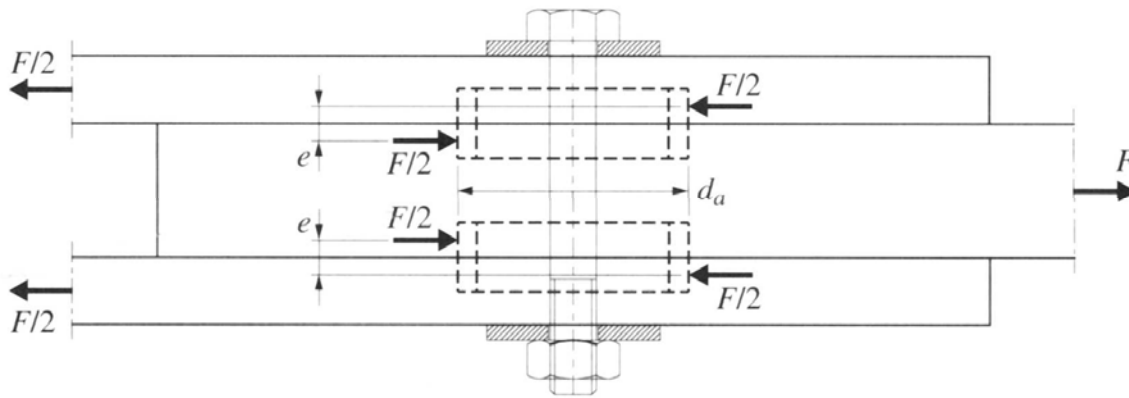
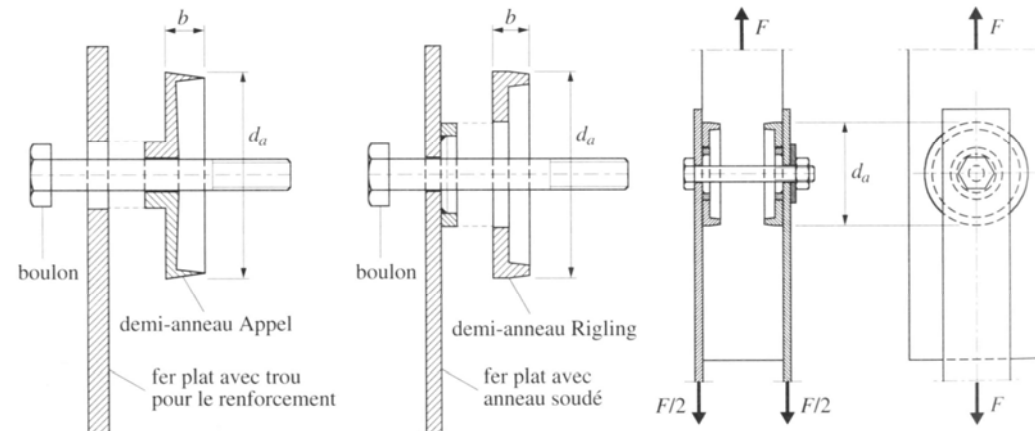


Abb. zu 86.857.01-09



Barre en traction

- Goujons annulaires

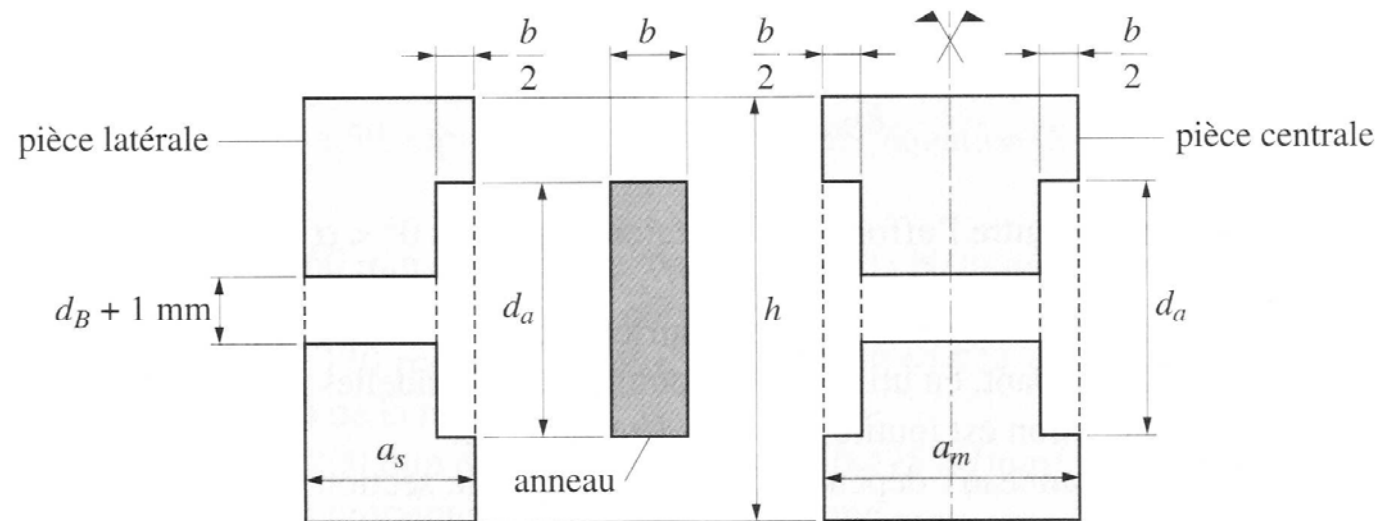


Fig. 5.61 Sections nettes résultantes dans les membrures pour un assemblage réalisé au moyen d'anneaux.

Barre en traction

■ Crampons

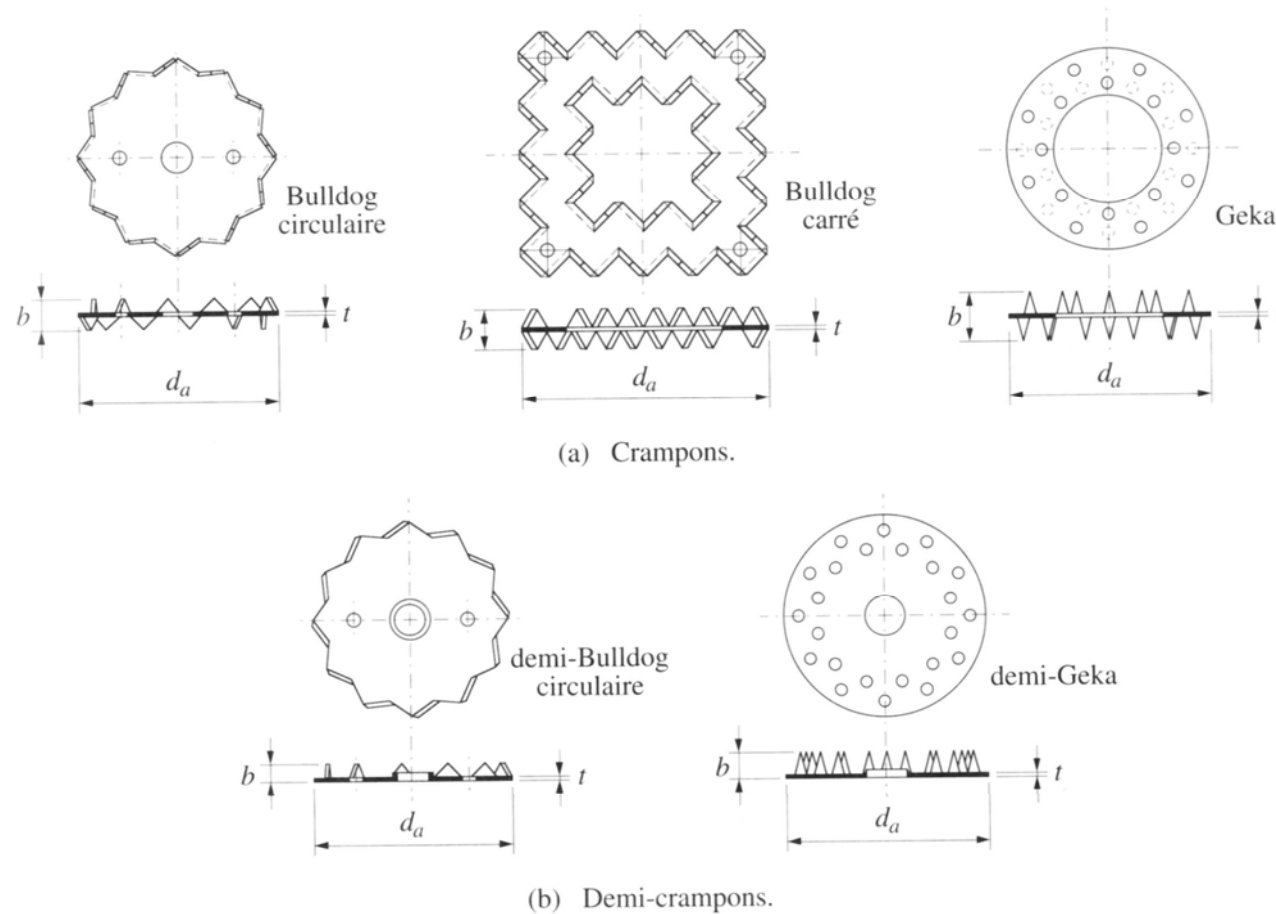


Fig. 5.62 Principaux connecteurs de surface de type crampons à presser.

Barre en traction

- Crampons

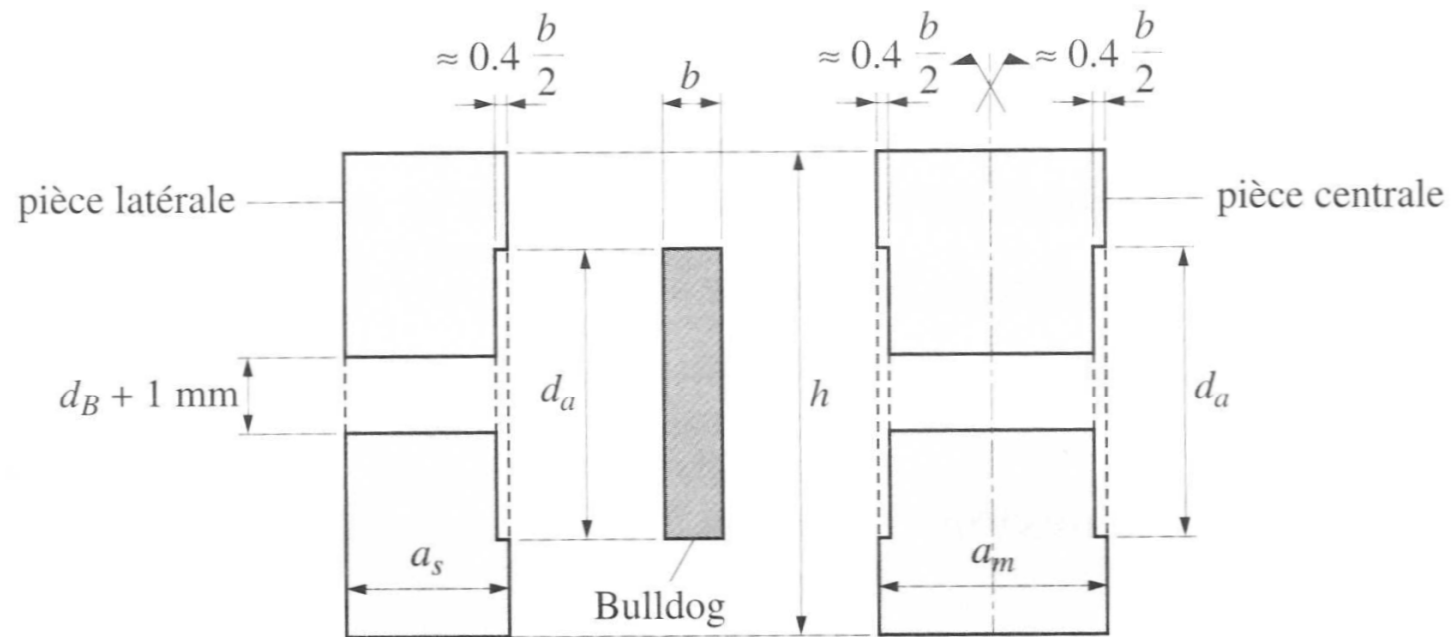


Fig. 5.65 Section nette résultante pour un assemblage par Bulldog.

Barre en traction

- Assemblage par broche

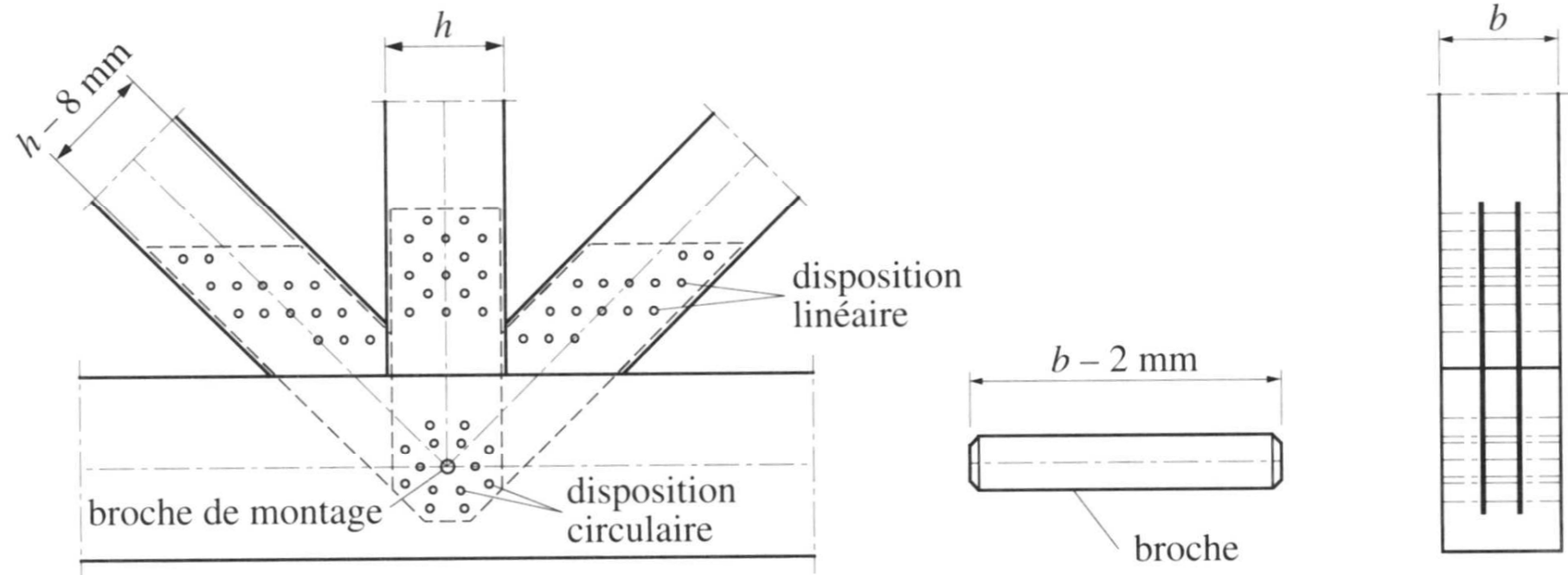


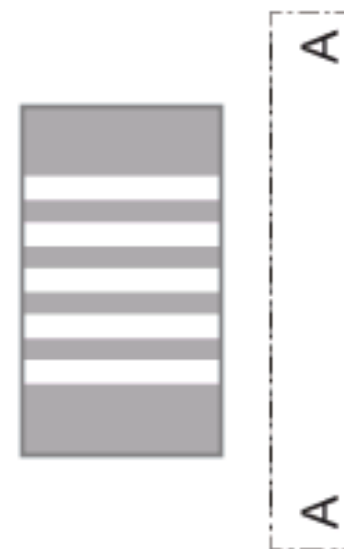
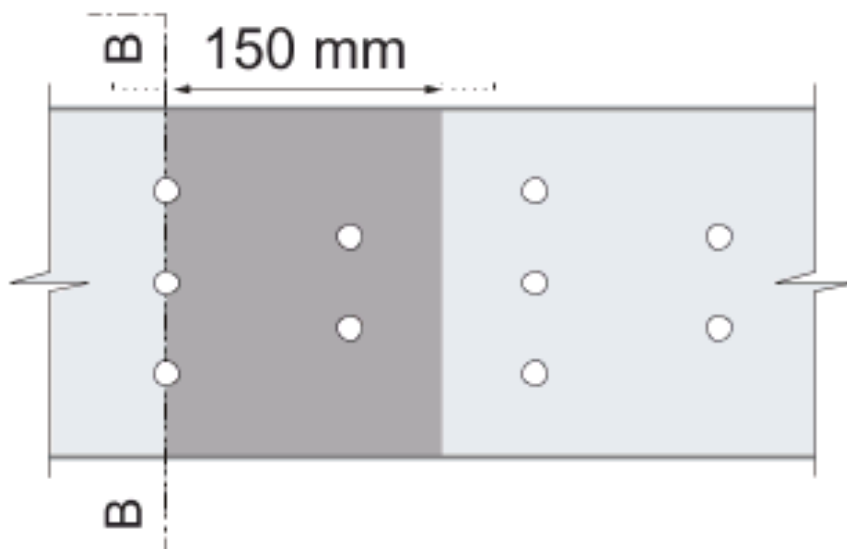
Fig. 5.67 Assemblage d'une poutre triangulée avec le système BSB.

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

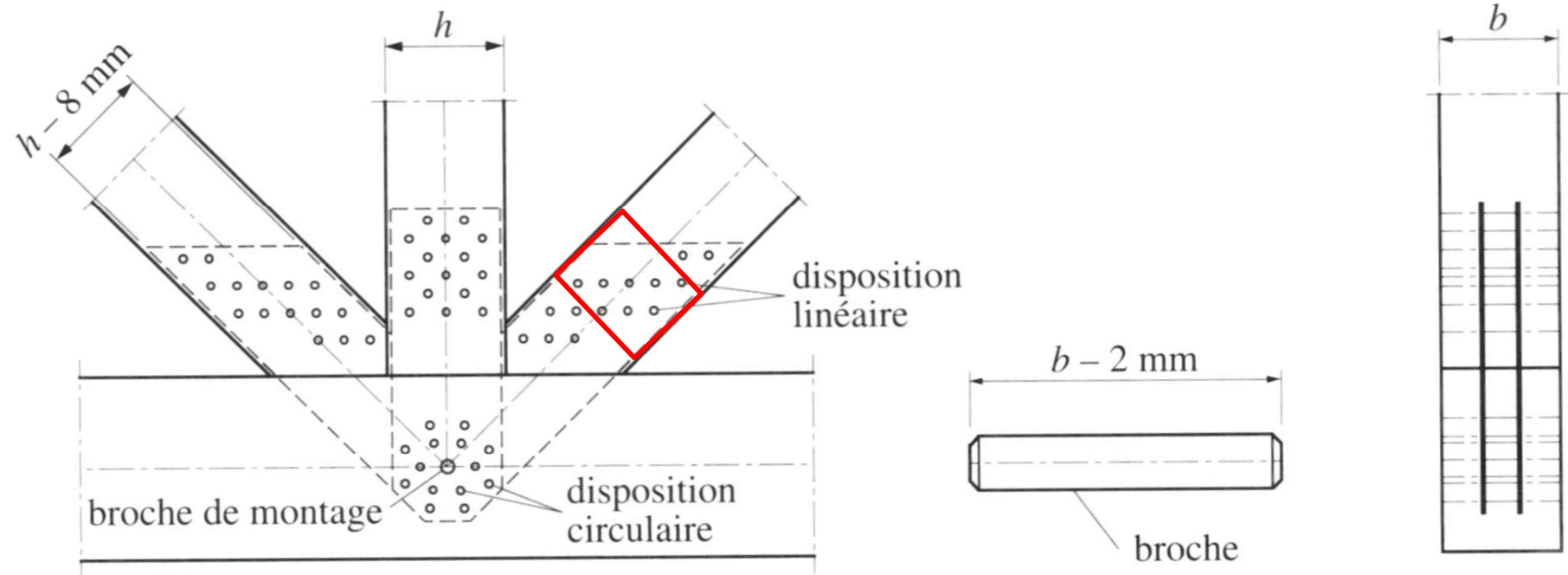


Fig. 5.67 Assemblage d'une poutre triangulée avec le système BSB.

Barre en traction

- Assemblage par broche

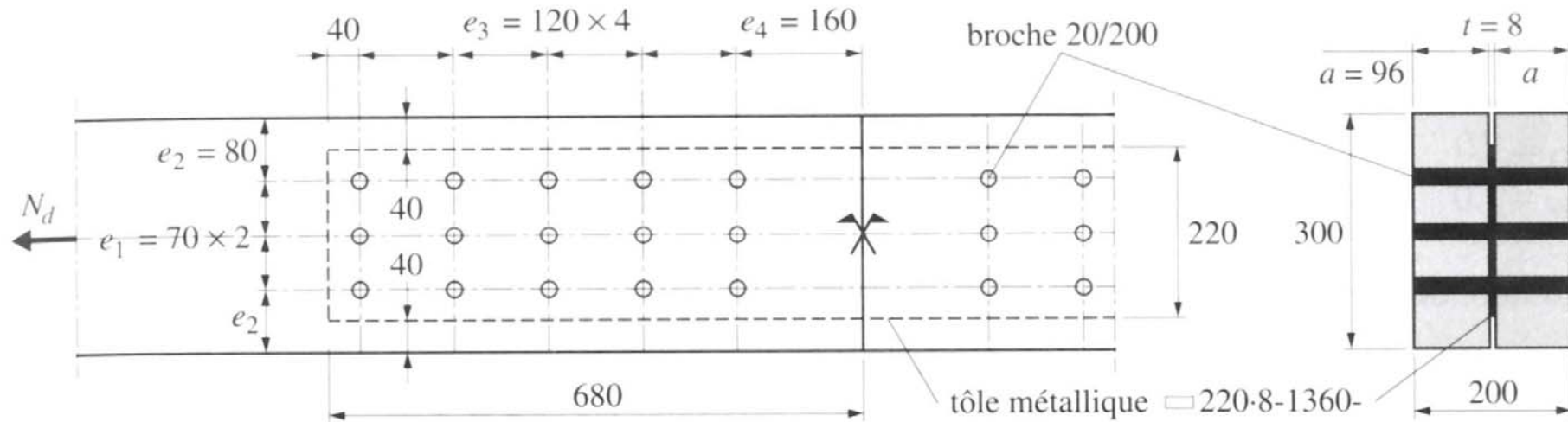
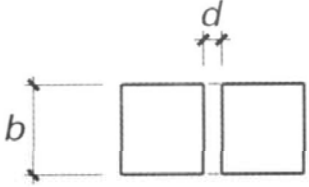


Fig. 5.90 Géométrie de l'assemblage avec broches et une seule tôle entaillée.

Barre en traction

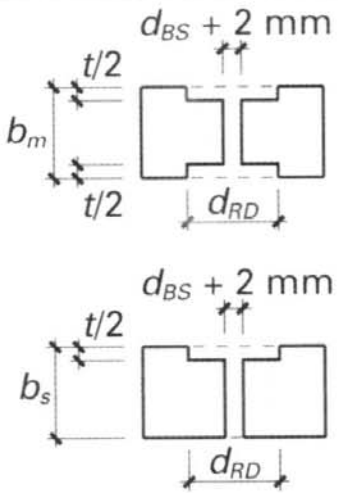
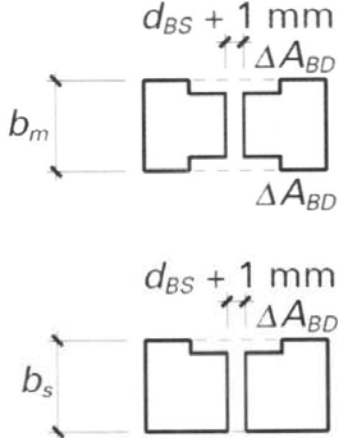
- Réduction des section a prendre en compte

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

Moyens d'assemblage	∅	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

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

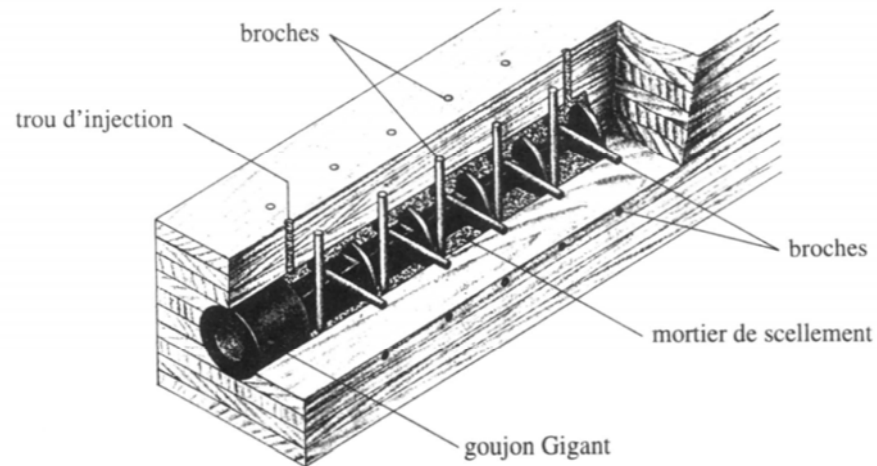
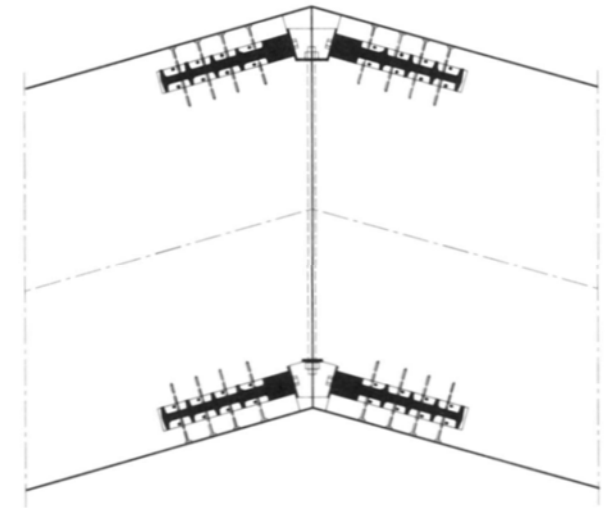


Fig. 5.72 Goujon profilé scellé Gigant, pour les assemblages en traction de grandes structures.



angle de cadre rigide



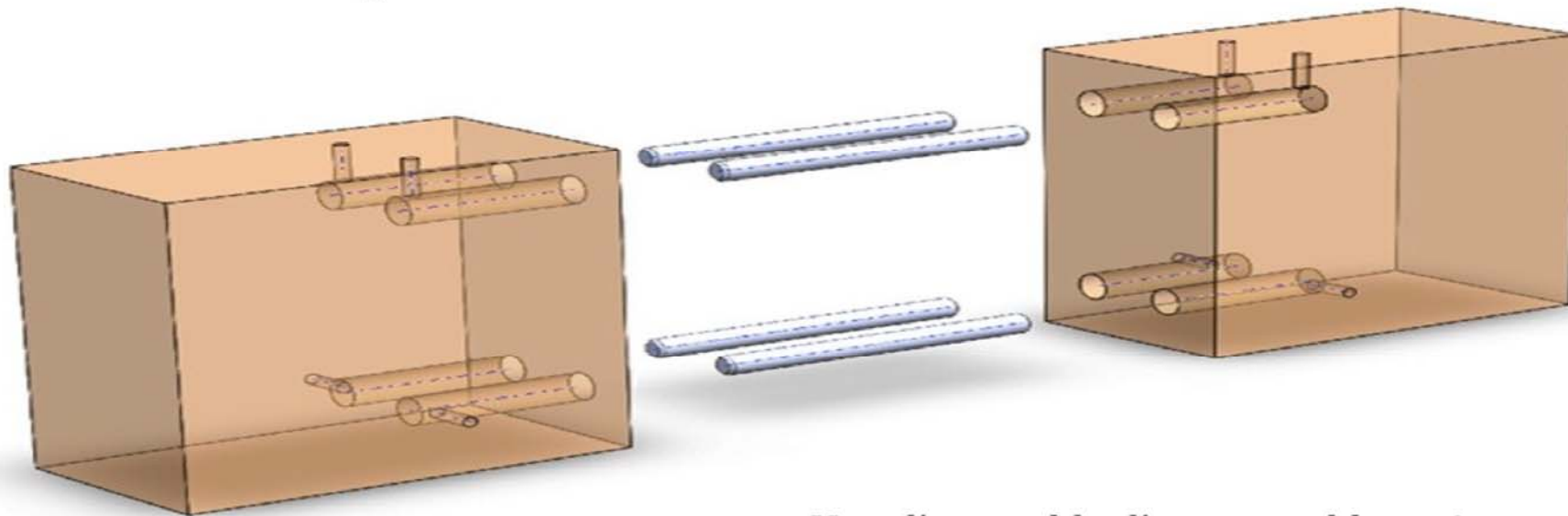
<http://www.bertsche-office.de/uk/>

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.

- Petite exercice pratique

La charge critique

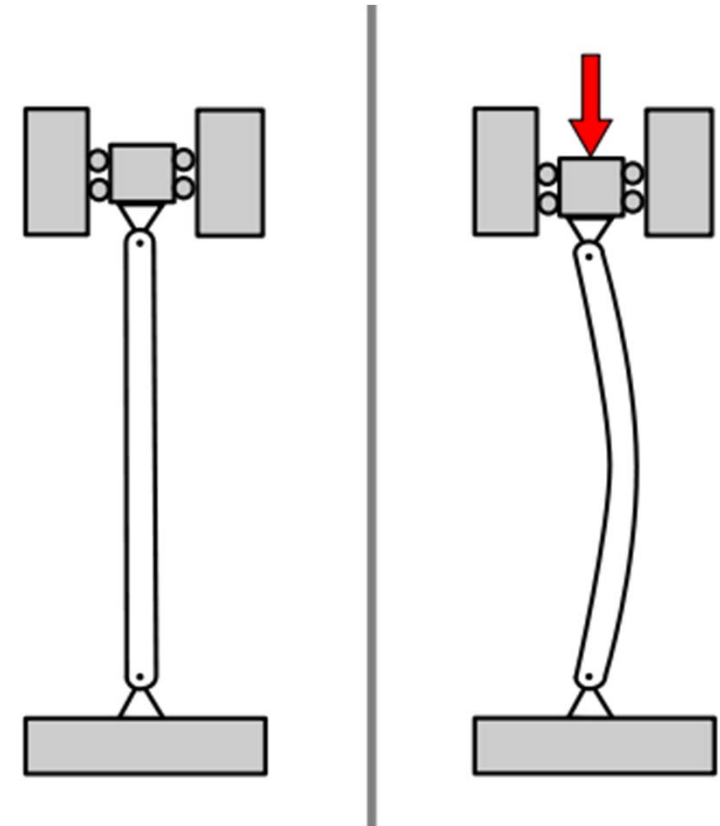
- Leonhard Euler (1707 à 1783)



www.wikipedia.org

La charge critique de Euler

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



La valeur ω ou k_c

- Norme SIA 265

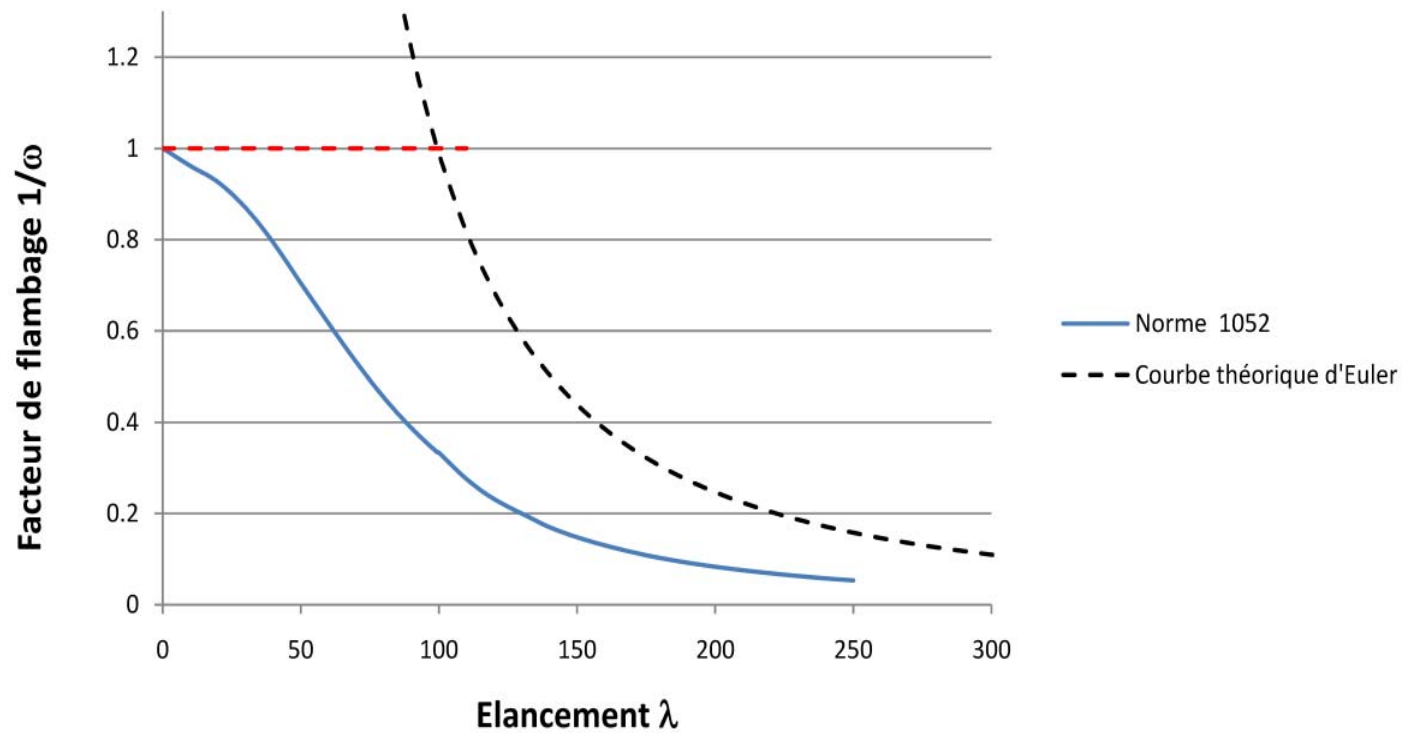
$$\sigma_d = \frac{F_d}{A} < k_c \sigma_{c,0,d}$$

- 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



La barre en compression

- La démarche pour calculer k_c selon SIA 265

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

- 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'élanement

$$\lambda = \frac{l_{eff}}{i}$$

- L'élanement relatif

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

La barre en compression

■ Fractile 5% (Annexe B SIA 265)

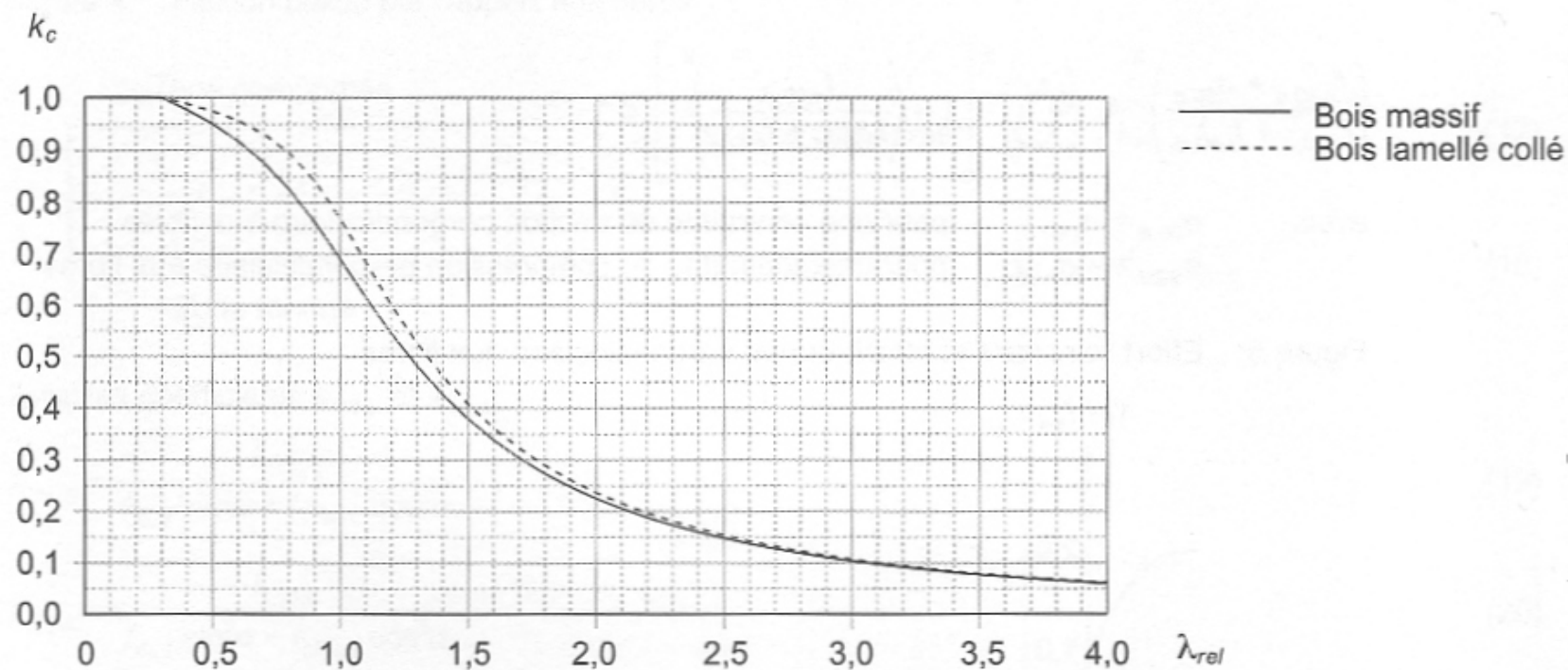
Tableau 43: Valeurs caractéristiques de la résistance à la compression et valeurs du fractile 5% du module élastique parallèles au fil pour le bois massif (valeurs arrondies)

Classes de résistance	Résineux			Hêtre Chêne		
	C16	C24	C30	D30		
Valeurs caractéristiques / Valeurs du fractile 5% ¹⁾						
– Résistance à la compression parallèle au fil	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	17	21	23	23
– Module d'élasticité parallèle au fil (fractile 5%)	$E_{0,05}$	N/mm ²	5300	7300	8000	8300
¹⁾ Les valeurs se réfèrent à une teneur en eau du bois de 12%.						

Classes de résistance	BLC normal				BLC haute qualité ²⁾					
	GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL32k	GL32h	GL36k	GL36h		
Valeurs caractéristiques / valeurs du fractile 5% ¹⁾										
– Résistance à la compression parallèle au fil	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	21	24	24	26,5	26,5	29	29	31
– Module d'élasticité parallèle au fil (fractile 5%)	$E_{0,05}$	N/mm ²	9 400	9 400	10 200	10 200	11 100	11 100	11 900	11 900
¹⁾ Les valeurs se réfèrent à une teneur en eau de 12%.										
²⁾ Il faut s'assurer de la disponibilité de ces classes (basées sur un tri mécanique des lamelles).										

La barre en compression

- Valeur k_c dans la pratique



– bois massif

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{18 \pi}$$

– bois lamellé collé

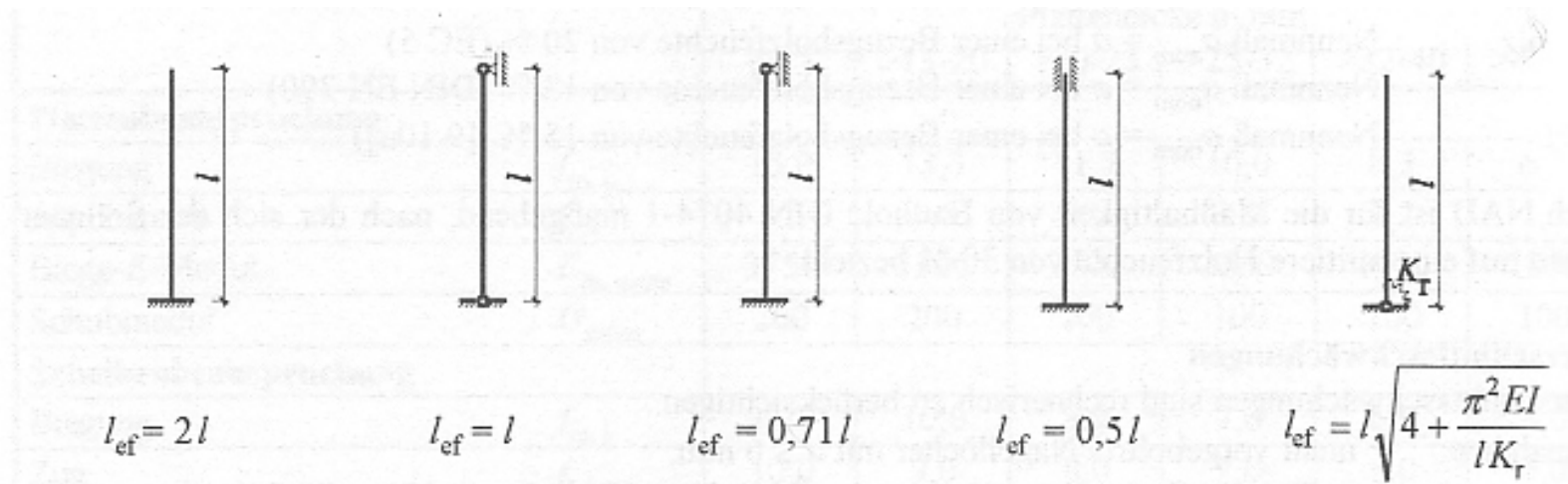
$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{20 \pi}$$

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 :



Longueurs de flambages

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

Biegemoment

ζ	f_3	f_7	f_{11}	↷			Schrägst.	Σ
				↷	↷	↷		
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	+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

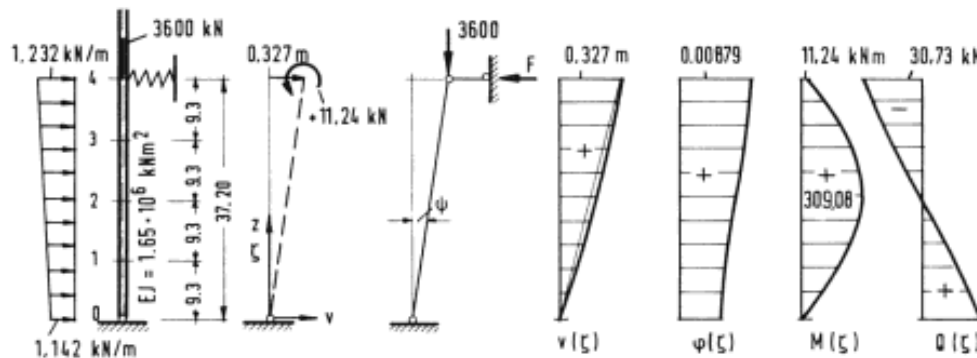


Bild IV.4

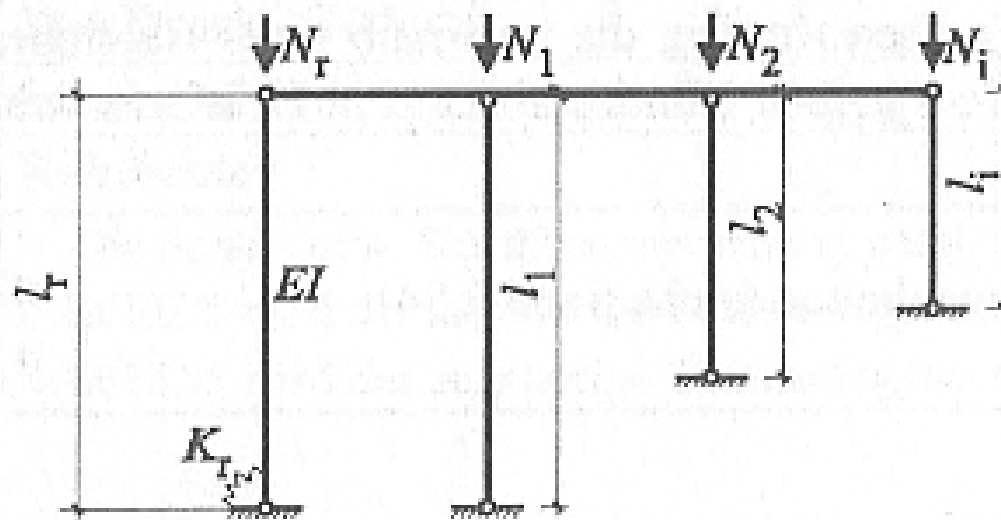
In B.IV.4 (oben) sind die einzelnen Anteile ausgewiesen und aufsummiert. Die Graphen der Größen v, φ, M und Q sind im unteren Bildteil dargestellt.



1'000 pages

Longueurs de flambages

- Série de poteaux avec appui élastique

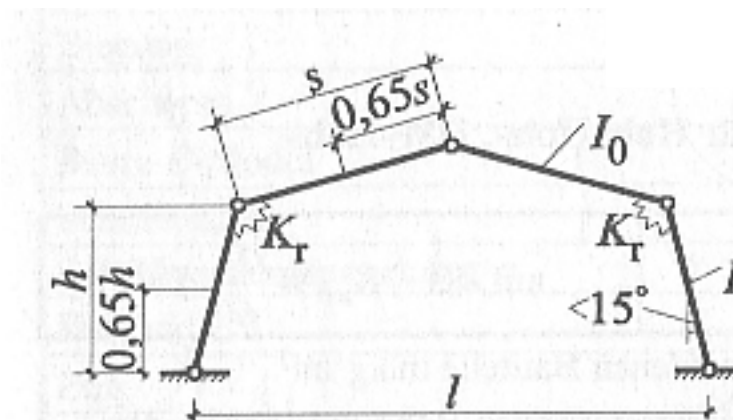


$$\alpha = \frac{l_r}{N_r} \sum \frac{N_i}{l_i}$$

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

Longueur de flambage

- Portique à deux ou trois articulation



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

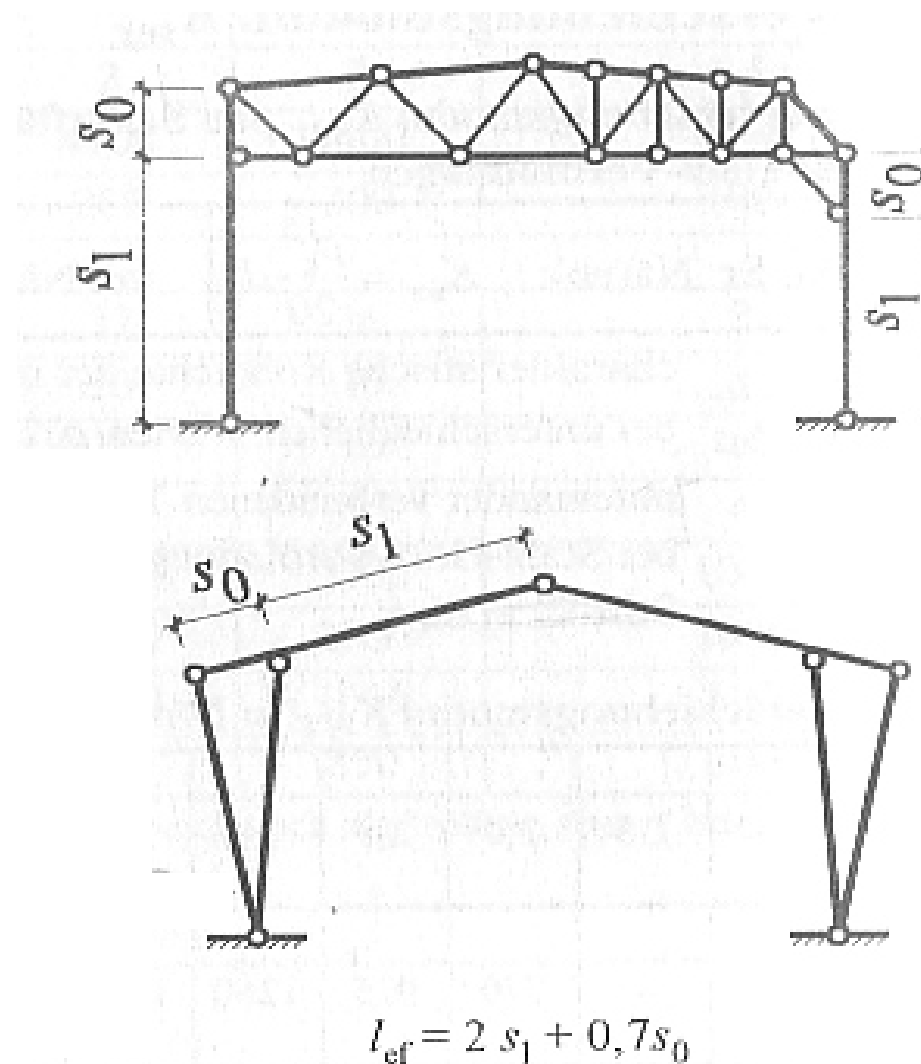
Arbalétrier :
$$l_{ef} = h \sqrt{4 + 3,2 \frac{I s}{I_0 h} + 10 \frac{EI}{h K_T} \sqrt{\frac{I_0 N}{I N_0}}}$$

N = effort normal du poteau

N_0 = effort normal de l'arbalétrier

Longueur de flambage

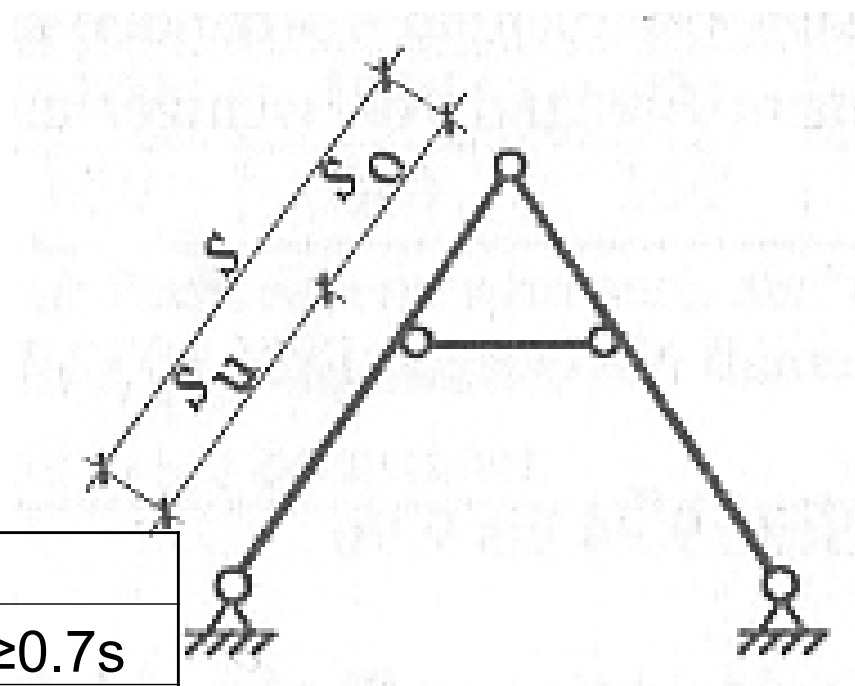
- Portique en treillis et poteaux en V



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 :		
$l_{ef} = s_u \text{ ou } s_o$		

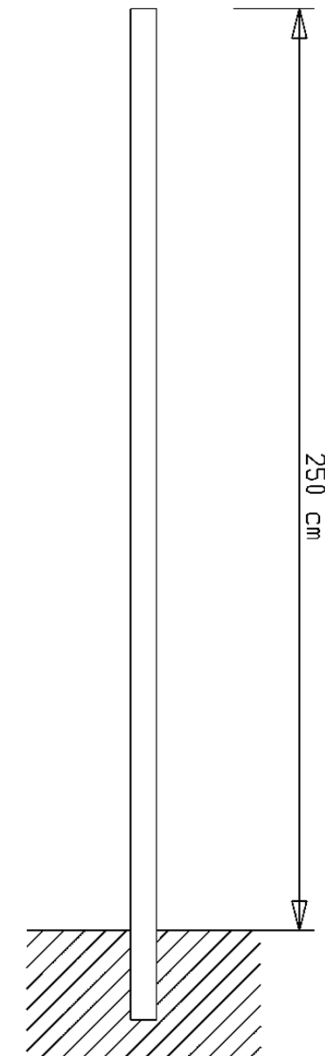
Barre en compression

■ Exemple

Poteau encastré section 70/70
hauteur 2.5m
Bois C24

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

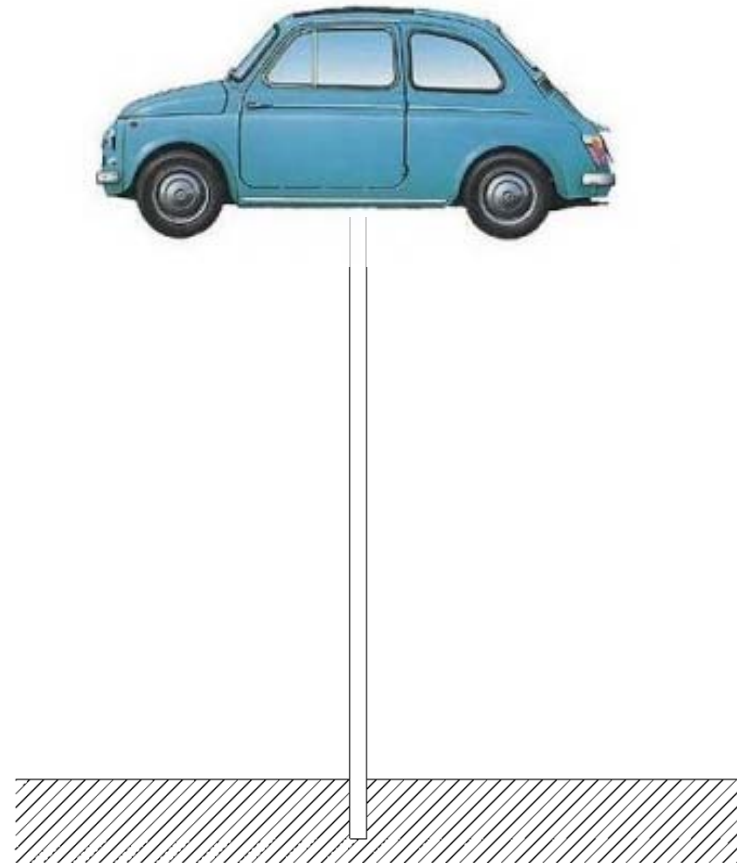


Compression avec stabilité :

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		

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 :
 - Élément de construction 150
 - Élément de construction composé 170
 - Élément de stabilisation avec inversion des efforts 200

- !!! Attention ce n'est pas contenu dans la norme !!!

Compression avec stabilité

 λ

geometrische Schlankheit = Knicklänge l_k /Trägheitsradius i .

Für Druckstäbe sollte die geometrische Schlankheit λ in der Regel folgende Werte nicht übersteigen:

- $\lambda \leq 200$ für Verbände und Sekundärelemente
- $\lambda \leq 150$ für Haupttragelemente

■ !!! Mais le sera dans la version SIA 265 – 202x !!!

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

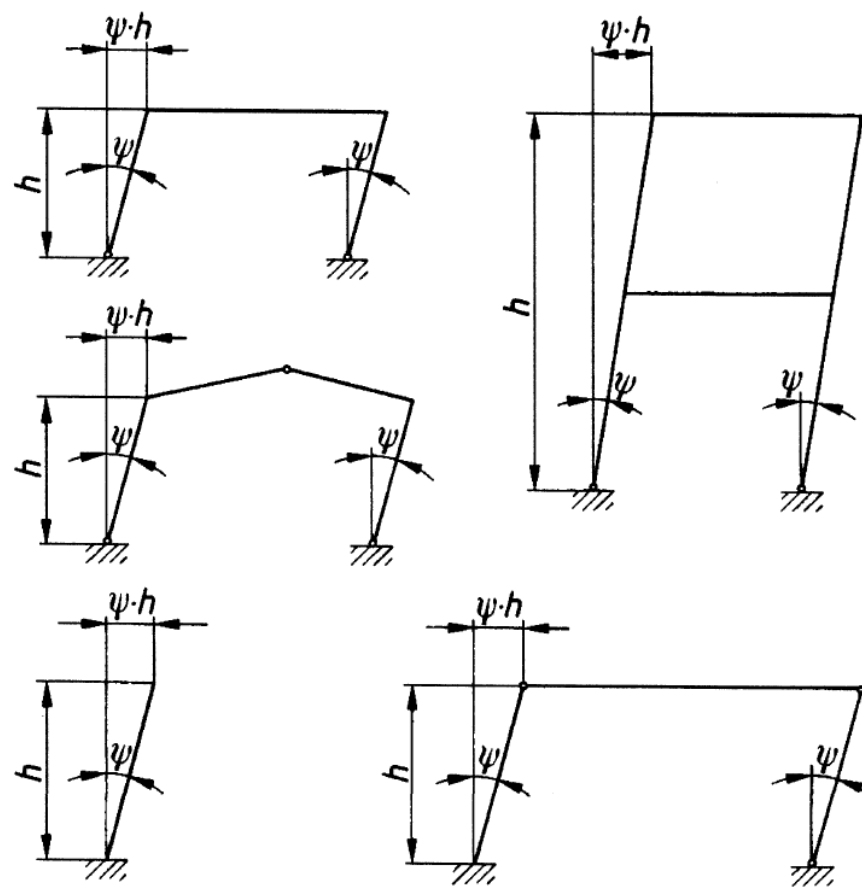
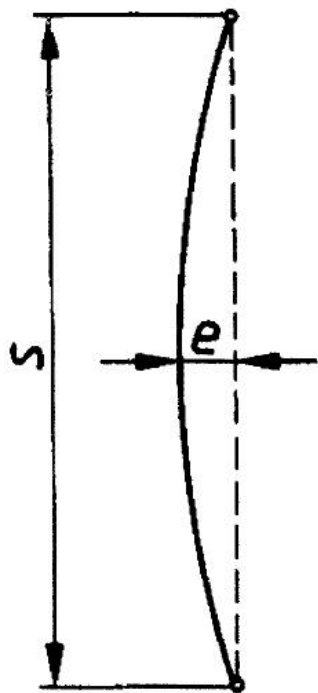
$$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

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

$$\gamma_1 = 2.0$$

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

Théorie du second ordre

- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

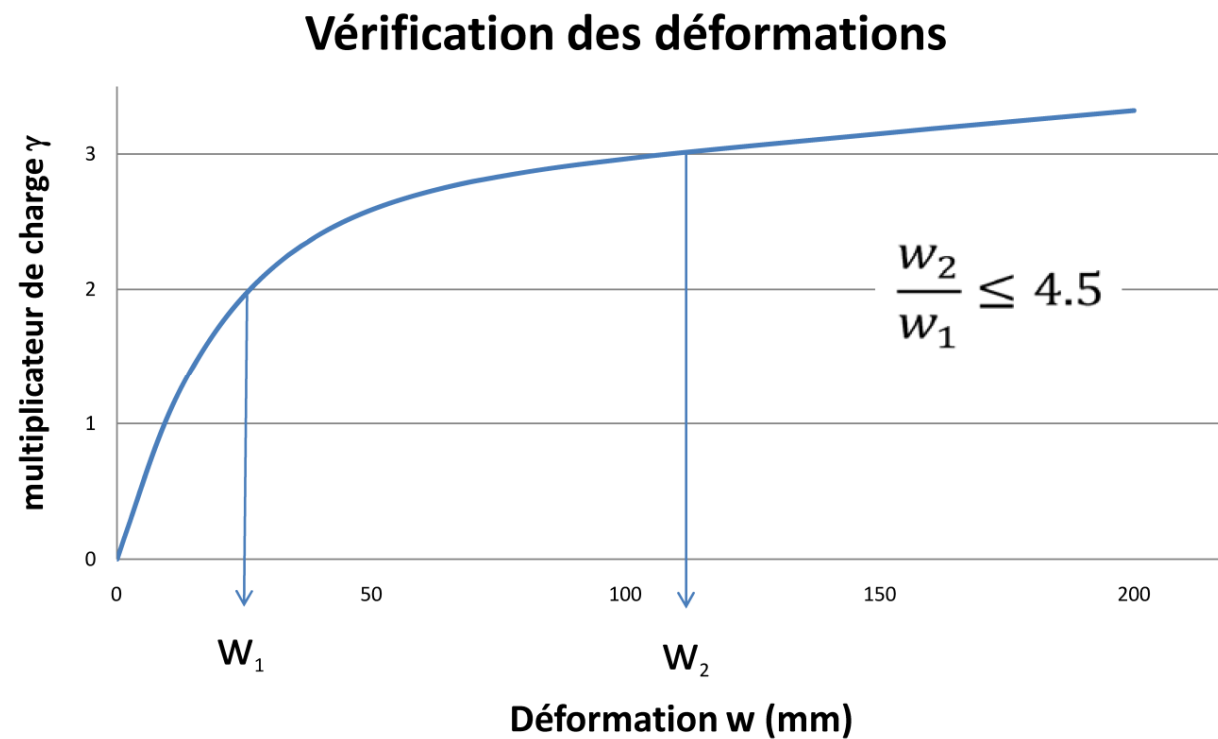
Vérification des déformations

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

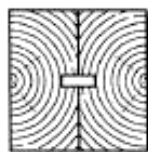
- DIN 1052-1, 9.6 (1996)

Vérification du déformations

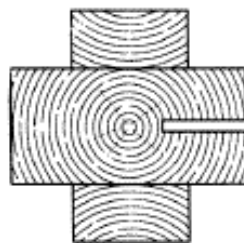


Composition d'un élément

En bois massif



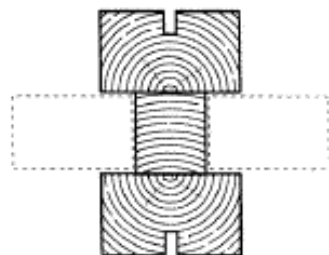
à partir de madriers à cœur refendu,
avec gorge de décharge à l'intérieur



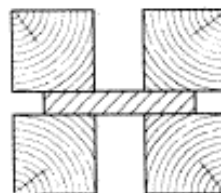
section en croix à partir de trois madriers



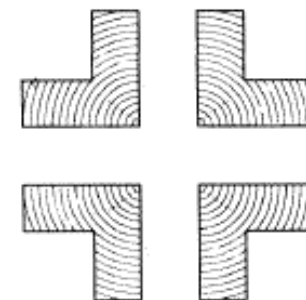
sections en croix à partir de profils à
cœur refendu et gorge de décharge



profil en I à partir de madriers

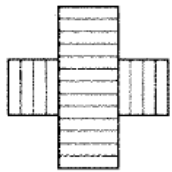


section rectangulaire composée d'un
bastaing et de quatre madriers

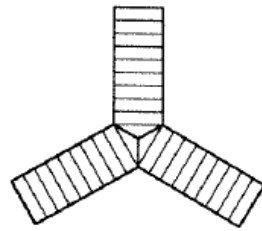


sections en L

Composition d'un élément En bois lamellé collé



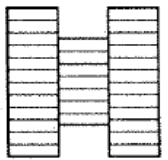
à éléments croisés



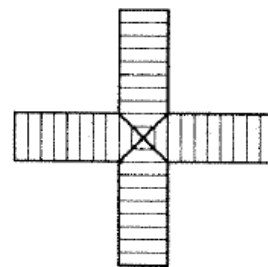
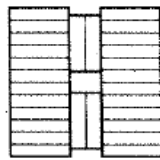
poteau triangulaire non massif



sections en T



profils en I



poteau en croix

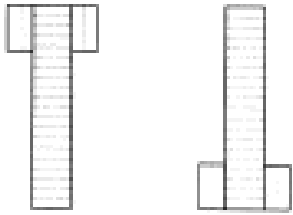


section en U retourné, section à caisson

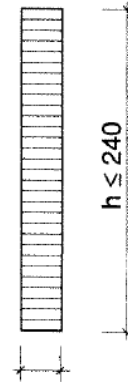
Corrigé de l'exercice

Corrigé de l'exercice de la poutre

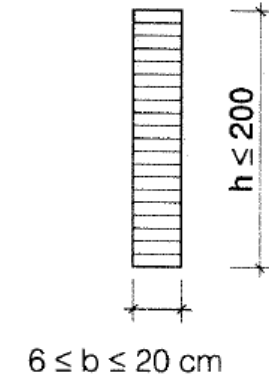
Section des lamellé collé



sections en T



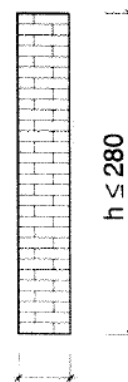
$$20 \leq b \leq 22 \text{ cm}$$



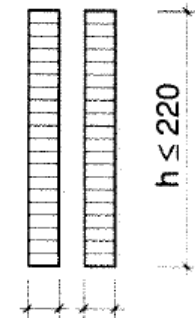
$$6 \leq b \leq 20 \text{ cm}$$



section en U retourné, section à caisson



$$22 \leq b \leq 28 \text{ cm}$$



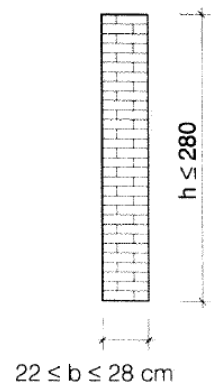
$$b \leq 20 \text{ cm}$$

Corrigé de l'exercice de la poutre

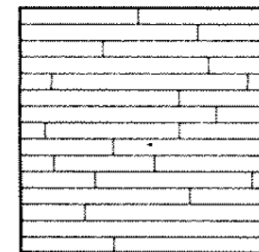
Halle industrielle

Salle de gymnastique

pont



section en U retourné, section à caisson

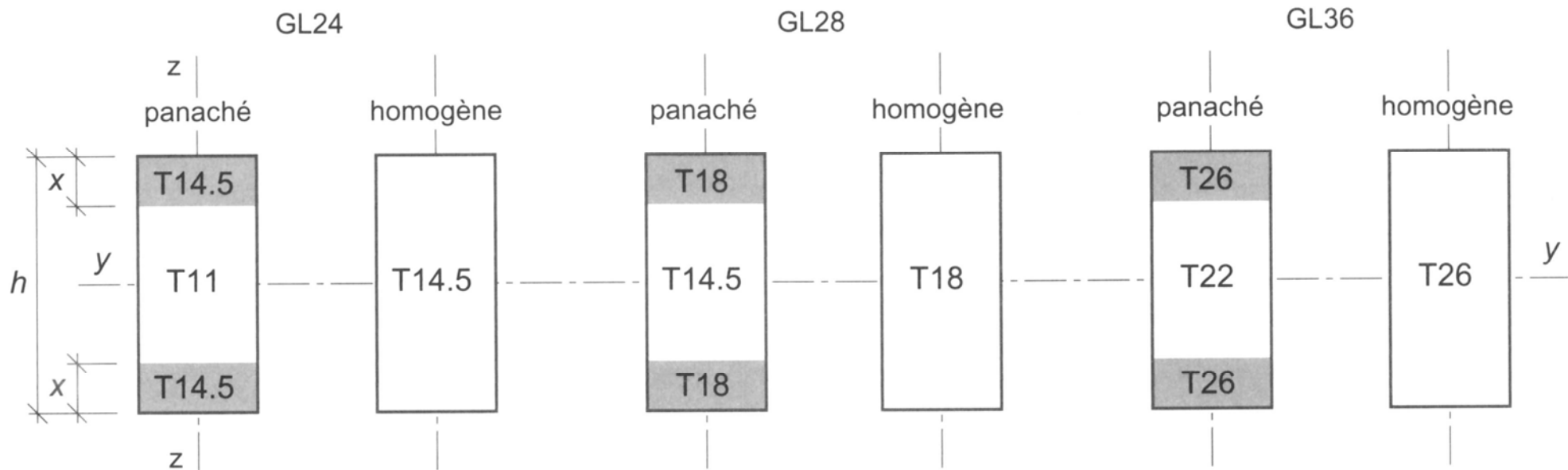


carrée

Le bois lamellé collé

■ Homogène / panaché

Figure 14: Composition de la section de bois lamellé collé (SN EN 1194)



$x \geq \frac{h}{6}$, au minimum 2 lames

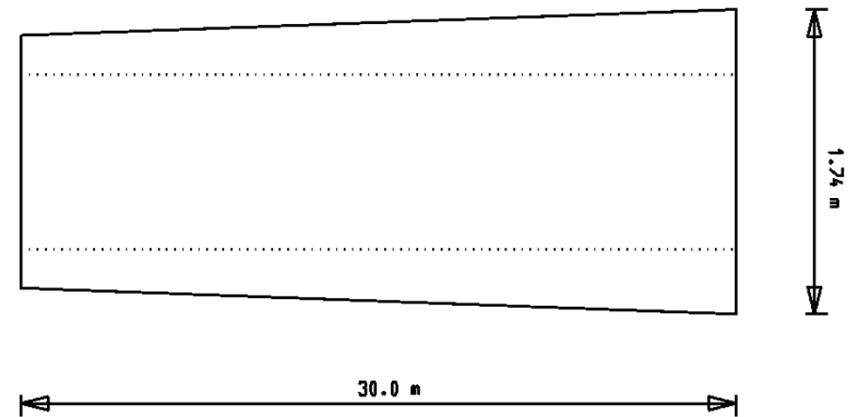
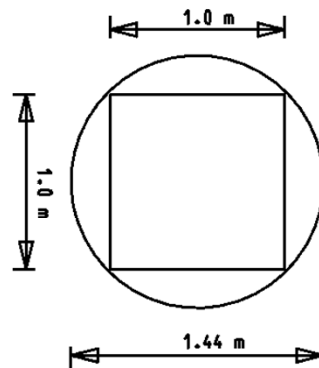
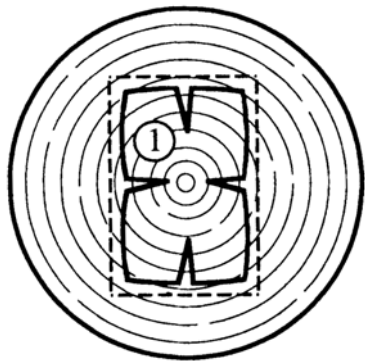
T11: désignation des lames par:

T = traction

11 = valeur caractéristique de la résistance à la traction, en N/mm².

Corrigé de l'exercice de la poutre

Utilisation du bois massif

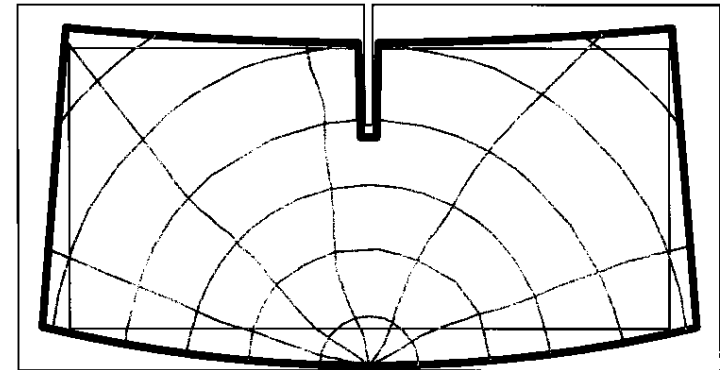


Corrigé de l'exercice de la poutre

Exemple de réalisation en bois massif



Section de 20/40 hors cœur
Longueur 12.0 m



Corrigé de l'exercice de la poutre

Toiture de Hannovre



Diamètre 72 - 95 cm
Longueur 19.0 m



Exercice du jour section nette

- Système Blummer BSB

