

# Construction en bois

## Bachelor

Les connecteurs

Les broches

**EPFL – Ecole polytechnique fédérale de Lausanne**

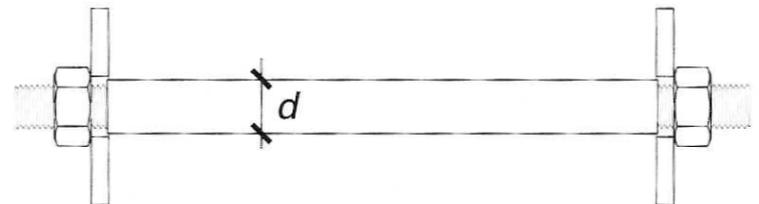
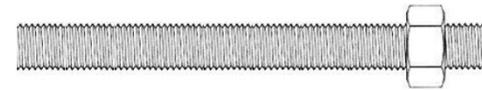
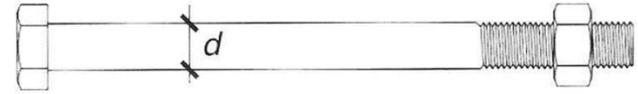
# Les broches

- Broches et boulons de charpentes



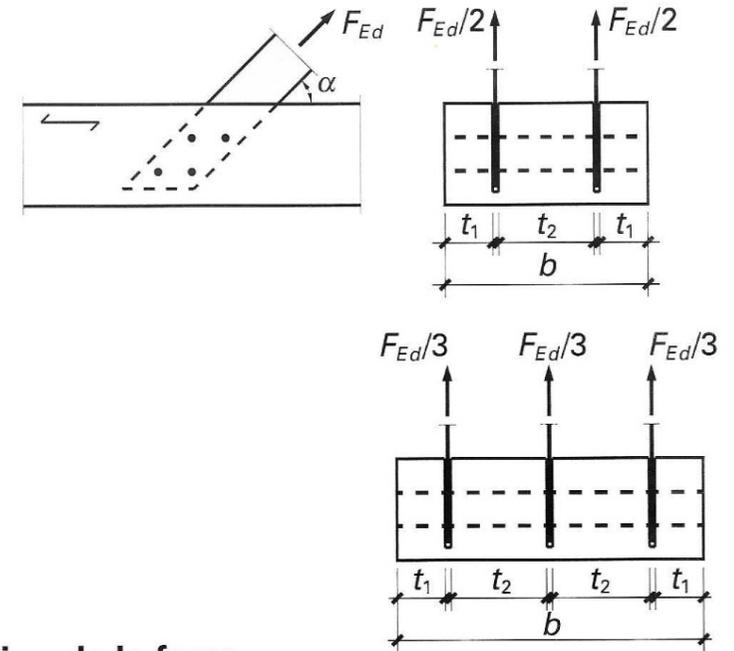
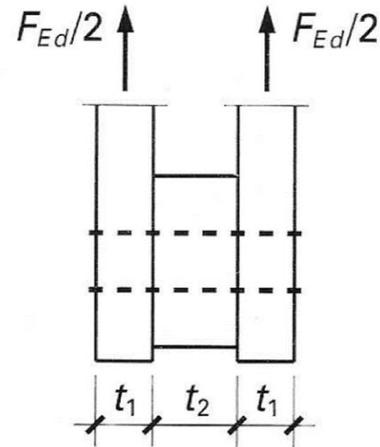
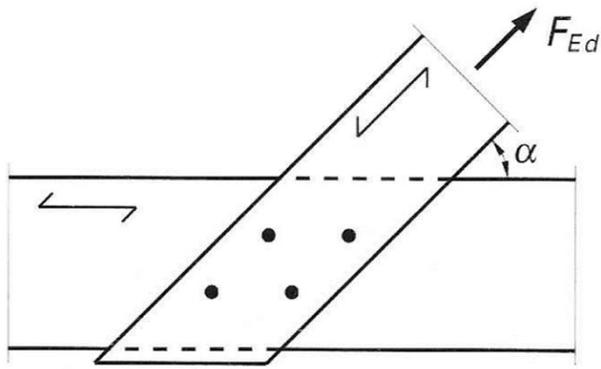
# Terminologie

- Boulon de charpente
- Tige filetée
- Broche
- Boulon ajusté



# Les broches et boulons de chapentes

- Le principe

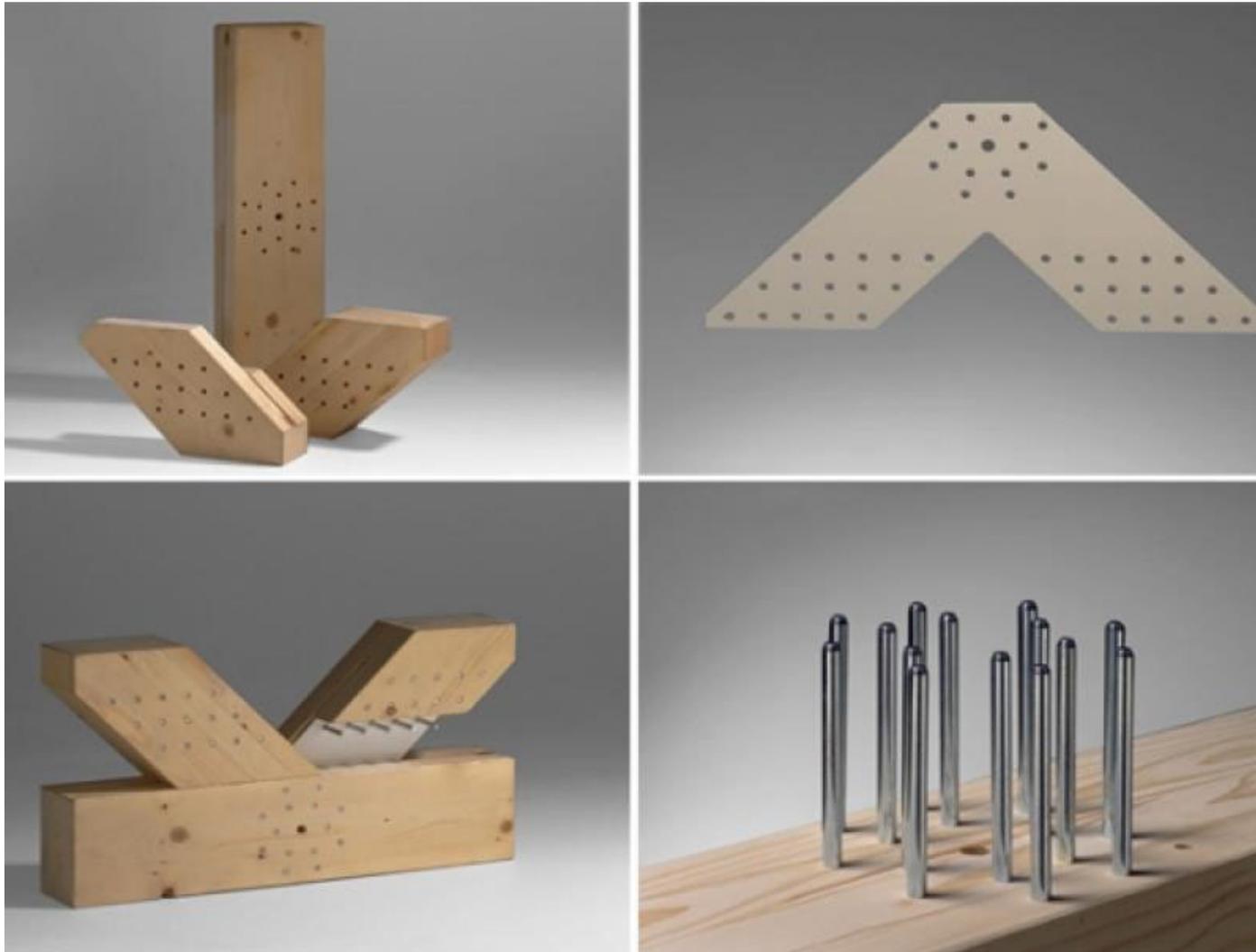


## Direction de la force

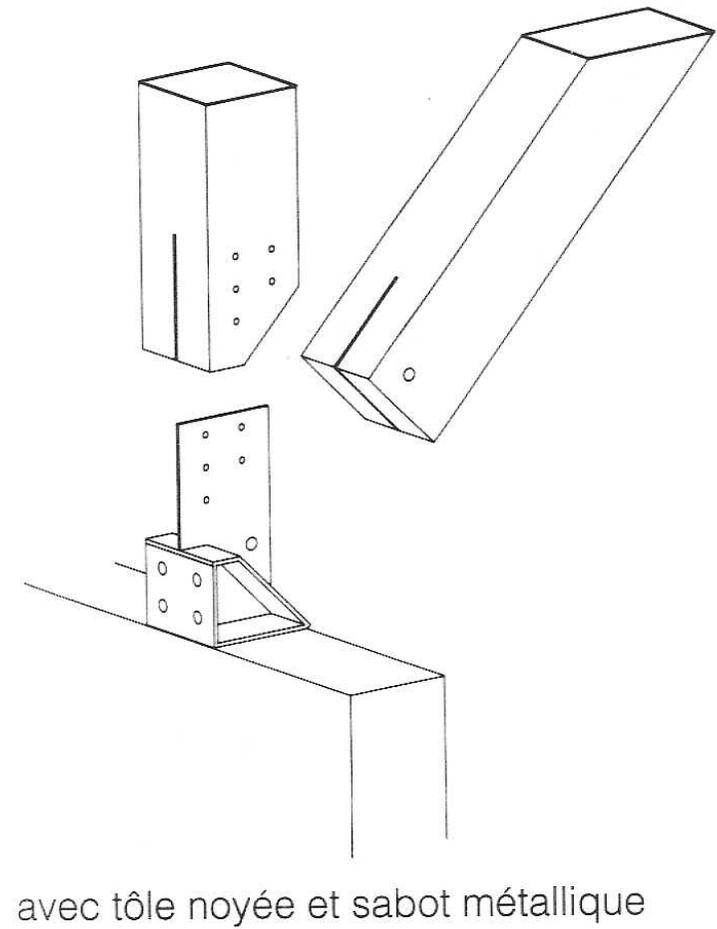
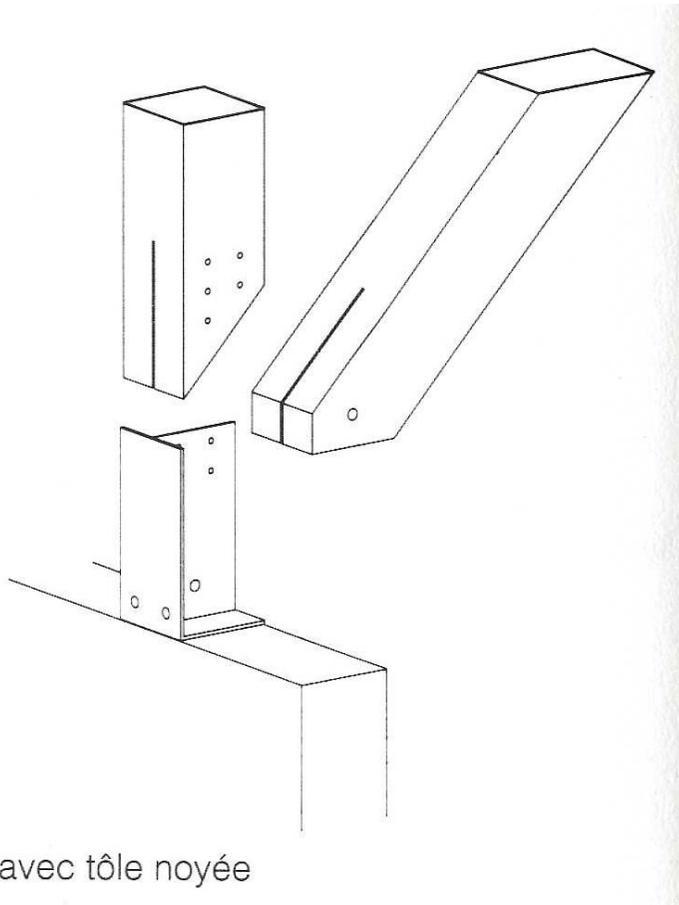
Dans le bois ( $b$ ), selon un angle  $\alpha$  par rapport au fil

# Les broches et boulons de chapentes

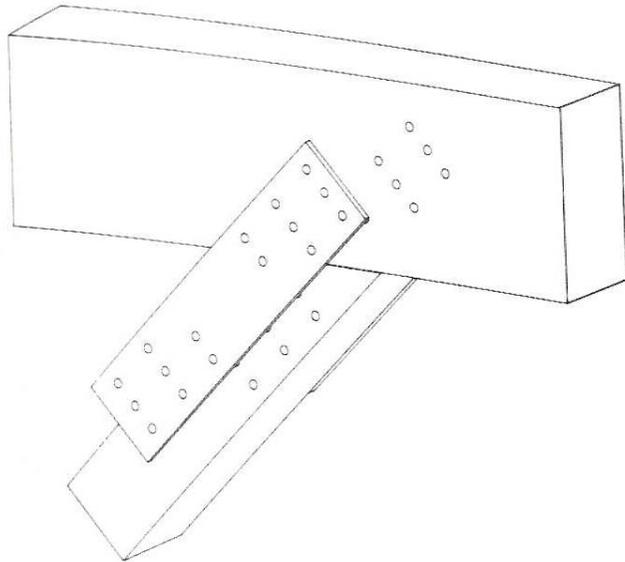
- Le principe – système BSB



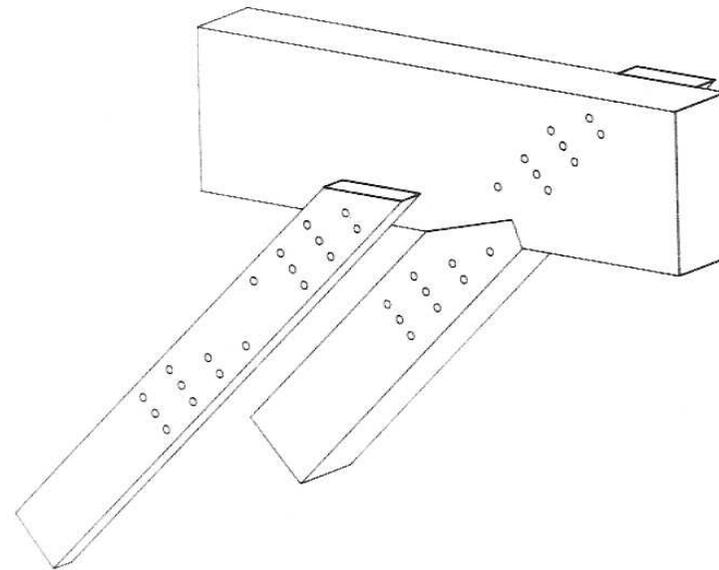
- Exemple de détails



- Exemple de détails

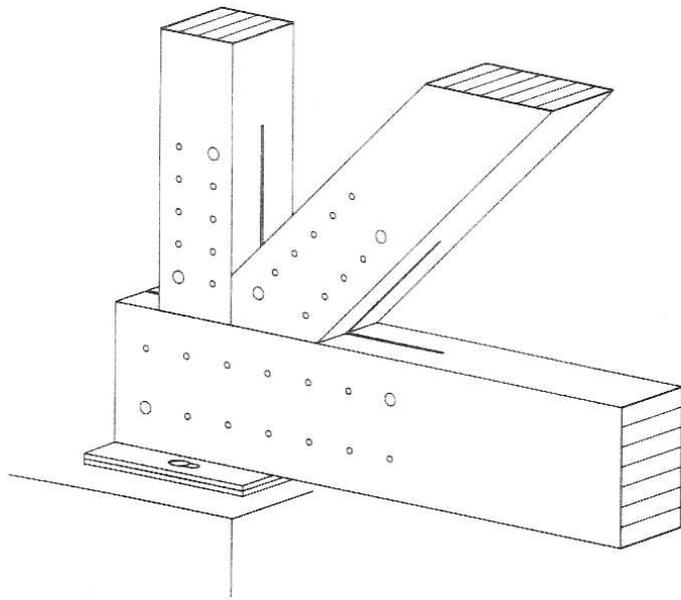


avec couvre-joints métalliques

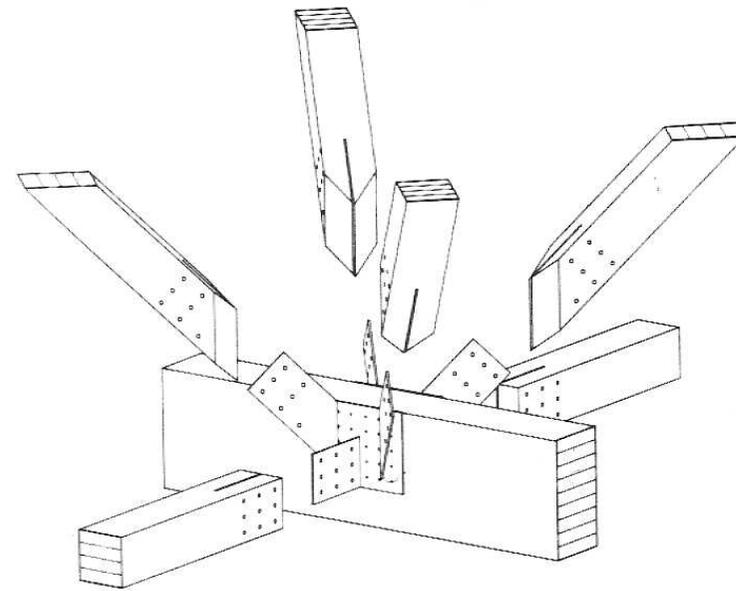


avec couvre-joints en bois et embrèvement

## ■ Exemple de détails

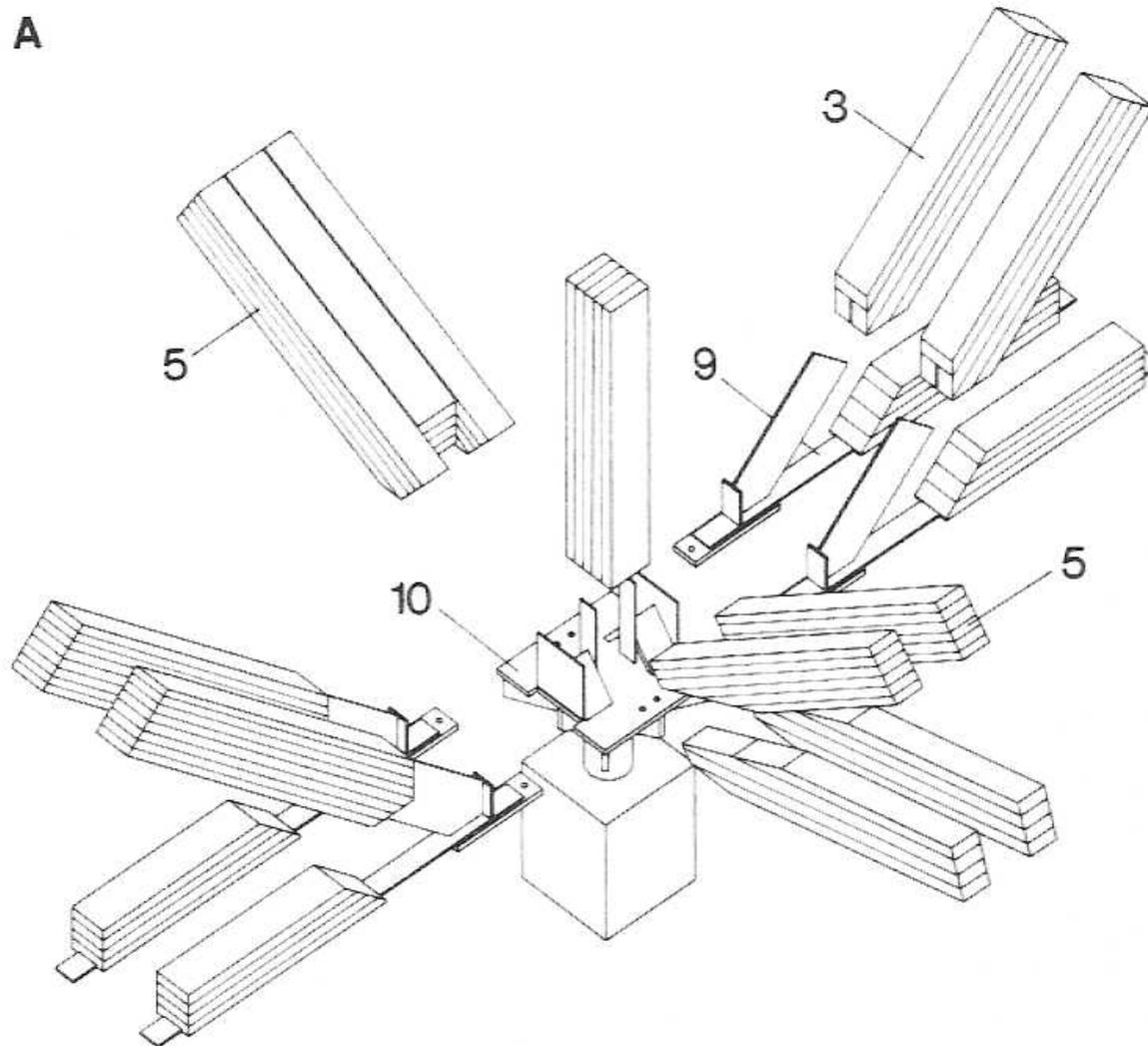


avec plaque métallique noyée et chevillée

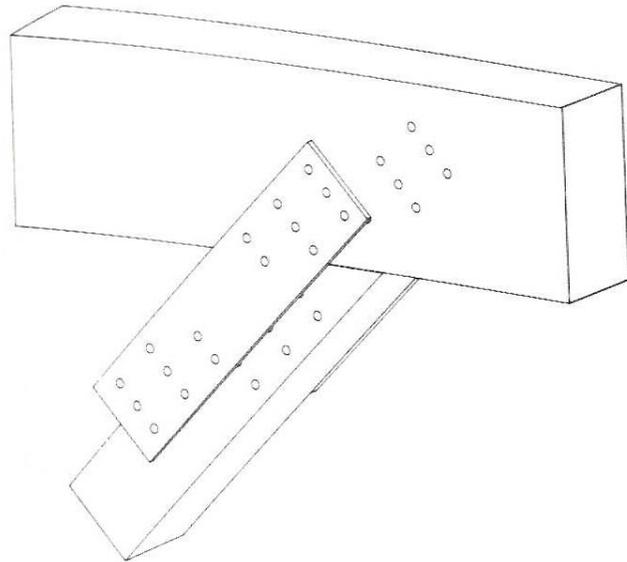


six barres fixées à une poutre principale,  
soit à angle droit, soit en diagonale

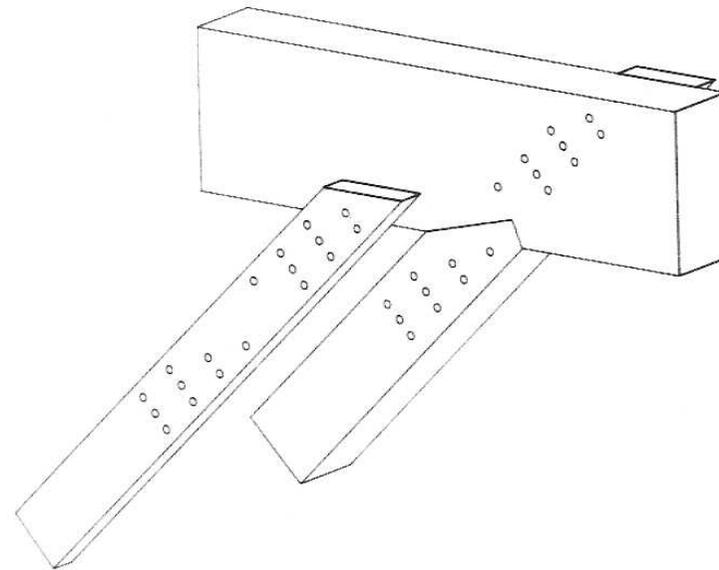
## ■ Exemple de détails



- Exemple de détails



avec couvre-joints métalliques

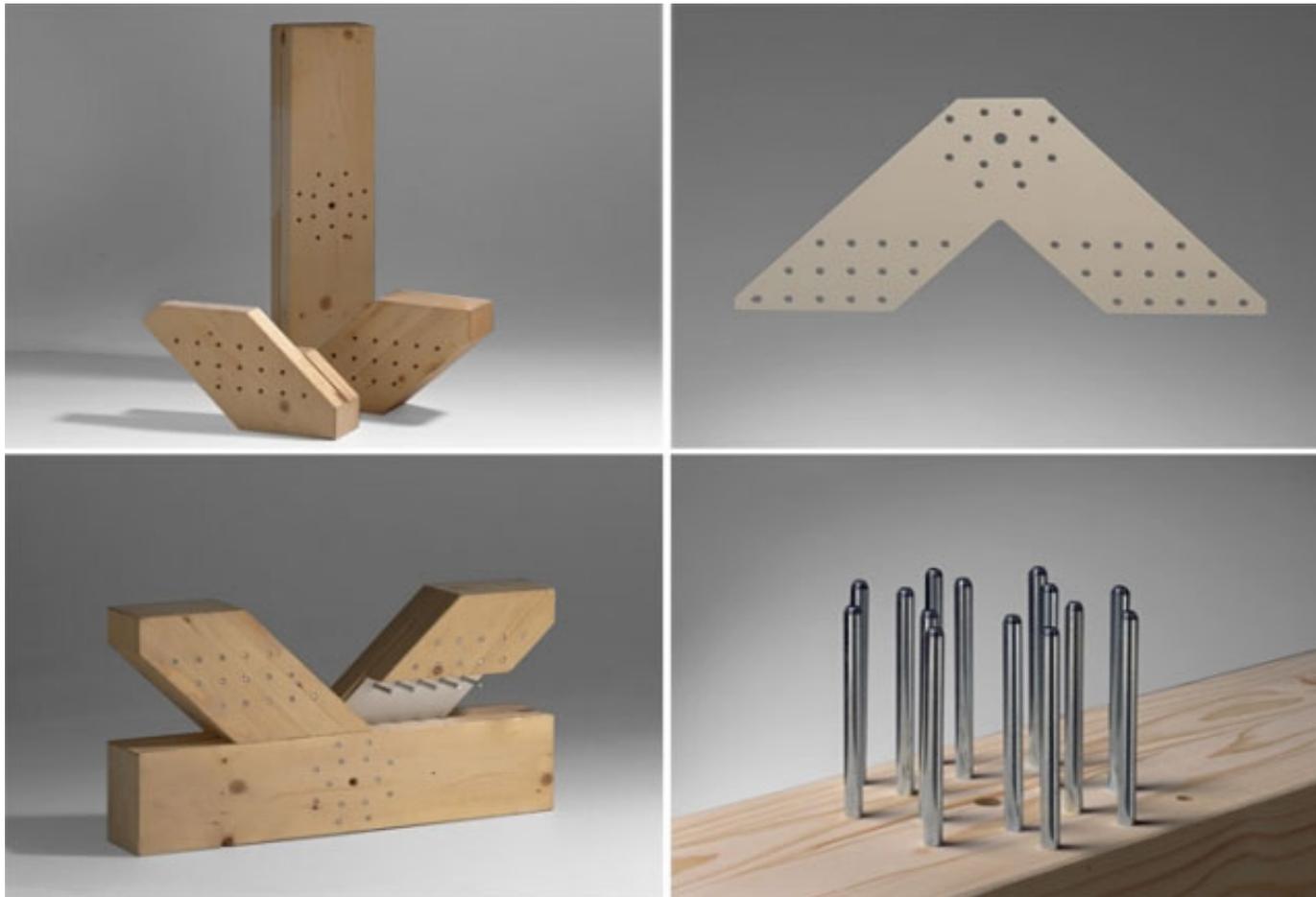


avec couvre-joints en bois et embrèvement

- BS Blumer



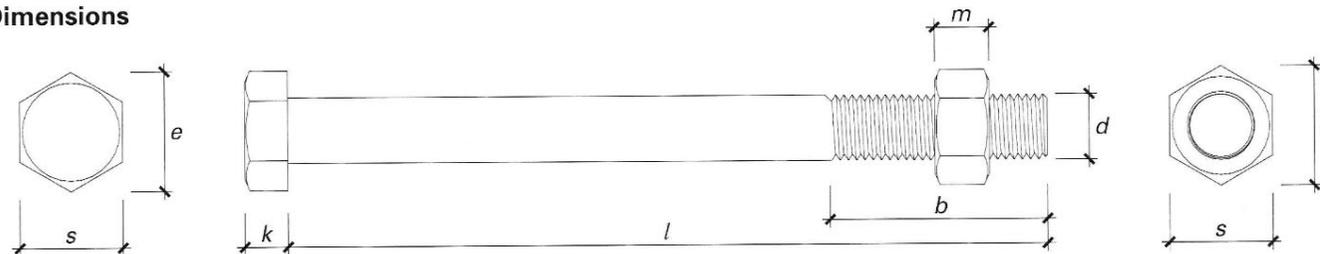
- BSB Blumer

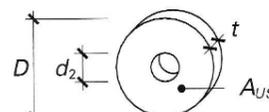
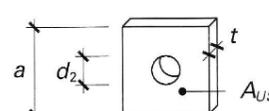


# Boulons de charpente

## ■ Dimension

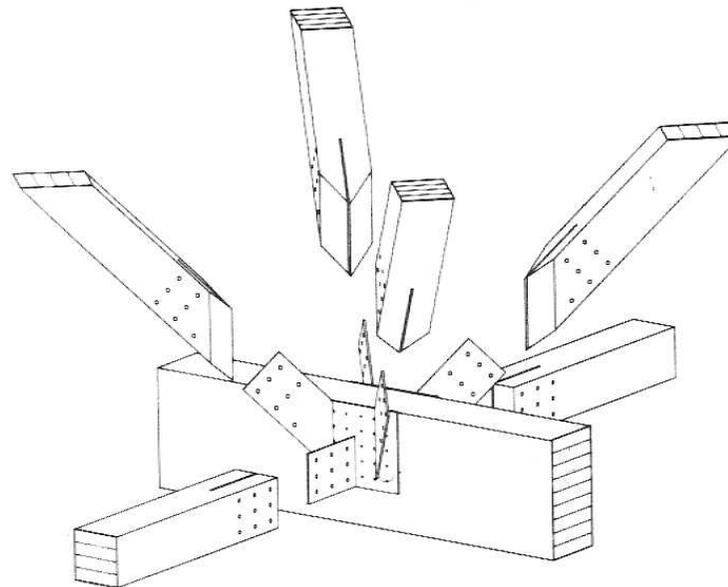
Dimensions



Diamètre nominal		$d$	M12	M16	M20	M24	
<b>Boulons</b>	$k$	mm	8	10	13	14	
	$d$	mm	12	16	20	24	
	$b$	mm	36-49	44-57	52-65	60-73	
	$s$	mm	19	24	30	32	
	$e$	mm	21,1	26,7	33,5	35,7	
<b>Ecrous</b>	$m$	mm	10	13	16	19	
	$s$	mm	19	24	30	36	
	$e$	mm	22	27	34	40	
<b>Rondelles</b> <sup>1) 2)</sup>  	$D$	mm	45	58	80	92	
	$d_2$	mm	13	17	21	25	
	$t$	mm	4	5	7	8	
	$A_{US}$	mm <sup>2</sup>	1 460	2 420	4 560	6 170	
	$a$	mm	40	60	80	-	
	$d_2$	mm	13	17	21	-	
	$A_{US}$	mm <sup>2</sup>	1 470	3 370	6 050	-	
<b>Longueurs des boulons</b>	de	$l$	mm	140	140	180	200
	à	$l$	mm	500	700	700	500
<b>Section de la tige</b>		$A$	mm <sup>2</sup>	113	201	314	452
<b>Section résistante</b>		$A_s$	mm <sup>2</sup>	84	157	245	353
<b>Résistance à la traction du boulon</b> <sup>4) 5)</sup>		$F_{t,Rd}$	kN	24,2	45,2	70,6	102
<b>Diam. max. du percement dans le bois</b> <sup>3)</sup>			mm	13	17	21	25

# Méthode de calcul

- Séparation des éléments pour le dimensionnement
  - Transmission int. et ext.



six barres fixées à une poutre principale,  
soit à angle droit, soit en diagonale

# La broche – Le boulon

- Résistance

$$R_{d,Verb} = k_{\alpha} k_{red} n_{tot} k_{\beta} \sqrt{M_{u,k} f_{h,k} d_{ef}}$$

$k_{\alpha}$ 

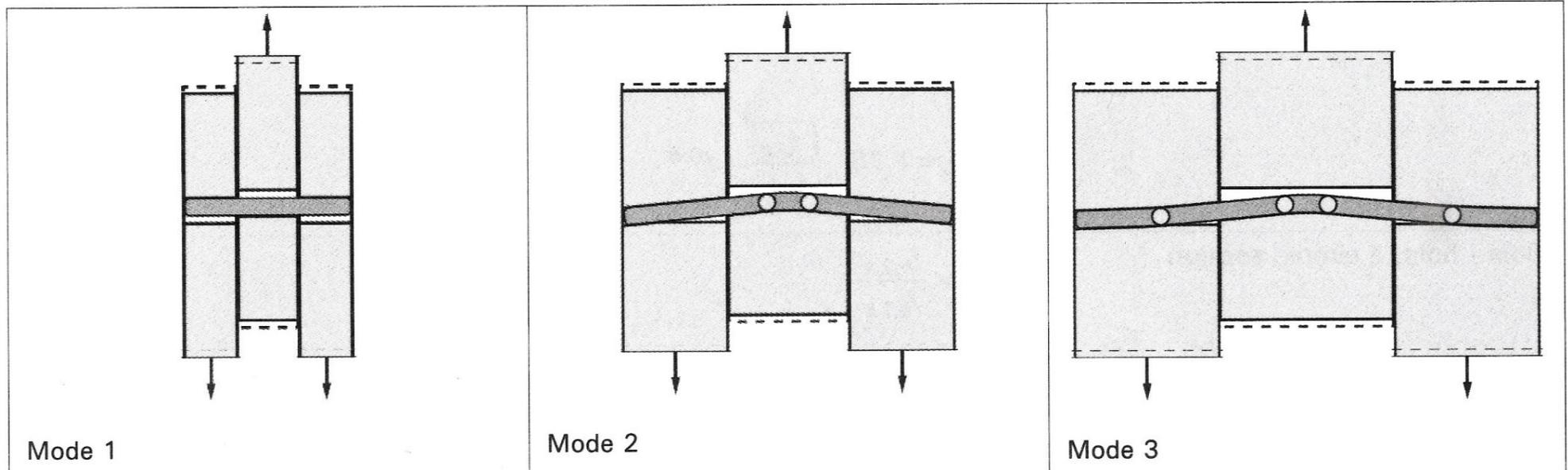
facteur auxiliaire = 0.73

$$k_{\beta}$$

facteur auxiliaire de la configuration et du rapport des résistances à la pression latérales des pièces à assembler

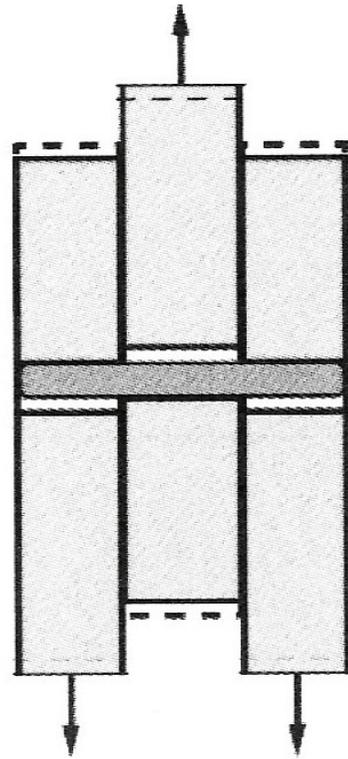
# Mode de rupture

- Mode 1 à 3



# Mode de rupture

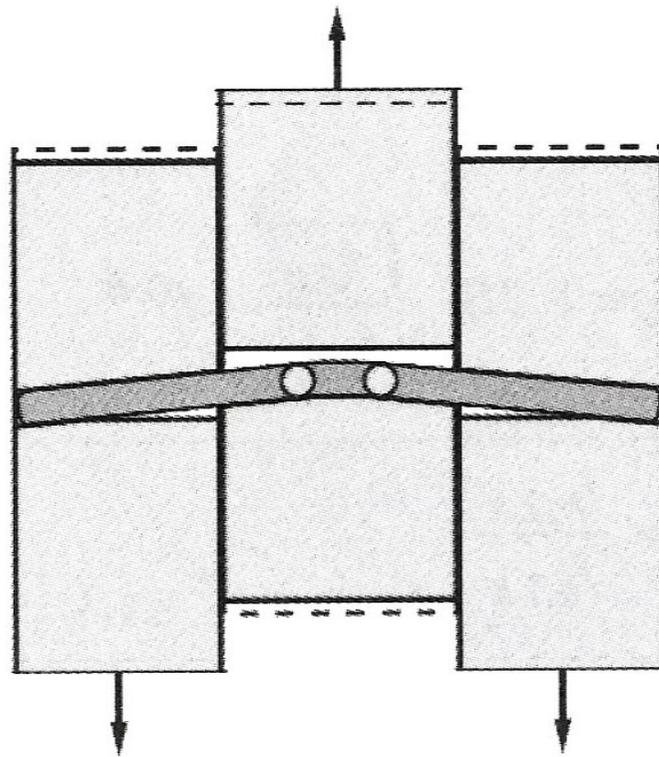
- Mode 1 - fragile



Mode 1

# Mode de rupture

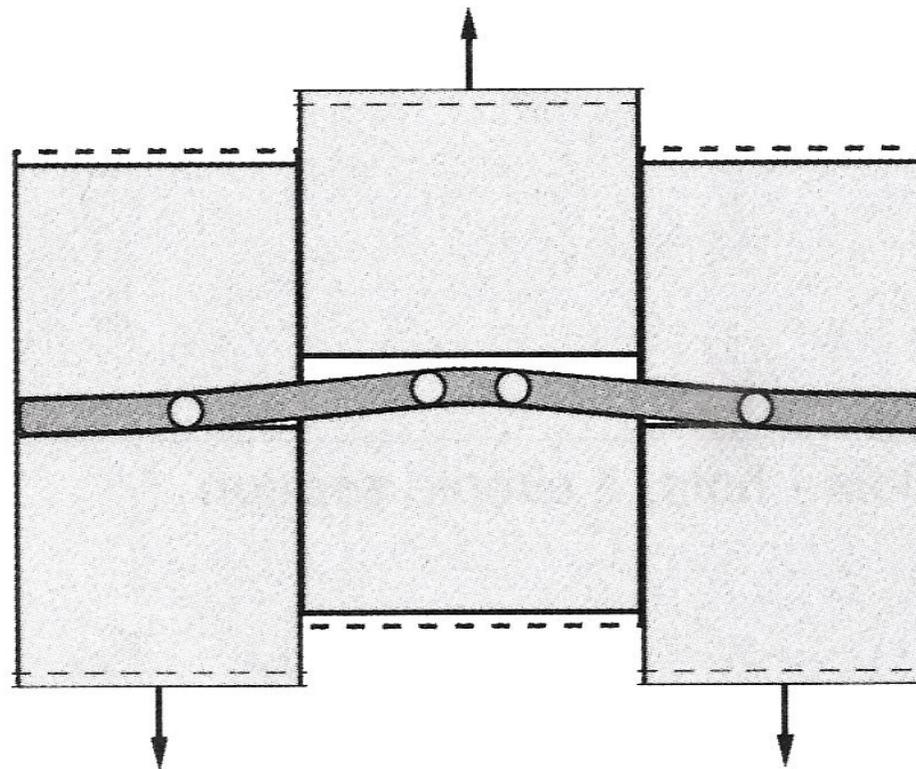
- Mode 2 - mixte



Mode 2

# Mode de rupture

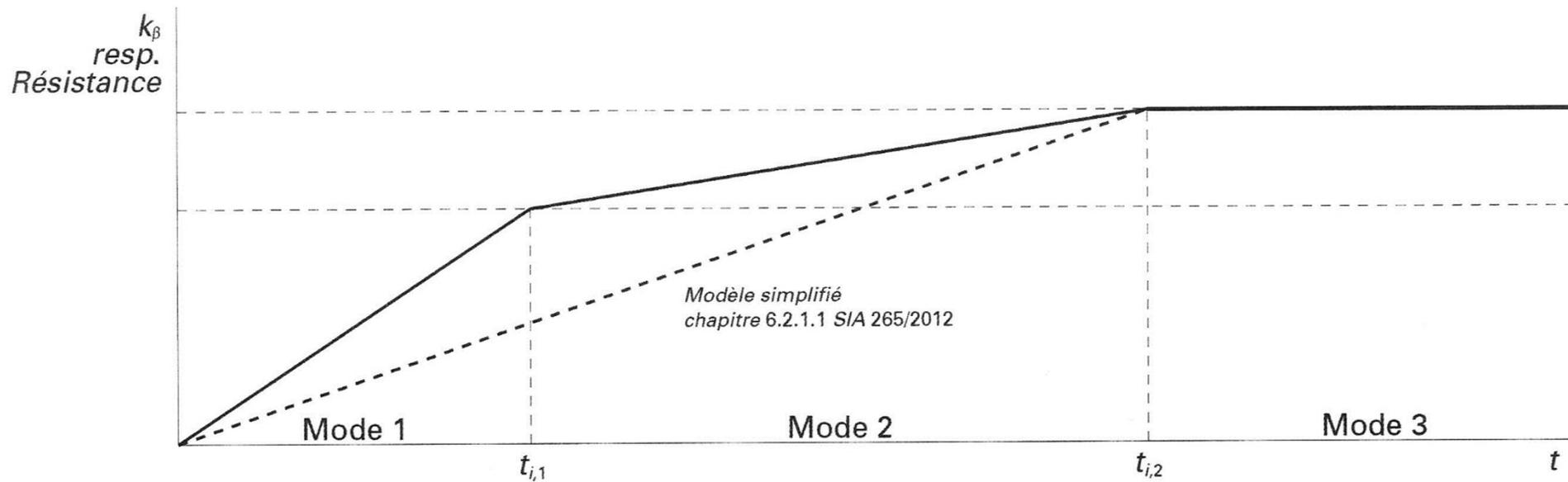
- Mode 3 - ductile



Mode 3

# Mode de rupture

- Mode 1 à 3 (graphique)



# Mode de rupture

- Illustration de la publication de M. K. W. Johansen

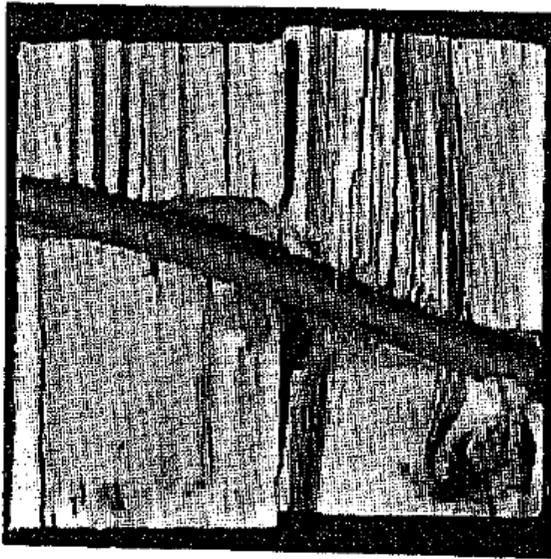


Fig. 7

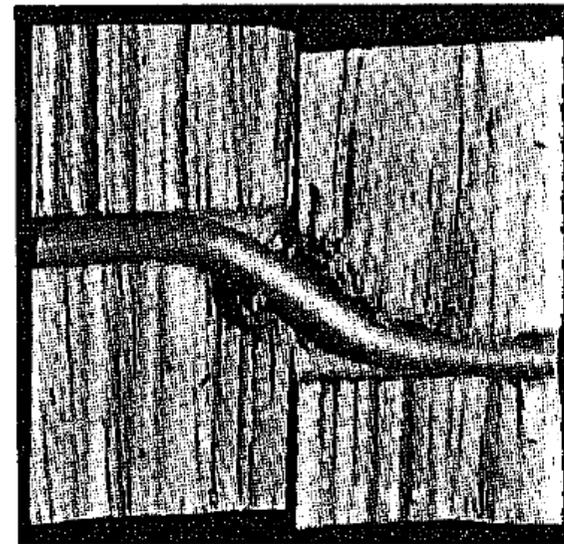
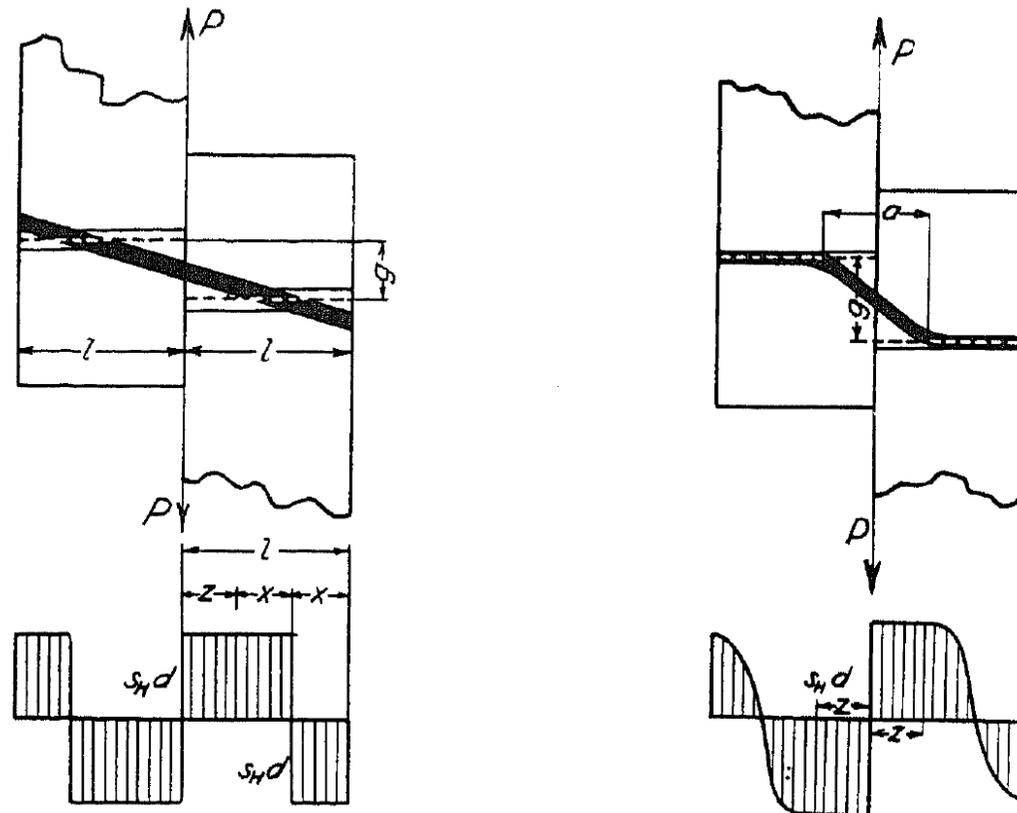


Fig. 8

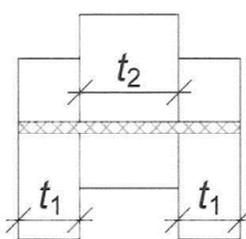
# Mode de rupture

- Répartition des contraintes sur la broche



- $k_\beta$  facteur auxiliaire de la configuration et du rapport des résistances à la pression latérales des pièces à assembler

Tableau 41: Épaisseurs de bois  $t_{1,i}$  resp.  $t_{2,i}$  et facteurs auxiliaires  $k_{\beta 1,i}$  resp.  $k_{\beta 2,i}$  correspondants (par section cisillée) pour des assemblages bois – bois ou MDB – bois

Configuration		Épaisseurs $t_{1,i}$ resp. $t_{2,i}$ <sup>1)</sup>	$k_{\beta 1,i}$ resp. $k_{\beta 2,i}$ <sup>2)</sup>	
Bois – bois, MDB – bois à double section 	$\beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$	Bois latéral $t_1$ $t_{1,1} = 0,44 \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} d^{0,8}$ $t_{1,2} = 1,26 \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} d^{0,8}$	$k_{\beta 1,1} = 0,6 \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$ $k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$	(120)
		Bois médian $t_2$ $t_{2,1} = 0$ $t_{2,2} = 2,52 \frac{1}{\sqrt{1 + \beta_f}} \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} d^{0,8}$	$k_{\beta 2,1} = 0$ $k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$	(121)

# L'acier selon SIA 263

- $F_{u,k}$  valeur caractéristique de la résistance à la traction de la broche  
**BROCHE – GL24 et cie**

Tableau 1: Valeurs caractéristiques de la limite d'élasticité  $f_y$  et de la résistance à la traction  $f_u$

Nuance d'acier	Epaisseur $t$ [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} \leq t \leq 100$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S 235	235	360	215	340
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	490
S 460	460	550	430	530

# L'acier selon SIA 263

- $F_{u,k}$  valeur caractéristique de la résistance à la traction du boulon  
**BOULONS de charpente – C24 et Cie**

Tableau 2: Limite d'élasticité  $f_{yb}$ , résistance à la traction  $f_{ub}$  et allongement minimal de rupture  $\varepsilon_u$  des boulons

Classe de résistance des boulons selon SN EN 20 898-2	4.6	4.8 <sup>1)</sup>	5.6	5.8 <sup>1)</sup>	6.8 <sup>1)</sup>	8.8	10.9
$f_{yb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	400	400	500	500	600	800	1000
Allongement minimal de rupture $\varepsilon_u$ [%]	22	14	20	10	8	12	9
1) Classes de résistance de boulons non utilisées en Suisse (allongement de rupture trop faible)							

# Ecoulement plastique

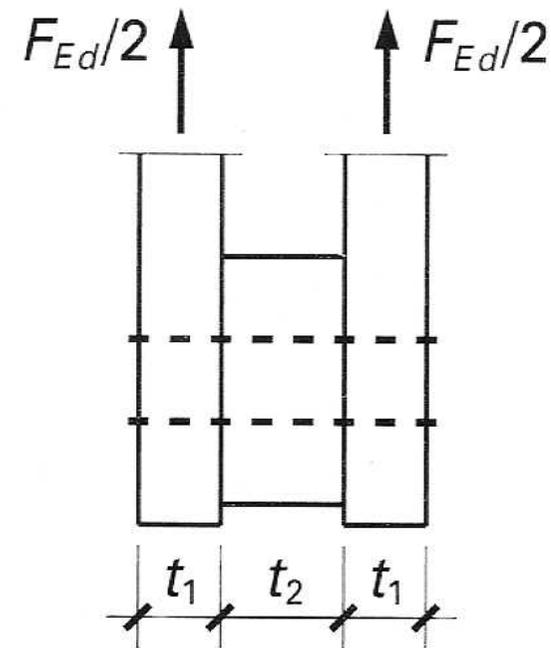
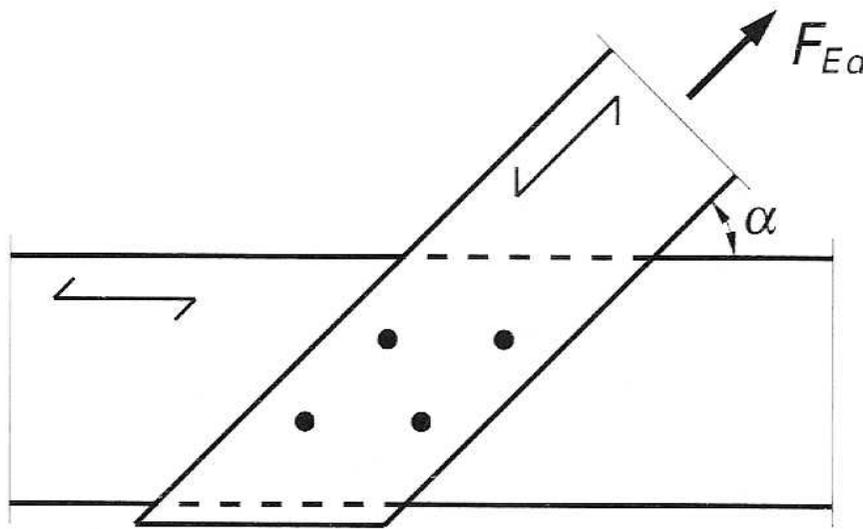
- $M_{u,k}$  Moment d'écoulement plastique vaut

$$M_{u,k} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$$

- $d$  connecteurs lisses:  $d$  = diamètre de la tige  
tiges filetées:  $d$  = moyenne entre le diamètre à fond de filet et le diamètre extérieur du filetage  
vis à bois:  $d$  = diamètre utile de calcul selon le chiffre 6.5.2.5

# Pression latérale

- $F_{hik}$  résistance à la pression latérale du bois



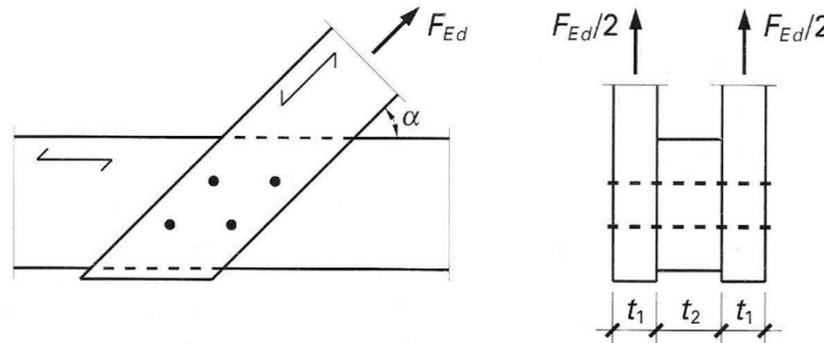
# Pression latérale

- $F_{h,i,k}$  résistance à la pression latérale

Matériau	Perçage	Sollicitation <sup>1)</sup>	
		parallèle au fil $f_{h,0,k}$	perpendiculaire au fil $f_{h,90,k}$
Résineux : massif et BLC	Prépercé	$0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$	$\frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 \cdot d}$
Feuillus : massif et BLC	Prépercé	$0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$	$\frac{f_{h,0,k}}{0.90 + 0.015 \cdot d}$

<sup>1)</sup> Pour un effort biais par rapport au fil, on peut interpoler linéairement.

$f_{h,k}$  : Résistance caractéristique de la pression latérale en N/mm<sup>2</sup>



# Pression latérale

- Rapport des résistances à la pression latérale

$$\beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

# Coefficient de réduction

- $k_{red}$  Facteur de réduction pour plusieurs assemblage alignés parallèlement au fil

$$k_{red} = n^{-0,1} \sqrt[4]{\frac{a_1}{10d}} \frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ} + \frac{\alpha}{90^\circ} \quad \text{cependant } k_{red} \leq 1,0$$

$n$  nombre de connecteurs alignés parallèlement au fil

$a_1$  espacement entre connecteurs parallèlement au fil

$d$  diamètre du connecteur

$\alpha$  angle en degrés entre l'effort et le fil.

# Diamètre du connecteur

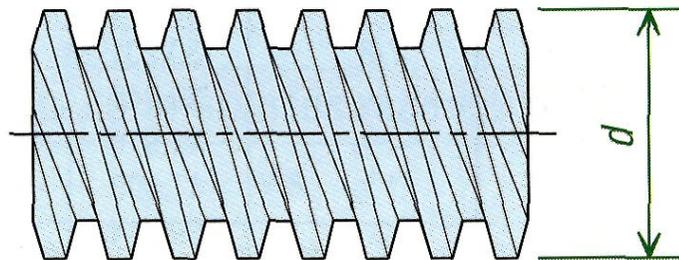
- $d$  diamètre de la broche – du boulon – de la tige filetée



- $d$  connecteurs lisses:  $d$  = diamètre de la tige  
tiges filetées:  $d$  = moyenne entre le diamètre à fond de filet et le diamètre extérieur du filetage  
vis à bois:  $d$  = diamètre utile de calcul selon le chiffre 6.5.2.5

# Diamètre du connecteur

- Tige filetée  $d = d - 1 \text{ mm}$



# La broche

- Résistance de la broche

$$R_{d,Verb} = k_{\alpha} k_{red} n_{tot} k_{\beta} \sqrt{M_{u,k} f_{h,k} d_{ef}}$$

# Les broches

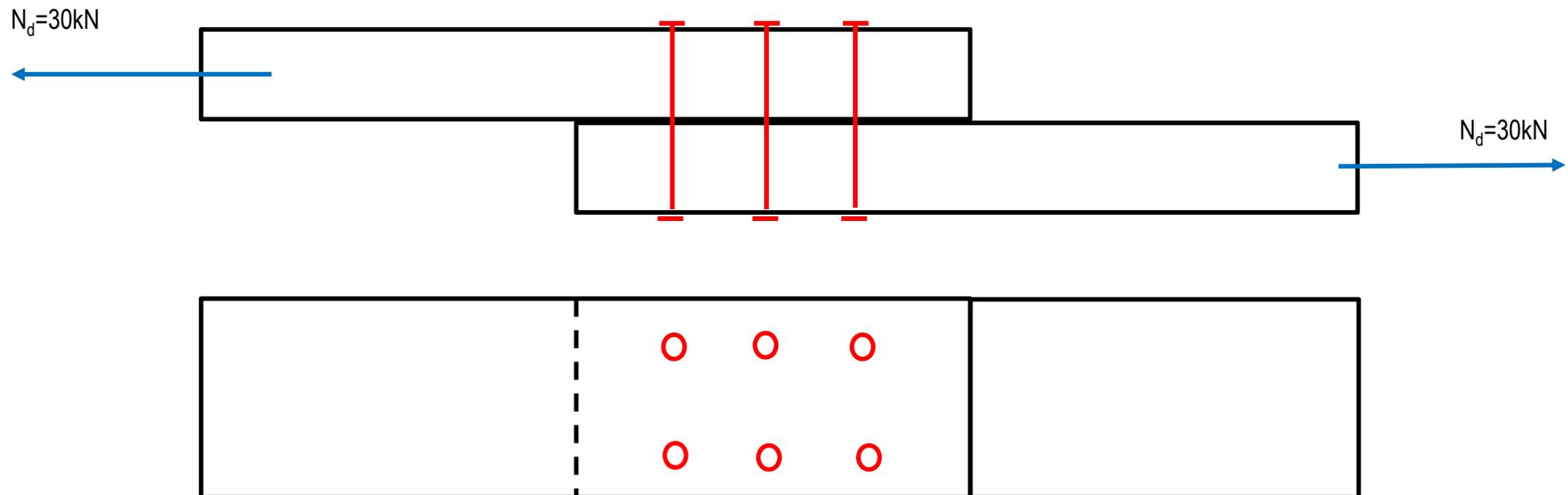
- Distance

Tableau 20: Espacements minimaux des broches

Espacements minimaux	au fil	⊥ au fil
distance entre les broches	$7d$	$3d$
distance au bord chargé	$7d$ (min. 80 mm)	$4d$
distance au bord non chargé	$5d$	$3d$

# Exemple

- Joint par recouvrement  $N_d = 30\text{kN}$
- La hauteur de la pièce fait 200 mm, épaisseur 40mm



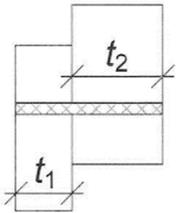
# La broche

- Résistance de la broche

$$R_{d,Verb} = k_{\alpha} k_{red} n_{tot} k_{\beta} \sqrt{M_{u,k} f_{h,k} d_{ef}}$$

# Tab 41 Annexe A ; SIA 265

Bois – bois,  
MDB – bois  
à simple section



$$\beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Bois li:

$$t_{1,2} = 1,26 \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$$

(124)

Bois latéral  $t_2$

$$t_{2,1} = 0,44 \left( \sqrt{\frac{1}{1 + \beta_f}} + 1 \right) \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 2,1} = 0,6 \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$$

$$t_{2,2} = 1,26 \left( \sqrt{\frac{1}{1 + \beta_f}} + 1 \right) \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4\beta_f}{1 + \beta_f}}$$

(125)

pour  $\beta_f = 1$

Bois latéral  $t_1$

$$t_{1,1} = 0,75 \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 1,1} = 0,6\sqrt{2}$$

$$t_{1,2} = 2,15 \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 1,2} = \sqrt{2}$$

(126)

Bois latéral  $t_2$

$$t_{2,1} = 0,75 \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 2,1} = 0,6\sqrt{2}$$

$$t_{2,2} = 2,15 \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} d^{0,8}$$

$$k_{\beta 2,2} = \sqrt{2}$$

(127)

- 1) Note: les épaisseurs de bois  $t_{1,2}$  resp.  $t_{2,2}$  correspondent aux épaisseurs de bois requises  $t_{1,erf}$  resp.  $t_{2,erf}$  du tableau 19.
- 2) Pour des épaisseurs de bois plus faibles et des valeurs intermédiaires, on interpolera linéairement les facteurs auxiliaires  $k_{\beta 1}$  resp.  $k_{\beta 2}$ , voir figure 41.

# Exemple

■  $k_{red}$

Tableau 17: Coefficient de réduction  $k_{red}$  pour un angle  $\alpha = 0^\circ$  entre l'effort et la direction du fil

Espacement $a_1$ des connecteurs parallèlement au fil	Nombre $n$ de connecteurs alignés parallèlement au fil						
	1	2	3	4	5	10	15
$7d$	1,0	0,85	0,82	0,80	0,78	0,73	0,70
$8d$	1,0	0,88	0,85	0,82	0,81	0,75	0,72
$10d$	1,0	0,93	0,90	0,87	0,85	0,79	0,76
$12d$	1,0	0,98	0,94	0,91	0,89	0,83	0,80

# Exemple

- Espacement minimaux Tab. 20 p. 62

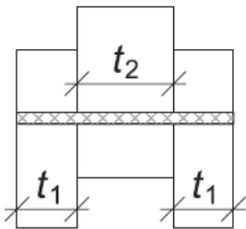
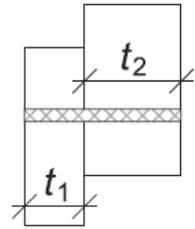
Tableau 20: Espacements minimaux des broches

Espacements minimaux	au fil	⊥ au fil
distance entre les broches	$7d$	$3d$
distance au bord chargé	$7d$ (min. 80 mm)	$4d$
distance au bord non chargé	$5d$	$3d$

# Résistance des broches

- Ancienne norme 265 – 2003 (Annexe A.1)

Tableau 38: Épaisseurs de bois et valeurs de calcul de la résistance par section cisailée, pour  $\eta_w = 1,0$  et  $\eta_t = 1,0$

Configuration		Parallèle aux fibres		Perpendiculaire aux fibres		
Bois / Bois		$t_1 \geq 0,67 t_2$	$t_2 = 5,3 d$ $R_d = 58 d^{1,7}$ $t_2 = 9,4 d$ $R_d = 77 d^{1,7}$	$t_2 = 6,7 d$ $R_d = 40 d^{1,7}$ $t_2 = 11,8 d$ $R_d = 53 d^{1,7}$	(115) <sup>1)</sup>	
		$\beta_t = \frac{t_2}{t_1}$ $1 \leq \beta_t \leq 2$	$t_2 = 4,8 \beta_t^{0,25} d$ $R_d = 48 d^{1,7}$ $t_2 = 6,3 \beta_t d$ $R_d = 77 d^{1,7}$	$t_2 = 6,0 \beta_t^{0,25} d$ $R_d = 34 d^{1,7}$ $t_2 = 7,8 \beta_t d$ $R_d = 53 d^{1,7}$	(116) <sup>1)</sup>	

# Résistance des broches

- Ancienne norme 265 – 2003 (Annexe A.1)

Tableau 18: Facteur de réduction  $k_{red}$

$n$	1	2	3...5	6...10
$k_{red}$	1	0,89	0,84	0,75

# Table de construction en bois

- Tabelle attention aux hypothèse de base p. 94

## Conditions

- Bois massif de classe de résistance C24 ou supérieure
- Bois lamellé-collé de classe de résistance GL24k ou supérieure
- La teneur en eau du bois lors du façonnage ne doit pas s'écarter de  $\pm 5\%$  de la valeur d'équilibre moyenne prévue en service.
- Boulons perpendiculaires au fil
- Respect des espacements minimaux, voir page 86
- Boulons selon SN EN 14592, en acier de classe de résistance 4.6 (résistance à la traction min.  $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$ )

# Table de construction en bois

- Table attention aux hypothèse de base p. 90

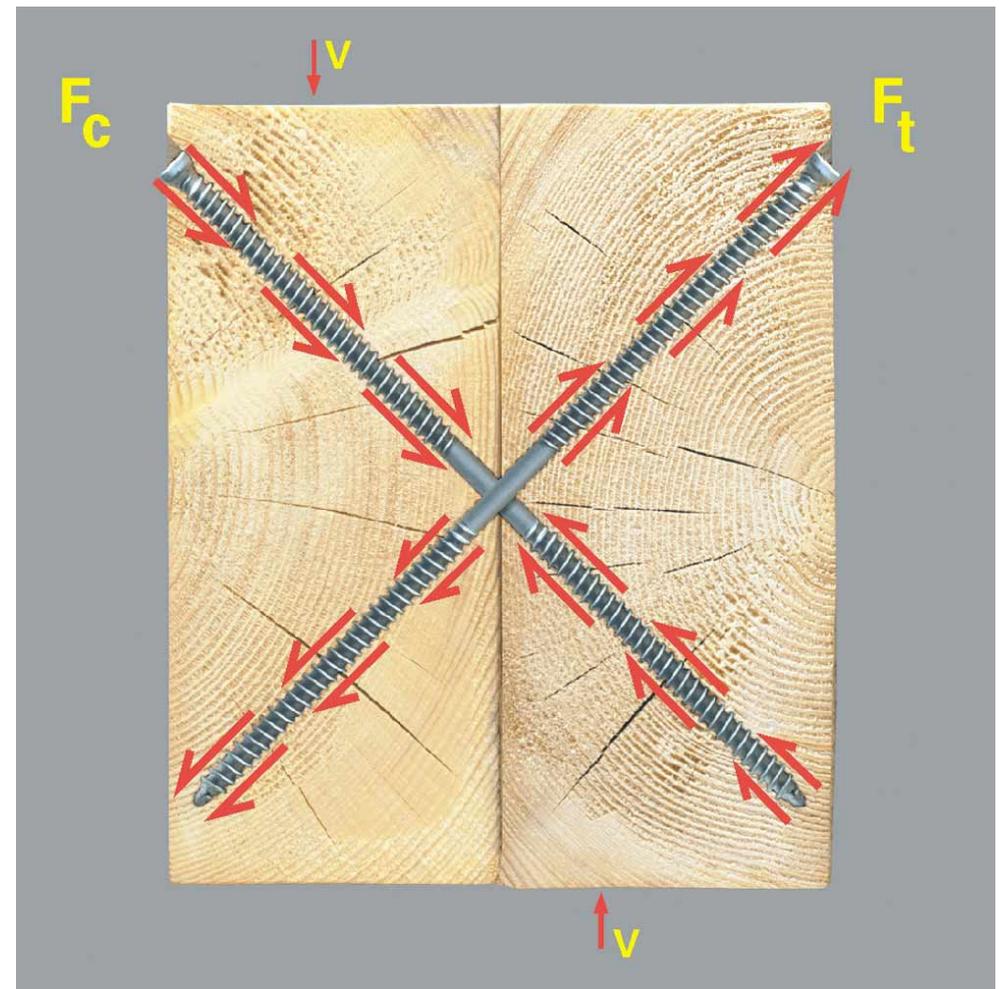
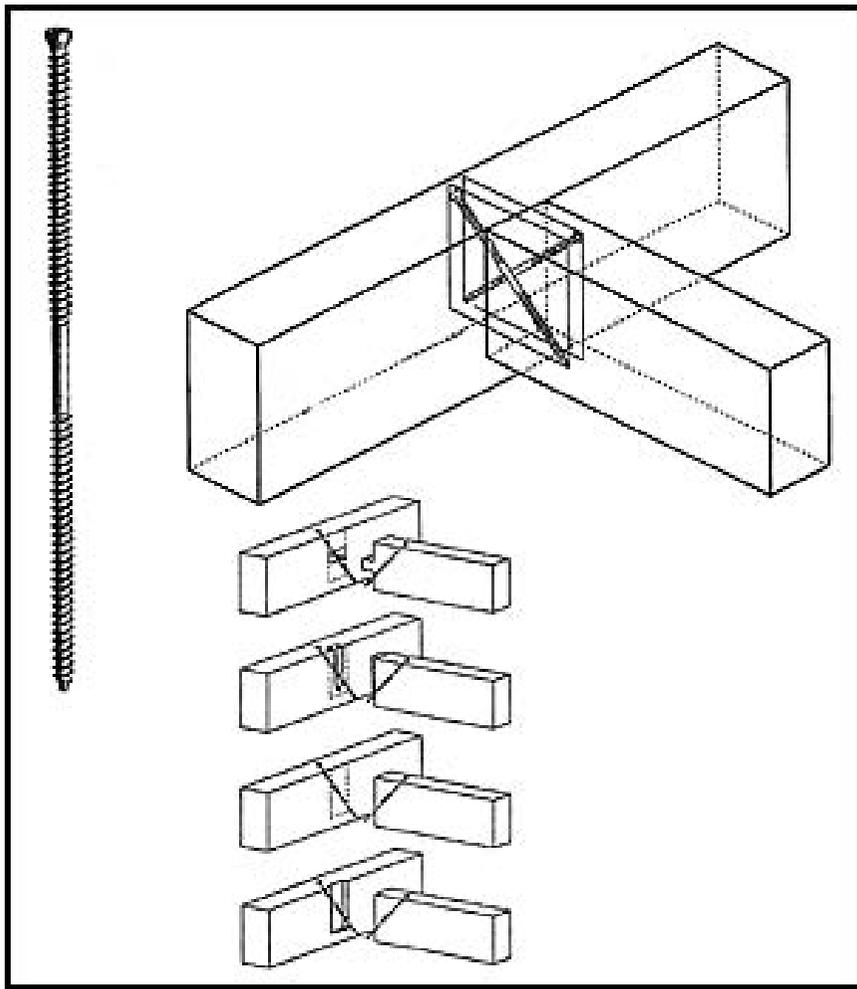
## Conditions

- Bois lamellé-collé de classe de résistance GL24h ou supérieure
- Broches perpendiculaires au fil
- Respect des espacements minimaux, voir page 86
- Broches selon SN EN 14592, en acier de résistance à la traction min.  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (nuance d'acier S355)

# Exercice

- Commentaires
  - Attention à décortiquer l'assemblage
  - Chaque pièce

- Assemblage SFS WT



# EXAMEN

Provisoire

- Matériel: Table de construction en bois  
Norme SIA 265 et autres annotées  
feuille manuscrite et photocopie (**pas d'exercice**)  
2 feuilles recto-verso // 4 pages

Interdit

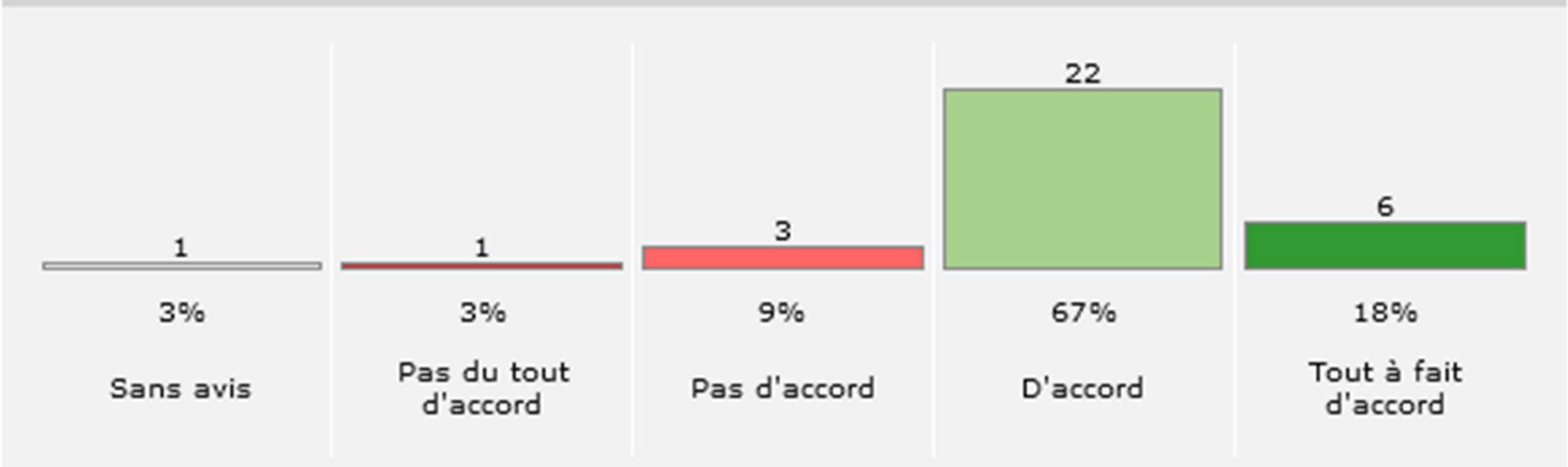


- **Date:** jeudi 25.01.2022 de 15h15 à 18h15
- **Lieu:** CM 1 121

# Evaluation

<b>Année</b>	2023-2024
<b>Matière</b>	Dimensionnement des constructions en bois
<b>Questionnaire</b>	 Retour indicatif des enseignements (dès 2022-2023)
<b>Nb Inscrit</b>	47
<b>Nb Répondu</b>	33

## Le déroulement du cours permet ma formation et un climat de classe approprié



- Commentaires:
  - En revanche, mettre à jour les slides serait parfait.
  - Aussi j aimerais bien qu on aie les pages de la normes sia pour savoir ensuite comment l'utiliser.
  - les séries ne sont pas très précises dans la consigne ce qui fait qu'on a l'impression qu'il manque des informations
  - Propositions d'aller un peu plus vite sur la théorie pour laisser plus de temps (1h15 1h20) pour faire les exercices