

Cours de construction en bois

Bachelor

La poutre

ELS, déversement, détail

EPFL

ELS

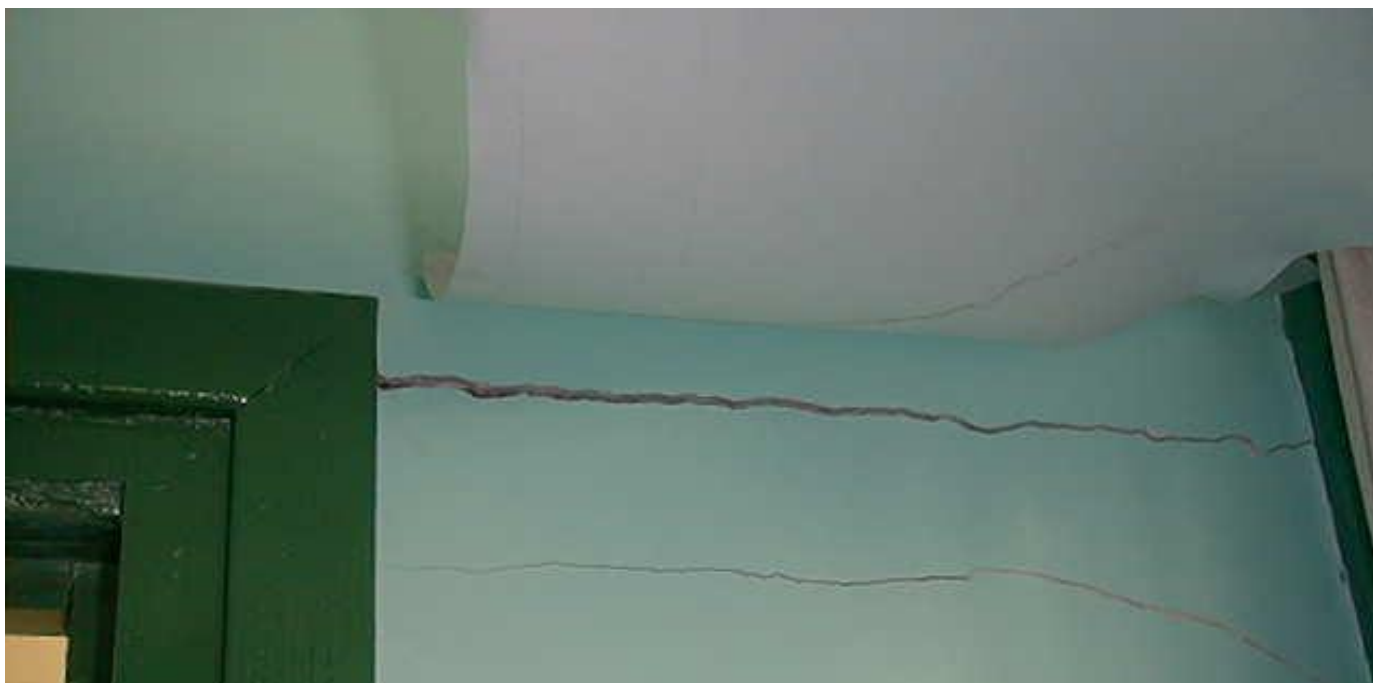
Etat limite de service

ELS

- C'est :
 - Etat limite de service
 - Aptitude au service
 - Vérification des déformations
 - Limitation des déformations
 - Des fissurations...

L'état limite de service ELS

- 80% des expertises – 80% des problèmes
- Surtout la fissuration



Etat limite de service ELS

- Limiter l'impact visuel



L'état limite de service ELS

- Limiter les déformations courte durée



Situation

- Une pièce à vivre

- Poids propre:

- de la structure
- des couches architecturales

poutre, dalle
isolation, chape, faux plafond, cloison

- Charge utile

- Variable – courte durée
- Quasi – permanente

personnes
mobilier, divan, aquarium



Source: IKEA.com

Situation

- SIA 261
 - Cat A locaux dans les immeubles $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$

Tableau 8: Catégories des surfaces utiles et valeurs caractéristiques des charges utiles

Catégorie	Genre de surface utile	Exemple	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
A	Surfaces d'habitation	A1: Locaux dans les immeubles, les maisons d'habitation, les services des hôpitaux, les chambres d'hôtel, les cuisines et les toilettes	2	2 ¹⁾
		A2: Balcons	3	2 ¹⁾
		A3: Escaliers	4	2 ¹⁾

Aptitude au service

■ TABLEAU DE TCB p. 13

Vue d'ensemble des combinaisons de cas de charge et valeurs limites des flèches de poutres et de planchers pour différents états-limites selon la norme SIA 260		
Etat-limite	Cas de charge déterminant ¹⁾	Valeur indicative de la flèche
Aptitude au fonctionnement pour structures porteuses avec éléments incorporés sensibles aux déformations. Conséquences irréversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge rare.	$Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{500}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage) – après montage des principaux éléments non porteurs – des mesures constructives sont aussi à prévoir
Aptitude au fonctionnement pour structures porteuses avec éléments incorporés peu sensibles aux déformations. Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge fréquent.	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{350}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage) – après montage des principaux éléments non porteurs
Confort/apptitude au fonctionnement Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues aux actions variables d'un cas de charge fréquent.	$Q_{Ed} = \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{350}$
Aspect Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge quasi permanent.	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{300}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage)

Aptitude au service

■ TABLEAU DE TCB p. 13

Vue d'ensemble des combinaisons de cas de charge et valeurs limites des flèches de poutres et de planchers pour différents états-limites selon la norme SIA 260		
Etat-limite	Cas de charge déterminant ¹⁾	Valeur indicative de la flèche
Aptitude au fonctionnement pour structures porteuses avec éléments incorporés sensibles aux déformations. Conséquences irréversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge rare.	$Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{500}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage) – après montage des principaux éléments non porteurs – des mesures constructives sont aussi à prévoir
Aptitude au fonctionnement pour structures porteuses avec éléments incorporés peu sensibles aux déformations. Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge fréquent.	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{350}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage) – après montage des principaux éléments non porteurs
Confort/apptitude au fonctionnement Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues aux actions variables d'un cas de charge fréquent.	$Q_{Ed} = \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{350}$ – Effet à long terme compris (fluage)
Aspect Conséquences réversibles de l'effet d'une action dues à un cas de charge quasi permanent.	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{300}$ – après déduction de la contreflèche – effet à long terme compris (fluage)

Aptitude au service

■ SIA 260 Annexe A tableau 3

Tableau 3: Valeurs indicatives des flèches des planchers et des poutres

État-limite	Conséquences des effets des actions		
	irréversibles	réversibles	réversibles
	Cas de charge		
	rare (20)	fréquent (21)	quasi permanent (22)
Aptitude au fonctionnement – Éléments incorporés à caractère fragile – Éléments incorporés à caractère ductile – Utilisation et exploitation	$w \leq l/500$ ^{1) 2)}	$w \leq l/350$ ¹⁾ $w \leq l/350$ ³⁾	
Confort		$w \leq l/350$ ³⁾	
Aspect			$w \leq l/300$ ⁴⁾
¹⁾ Flèche due aux actions, en particulier aux actions à long terme, après le montage de tous les éléments de construction secondaires et la mise en place de l'équipement technique. ²⁾ Si des éléments incorporés réagissent de manière particulièrement sensible aux déformations de la structure porteuse, il faut avant tout prévoir des mesures constructives contre les dommages, en plus ou à la place des mesures découlant de la procédure de dimensionnement. ³⁾ Flèche due uniquement aux actions variables. ⁴⁾ Flèche, après déduction d'une éventuelle contreflèche. Les éventuels effets à long terme doivent être pris en considération.			
Les flèches seront déterminées selon les indications des normes SIA 262 à 266. Des valeurs limites différentes pour les flèches peuvent être convenues en accord avec les exigences d'utilisation. Elles seront consignées dans la base du projet. Des exigences réduites sont envisageables spécialement pour les éléments de construction secondaires.			

Aptitude au service

3) Flèche due uniquement aux actions variables.

Tableau 3: Valeurs indicatives des flèches des planchers et des poutres

État-limite	Conséquences des effets des actions		
	irréversibles	réversibles	réversibles
	Cas de charge		
	rare (20)	fréquent (21)	quasi permanent (22)
Aptitude au fonctionnement			
– Éléments incorporés à caractère fragile	$w \leq l/500$ ^{1) 2)}	$w \leq l/350$ ¹⁾	
– Éléments incorporés à caractère ductile		$w \leq l/350$ ³⁾	
– Utilisation et exploitation			
Confort		$w \leq l/350$ ³⁾	
Aspect			$w \leq l/300$ ⁴⁾
1) Flèche due aux actions, en particulier aux actions à long terme, après le montage de tous les éléments de construction secondaires et la mise en place de l'équipement technique. 2) Si des éléments incorporés réagissent de manière particulièrement sensible aux déformations de la structure porteuse, il faut avant tout prévoir des mesures constructives contre les dommages, en plus ou à la place des mesures découlant de la procédure de dimensionnement. 3) Flèche due uniquement aux actions variables. 4) Flèche, après deduction d'une éventuelle contreflèche. Les éventuels effets à long terme doivent être pris en considération.			
Les flèches seront déterminées selon les indications des normes SIA 262 à 266. Des valeurs limites différentes pour les flèches peuvent être convenues en accord avec les exigences d'utilisation. Elles seront consignées dans la base du projet. Des exigences réduites sont envisageables spécialement pour les éléments de construction secondaires.			

Situation

■ SIA 260 Annexe A Tableau 2

Tableau 2: Coefficients de réduction pour les bâtiments

Actions	ψ_0 (rares)	ψ_1 (fréquentes)	ψ_2 (quasi permanentes)
Charges utiles dans les bâtiments – Catégorie A Locaux habitables	0,7	0,5	0,3

■ La charge utile de 2 kN/m²

70% de la charge **concomitante** est rare = 1.4 kN/m²

50% de la charge est fréquente = 1.0 kN/m²

30% de la charge est quasi permanente = 0.6 kN/m²

= > donc 0,4 kN/m² sont variable de courte durée

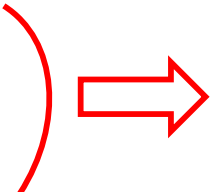
Situation

- Limitation des déformations
 1. Aptitude au fonctionnement - cloisons fragile
 2. Aptitude au fonctionnement - cloisons ductile
 3. Aptitude au fonctionnement - utilisation exploitation
Confort
 4. Aspect

- 4 cas => tous sont à vérifier en fonction de la situation

Situation

- Limitation des déformations

1. Aptitude au fonctionnement - cloisons fragile
 2. Aptitude au fonctionnement - cloisons ductile
 3. Aptitude au fonctionnement - utilisation exploitation
Confort
 4. Aspect
- 
- Soit l'un
soit l'autre

- 4 cas => tous sont à vérifier
en fonction de la situation !?!
mais jamais 1 et 2 ensemble

Aptitude au service

- Aptitude au fonctionnement – cloison fragile
 - Baie vitrée
 - Cloison en alba
 - Porte coulissante
 - ...
 - Tout élément dont son fonctionnement, son esthétique pourrai être affecté par la déformation

ELS

- Cas rare

Cloison alba



Baie vitrée



Porte de hangar



ATTENTION : ce n'est pas parce que vous avez respecté ces limites que vous n'aurez pas de problème!!!

Situation

Déduction contreflèche

1. Aptitude au fonctionnement – cloison fragile

Flèche longue durée et variable (rare)

Poids propre de la structure

$g = 2.5 \text{ kN/m}^2$ avec fluage

Les charges utile **100%**

$q = 2.0 \text{ kN/m}^2$

$q = 0.6 \text{ kN/m}^2$ avec fluage

$$\psi_1 = 0.5 ; \psi_2 = 0.3$$

$q = 2.0 - 0.6 = 1.4 \text{ kN/m}^2$ sans fluage

$$q_{ED} = 2.5 \times 1.6 + 0.6 \times 1.6 + 1.4 = 6.4 \text{ kN/m}^2$$

- La limite de déformation $w_{\text{tot}} < l/500$
- Prendre des mesures constructive contre les dommages

$$Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Situation

Déduction contreflèche

2. Aptitude au fonctionnement – cloison ductile

Flèche longue durée et variable (fréquent)

Poids propre de la structure

$g = 2.5 \text{ kN/m}^2$ avec fluage

Les charges utiles (fréquentes) 50%

$q = 1.0 \text{ kN/m}^2$

$q = 0.6 \text{ kN/m}^2$ avec fluage

$\psi_1 = 0.5 ; \psi_2 = 0.3$

$q = 1.0 - 0.6 = 0.4 \text{ kN/m}^2$ sans fluage

$$q_{ED} = 2.5 \times 1.6 + 0.6 \times 1.6 + 0.4 = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

- La limite de déformation $w_{\text{tot}} < l/350$

$$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Situation

3. Aptitude au fonctionnement – utilisation exploitation - confort

Flèche due uniquement aux actions variable (fréquent)

50% de charge utile

$$q = 1.0 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0.6 \text{ kN/m}^2 \text{ avec fluage}$$

$$\psi_1 = 0.5 ; \psi_2 = 0.3$$

$$q = 0.4 \text{ kN/m}^2 \text{ sans fluage}$$

$$q_{ED} = 0.6 \times 1.6 + 0.4 = 1.4 \text{ kN/m}^2$$

■ La limite de déformation

$$w_{\text{tot}} < l/350$$

$$Q_{Ed} = \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Situation

Déduction contreflèche

4. Aspect

Flèche longue durée et variable (quasi permanent)

Poids propre de la structure

avec fluage

Les charges utiles quasi permanente

$q = 0.6 \text{ kN/m}^2$ avec fluage

$$\psi_2 = 0.3$$

~~$q = 0.4 \text{ kN/m}^2$ sans fluage~~

$$q_{ED} = 2.5 \times 1.6 + 0.6 \times 1.6 = 5.0 \text{ kN/m}^2$$

■ La limite de déformation

$$w_{\text{tot}} < l/300$$

$$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Classe d'humidité

- Le calcul de la flèche (pour du bois conditionné $u=12\%$)

Construction intérieure (classe 1)

$$\eta_w = 1.0 \quad \text{donc} \quad E = 11'000 \text{ N/mm}^2$$

Fluage pour les charge longue durée (bois sec)

$$\varphi = 0.6 \quad \text{donc} \quad w_{\text{inf}} = w_{\text{el}} (1 + 0,6)$$

Construction extérieure protégée des intempéries (classe 2)

$$\eta_w = 0.9 \quad \text{donc} \quad E = 9'900 \text{ N/mm}^2$$

Fluage pour les charge longue durée (Bois sec)

$$\varphi = 0.8 \quad \text{donc} \quad w_{\text{inf}} = w_{\text{el}} (1 + 0,8)$$

ELU

Etat limite ultime

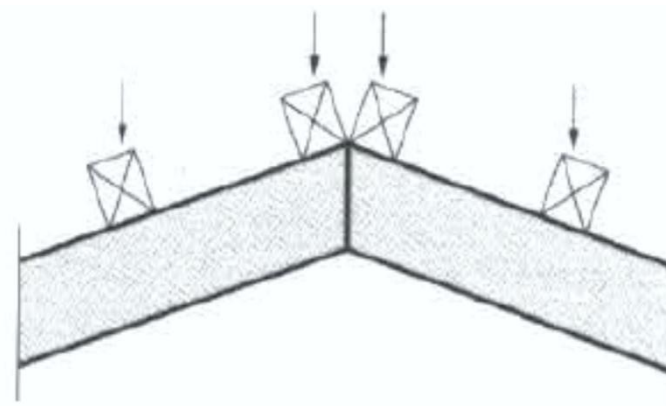
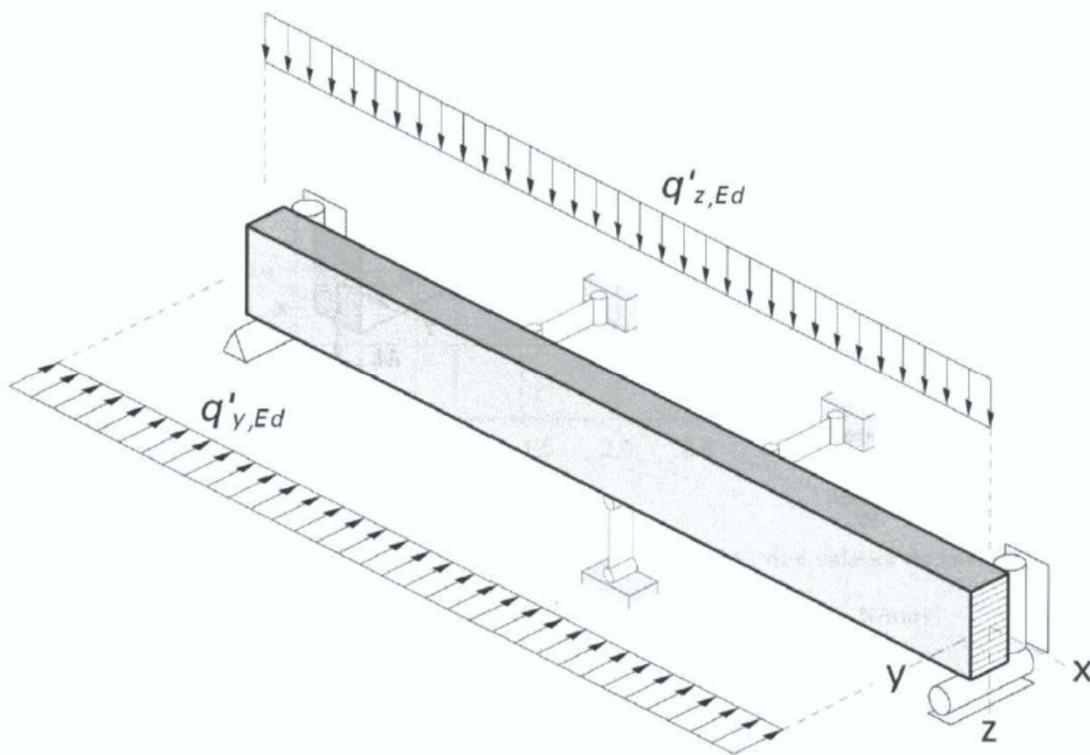
La poutre sur deux appuis

- Flexion
- Effort tranchant
- Surface d'appui
- Réduction à l'appui
- Evidements
- Poutre courbe

La flexion simple

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Flexion bi axiale

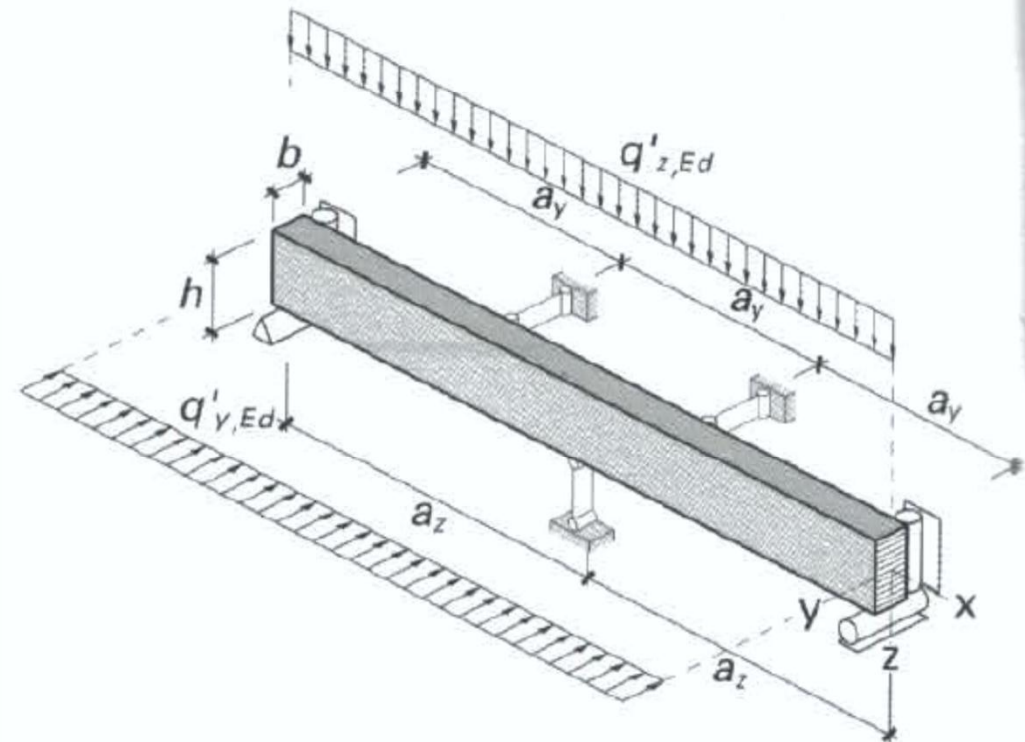


Cas typique de pannes déversées

Flexion bi-axiale

- Interaction

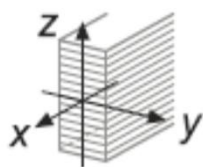
$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



■ Bois massif

Classes de résistance				Résineux					Chêne Hêtre
				C20	C24	C27	C35 ⁴⁾	C45 ⁴⁾	D30
Flexion	$f_{m,d}$	N/mm ²		12	14	16	23	30	17

■ Bois lamellé collé

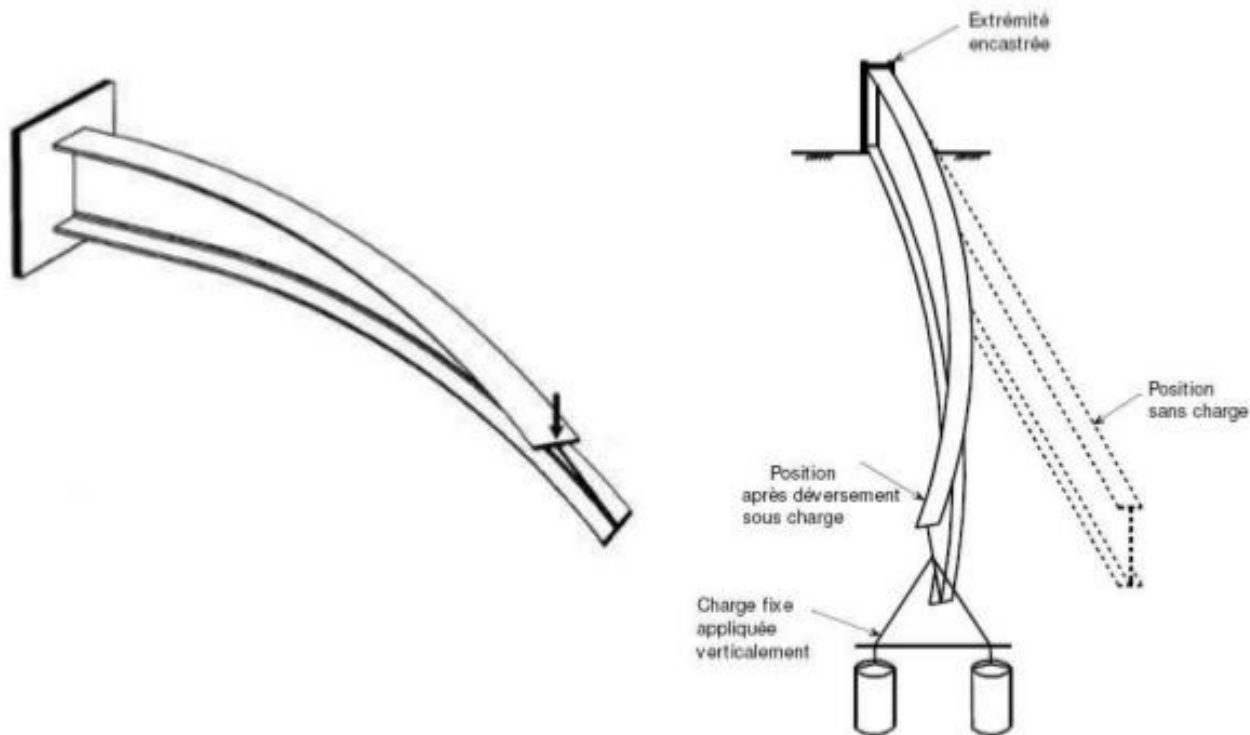
 Classes de résistance				BLC normal				BLC haute qualité ⁵⁾	
				GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL36k	GL36h
Flexion	$f_{m,d}$	N/mm ²		16	16	18,5	18,5	24	24

Déversement

Déversement

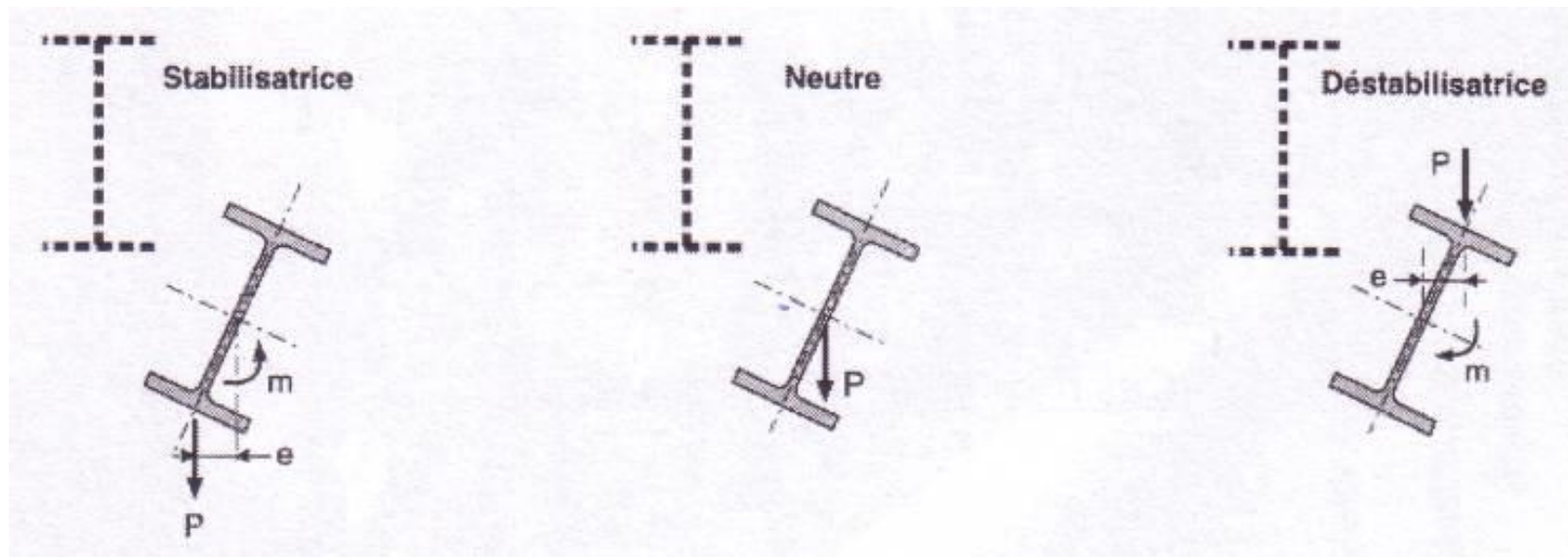
- Phénomène d'instabilité de la poutre en flexion

□ Le **déversement** affecte les semelles comprimées des pièces fléchies

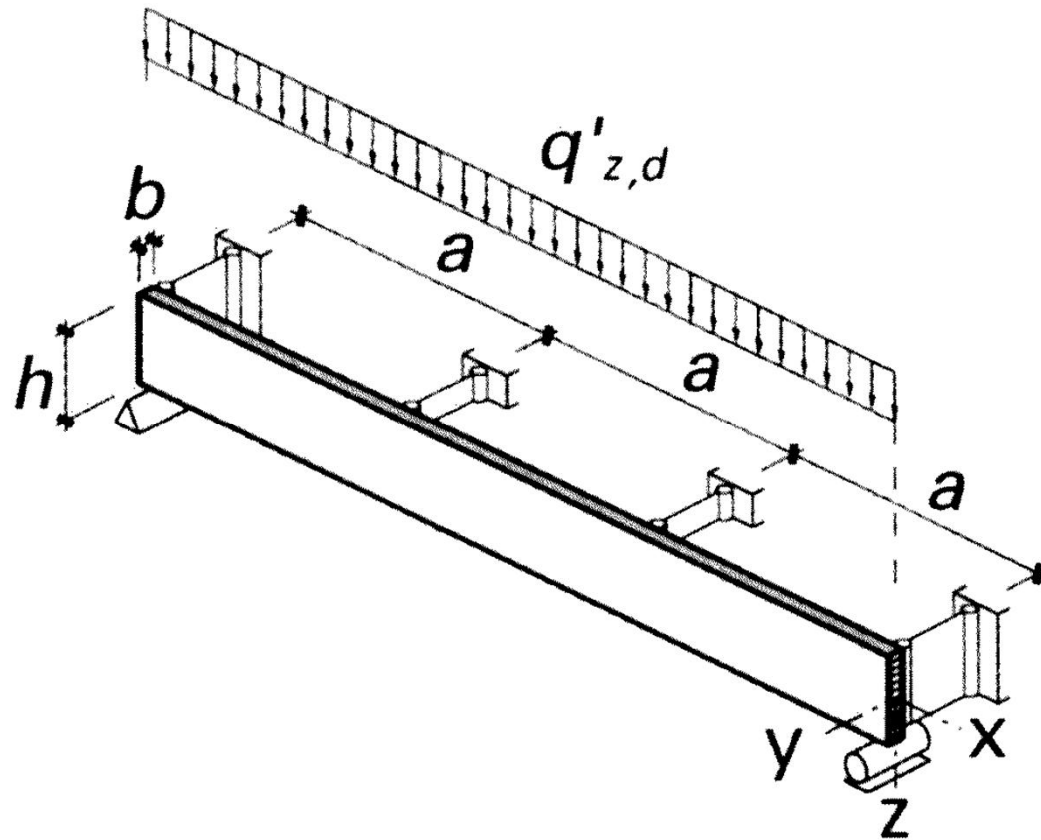


Déversement

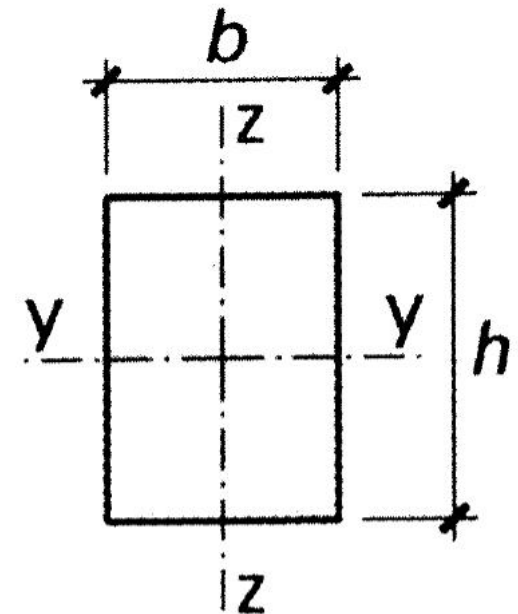
- Phénomène d'instabilité de la poutre en flexion



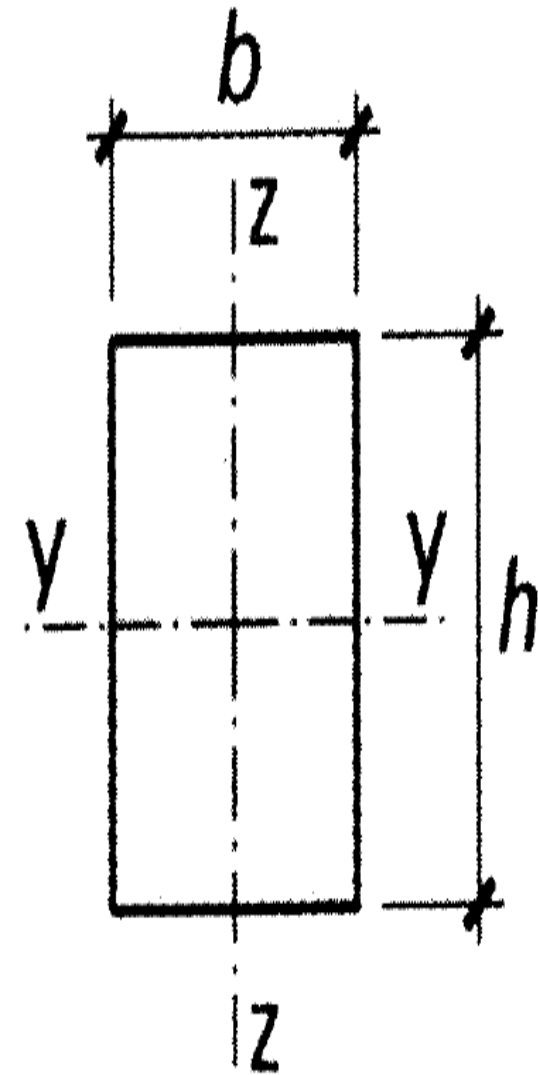
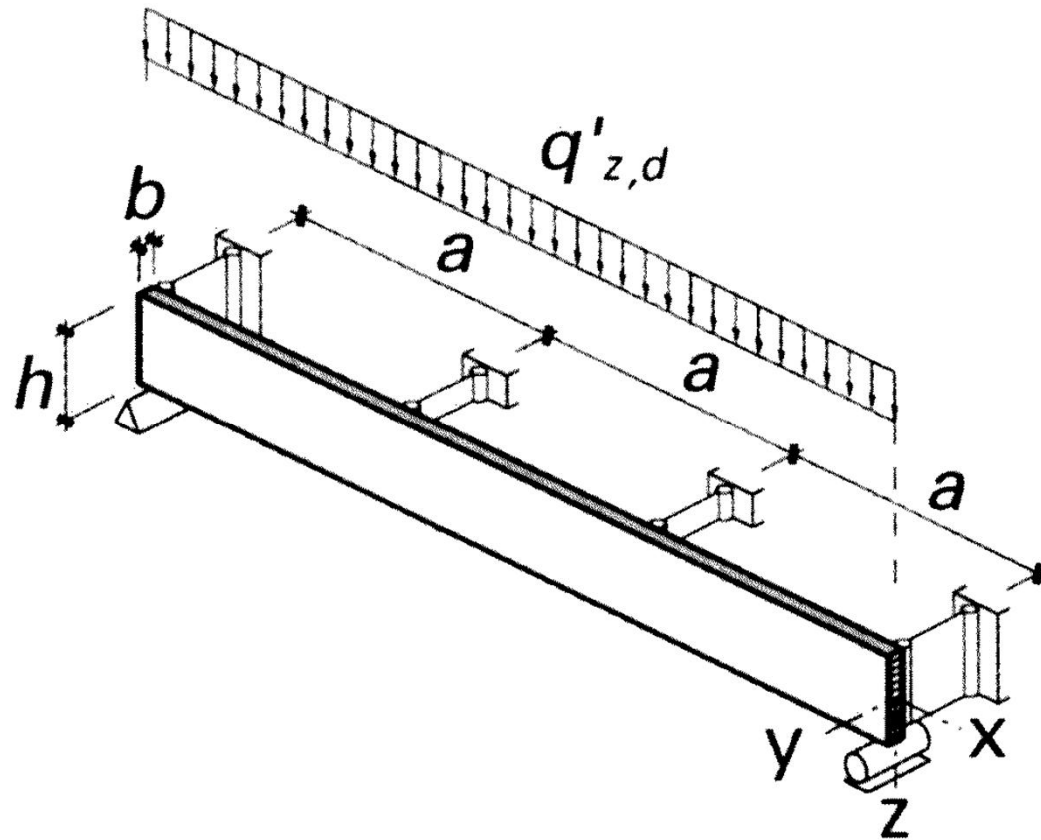
Le déversement de la poutre k_m



$$\sigma_{m,d} \leq k_m f_{m,d}$$

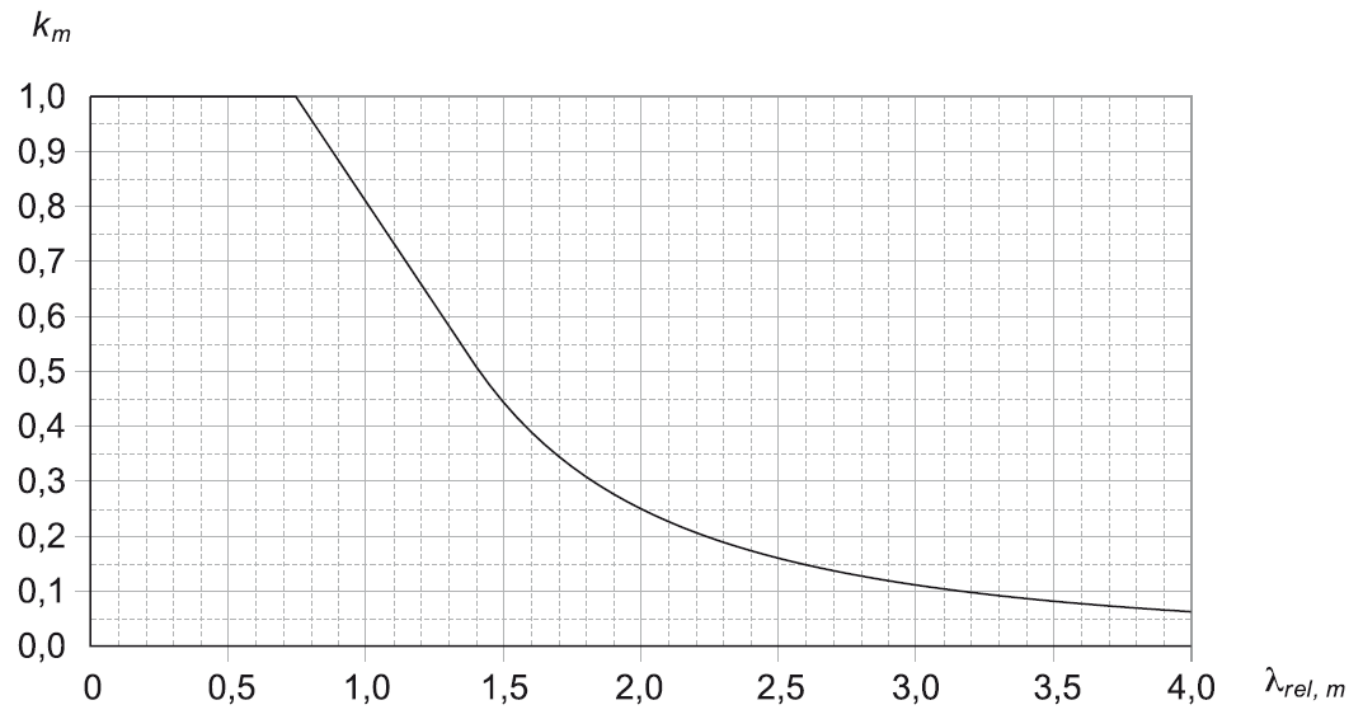


Le déversement de la poutre k_m



$$\sigma_{m,d} \leq k_m f_{m,d}$$

Le déversement de la poutre



$$k_m = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{pour } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{pour } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{pour } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{array} \right\}$$

Le déversement de la poutre

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,75 E_{0,05} \frac{b^2}{ah}$$

$$\text{resp. } \lambda_{rel,m} = 1,15 \frac{\sqrt{ah}}{b} \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}}$$

En simplifiant, l'élancement relatif $\lambda_{rel,m}$ pour des résineux peut être admis comme suit:

- pour le bois massif $\lambda_{rel,m} = 0,07 \frac{\sqrt{ah}}{b}$
- pour le bois lamellé collé $\lambda_{rel,m} = 0,06 \frac{\sqrt{ah}}{b}$

Le déversement de la poutre

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,75 E_{0,05} \frac{b^2}{ah}$$

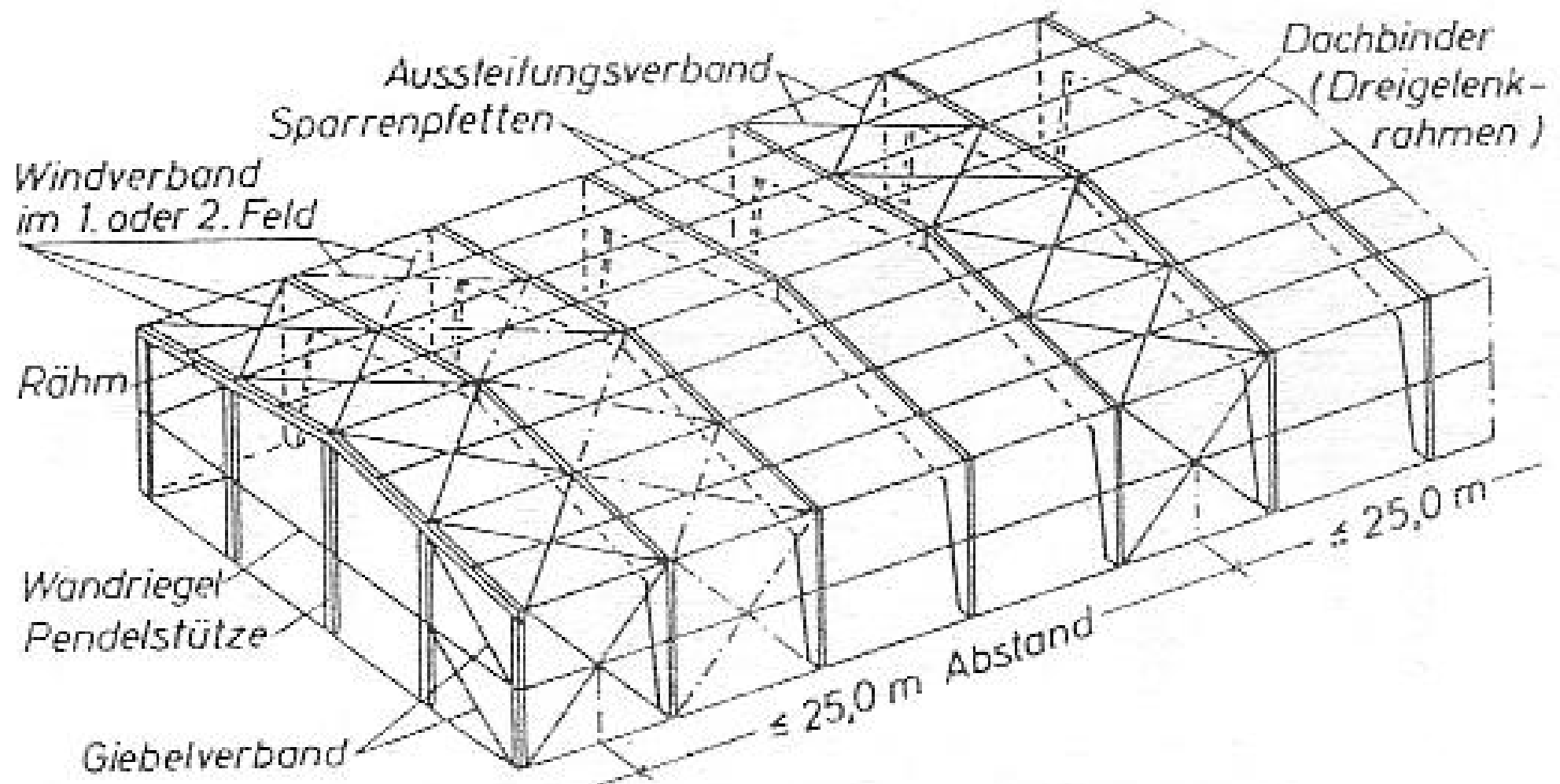
$$\text{resp. } \lambda_{rel,m} = 1,15 \frac{\sqrt{ah}}{b} \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}}$$

En simplifiant, l'élancement relatif $\lambda_{rel,m}$ pour des résineux peut être admis comme suit:

- pour le bois massif $\lambda_{rel,m} = 0,07 \frac{\sqrt{ah}}{b}$
- pour le bois lamellé collé $\lambda_{rel,m} = 0,06 \frac{\sqrt{ah}}{b}$

Triangulation et stabilisation

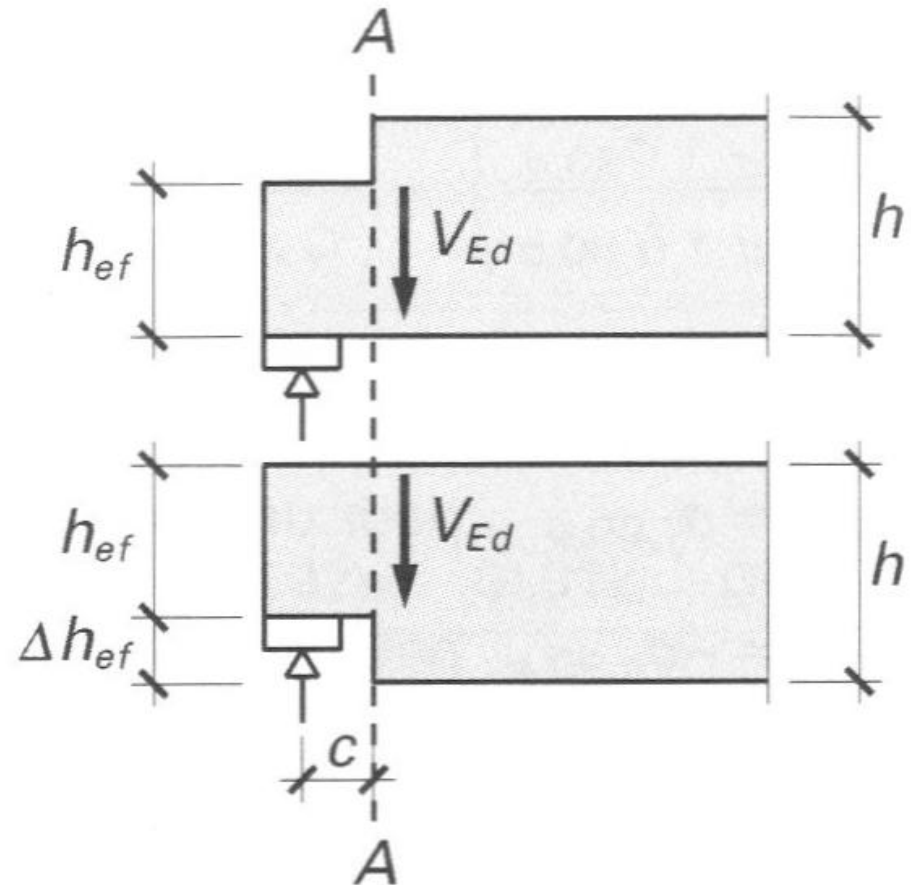
Stabilisation



L'effort tranchant

- La contrainte de l'effort tranchant

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,Ed}}{A}$$



Classes de résistance			Résineux			Chêne Hêtre
			C16	C24	C30	D30
Contrainte de cisaillement ⁶⁾	$f_{v,d}$	N/mm ²	1,5	1,5	1,5	2,0

⁶⁾ Pour les pièces avec moelle, on réduira de moitié les valeurs de calcul de la résistance.

[illegible]

Fagus BTC

Classes de résistance			BTC 40	BTC 48	BTC 48Eplus
Propriétés caractéristiques = valeurs caractéristiques ¹⁾					
Poussée	$f_{v,d}$	N/mm ²		3,4	

Combinaison N_{perp} et V_d

- Interaction effort tranchant et effort normal perpendiculaire au fil

$$\left(\frac{f_{c,90,d} + \sigma_{90,d}}{f_{c,90,d} + f_{t,90,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{f_{c,90,d}}{f_{c,90,d} + f_{t,90,d}} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (\text{SIA 265 - 4.2.7})$$

avec :

$\sigma_{90,d} = \sigma_{t,90,d}$ pour une contrainte de traction perpendiculaire au fil en N/mm^2

$\sigma_{90,d} = -\sigma_{c,90,d}$ pour une contrainte de compression perpendiculaire au fil en N/mm^2

$f_{c,90,d}$ Valeur de calcul de la résistance à la compression perpendiculaire au fil en N/mm^2

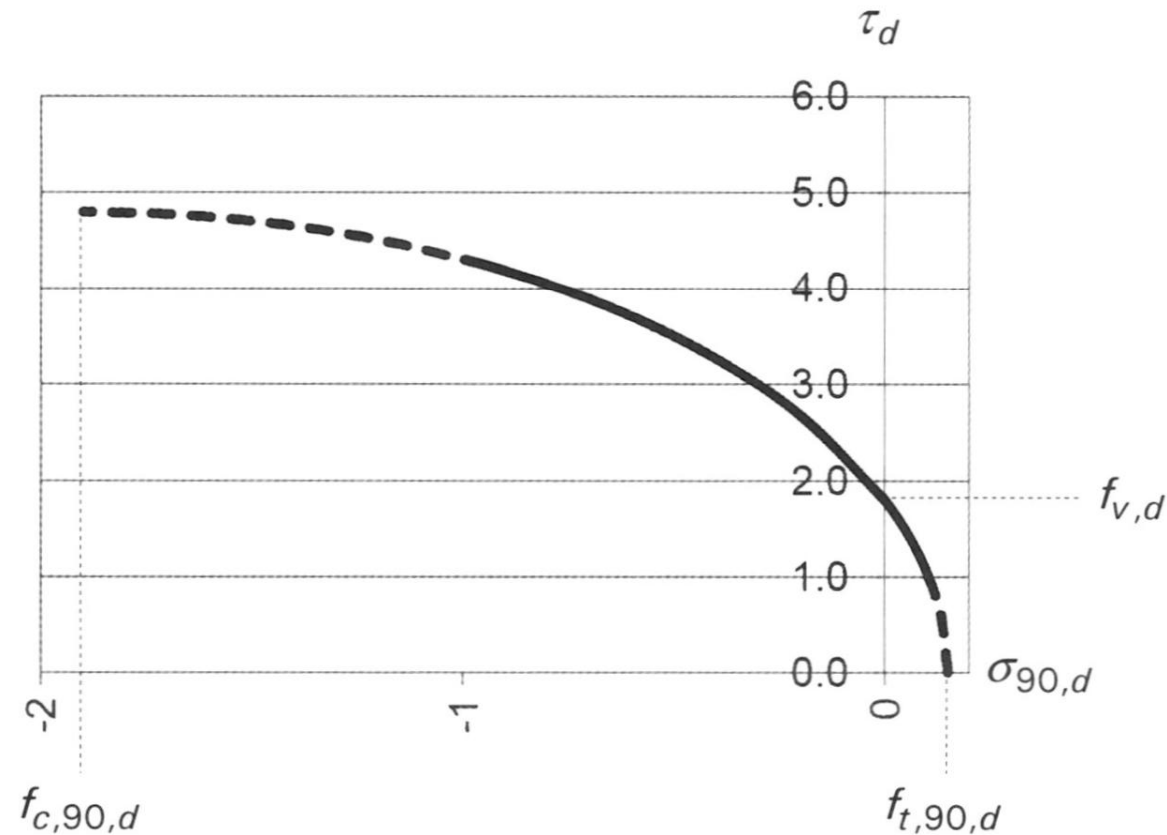
$f_{t,90,d}$ Valeur de calcul de la résistance à la traction perpendiculaire au fil en N/mm^2

τ_d Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement en N/mm^2

$f_{v,d}$ Valeur de calcul de la résistance au cisaillement en N/mm^2

Combinaison N_{perp} et V_d

- Interaction effort tranchant et effort normal perpendiculaire au fil



Dessin pour le GL24h avec $f_{c,90,d} = 1.9 \text{ N/mm}^2$, $f_{t,90,d} = 0.15 \text{ N/mm}^2$, $f_{v,d} = 1.8 \text{ N/mm}^2$

Combinaison N_{perp} et V_d

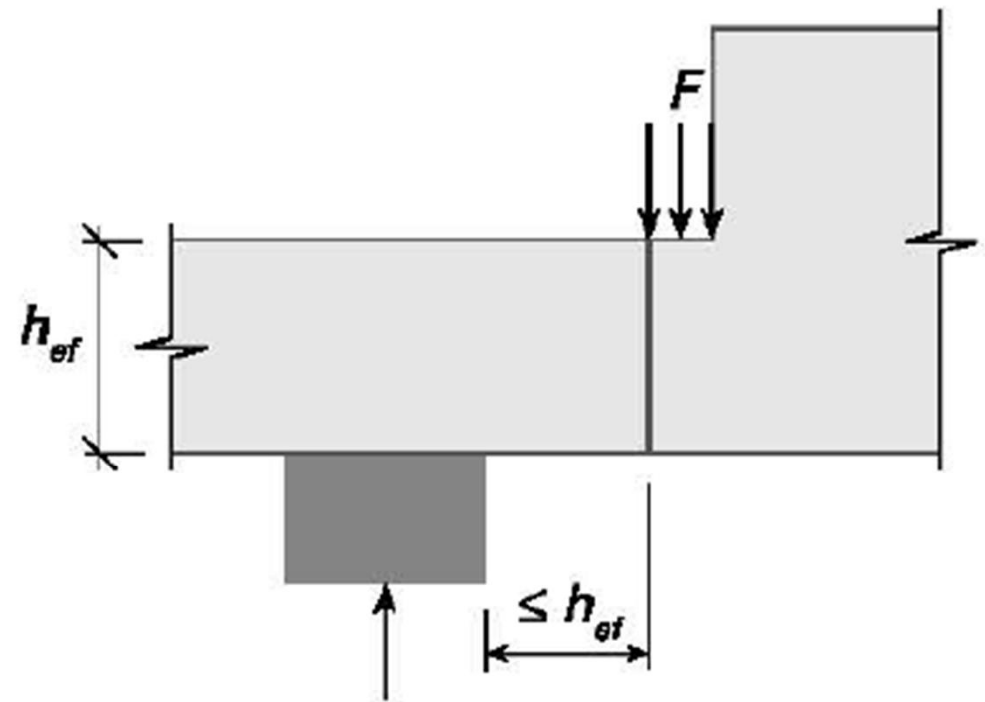
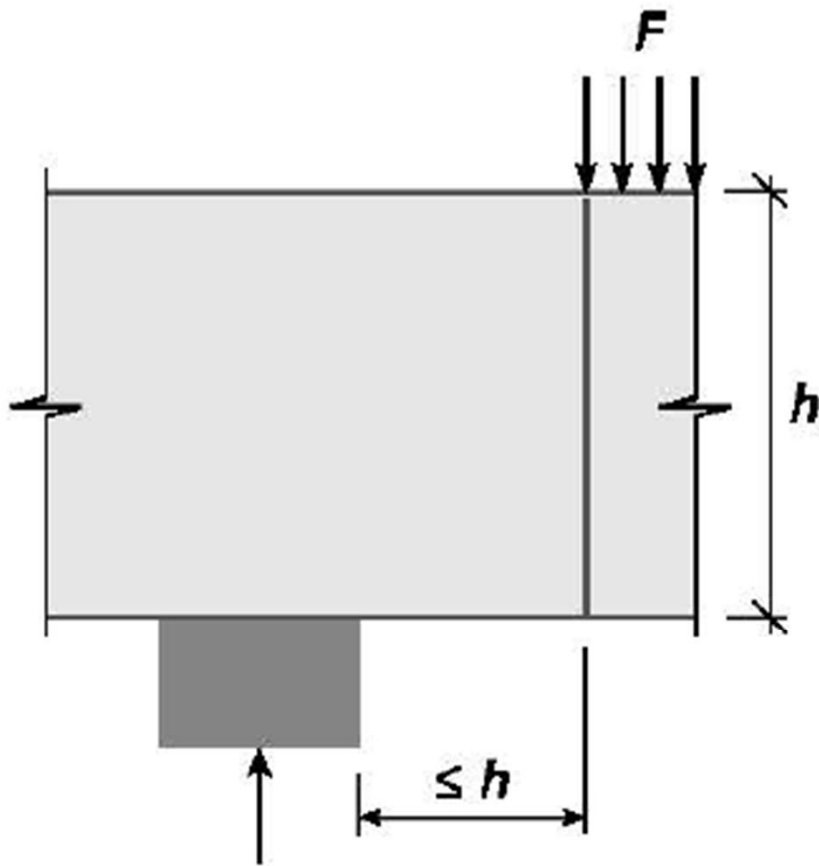
■ Simplification tableau k_{red} (Tab. 12 SIA 265)

Tableau 12: Facteurs de réduction k_{red} lors de réductions de section (valable pour $c \leq 0,4h$ et $h_{\text{ef}} \geq 0,5h$)

Sollicitation	Coefficient de réduction k_{red}
Effort tranchant avec traction perpendiculaire, en général	$k_{\text{red}} = \frac{\sqrt{\Delta h_0}}{\sqrt{h}} \frac{1}{\sqrt{\frac{h_{\text{ef}}}{h} - \left(\frac{h_{\text{ef}}}{h}\right)^2 + 0,8 \frac{c}{h} \sqrt{\frac{h}{h_{\text{ef}}} - \left(\frac{h_{\text{ef}}}{h}\right)^2}}} \leq 1 \quad (58)$
Effort tranchant avec traction perpendiculaire, si $c = \Delta h_{\text{ef}}$	$k_{\text{red}} = \sqrt{\frac{h_{\text{ef}}}{h} \frac{\Delta h_0}{\Delta h_{\text{ef}}}} \leq 1 \quad (59)$
Effort tranchant avec compression perpendiculaire	$k_{\text{red}} = 1 \quad (60)$
Δh_0 25 mm pour du bois massif en résineux 45 mm pour du bois lamellé collé en résineux c distance entre la ligne d'action de la réaction d'appui et l'angle de la réduction de section en mm h hauteur de la poutre en mm h_{ef} hauteur réduite de la poutre en mm Δh_{ef} profondeur de l'entaille en mm	

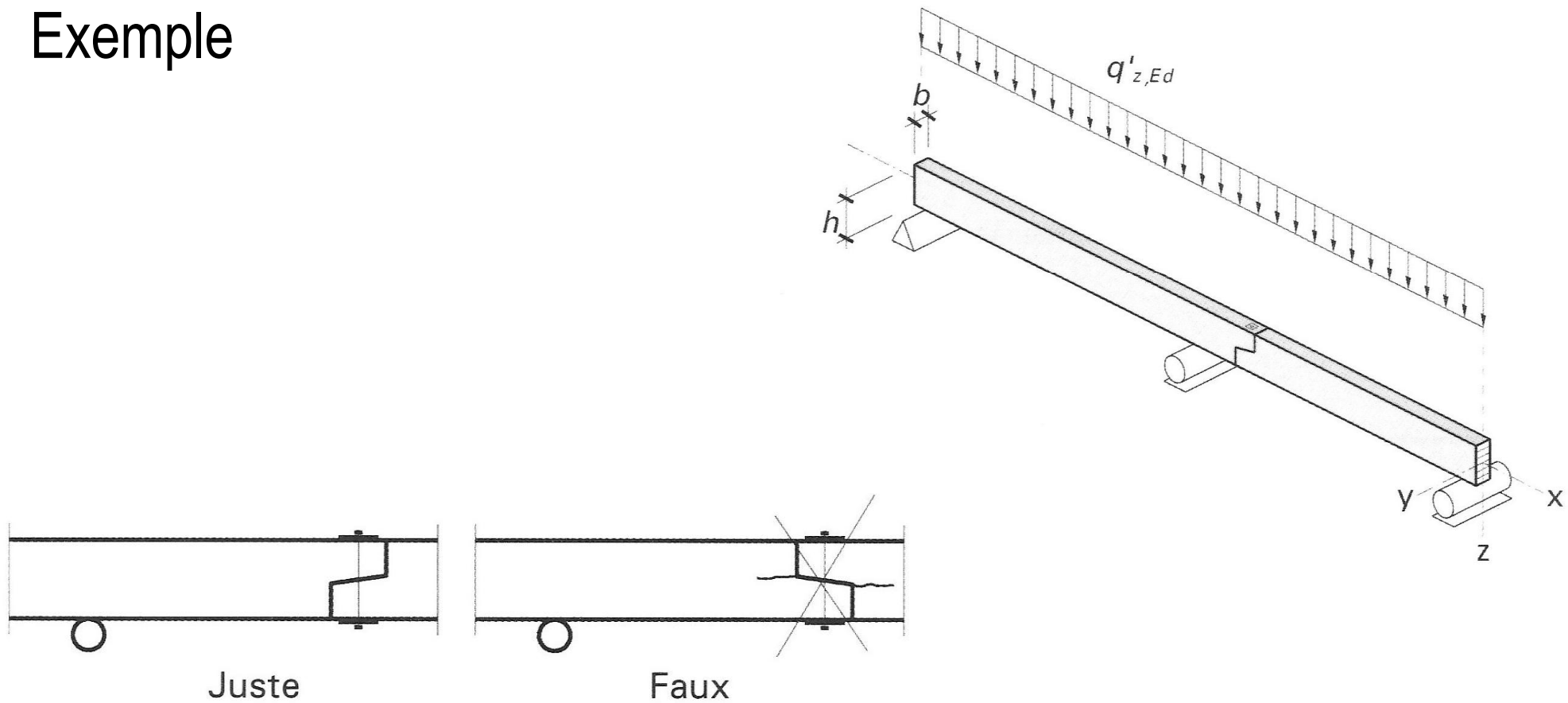
Transmission direct de l'effort tranchant

- Lors de transfert direct par compression transversale



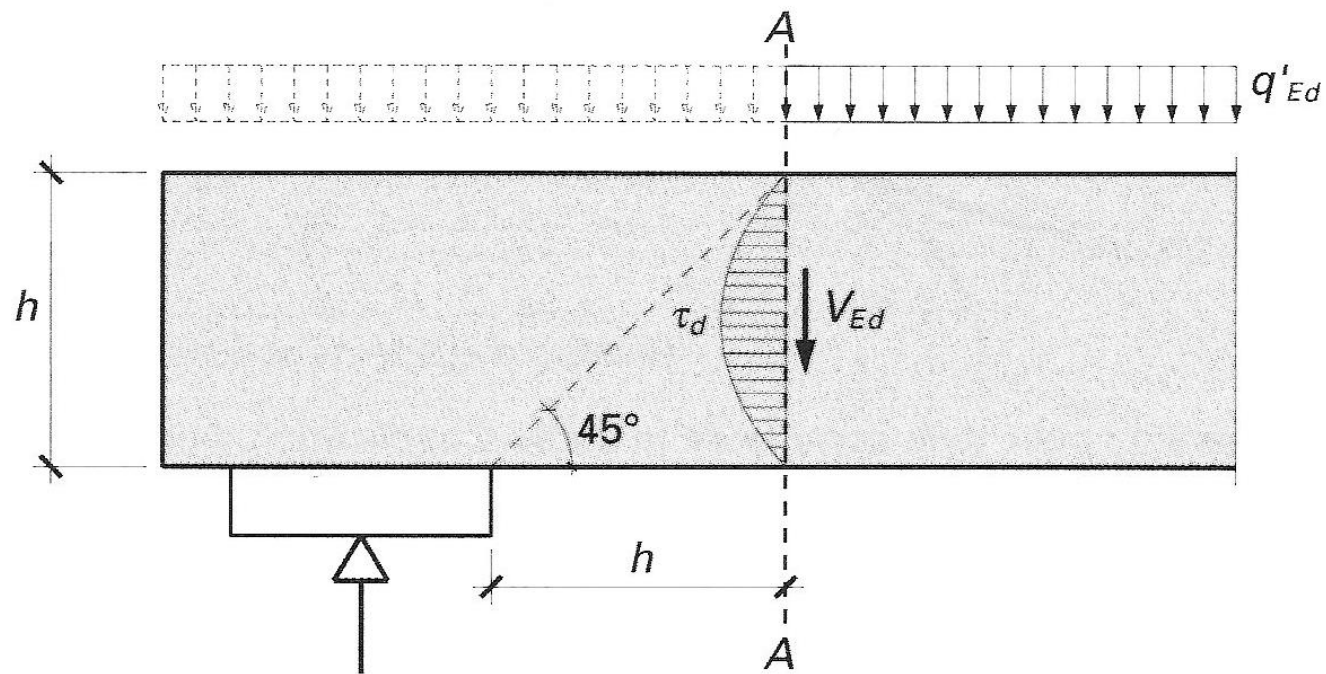
Combinaison N_{perp} et V_d

■ Exemple



Combinaison N_{perp} et V_d

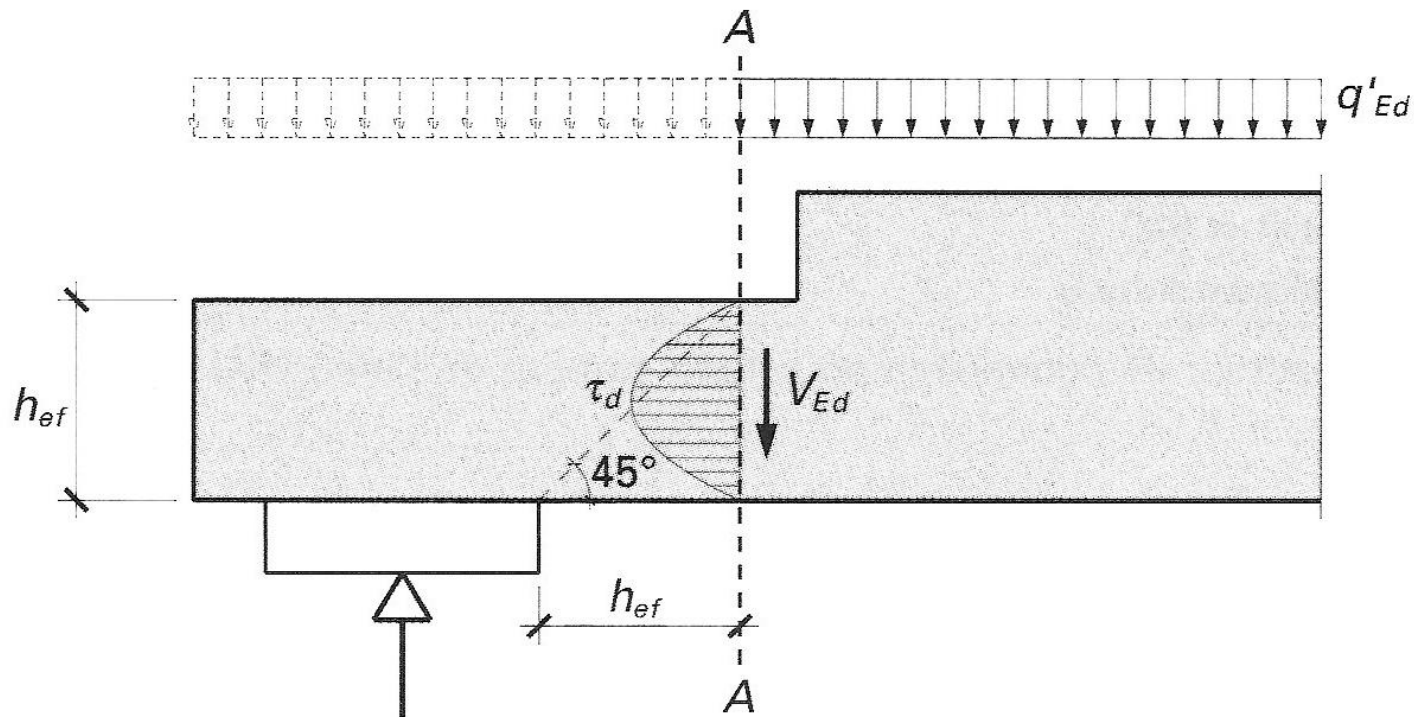
- Interaction effort tranchant et effort normal perpendiculaire au fil



§ 4.2.7.2 SIA 265

L'effort tranchant

- La contrainte à l'effort tranchant



§ 4.2.7.2 SIA 265

Tableau 6: Propriétés caractéristiques et valeurs de calcul du bois massif ($\eta_w = 1,0$ et $\eta_t = 1,0$)

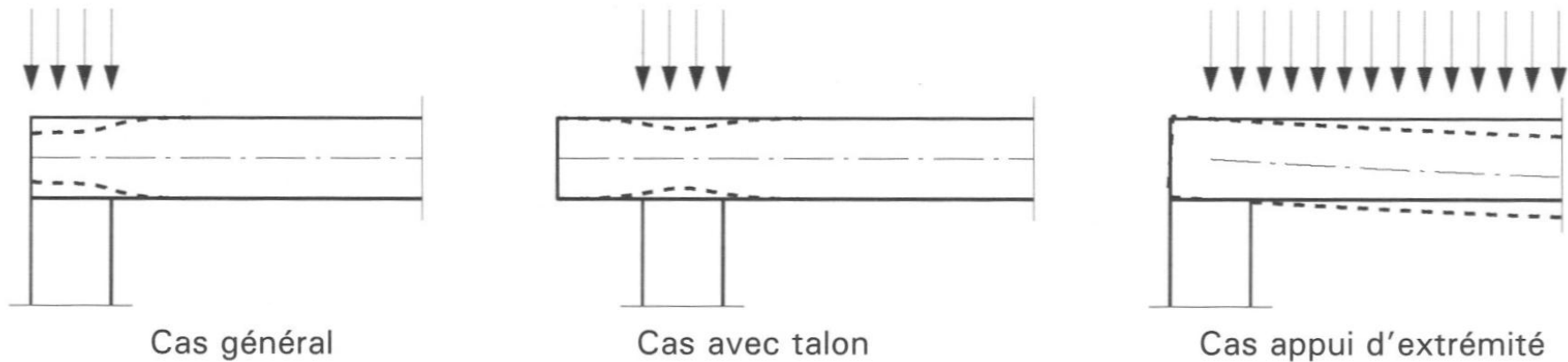
Classes de résistance				Résineux			Chêne Hêtre
				C16	C24	C30	D30
Résistance	Compression $\perp$ au fil	$f_{c,90,d}$					
	– en général	N/mm ²	1,5	1,8	2,0	5,3	
	– avec un avant-bois ^{3) 4)}	N/mm ²	2,0 (2,6)	2,3 (2,9)	2,7 (3,3)	7,0	
	– appui d'extrémité ⁴⁾	N/mm ²	1,5 (2,6)	1,8 (2,9)	2,0 (3,3)	5,3	

³⁾ L'avant-bois doit dépasser de 100 mm de chaque côté. Sinon prendre la valeur «en général».

⁴⁾ La valeur supérieure (entre parenthèses) n'est admissible que si les déformations qui en résultent sont sans conséquence sur le comportement de l'élément porteur.

Appui de la poutre

■ Exemple de la publication



	Bois massif				Bois lamellé collé							
	C16	C24	C30	D30	GL24k	GL24h	GL28k	GL28h	GL32k	GL32h	GL36k	GL36h
Général	1.5	1.8	2.0	5.3	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.0	2.2	2.2
Avant-bois ^{3),4)}	2.0 (2.6)	2.3 (2.9)	2.7 (3.3)	7.0	2.5 (4.0)	2.5 (4.0)	2.7 (4.3)	2.7 (4.3)	2.8 (4.4)	2.8 (4.4)	3.0 (4.7)	3.0 (4.7)
Appui ⁴⁾	1.5 (2.6)	1.8 (2.9)	2.0 (3.3)	5.3	2.5 (4.0)	2.5 (4.0)	2.7 (4.3)	2.7 (4.3)	2.8 (4.4)	2.8 (4.4)	3.0 (4.7)	3.0 (4.7)

$f_{c,90,d}$: Valeur de calcul de la résistance à compression perpendiculaire au fil en N/mm²
pour $\eta_t = 1$ et $\eta_w = 1$

³⁾ L'avant-bois doit dépasser de 100 mm de chaque côté, sinon prendre la valeur générale.

⁴⁾ La valeur supérieure (entre parenthèse) n'est admissible que si les déformations qui en résultent sont sans conséquence sur le comportement de l'élément porteur.

Fagus BTC

Pression $\perp$ aux fibres	$f_{c,90,d}$			
- général	N/mm ²	5,0	5,0	5,0
- avant-bois d'un côté ²⁾	N/mm ²	6,0	6,0	6,0
- avant-bois sur les deux côtés ²⁾	N/mm ²	7,5	7,5	7,5

- Ou encore le GL75 de Baubuche

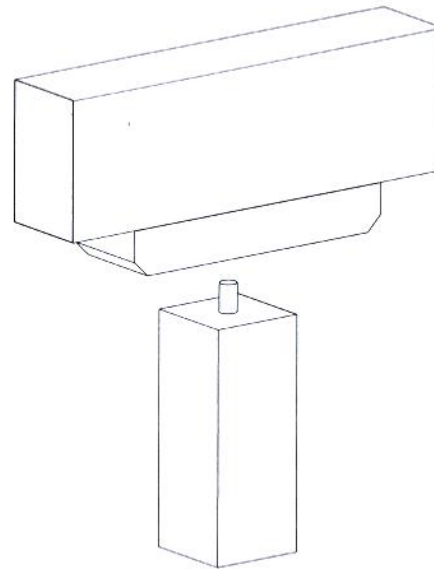
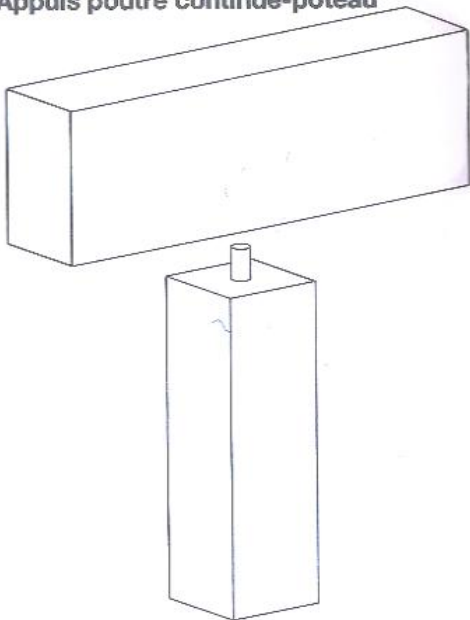
Exemple

Appui de la poutre

- Exemple de réalisation

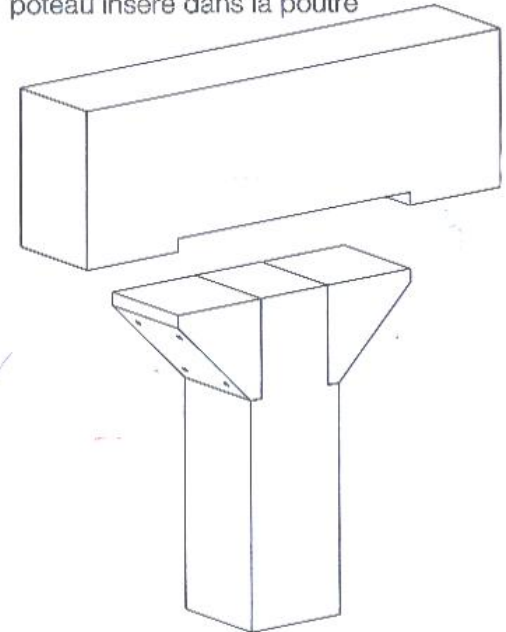


Appuis poutre continue-poteau



élargissement d'appui avec sabot en bois dur

poteau inséré dans la poutre





Appui de la poutre

- Exemple de réalisation



Appui de la poutre

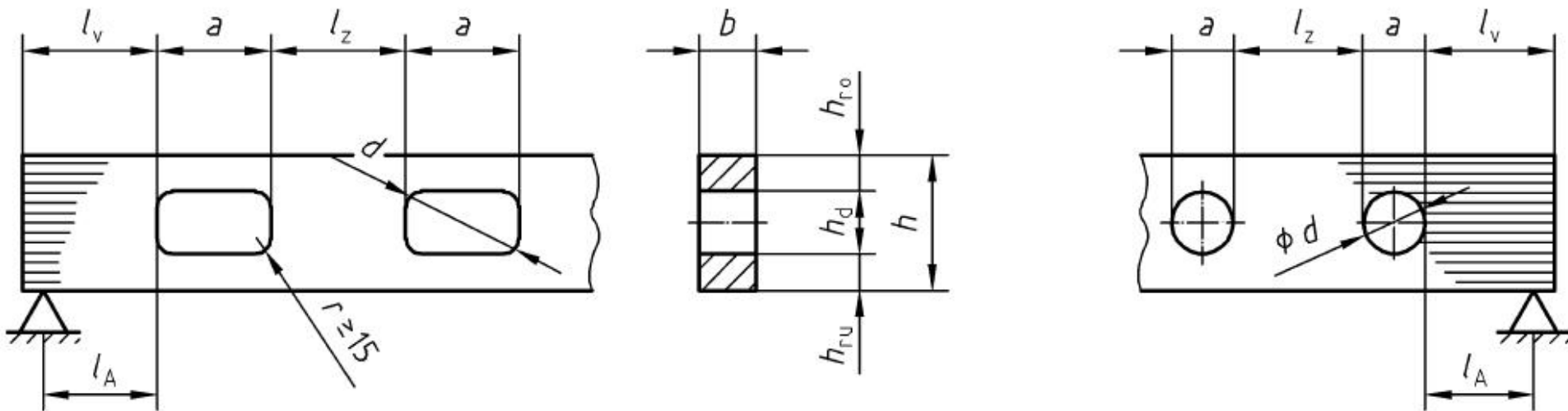
- Exemple de construction



Evidement

La poutre

- Evidemment, règle constructive (DIN 1052)

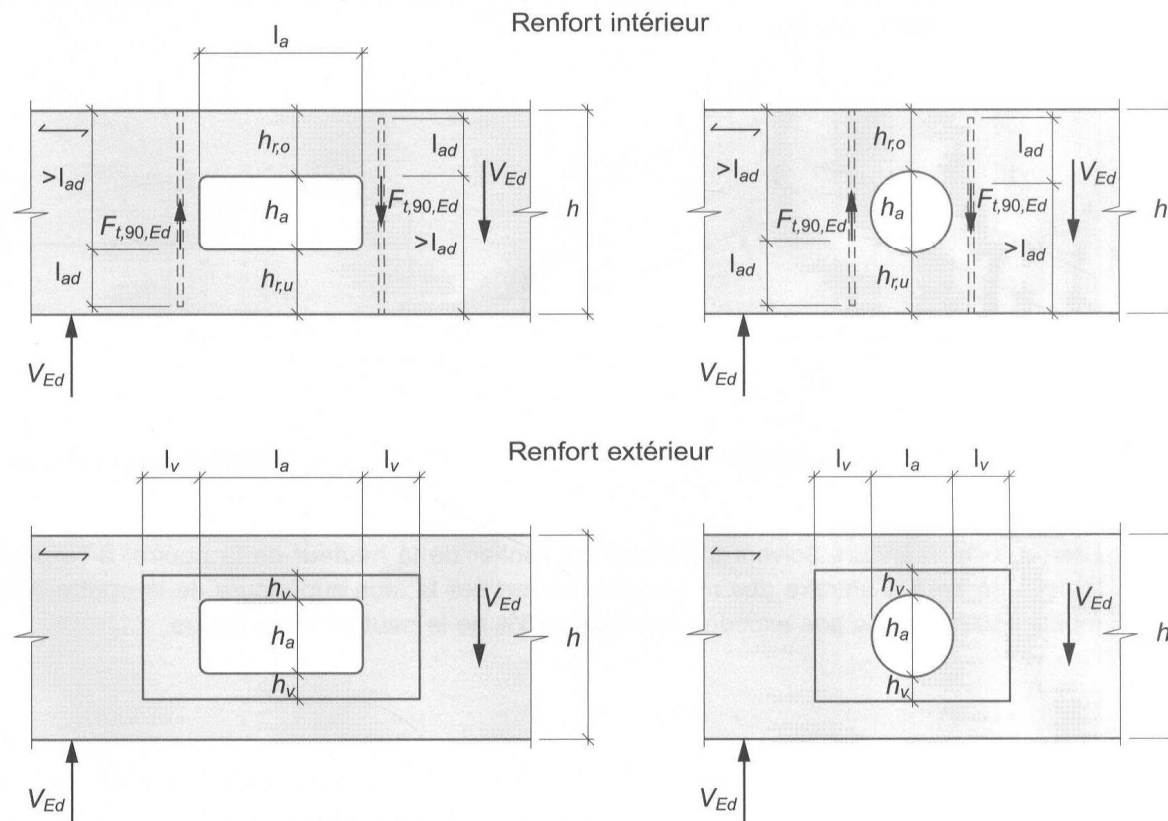


$\ell_v \geq h$	$\ell_z \geq h$, minimum	300 mm	$\ell_A \geq h/2$	$h_{ro(ru)} \geq 0,25 \cdot h$	$a \leq h$	$h_d \leq 0,4 \cdot h$
-----------------	----------------------------------	--------	-------------------	--------------------------------	------------	------------------------

La poutre

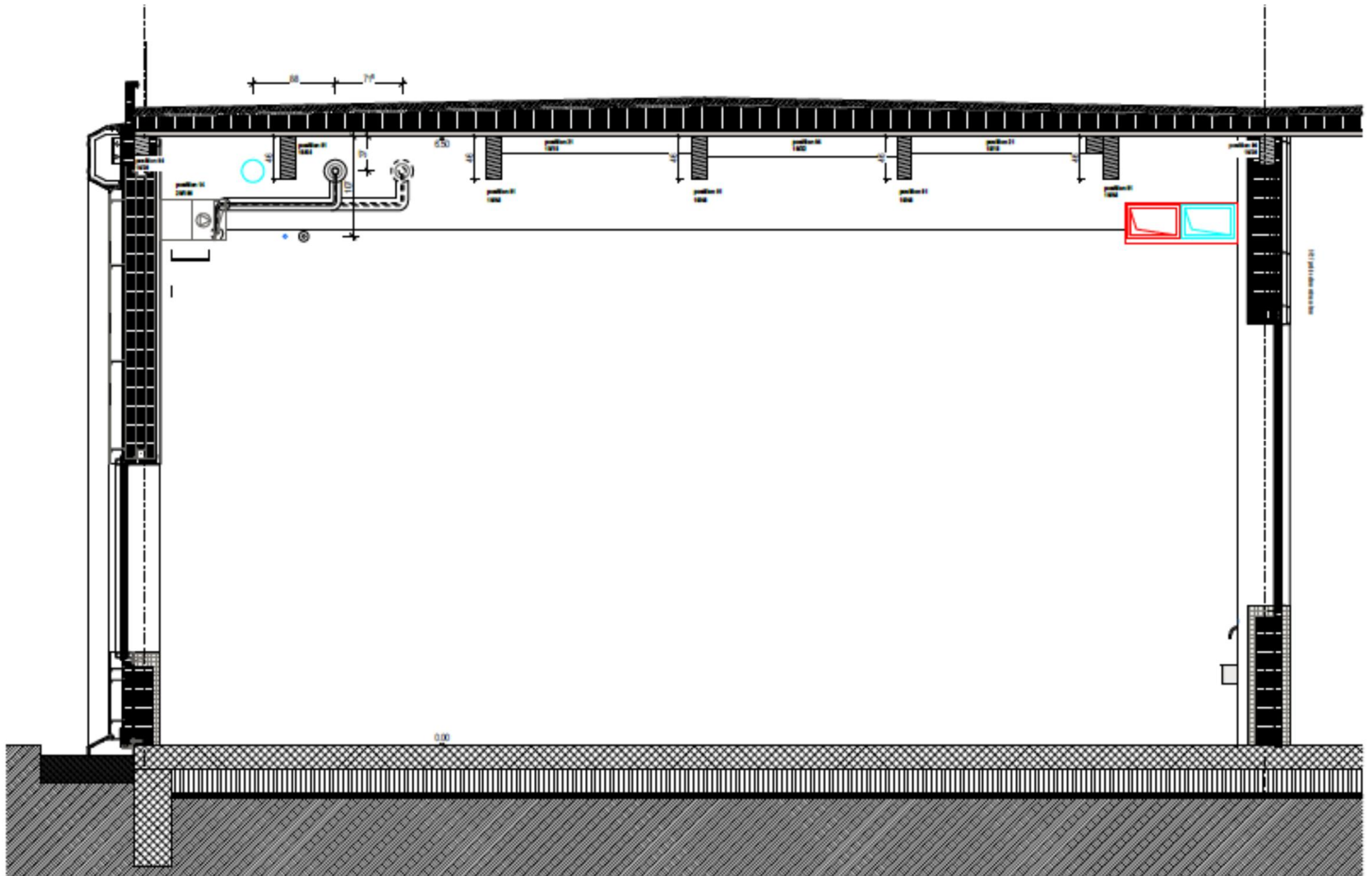
■ Évidement

Figure 45: Évidement avec renforts



Technique

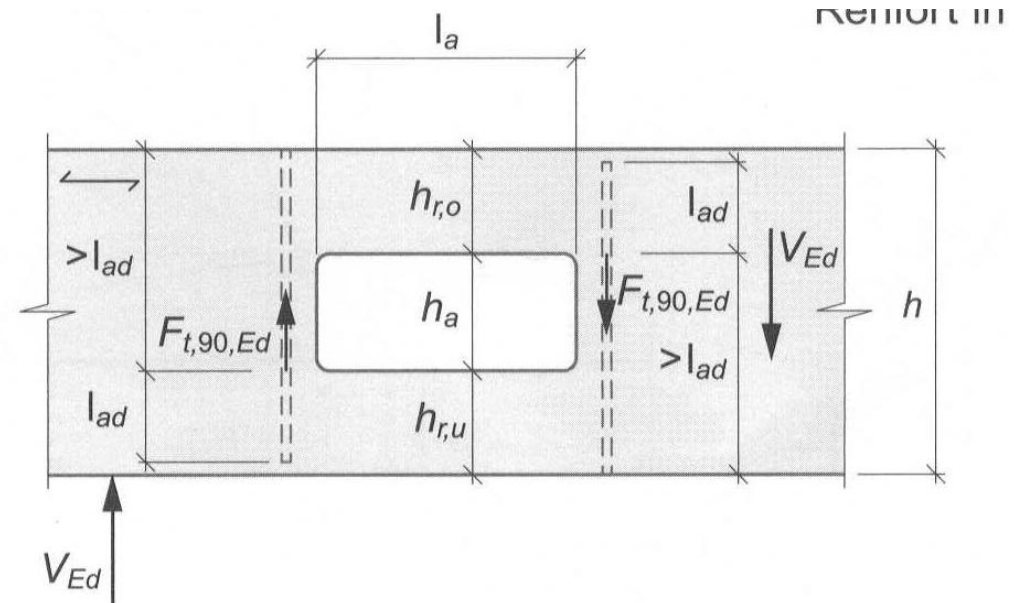




Evidement

- Annexe D – SIA 265

$$F_{t,90,Ed} = \frac{h_a}{4h} \left[3 - \left(\frac{h_a}{h} \right)^2 \right] V_{Ed} + \frac{1}{125h_r} M_{Ed}$$



La poutre

■ Evidemment DIN 1052

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d}$$

Avec

$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right]$$

et

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$$

M_d effort de flexion de dimensionnement

V_d effort tranchant de dimensionnement

$h_r = \min (h_{ro} ; h_{ru})$

pour un percement rectangulaire

$h_r = \min (h_{ro} + 0.15 h_d ; h_{ru} + 0.15 h_d)$

pour un percement circulaire

La poutre

■ Evidemment DIN 1052

$$\frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot \ell_{t,90} \cdot b \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

b : largeur de la poutre

$f_{t,90,d}$: traction perpendiculaire à la fibre

et

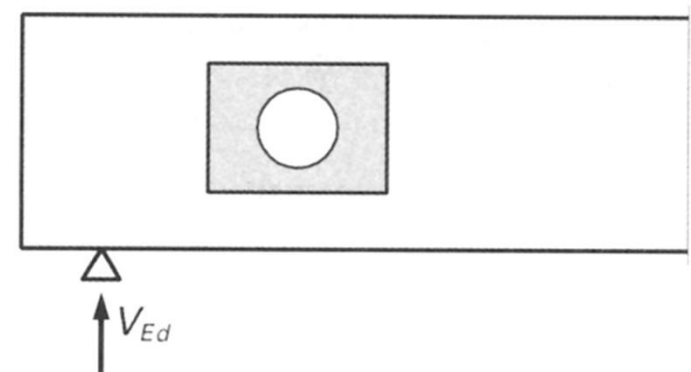
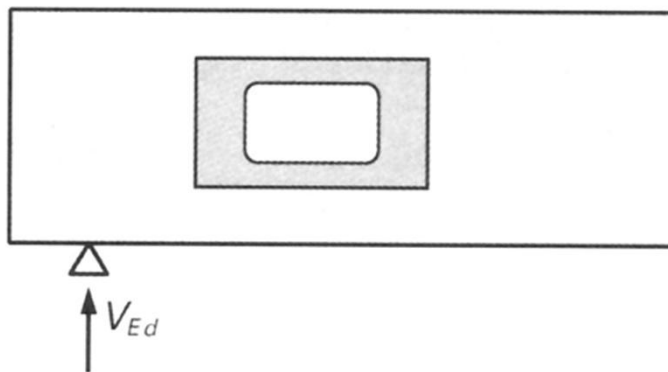
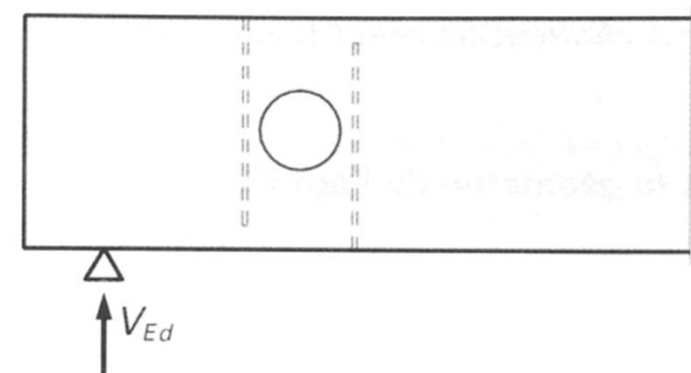
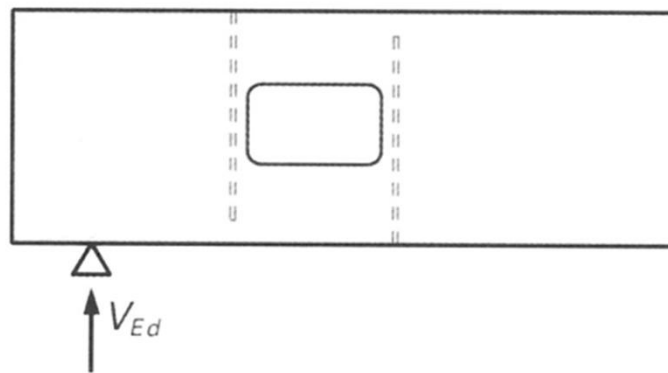
$l_{t,90} = 0.5 (h_d + h)$ pour des évidements de section rectangulaire

$l_{t,90} = 0.353 h_d + 0.5 h$ pour des évidements circulaire

La poutre

■ Evidemment - renforcement

Annexe D4 : Renfort d'évidement dans des poutres rectangulaires soumises à la flexion



La poutre courbe

La poutre courbe

- Le palais de l'équilibre
- Entreprise Ducret à Orges
- Charpente Concept SA



La poutre courbe

- Sports Core Belpmoos



La poutre courbe

- Représentation des rayons – contrainte intérieure

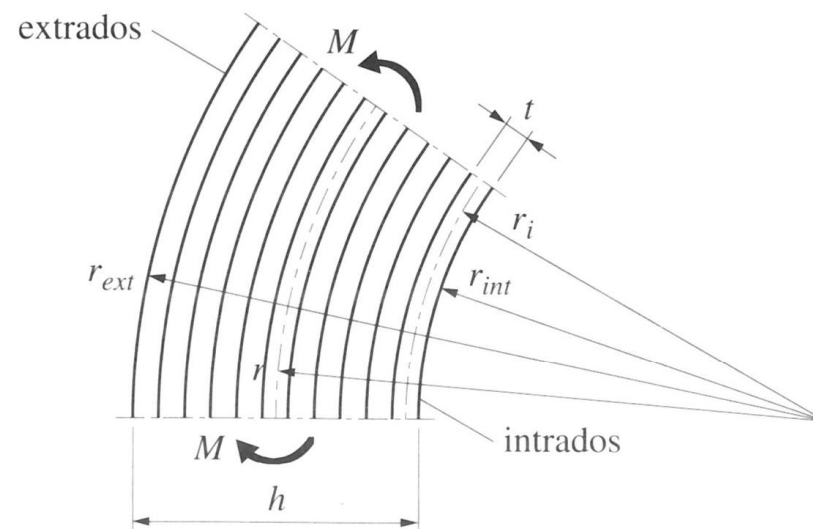


Fig. 6.41 Représentation des différents rayons de courbure à considérer.

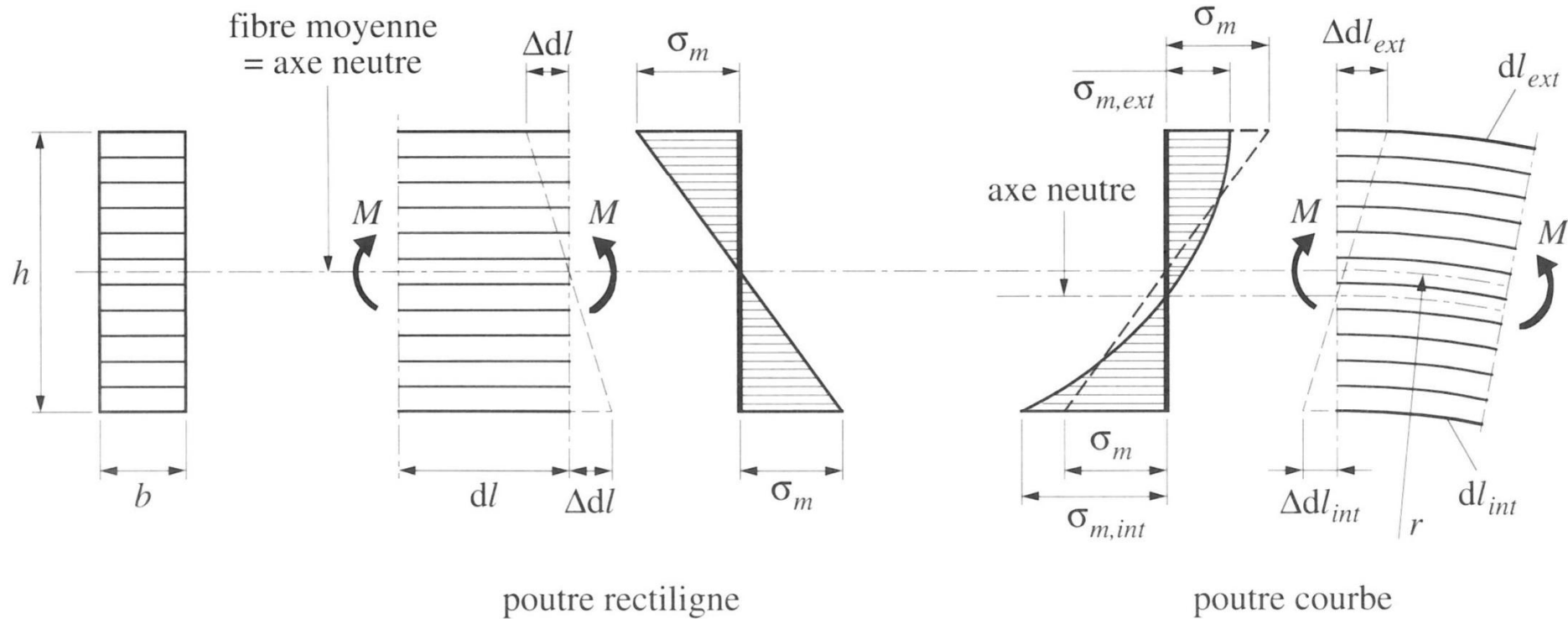
La poutre courbe

- Contrainte intérieure

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{E t}{r_{int}} = \frac{1}{2} \frac{10\,000 \text{ N/mm}^2}{200} = 25 \text{ N/mm}^2$$

La poutre courbe

■ Répartition de la flexion



La poutre courbe

■ Facteur $k_{||}$

$$\sigma_{m,d} = k_{||} \frac{M_d}{W} \quad (6.41)$$

$\sigma_{m,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion
 $k_{||}$: coefficient tenant compte de la distribution hyperbolique des contraintes de flexion pour les poutres courbes à inertie constante
 M_d : valeur de calcul du moment de flexion

■ Selon Eurocode 5

$$k_{||} = 1 + 0.35 \left(\frac{h}{r} \right) + 0.6 \left(\frac{h}{r} \right)^2$$

■ Selon SIA 164

$$k_{||} = 1 + \frac{h}{2r}$$

La poutre courbe

■ Selon SIA 265

Contraintes tangentielles (parallèles au fil):

– extrados:

$$\sigma_{ma,d} = \left| -\frac{M_{Ed}}{W} \right| \leq k_r f_{m,d}$$

– intrados:

$$\sigma_{mi,d} = \left| +\frac{M_{Ed}}{W} \left(1 + \frac{h}{2r} \right) \right| \leq f_{m,d}$$

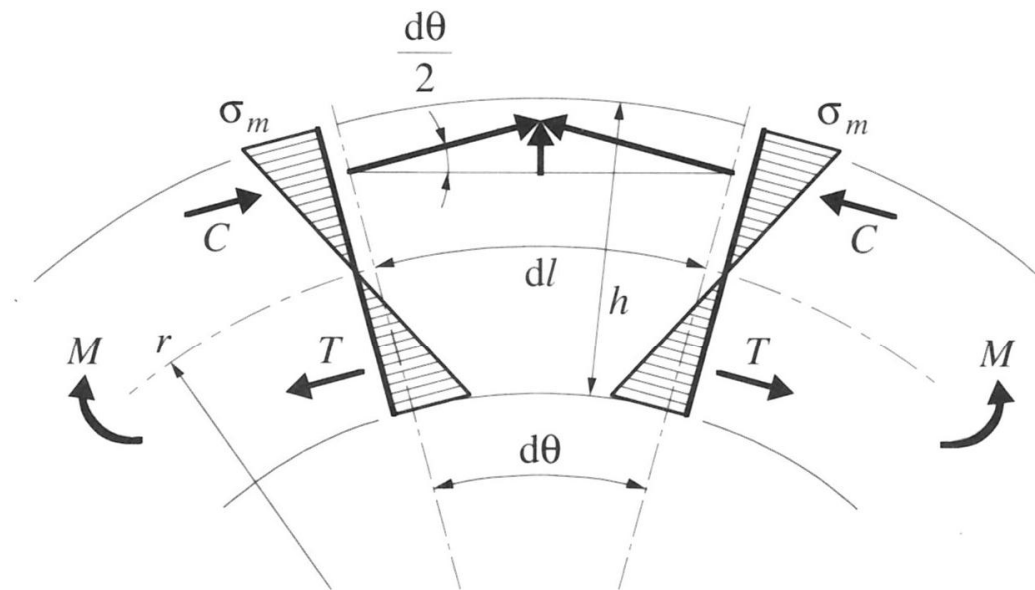
$$k_r = 1 - 40 \frac{t}{r_a}$$

t épaisseur des lames

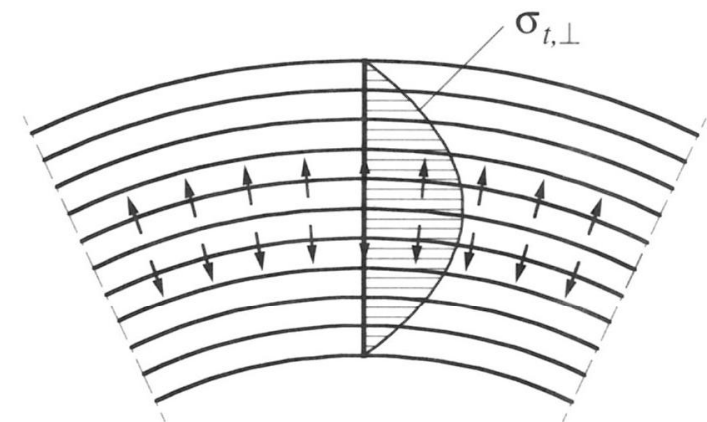
r_a rayon de courbure de l'extrados.

La poutre courbe

- Autre particularité – traction perpendiculaire à la fibre



mise en évidence de la composante transversale



contrainte transversale

La poutre courbe

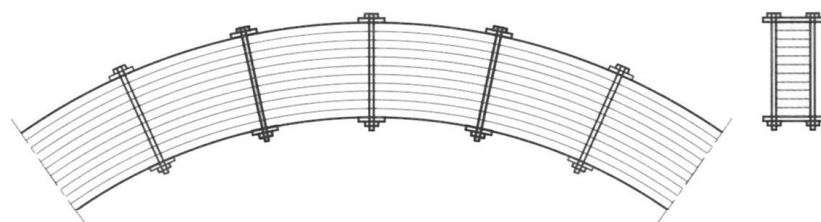
■ Traction perpendiculaire à la fibre

$$\sigma_{t,\perp,d} = k_{\perp} \frac{M_d}{W} \quad (6.46)$$

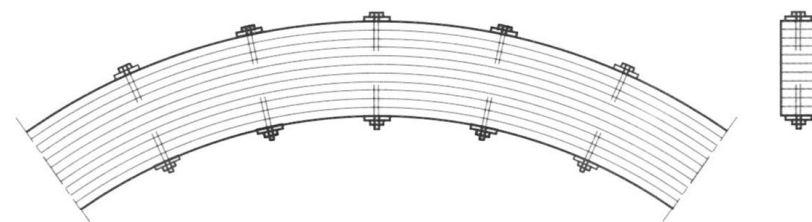
- $\sigma_{t,\perp,d}$: valeur de calcul de la contrainte de traction perpendiculaire aux fibres
- $k_{\perp}$: coefficient lié à la géométrie de la poutre ($k_{\perp} = h/(4 r)$ pour une poutre courbe d'inertie constante)
- M_d : valeur de calcul du moment de flexion
- W : module de flexion de la section

La poutre courbe

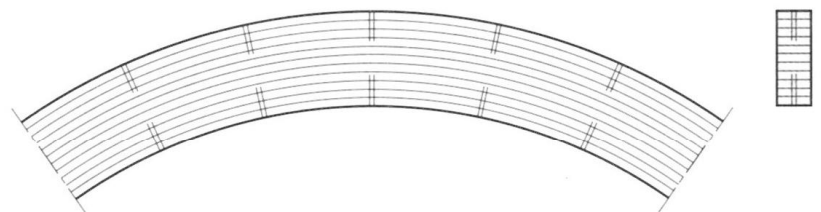
■ Renforcement perpendiculaire à la fibre



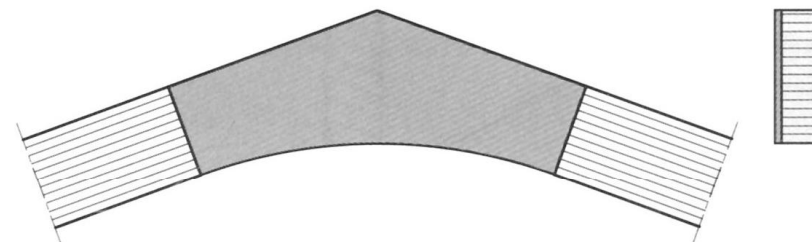
plaques et tiges filetées de chaque côté



plaques et tiges filetées à travers l'élément



tiges filetées encollées



contreplaqué de chaque côté ou fibre de verre collée

Fig. 6.44 Systèmes de renforcements en traction perpendiculaire des arcs cintrés en bois.

Exercice du jour

- Poutre simple sur 2 appuis,
- Avec réalisation d'un percement