

# Charpentes

**Assemblages mécaniques de types  
tiges**

# Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)

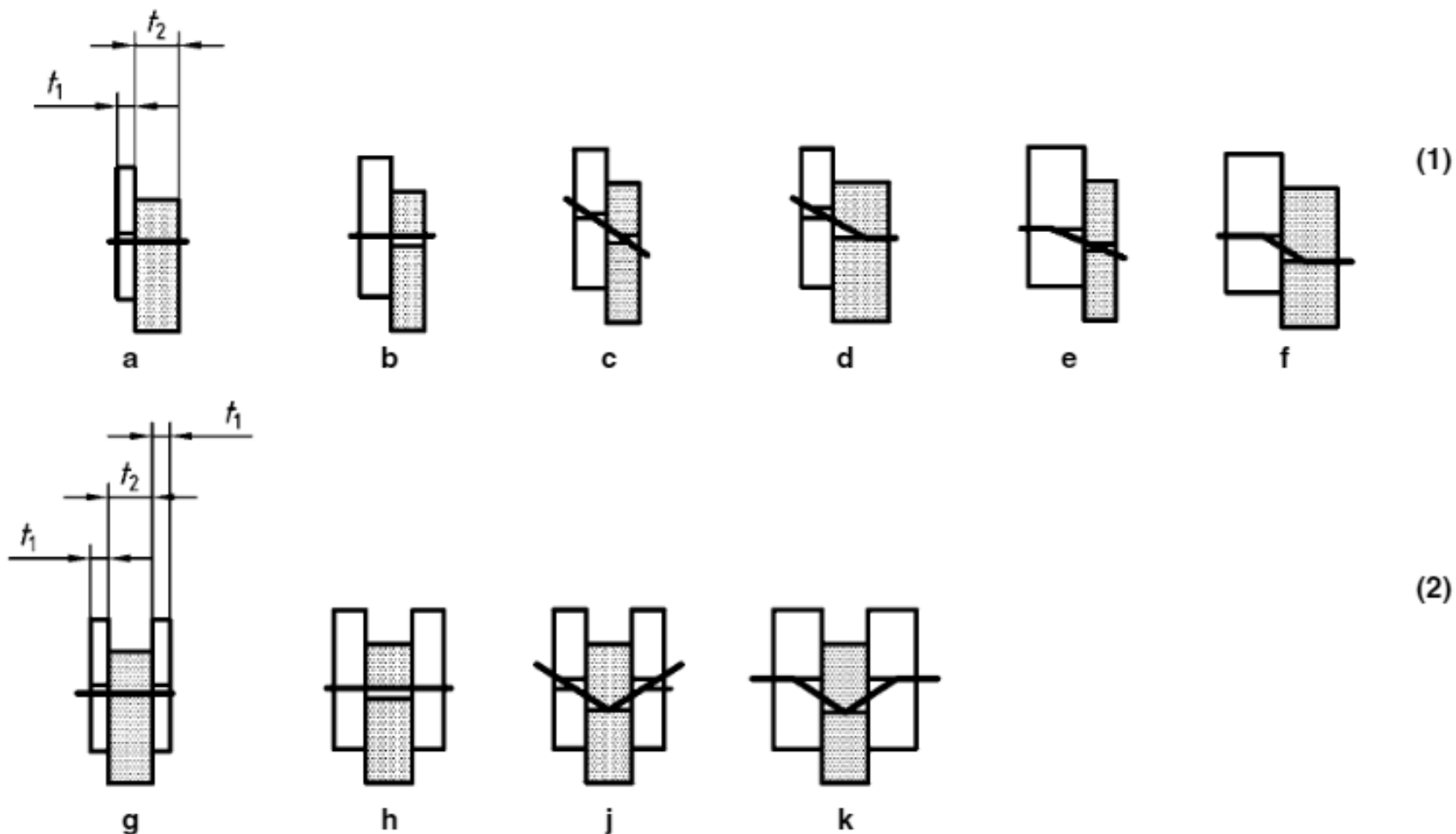
## EC5 – partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour bâtiments

(1)P À l'exception de règles spécifiques données ci-dessous, la valeur caractéristique de la capacité résistante, ainsi que la rigidité des assemblages doivent être déterminées par essais conformément à EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 et EN 28970. Si les normes appropriées décrivent des essais de traction et de compression, les essais utilisés pour la détermination de la valeur caractéristique de la capacité résistante doivent être réalisés en traction.

L'EC5 permet le dimensionnement des assemblages

- traditionnels (contact bois-bois)
- mécaniques de type tiges (pointes, agrafes, boulons, boches, tire-fonds)
- mécaniques par plaques métalliques embouties
- mécaniques par crampons

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)



Clé :

(1) Simple cisaillement

(2) Double cisaillement

NOTE Les lettres correspondent aux références des équations (8.7) et (8.8).

Figure 8.2 — Modes de rupture pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)

Calcul de la capacité résistante des organes de type tiges

### 8.2.2 Assemblages bois-bois et bois-panneaux

(1) Il convient de déterminer la valeur caractéristique de la capacité résistante des pointes, agrafes, boulons, broches et tire-fonds par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimum spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :

— Pour les organes en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right. \quad \dots (8.6)$$

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)

— Pour les organes en double cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \quad \dots (8.7)$$

avec :

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad \dots (8.8)$$

où :

$F_{v,Rk}$  est la valeur caractéristique de la capacité résistante par plan de cisaillement et par organe ;

$t_i$  est l'épaisseur du bois ou du panneau ou la hauteur de pénétration, avec  $i = 1$  ou  $2$ , voir également 8.3 à 8.7 ;

$f_{h,i,k}$  est la valeur caractéristique de la portance locale de l'élément en bois  $i$  ;

$d$  est le diamètre de l'organe ;

$M_{y,Rk}$  est la valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique de l'organe ;

$\beta$  est un rapport entre les portances locales des éléments ;

$F_{ax,Rk}$  est la valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial de l'organe, voir (2).

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)

(2) Dans les équations (8.6) et (8.7) ci-dessus, le premier terme de la partie droite est la capacité résistante conformément à la théorie de Johansen, alors que le second terme  $F_{ax,Rk}/4$  est la contribution de l'effet de corde. Il convient que la contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde soit limitée aux pourcentages suivants de la partie de Johansen :

— Pointes de section circulaire	15 %
— Pointes de section carrée	25 %
— Autres pointes	50 %
— Tirrefonds	100 %
— Boulons	25 %
— Broches	0 %

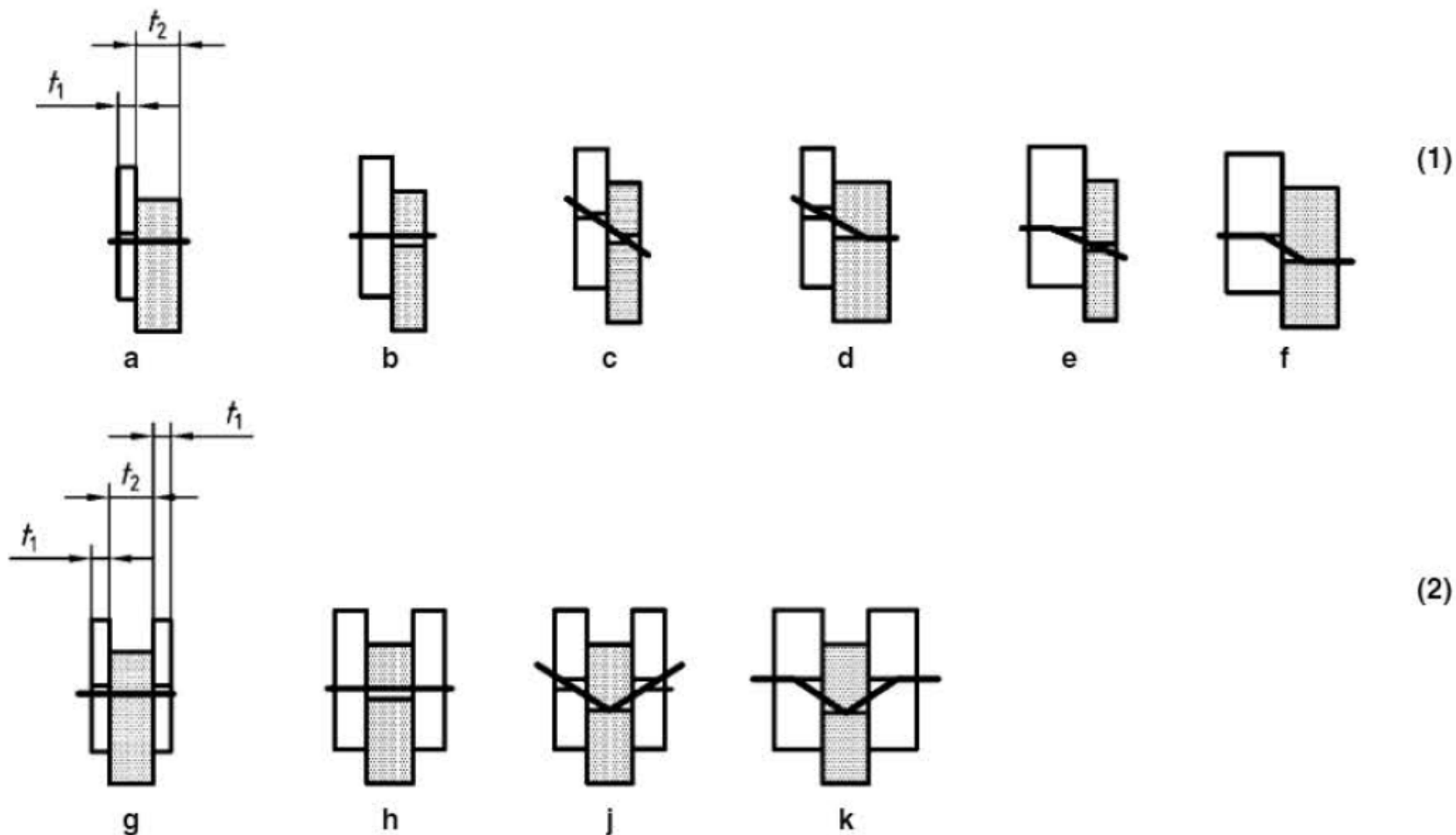
Si  $F_{ax,Rk}$  n'est pas connu, il convient alors de prendre la contribution de l'effet de corde égale à zéro.

Pour des organes en simple cisaillement, la valeur caractéristique de la capacité résistante à l'arrachement,  $F_{ax,Rk}$ , est prise comme la valeur minimale des deux éléments. Les différents modes de rupture sont illustrés en **Figure 8.2**. Pour la capacité à l'arrachement,  $F_{ax,Rk}$ , des boulons, il est possible de prendre la résistance conférée par les rondelles.

(3) En l'absence de règles de calcul spécifiées ci-dessous, il convient de déterminer la valeur caractéristique de la portance locale  $f_{h,k}$  conformément à EN 383 et EN 14358.

(4) En l'absence de règles de calcul spécifiées ci-dessous, il convient de déterminer la valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique  $M_{y,Rk}$  conformément à EN 409 et EN 14358.

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux)



Clé :

- (1) Simple cisaillement
- (2) Double cisaillement

NOTE Les lettres correspondent aux références des équations (8.7) et (8.8).

Figure 8.2 — Modes de rupture pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux



# Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

## 8.3 Assemblages par pointes

### 8.3.1 Pointes chargées latéralement

#### 8.3.1.1 Généralités

(1) Les symboles pour les épaisseurs dans le cas des assemblages à simple et double cisaillements (voir **Figure 8.4**) sont définis comme suit :

$t_1$  est :

- l'épaisseur de bois du côté de la tête dans un assemblage en simple cisaillement ;
- la valeur minimale entre l'épaisseur de bois du côté de la tête et la pénétration du côté de la pointe dans un assemblage en double cisaillement ;

$t_2$  est :

- la pénétration du côté de la pointe dans un assemblage en simple cisaillement ;
- l'épaisseur de l'élément central dans un assemblage en double cisaillement.

(2) Il convient de pré-percer le bois lorsque :

- la masse volumique caractéristique du bois est supérieure ou égale à  $500 \text{ kg/m}^3$  ;
- le diamètre  $d$  de la pointe est supérieur à 8 mm.

(3)P Pour les pointes de section carrée, le diamètre de la pointe  $d$  doit être pris égal à la dimension du côté.

(4) Pour les pointes lisses ordinaires fabriquées à partir d'un fil d'acier dont la résistance en traction est supérieure ou égale à  $600 \text{ N/mm}^2$ , il convient d'utiliser les valeurs caractéristiques suivantes pour le moment d'écoulement plastique :

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3f_u d^{2,6} & \text{pour pointes de section circulaire} \\ 0,45f_u d^{2,6} & \text{pour pointes de section carrée} \end{cases} \quad \dots (8.14)$$



## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

où :

$M_{y,Rk}$  est la valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique, en Nmm ;

$d$  est le diamètre de la pointe tel que défini dans EN 14592, en mm ;

$f_u$  est la résistance en traction du fil d'acier, en N/mm<sup>2</sup>.

(5) Pour les pointes dont le diamètre est inférieur ou égal à 8 mm, il convient d'utiliser les valeurs caractéristiques suivantes pour la portance locale du bois et du LVL :

— sans pré-perçage :

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{N/mm}^2 \quad \dots (8.15)$$

— avec pré-perçage :

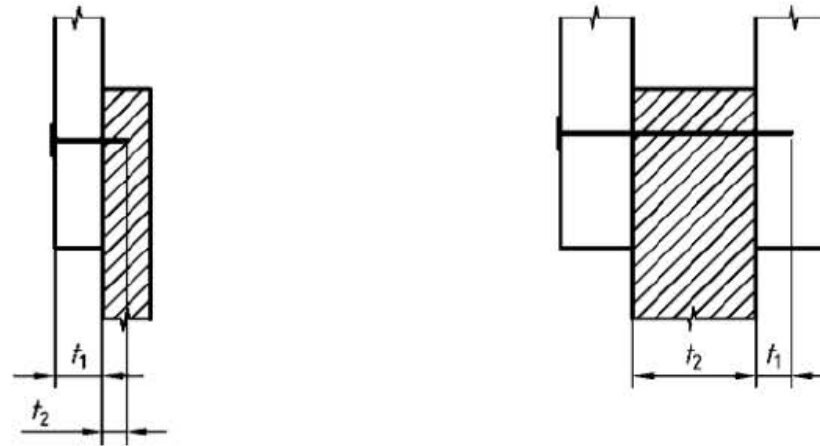
$$f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01 d) \rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad \dots (8.16)$$

où :

$\rho_k$  est la masse volumique caractéristique du bois, en kg/m<sup>3</sup> ;

$d$  est le diamètre de la pointe, en mm.

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)



(a) Assemblage en simple cisaillement (b) Assemblage en double cisaillement

Figure 8.4 — Définitions de  $t_1$  et  $t_2$

(6) Pour les pointes dont le diamètre est supérieur à 8 mm, les valeurs caractéristiques de la portance locale données pour les boulons conformément à 8.5.1 s'appliquent.

(7) Dans un assemblage à trois éléments, les pointes peuvent être enfoncées sans avant-trous et se superposer dans l'élément central sous condition que  $(t - t_2)$  soit supérieur à  $4d$  (voir Figure 8.5).

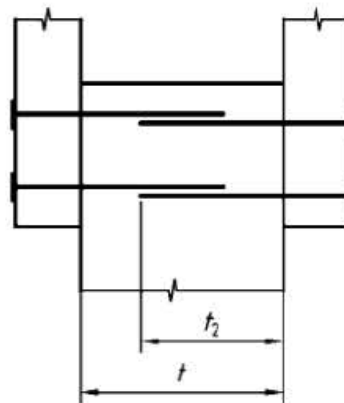


Figure 8.5 — Pointes à recouvrement

# Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

(4) Pour une file d'organes d'assemblage parallèle à la direction du fil, il convient de prendre la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante parallèlement à la file,  $F_{v,ef,Rk}$  selon :

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad \dots (8.1)$$

où :

$F_{v,ef,Rk}$  est la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante d'une file d'organes d'assemblage parallèle au fil ;

$n_{ef}$  est le nombre efficace d'organes dans une ligne parallèle au fil ;

$F_{v,Rk}$  est la valeur caractéristique de la capacité résistante par organe parallèle au fil.

NOTE Les valeurs de  $n_{ef}$  pour des files d'organes d'assemblage parallèles au fil du bois sont données dans 8.3.1.1(8) et 8.5.1.1(4).

(8) Pour une file de  $n$  pointes parallèle au fil du bois, à moins que cette file ne soit en quinconce d'une distance d'au moins  $1d$  perpendiculairement au fil (voir **Figure 8.6**), il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, voir 8.1.2(4), à partir du nombre efficace d'organes  $n_{ef}$  où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad \dots (8.17)$$

où :

$n_{ef}$  est le nombre efficace de pointes dans la file ;

$n$  est le nombre de pointes dans une file ;

$k_{ef}$  est donné dans le **Tableau 8.1**.

**Tableau 8.1 — Valeurs de  $k_{ef}$**

Espacement <sup>a)</sup>	$k_{ef}$	
	Sans préperçage	Avec préperçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	—	0,5

*a) Pour des espacement intermédiaires, une interpolation linéaire de  $k_{ef}$  est autorisée.*

# Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

## 8.3.1.2 Assemblages bois-bois par pointes

- (1) Pour les pointes lisses, il convient que la longueur de pénétration du côté de la pointe soit au moins égale à  $8d$ .
- (2) Pour les pointes annelées et les pointes torsadées, telles que définies dans EN 14592, il convient que la longueur de pénétration du côté de la pointe soit au moins égale à  $6d$ .
- (3) Il convient de considérer que les pointes en bout de fil ne sont pas capables de transmettre un effort latéral.
- (4) En alternative à 8.3.1.2(3), pour les pointes en bout de fil, les règles suivantes s'appliquent :
  - Dans les structures secondaires, les pointes lisses peuvent être utilisées. Il convient de prendre comme valeur de calcul de la capacité résistante  $1/3$  de la valeur d'un clouage effectué perpendiculairement au fil.
  - Les pointes autres que lisses, tel que défini dans EN 14592, peuvent être utilisées dans des structures autres que secondaires. Il convient de prendre la valeur de calcul de la capacité résistante comme  $1/3$  de la valeur d'une pointe de diamètre équivalent clouée perpendiculairement au fil, sous condition que :
    - les pointes sont seulement chargées latéralement ;
    - il y a au moins trois pointes par assemblage ;
    - la pénétration du côté de la pointe est au moins égale à  $10d$  ;
    - l'assemblage n'est pas exposé à des conditions correspondant à la classe de service 2. Exemple des assemblages par ...
    - les valeurs d'espacement et de distances spécifiées dans le **Tableau 8.2** sont satisfaites.

NOTE 1 Un exemple de structure secondaire est une planche de rive clouée sur chevrons.

NOTE 2 La règle d'application recommandée est donnée dans 8.3.1.2(3). Un choix national peut être donné dans l'Annexe Nationale.

- (5) Il convient de prendre les espacements et distances minimaux donnés dans le **Tableau 8.2**, où (voir **Figure 8.7**) :

$a_1$  est l'espacement des pointes dans une file parallèle au fil du bois ;

$a_2$  est l'espacement des pointes perpendiculairement au fil du bois ;

$a_{3,c}$  est la distance entre une pointe et une extrémité non chargée ;

$a_{3,t}$  est la distance entre une pointe et une extrémité chargée ;

$a_{4,c}$  est la distance entre une pointe et une rive non chargée ;

$a_{4,t}$  est la distance entre une pointe et une rive chargée.

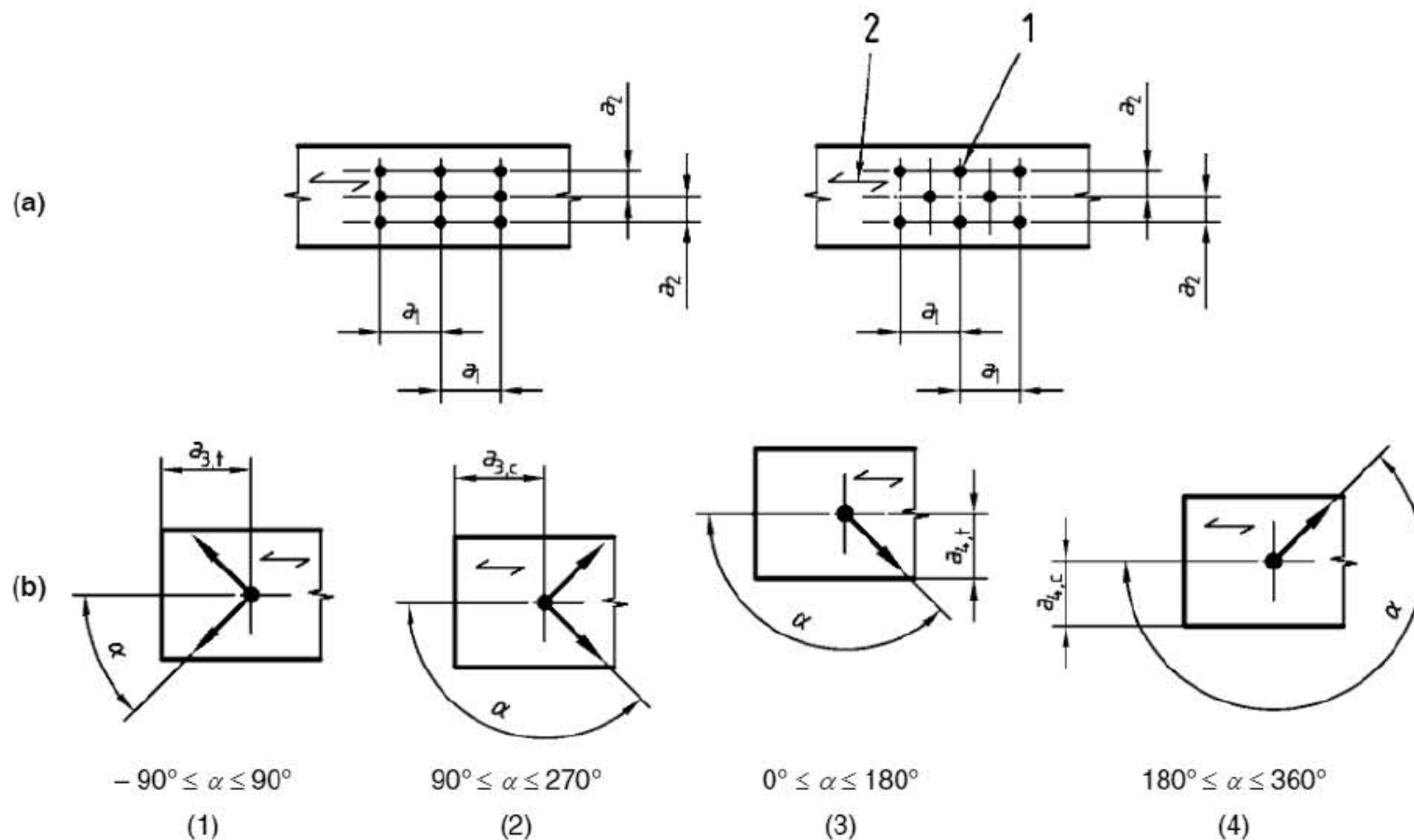
## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

**Tableau 8.2 — Espacements et distances minimaux pour les pointes**

Espacements et distances (voir Figure 8.7)	Angle	Distance minimum		
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm} : (5 + 5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm} : (5 + 7  \cos \alpha ) d$	$(7 + 8  \cos \alpha ) d$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$7 d$	$(3 +  \sin \alpha ) d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 d$	$15 d$	$7 d$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm} : (5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm} : (5 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm} : (7 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm} : (7 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm} : (3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm} : (3 + 4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$7 d$	$3 d$



# Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)



Clé :

- (1) Extrémité chargée
- (2) Extrémité non chargée
- (3) Rive chargée
- (4) Rive non chargée

- 1 Organe d'assemblage
- 2 Direction du fil

Figure 8.7 — Espacements et distances — Définitions  
(a) Espacements parallèle et perpendiculaire au fil  
(b) Distance d'extrémité et distance de rive ;  $\alpha$  est l'angle entre l'effort et la direction du fil

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages (assemblages bois-bois et bois-panneaux : exemple des pointes)

(6) Il convient réaliser des avant-trous lorsque l'épaisseur des éléments de bois est inférieure à :

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad \dots (8.18)$$

où :

$t$  est l'épaisseur minimale des éléments de bois permettant d'éviter un pré-perçage, en mm ;

$\rho_k$  est la masse volumique caractéristique du bois, en  $\text{kg/m}^3$  ;

$d$  est le diamètre de la pointe, en mm.

(7) Il convient que les pièces de bois d'essences particulièrement sensibles à la fissuration soient pré-perçées lorsque leur épaisseur est inférieure à :

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right. \quad \dots (8.19)$$

L'équation (8.19) peut être remplacée par l'équation (8.18) pour des distances de rive données par :

$$a_4 \geq 10d \quad \text{pour } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$$

$$a_4 \geq 14d \quad \text{pour } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$$

NOTE Des exemples d'essences de bois sensibles à la fissuration sont le Sapin (*abies alba*) et le Douglas (*pseudotsuga menziesii*). Il est recommandé d'appliquer 8.3.1.2(7) pour le Sapin (*abies alba*) et le Douglas (*pseudotsuga menziesii*). Un choix national peut être spécifié dans l'Annexe Nationale.



# Quelques éléments sur le calcul des assemblages

## Glissement des assemblages

### 7.1 Glissement des assemblages

(1) Pour les assemblages réalisés avec des organes de type tige, il convient de prendre le module de glissement  $K_{ser}$  par plan de cisaillement et par organe pour une charge de service à partir du **Tableau 7.1** avec  $\rho_m$  en  $\text{kg/m}^3$  et  $d$  ou  $d_c$  en mm. Pour la définition de  $d_c$ , voir EN 13271.

NOTE Dans EN 26891, le symbole utilisé est  $k_s$  au lieu de  $K_{ser}$ .

**Tableau 7.1 — Valeurs de  $K_{ser}$  pour les organes d'assemblage et les assembleurs en N/mm dans le cas des assemblages bois-bois et bois-panneaux**

Type d'organe d'assemblage	$K_{ser}$
Broches Boulons sans jeu <sup>a)</sup> Tire-fonds Pointes (avec avant-trous)	$\rho_m^{1,5} d^{2/3}$
Pointes (sans avant-trous)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8}/30$
Agrafes	$\rho_m^{1,5} d^{0,8}/80$
Anneaux type A conformément à EN 912 Anneaux type B conformément à EN 912	$\rho_m d_c/2$
Crampons Crampons types C1 à C9 conformément à EN 912 Crampons types C10 & C11 conformément à EN 912	$1,5 \rho_m d_c/4$ $\rho_m d_c/2$
<i>a) Le jeu doit être ajouté spécifiquement à la déformation.</i>	

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages Comportement local des liaisons en flexion

Dans les calculs de structures, les liaisons entre éléments sont souvent considérées comme des liaisons idéalisées : articulation ou encastrement parfaits.

En réalité, les glissements importants engendrés dans les assemblages par les déformations du bois rendent les liaisons semi-rigides.

La semi-rigidité influe sur l'état de déformations de la structure et sur l'état de sollicitations (pour les structures hyperstatiques).

La semi-rigidité des liaisons peut être prise en compte par l'intermédiaire de la rigidité rotationnelle de l'assemblage (notée  $K_r$ ) définie de la manière suivante :

$$M = K_r \omega$$

où  $M$  est le moment repris par l'assemblage et  $\omega$  sa rotation.

## Quelques éléments sur le calcul des assemblages Comportement local des liaisons en flexion

Le moment de flexion au niveau de l'assemblage est repris par les efforts exercés sur les organes d'assemblage.

La direction de ces derniers par rapport au fil du bois varie suivant la position des organes d'assemblage.

La rigidité des éléments étant très supérieure à celle de la liaison, on suppose que les pièces assemblées sont parfaitement rigides.

On suppose également que le centre de rotation C est confondu avec le centre de gravité de la liaison.

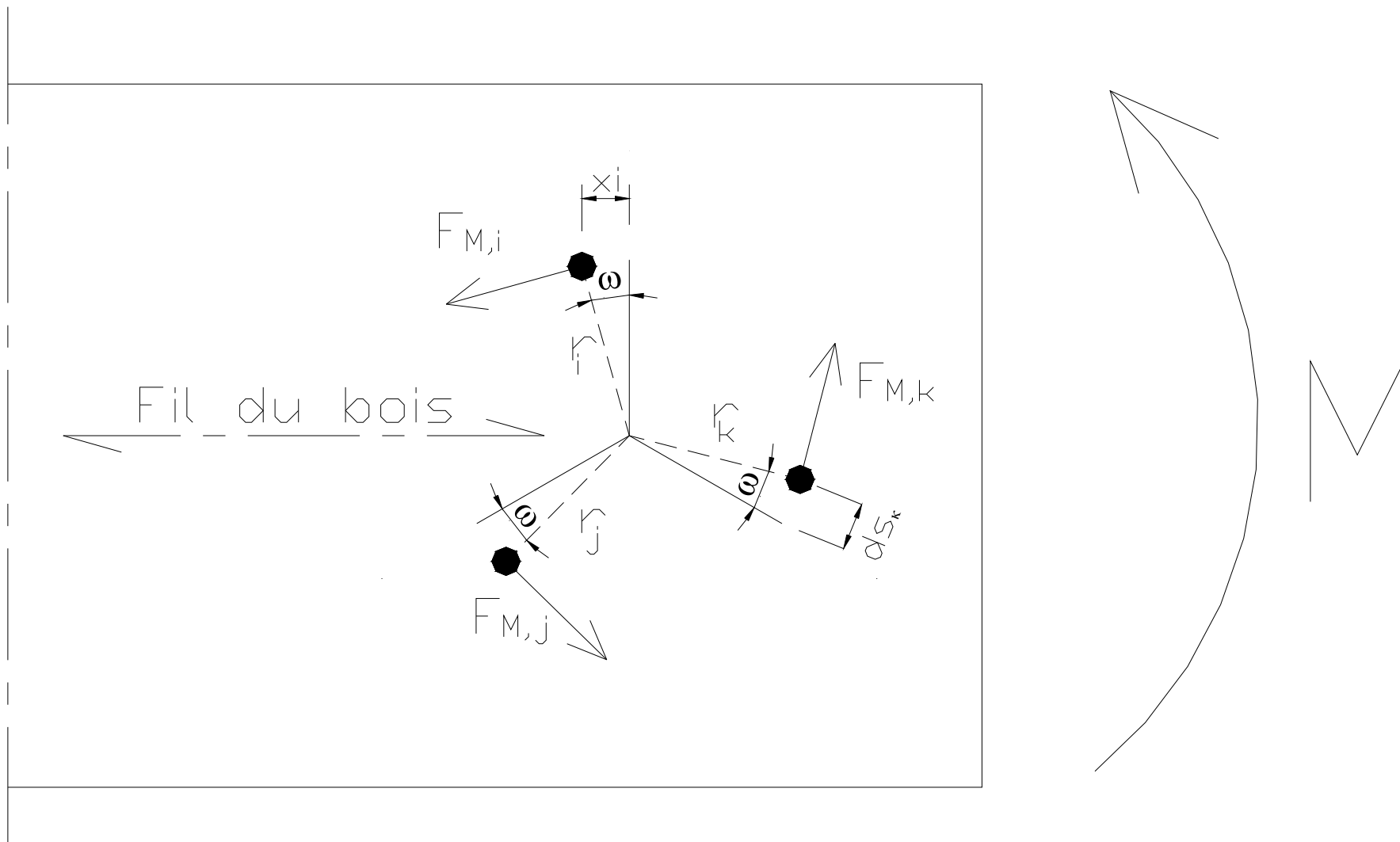
La condition d'équilibre en moment s'écrit alors :

$$M = \sum_{j=1}^n F_{M,j} r_j$$

où  $F_{M,j}$  est l'effort exercé sur l'organe d'assemblage j et  $r_j$  sa distance au centre de rotation.

# Quelques éléments sur le calcul des assemblages

## Comportement local des liaisons en flexion



## Quelques éléments sur le calcul des assemblages Comportement local des liaisons en flexion

$$ds_k = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha,k}} \quad \omega = \frac{ds_k}{r_k} = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha,k} r_k} = \frac{F_{M,j}}{K_{\alpha,j} r_j} = \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha,i} r_i}$$

où  $K_{\alpha,k}$  est le module de glissement de l'organe d'assemblage  $k$  dans la direction de l'effort (cette direction vaut  $\alpha_{k+\pi/2}$ ).

En introduisant la rigidité rotationnelle dans l'équation précédente on trouve :

$$\omega = \frac{M}{K_r} = \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha,i} r_i} \quad F_{M,i} = \frac{K_{\alpha,i} r_i}{K_r} M$$

Or 
$$M = \sum_{j=1}^n F_{M,j} r_j$$

Donc 
$$K_r = \frac{M}{\omega} = \sum_{j=1}^n \frac{F_{M,j} r_j}{\omega} = \sum_{j=1}^n \frac{\omega K_{\alpha,j} r_j r_j}{\omega} = \sum_{j=1}^n K_{\alpha,j} r_j^2$$