

---

# Manuels d'application des Eurocodes pour les structures bois

---

Programme AQCEN EC5

---



---

**Programme "AQCEN / EC5"**

**Origine : GT5**

---

---

**Assemblages**

Calcul des assemblages des structures en bois  
selon l'Eurocode 5

---

**Rédaction :**  
**Groupe de rédacteurs piloté par FCBA**

---

**Animation :**  
**FCBA**

---

---

**Janvier 2009**

---

Calcul des assemblages des structures en bois selon l'Eurocode 5

---

## PRÉAMBULE

---

L'avènement des Eurocodes, normes européennes de conception et de calcul des structures de bâtiment et de génie civil, interpelle les entreprises et les bureaux d'études, habitués depuis plus de trente ans aux calculs selon le système des contraintes admissibles mis en œuvre, pour le bois, par les Règles CB 71. Pour les professionnels du bois, l'évolution est double, en ce sens que ces nouvelles approches, aux états limites, proposent des concepts de sécurité nouveaux, assortis d'une terminologie et de notations inhabituelles accompagnant des formules mathématiques aux contours, parfois, énigmatiques.

Conscients des difficultés théoriques et pratiques que représente cette mutation, les représentations professionnelles des entreprises et industriels de la branche des structures en bois, en l'occurrence la Fédération Française du Bâtiment, Charpente, Menuiserie, Parquets, et l'IRABOIS (Institut de Recherches Appliquées au Bois), d'une part, la FIBC (Fédération des Industries Bois Construction) d'autre part, ont exprimé, auprès du ministère de l'Industrie, le besoin impératif de mettre en œuvre les moyens de proposer à leurs ressortissants un accès facilité aux nouveaux documents européens, par la préparation d'ouvrages clairs et pratiques sur la mise en œuvre des nouvelles règles.

Le ministère, à travers le financement permis par son programme AQCEN a répondu à ce besoin en confiant au CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement)<sup>1</sup> la coordination et la maîtrise d'œuvre d'une importante opération de rédaction de manuels spécialisés (ou Recommandations) concernant l'application pratiques des Eurocodes (et des Euronormes connexes), pour le calcul des ouvrages en bois.

Les divers syndicats spécialisés des organisations déjà citées (des domaines de la charpente, du lamellé-collé, des charpentes industrielles, des poutres en I) auxquels se sont joints la CAPEB (Confédération des Artisans et Petites Entreprises du Bâtiment) et IBC (Ingénierie Bois Construction) ont activement participé aux travaux de réflexion et de rédaction de cette série d'ouvrages, travaux organisés autour d'un Comité de pilotage technique assurant la coordination et de sept Groupes de Travail spécialisés.

---

<sup>1</sup> Depuis le 1er juin 2006, le CTBA a fusionné avec l'AFOCEL pour former l'Institut technologique FCBA.

---

Calcul des assemblages  
des structures en bois  
selon l'Eurocode 5

---

<b>PRÉAMBULE</b>	<b>2</b>
<b>1 GÉNÉRALITÉS</b>	<b>6</b>
1.1 PRÉSENTATION	6
1.2 EXPLICATIONS RELATIVES À QUELQUES PRINCIPES POUR LES NOTATIONS LES PLUS COURANTES DU SYSTÈME EUROCODE	6
1.2.1 SYMBOLES PRINCIPAUX	6
1.2.2 INDICES LES PLUS COURANTS	7
<b>2 GÉNÉRALITÉS APPLICABLES AUX ASSEMBLAGES PAR ORGANES MÉTALLIQUES</b>	<b>9</b>
2.1 DÉFORMATION DES ASSEMBLAGES	9
2.1.1 ÉTAT LIMITE DE SERVICE	9
2.1.2 ÉTAT LIMITE ULTIME	11
2.2 CLASSIFICATION DES LIAISONS	11
2.2.1 CLASSIFICATION DES ORGANES D'ASSEMBLAGES	11
2.2.2 CLASSIFICATION DES LIAISONS	12
2.3 DISTRIBUTION DES EFFORTS	12
2.4 LIAISONS SOLLICITÉES EN FLEXION	13
2.5 EFFORTS D'ASSEMBLAGES INCLINÉS PAR RAPPORT AU FIL (TRACTION TRANSVERSALE DANS LES LIAISONS)	13
2.6 RUPTURE DE BLOC	14
2.7 EFFORTS D'ASSEMBLAGE ALTERNÉS	17
<b>3 LIAISONS PAR ORGANES MÉTALLIQUES DE TYPE TIGE</b>	<b>18</b>
3.1 GÉNÉRALITÉS	18
3.2 FONCTIONNEMENT ET MODE DE RUPTURE	18
3.3 DÉFINITION DES DISTANCES ET ESPACEMENTS MINIMAUX	19
3.4 ASSEMBLAGES PAR POINTES	20
3.4.1 GÉNÉRALITÉS	20
3.4.2 PROTECTION CONTRE LA CORROSION	21
3.4.3 FONCTIONNEMENT	21
3.4.4 RECOMMANDATIONS	21
3.4.5 POINTES CHARGÉES LATÉRALEMENT (EN CISAILLEMENT)	22
3.4.6 POINTES CHARGÉES AXIALEMENT	33
3.4.7 POINTES CHARGÉES AXIALEMENT ET LATÉRALEMENT	35
3.4.8 EXEMPLE DE CALCUL	36
3.5 ASSEMBLAGES PAR AGRAFES	39
3.5.1 GÉNÉRALITÉS	39
3.5.2 PROTECTION CONTRE LA CORROSION	40

3.5.3	FONCTIONNEMENT	40
3.5.4	DÉTERMINATION DU MOMENT D'ÉCOULEMENT PLASTIQUE	41
3.5.5	PORTANCE LOCALE	42
3.5.6	VALEUR CARACTÉRISTIQUE DE LA CAPACITÉ RÉSISTANTE POUR UN ASSEMBLAGE	
BOIS/PANNEAUX		43
3.5.7	NOMBRE EFFICACE	44
3.5.8	RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE DE L'ASSEMBLAGE	44
3.5.9	RÉSISTANCE DE CALCUL	45
3.5.10	GLISSEMENT D'ASSEMBLAGE	45
<b>3.6</b>	<b>ASSEMBLAGES PAR BOULONS ET BROCHES</b>	<b>45</b>
3.6.1	GÉNÉRALITÉS	45
3.6.2	FONCTIONNEMENT	46
3.6.3	ASSEMBLAGES À PLANS DE CISAILLEMENT MULTIPLES	46
3.6.4	MISE EN ŒUVRE	47
3.6.5	BOULONS ET BROCHES SOLlicitÉS EN CISAILLEMENT	48
3.6.6	BOULONS SOLlicitÉS AXIALEMENT	58
<b>3.7</b>	<b>ENCASTREMENT POTEAU-TRAVERSE PAR COURONNES DE BOULONS</b>	<b>66</b>
3.7.1	GÉNÉRALITÉS	66
3.7.2	VÉRIFICATION DE L'ASSEMBLAGE	67
3.7.3	RENFORT D'UN ENCASTREMENT EN COURONNE	71
3.7.4	EXEMPLE DE CALCUL	71
<b>3.8</b>	<b>ASSEMBLAGES PAR TIRE-FOND ET VIS</b>	<b>75</b>
3.8.1	GÉNÉRALITÉS	75
3.8.2	RECOMMANDATIONS ET MISE EN ŒUVRE	76
3.8.3	TIRE-FOND ET VIS CHARGÉS LATÉRALEMENT	76
3.8.4	TIRE-FOND ET VIS CHARGÉS AXIALEMENT (ARRACHEMENT)	78
3.8.5	TIRE-FOND ET VIS CHARGÉS PAR UNE COMBINAISON LATÉRALE ET AXIALE	78

## **4 LIAISONS RÉALISÉES PAR ASSEMBLEURS SURFACIQUES** **81**

<b>4.1</b>	<b>PLAQUES MÉTALLIQUES EMBOUTIES</b>	<b>81</b>
4.1.1	INTRODUCTION	81
4.1.2	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	81
4.1.3	FONCTIONNEMENT	82
4.1.4	PROPRIÉTÉ DES MATÉRIAUX	82
4.1.5	MISE EN ŒUVRE	82
4.1.6	CAPACITÉ D'ANCRAGE	82
4.1.7	CAPACITÉ DE LA PLAQUE	85
4.1.8	ABOUTAGE, JOINT DE CONTINUITÉ	87
4.1.9	RUPTURE DE BLOC	91
4.1.10	RAIDEUR D'ASSEMBLAGE	93
4.1.11	EXEMPLE	94
<b>4.2</b>	<b>ASSEMBLAGES PAR ANNEAUX</b>	<b>105</b>
4.2.1	INTRODUCTION	105
4.2.2	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	106
4.2.3	MODES DE RUPTURE	106
4.2.4	RECOMMANDATIONS	107
4.2.5	ESPACEMENTS ET DISTANCES MINIMAUX POUR LES ANNEAUX	108
4.2.6	ÉPAISSEURS MINIMALES DES BOIS	108
4.2.7	MÉTHODE DE CALCUL D'UN ASSEMBLAGE RÉALISÉ PAR ANNEAUX	109
4.2.8	MODULE DE GLISSEMENT	111
4.2.9	EXEMPLE DE CALCUL D'UN ASSEMBLAGE RÉALISÉ PAR ANNEAUX	112
<b>4.3</b>	<b>ASSEMBLAGES RÉALISÉS PAR CRAMPONS</b>	<b>115</b>

4.3.1	INTRODUCTION	115
4.3.2	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	116
4.3.3	RECOMMANDATIONS	116
4.3.4	ESPACEMENTS ET DISTANCES MINIMAUX POUR LES ANNEAUX	117
4.3.5	ÉPAISSEURS MINIMALES DES BOIS	119
4.3.6	MÉTHODE DE CALCUL D'UN ASSEMBLAGE RÉALISÉ PAR CRAMPONS	120
4.3.7	MODULE DE GLISSEMENT	122
4.3.8	EXEMPLE DE CALCUL D'UN ASSEMBLAGE RÉALISÉ PAR CRAMPONS	123
<b>5</b>	<b>AUTRES ÉLÉMENTS D'ASSEMBLAGE</b>	<b>125</b>
<b>5.1</b>	<b>LES ASSEMBLEURS TRIDIMENSIONNELS</b>	<b>125</b>
5.1.1	LES SABOTS ET ÉQUERRES	125
<b>5.2</b>	<b>TIRANTS</b>	<b>126</b>
<b>6</b>	<b>SITUATION D'INCENDIE</b>	<b>129</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>129</b>
<b>6.2</b>	<b>MÉTHODE SIMPLIFIÉE</b>	<b>129</b>
6.2.1	ASSEMBLAGE NON PROTÉGÉ	129
6.2.2	ASSEMBLAGE PROTÉGÉ	130
6.2.3	CAS PARTICULIER DES PLAQUES MÉTALLIQUES EN ÂME	132
<b>6.3</b>	<b>MÉTHODE DE LA CHARGE RÉDUITE</b>	<b>133</b>
6.3.1	ASSEMBLAGE NON PROTÉGÉ	133
6.3.2	ASSEMBLAGE PROTÉGÉ	135

---

# 1 GÉNÉRALITÉS

---

## 1.1 Présentation

Le présent manuel fait partie d'une collection de 7 ouvrages destinés aux concepteurs et calculateurs d'ouvrages courants de bâtiments à structures en bois. Quelques spécificités territoriales tiennent au fait qu'il est tenu compte d'adaptations nationales autorisées par le système des EUROCODES et définies dans les ANNEXES NATIONALES des différents Eurocodes concernés.

Le présent document ne tient pas compte du dernier amendement de l'Eurocode 5 NF EN 1995-1-1/A1 et de son annexe nationale encore en cours de rédaction.

Ces ouvrages ont pour objet de faciliter la compréhension et l'application pratique des méthodes édictées par l'Eurocode 5 et son Annexe Nationale dans leurs principes et clauses générales, et dans les 5 domaines technologiques et professionnels particuliers que constituent :

- la charpente traditionnelle,
- la charpente en bois lamellé-collé,
- la charpente industrielle,
- la construction à ossature bois,
- les poutres composites à base de bois.

Ils sont complétés par deux ouvrages transversaux :

- le Tronc commun,
- les Assemblages.

Un ouvrage, non inclus dans ce CD-ROM, destiné à la justification des éléments simples, a également été publié :

- le Manuel simplifié, disponible auprès de FCBA, de la FFBCMP et de la CAPEB.

Ces ouvrages ne se substituent nullement aux EUROCODES et leurs Annexes Nationales, dont la consultation s'avérera nécessaire. L'ensemble est composé d'un Tronc Commun définissant la démarche générale applicable aux structures bois et, pour chaque domaine spécifique, d'un manuel d'application complété par des exemples de calcul sur des structures représentatives. Ces ouvrages prennent en compte les informations indispensables fournies par les Eurocodes, mais il pourra être nécessaire de se reporter pour certains cas particuliers à ces documents. Aussi, l'utilisation de ce manuel ne dispense pas de la possession des EUROCODES, leurs annexes nationales et normes concernées qui constituent les documents normatifs de référence.

## 1.2 Explications relatives à quelques principes pour les notations les plus courantes du système Eurocode

D'une manière générale, les notations utilisées dans les Eurocodes suivent un schéma identique. Le symbole principal désigne la grandeur et les indices précisent la nature, l'orientation et le type.

### 1.2.1 Symboles principaux

Lorsqu'une grandeur désigne une sollicitation ou une résistance en termes d'effort, celle-ci sera représentée par une majuscule.

Lorsqu'une grandeur désigne une sollicitation en termes de contrainte, celle-ci sera représentée par  $\sigma$ .

Lorsqu'une grandeur désigne une résistance en termes de contrainte, celle-ci sera représentée par  $f$ .

$A$	surfaces de contact ou aires de sections droites
$E$	sollicitation agissante (sans précision)
$F$	effort sur l'assemblage
$R$	capacité résistante
$\sigma$	contraintes appliquées
$f$	résistances (en termes de contrainte)
$N$	effort normal
$M$	moments
$V$	effort tranchant (ou volume)
$E$	module d'élasticité
$G$	module de cisaillement
$K$	module de glissement d'un assembleur ( $K_{ser}$ pour ELS, $K_u$ pour ELU),
$k$	coefficients correcteurs
$d$	diamètre
$a, b, h, l$	cotes diverses (selon contexte et indices)
$r$	rayon
$u$	déplacement calculé
$w$	déplacement limite
$\rho$	masse volumique
$\lambda$	élancement
$\alpha$	angle
$\gamma$	coefficients partiels

### 1.2.2 Indices les plus courants

Les indices précisent la nature, l'orientation et le type d'une grandeur.

$d$	valeur de calcul de la grandeur considérée
mean	valeur moyenne de la grandeur
0,05	valeur caractéristique de la grandeur (à 5 % d'exclusion inférieure)

k	valeur caractéristique de la grandeur
x, y, z	axe de référence de la grandeur orientée
c	compression (après $F$ , $\sigma$ ou $f$ )
t	traction (après $F$ , $\sigma$ ou $f$ )
m	flexion (après $F$ , $\sigma$ ou $f$ )
v	cisaillement (après $F$ , $\sigma$ ou $f$ )
ax	orientation axiale
0 et 90	indiquent une grandeur parallèle ou perpendiculaire au sens du fil du bois

**Exemples :**

$f_{m,y,d}$	valeur de calcul de la résistance en flexion (en termes de contrainte) selon l'axe d'inertie y'y de la section, pour le matériau utilisé
$f_{t,90,k}$	valeur caractéristique de la résistance en traction perpendiculaire (en termes de contrainte) pour le matériau utilisé
$\sigma_{c,0,d}$	contrainte appliquée de calcul en compression axiale dans l'élément
$N_{c,d}$	effort normal de compression dans la section
$M_d$	moment de flexion dans l'élément
$F_{v,Rk}$	résistance caractéristique d'un assemblage en cisaillement
$F_{ax,Rd}$	résistance de calcul d'un assemblage en traction axiale (vis par exemple)

---

## 2 GÉNÉRALITÉS APPLICABLES AUX ASSEMBLAGES PAR ORGANES MÉTALLIQUES

---

### 2.1 Déformation des assemblages

#### 2.1.1 État limite de service

##### 2.1.1.1 Raideur d'assemblage

Pour la conception des structures bois, l'une des évolutions majeures introduites par l'Eurocode 5 provient de la définition des raideurs des organes d'assemblage. Elle est considérée comme indépendante de la direction des efforts transmis.

Le phénomène de glissement des assemblages peut être à l'origine de problèmes de stabilité des ouvrages s'il n'est pas pris en compte. On observe par exemple une prise de flèche excessive des éléments structuraux. La prise en compte du glissement des assemblages réalisés par organes métalliques se fait au travers d'un terme de rigidité apparente de l'assemblage (en rotation ou en translation par exemple) : le module de glissement  $K_{ser}$  (donné dans les chapitres associés à chaque type d'assemblages).

A partir des raideurs par type d'organe ( $K_{ser,i}$ ), les caractéristiques élastiques d'une liaison sont définies par les expressions générales suivantes de :

- sa raideur axiale  $K_{ax} = \sum_i K_{ser,i}$  en N/mm
- sa rigidité en rotation  $K_{\omega} = \sum_i K_{ser,i} \cdot \rho_i^2$  en N.mm/rad

où

$K_{ser,i}$  est le module de glissement d'un organe, en N/mm

$\rho_i$  est le rayon entre le centre de rotation de l'assemblage et l'organe  $i$ , en mm

**Note :**

*Un exemple de calcul est donné pour une couronne de boulons (chapitre 3.7).*

##### 2.1.1.2 Jeu d'assemblage

La prise en compte du jeu des assemblages réalisés par organes métalliques se fait au travers de valeurs de glissement initial (déplacement initial) que le concepteur doit estimer. Cela ne concerne que les assemblages pour lesquels on peut rencontrer un jeu fonctionnel dû à la mise en œuvre, comme les boulons.

L'Eurocode 5 prescrit d'ajouter, le cas échéant, ces jeux de mise en œuvre  $\Delta u_f$  au déplacement élastique. Le glissement dans l'assemblage en état limite de service, noté  $u_{ser}$ , pour un effort de calcul en service  $F_d$  est alors défini par :

$$u_{ser} = \frac{F_d}{K_{ser}} + \Delta u_f$$

avec :

$u_{ser}$  en mm,

$K_{ser}$  en N/mm

$F_d$  en N

$\Delta u_f$  jeu fonctionnel en mm

Toutefois, cela suppose un traitement informatique bi-linéaire, peu aisé à gérer, et si de tels jeux doivent être pris en compte, notamment dans le cas des boulons, on peut admettre, pour des ouvrages courants, d'utiliser un coefficient  $K'_{ser}$  réduit (raideur sécante) calculé pour représenter, pour un effort de calcul en service  $F_d$ , une déformation élastique égale à la déformation selon  $K_{ser}$  majorée du jeu initial  $\Delta u_f$ .

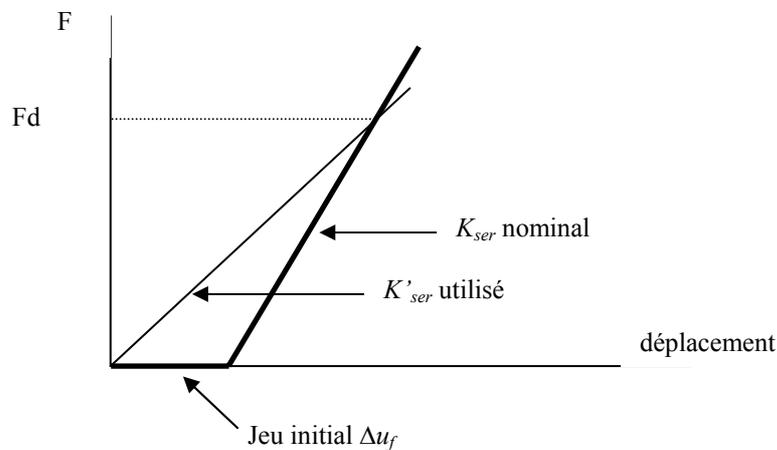


Figure 2-1 : Prise en compte du jeu initial

Pour un effort de calcul en service  $F_d$ , et pour une liaison avec  $n$  organes d'assemblage du même type, le coefficient  $K'_{ser}$  est alors défini par :

$$K'_{ser} = \frac{F_d \cdot n \cdot K_{ser}}{F_d + n \cdot K_{ser} \cdot \Delta u_f}$$

où  $F_d$  est la valeur de calcul de la sollicitation en service.

**Note :**

Un exemple de calcul est donné pour une couronne de boulons (chapitre 3.7).

Dans le cas d'une liaison réalisée avec deux types d'organes d'assemblage ( $a$  et  $b$ ), la raideur réduite pour chaque type d'organes est définie par :

$$K'_{ser,a} = K_{ser,a} \cdot \frac{F_d + n_b \cdot K_{ser,b} \cdot (\Delta u_{f,b} - \Delta u_{f,a})}{F_d + n_a \cdot K_{ser,a} \cdot \Delta u_{f,a} + n_b \cdot K_{ser,b} \cdot \Delta u_{f,b}}$$

$$K'_{ser,b} = K_{ser,b} \cdot \frac{F_d + n_a \cdot K_{ser,a} \cdot (\Delta u_{f,a} - \Delta u_{f,b})}{F_d + n_a \cdot K_{ser,a} \cdot \Delta u_{f,a} + n_b \cdot K_{ser,b} \cdot \Delta u_{f,b}}$$

Le cumul des différents modes d'assemblages pour les justifications structurales (ELS, ELU) peut être envisagé si :

$$0,5 \leq \frac{K'_{ser,b}}{K_{ser,a}} \leq 2 \text{ et } |\Delta u_{f,a} - \Delta u_{f,b}| \leq 1 \text{ mm}$$

De plus, pour la combinaison quasi-permanente (calculs à long terme), le coefficient de fluage des assemblages est pris égal à celui des matériaux assemblés. Ainsi, pour un assemblage bois sur bois, le module de glissement final,  $K_{ser,fin}$ , est pris égal à :

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}}$$

### 2.1.2 État limite ultime

Lors des vérifications des Etats Limites Ultimes, le glissement dans l'assemblage, noté  $u_u$ , est obtenu en utilisant  $K_u$  en lieu et place de  $K_{ser}$  :

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

où  $K_u$  est en N/mm.

## 2.2 Classification des liaisons

Dans de nombreux cas courants, il peut s'avérer utile de simplifier la modélisation en considérant l'assemblage comme un encastrement ou une rotule plutôt que d'introduire une raideur. Pour cela, nous pouvons proposer une classification des liaisons qui introduit un coefficient de rigidité. Il s'agit en fait d'un « indicateur » qui permet ou non cette simplification.

### 2.2.1 Classification des organes d'assemblages

Les liaisons courantes correspondent soit à des assemblages traditionnels, soit à des assemblages mécaniques pouvant être réalisés à l'aide de nombreux types d'organe. Ils mobilisent deux principaux modes de transmission :

- **par contact** entre pièces assemblées ; il est essentiellement réservé aux sollicitations de compression,
- **par juxtaposition ou insertion** d'éléments additionnels (couvre-joints, goussets contreplaqué, plaques métalliques). Dans le cas des goussets ou des inserts, leur résistance interne doit être justifiée. Avec le développement de systèmes d'usinage bois précis, ce dernier mode connaît aujourd'hui un important développement pour concilier esthétique et rendement mécanique.

Pour les assemblages mécaniques, les organes classiques se répartissent en deux groupes selon le mode de diffusion des efforts au sein du matériau bois pour assurer la liaison des éléments assemblés. Le groupe principal correspond aux organes linéiques de type tige traversante ou ancrée dans le bois.

Le second groupe réunit les organes qui se caractérisent par la localisation des concentrations de contraintes en surface des pièces assemblées. Selon les différentiels de raideur entre les composants de la liaison, il faut distinguer :

- **les organes surfaciques** tels que les connecteurs métalliques à dents ou les plaques métalliques clouées. La résistance de l'ancrage et la résistance interne des plaques régissent la capacité de la liaison.
- **les organes dits volumiques** qui se distinguent des précédents par leur grande rigidité. Ce groupe englobe les assembleurs tels que les anneaux, les crampons ou encore les clavettes. Leur capacité est essentiellement liée à la résistance en cisaillement du bois utilisé.

En normalisant les comportements précédents par la surface d'implantation associée à chaque type d'organe, deux conclusions se dégagent :

- plus petit est l'organe, meilleur est son rendement mécanique ; l'optimum semble se situer pour des broches ayant un diamètre compris entre 10 et 14 mm,
- le clouage constitue le mode de liaison le plus rigide.

### 2.2.2 Classification des liaisons

Pour le calcul des structures, les Eurocodes introduisent la notion de liaison semi-rigide. Cette notion complète les modélisations classiques qui considèrent les liaisons comme des encastrements ou des articulations. Elle a un impact sur la conception d'autant plus important que le degré d'hyperstaticité de la structure est grand.

Pour les structures bois, une hypothèse de base réside dans le fait qu'elles sont obligatoirement contreventées, compte tenu des lois de comportement du matériau. En l'absence de règles, la classification des liaisons peut être définie à partir de la rigidité rotationnelle ( $K'_{\omega}$  ou  $K'_{\omega,u}$ ) et de la rigidité de flexion ( $E_{0,moy}I$  ou  $E_{05}I$ ) des éléments assemblés. Ainsi, pour des éléments de portée  $L$ , une liaison est caractérisée par son coefficient de rigidité  $\beta$  :

$$\beta = \frac{K'_{\omega}}{(E_{0,moy} I) / L} \text{ pour les calculs de déformations aux ELS,}$$

$$\beta_u = \frac{K'_{\omega,u}}{(E_{05} I) / L} \text{ pour les justifications de stabilité ou de résistance aux ELU.}$$

En correspondance avec les approches retenues pour les autres matériaux, il peut être considéré :

- une liaison articulée si  $\beta \leq 0,5$ ,
- une liaison encastrée pour  $\beta \geq 10$ .

**Note :**

*Pour information, dans le cas des constructions métalliques, une liaison est dite encastrée lorsque  $\beta \geq 12$ .*

### 2.3 Distribution des efforts

Sur la base de la limitation précédente des différentiels de raideur entre composants, la répartition des efforts entre les différents types d'organes mis en œuvre s'effectue en considérant les raideurs réduites. Pour l'exemple d'un assemblage réalisé avec deux types d'organes, les efforts ultimes équilibrés par chaque type sont alors égaux à :

$$F_{a,u,d} = \frac{K'_{u,a}}{n_a \cdot K'_{u,a} + n_b \cdot K'_{u,b}} \cdot F_{u,d}$$

$$F_{b,u,d} = \frac{K'_{u,b}}{n_a \cdot K'_{u,a} + n_b \cdot K'_{u,b}} \cdot F_{u,d}$$

## 2.4 Liaisons sollicitées en flexion

Dans le cas de sollicitations généralisées ( $M$ ,  $N$  et  $V$ ), les calculs peuvent être effectués en plasticité (méthode de résolution itérative) ou en élasticité. Pour ce dernier cas de figure, la démarche est basée sur le principe de superposition des effets des actions :

- le moment de flexion principal ou secondaire est transmis par mobilisation de la rigidité polaire des organes,
- la résultante vectorielle des efforts normal et tranchant au centre de gravité de la liaison est répartie sur les organes au prorata de leur raideur.

En règle générale, les deux points principaux pour ce cas de sollicitations résident dans la définition du centre de rotation et dans la vérification des équilibres internes de la liaison, notamment vis-à-vis du cisaillement du bois au droit des pièces assemblées.

## 2.5 Efforts d'assemblages inclinés par rapport au fil (traction transversale dans les liaisons)

Le transfert d'efforts obliques ou transversaux engendre des contraintes internes évoluant d'un comportement ductile en compression transversale à un comportement fragile et aléatoire en traction transversale. Pour un même effort, l'état d'équilibre est conditionné par le positionnement des organes d'assemblage.

Lorsqu'un assemblage est tel qu'il existe un angle entre l'effort et le fil du bois, la traction perpendiculaire au fil du bois induite peut être extrêmement néfaste à la résistance de l'assemblage par apparition d'un fendage du bois.

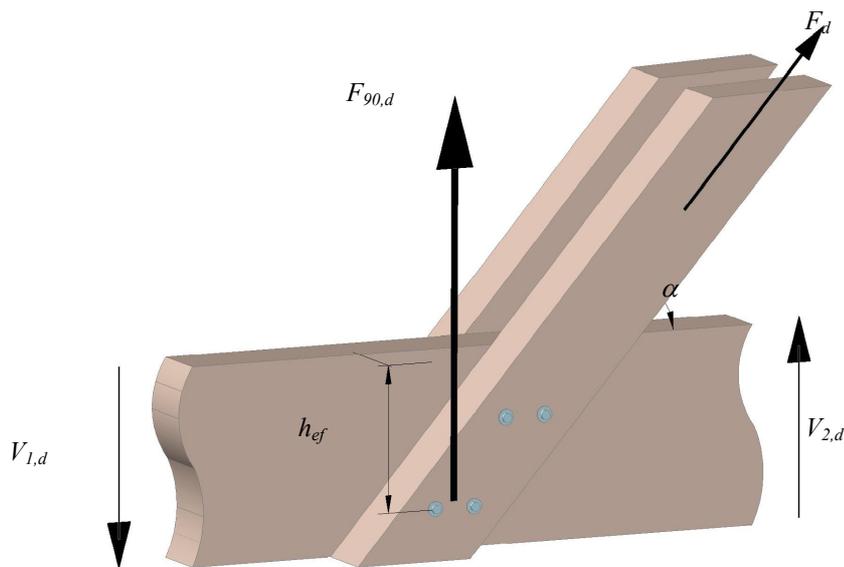


Figure 2-2 : Effort d'assemblage incliné

Pour tenir compte de cette possibilité de fendage du bois due à la composante de l'effort de traction perpendiculaire au fil,  $F_{90,d} = F_d \cdot \sin \alpha$ , on s'assure que :

$$\max(V_{d,1} ; V_{d,2}) \leq 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_{ef}}{\left(1 - \frac{h_{ef}}{h}\right)}}$$

avec :

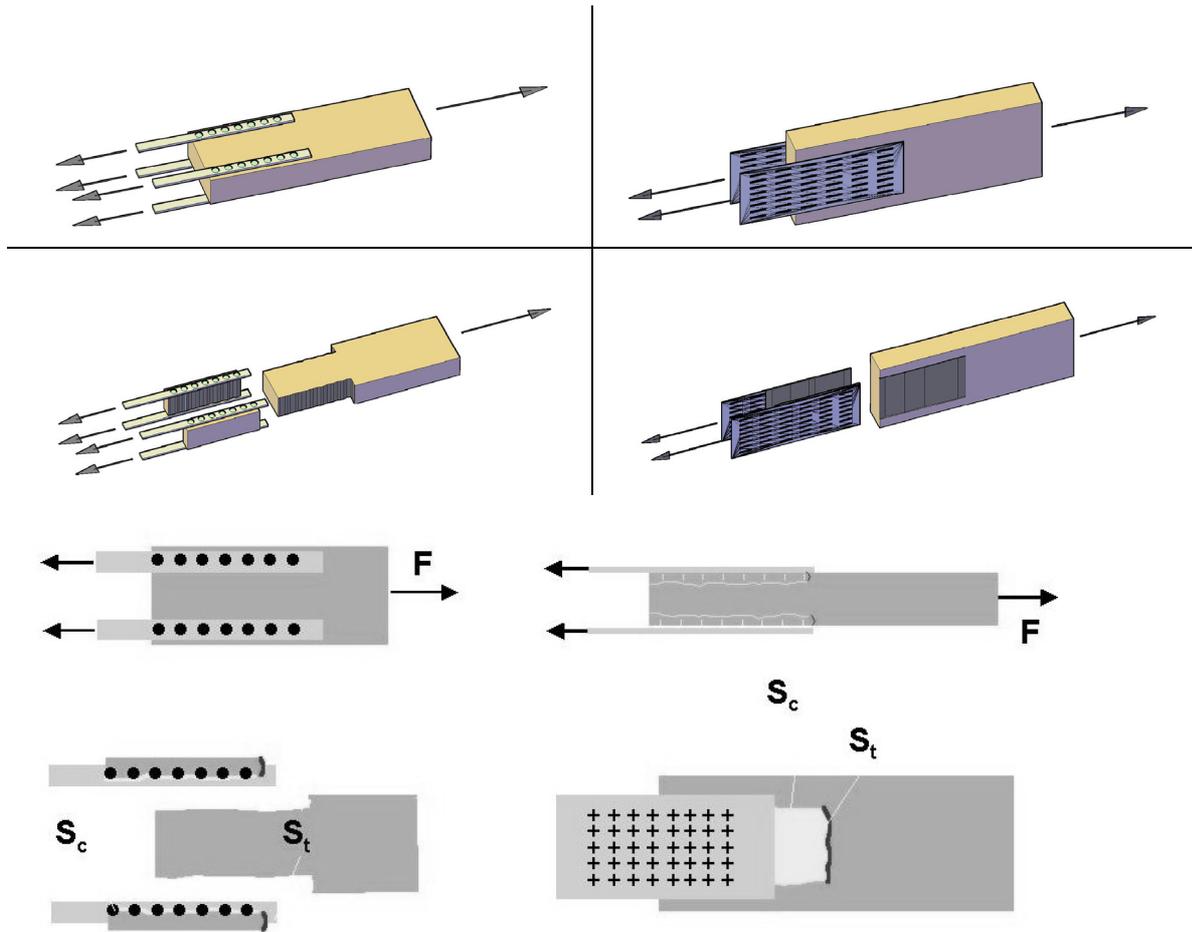
$V_{d,1}$  et  $V_{d,2}$  valeurs de calcul des efforts tranchants sur les côtés de l'assemblage (à droite et à gauche)

$b$  largeur de l'élément sollicité en traction perpendiculaire

On vérifie également que **la composante de l'effort parallèle au fil du bois** est inférieure ou égale à la capacité résistante calculée comme décrit dans les chapitres suivants.

## 2.6 Rupture de bloc

Avec la mise en œuvre d'assemblages compacts ou d'un grand nombre d'organes, la résistance au déchirement des éléments peut conditionner la capacité résistante de la liaison. Pour un groupe d'organes, cette rupture de bloc met en jeu les résistances en cisaillement et en traction sur des plans perpendiculaires. Ces plans schématisent les zones de concentration de contraintes induites par les différentiels de raideur au sein d'une liaison. La figure suivante illustre les deux grandes familles de rupture de bloc pour les assemblages bois.



**Figure 2-3 : Rupture de bloc**  
**Rupture en traction de la surface  $S_t$**   
**Rupture en cisaillement de la section  $S_c$**

Dans le cas de matériaux fragiles en cisaillement et en traction tels que le bois, ce mode de ruine est séquentiel avec une rupture initiée sur le plan le plus résistant. De plus, la résistance des deux plans résistants ne peut pas être cumulée.

Conformément à l'annexe nationale NF EN 1995-1-1/NA, cette vérification doit être menée pour tous les types d'assemblages, qu'ils soient bois-bois ou bois-métal.

La capacité résistante caractéristique du bloc de la liaison est établie en considérant les sections nettes en cisaillement et en traction définies par le périmètre du groupe d'organes dissocié en :

- La longueur nette en cisaillement  $L_{net,v}$

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i}$$

- La longueur nette en traction  $L_{net,t}$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i}$$

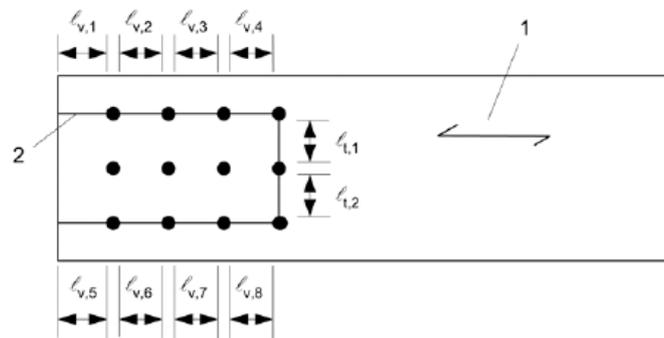


Figure 2-4 : Longueur en traction et en cisaillement

Les sections nettes en traction et en cisaillement,  $A_{net,t}$  et  $A_{net,v}$ , sont définies par :

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} \cdot t_1 & \text{Pour les modes de rupture sans rotule plastique de} \\ & \text{l'organe d'assemblage dans le bois} \\ \frac{L_{net,v}}{2} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) & \text{Pour les autres modes de rupture} \end{cases}$$

avec :

$t_1$  épaisseur de l'élément bois ou profondeur de pénétration de l'organe

$t_{ef}$  épaisseur efficace qui dépend du mode de rupture :



- Pour les plaques métalliques minces en mode de rupture a ou b

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 \cdot t_1 & \text{Pour le mode (a)} \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{d \cdot f_{h,k}}} & \text{Pour le mode (b)} \end{cases}$$

- Pour les plaques métalliques épaisses en mode de rupture d, h, c ou g

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} & \text{Pour les modes (d) et (h)} \\ t_1 \cdot \left[ 2 + \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{d \cdot f_{h,k} \cdot t_1^2} - 1} \right] & \text{Pour les modes (c) et (g)} \end{cases}$$

La valeur caractéristique de la capacité de cisaillement en bloc est alors :

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{cases}$$

La capacité résistante de la liaison est alors la plus petite capacité résistante entre celle du bloc de la liaison et celle des organes d'assemblage.

## 2.7 Efforts d'assemblage alternés

Pour les assemblages d'ouvrages soumis à des efforts internes alternés dus à des actions à long terme ou à moyen terme (action d'exploitation de type mouvement de foule, action de la neige sur les structures « treillis »...), on doit considérer l'effet sur la résistance de l'assemblage des actions alternées. Pour cela, on calcule l'assemblage avec un effort de sollicitation étant les deux combinaisons de l'effort de traction  $F_{t,Ed}$  et de l'effort de compression  $F_{c,Ed}$  suivantes :

$$F_{t,Ed} + 0,5 \cdot F_{c,Ed}$$

et

$$F_{c,Ed} + 0,5 \cdot F_{t,Ed}$$

Ces deux combinaisons d'efforts sont un moyen de prendre en compte le phénomène de fatigue de l'assemblage de manière simplifiée.

---

## 3 LIAISONS PAR ORGANES MÉTALLIQUES DE TYPE TIGE

---

### 3.1 Généralités

Pour la détermination de la valeur caractéristique de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques, on doit considérer les contributions respectives de la limite élastique, de la portance locale et de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage.

Dans les chapitres suivants, et pour chaque type d'organes, il sera considéré, le cas échéant, les assemblages bois-bois et les assemblages bois-métal.

### 3.2 Fonctionnement et mode de rupture

Les organes de type tige permettent d'assurer une transmission d'efforts qui agit par cisaillement des tiges ou arrachement pour certains types (vis par exemple). Ils servent à réaliser des assemblages bois, panneaux ou plaques métalliques sur bois.

Selon les résultats expérimentaux, on connaît trois types courants de ruptures par cisaillement. De plus, il peut y avoir plusieurs faciès par type de ruptures, et, de fait, le nombre de vérifications à effectuer est plus important. Ces modes de ruptures sont caractéristiques des propriétés mécaniques de l'ensemble des composants de la liaison :

- Mode 1 : compression du bois (défaillance de la portance locale),
- Mode 2 : une rotule plastique dans l'organe d'assemblage (Mode 1 + une rotule dans la tige),
- Mode 3 : plusieurs rotules plastiques dans l'organe d'assemblage (Mode 1 + 2/3 rotules plastiques dans la tige).

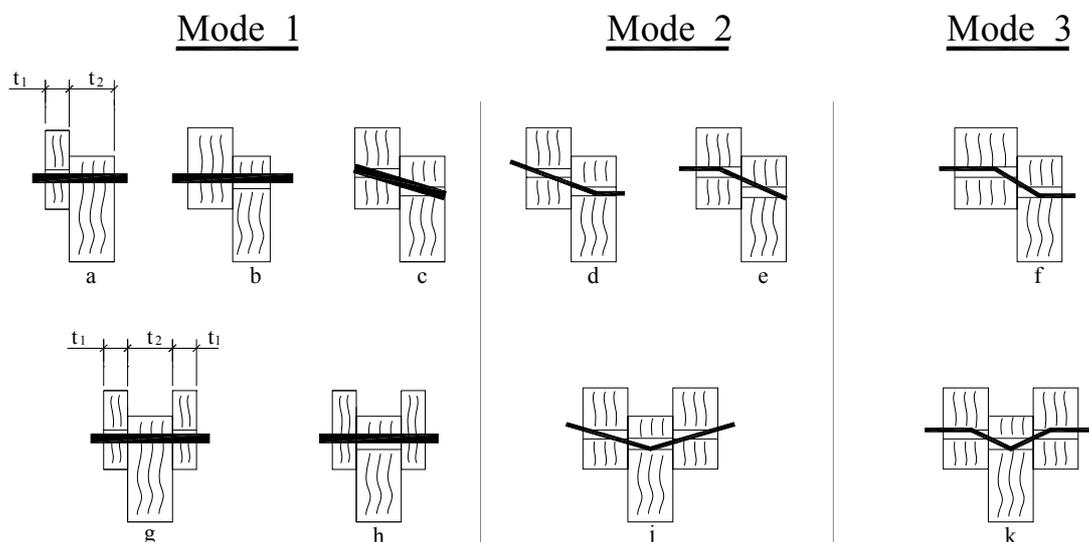


Figure 3-1 : Modes de rupture en cisaillement  
Assemblage bois-bois

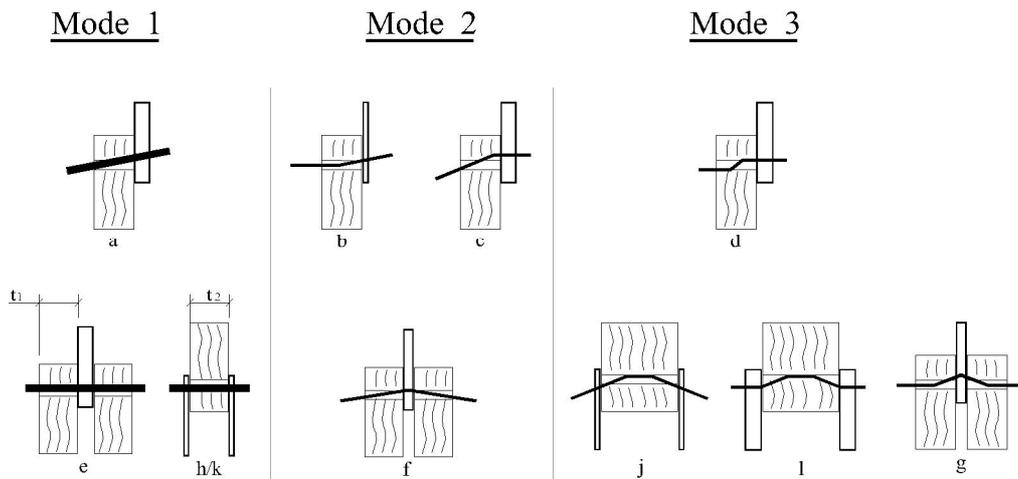


Figure 3-2 : Modes de rupture en cisaillement  
Assemblage bois - métal

Dans le cas des organes pouvant être sollicités axialement, on identifie trois autres modes de rupture :

- arrachement de l'organe,
- rupture de l'acier de l'organe,
- traversée de la tête de l'organe.

### 3.3 Définition des distances et espacements minimaux

Dans tous les chapitres suivants, les distances et espacements minimaux sont définis comme suit :

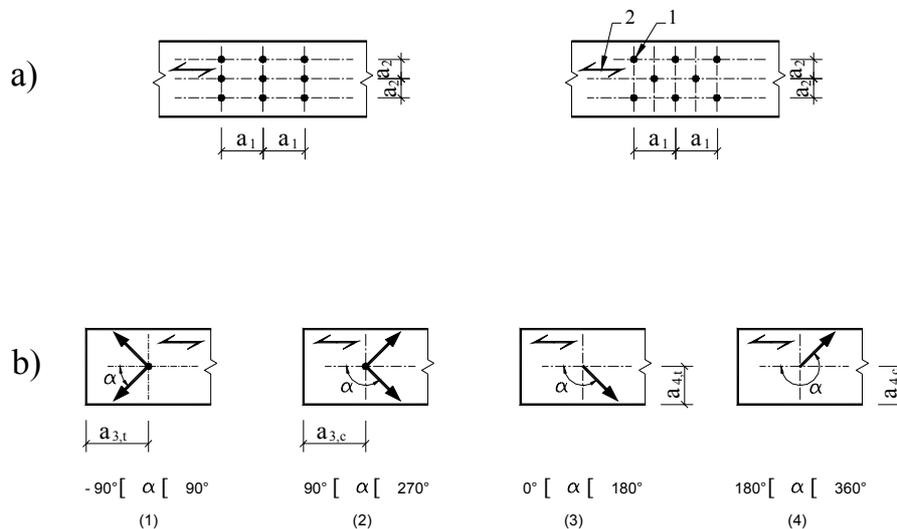


Figure 3-3 : Espacements et distances minimaux

Un bord (une rive) est dit chargé(e) si l'effort est dirigé vers celui (celle)-ci.

### 3.4 Assemblages par pointes

#### 3.4.1 Généralités

On désigne sous le nom de pointes des éléments métalliques de faible diamètre. Les pointes sont des éléments d'assemblage traditionnels. Dans la construction, quatre types de pointes sont couramment utilisés, la première est dite lisse, la seconde torsadée, la troisième annelée enfin la dernière est dite cannelée. La fixation par pointe est un moyen d'assemblage simple et rapide à mettre en œuvre, aussi bien en atelier que sur chantier. Selon les fabricants, les pointes sont disponibles dans de nombreuses dimensions. Les matériaux de base utilisés seront des aciers trempés, des aciers inoxydables ou encore le cuivre, l'aluminium et le laiton.

Les pointes seront conformes à la norme EN 14592 et posséderont le marquage CE.

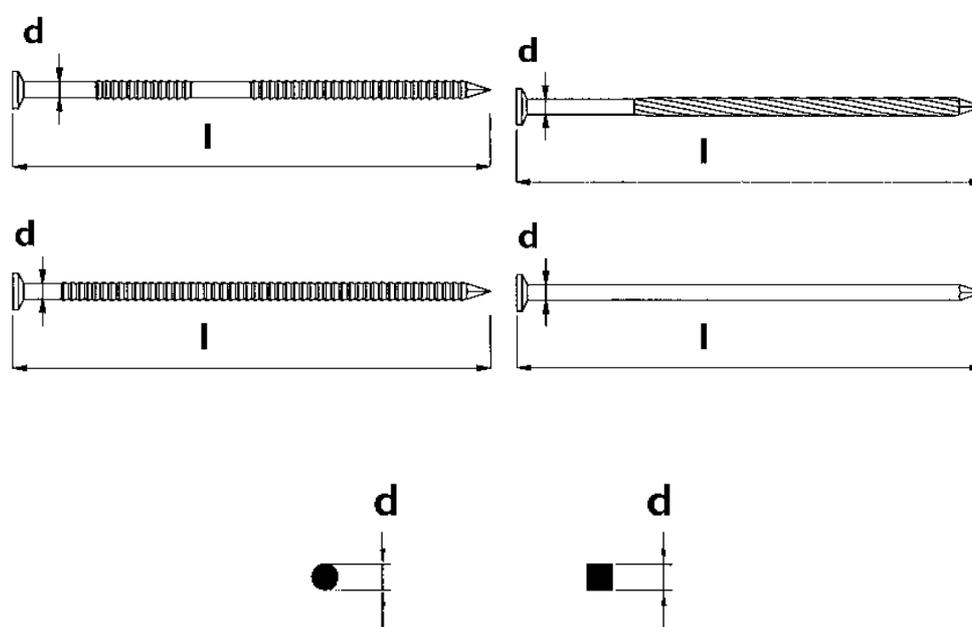


Figure 3-4 : Géométrie des pointes usuelles

Le diamètre utilisé pour les calculs est le diamètre le plus petit (par exemple, partie lisse pour les pointes ayant à la fois une partie lisse et une partie crantée). Pour les pointes de section carrée, le diamètre de la pointe  $d$  doit être pris égal à la dimension du côté.

Le diamètre nominal minimum,  $d$ , des pointes doit être de 1,9 mm et le diamètre nominal maximum doit être de 8,0 mm. Usuellement, les diamètres sont entre 2,5 à 8 mm, pour des longueurs entre 35 à 200 mm. Les pointes doivent être considérées comme non lisses si les deux conditions suivantes sont remplies :

- leur tige est profilée ou déformée sur une longueur minimum de  $4,5.d$ ,
- leur résistance d'arrachement caractéristique  $f_{ax,k}$  est supérieure ou égale à  $4,5 \text{ N/mm}^2$  lorsqu'elle est mesurée sur du bois ayant une densité caractéristique de  $350 \text{ kg/m}^3$  (bois massif C24).

La surface de la tête du clou,  $A_h$ , ne doit pas être inférieure à  $2,5.d^2$ , et l'épaisseur de la tête,  $h_t$ , ne doit pas être inférieure à  $0,25.d$ .

La longueur de l'extrémité conique de la pointe ne doit pas être inférieure à  $0,5d$  et ne doit pas être supérieure à  $1,5d$ .

Les tolérances dimensionnelles pour les clous doivent être conformes aux exigences de l'EN 10230-1.

### 3.4.2 Protection contre la corrosion

Selon l'exposition, les pièces écrites du marché ou la réglementation indiquent le type de protection à apporter. Toutefois, il est courant d'utiliser des pointes dont la protection est effectuée par électrozingage et galvanisation à chaud. Ces fixations sont également disponibles sans protection ou dans des matériaux difficilement corrodables (inox, cuivre...).

A titre d'exemples, le tableau ci-dessous indique des niveaux de protection minimale pour les différentes classes de service.

Diamètre	Classe de service (1)		
	1	2	3
$d \leq 4 \text{ mm}$	Rien	Fe/Zn 12c	Fe/Zn 25c
$d > 4 \text{ mm}$	Rien	Rien	Fe/Zn 25c

(1) Pour des conditions particulièrement corrosives, on utilise le Fe/Zn 40 ou de l'acier inoxydable

Tableau 3-1 : Protection vis-à-vis de la corrosion

**Remarque :**

*L'utilisation de pointes inox rend obligatoire l'utilisation de l'inox pour les éléments métalliques en contact pour éviter tout phénomène de dégradation par électrolyte.*

### 3.4.3 Fonctionnement

Lorsque les pointes sont mises en œuvre conformément au chapitre précédent, elles permettent d'assurer une transmission d'efforts qui agit par cisaillement des pointes ou arrachement pour certains types de pointes. Elles servent à réaliser des assemblages bois, panneaux ou plaques métalliques sur bois. Les fibres de bois sont peu endommagées par ces produits. Selon l'Eurocode 5, le comportement d'une pointe en cisaillement est indépendant de l'orientation de l'effort.

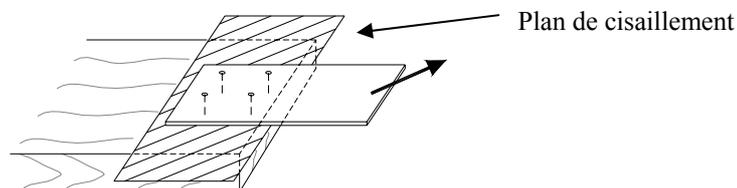


Figure 3-5 : Mode de fonctionnement en cisaillement

### 3.4.4 Recommandations

On réalise un pré-perçage à  $0,8.d$  lorsque :

- la masse volumique caractéristique du bois est supérieure ou égale à 500 kg/m<sup>3</sup>,
- l'épaisseur  $t$  des éléments de bois est inférieure à :
  - $t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7.d \\ (13.d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right.$
  - $t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14.d \\ (13.d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right.$  pour les essences sensibles à la fissuration
- le diamètre de la pointe est supérieur à 8 mm

avec :

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

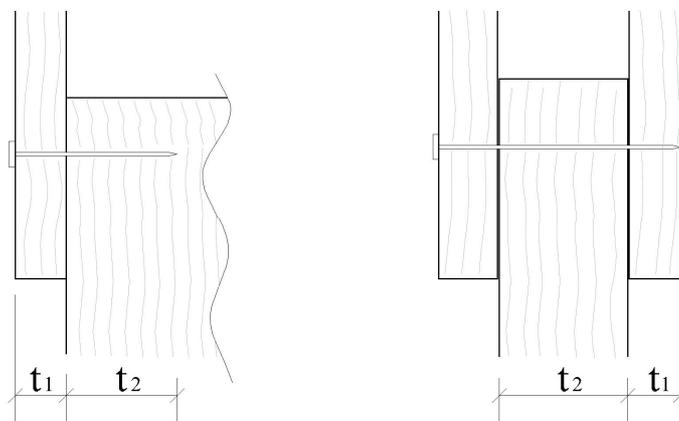
$\rho_k$  masse volumique caractéristique du bois, en kg/m<sup>3</sup>,

$d$  diamètre de la pointe, en mm.

### 3.4.5 Pointes chargées latéralement (en cisaillement)

Tout assemblage comporte au moins deux pointes. L'élément de plus faible épaisseur est positionné du côté de la tête de la pointe.

Les épaisseurs de calcul  $t_1$  et  $t_2$  dans le cas des assemblages à simple et double cisaillements sont définies comme suit :



$$t_1 = \min(a ; b)$$

$$t_2 = a$$

Figure 3-6 : Définitions de  $t_1$  et  $t_2$

La longueur de pénétration minimale du côté de la pointe est de :

- $8d$  pour les pointes lisses,
- $6d$  pour les pointes non lisses (annelées, torsadées, crantées, ...).

Dans un assemblage à trois éléments, les pointes en vis-à-vis peuvent être enfoncées sans avant-trous sous condition que  $t - t_2 \geq 4d$  :

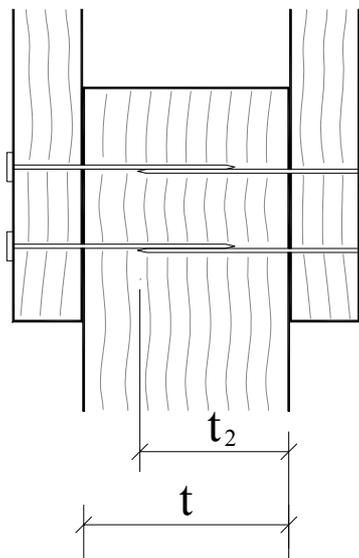


Figure 3-7 : Pointes à recouvrement

**Remarque :**

Lorsque ces conditions d'épaisseurs de bois et de longueurs de pénétrations sont respectées, le mode de rupture est lié aux modes 1-c. De fait, seule cette vérification est nécessaire.

En bois de bout, les pointes ne peuvent pas être utilisées à l'arrachement. Pour des efforts de cisaillement, la valeur de calcul de la capacité résistante est prise égale à 1/3 de la valeur d'un clouage effectué perpendiculairement au fil sans prendre en compte l'effet corde avec les conditions suivantes :

- les pointes lisses ne sont pas admises pour les éléments structuraux,
- 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 3,
- les valeurs d'espacement et de distances minimaux sont satisfaites.

## 3.4.5.1 Espacements et distances minimaux

## • Espacements et distances minimaux pour les assemblages bois – bois (et LVL)

Les espacements et distances minimaux sont pris à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-3 : Espacements et distances minimaux.

Espacements et distances	Angle	Distance minimale		
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm} :$ $(5+5 \cos\alpha ).d$  $d \geq 5\text{mm} :$ $(5+7 \cos\alpha ).d$	$(7+8 \cos\alpha ).d$	$(4+ \cos\alpha ) \frac{d}{d}$
$a_2$ (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)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15.d$	$7.d$
$a_{4,t}$ (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)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Tableau 3-2 : Espacements et distances minimaux pour les pointes dans le bois et le LVL

• *Espacements et distances minimaux pour les assemblages bois - panneaux à base de bois*

Les espacements et distances minimaux sont pris à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-3 : Espacements et distances minima. Le sens long du panneau est considéré comme étant le sens du fil pour la détermination de l'angle  $\alpha$ .

Espacements et distances	Angle	Distance minimale		
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm} :$ $4,25 \cdot (1 +  \cos \alpha ) \cdot d$ $d \geq 5\text{mm} :$ $4,25(1 + 1,4  \cos \alpha ) \cdot d$	$0,85 \cdot (7 + 8 \frac{ \cos \alpha }{d})$	$0,85 \cdot (4 + \frac{ \cos \alpha }{d})$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4,25 \cdot d$	$5,95 \cdot d$	$0,85 \cdot (3 + \frac{ \sin \alpha }{d})$
$a_{3,t}$ (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)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15 \cdot d$	$7 \cdot d$
$a_{4,t}$ (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)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Tableau 3-3 : Espacements et distances minimaux pour les pointes dans les panneaux

Pour le contreplaqué, les modifications suivantes peuvent s'appliquer :

- minimum pour  $a_{3,t}$  et  $a_{4,t}$  :  $(3 + 4 \sin \alpha) d$
- minimum pour  $a_{3,c}$  et  $a_{4,c}$  :  $3d$

- *Espacements et distances minimaux pour les assemblages bois - métal*

Les espacements et distances minimaux sont pris à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-3 : Espacements et distances minimaux.

Espacements et distances	Angle	Distance minimale		
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm} :$ $0,7.(5+5   \cos\alpha   ).d$ $d \geq 5\text{mm} :$ $0,7.(5+7   \cos\alpha   ).d$	$0,7.(7+8   \cos\alpha   ).d$	$0,7.(4+   \cos\alpha   ) d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3,5.d$	$5.d$	$0,7.(3+   \sin\alpha   ) d$
$a_{3,t}$ (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)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15.d$	$7.d$
$a_{4,t}$ (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)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Tableau 3-4 : Espacements et distances minimales pour les pointes

### 3.4.5.2 Nombre efficace

Lorsqu'une file de pointes est parallèle au fil du bois, la résistance n'est pas la somme des résistances unitaires.

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, le nombre efficace de pointes  $n_{ef}$  est :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

avec :

$n_{ef}$  nombre efficace de pointes dans la file,

$n$  nombre réel de pointes dans une file,

$k_{ef}$  est donné dans le Tableau 3-5

Espacement (1)	$k_{ef}$	
	Sans pré-perçage	Avec pré-perçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	–	0,5

(1) Pour les espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de  $k_{ef}$  est autorisée

Tableau 3-5 : Valeurs de  $k_{ef}$

### 3.4.5.3 Détermination du moment d'écoulement plastique de la pointe

Le moment d'écoulement plastique d'une pointe caractérise la résistance caractéristique de la pointe au delà de laquelle il y a apparition d'au moins une rotule plastique et rupture de l'assemblage selon le mode 2 ou le mode 3. Si cette valeur n'est pas fournie par le fabricant, pour les pointes lisses ordinaires fabriquées à partir d'un fil d'acier dont la résistance en traction est supérieure ou égale à 600 N/mm<sup>2</sup>, on utilise les valeurs caractéristiques simplifiées suivantes pour le moment d'écoulement plastique :

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 180.d^{2,6} & \text{pour les pointes à section circulaire} \\ 270.d^{2,6} & \text{pour les pointes à section carrée} \end{cases} \quad (\text{formule simplifiée})$$

avec :

$M_{y,Rk}$  valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique, en N.mm,

$d$  diamètre de la pointe tel que défini dans EN 14592, en mm.

On pourra se reporter à l'équation (8.14) de l'Eurocode 5 pour les aciers dont la résistance en traction est très supérieure à 600 N/mm<sup>2</sup>.

#### 3.4.5.4 Portance locale

- **Portance locale dans le bois et le LVL**

Lorsqu'elles ne sont pas fournies par le fournisseur, pour les pointes dont le diamètre est inférieur ou égal à 8 mm, on utilise les valeurs caractéristiques suivantes pour la portance locale du bois et du LVL :

- Sans pré-perçage :  $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k d^{-0,3}$  en N/mm<sup>2</sup>
- Avec pré-perçage :  $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$  en N/mm<sup>2</sup>

Dans le cadre d'une approche « conception assistée par essais », la valeur caractéristique de portance locale peut être déterminée par essais conformément à EN 383 et EN 14358.

- **Portance locale dans les panneaux à base de bois**

Pour les pointes dont les têtes ont un diamètre au minimum égal à  $2d$ , les valeurs pour la portance locale sont les suivantes (sauf si elles sont fournies par le fabricant) :

- Pour le contreplaqué :  $f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k d^{-0,3}$  en N/mm<sup>2</sup>
- Pour les panneaux durs conformes à EN 622-2 :  $f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{0,6}$  en N/mm<sup>2</sup>
- Pour les panneaux de particules et l'OSB :  $f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1}$  en N/mm<sup>2</sup>

#### 3.4.5.5 Valeur caractéristique de la capacité résistante par plan de cisaillement

- **Assemblage bois - bois et bois - panneaux**

La valeur caractéristique de la capacité résistante des pointes est définie **par plan de cisaillement et par pointe**, pour les espacements minimaux spécifiés, par les formules de la page suivante.

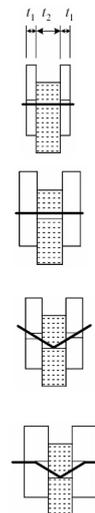
• Cas de chargement en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



• Cas de chargement en double cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



avec :

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

où :

$F_{v,Rk}$	capacité de chargement caractéristique par plan de cisaillement et par pointe
$t_i$	épaisseur ou la hauteur de pénétration de l'élément bois $i$
$f_{h,i,k}$	valeur caractéristique de portance locale de l'élément bois $i$
$M_{y,Rk}$	valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique de la pointe
$F_{ax,Rk}$	valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial de la pointe
$d$	diamètre de la pointe

Le second terme  $F_{ax,Rk} / 4$  est la contribution de l'effet de corde. Cette contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde est limitée aux pourcentages suivants de la partie de Johansen (premier terme lié à la rupture par cisaillement en mode 1, 2 ou 3) :

– Pointes circulaires	15 %
– Pointes carrées	25 %
– Autres pointes	50 %

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée dans le paragraphe 3.4.6. Cependant, par simplification ou si  $F_{ax,Rk}$  n'est pas connu, on suppose qu'il n'y a pas de contribution de l'effet de corde.

• **Assemblage bois - métal**

Le mode de rupture d'un assemblage bois - métal dépend de l'épaisseur des plaques métalliques. De plus, la résistance de la plaque métallique doit également être vérifiée conformément à l'Eurocode 3.

On classe les plaques comme suit (e : épaisseur de la plaque) pour le calcul :

– $e \leq 0,5.d$	mince
– $e \geq d$	épaisse
– $0,5.d \leq e \leq d$	interpolation

Les plaques épaisses dont la tolérance de perçage est supérieure à  $0,1.d$  sont considérées comme des plaques minces.

La valeur caractéristique de la capacité résistante des pointes est définie **par plan de cisaillement et par pointe**, pour les espacements minimaux spécifiés, par :

- Plaque mince avec chargement en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4.f_{h,k}t_1d \\ 1,15\sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$




– Plaque épaisse avec chargement en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$


avec :

$F_{v,Rk}$  capacité de chargement caractéristique par plan de cisaillement et par pointe

$t_1$   $t_2$  épaisseur de l'élément bois ou longueur de pénétration de la pointe

$f_{h,k}$  valeur caractéristique de portance locale

$M_{y,Rk}$  valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique de la pointe

$F_{ax,Rk}$  valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial de la pointe

$d$  diamètre de la pointe

Le second terme  $F_{ax,Rk} / 4$  est la contribution de l'effet de corde. Cette contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde est limitée aux pourcentages suivants de la partie de Johansen (premier terme lié à la rupture par cisaillement en mode 1, 2 ou 3) :

- Pointes circulaires 15 %
- Pointes carrées 25 %
- Autres pointes 50 %

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée dans le paragraphe 3.4.6. Cependant, par simplification ou si  $F_{ax,Rk}$  n'est pas connu, on suppose qu'il n'y a pas de contribution de l'effet de corde.

### 3.4.5.6 Résistance caractéristique de l'assemblage

Lorsque l'utilisation de plusieurs organes est nécessaire, on s'assure que la rigidité et la résistance attendues peuvent être obtenues. La rigidité est influencée par la disposition et la dimension des organes dans l'assemblage. De même, la résistance est fonction de paramètres comme les espacements, les distances d'extrémité et de rive... On retiendra notamment que pour un assemblage constitué de plusieurs éléments du même type et de même dimension, la capacité résistante totale est inférieure à la somme des capacités résistantes de chaque organe pris individuellement.

D'une façon générale, la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante des organes  $F_{v,ef,Rk}$  est :

$$F_{v,ef,Rk} = m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk}$$

où :

$m$  nombre de files d'organes

$F_{v,Rk}$  valeur caractéristique de la capacité résistante par organe en N

### 3.4.5.7 Résistance de calcul

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} \cdot k_{mod}}{1,3}$$

où :

$k_{mod}$  coefficient de modification

**Remarque :**

1,3 est la valeur du coefficient partiel de sécurité  $\gamma_M$ .

### 3.4.5.8 Glissement d'assemblage

Le module de glissement  $K_{ser}$  **par plan de cisaillement et par organe** pour une charge de service est, soit déterminé par essais conformément à la méthode donnée dans EN 26891 (noté  $k_s$ ), soit calculé conformément aux formules suivantes :

- **Assemblages bois - bois**

- Pointes (avec avant-trous) :  $K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23}$  N/mm

- Pointes (sans avant-trous) :  $K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{30}$  N/mm

avec :

$\rho_m$  masse volumique moyenne des éléments assemblés, en kg/m<sup>3</sup>

$d$  diamètre de l'organe d'assemblage, en mm

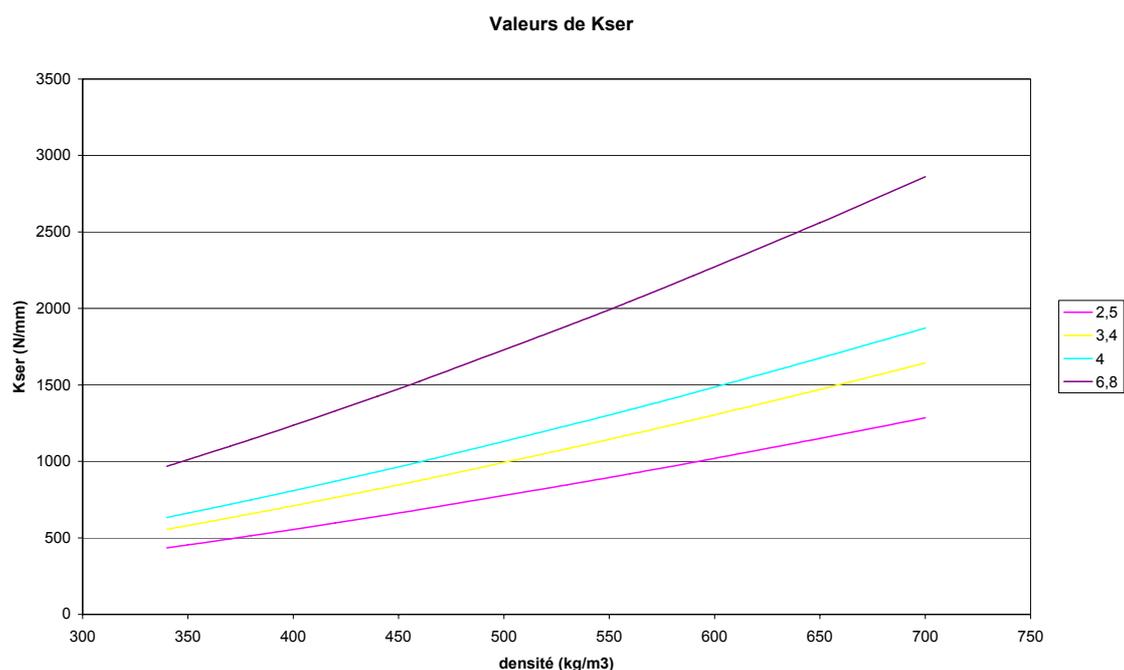


Figure 3-8 : Valeur de  $K_{ser}$  pour différents diamètres de pointes (mm)

Pour les assemblages utilisant des éléments assemblés dont les masses volumiques moyennes sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), on applique une masse volumique moyenne équivalente  $\rho_m$  dans les équations ci-dessus selon :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

- **Assemblages bois - métal ou bois - béton**

Pour les assemblages bois-métal ou bois-béton, le glissement des assemblages est plus limité. Le calcul de  $K_{ser}$  se base sur la masse volumique de l'élément bois et est multiplié par 2.

### 3.4.6 Pointes chargées axialement

Il est possible de charger les pointes axialement lorsqu'elles ne sont pas en bois de bout, à l'exclusion des pointes lisses en chargement permanent ou à long terme. Cette possibilité inclut les pointes lardées où l'on utilise au minimum deux pointes.

Pour les pointes crantées, seule la partie crantée doit être prise en compte pour la transmission de l'effort et la pénétration du côté de la pointe, notée  $t_{pen}$ , doit être supérieure à  $6d$ .

Pour les pointes lisses, la pénétration du côté de la pointe, notée  $t_{pen}$ , doit être supérieure à  $8d$ .

Les espacements et distances minimaux sont les mêmes que pour les pointes chargées latéralement (voir Tableau 3-2 à 3-4) ainsi que les définitions suivantes :

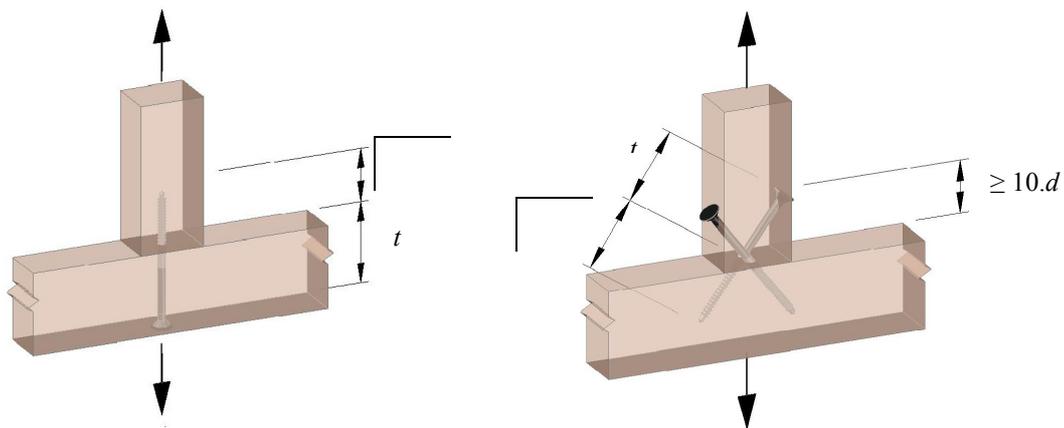


Figure 3-9 : Clouage perpendiculaire et lardé

### 3.4.6.1 Résistances caractéristiques

Les résistances caractéristiques à l'arrachement (du côté de la pointe) et à la traversée de la tête, notées  $f_{ax,k}$  et  $f_{head,k}$ , sont données par le fabricant conformément à la norme EN 14592. En l'absence de valeurs, les pointes ne pourront pas être utilisées pour une sollicitation axiale.

Dans le cas des pointes lisses dont la pénétration du côté de la pointe est supérieure à  $12d$ , il est possible de déterminer ces valeurs selon :

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

Si, lors de la mise en œuvre, les bois ont une humidité proche du point de saturation des fibres et sont susceptibles de sécher sous charge, ces valeurs de résistance doivent être multipliées par  $2/3$  afin de prendre en compte le retrait du bois.

### 3.4.6.2 Capacité à l'arrachement

Dans les conditions citées ci-dessus, la valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement,  $F_{ax,Rk}$ , des pointes est :

- Pour les pointes lisses :

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{array} \right.$$

si  $t_{pen} \leq 12d$  on multiplie la capacité à l'arrachement par  $(t_{pen}/4d - 2)$ .

- Pour toutes les autres pointes :

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases}$$

Pour les pointes crantées, si  $t_{pen} \leq 8d$  on multiplie la capacité à l'arrachement par  $(t_{pen}/2d - 3)$ .

### 3.4.6.3 Résistance de calcul

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot F_{ax,Rk} \cdot k_{mod}}{1,3}$$

avec :

$k_{mod}$  coefficient de modification

$n$  nombre de pointes

#### **Remarque :**

1,3 est la valeur du coefficient partiel de sécurité  $\gamma_M$ .

### 3.4.7 Pointes chargées axialement et latéralement

Si les pointes sont sollicitées par une combinaison d'effort axial et d'effort latéral, notés  $F_{ax,Ed}$  et  $F_{v,Ed}$ , on vérifie la résistance du clouage avec :

- Pour les pointes lisses :

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

Pour les autres pointes :

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

### 3.4.8 Exemple de calcul

#### 3.4.8.1 Hypothèses

Assemblage moisé :

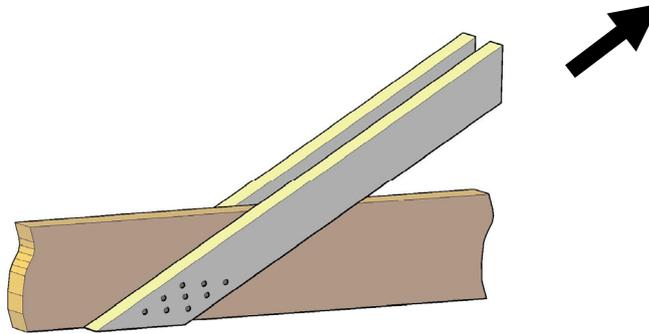


Figure 3-10 : Exemple d'assemblage moisé

**Effort :**

- $F = 3 \text{ kN}$  par moise

**Environnement :**

- Bois massif
  - Classe de service 2
  - Chargement long terme
  - Assemblage :  $\gamma_M = 1,3$
- $\Rightarrow k_{mod} = 0,7$

**Éléments Bois :**

- Élément 1 :  $36 \times 100 \text{ mm}^2$
- Élément 2 :  $70 \times 220 \text{ mm}^2$
- Classe de résistance : C24
- Masse volumique  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

**Pointes :**

- Pointes torsadées, diamètre 4,2 mm, longueur 70 mm
- Acier :  $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$

#### 3.4.8.2 Vérification de l'assemblage

- **Vérification du recouvrement :**

$$(t - t_2) = 34 \text{ mm}, 4d = 16,8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow (t - t_2) > 4d \quad \Rightarrow \quad \text{Correct}$$

• Vérification des espacements et distances minimaux

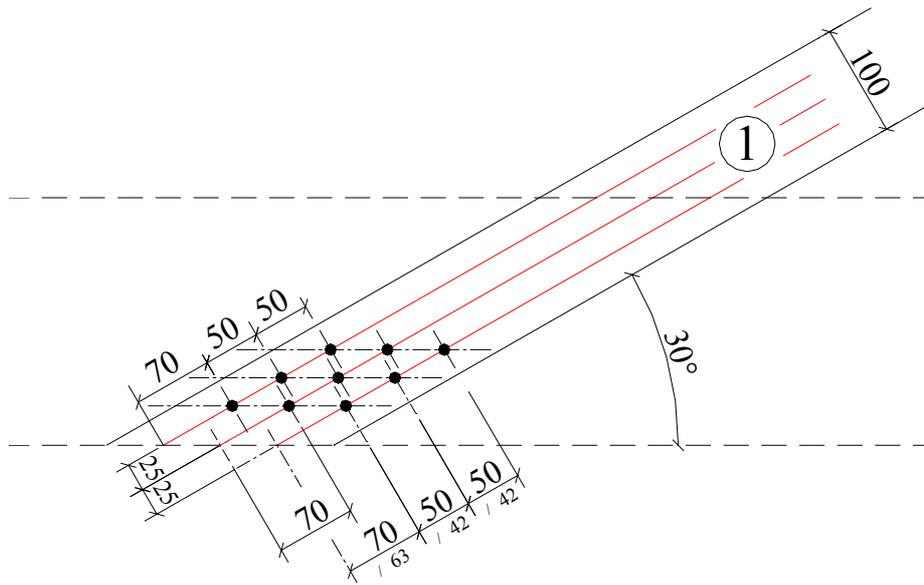


Figure 3-11 : Position des pointes sur l'élément 1

$$a_{1,t} = 50 \text{ mm} > 42 \text{ mm} \quad a_{2,t} = 25 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \quad a_{3,t} = 70 \text{ mm} > 63 \text{ mm}$$

⇒ **Correct**

$$a_{3,c} > 42 \text{ mm} \quad a_{4,t} = a_{4,c} = 25 \text{ mm} > 21 \text{ mm}$$

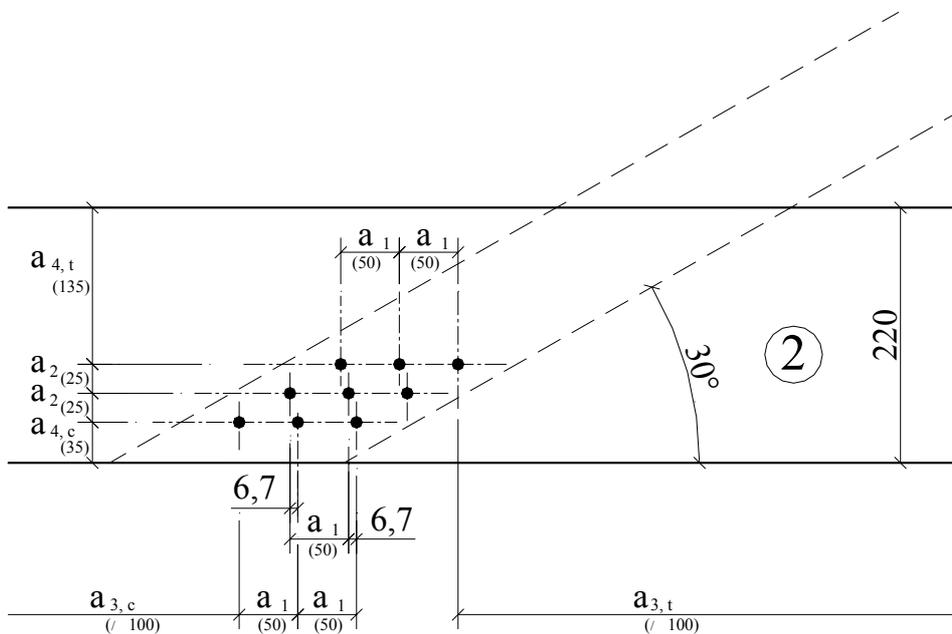


Figure 3-12 : Position des pointes sur l'élément 2

$$a_{1,c} = 50 \text{ mm} > 39,2 \text{ mm} \quad a_{2,c} = 25 \text{ mm} > 21 \text{ mm} \quad a_{3,t} > 63 \text{ mm}$$

⇒ **Correct**

$$a_{3,c} > 42 \text{ mm} \quad a_{4,t} = 135 \text{ mm} > 25,2 \text{ mm} \quad a_{4,c} = 35 \text{ mm} > 21 \text{ mm}$$

- **Moment d'écoulement plastique des pointes**

La valeur de  $M_{y,Rk}$  n'étant pas fournie, il faut la calculer ⇒  $M_{y,Rk} = 7\,511 \text{ N.mm}$

- **Portance locale du bois**

– Élément 1 :  $f_{h,k} = 18,66 \text{ N/mm}^2$

⇒  $f_{h,1,k} = 18,66 \text{ N/mm}^2$

– Élément 2 :  $f_{h,k} = 18,66 \text{ N/mm}^2$

⇒  $f_{h,2,k} = 18,66 \text{ N/mm}^2$

- **Résistance caractéristique par plan de cisaillement et par pointe**

On suppose que la capacité résistante à l'arrachement est le minimum requis pour des pointes conformes à l'EN 14592, soit  $f_{ax,k} = 4,5 \text{ N/mm}^2$ . Les pointes travaillent en simple cisaillement en assemblage Bois - Bois :

$$F_{ax,Rk} = 4,5 \times (70 - 36) \times 4,2 = 642 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} / 4 = 160 \text{ N}$$

Partie de Johansen :

⇒  $F_{v,Rk} = 1\,196 \text{ N}$  (rupture en mode 1 - c)

50 % de 1196 N étant supérieur à l'effet corde (249 N), on ajoute la totalité de l'effet corde, soit :

$$F_{v,Rk} = 1\,356 \text{ N}$$

- **Nombre efficace**

Pour tous les éléments assemblés, il y a 3 pointes sur une même file dans le sens du fil du bois. On utilise donc le même nombre efficace. La plus petite distance  $a_1 = 50 \text{ mm} = 11,9.d$

⇒  $k_{ef} = 0,85$

⇒  $n_{ef} = 2,54$

- **Résistance de calcul par plan de cisaillement**

La résistance de calcul,  $R_d$ , de l'assemblage est :

$$R_d = \frac{m.n_{ef}.F_{v,Rk}.k_{mod}}{1,3}$$

$$R_d = \frac{3 \times 2,54 \times 1445 \times 0,7}{1,3}$$

$$R_d = 5564 \text{ N} > 3000 \text{ N} \Rightarrow \text{Correct}$$

• **Vérification de la traction transversale induite :**

Composante de l'effort de traction perpendiculaire au fil  $F_{90,d}$  :

$$F_{v,Rd} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_{ef}}{\left(1 - \frac{h_{ef}}{h}\right)}} = 14 \cdot 70 \cdot \sqrt{\frac{135}{1 - \frac{135}{220}}} = 18,3 \text{ kN}$$

$$F_{90,d} = 3 \times 2 \times \sin 30^\circ = 3 \text{ kN} < 18,3 \text{ kN} \Rightarrow \text{Correct}$$

### 3.5 Assemblages par agrafes

#### 3.5.1 Généralités

On désigne sous le nom d'agrafes des éléments métalliques en forme de cavalier de faible diamètre. Les agrafes étant des éléments d'assemblage essentiellement utilisés pour les assemblages bois - panneau, seul ce cas est traité ici. Pour toute autre utilisation, on se reportera à l'Eurocode 5 – Paragraphe 8.4. Deux types d'agrafes sont couramment utilisés : à section circulaire et à section rectangulaire.

La fixation par agrafe est un moyen d'assemblage simple et rapide à mettre en œuvre, aussi bien en atelier que sur chantier. Selon les fabricants, les agrafes sont disponibles dans de nombreuses dimensions. Les matériaux de base utilisés sont des aciers trempés et des aciers inoxydables.

Les agrafes doivent être conformes à la norme EN 14592 et posséder le marquage CE.

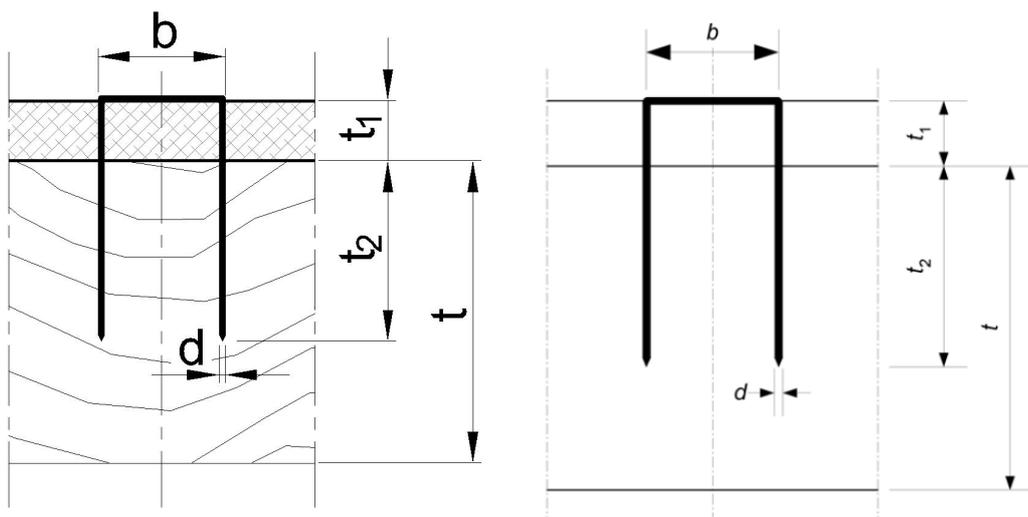


Figure 3-13 : Géométrie des agrafes usuelles

Pour les agrafes de section rectangulaire, le diamètre de l'agrafe  $d$  doit être pris égal à :

$$d = \sqrt{a \times c}$$

avec  $a$  et  $c$  les deux dimensions d'une jambe.

La largeur minimale,  $b$ , des agrafes doit être de  $6d$  et la longueur minimum de pénétration du côté de la pointe,  $t_2$ , de  $14d$ .

Tout assemblage comporte au moins deux agrafes.

La résistance maximale est obtenue lorsque l'angle entre la tête d'agrafe et le fil du bois est supérieur à  $30^\circ$ , si cet angle est inférieur à  $30^\circ$ , la résistance est réduite de 30 %.

### 3.5.2 Protection contre la corrosion

Selon l'exposition, les pièces écrites du marché ou la réglementation indiquent le type de protection à apporter.

Toutefois, il est courant d'utiliser des agrafes dont la protection est effectuée par électrozingage et galvanisation à chaud. Ces fixations sont également disponibles sans protection ou dans des matériaux difficilement corrodables (inox).

A titre d'exemples, es niveaux de protection minimale pour les différentes classes de service sont les suivants :

- Classes de service 1 et 2 : Fe/Zn 12c
- Classe de service 3 : inox

**Pour des conditions particulièrement corrosives, on utilise le Fe/Zn 40 ou de l'acier inoxydable.**

### 3.5.3 Fonctionnement

Lorsque les agrafes sont mises en œuvre conformément au chapitre précédent, elles permettent d'assurer une transmission d'efforts qui agit par simple cisaillement des jambes. Les fibres de bois sont peu endommagées par ces produits.

#### 3.5.3.1 Espacements et distances minimaux pour les assemblages bois - panneaux à base de bois

Les espacements et distances minimaux sont pris à l'axe des agrafes à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-13. Le sens long du panneau est considéré comme étant le sens du fil pour la détermination de l'angle  $\alpha$ .

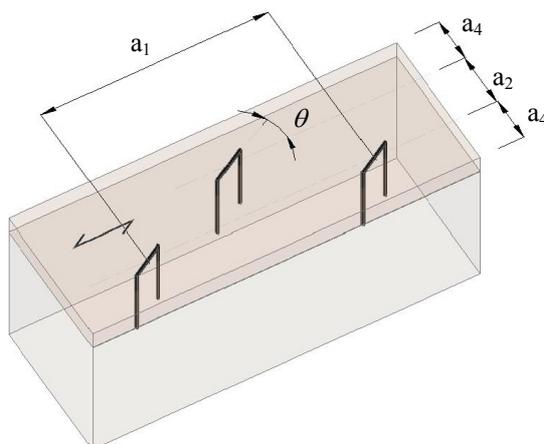


Figure 3-14 : Définition des espacements pour les agrafes

Espacements et distances	Angle	Distance minimum
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$\geq 30^\circ : (10+5 \cos\alpha ).d$ $< 30^\circ : (15+5 \cos\alpha ).d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$15.d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15+5 \cos\alpha )d$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15d$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15+5 \sin\alpha ) d$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10d$

Tableau 3-6 : Espacements et distances minimales pour les agrafes

### 3.5.4 Détermination du moment d'écoulement plastique

Le moment d'écoulement plastique d'une agrafe caractérise la résistance caractéristique de l'agrafe au delà de laquelle il y a apparition d'au moins une rotule plastique et rupture de l'assemblage selon le mode 2. Si cette valeur n'est pas fournie par le fabricant, pour les agrafes ordinaires fabriquées à partir d'un fil d'acier dont la

résistance en traction est supérieure ou égale à 800 N/mm<sup>2</sup>, on utilise les valeurs caractéristiques suivantes pour le moment d'écoulement plastique :

$$M_{y,Rk} = 240.d^{2,6}$$

avec :

$M_{y,Rk}$  valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique, en N.mm

$d$  diamètre de l'agrafe tel que défini dans EN 14592, en mm

### 3.5.5 Portance locale

#### 3.5.5.1 Portance locale dans le bois et le LVL

Lorsqu'elles ne sont pas fournies par le fournisseur, on utilise les valeurs caractéristiques suivantes pour la portance locale du bois et du LVL :

$$f_{h,k} = 0,082.\rho_k d^{-0,3} \text{ en N/mm}^2$$

Dans le cadre d'une approche « conception assistée par essais », la valeur caractéristique de portance locale peut être déterminée par essais conformément à EN 383 et EN 14358.

#### 3.5.5.2 Portance locale dans les panneaux à base de bois

Lorsqu'elles ne sont pas fournies par le fournisseur, on utilise les valeurs de portance locale suivantes :

- Pour le contreplaqué :

$$f_{h,k} = 0,11.\rho_k d^{-0,3} \text{ en N/mm}^2$$

- Pour les panneaux durs conformes à EN 622-2 :

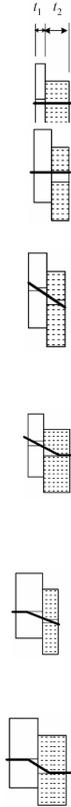
$$f_{h,k} = 30.d^{-0,3} t^{0,6} \text{ en N/mm}^2$$

- Pour les panneaux de particules et l'OSB :

$$f_{h,k} = 65.d^{-0,7} t^{0,1} \text{ en N/mm}^2$$

### 3.5.6 Valeur caractéristique de la capacité résistante pour un assemblage boispanneaux

La valeur caractéristique de la capacité résistante des agrafes **par jambe**,  $F_{v,Rk}$ , et pour les espacements minimaux spécifiés est définie par les équations ci-après.

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


avec :

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

où :

$F_{v,Rk}$	capacité de chargement caractéristique par plan de cisaillement et par jambe
$t_i$	épaisseur ou hauteur de pénétration de l'élément bois $i$
$f_{h,i,k}$	valeur caractéristique de la portance locale de l'élément bois $i$
$M_{y,Rk}$	valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique
$F_{ax,Rk}$	valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial
$d$	diamètre de la jambe

### 3.5.7 Nombre efficace

Lorsqu'une file d'agrafes est parallèle au fil du bois, la résistance n'est pas la somme des résistances unitaires. Pour une file de  $n$  agrafes parallèle au fil du bois, le nombre efficace d'agrafes  $n_{ef}$  est :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

avec :

$n$  nombre réel d'agrafes dans une file

$k_{ef}$  donné dans le Tableau 3-7 : Valeurs de  $k_{ef}$

Espacement (1)	$k_{ef}$
$a_1 \geq 14d$	1,0
$a_1 = 10d$	0,85
$a_1 = 7d$	0,7
$a_1 = 4d$	–

(1) Pour les espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de  $k_{ef}$  est autorisée

Tableau 3-7 : Valeurs de  $k_{ef}$

### 3.5.8 Résistance caractéristique de l'assemblage

On retiendra que pour un assemblage constitué de plusieurs éléments du même type et de même dimension, la capacité résistante totale est inférieure à la somme des capacités résistantes de chaque organe pris individuellement.

D'une façon générale, la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante des agrafes  $F_{v,ef,Rk}$  est :

$$F_{v,ef,Rk} = 2.m.n_{ef}.k_{\Theta}.F_{v,Rk}$$

avec :

$$k_{\Theta} = \begin{cases} 1 & \text{si } \Theta \geq 30^\circ \\ 0,7 & \text{si } \Theta < 30^\circ \end{cases}$$

et :

$m$  nombre de files d'organes

$F_{v,Rk}$  valeur caractéristique de la capacité résistante par organe en N

$k_{\Theta}$  coefficient fonction de l'angle  $\Theta$  entre la tête d'agrafe et le fil du bois

**Note :**

Le coefficient 2 tient compte des deux jambes composant une agrafe.

**3.5.9 Résistance de calcul**

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

avec :

$k_{mod}$  coefficient de modification

$\gamma_M$  coefficient partiel de sécurité

**3.5.10 Glissement d'assemblage**

Le module de glissement  $K_{ser}$  **par plan de cisaillement et par agrafe** pour une charge de service est, soit déterminé par essais conformément à la méthode donnée dans EN 26891 (noté  $k_s$ ), soit calculé selon la formule suivante :

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{15} \text{ en N/mm}$$

avec :

$\rho_m$  masse volumique moyenne des éléments assemblés, en  $\text{kg/m}^3$

$d$  diamètre de l'agrafe, en mm

Pour les assemblages utilisant des éléments assemblés dont les masses volumiques moyennes sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), on applique une masse volumique moyenne équivalente  $\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$

**3.6 Assemblages par boulons et broches****3.6.1 Généralités**

Les boulons et broches métalliques font partie de la famille des organes de type tiges (Eurocode 5). Néanmoins, ce type de liaison peut être séparé en deux sous-groupes : les **boulons** et les **broches**.

Les aciers composant les broches et boulons seront au minimum de classe 4.6. Généralement pour les liaisons métal-métal des boulons de classe 6.8 sont utilisés. Ces classes correspondent à des qualités d'acier notamment caractérisées par la résistance ultime en traction  $f_{u,k}$  (également notée  $f_u$ ).

Classe de qualité de l'acier	6.8	8.8	10.9
------------------------------	-----	-----	------

$f_{u,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	600	800	1 000
--------------------------------	-----	-----	-------

**Tableau 3-8 : Résistance de l'acier des boulons**

Le diamètre des boulons et broches doit être compris entre 6 mm et 30 mm.

La fixation par boulons ou broches est un moyen d'assemblage simple à mettre en œuvre, aussi bien en atelier que sur chantier. Selon les fabricants, ces organes sont disponibles dans de nombreuses dimensions. Les matériaux de base utilisés sont des aciers trempés ou des aciers inoxydables.

Ces organes doivent être conformes à la norme EN 14592 et posséder le marquage CE.

Les boulons et broches s'emploient pour la réalisation d'assemblages cisailés. Cependant, sur certains assemblages, la capacité de résistance en traction des boulons est utilisée.

### **3.6.2 Fonctionnement**

La transmission des efforts se fait soit par cisaillement, soit par traction (boulons).

Les liaisons réalisées par boulons ou broches peuvent être assimilées à des articulations ou à des encastremets en fonction du choix de la technique de liaison et de la nature des efforts (M, N, V) à reprendre.

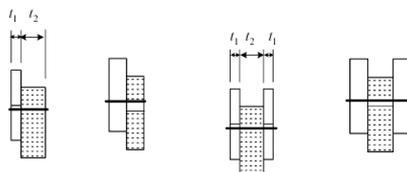
A noter que la contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde différencie les boulons des broches. Pour les boulons mis en œuvre ajustés (sans jeu), la raideur de l'assemblage,  $K_{ser}$ , est équivalente à celle des broches.

### **3.6.3 Assemblages à plans de cisaillement multiples**

On entend par assemblages à plans de cisaillement multiples, les assemblages ayant plus de 2 plans de cisaillement. Le nombre de plans de cisaillement doit être pair et l'on assurera un fonctionnement symétrique de l'assemblage. Dans ce cas, il convient de décomposer l'assemblage en une série d'assemblages à trois éléments assemblés (cas des tôles en âme).

Pour pouvoir combiner la résistance de chaque plan de cisaillement, il convient d'abord de s'assurer de la compatibilité des modes de rupture de chacun des plans (problème de continuité cinématique). Notamment, on s'assurera que cette combinaison n'est pas une combinaison des modes de rupture suivants :

- Pour un assemblage bois / bois : (a), (b), (g) et (h)



- Pour un assemblage bois / métal : (e) et (h/k)



**Note :**

La rupture de bloc (partielle entre 2 plans de cisaillement ou totale) devient prépondérante pour des assemblages compacts à 2 âmes ou plus.

### 3.6.4 Mise en œuvre

#### 3.6.4.1 Perçage

Pour les boulons, afin d'assurer une liaison correcte et la facilité de montage, le perçage doit être limité à  $d+1$  mm.

Pour les broches, le diamètre du perçage dans le bois doit être égal au diamètre de la broche. Ce diamètre de perçage pourra être porté à  $d+1$  mm dans les plaques métalliques pour le cas d'assemblages bois-métal.

**Remarque :**

Lorsque l'humidité de mise en œuvre du bois est éloignée de l'humidité d'équilibre ( $> 5\%$  HR environ), la variation dimensionnelle des bois assemblés peut affecter la rigidité de l'assemblage et sa capacité résistante (notamment lorsque l'effet de corde a été pris en compte). Il est donc recommandé d'effectuer un resserrage lorsque le bois a atteint son humidité d'équilibre.

#### 3.6.4.2 Rondelles

L'utilisation de rondelles pouvant s'enfoncer uniformément dans le bois est obligatoire. Le diamètre (ou longueur latérale) minimal des rondelles doit être de  $3d$  et l'épaisseur minimale de  $0,3d$  (voir Tableau 3-9).

<b>Boulons</b>	Diamètre (mm)	12	16	18	20	24
	<b>Rondelles</b>	Diamètre (mm)	36	48	54	60
	Epaisseur (mm)	3,6	4,8	5,4	6	7,2

Tableau 3-9: Diamètre et épaisseur minimaux des rondelles

### 3.6.4.3 Couronnes de boulons

La mise en œuvre des couronnes de boulons permet d'obtenir des assemblages très rigides. Cependant, on notera que ces assemblages génèrent des efforts de cisaillement induits dans les éléments assemblés par la répartition des efforts au niveau des différents organes. En règle générale, pour éviter tout risque d'apparition de fissure, on limite l'usage des couronnes de boulons à :

- un diamètre de couronne inférieur à 1 mètre,
- un moment inférieur à 200 kN.m.

De plus, on doit vérifier le cisaillement induit dans tous les cas. Une méthode de vérification est donnée au chapitre 3.7.

### 3.6.4.4 Assemblages brochés

Les assemblages brochés nécessitent un maintien latéral qui peut être obtenu par :

- soit par le remplacement de 10 % des broches (avec un minimum de 2) par des boulons sans jeu de diamètre au moins égal,
- soit par des boulons complémentaires avec jeu.

Dans le cas des assemblages brochés avec plaques métalliques en âme et entaille non débouchante, qui ne sont pas destinés à participer au contreventement de l'ouvrage, l'utilisation seule de broches est possible.

## 3.6.5 Boulons et broches sollicités en cisaillement

### 3.6.5.1 Espacements et distances minimaux

- Espacements et distances minimaux pour les boulons

Les espacements et distances minimaux sont pris à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-3 : Espacements et distances minimaux.

Espacements et distances	Angle	Valeur minimale
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+ \cos\alpha ).d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4.d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d ; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(4d ; (1+6\sin\alpha)d)$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(4d ; (1+6\sin\alpha)d)$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max(3d ; (2+2\sin\alpha)d)$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Tableau 3-10 : Espacements et distances minimales pour les boulons

- **Espacements et distances minimales pour les broches**

Les espacements et distances minimaux sont pris à partir du tableau suivant, avec les symboles illustrés en Figure 3-3 : Espacements et distances minimaux.

Espacements et distances	Angle	Distance minimale
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cos\alpha ).d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3.d$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d ; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(3d ; a_{3,t} \cdot  \sin\alpha .d)$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(3d ; a_{3,t} \cdot  \sin\alpha .d)$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max(3d ; (2+2\sin\alpha)d)$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Tableau 3-11 : Espacements et distances minimaux pour les broches

### 3.6.5.2 Détermination du moment d'écoulement plastique

Le moment d'écoulement plastique d'un boulon ou d'une broche caractérise la résistance caractéristique au-delà de laquelle il y a apparition d'au moins une rotule plastique et rupture de l'assemblage selon le mode 2 ou le mode 3. Si cette valeur n'est pas fournie par le fabricant, on utilise les valeurs caractéristiques suivantes :

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

avec :

$M_{y,Rk}$  valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique, en N.mm

$d$  diamètre du boulon ou de la broche tel que défini dans EN 14592, en mm

$f_{u,k}$  résistance caractéristique en traction de l'acier en N/mm<sup>2</sup>

### 3.6.5.3 Portance locale

- **Portance locale dans le bois et le LVL**

Lorsqu'elles ne sont pas fournies par le fournisseur, pour les boulons et broches dont le diamètre est inférieur ou égal à 30 mm, on utilise les valeurs caractéristiques suivantes pour la portance locale du bois et du LVL dans le sens du fil du bois ( $\alpha = 0^\circ$ ) :

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

On corrige ensuite cette valeur en fonction de l'angle entre l'effort et le fil du bois :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2}$$

avec :

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d & \text{pour les résineux} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d & \text{pour le LVL} \\ 0,90 + 0,015 \cdot d & \text{pour les feuillus} \end{cases}$$

$\alpha$  angle entre l'effort et le fil du bois

Dans le cadre d'une approche « conception assistée par essais », la valeur caractéristique de portance locale peut être déterminée par essais conformément à EN 383 et à EN 14358.

Portance locale dans les panneaux à base de bois

Pour les boulons et les broches dont le diamètre est inférieur ou égal à 30 mm, les valeurs pour la portance locale quel que soit l'angle de l'effort sont les suivantes (sauf si elles sont fournies par le fabricant) :

– Pour le contreplaqué :

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \text{ en N/mm}^2$$

– Pour les panneaux de particules et l'OSB :

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2} \text{ en N/mm}^2$$

3.6.5.4 Valeur caractéristique de la capacité résistante par plan de cisaillement

• Assemblage bois-bois et bois-panneaux

La valeur caractéristique de la capacité résistante des boulons et des broches est définie **par plan de cisaillement et par organe**, pour les espacements minimaux spécifiés, par les formules suivantes :

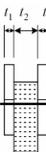
– Cas de chargement en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



– Cas de chargement en double cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



avec :

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

avec :

$F_{v,Rk}$	capacité de chargement caractéristique par plan de cisaillement et par organe
$t_i$	épaisseur ou la hauteur de pénétration de l'élément Bois $i$
$f_{h,i,k}$	valeur caractéristique de portance locale de l'élément Bois $i$
$M_{y,Rk}$	valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique du boulon ou de la broche
$F_{ax,Rk}$	valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial du boulon
$d$	diamètre du boulon ou de la broche

Le second terme  $F_{ax,Rk} / 4$  est la contribution de l'effet de corde. Cette contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde est limitée aux pourcentages suivants de la partie de Johansen (premier terme lié à la rupture par cisaillement en mode 1, 2 ou 3) :

- Boulons 25 %
- Broches 0 % (pas d'effet de corde possible)

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée au paragraphe 3.6.6.

#### • Assemblage bois-métal

Le mode de rupture d'un assemblage bois-métal peut dépendre de la résistance de la section nette des plaques métalliques. Cette résistance doit également être vérifiée conformément à l'Eurocode 3. Dans le cas où cette résistance est insuffisante, il est souvent suffisant d'augmenter les distances aux rives.

On classe les plaques comme suit ( $e$  : épaisseur de la plaque) pour le calcul :

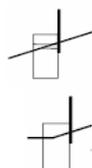
- $e \leq 0,5.d$  mince
- $e \geq d$  épaisse
- $0,5.d \leq e \leq d$  interpolation

Les plaques épaisses dont la tolérance de perçage est supérieure à  $0,1.d$  sont considérées comme des plaques minces.

La valeur caractéristique de la capacité résistante des boulons ou broches est définie **par plan de cisaillement et par organe**, pour les espacements minimaux spécifiés, par :

- Plaque mince avec chargement en simple cisaillement :

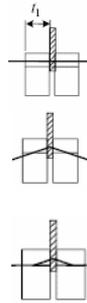
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4.f_{h,k}.t_1.d \\ 1,15\sqrt{2M_{y,Rk}.f_{h,k}.d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



– Plaque épaisse avec chargement en simple cisaillement :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$


– Plaque mince ou épaisse en âme intérieure (chargement en double cisaillement) :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$


– Plaques minces en flasques extérieures (chargement en double cisaillement) :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} t_2 d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$


– Plaques épaisses en flasques extérieures (chargement en double cisaillement) :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} t_2 d \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$


avec :

$F_{v,Rk}$	capacité de chargement caractéristique par plan de cisaillement et par organe
$t_1 t_2$	épaisseur de l'élément bois ou longueur de pénétration de l'organe
$f_{h,k}$	valeur caractéristique de la portance locale
$M_{y,Rk}$	valeur caractéristique du moment d'écoulement plastique
$F_{ax,Rk}$	valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement axial du boulon
$d$	diamètre du boulon ou de la broche

Le second terme  $F_{ax,Rk} / 4$  est la contribution de l'effet de corde. Cette contribution à la capacité résistante due à l'effet de corde est limitée aux pourcentages suivants de la partie de Johansen (premier terme lié à la rupture par cisaillement en mode 1, 2 ou 3) :

- Boulons            25 %
- Broches            0 % (pas d'effet de corde possible)

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée plus loin.

### 3.6.5.5 Résistance caractéristique de l'assemblage

Lorsque l'utilisation de plusieurs organes est nécessaire, on s'assure que la rigidité et la résistance attendues peuvent être obtenues. La rigidité est influencée par la disposition et la dimension des organes dans l'assemblage. De même, la résistance est fonction de paramètres comme les espacements, les distances d'extrémité et de rive... On retiendra notamment que pour un assemblage constitué de plusieurs éléments du même type et de même dimension, la capacité résistante totale est inférieure à la somme des capacités résistantes de chaque organe pris individuellement.

Pour une file de  $n$  boulons ou broches parallèles au fil du bois, le nombre efficace de boulons  $n_{ef}$  est :

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

Pour une file de  $n$  boulons ou broches perpendiculaires au fil du bois, le nombre efficace de boulons  $n_{ef}$  est :

$$n_{ef} = n$$

avec :

$n$             nombre réel de boulons ou broches dans une file

Pour les angles intermédiaires entre la file de boulons ou broches et le fil du bois,  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ , on détermine le nombre efficace de boulons  $n_{ef}$  par interpolation linéaire de ces deux valeurs.

Puis d'une façon générale, la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante des organes  $F_{v,ef,Rk}$  est :

$$F_{v,ef,Rk} = m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rk}$$

avec :

$m$             nombre de files d'organes

$F_{v,Rk}$         valeur caractéristique de la capacité résistante par organe en N

### 3.6.5.6 Résistance de calcul

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

avec :

$k_{mod}$  coefficient de modification

$\gamma_M$  coefficient partiel pour les assemblages

### 3.6.5.7 Vérification de la plaque métallique

Cette vérification est conforme à l'EN 1993-1 (Eurocode 3).

Les espacements et distances aux bords des plaques métalliques sont définies par :

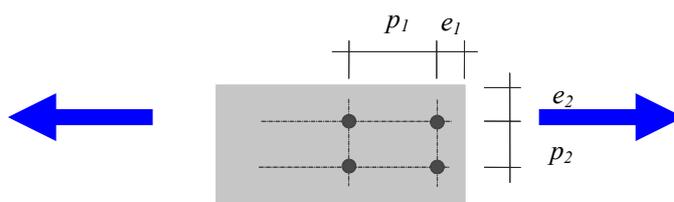


Figure 3-15 : Paramètres géométriques

Pour une plaque d'épaisseur  $e$ , les espacements  $p_1$  et  $p_2$  doivent respecter les conditions (selon l'Eurocode 3) suivantes :

$$2,2.d_0 \leq p_1 \leq \min \begin{cases} 14.e \\ 200mm \end{cases}$$

$$2,4.d_0 \leq p_2$$

Pour les espacements  $e_1$  et  $e_2$ , les conditions sont :

$$1,2.d_0 \leq e_i \leq 4.e + 40mm$$

où  $d_0$  est le diamètre des trous.

**Note :**

*Il n'y a pas à considérer les bornes supérieures sauf pour les plaques comprimées (risque de flambement) et pour les plaques comprimées ou tendues exposées aux intempéries ou autres influences corrosives.*

En général, les conditions de distances sont remplies par le respect des règles de la norme NF EN 1995-1-1 et une disposition équilibrée, soit :

$$p_1 = a_1 \geq 7.d \quad \text{et} \quad p_2 = a_2 \geq \begin{cases} 4.d & \text{Pour les boulons} \\ 3.d & \text{Pour les broches} \end{cases}$$

$$e_1 = e_2 \geq 2.d$$

Deux vérifications distinctes doivent être menées :

- La résistance de calcul de la section nette :

$$F_{N,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

- La résistance en pression diamétrale

Pour chaque perçage :

$$F_{b,Rd} = \alpha_b \cdot \frac{k_1 \cdot d \cdot e \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

avec :

$\gamma_{M2}$	coefficient partiel (1,25)
$d$	diamètre de l'organe d'assemblage
$A_{net}$	section nette de la plaque
$f_u$	résistance en traction de l'acier de la plaque
$k_1$	coefficient défini par :

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 & \text{en rive} \\ 2,5 \end{cases}$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 & \text{sinon} \\ 2,5 \end{cases}$$

$\alpha_b$  est un coefficient défini par :

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{1}{f_{ub}}, \frac{1}{f_u} \right\}$$

$f_{ub}$  est la résistance en traction de l'acier de l'organe d'assemblage.

La résistance totale en pression diamétrale peut être prise comme étant la somme des résistances en pression diamétrales individuelles.

### 3.6.5.8 Glissement d'assemblage

Le module de glissement  $K_{ser}$  **par plan de cisaillement et par organe** (boulons sans jeu et broches) pour une charge de service est soit déterminé par essais conformément à la méthode donnée dans EN 26891 (noté  $k_s$ ), soit calculé selon la formule suivante :

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23}$$

avec :

$\rho_m$  masse volumique moyenne des éléments assemblés, en kg/m<sup>3</sup>

$d$  diamètre de l'organe d'assemblage, en mm

Pour les assemblages utilisant des éléments assemblés dont les masses volumiques moyennes sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), on applique une masse volumique moyenne équivalente  $\rho_m$  :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

Pour les assemblages bois-métal ou bois-béton, le glissement des assemblages est plus limité. Aussi, le calcul de  $K_{ser}$  se base-t-il sur la masse volumique de l'élément bois et est multiplié par 2,0.

### 3.6.6 Boulons sollicités axialement

La résistance en traction d'un assemblage boulonné est pilotée par deux modes de rupture possibles :

- La rupture par compression du bois au droit de la rondelle ou de la plaque métallique (cas des assemblages bois/métal)
- La rupture en traction du boulon

La valeur de calcul de la capacité résistante en compression est déterminée en prenant en compte soit la surface comprimée réelle dans le cas d'une rondelle, soit la surface fictive d'une rondelle équivalente dans le cas d'une plaque métallique, et une résistance en compression majorée (prise en compte d'une densification locale du bois) :

$$R_{c,90,d} = 3 \cdot f_{c,90,d} \cdot \frac{\pi}{4} (d_r^2 - d_0^2)$$

$d_r$  diamètre de la rondelle

$d_0$  diamètre un perçage

Pour un assemblage avec une plaque métallique :

$$d_r = \min \begin{cases} 12 \cdot t \\ 4 \cdot d \end{cases}$$

avec :

$t$  épaisseur de la plaque métallique

$d$  diamètre du boulon

La rupture en traction du boulon est calculé selon NF EN 1993-1-8 (Eurocode 3) par :

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,k} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

avec :

$A_s$  surface travaillante en traction du boulon selon le tableau suivant :

∅ (mm)	10	12	14	16	18
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	<b>58</b>	<b>84</b>	<b>115</b>	<b>157</b>	<b>192</b>
∅ (mm)	20	22	24	27	30
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	<b>245</b>	<b>303</b>	<b>353</b>	<b>459</b>	<b>561</b>

$\gamma_{M2}$  coefficient partiel pour les boulons = 1,25

La valeur de calcul de la capacité résistante en traction est alors :

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} R_{c,90,d} \\ F_{t,Rd} \end{cases}$$

On pourra exploiter cette résistance pour le calcul de l'effet corde d'un assemblage en cisaillement.

**Note :**

*Dans la majorité des cas, la rupture « dimensionnante » sera la compression localisée.*

3.6.6.1 Exemple de calcul

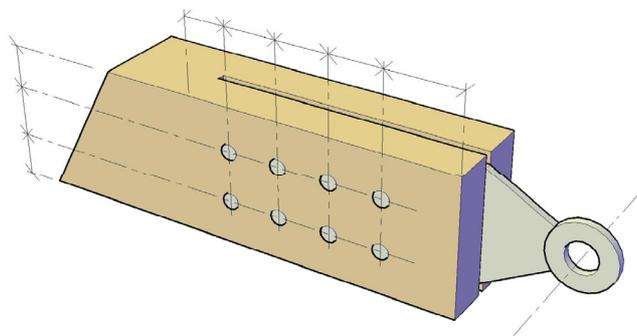
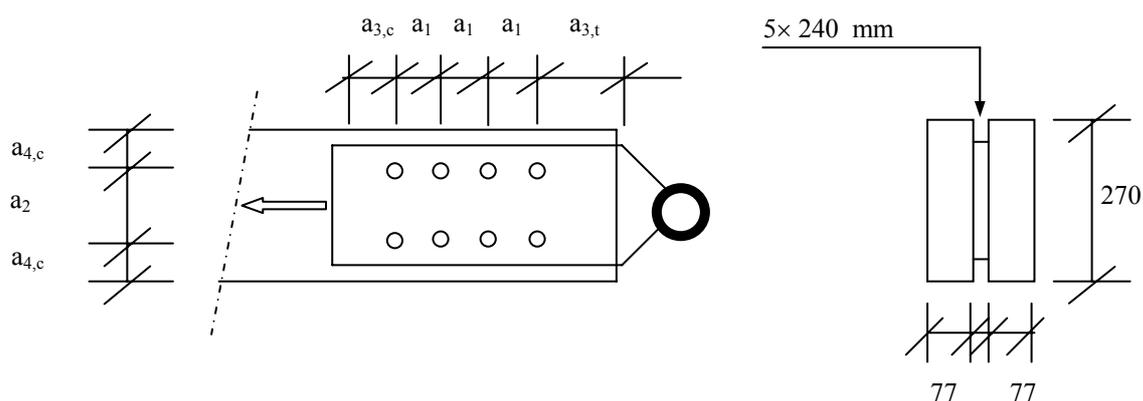


Figure 3-16 : Schéma de principe de l'exemple



$$a_1 = (4 + |\cos \alpha|)d = 5d = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 80 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7d; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 4d = 80 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max(3d; (2 + 2 \sin \alpha)d) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3d = 60 \text{ mm}$$

Figure 3-17 : Distances et cotes

- Bois lamellé-collé de classe de résistance GL24 ;  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_m = 430 \text{ kg/m}^3$
- 8 boulons de 20 mm de diamètre, classe 6.8, soit  $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$  et  $A_s = 303 \text{ mm}^2$
- Rondelles de diamètre  $d_r = 60 \text{ mm}$
- Plaque métallique S235 :  $e = 5 \text{ mm}$ , perçage à  $d_0 = d + 1 \text{ mm}$
- Classe de service 2, durée de chargement de court terme :  $k_{mod} = 0,9$

Effort pour le cas de charge ELU critique :

- Traction parallèle au fil du bois  $N_d = 175$  kN

- **Vérification des espacements minimaux**

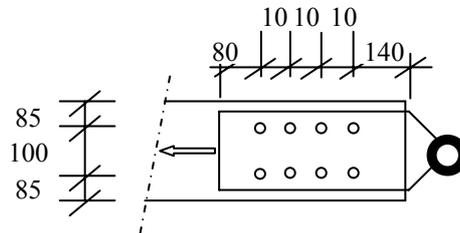


Figure 3-18 : Espacements retenus

Pour la plaque métallique en âme, les espacements  $p_1$  et  $p_2$  doivent respecter les conditions :

$$2,2.d_0 \leq p_1 \text{ soit } 46,2 \text{ mm} \leq p_1$$

$$2,4.d_0 \leq p_2 \text{ soit } 50,4 \text{ mm} \leq p_2$$

Ici,  $p_1 = 140$  mm  $>$  46,2 mm et  $p_2 = (85 - 15$  mm) = 70 mm  $>$  50,4 mm

Pour les espacements  $e_1$  et  $e_2$ , les conditions sont :

$$1,2.d_0 \leq e_i \text{ soit } 25,2 \text{ mm} \leq e_i$$

Ici,  $e_1 = 100$  mm  $>$  25,2 mm et  $e_2 = 100$  mm  $>$  25,2 mm

**Toutes les distances sont vérifiées.**

- **Portance locale dans le sens du fil du bois**

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 380 = 24,9 \text{ MPa}$$

- **Moment d'écoulement plastique du boulon**

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \times 600 \times 20^{2,6} = 334 \cdot 10^3 \text{ N.mm}$$

- **Calcul de la résistance en cisaillement d'un boulon**

$t_l$  = épaisseur des pièces extérieures = 77 mm

On utilise, pour le calcul de la capacité portante, les formules relatives au double cisaillement d'un assemblage bois-métal puisque pour chaque boulon il y a deux plans de cisaillement. La plaque métallique est placée au milieu de deux pièces de bois.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

**Calcul des parties de Johansen :**

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d = 24,9 \times 77 \times 20 = 38346 \text{ N} \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 24,9 \times 77 \times 20 \times \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \times 334 \cdot 10^3}{24,9 \times 20 \times 77^2}} - 1 \right] = 21705 \text{ N} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} = 2,3 \times \sqrt{334 \cdot 10^3 \times 24,9 \times 20} = 29663 \text{ N} \end{array} \right.$$

Soit en valeur de calcul :

$$\left\{ \begin{array}{l} 38346 \times k_{\text{mod}} / \gamma_M = 38346 \times 0,9 / 1,3 = 26547 \text{ N (1)} \\ 21705 \times k_{\text{mod}} / \gamma_M = 21705 \times 0,9 / 1,3 = 15026 \text{ N (2)} \\ 29663 \times k_{\text{mod}} / \gamma_M = 29663 \times 0,9 / 1,3 = 20536 \text{ N (3)} \end{array} \right.$$

On note que pour les ruptures (2) et (3) nous pouvons bénéficier de l'effet corde à hauteur de 25 % de la partie de Johansen sans excéder  $F_{ax,Rd} / 4$ . Pour des raisons pratiques, on préfère ici travailler directement sur les valeurs de calcul.

**Prise en compte de l'effet de corde :**

Valeur de calcul de la capacité résistante en compression avec un perçage à  $d + 1 \text{ mm}$  :

$$R_{c,90,d} = 3 \cdot f_{c,90,d} \cdot \frac{\pi}{4} (d_r^2 - d_0^2) = 3 \times 2,7 \times \frac{0,9}{1,3} \times \frac{\pi}{4} \times (60^2 - 21^2) = 13913 \text{ N}$$

Valeur de calcul de la capacité résistante en traction du boulon :

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,k} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 600 \times 303}{1,25} = 130896 \text{ N}$$

La valeur de calcul de la capacité résistante en traction est alors :

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} R_{c,90,d} \\ F_{t,Rd} \end{cases} = 13913 \text{ N}$$

On pourra exploiter au maximum  $F_{ax,Rd} / 4$  pour l'effet corde, soit 3 478 N.

Pour la rupture (2), l'effet corde doit être limité à 25 % de 15026 N, soit 3 756 N. Pour la rupture (3), l'effet corde doit être limité à 25 % de 20536 N, soit 5 134 N.

Dans les deux cas, l'effet corde sera donc limité par  $F_{ax,Rd} / 4$ , soit 3 478 N.

La valeur de calcul de la capacité résistance en cisaillement d'un boulon et par plan de cisaillement est donc :

$$F_{v,Rd} = \min \begin{cases} 26547 \text{ N} \\ 15026 + 3478 = 18504 \text{ N} \\ 20536 + 3478 = 24014 \text{ N} \end{cases}$$

On retient donc :

$$F_{v,Rd} = 18\,504 \text{ N} = 18,5 \text{ kN}$$

Il s'agit du mode de rupture (g) au sens de l'Eurocode 5.

- **Calcul du nombre efficace de boulons par file**

Nous avons disposé 2 files de 4 boulons.

$$n_{ef} = n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 4^{0,9} \times \sqrt[4]{\frac{100}{13 \times 20}} = 2,74$$

- **Résistance de calcul totale efficace**

Nous avons disposé 2 files de 4 boulons qui travaillent en double cisaillement. La valeur de calcul totale efficace est donc :

$$F_{v,ef,Rd} = m \times n_{ef} \times (2 \cdot F_{v,Rd}) = 2 \times 2,74 \times (2 \times 18,5) = 202,8 \text{ kN}$$

$$F_{v,ef,Rd} = 203 \text{ kN} > N_d$$

- **Résistance de la plaque métallique**

Sur la base de perçage à  $d_0 = d + 1 \text{ mm}$ , la section métallique nette sollicitée en traction est telle que :

$$A_{net} = (240 - (2 \times 21)) \times 5 = 990 \text{ mm}^2$$

La résistance de calcul de la section nette en traction est :

$$F_{N,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 990 \times 600}{1,25} = 427680 \text{ N} = 427 \text{ kN}$$

La résistance en pression diamétrale est :

$$F_{b,Rd} = \alpha_b \cdot \frac{k_1 \cdot d \cdot e \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 1 \times \frac{2,5 \times 20 \times 5 \times 235}{1,25} = 47000 \text{ N} = 47 \text{ kN}$$

avec les boulons en rive seulement :

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7, \frac{2,8 \times \frac{100}{21} - 1,7}{2,5} \right\} = \min \left\{ 11,6, 2,5 \right\}$$

$$k_1 = 2,5$$

et

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}, \frac{600}{235} \right\}$$

$$\alpha_b = 1$$

Soit une résistance en pression diamétrale totale de :

$$F_{b,tot,Rd} = 2 \times 4 \times 47 = 376 \text{ kN} > N_d$$

**L'assemblage est vérifié vis à vis du cisaillement.**

- **Vérification de la rupture par bloc (Annexe A EN 1995-1-1)**

Le mode de rupture déterminant est le mode (g) avec la création d'une rotule plastique au niveau de la plaque métallique centrale. On retiendra donc la relation suivante pour le calcul de l'épaisseur efficace :

$$t_{ef} = t_1 \left[ \sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] = 77 \times \left[ \sqrt{2 + \frac{334.10^3}{24,9 \times 20 \times 77^2}} - 1 \right] = 34,9 \text{ mm}$$

Les sections résiduelles respectivement en cisaillement et en traction valent donc :

$$A_{net,v} = L_{net,v} (L_{net,t} + 2t_{ef}) / 2$$

$$L_{net,v} = (440 - 3,5 \times 21) = 366 \text{ mm}$$

$$L_{net,t} = 100 - 21 = 79 \text{ mm}$$

$$A_{net,v} = 366 \times (79 + 2 \times 39) / 2 = 28730 \text{ mm}^2$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} t_1 = 79 \times 77 = 6083 \text{ mm}^2$$

On peut ainsi calculer la valeur caractéristique de la capacité de cisaillement en bloc par moise :

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 A_{net,t} f_{t,0,k} = 1,5 \times 6083 \times 16,5 = 150554 \text{ N} = 150 \text{ kN} \\ 0,7 A_{net,v} f_{v,k} = 0,7 \times 28730 \times 2,7 = 54300 \text{ N} = 54,3 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{bs,Rk} = 150 \text{ kN}$$

Soit la valeur de calcul pour l'assemblage :

$$F_{bs,Rd} = 2 \times 150 \times \frac{0,9}{1,3} = 207 \text{ kN} > N_d$$

**L'assemble est vérifié vis-à-vis de la rupture par bloc.**

- **Raideur de l'assemblage**

Lors de la vérification à l'état limite de service (ELS), on doit calculer les déformations en prenant en compte un glissement axiale d'assemblage  $K_{ax,ser}$ .

Module de glissement unitaire par boulon sans jeu :

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 430^{1,5} \times \frac{20}{23} = 7750 \text{ N/mm}$$

Module de glissement axial de l'assemblage sans jeu :

$$K_{ax,ser} = \sum K_{ser} = 2 \times 4 \times 7750 = 62000 \text{ N/mm} = 62 \text{ kN/mm}$$

S'il n'est pas possible de prendre en compte le jeu séparément, on pourra calculer la raideur sécante  $K'_{ax,ser}$  sous une charge  $N_d$  donnée et avec une hypothèse de jeu moyen  $\Delta u_f$  par :

$$K'_{ax,ser} = \frac{N_d \times K_{ax,ser}}{N_d + K_{ax,ser} \times \Delta u_f}$$

Supposons que notre exemple conduit en ELS à une charge à reprendre dans l'assemblage  $N_d = 125$  kN et prenons l'hypothèse d'un jeu moyen de 0,5 mm, nous avons une raideur sécante de :

$$K'_{ax,ser} = \frac{125 \times 62}{125 + 62 \times 0,5} = 49,7 \text{ kN/mm}$$

En d'autres termes, la prise en compte d'un jeu moyen de 0,5 mm conduit à une perte de la raideur apparente de 20 %.

### 3.7 Encastrement poteau-traverse par couronnes de boulons

#### 3.7.1 Généralités

Les assemblages encastrés assurent la continuité de deux éléments et doivent reprendre les sollicitations suivantes :

- effort axial (traction, compression) noté  $N_d$ ,
- effort tranchant noté  $V_d$ ,
- moment de flexion  $M_d$  ou de torsion noté  $C_d$ .

Parmi les assemblages encastrés, l'encastrement poteau - traverse est l'un des plus délicats à réaliser, car il met en opposition les fibres du bois. Ceci empêche le retrait transversal lors de variations d'humidité et génère donc des contraintes perpendiculaires. Il existe alors des risques de fendage.

On essaiera donc de **limiter les dimensions des pièces et les variations du taux d'humidité des bois** en se plaçant dans les conditions suivantes :

- hauteur maximale recommandée : 1000 mm
- variation du taux d'humidité :  $\Delta H \leq 5 \%HR$ ,

pour lesquelles on obtient une variation de hauteur de 10 mm.

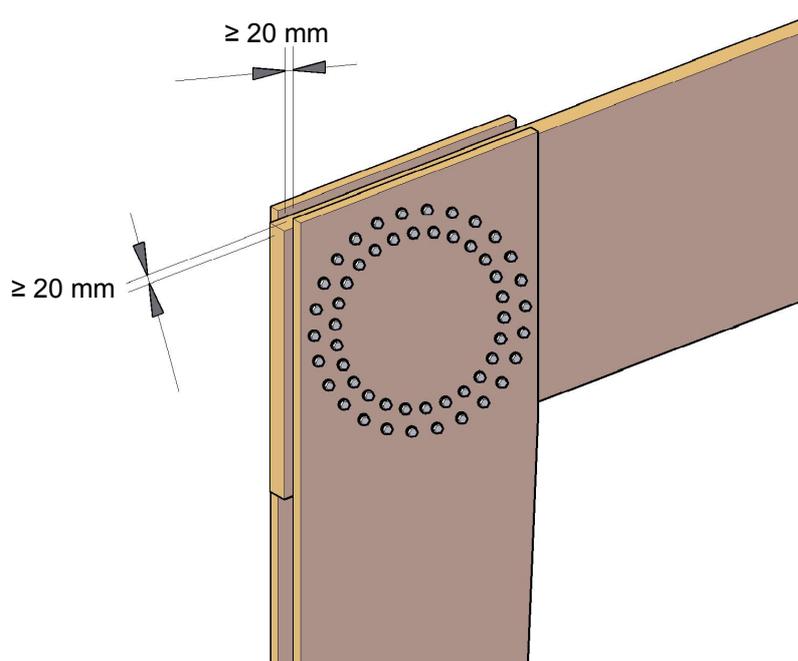


Figure 3-19 : Assemblage de rein de portique

Au-delà de ces limites recommandées, des dispositions permettant de limiter le cisaillement devront être mis en œuvre. Ces systèmes permettant de réduire le risque de fendage sont par exemple :

- Collage-clouage de contreplaqué sur la zone d'assemblage sur les faces intérieures ou en about des éléments
- Frettage de la zone d'assemblage par l'utilisation de crampons simple face ou de boulons associés à des pointes
- Suppression des organes situés dans les angles de l'assemblage,
- Majoration des distances aux bords.

### 3.7.2 Vérification de l'assemblage

#### 3.7.2.1 Détermination du centre de gravité et de l'inertie polaire de l'assemblage

En première approche, on peut considérer que le centre de gravité de l'assemblage est également le centre de rotation. Ainsi, on détermine sa position en recherchant le barycentre des raideurs (équilibre des moments statiques).

Si chaque organe  $i$  est repéré par sa position  $(x_i ; y_i)$  et son module de glissement  $K_{ser,i}$ , la position  $(x_G ; y_G)$  du centre de gravité  $G$  est donnée par :

$$x_G = \frac{\sum_i (K_{ser,i} \times x_i)}{\sum_i K_{ser,i}} \quad \text{et} \quad y_G = \frac{\sum_i (K_{ser,i} \times y_i)}{\sum_i K_{ser,i}}$$

**Note :**

Dans le cas particulier où les organes sont tous identiques,  $G$  est le centre géométrique.

On calcule les rayons polaires  $a_i$  pour chaque organe par :

$$a_i = \sqrt{(x_i - x_G)^2 + (y_i - y_G)^2}$$

L'inertie polaire  $I_p$  de l'assemblage est définie par :

$$I_p = \sum_i a_i^2$$

**3.7.2.2 Rigidité en rotation de l'assemblage  $K_\omega$**

La rigidité de l'assemblage, constituée de  $n$  organes, doit être prise en compte pour l'étude globale de la structure en états limites de service (ELS) et ultimes (ELU).

La rigidité en rotation **par plan de cisaillement** est (en N.mm/rad) :

- pour le calcul aux ELS :  $K'_{\omega,ser} = \sum_{i=1}^n K'_{ser,i} \times a_i^2$
- pour le calcul aux ELU :  $K'_{\omega,u} = \frac{2}{3} K'_{\omega,ser}$

A multiplier par 2 pour les assemblages moisés (2 plans de cisaillement).

$K'$  est le module sécant de glissement de l'organe  $i$  qui tient compte du jeu de l'assemblage. Les valeurs de  $K_{ser}$  pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux et la méthode de calcul de  $K'_{ser,i}$  sont données dans ce manuel.

Dans le cas des boulons, compte tenu des tolérances de perçage et de la mise en œuvre d'un tel assemblage boulonné, il est impossible d'avoir un jeu fonctionnel  $\Delta u_f$  de 1 mm sur tous les organes. Dans ce cas, le jeu peut souvent être considéré comme négligeable ou, à titre conservateur, pris en compte par un jeu moyen de 0,5 mm.

**Note 1 :**

Par simplification, on pourra directement considérer un jeu fonctionnel en rotation  $\Delta \alpha_f$  défini à partir du jeu fonctionnel  $\Delta u_f$  par :

$$\Delta \alpha_f \approx \frac{\Delta u_f}{a_{i,moyen}} \text{ (en radians)}$$

Pour un assemblage sollicité par un moment  $M_d$ , la rigidité sécante en rotation est :

$$K'_{\omega,ser} = \frac{M_d \cdot K_{\omega,ser}}{M_d + K_{\omega,ser} \cdot \Delta \alpha_f} \text{ N.mm/rad}$$

où  $K_{\omega,ser}$  est la rigidité en rotation sans jeu.

**Note 2 :**

Compte tenu des efforts à reprendre par ce type d'assemblage, la rigidité axiale peut être négligée (raideur infinie) car son impact sur la déformation de la structure est négligeable.

### 3.7.2.3 Vérification de la capacité résistante

L'effort appliqué à chaque organe,  $F_d$ , est la résultante vectorielle de :

- $F_{Md}$  l'effort induit par le moment de flexion  $M_d$ ,
- $F_{Nd}$  l'effort normal  $N_d$ ,
- $F_{Vd}$  l'effort tranchant  $V_d$ .

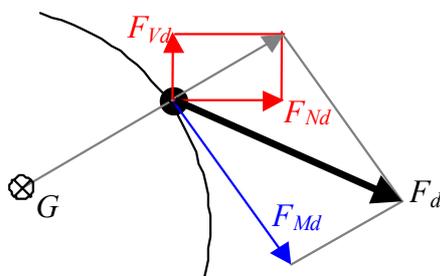


Figure 3-20 : Répartition vectorielle des efforts appliqués sur chaque organe

L'effort  $F_{Md}$ , perpendiculaire au rayon polaire considéré, est égal à :

$$F_{Md} = \frac{a_i}{I_p} \cdot M_d$$

et les efforts  $F_{Nd}$  et  $F_{Vd}$ , induits par les efforts normal et tranchant dans les éléments assemblés sont :

- Dans le poteau :

$$F_{Nd,p} = \frac{N_{d,p}}{n} \text{ et } F_{Vd,p} = \frac{V_{d,p}}{n}$$

- Dans la traverse :

$$F_{Nd,t} = \frac{N_{d,t}}{n} \text{ et } F_{Vd,t} = \frac{V_{d,t}}{n}$$

où  $N_{d,p}$ ,  $V_{d,p}$  et  $N_{d,t}$ ,  $V_{d,t}$  sont les efforts normal et tranchant dans le poteau et la traverse respectivement.

Pour chaque organe et chaque élément assemblé, on doit vérifier que la valeur de calcul de l'effort appliqué à chaque organe  $F_d$  est inférieure à la valeur de calcul  $F_{v,Rd}$  de sa capacité résistante tenant compte de l'influence de l'angle entre la direction de l'effort et le fil du bois.

De plus, sur chaque élément bois dans la zone de l'assemblage, il faut également vérifier que la contrainte de cisaillement  $\sigma_{v,d}$ , due à l'effort tranchant direct  $V_d$  et à l'effort tranchant induit  $V_{Md}$  par la répartition des efforts

sur les organes d'assemblage, est inférieure à la résistance de calcul en cisaillement du bois de l'élément considéré avec :

$$\sigma_{v,d} = \frac{3 \left( V_{Md} - \frac{V_d}{2} \right)}{2 \cdot b \cdot h}$$

### 3.7.2.4 Cas particulier d'une couronne circulaire à $n$ organes

Cette configuration en couronne circulaire est à privilégier car elle permet une répartition plus homogène des efforts dans les organes d'assemblage. En effet, les configurations « en carré » sont à éviter car elles génèrent des efforts importants dans les organes les plus éloignés du centre de gravité de l'assemblage.

Dans le cas d'une couronne circulaire de  $n$  organes identiques et de rayon  $r$ , la rigidité en rotation **par plan de cisaillement** est (en N.mm/rad) :

- pour le calcul aux ELS :  $K'_{\omega,ser} = n \cdot K'_{ser} \cdot r^2$
- pour le calcul aux ELU :  $K'_{\omega,u} = \frac{2}{3} K'_{\omega,ser}$

La valeur de l'effort induit par  $M_d$  sur chaque organe est :

$$F_{Md} = \frac{M_d}{n \cdot r}$$

**Note :**

Dans le cas de 2 couronnes inscrites, on retrouvera l'effort  $F_{Md,i}$  sur chaque organe de la couronne  $i$  par :

$$F_{Md,i} = M_d \cdot \frac{r_i}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2}$$

où  $r_i$  est le rayon de la couronne considérée,  $n_i$  le nombre d'organes sur cette couronne.

Les organes les plus critiques dans ce type d'assemblage se situent sur ou à proximité de l'axe longitudinal (sens du fil du bois) de chaque élément assemblé. Sur ces organes, la résultante vectorielle des efforts appliqués s'écrit :

- Dans le poteau :

$$F_d = \sqrt{\left( F_{Md} + F_{Vd,p} \right)^2 + F_{Nd,p}^2}$$

- Dans la traverse :

$$F_d = \sqrt{\left( F_{Md} + F_{Vd,t} \right)^2 + F_{Nd,t}^2}$$

Dans chaque élément (poteau et traverse), l'angle  $\alpha$  entre  $F_d$  et le fil du bois est donné par :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_{Md} + F_{Vd}}{F_{Nd}}\right)$$

Pour la vérification de la contrainte de cisaillement  $\sigma_{v,d}$ , l'effort tranchant induit  $V_{Md}$  par la répartition des efforts sur les organes d'assemblage d'une couronne est donné par :

$$V_{Md} = \frac{M_d}{\pi \cdot r}$$

**Note :**

Dans le cas de 2 couronnes inscrites, l'effort tranchant induit  $V_{Md}$  est défini par :

$$V_{Md} = \frac{M_d}{\pi} \cdot \frac{n_1 \cdot r_1 + n_2 \cdot r_2}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2}$$

où  $r_i$  est le rayon de la couronne considérée,  $n_i$  le nombre d'organes sur cette couronne.

### 3.7.3 Renfort d'un encastrement en couronne

On peut compléter un assemblage boulonné par une série de pointes torsadées disposées autour du boulon.

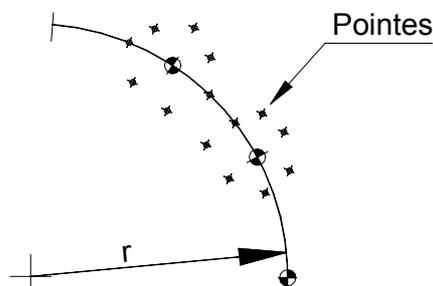


Figure 3-21 : Renfort d'un encastrement par une série de pointes

### 3.7.4 Exemple de calcul

#### 3.7.4.1 Hypothèses

- Portique de 25 m de portée en bois lamellé-collé GL24 en classe de service 1
  - Assemblage du rein moisé :
    - Poteau : 2 x 100 x 1400 mm
    - Traverse : 200 x 1400 mm
  - Double couronne circulaire de boulons 6.8 :
    - 26 boulons de 24 mm sur un rayon de 600 mm
    - 20 boulons de 24 mm sur un rayon de 480 mm

- Efforts issus d'une combinaison ELS-DEF avec charge permanente et neige (Alt. < 1000 m) :
  - Moment de calcul :  $M_d = 442$  kN.m
  - Effort tranchant :
    - Dans le poteau :  $V_{d,p} = 98$  kN
    - Dans la traverse :  $V_{d,t} = 92$  kN
  - Effort normal :
    - Dans le poteau :  $N_{d,p} = 118$  kN
    - Dans la traverse :  $N_{d,t} = 123$  kN
- Efforts issus d'une combinaison ELU-STR avec charge permanente et neige (Altitude < 1000 m) :
  - Moment de calcul :  $M_d = 640$  kN.m
  - Effort tranchant :
    - Dans le poteau :  $V_{d,p} = 142$  kN
    - Dans la traverse :  $V_{d,t} = 133$  kN
  - Effort normal :
    - Dans le poteau :  $N_{d,p} = 171$  kN
    - Dans la traverse :  $N_{d,t} = 178$  kN

### 3.7.4.2 Calcul de la raideur en rotation

Le module de glissement par plan de cisaillement pour un assemblage boulonné est :

$$K_{ser,i} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 9\,631 \text{ N/mm}$$

avec  $\rho_m = 440 \text{ kg/m}^3$  pour le GL24 selon NF EN 1194 et  $d = 24 \text{ mm}$

S'agissant de couronne circulaire constituée de mêmes boulons, le centre de gravité est supposé au centre géométrique et nous avons :

- rayon extérieur :  $r = 600 \text{ mm}$
- rayon intérieur :  $r = 480 \text{ mm}$

La raideur en rotation **sans jeu** pour chaque couronne et pour les 2 plans de cisaillement :

$$K_{\omega,ser} = 2 \sum_i K_{ser,i} r^2$$

Soit :

- Couronne extérieure :  $K_{\omega,ser} = 2 \times 26 \times 9\,631 \times 600^2 = 18,03 \cdot 10^{10} \text{ N.mm/rad}$
- Couronne intérieure :  $K_{\omega,ser} = 2 \times 20 \times 9\,631 \times 480^2 = 8,88 \cdot 10^{10} \text{ N.mm/rad}$

Soit une rigidité en rotation de l'assemblage sans jeu de  $K_{\omega,ser} = 18,03 \cdot 10^{10} + 8,88 \cdot 10^{10} = 26,91 \cdot 10^{10} \text{ N.mm/rad}$

$$K_{\omega,ser} = 269\,100 \text{ kN.m/rad}$$

**Note :**

Si l'on prend en compte un jeu fonctionnel moyen  $\Delta u_f$  de 0,5 mm sur tous les boulons, le jeu fonctionnel en rotation  $\Delta \alpha_f$  peut être estimé à :

$$\Delta \alpha_f = 0,5 / ((600+480)/2) = 0,001 \text{ rad}$$

Considérant l'assemblage chargé par la combinaison ELS, soit 442 kN.m, la rigidité en rotation sécante est :

$$K'_{\omega,ser} = \frac{M_d \cdot K_{\omega,ser}}{M_d + K_{\omega,ser} \cdot \Delta\alpha_f}$$

$$K'_{\omega,ser} = (442 \times 269100) / (442 + 269100 \times 0,001) = \mathbf{167\ 265\ kN.m / rad}$$

Soit une perte de rigidité apparente en rotation de l'ordre de 38 % !

### 3.7.4.3 Calcul des efforts sur les boulons

Aux États Limites Ultimes, avec la combinaison choisie, la valeur de l'effort induit par  $M_d$  sur chaque organe est :

$$F_{Md,i} = M_d \cdot \frac{r_i}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2}$$

Sur la couronne extérieure (n°1) :  $F_{Md,1} = 640 \cdot 10^6 \times 600 / (26 \times 600^2 + 20 \times 480^2) = 27491\ \text{N} = 27,5\ \text{kN}$

Sur la couronne intérieure (n°2) :  $F_{Md,2} = 640 \cdot 10^6 \times 480 / (26 \times 600^2 + 20 \times 480^2) = 21993\ \text{N} = 22\ \text{kN}$

et les efforts  $F_{Nd}$  et  $F_{Vd}$ , induits par les efforts normal et tranchant dans les éléments assemblés sont :

– Dans le poteau :

$$F_{Nd,p} = \frac{N_{d,p}}{n} = 171 / (26 + 20) = 3,72\ \text{kN}$$

$$F_{Vd,p} = \frac{V_{d,p}}{n} = 142 / (26 + 20) = 3,09\ \text{kN}$$

– Dans la traverse :

$$F_{Nd,t} = \frac{N_{d,t}}{n} = 178 / (26 + 20) = 3,87\ \text{kN}$$

$$F_{Vd,t} = \frac{V_{d,t}}{n} = 133 / (26 + 20) = 2,89\ \text{kN}$$

Sur les organes les plus critiques, situés sur la couronne extérieure sur l'axe longitudinal de chaque élément assemblé, la résultante vectorielle des efforts appliqués est :

– Dans le poteau :

$$F_d = \sqrt{(F_{Md} + F_{Vd,p})^2 + F_{Nd,p}^2}$$

$$F_d = \sqrt{(27,5 + 3,09)^2 + 3,72^2} = 30,8 \text{ kN}$$

Avec un angle par rapport au fil du bois de :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_{Md} + F_{Vd}}{F_{Nd}}\right) = \arctan\left(\frac{27,5 + 3,09}{3,72}\right) = 83^\circ$$

– Dans la traverse :

$$F_d = \sqrt{(F_{Md} + F_{Vd,t})^2 + F_{Nd,t}^2}$$

$$F_d = \sqrt{(27,5 + 2,89)^2 + 3,87^2} = 30,6 \text{ kN}$$

Avec un angle par rapport au fil du bois de :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_{Md} + F_{Vd}}{F_{Nd}}\right) = \arctan\left(\frac{27,5 + 2,89}{3,87}\right) = 82,7^\circ$$

L'effort tranchant induit  $V_{Md}$  est défini par :

$$V_{Md} = \frac{M_d}{\pi} \cdot \frac{n_1 \cdot r_1 + n_2 \cdot r_2}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} = \frac{640 \cdot 10^6}{\pi} \cdot \frac{26 \times 600 + 20 \times 480}{26 \times 600^2 + 20 \times 480^2}$$

$$V_{Md} = 367522 \text{ N} = 368 \text{ kN}$$

La contrainte de cisaillement  $\sigma_{v,d}$ , due à l'effort tranchant direct  $V_d$  et à l'effort tranchant induit  $V_{Md}$  par la répartition des efforts sur les organes d'assemblage est :

– Dans le poteau :

$$\sigma_{v,d} = \frac{3 \left( V_{Md} - \frac{V_{d,p}}{2} \right)}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \left( 368 \cdot 10^3 - \frac{142 \cdot 10^3}{2} \right)}{2 \cdot (2 \cdot 100) \cdot 1400} = 1,59 \text{ N/mm}^2$$

– Dans la traverse :

$$\sigma_{v,d} = \frac{3 \left( V_{Md} - \frac{V_{d,t}}{2} \right)}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \left( 368 \cdot 10^3 - \frac{133 \cdot 10^3}{2} \right)}{2 \cdot 200 \cdot 1400} = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

## 3.8 Assemblages par tire-fond et vis

### 3.8.1 Généralités

#### 3.8.1.1 Description

Les tire-fond et les vis font partie de la famille des organes de type tiges. Ce type de liaison peut être séparé en deux groupes qui sont :

- les tire-fond, dont la tête est généralement hexagonale ou carrée et dont le diamètre  $d$  varie de 8 à 16 mm,
- les vis, dont la tête est généralement circulaire plate et fraisée ou ronde dont le diamètre varie de 4 à 10 mm.

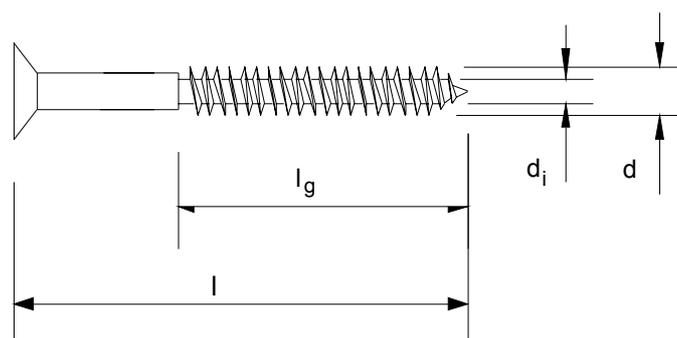


Figure 3-22 : Géométrie des vis et tire-fond

La fixation par tire-fond ou vis est un moyen d'assemblage simple à mettre en œuvre, aussi bien en atelier que sur chantier. Selon les fabricants, ces organes sont disponibles dans de nombreuses dimensions. Les matériaux de base utilisés sont des aciers ou des aciers inoxydables.

Ne sont traités ici que les vis et tire-fond (en acier ou inox) conformes à la norme EN 14592 et possédant le marquage CE.

#### 3.8.1.2 Protection contre la corrosion

Les tire-fond et les vis sont généralement protégés par l'application d'un électrozingage ou d'un bichromatage de couleur blanc ou jaune. Sur demande, les tire-fond de gros diamètre (supérieur à 10 mm) peuvent être galvanisés à chaud. Pour une utilisation dans des ouvrages particulièrement exposés ou dans des atmosphères corrosives, on peut trouver des tire-fond ou vis de petit diamètre en inox.

#### **Remarque :**

*L'utilisation de vis ou tire-fond inox rend obligatoire l'utilisation de l'inox pour les éléments métalliques en contact pour éviter tout phénomène de dégradation par électrolyte. L'utilisation de vis ou tire-fond en inox est obligatoire pour certaines essences dont les tanins sont particulièrement corrosifs (western red cedar, châtaignier...).*

#### 3.8.1.3 Fonctionnement

Les tire-fond et les vis travaillent en cisaillement ont une capacité résistante plus faible que les pointes ou les boulons, car le moment plastique de la partie filetée est plus faible que le moment plastique de la partie lisse. Par contre, ils ont une résistance en traction axiale supérieure aux pointes. Pour les petits diamètres, soit  $d \leq 6\text{mm}$ ,

l'angle entre l'effort et le fil du bois n'a pas d'influence sur la capacité résistante. Au-delà, cet angle a une influence sur la portance locale des éléments.

Les tire-fond et les vis conviennent également pour la reprise d'efforts d'arrachement dans la mesure où l'on respecte scrupuleusement les conditions de mise en oeuvre présentées ici.

### 3.8.2 Recommandations et mise en oeuvre

Les tire-fond et les vis à bois conviennent pour les liaisons métal-bois et panneaux-bois. Mais ils peuvent aussi être utilisés pour les assemblages bois-bois. De tels assemblages vissés sont conçus pour travailler en simple cisaillement et/ou en arrachement.

Pour les vis de diamètre  $d \leq 6$  mm, les avant-trous ne sont exigés que dans les bois dont la densité moyenne est supérieure à  $500 \text{ kg/m}^3$ . Pour tous les tire-fond et pour les vis dont le diamètre  $d > 6$  mm, un avant trou est obligatoire. Il doit être égal à 70 % du diamètre de la partie lisse.

Un contact serré doit être assuré entre les deux pièces constitutives de l'assemblage. L'utilisation de rondelles pouvant s'enfoncer uniformément dans le bois est obligatoire pour les tire-fond. Le diamètre (ou longueur latérale) minimal des rondelles doit être de  $3d$  et l'épaisseur minimale de  $0,3d$  (voir Tableau 3-12 : Diamètre et épaisseur minimaux des rondelles).

<b>Tire-fond</b>	Diamètre (mm)	8	10	12	16
	Diamètre (mm)	24	30	36	48
<b>Rondelle</b>	Diamètre (mm)	24	30	36	48
	Epaisseur (mm)	2,4	3,0	3,6	4,8

Tableau 3-12 : Diamètre et épaisseur minimaux des rondelles

La longueur de pénétration minimale de la partie filetée doit être de  $6d$ .

### 3.8.3 Tire-fond et vis chargés latéralement

L'effet de la partie filetée de la vis ou du tire-fond est pris en compte en utilisant le diamètre effectif  $d_{ef}$ .

Pour les vis ou tire-fond avec partie lisse, lorsque les diamètres des parties lisse et filetée sont égaux, le diamètre effectif  $d_{ef}$  est défini comme suit :

- si la partie lisse pénètre l'élément contenant la pointe d'au moins  $4d$ , alors  $d_{ef} = d$  (partie lisse),
- sinon,  $d_{ef} = 1,1.d_i$  (diamètre intérieur).

Pour les vis ou tire-fond sans partie lisse, le diamètre effectif  $d_{ef}$  est défini comme suit :

- $d_{ef} = 1,1.d_i$  (diamètre intérieur).

#### 3.8.3.1 Tire-fond et vis d'un diamètre $d > 6$ mm

Pour les tire-fond ou vis d'un diamètre  $d > 6$  mm, on applique les règles de calcul des boulons ayant un diamètre  $d_{ef}$  et avec les corrections ci-après.

Les épaisseurs de calcul  $t_1$  et  $t_2$  dans le cas des assemblages à simple cisaillement sont définies comme suit :

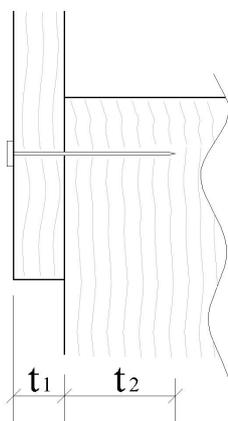


Figure 3-23 : Définitions de  $t_1$  et  $t_2$

$t_1$  est l'épaisseur de l'élément bois du côté de la tête de l'organe et  $t_2$  est la longueur de pénétration de l'organe.

Lorsque l'effet de corde peut être pris en compte, sa contribution à la capacité résistante est prise en compte en totalité pour la partie de Johansen.

**Note :**

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée plus loin.

**3.8.3.2 Tire-fond et vis d'un diamètre  $d \leq 6$  mm**

Pour les tire-fonds ou vis d'un diamètre  $d \leq 6$  mm, on applique les règles de calcul des pointes.

En général, les aciers utilisés pour les vis ont une résistance en traction de l'acier supérieure ou égale à 600 N/mm<sup>2</sup>. Le moment d'écoulement plastique est alors :

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d_{ef}^{2,6}$$

avec :

$f_{uk}$  résistance ultime en traction de l'acier en N/mm<sup>2</sup>

$d_{ef}$  diamètre effectif en mm

Lorsque l'effet de corde peut être pris en compte, sa contribution à la capacité résistante est prise en compte en totalité pour la partie de Johansen.

**Note :**

La détermination de  $F_{ax,Rk}$  est donnée plus loin.

### 3.8.4 Tire-fond et vis chargés axialement (arrachement)

La capacité résistante des liaisons par tire-fond et vis sollicités axialement dépend essentiellement de la masse volumique caractéristique du bois et de la résistance à l'arrachement perpendiculaire au fil du bois  $f_{ax,k}$ .

La longueur de pénétration minimum de la partie filetée doit être de  $6d$ .

La longueur de pénétration effective,  $l_{ef}$ , est la longueur de pénétration dans l'élément de la partie filetée diminuée de  $1d$ .

Pour appliquer le calcul selon l'Eurocode 5, les espacements et distances minimaux doivent être pris dans le tableau suivant :

Position	Espacement minimal	Distance de rive minimale
En bout de fil	$4.d$	$2,5.d$
Perpendiculaire au fil	$4.d$	$4.d$

Tableau 3-13 : Espacement et distance minimaux pour les tire fond et vis chargés axialement

La valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement de l'assemblage constitué de tire-fond ou vis chargés axialement est calculée selon :

$$F_{ax,k} = n^{0,9} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k}$$

avec :

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha}$$

où :

$n$  est le nombre de tire-fond ou vis

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

$\alpha$  est l'angle entre l'axe des vis ou tire-fond et le fil du bois

### 3.8.5 Tire-fond et vis chargés par une combinaison latérale et axiale

Pour les assemblages par tire-fond ou vis sollicités par une combinaison d'effort latéral et d'effort axial, il faut que l'équation suivante soit satisfaite :

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

Compte tenu de la note de 8.7.2(5), il est recommandé d'appliquer la vérification suivante :

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right) + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right) \leq 1$$

En effet, le terme au carré est associé à un mode de ruine de type ductile.

---

## 4 LIAISONS RÉALISÉES PAR ASSEMBLEURS SURFACIQUES

---

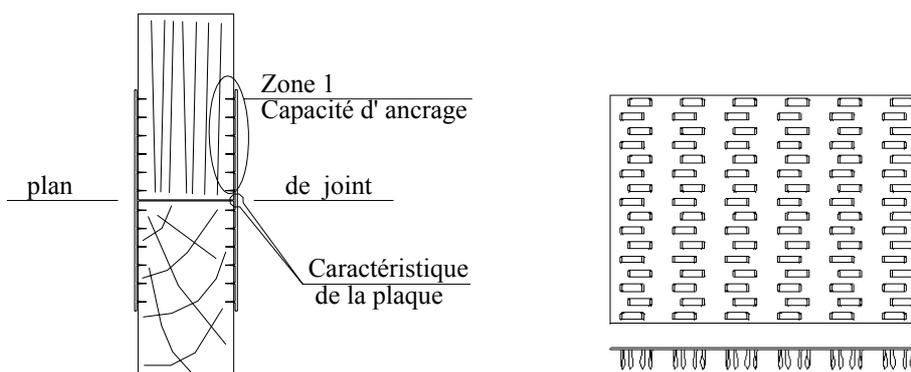
### 4.1 Plaques métalliques embouties

#### 4.1.1 Introduction

L'évolution des technologies et des matériaux a favorisé le développement de moyens d'assemblage rationnels. Les fixations par plaques métalliques sont des moyens d'assemblages modernes mis au point aux États-Unis dans les années 50. Aujourd'hui largement utilisées, les fixations par plaques métalliques, embouties ou non, sont des assembleurs rapides et efficaces pour une utilisation en liaisons planes. Elles offrent un grand rendement encombrement/résistance. Les connecteurs s'emploient essentiellement dans la fabrication d'éléments industrialisés de charpente en bois (fermettes, petites structures industrialisées...).

Ils nécessitent l'utilisation d'un matériel adapté pour la mise en place ainsi qu'un bois inférieur à 22 % d'humidité pour garantir les performances mécaniques d'utilisation annoncées.

On désigne sous le nom de connecteur des tôles minces d'épaisseur inférieure à 2,5 mm composées de dents embouties à froid.



#### 4.1.2 Documents de référence

- **EN 1075** (septembre 1999)  
Structures en bois – Méthodes d'essai – Assemblages réalisés avec des connecteurs métalliques à plaque emboutie
  - **NF P 21 205 DTU 31.3** (mai 1995)  
Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets
  - **NF EN 14250** (mars 2005)  
Structures en bois - Exigences des produits relatives aux éléments de structure préfabriqués utilisant des connecteurs à plaque métallique emboutie
  - **NF EN 14545** (janvier 2009)  
Structures en bois - Connecteurs – Exigences

### 4.1.3 Fonctionnement

L'assemblage par connecteurs liaisonne 2 barres ou plus. La tenue de ces plaques repose essentiellement sur deux phénomènes : l'adhérence du connecteur sur le bois (ancrage) et la résistance mécanique de l'acier de la plaque (traction, compression, cisaillement).

Les connecteurs sont dimensionnés pour reprendre des moments : moment dans les barres, moment secondaire (excentricité des centroïdes d'ancrage par rapport aux fibres neutres). Pour optimiser les dimensions des plaques, ils seront positionnés de préférence dans des zones de moment faible ou nul.

### 4.1.4 Propriété des matériaux

Les connecteurs sont fabriqués à partir de tôle d'acier, leurs propriétés mécaniques sont fonction de leurs nuances et des paramètres d'emboutissage. Les matériaux de base généralement utilisés sont, soit des aciers au carbone, soit des aciers inoxydables.

La corrosion est une réaction chimique qui modifie les qualités surfaciques du matériau. Les connecteurs doivent posséder une protection minimale contre la corrosion équivalente à une galvanisation à chaud Z275 correspondant à 275g/m<sup>2</sup> de zinc double face, ou doivent être fabriqués à partir d'acier inoxydable.

**Avertissement :**

*Il est recommandé d'apporter une attention particulière à l'utilisation de connecteurs dans des bois dont le traitement est capable de provoquer une corrosion électrolytique, préférer l'inox.*

### 4.1.5 Mise en oeuvre

A ce jour, pour assurer la mise en place d'un connecteur, il est couramment utilisé deux techniques. La première consiste à insérer les connecteurs à l'aide d'une presse à plateaux, la seconde par le biais d'une presse à rouleaux.

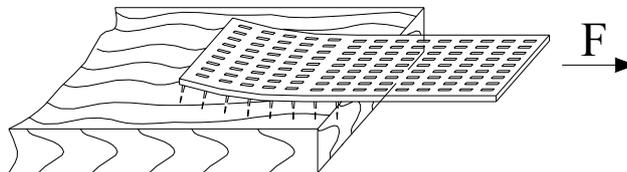
**Avertissement :**

*Pour un même connecteur, il est important de noter que des variations de tenue mécanique sont générées par la technique de pose. De fait, la mention du mode d'enfoncement figure sur les PV d'essais.*

**Note :**

*La normalisation n'envisage pas la reprise de cisaillement hors plan par les connecteurs (vent sur fermette de pignon par exemple).*

### 4.1.6 Capacité d'ancrage



La capacité d'ancrage est la surface de contact avec la pièce de bois sans les aires inefficaces.

On distingue deux types de zone inefficace :

- toutes dents se trouvant aux extrémités et/ou en rives des éléments sont inopérantes (6 fois l'épaisseur nominale du connecteur),
- l'erreur de positionnement lors de la fabrication est de  $\pm 5$  mm.

Cette surface, propre à chaque barre, correspond à la surface restante après soustraction des zones inefficaces ( $A_{ef}$ ).

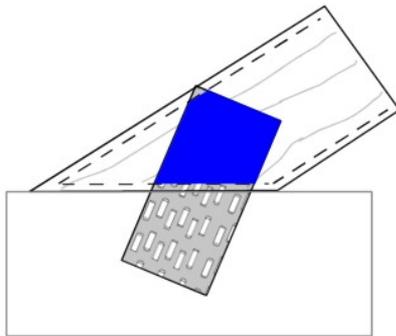


Figure 4-1 : Représentation de la surface réduite en retirant les dents se trouvant en rives et/ou aux extrémités de barre

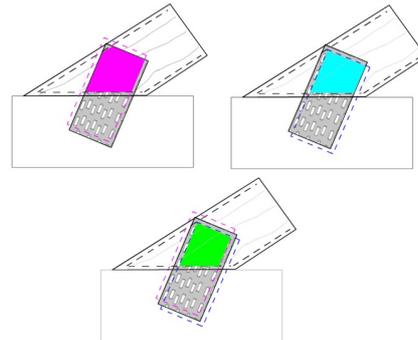


Figure 4-2 : Représentation des possibilités d'erreurs de positionnement.

Connecteur décalé dans le côté haut gauche (violet).

Décalage bas droite (bleu).

Aire efficace (vert) : surface commune aux deux décalages

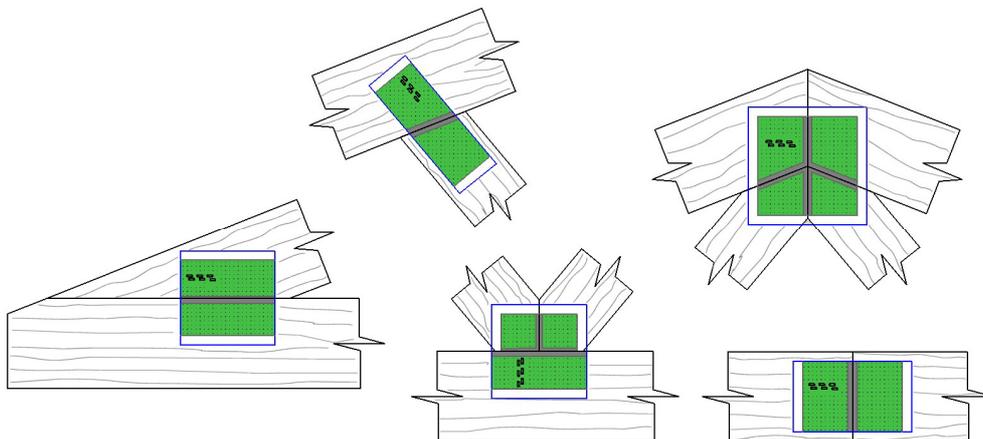


Figure 4-3 : Représentation des aires efficaces ( $A_{ef}$ ) pour les nœuds les plus courants

Chaque zone d'ancrage possède une capacité de résistance variable selon l'angle entre l'effort et l'axe longitudinal de la plaque ( $\alpha$ ) et l'angle entre l'effort et le sens des fils du bois ( $\beta$ ).

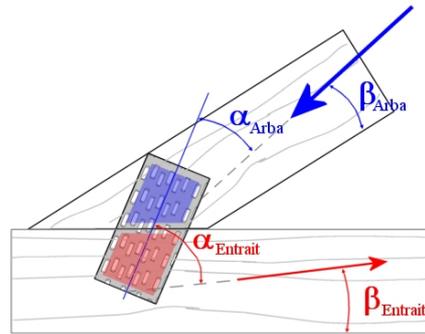


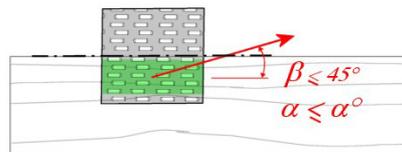
Figure 4-4 : Représentation de  $\alpha$  et  $\beta$  pour l'arbalétrier et l'entrait

Si l'espacement entre les pièces de bois sur la largeur du connecteur est en moyenne de 1,5 mm, l'Eurocode 5 admet qu'il y a contact bois-bois et que l'ancrage reprend seulement 50 % des efforts de compression.

#### 4.1.6.1 Détermination des valeurs d'ancrages caractéristiques en fonction de $\alpha$ , $\beta$

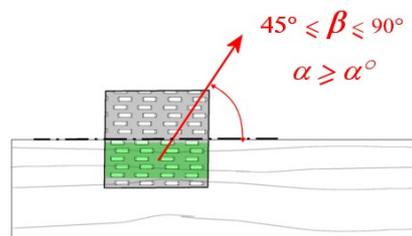
Les valeurs caractéristiques de résistance d'ancrages par connecteur  $f_{a,\alpha;\beta,k}$  sont déterminées soit par essais, soit par calcul. La méthode par calcul est décrite ci-dessous :

- Lorsque  $\beta \leq 45^\circ$  :



$$f_{a,\alpha,\beta,k} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{a,\alpha,0,k} - (f_{a,\alpha,0,k} - f_{a,90,90,k}) \left( \frac{\beta}{45^\circ} \right) \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \end{array} \right. \end{array} \right.$$

- Lorsque  $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$  :



$$f_{a,\alpha,\beta,k} = f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \end{array} \right.$$

La valeur caractéristique de la résistance d'ancrage parallèle au fil est :

- Quand  $\alpha \leq \alpha_0$  :

$$f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k} + k_1 \alpha$$

- Quand  $\alpha_0 \leq \alpha \leq 90^\circ$  :

$$f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0)$$

Les constantes  $k_1$ ,  $k_2$  et  $\alpha_0$  sont déterminées par essais suivant les méthodes décrites dans l'EN 1075 et prEn14545.

#### 4.1.6.2 Vérification de la contrainte d'ancrage

L'effort  $F_{Ed}$  génère une contrainte d'ancrage  $\tau_{F,d}$  et le moment  $M$  engendre une contrainte  $\tau_{M,d}$ . L'équation ci-dessous permet de prendre en compte ces deux sollicitations dans la vérification de l'ancrage :

$$\left[ \frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}} \right]^2 + \left[ \frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}} \right]^2 \leq 1$$

avec :

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{A_{ef}} \quad \text{et} \quad \tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{W_p}$$

$$W_p = \int_{A_{ef}} r dA$$

$F_{A,Ed}$  valeur de calcul de l'effort agissant sur une seule plaque au centre de gravité de l'aire efficace

$M_{A,Ed}$  valeur de calcul du moment agissant sur une seule plaque au centre de gravité de l'aire efficace

$dA$  un segment de surface de la plaque emboutie

#### 4.1.7 Capacité de la plaque

Lorsque le connecteur est soumis à un cisaillement, la rupture se produit essentiellement dans la zone de faible résistance (joint d'assemblage) et s'accompagne parfois de flambements locaux de la plaque.

La résistance de la plaque est fonction de l'angle d'application de l'effort ( $\alpha$ ), de l'orientation de la plaque par rapport au joint de coupe ( $\gamma$ ) et de la longueur de tôle ( $l$ ) cisillée.

La résistance du connecteur perpendiculairement à la ligne de joint d'assemblage, lorsque le connecteur n'est pas aligné à celui-ci, correspond à la plus grande capacité de résistance à la traction, à la compression ou au cisaillement.

Il convient de vérifier la capacité de résistance du connecteur suivant l'équation ci-dessous :

$$\left[ \frac{F_{x,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2F_{x,RK}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{y,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2F_{y,RK}} \right]^2 \leq 1$$

La vérification du connecteur s'effectue en combinant l'effort de cisaillement ( $F_{Ed}$ ) et l'effort engendré par le bras de levier dû au moment ( $F_{M,Ed}=M/l/2$ ).

La capacité de résistance de la plaque suivant « x » est la suivante :

$$F_{x,Ed} = F_{Ed} \cdot \cos \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cdot \sin \gamma$$

$$F_{x,RK} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,0,k} \cdot l \cdot \sin(\gamma - \gamma_0 \cdot \sin 2\gamma)| \\ |f_{v,0,k} \cdot l \cdot \cos 2\gamma| \end{array} \right.$$

$f_{v,0,k}$  résistance caractéristique en cisaillement pour  $\alpha=0^\circ$

$$f_{n,0,k} = \begin{cases} f_{t,0,k} & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} > 0 \\ f_{c,0,k} & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

$f_{t,0,k}$  résistance caractéristique **en traction** pour  $\alpha=0^\circ$

$f_{c,0,k}$  résistance caractéristique **en compression** pour  $\alpha=0^\circ$

La capacité de résistance de la plaque suivant y est :

$$F_{y,Ed} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cdot \cos \gamma$$

$$F_{y,RK} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,90,k} \cdot l \cdot \cos \gamma| \\ |k \cdot f_{v,90,k} \cdot l \cdot \sin \gamma| \end{array} \right.$$

$f_{v,90,k}$  résistance caractéristique en cisaillement pour  $\alpha=90^\circ$

$$k = \begin{cases} 1 + k_v \cdot \sin 2\gamma & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} > 0 \\ 1 & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

$$f_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} & \text{si } \rightarrow F_{y,Ed} > 0 \\ f_{c,90,k} & \text{si } \rightarrow F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

- $f_{t,90,k}$  résistance caractéristique en traction pour  $\alpha=90^\circ$   
 $f_{c,90,k}$  résistance caractéristique en compression pour  $\alpha=90^\circ$   
 avec :  
 $\gamma_0$  et  $K_v$  constantes déterminées par les essais de cisaillement

Lorsque le connecteur est soumis à des efforts importants et qu'il dépasse du nœud d'assemblage, afin d'éviter les accidents lors de la manipulation de la ferme (transport, pose...), il convient d'ajouter une cale pour supprimer les dents saillantes ou d'augmenter les sections des éléments.

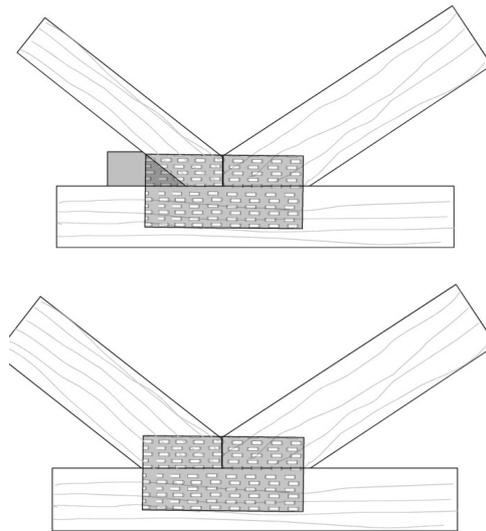


Figure 4-5 : Ajout d'une cale

#### 4.1.8 Aboutage, joint de continuité

##### 4.1.8.1 Ancrages

Les connecteurs utilisés dans les joints de continuité des barres périphériques couvrent au minimum  $2/3$  de la hauteur de l'élément de bois.

Il est conseillé de privilégier le positionnement du joint de continuité au voisinage de l'emplacement théorique du point de moment nul sous charges réparties.

La longueur minimale du connecteur d'aboutage doit être égale à  $1,2 h$ .

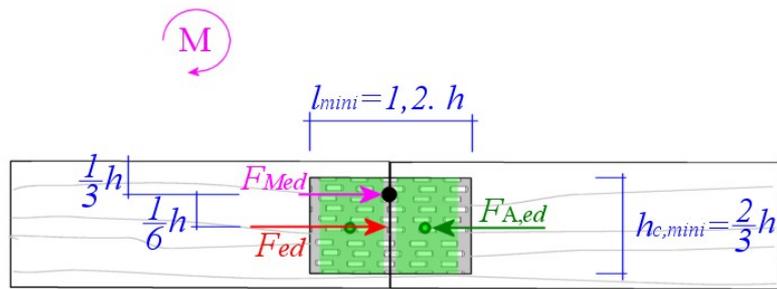


Figure 4-6 : Connecteur d'aboutage

La pression de contact entre les éléments de bois dans les joints de continuité dans une membrure en compression peut être prise en compte en vérifiant pour un effort de calcul  $F_{A,ed}$  et un moment de calcul  $M_{A,Ed}$  selon les équations :

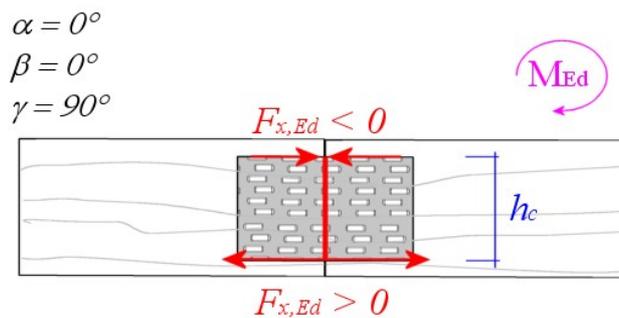
$$F_{A,Ed} = \sqrt{\left( \frac{F_{Ed} \cos \beta}{2} - \frac{6|M_{A,Ed}|}{h} \right)^2 + (F_{Ed} \sin \beta)^2}$$

avec :

$h$  retombée de la pièce de bois

#### 4.1.8.2 Capacité du connecteur en sollicitation simple (traction, compression)

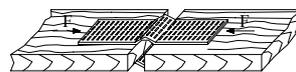
La résistance dépendra des caractéristiques de l'acier, de la géométrie des nœuds et de la largeur du connecteur. Dans une liaison bois-métal-bois, les efforts de traction et de cisaillement transitent dans la plaque par l'intermédiaire des dents ancrées dans les pièces de bois.

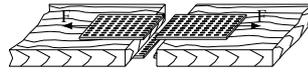


Les expressions ci-dessous ont été simplifiées en considérant les hypothèses suivantes :  $\alpha=0^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ ,  $\gamma=90^\circ$

Traction de la plaque ( $F_{x,Ed} > 0$ )

Compression ( $F_{x,Ed} < 0$ )





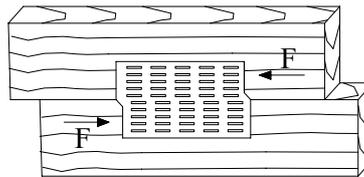
L'effort à reprendre dans le métal est :

$$F_{x,Ed} = F_{Ed} \pm \frac{4M_{Ed}}{h_c}$$

Vérification de la contrainte :

$$\left[ \frac{F_{x,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} 2|f_{t,0,k} h_c|} \right]^2 \leq 1 \quad \left[ \frac{F_{x,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} 2|f_{c,0,k} h_c|} \right]^2 \leq 1$$

#### 4.1.8.3 Sollicitation en cisaillement pur

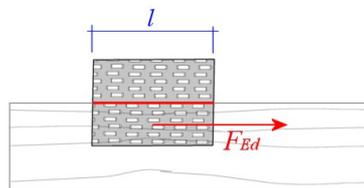


Les expressions ci-dessous ont été simplifiées en considérant les hypothèses suivantes :  $\alpha=0^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ . L'effort de cisaillement est égal à :

$$F_{x,Ed} = F_{Ed}$$

La résistance caractéristique en cisaillement pour  $\alpha=0^\circ$ :

$$F_{x,Rk} = f_{v,0,k} l$$

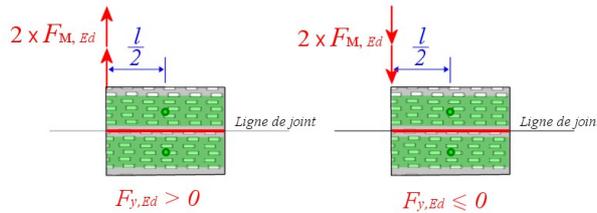


L'effort de cisaillement génère un moment d'excentrement égal à :

$$F_{y,Ed} = \pm 2 \frac{M}{l/2}$$

La résistance caractéristique de la plaque dépend du sens de rotation du moment :

$$F_{y,RK} = f_{n,90,k} l$$



$$f_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} & \text{si } \rightarrow F_{y,Ed} > 0 \\ f_{c,90,k} & \text{si } \rightarrow F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

avec :

$f_{t,90,k}$  résistance caractéristique en traction pour  $\alpha=90^\circ$

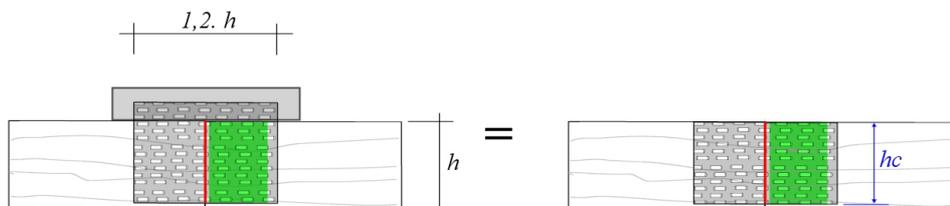
$f_{c,90,k}$  résistance caractéristique en compression pour  $\alpha=90^\circ$

Vérification de la résistance du connecteur :

$$\left[ \frac{F_{Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2 \cdot f_{v,0,k} \cdot l} \right]^2 + \left[ \frac{F_{y,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2 \cdot f_{n,90,k} \cdot l} \right]^2 \leq 1$$

#### 4.1.8.4 Assemblage de continuité à une paire de connecteurs à l'aide d'une cale

S'il n'existe pas de connecteur à la dimension du bois, l'assemblage peut être optimisé à l'aide d'une cale permettant l'utilisation d'un connecteur de dimension supérieure au bois. On pourra ainsi bénéficier, pour la vérification de la résistance du connecteur, d'une hauteur égale à la hauteur de l'entrait connecté (ligne rouge). La zone d'ancrage (en vert) adjacent à la cale ne sera pas diminuée de la zone inefficace du bord.



#### 4.1.8.5 Assemblages de continuité à deux paires de connecteurs

On admet d'assurer la continuité de l'élément par un joint connecté réalisé à l'aide de deux paires de connecteurs de dimensions identiques, sous les conditions indiquées ci-après.

La hauteur totale  $h'$  de l'assemblage est au moins égale à 0,9 fois la hauteur des pièces.

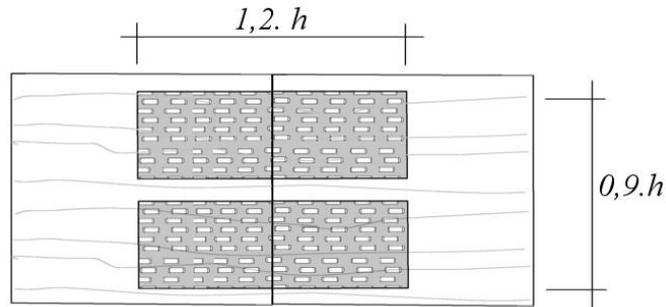


Figure 4-7 : Joint de continuité à 2 paires de connecteurs

#### 4.1.9 Rupture de bloc

##### 4.1.9.1 Vérification traction axiale entraînée par l'effort d'ancrage

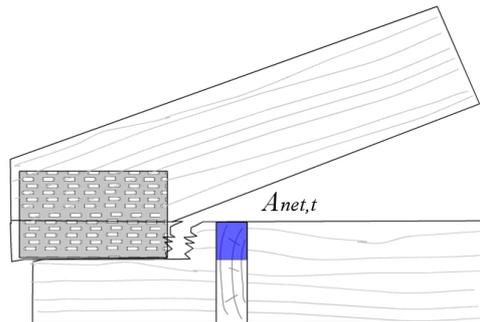


Figure 4-8 : Rupture de bloc

La traction axiale induite par l'effort d'assemblage doit être vérifiée si la condition suivante est constatée :

$$h_e \leq \frac{h}{2}$$

avec :

$h_e$  hauteur de recouvrement du connecteur

$h$  hauteur de l'élément

$$F_{N,Ed,0} \leq A_{net,t} \cdot f_{t,o,d}$$

avec :

$F_{N,Ed,0}$  composante parallèle au fil de l'effort dans l'assemblage de l'entrait

$A_{net,t}$  section résiduelle perpendiculaire au fil

$f_{t,0,d}$  valeur de calcul de la résistance en traction dans le sens du fil ;

#### 4.1.9.2 Vérifications de la traction perpendiculaire

La traction transversale doit être vérifiée selon les règles du § 8.1.4 de l'Eurocode 5 :

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd}$$

avec :

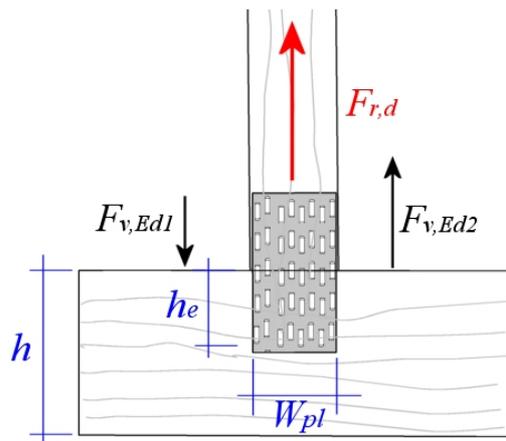
$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases}$$

et :

$F_{90,Rd}$  valeur de calcul de la capacité au fendage, en N (voir ci-dessous)

$F_{v,Ed,1}, F_{v,Ed,2}$  valeurs de calcul des efforts tranchants de chaque côtés de l'assemblage

Détermination de la valeur caractéristique de la capacité au fendage,  $F_{90,Rk}$



$$F_{90,Rk} \leq 14bw \sqrt{\left( \frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}} \right)}$$

$$\text{avec } w = \max \left\{ \left( \frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35} \right. \\ \left. 1 \right\}$$

avec :

w facteur de modification

$h_e$	distance de rive chargée vis-à-vis du bord de la plaque
$h$	hauteur de l'élément bois
$b$	épaisseur de l'élément
$w_{pl}$	largeur de la plaque métallique emboutie parallèlement au fil

#### 4.1.10 Raideur d'assemblage

Le glissement des connecteurs est pris en compte dans le calcul des fermes. Chaque zone d'ancrage possède sa propre raideur en x en y et en rotation. La pression de contact entre les éléments de bois dans les assemblages en compression peut être prise en compte en doublant la raideur perpendiculairement au joint de coupe.

Le module de glissement dans les combinaisons de charges ELU sera :

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

$K_{ser}$  étant le module de glissement.

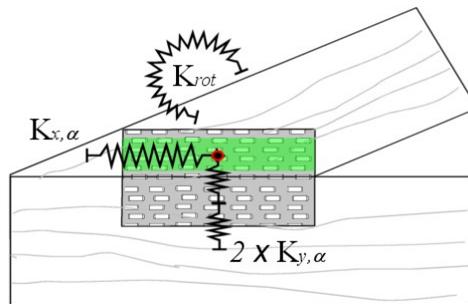


Figure 4-9 : Représentation des modules de glissement

**Sur l'axe x :**

$$K = 2 \cdot A_{ef} \cdot K_{s,ser}$$

$$K_{x,\alpha} = K \cdot \cos\alpha$$

**Sur l'axe y :**

$$K_{y,\alpha} = 2^* \cdot K \cdot \sin\alpha$$

\* : augmentation de la raideur de 100 % par phénomène de contact bois-bois

**En rotation :**

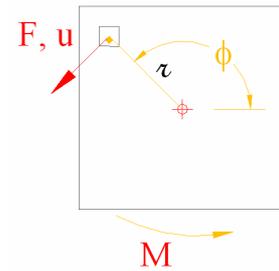
La relation entre le module de glissement et la raideur de rotation est :

$$u = \frac{F}{K_{ser}} \quad (1); \quad u = \frac{M}{r} \cdot \frac{\phi}{K_{\phi,ser}} \quad (2); \quad \Rightarrow \frac{F}{K_{ser}} = \frac{M}{r} \cdot \frac{\phi}{K_{\phi,ser}} \quad (1)$$

et (2) ;

$$\text{Avec } \phi = 1 \text{ rad} : \frac{M}{r} = F ;$$

$$\frac{F}{K_{ser}} = \frac{F}{K_{\phi,ser}} ; \Rightarrow K_{\phi,ser} = K_{ser}$$

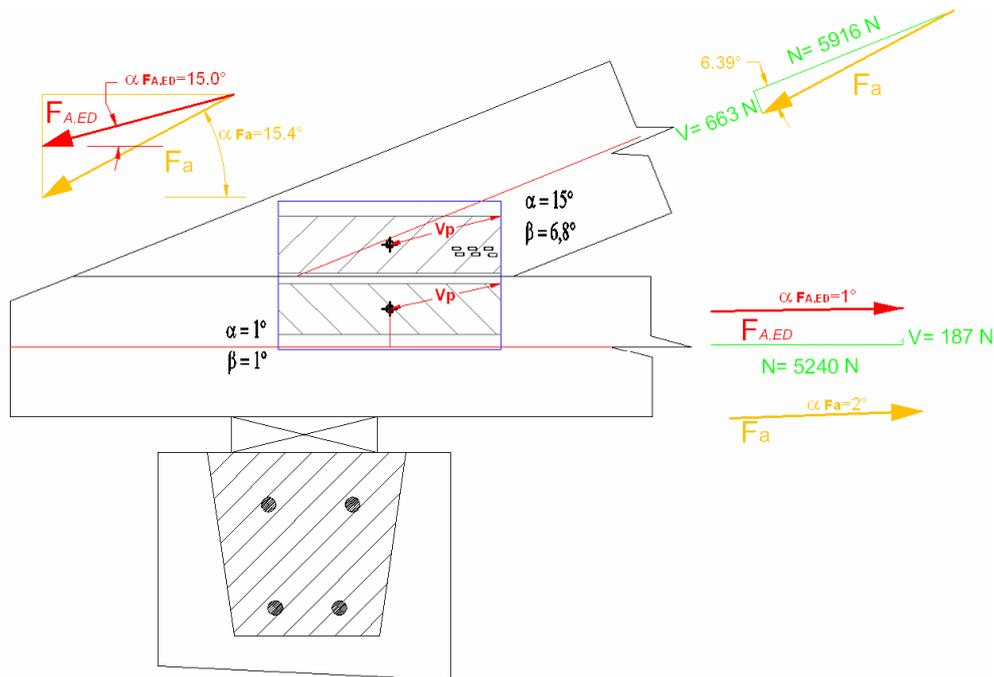


$$K_{\phi,ser} = K_{ser} \cdot 1 \text{ rad}$$

$$K_{rot} = 2 \cdot I_p \cdot K_{\phi,ser}$$

#### 4.1.11 Exemple

Bien que la justification des connecteurs soit généralement effectuée par des logiciels spécifiques, un exemple de calcul est donné ci-après.



#### Hypothèses :

- Joint en pieds de ferme, assemblage arbalétrier-entrait
- Portée de la ferme : 8,50 m
- Classe mécanique du bois : résineux C24
- Effet système :  $k_{sys} = 1$
- Valeur caractéristique de la résistance en traction dans le sens du fil :  $f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$

- Classe de service 2 et action permanente
  - Capacité de la plaque  $\gamma_M = 1,25$   
 $k_{mod} = 1,0$
  - Ancrage  $\gamma_M = 1,3$   
 $k_{mod} = 0,6$
- Épaisseur nominale ( $E_p$ ) : 0,9 mm
- Valeurs d'ancrage de la plaque – valeur caractéristique (N/mm<sup>2</sup>)

		$\alpha$			
		$f_{a,0,0,k} = 3,00$	$f_{a,30,0,k} = 2,60$	$f_{a,0,60,k} = 2,10$	$f_{a,0,90,k} = 2,30$
$\beta$	...	...	...	...	
	$f_{a,0,90,k} = 2,30$	...	...	$f_{a,90,90,k} = 1,20$	

- Capacités de la plaque - valeur caractéristique (N/mm)

$f_{t,0,k} = 180$  N/mm  
 $f_{t,90,k} = 150$  N/mm  
 $f_{c,0,k} = 85$  N/mm  
 $f_{c,90,k} = 80$  N/mm  
 $f_{v,0,k} = 75$  N/mm  
 $f_{v,90,k} = 40$  N/mm  
 $K_{s,ser} = 10$  N/mm<sup>3</sup>

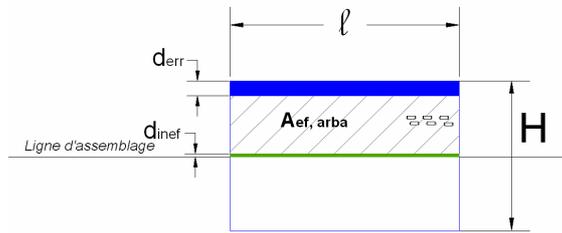
*Valeurs génériques  
de plaque*

- Coefficients :

$k_1 = -0,014$   
 $k_2 = 0,008$   
 $\alpha_0 = 65^\circ$   
 $\gamma_0 = 20$   
 $k_v = 1,1$

## 4.1.11.1 Arbalétrier

Vérification de la capacité d'ancrage de la plaque

**Plaque (10 x 15)**

$$l = 152,4 \text{ mm}$$

$$H = 101,6 \text{ mm}$$

 $d_{\text{inef}}$  : distance dent inefficace

$$d_{\text{inef}} = 6 \times E_p \cdot \sin \alpha = 2 \text{ mm}$$

 $d_{\text{err}}$  : distance d'erreur de positionnement

$$d_{\text{err}} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{\text{ef, arba}} = 5913 \text{ mm}^2$$

Recouvrement :

$$\max \begin{cases} h/3 \\ 40 \text{ mm} \end{cases} = 40,8 \text{ mm}$$

(hauteur de bois sans l'aire inefficace)

- Effort à reprendre dans l'arbalétrier :

$$\text{Charge } N = 5916 \text{ N}$$

$$\text{Charge } V = 663 \text{ N}$$

$$\text{Moment } M_{\text{arba}} = 257 \text{ N.m}$$

$$F_a = \sqrt{N^2 + V^2} = \sqrt{5916^2 + 663^2} = 5953 \text{ N}$$

$$\alpha_{F_a} = \text{pente arba} + \arctg(V/N) = 21,8^\circ + \arctg(663/5916) = 21,8^\circ + 6,39^\circ = 28,19^\circ$$

 $F_a$  : résultant de l'effort normal et de l'effort tranchant

 $\alpha_{F_a}$  : angle de la résultante de  $F_a$  par rapport à l'horizontal

Pour prendre en compte effet de contact bois-bois, l'espacement entre l'arbalétrier et l'entrait ne doit pas dépasser 3 mm avec une valeur moyenne égale à 1,5 mm dans la zone de joint connecté. La réduction de 50 % de l'effort s'effectue par rapport à la composante perpendiculairement au joint de coupe (soit ici verticalement).

$$F_{A,Ed,x} = F_a \cdot \cos \alpha_{F_a} = 5953 \cos 28,19^\circ = 5247 \text{ N}$$

$$F_{A,Ed,y} = 0,5 * F_a \cdot \sin \alpha_{F_a} = 0,5 \times 5953 \sin 28,19^\circ = 1406 \text{ N}$$

\* : 50 % de réduction dus au phénomène de contact bois-bois

 $F_{A,Ed,x}$  : composant horizontal de  $F_a$ 
 $F_{A,Ed,y}$  : composant vertical de  $F_a$  après réduction de 50 % par effet de contact

$$F_{A,Ed} = \sqrt{F_{A,Ed,x}^2 + F_{A,Ed,y}^2} = \sqrt{5247^2 + 1406^2} = 5432 \text{ N}$$

$$\alpha_{F_{A,Ed}} = \arctg(F_{A,Ed,y} / F_{A,Ed,x}) = \arctg(1406/5247) = 15,00^\circ$$

(angle par rapport à l'horizontal)

$\alpha$  : angle entre la direction de la force et l'axe longitudinal de la plaque :

$$\alpha = \alpha_{F_{A,Ed}} = 15^\circ$$

$\beta$  : angle entre la direction de la force et le fil du bois :

$$\beta = \text{pente arba} - \alpha_{F_{A,Ed}} = 21,8^\circ - 15^\circ = 6,80^\circ$$

- **Moment à reprendre :**

Contrainte d'ancrage due à  $F_{A,dEd}$

$$\begin{aligned} M_{\text{tot}} &= M_{A,Ed} + M_{\text{arba}} \\ &= (F_{A,Ed} \times d_{F_{A,Ed}}) + M_{\text{arba}} \\ &= (5432 \times 4) + 257.10^3 = 2,78.10^5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$d_{F_{A,Ed}}$  : distance perpendiculaire à  $F_{A,Ed}$  passant par le centroïde

$M_{\text{arba}}$  : moment dans l'arbalétrier

$M_{A,Ed}$  : moment par excentrement de la position de la fibre neutre et du centroïde de la plaque

$M_{\text{tot}}$  : sommes de tous les moments agissant sur l'ancrage du connecteur

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{2 \times A_{ef, arba}} = \frac{5432}{2 \times 5913} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

• **Contrainte d'ancrage due aux moments**

○ **Détermination de l'inertie polaire d'un rectangle pour l'ancrage sur l'arbalétrier**

$$\begin{array}{l}
 I_p = I_{xx} + I_{yy} \\
 I_p = \frac{l \cdot h (l^2 + h^2)}{12} \\
 \text{avec } l \cdot h = A_{ef, arba}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 v_p^2 = v_{xx}^2 + v_{yy}^2 \\
 v_p^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2 \\
 v_p = \frac{l}{2} \sqrt{l^2 + h^2}
 \end{array} \right.$$

$$\frac{I_p}{v_p} = \frac{A_{ef, arba} \sqrt{l^2 + h^2}}{6} = \frac{5913 \sqrt{152,4^2 + 38,8^2}}{6} = 1,55 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

(formule valable uniquement pour des surfaces rectangulaires)

l : largeur d'ancrage du connecteur

h : hauteur d'ancrage efficace du connecteur

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{tot}}{2 \cdot \frac{I_p}{v_p}} = \frac{2,78 \cdot 10^5}{2 \cdot \frac{1,55 \cdot 10^5}{0,90}} = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

○ **Détermination de la résistance d'ancrage avec  $\alpha = 15^\circ$  et  $\beta = 6,80^\circ$**

- Avec  $\alpha \leq \alpha_0 = 65^\circ$

$$f_{a, \alpha, 0, k} = f_{a, 0, 0, k} + k \cdot 1 \cdot \alpha$$

$$f_{a, 15^\circ, 0, k} = 3 - 0,014 \times 15^\circ = 2,79 \text{ N/mm}^2$$

- Avec  $\beta \leq 45^\circ$

$$f_{a, \alpha, \beta, k} = \max \left\{ \begin{array}{l}
 f_{a, \alpha, 0, k} - (f_{a, \alpha, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \left( \frac{\beta}{45^\circ} \right) \\
 f_{a, 0, 0, k} - (f_{a, 0, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \cdot \sin \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

$$f_{a,15^\circ,6,8^\circ,k} = \max \begin{cases} f_{a,15^\circ,0,k} - (f_{a,15^\circ,0,k} - f_{a,90,90,k}) \left( \frac{6,8^\circ}{45^\circ} \right) \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \cdot \sin 15^\circ \end{cases}$$

$$f_{a,15^\circ,6,8^\circ,k} = \max \begin{cases} 2,79 - (2,79 - 1,20) \cdot \left( \frac{6,8^\circ}{45^\circ} \right) = 2,55 \text{ N/mm}^2 \\ 3 - (3 - 1,20) \sin 15^\circ = 2,53 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

$$f_{a,15^\circ,6,8^\circ,k} = 2,55 \text{ N/mm}^2$$

○ **Vérification des contraintes d'ancrages**

$$\left[ \frac{\tau_{F,d}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{a,\alpha,\beta,k}} \right]^2 + \left[ \frac{\tau_{M,d}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{a,0,0,k}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[ \frac{0,46}{\frac{0,6}{1,3} \times 2,55} \right]^2 + \left[ \frac{0,90}{\frac{0,6}{1,3} \times 3,00} \right]^2 = 0,57 \leq 1 \quad \text{Correct}$$

4.1.11.2 Vérification de l'acier, capacité de la plaque agissant sur x et y :

• **Effort horizontal agissant sur une plaque**

$$F_{x,Ed} = F_{Ed} \cdot \cos \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cdot \sin \gamma$$

$\gamma$  est l'angle entre la ligne de joint et l'axe longitudinal du connecteur, ici  $\gamma = 0^\circ$

Nous constatons que  $F_{A,Ed,x} = F_{Ed} \cdot \cos \alpha$ , l'équation peut-être simplifiée :

$$F_{x,Ed} = F_{A,Ed,x}$$

$$F_{x,Ed} = 5247 \text{ N} \quad \text{donc } F_{x,Ed} > 0$$

• **Effort vertical agissant sur une plaque**

$$F_{y,Ed} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cdot \cos \gamma$$

Nous constatons ici que  $|F_{A,Ed,y} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha|$ .

Cet effort entraîne une compression dans la plaque.

Il est donc négatif :  $F_{A,Ed,y} = -F_{Ed} \cdot \sin \alpha$

$$F_{M,Ed} = M_d / 2$$

$$M_d = M_{tot}$$

$$F_{y,Ed} = F_{A,Ed,y} \pm \frac{4M_{tot}}{l} \cdot \cos \gamma$$

$$F_{y,Ed} = -1406 \pm \frac{4 \times 2,78 \cdot 10^5}{152,4} \cdot \cos 0^\circ$$

$$F_{y,Ed} = -1406 \pm 7296$$

$$F_{y,Ed} = -8702 \text{ N ou } +5890 \text{ N}$$

- **Détermination de la résistance d'acier**

- Sur l'axe x :

$$F_{x,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,0,k} \cdot l \cdot \sin(\gamma - \gamma_0 \cdot \sin 2\gamma)| \\ |f_{v,0,k} \cdot l \cdot \cos 2\gamma| \end{array} \right.$$

avec  $\gamma = 0^\circ$ , nous avons  $|f_{n,0,k} \cdot l \cdot \sin(\gamma - \gamma_0 \cdot \sin 2\gamma)| = 0$

Dans cet assemblage, il est inutile de déterminer  $f_{n,0,k}$ .

$$f_{n,0,k} = \begin{cases} f_{t,0,k} & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} > 0 \\ f_{c,0,k} & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

Le critère dimensionnant sera le cisaillement horizontal :

$$F_{x,Rk} = |f_{v,0,k} \cdot l \cdot \cos 2\gamma| = 75 \times 152,4 \times \cos 0^\circ = \underline{11\,430 \text{ N}}$$

- Sur l'axe y :

$$F_{y,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,90,k} \cdot l \cdot \cos \gamma| \\ |k \cdot f_{v,90,k} \cdot l \cdot \sin \gamma| \end{array} \right. \text{ avec } \gamma = 0^\circ \text{ nous avons } k \cdot f_{v,90,k} \cdot l \cdot \sin \gamma = 0$$

Inutile de déterminer k :

$$k = \begin{cases} 1 + k_v \cdot \sin 2\gamma & \text{si } \rightarrow F_{x,Ed} > 0 \\ 1 & \text{si } \rightarrow F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

Le dimensionnement dépendra de la plus petite résistance en traction ou en compression. Dans notre exemple, la plaque est dimensionnée par le composant en compression.

$$f_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} & si \rightarrow F_{y,Ed} > 0 \\ f_{c,90,k} & si \rightarrow F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases}$$

Ici  $f_{n,90,k} = f_{t,90,k} = 150 \text{ N/mm}$  pour  $F_{y,Ed} > 0$

$f_{n,90,k} = f_{c,90,k} = 80 \text{ N/mm}$  pour  $F_{y,Ed} < 0$

$$F_{y,RK} = |f_{n,90,k} \cdot l \cdot \cos \gamma| = |80 \times 152,4 \times \cos 0^\circ| = 12\,192 \text{ N}$$

- **Vérification de la capacité de l'assemblage**

$$\left[ \frac{F_{x,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2F_{x,RK}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{y,Ed}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot 2F_{y,RK}} \right]^2 \leq 1$$

$F_{x,RK}$  et  $F_{y,RK}$  sont les valeurs de résistance pour une plaque, elles sont à multiplier par 2 pour 2 connecteurs.

$$\left[ \frac{5247}{\frac{1,0}{1,25} \cdot 2 \times 11430} \right]^2 + \left[ \frac{-8702}{\frac{1,0}{1,25} \cdot 2 \times 12192} \right]^2 = 0,28 \leq 1 \quad \text{Correct}$$

Pour la traction, la compression et le cisaillement dans le métal, nous prenons  $k_{mod} 1,0$ .

#### 4.1.11.3 Détermination des raideurs d'assemblages

- **Sur l'axe x :**

$$K = 2 \cdot A_{ef,arba} \cdot K_{s,ser}$$

$$K_{x,\alpha} = K \cdot \cos \alpha$$

$$K_{x,15^\circ} = 2 \times 5432 \times 10 \times \cos 15^\circ = 1,05 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$$

- Sur l'axe y :

$$K_{y,a} = 2 \cdot K \cdot \sin\alpha$$

$$K_{y,15^\circ} = 4 \times 5432 \times 10 \times \sin 15^\circ = 5,62 \cdot 10^4 \text{ N/mm}$$

- En rotation :

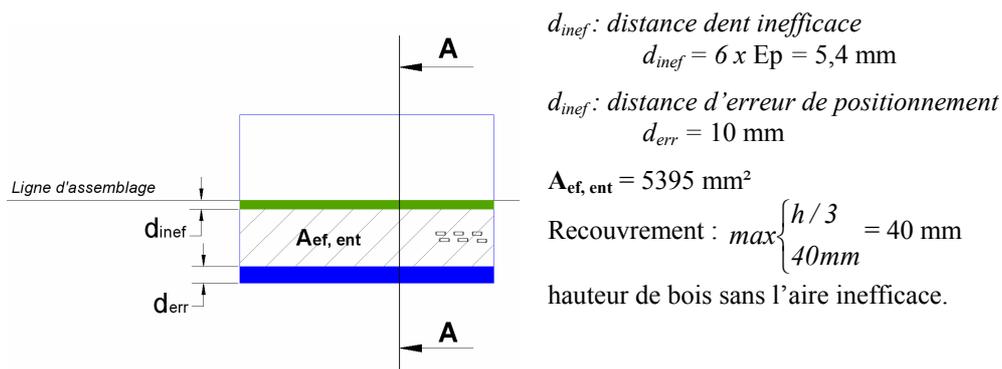
$$K_{\phi,ser} = K_{ser} \cdot 1 \text{ rad}$$

$$K_{rot} = 2 \cdot I_p \cdot K_{\phi,ser}$$

$$K_{rot} = \frac{A_{ef,arba} \cdot (l^2 + h^2)}{6} K_{ser} = \frac{5432 \times (152,4^2 + 38,8^2)}{6} \cdot 10 = 2,24 \cdot 10^8 \text{ N.mm/r.ad}$$

#### 4.1.11.4 Entrait

- Vérification de la capacité d'ancrage de la plaque



- Effort à reprendre dans l'entrait

Charge N = 5240 N

Charge V = 187 N

Moment  $M_{ent}$  = 145 N.m

$$F_a = \sqrt{N^2 + V^2} = \sqrt{5240^2 + 187^2} = 5243 \text{ N}$$

$$\alpha_{Fa} = \arctg(V/N) = \arctg(187/5240) = 2^\circ$$

$F_a$  : résultant de l'effort normal et de l'effort tranchant

$\alpha_{Fa}$  : angle de la résultante de  $F_a$  par rapport à l'horizontale

Pour prendre en compte l'effet de contact bois-bois, l'espacement entre l'arbalétrier et l'entrait ne doit pas dépasser 3 mm avec une valeur moyenne égale à 1,5 mm dans la zone de joint connecté. La réduction de 50 % de l'effort s'effectue par rapport à la composante perpendiculairement au joint de coupe (soit ici verticalement).

$$F_{A,Ed,x} = F_a \cdot \cos \alpha_{Fa} = 5243 \cos 2^\circ = 5240 \text{ N}$$

$$F_{A,Ed,y} = 0,5 * F_a \cdot \sin \alpha_{Fa} = 0,5 \times 5243 \sin 2^\circ = 92 \text{ N}$$

\* : 50 % de réduction du au phénomène de contact bois-bois

$F_{A,Ed,x}$  : composante horizontale de  $F_a$

$F_{A,Ed,y}$  : composante verticale de  $F_a$  après réduction de 50 % par effet de contact

$$F_{A,Ed} = \sqrt{F_{A,Ed,x}^2 + F_{A,Ed,y}^2} = \sqrt{5240^2 + 92^2} = 5241 \text{ N}$$

$$\alpha_{FA,Ed} = \arctg (F_{A,Ed,y} / F_{A,Ed,x}) = \arctg (92/5240) = 1^\circ$$

(angle par rapport à l'horizontale)

$\alpha$  : angle entre la direction de la force et l'axe longitudinal de la plaque

$$\alpha = \alpha_{FA,Ed} = \underline{1^\circ}$$

$\beta$  : angle entre la direction de la force et le fil du bois :

$$\beta = \underline{1^\circ}$$

- **Moment à reprendre**

- **Contrainte d'ancrage due à  $F_{A,Ed}$**

$$\begin{aligned} M_{\text{tot}} &= M_{A,Ed} + M_{\text{ent}} \\ &= (F_{A,Ed} \times d_{FA,Ed}) + M_{\text{ent}} \\ &= (5241 \times 25,9) + 145 \cdot 10^3 = 2,81 \cdot 10^5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$d_{FA,Ed}$  : distance perpendiculaire à  $F_{A,Ed}$  passant par le centroïde

$M_{\text{ent}}$  : moment dans l'entrait

$M_{A,ED}$  : moment par excentrement de la position de la fibre neutre et du centroïde de la plaque

$M_{\text{tot}}$  : somme de tous les moments agissant sur l'ancrage du connecteur

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{2 \times A_{ef,ent}} = \frac{5241}{2 \times 5395} = 0,486 \text{ N/mm}^2$$

○ **Contrainte d'ancrage due aux moments**

Détermination de l'inertie polaire d'un rectangle pour l'ancrage sur l'entrait :

$$\frac{I_p}{v_p} = \frac{A_{ef,ent} \sqrt{l^2 + h^2}}{6} = \frac{5395 \sqrt{152,4^2 + 35,4^2}}{6} = 1,41 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

(formule valable uniquement pour des surfaces rectangulaires)

l : largeur d'ancrage du connecteur

h : hauteur d'ancrage efficace du connecteur

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{tot}}{2 \cdot \frac{I_p}{v_p}} = \frac{2,81 \cdot 10^5}{2 \times 1,41 \cdot 10^5} = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

• **Détermination de la résistance d'ancrage avec  $\alpha = 1^\circ$  et  $\beta = 1^\circ$**

Avec  $\alpha \leq \alpha_0 = 65^\circ$

$$f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k} + k \cdot \alpha$$

$$f_{a,1^\circ,0,k} = 3 - 0,014 \times 1^\circ = 2,99 \text{ N/mm}^2$$

Avec  $\beta \leq 45^\circ$

$$f_{a,1^\circ,1^\circ,k} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{a,1^\circ,0,k} - (f_{a,1^\circ,0,k} - f_{a,90,90,k}) \left( \frac{1^\circ}{1^\circ} \right) \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \cdot \sin 1^\circ \end{array} \right.$$

$$f_{a,1^\circ,1^\circ,k} = \max \left\{ \begin{array}{l} 2,99 - (2,99 - 1,20) = 1,20 \text{ N/mm}^2 \\ 3 - (3 - 1,20) \sin 1^\circ = 2,97 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right. = 2,97 \text{ N/mm}^2$$

- Vérification des contraintes d'ancrages

$$\left[ \frac{\tau_{F,d}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{a,\alpha,\beta,k}} \right]^2 + \left[ \frac{\tau_{M,d}}{\frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{a,0,0,k}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[ \frac{0,486}{\frac{0,6}{1,3} \times 2,97} \right]^2 + \left[ \frac{1,00}{\frac{0,6}{1,3} \times 3,00} \right]^2 = 0,65 \leq 1 \quad \text{Correct}$$

## 4.2 Assemblages par anneaux

### 4.2.1 Introduction

La norme NF EN 912 définit les dimensions et les matériaux de ces organes d'assemblage et décrit quatre type d'assembleurs (A, B, C, D). Les anneaux existent en deux grandes familles : les anneaux de type A et les anneaux simple face (type B).

La méthode de calcul présentée ici ne s'applique qu'aux assembleurs conformes à la NF EN 912 d'un diamètre maximum de 200 mm.

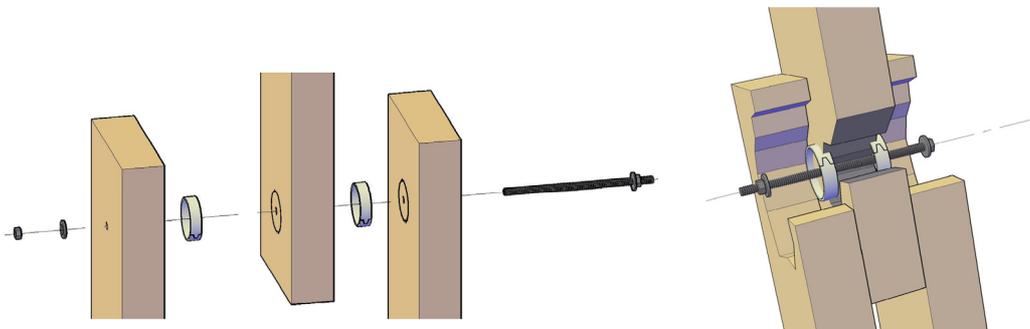


Figure 4-10 : Anneaux type A

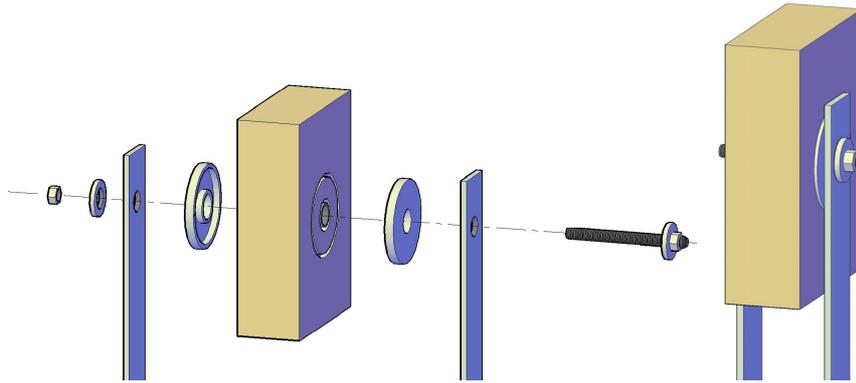


Figure 4-11 : Anneaux type B

Les anneaux de type A ne sont utilisés que pour des assemblages bois-bois. En revanche, les anneaux simple face (type B) peuvent être utilisés dans tous les cas : liaison bois-bois, bois-métal ou bois-béton. Les anneaux sont associés à l'emploi de boulons dont la fonction n'est pas la même dans le cas des anneaux de type A ou des anneaux simple face (type B).

Pour les anneaux de type A, le rôle des boulons se limite au maintien des pièces de bois entre elles. La résistance est donc uniquement dépendante de la portance locale des éléments assemblés autour des anneaux. Dans le cas des anneaux simple face (type B), les boulons sont soumis à un effort de cisaillement au niveau du fond plat.

#### 4.2.2 Principe de fonctionnement

Les anneaux sont utilisés pour transférer des efforts importants entre des éléments en bois. Ils sont également employés pour le transfert de charges bois-béton ou bois-acier. Les capacités résistantes correspondent à un seul plan de cisaillement. Les valeurs spécifiées dans les fiches techniques ne permettent pas d'utiliser plus de deux plans de cisaillement.

Dans un assemblage par anneaux de type A, la transmission des efforts se fait de la manière suivante :

- L'effort est transmis du premier élément en bois à l'anneau par compression localisée sur une moitié de l'anneau.
- L'effort transite par cisaillement du plan médian de l'anneau.
- L'effort est transmis au deuxième élément en bois par compression localisée du bois au niveau de l'autre moitié de l'anneau.

Dans le cas des anneaux simple face (type B), les 2 premières étapes sont identiques. Ensuite, les efforts sont transmis par compression localisée de l'anneau au boulon. Le boulon est alors sollicité au cisaillement au plan d'interface du gousset métallique. De plus, lors de la mise en charge d'un assemblage utilisant des anneaux simple face (type B), on observe un glissement initial qui correspond à la tolérance d'ajustage du boulon dans le trou de l'anneau.

#### 4.2.3 Modes de rupture

Le bois est soumis à une compression localisée au niveau de l'anneau. La capacité résistante de l'élément en bois va dépendre de sa résistance à la compression, mais aussi de sa résistance au cisaillement et à la traction transversale. De plus, un autre mode de rupture est possible par cisaillement du bois sur une surface qui dépend :

- du diamètre de l'anneau :  $d_c$ ,
- de la hauteur d'enfoncement de l'anneau dans le bois :  $h_e$ ,

- de la distance de l'axe de l'anneau au bord de la pièce:  $a_3$  (ou à l'anneau suivant dans le cas de plusieurs anneaux en ligne:  $a_1$ ).

La figure ci-dessous présente cette surface cisailée avec les différents paramètres évoqués.

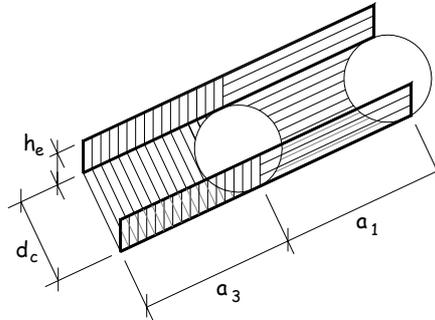


Figure 4-12 : Surfaces de cisaillement

#### 4.2.4 Recommandations

La réalisation d'un assemblage par anneaux est une opération soignée devant être effectuée à l'aide d'outils appropriés conformément aux prescriptions du fabricant. Compte tenu de son mode de fonctionnement, l'anneau type A est destiné préférentiellement à des assemblages moisés (nombre pair de plans cisailés).

L'humidité du bois lors de la mise en place des anneaux ne doit pas être trop éloignée de l'humidité d'équilibre du bois de l'ouvrage final. Dans le cas contraire, les effets du retrait et/ou du gonflement peuvent provoquer des fentes et/ou des jeux au niveau de l'assemblage. Certains anneaux comportent une fente, ce qui permet de limiter ce phénomène. Dans ce cas, on positionne de préférence la fente à la bissectrice des éléments assemblés.

Type d'assembleurs	$d_c$ (mm)	d minimum (mm)	d maximum (mm)
A – A5	$\leq 130$	12	24
A1, A4, A5	$> 130$	$0,1 \cdot d_c$	24
B	–	$d_1 - 1$	$d_1$

$d_c$  : diamètre de l'assembleur  
 $d$  : diamètre du boulon  
 $d_1$  : diamètre du trou de l'assembleur

Tableau 4-1 : Diamètres de boulons utilisés avec des assembleurs

**Remarque :**

Pour faciliter la mise en place de l'anneau type A fendu et afin de ne pas endommager le bois, on peut graisser l'anneau.

#### 4.2.5 Espacements et distances minimaux pour les anneaux

Les notations concernant les différents paramètres géométriques utilisés pour les règles d'espacement des anneaux sont identiques aux chapitres précédents. Leurs valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Espacements et distances	Angle	Distance minimum
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \cdot  \cos\alpha ) \cdot d_c$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1,5 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

Tableau 4-2 : Espacements et distances minimales pour les anneaux

**Remarque :**

Les distances sont toujours considérées à partir du centre géométrique de l'assembleur.

Dans le cas où les anneaux sont positionnés en quinconce, les distances minimales  $a_1$  et  $a_2$  peuvent être réduites par les coefficients  $k_{a1}$  et  $k_{a2}$  respectivement, et qui doivent vérifier la condition :

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \text{ avec } \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases}$$

#### 4.2.6 Épaisseurs minimales des bois

L'application des règles de calcul de l'Eurocode 5 nécessite également des épaisseurs de bois minimales. Qu'il s'agisse d'anneaux de type A ou B, les épaisseurs minimales doivent être les suivantes :

- Bois extérieurs :  $t_1 \geq 2,25 \cdot h_e$
- Bois intérieur :  $t_2 \geq 3,75 \cdot h_e$

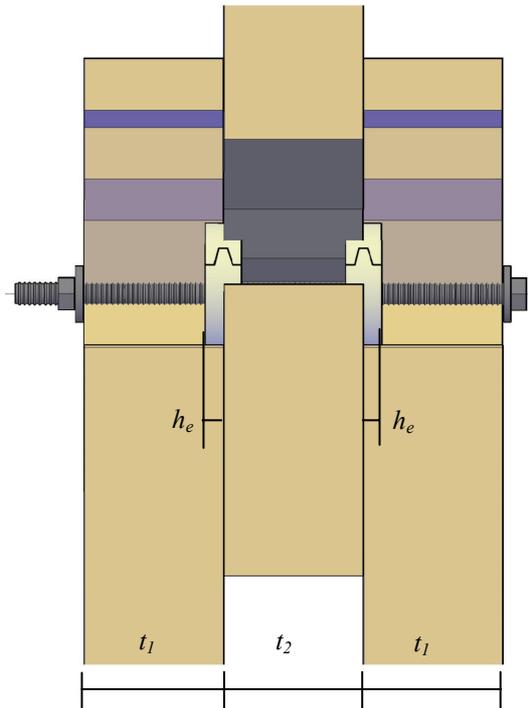


Figure 4-13 : Dimensions pour les assemblages par anneaux

#### 4.2.7 Méthode de calcul d'un assemblage réalisé par anneaux

La valeur caractéristique de la capacité résistante en cisaillement dépend de l'angle  $\alpha$  entre l'effort et le fil du bois.

Pour un effort dans le sens du fil du bois et par plan de cisaillement, la valeur caractéristique de la capacité résistante en cisaillement  $F_{v,0,Rk}$  est :

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (35 \cdot d_c^{1,5}) \\ k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \cdot (31,5 \cdot d_c) \end{cases}$$

avec :

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{t_1}{3.h_e} \\ \frac{t_2}{5.h_e} \end{cases} \quad k_2 = \min \begin{cases} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2.d_c} \end{cases} \quad \text{pour } -30^\circ \leq \alpha \leq +30^\circ, \text{ sinon } k_2 = 1$$

$k_a$  = 1,25 pour les assemblages avec un seul anneau par plan de cisaillement  
 = 1,0 pour les assemblages avec plusieurs anneaux par plan de cisaillement

$$k_3 = \min \begin{cases} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases} \quad k_4 = \min \begin{cases} 1 & \text{Pour les assemblages bois-bois} \\ 1,1 & \text{Pour les assemblages bois-métal} \end{cases}$$

avec :

$d_c$  diamètre de l'assembleur en mm  
 $h_e$  profondeur de pénétration de l'assembleur en mm  
 $\rho_k$  densité caractéristique du bois en kg/m<sup>3</sup>

La valeur caractéristique de la capacité résistante par plan de cisaillement pour un angle  $\alpha$  entre l'effort et le fil du bois est alors :

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

avec :

$$k_{90} = 1,3 + 0,001.d_c$$

Si  $n$  anneaux sont positionnés en file parallèlement au fil du bois, on doit tenir compte d'un effet de nombre. Le nombre efficace  $n_{ef}$  d'anneaux de cette file est :

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) \cdot (n - 2)$$

On considère que des anneaux sont dans la même file lorsque leur espacement perpendiculairement au fil du bois est inférieur à 50 % de leur espacement dans le sens du fil du bois.

Puis d'une façon générale, la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante  $F_{v,ef,Rk}$  est :

$$F_{v,ef,Rk} = m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,\alpha,Rk}$$

avec :

$m$  nombre de files d'organes

$F_{v,\alpha,Rk}$  valeur caractéristique de la capacité résistante par anneau en N

**Note :**

*Pour les anneaux, par cette méthode de calcul, il ne faut pas ajouter la résistance des boulons.*

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

avec :

$k_{mod}$  coefficient de modification

$\gamma_M$  coefficient partiel pour les assemblages

#### 4.2.8 Module de glissement

Le module de glissement  $K_{ser}$  **par plan de cisaillement et par organe** pour une charge de service est, soit déterminé par essais conformément à la méthode donnée dans EN 26891 (noté  $k_s$ ), soit calculé conformément à la formule suivante :

$$K_{ser} = \rho_m \cdot \frac{d_c}{2} \quad (\text{en N/mm})$$

avec :

$\rho_m$  masse volumique moyenne des éléments assemblés, en kg/m<sup>3</sup>

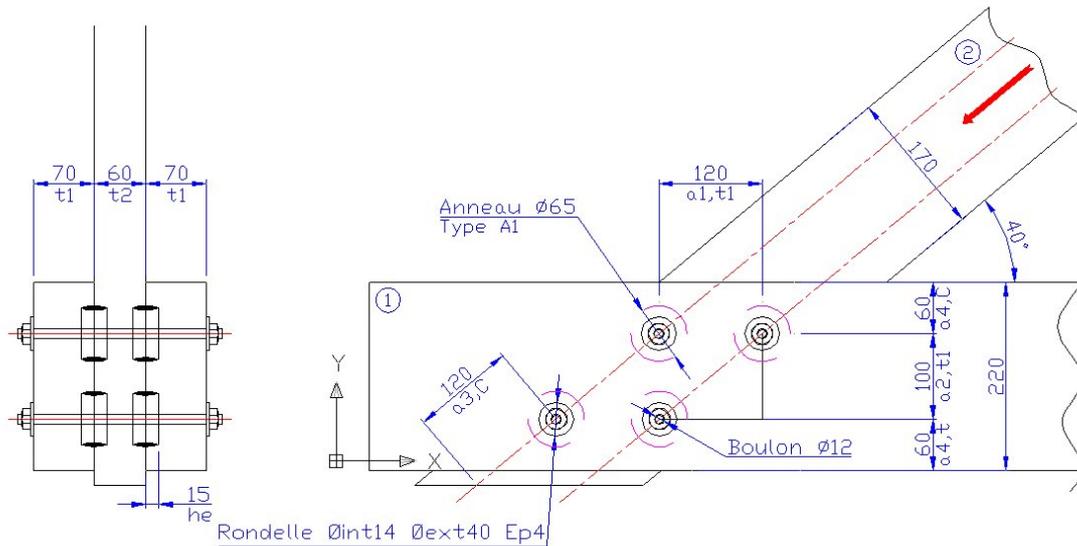
$d_c$  diamètre de l'organe d'assemblage, en mm

Pour les assemblages utilisant des éléments assemblés dont les masses volumiques moyennes sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), on applique une masse volumique moyenne équivalente  $\rho_m$  dans les équations ci-dessus selon :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

Pour les assemblages bois-métal ou bois-béton, le glissement des assemblages est plus limité. Aussi, le calcul de  $K_{ser}$  se base sur la masse volumique de l'élément bois et est multiplié par 2,0.

## 4.2.9 Exemple de calcul d'un assemblage réalisé par anneaux



- **Environnement**
  - Classe de service 2
  - Chargement long terme  $\Rightarrow k_{mod} = 0,7$
- **Éléments bois**
  - Élément  $t_1 = 60 \times 170$  mm
  - Élément  $t_2 = 70 \times 220$  mm
  - Bois massif
  - Classe de résistance C24  $\Rightarrow \gamma_M = 1,3$
  - Masse volumique caractéristique  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
- **Crampons et boulons utilisés**
  - Crampon :  $\varnothing 65$  de type A1
  - Boulon :  $\varnothing 12$  classe 6.8  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$
  - Rondelles :  $\varnothing$  extérieur 40,  $\varnothing$  intérieur 14, épaisseur 4 mm
- **Vérification de l'assemblage**
  - $a_{1,t1} = 120 \text{ mm} \geq 118 \text{ mm}$  Correct
  - $a_{2,t1} = 100 \text{ mm} \geq 78 \text{ mm}$  Correct
  - $a_{3,C} = 120 \text{ mm} \geq 105 \text{ mm}$  Correct
  - $a_{4,C} = 60 \text{ mm} \geq 39 \text{ mm}$  Correct
  - $a_{4,t} = 60 \text{ mm} \geq 47 \text{ mm}$  Correct
  - $\sin(\alpha) \times a_{1,t1} \geq a_{2,t2}$  Correct
  - $\sin(\alpha) \times a_{1,t2} \geq a_{2,t1}$  Correct
- **Vérification dimension des plaquettes d'appuis**
  - Boulon  $d_b = 12 \text{ mm}$
  - Diamètre de la rondelle =  $40 \geq 3 \times d_b$  Correct
  - Épaisseur de la rondelle =  $4 \geq 0,3 \times d_b$  Correct

**Résistance caractéristique par anneau et par plan de cisaillement**

- Coefficient  $K_1$

$$K_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{60}{3 \times 15} \\ \frac{70}{5 \times 15} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1,33 \\ 0,93 \end{array} \right. = 0,93$$

$h_e$  = profondeur de pénétration de l'anneau = hauteur de l'anneau / 2

- Coefficient  $K_2$

Le coefficient  $K_2$  ne s'applique pas à notre exemple car il ne concerne que les assemblages chargés en traction.

- Coefficient  $K_3$

$$K_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \\ \frac{350}{350} \end{array} \right. = 1$$

- Coefficient  $K_4$

$$K_4 = \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ 1,1 \end{array} \right. = 1,0$$

- Capacité résistante de l'anneau parallèle au fil du bois

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} K_1 K_2 K_3 K_4 (35 d_c^{1,5}) \\ K_1 K_3 h_e (31,5 d_c) \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,93 \times 1 \times 1 \times (35 \times 65^{1,5}) \\ 0,93 \times 1 \times 15 \times (31,5 \times 65) \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 17119 \\ 28665 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 17119 \text{ N}$$

- Capacité résistante de l'anneau par plan de cisaillement suivant l'angle de 40°

$$K_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c$$

$$K_{90} = 1,3 + 0,001 \times 65$$

$$K_{90} = 1,365$$

$$F_{v,40^\circ,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{K_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$F_{v,40^\circ,Rk} = \frac{17119}{1,365 \times (\sin 40^\circ)^2 + \cos(40^\circ)^2}$$

$$F_{v,40^\circ,Rk} = 14876 \text{ N}$$

#### Vérification des coefficient $K_{a1}$ et $K_{a2}$

L'exemple ne contient pas d'anneaux disposés en quinconce. Il n'est donc pas nécessaire de vérifier les équations relatives aux coefficients  $K_{a1}$  et  $K_{a2}$ .

Nombre efficace d'anneaux positionnés parallèlement au fil du bois

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{2}{20}\right) \cdot (n - 2)$$

$$n = 2$$

$$n_{ef} = 2$$

#### Capacité résistante caractéristique de l'assemblage

$$F_{v,Rk} = F_{v,Rk,Anneau} \times n_{ef} \times 2 \text{ plans de cisaillement} = 14\,876 \times 2 \times 2 = 59\,504 \text{ N soit } 59 \text{ kN}$$

Valeur de calcul des résistances  $R_d$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 31,8 \text{ kN} \quad \text{avec} \quad k_{mod} = 0,7 \text{ et } \gamma_M = 1,3$$

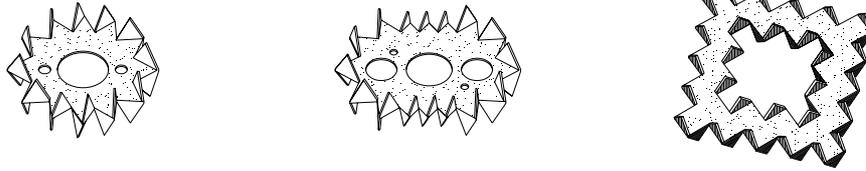
## 4.3 Assemblages réalisés par crampons

### 4.3.1 Introduction

La norme EN 912 définit les dimensions et les matériaux des crampons et définit 11 types de C1 à C11.

Les crampons sont réalisés à partir de tôles d'acier de faible épaisseur (1 à 2 mm généralement). Ils présentent des dents pliées qui sont réparties sur une face (crampons à simple denture) pour les types C2, 4, 7, 9 et 11 ou sur les deux faces du crampon (crampons à double denture) pour les types C1, 3, 5, 6, 8 et 10. Les crampons disponibles sur le marché ont une forme la plus souvent circulaire, mais il existe également des crampons de forme ovale, rectangulaire ou carré.

CRAMPONS A DOUBLE DENTURE



CRAMPONS A SIMPLE DENTURE



Figure 4-14 : Exemples de crampons

La méthode de calcul présentée ici ne s'applique qu'aux assembleurs conformes à la NF EN 912. Cette dernière n'est cependant pas exhaustive et certains assembleurs qui ne sont pas traités dans cette norme peuvent également être utilisés avec les valeurs du fabricant.

Les crampons à double denture ne sont utilisés que pour des assemblages bois-bois. En revanche, les crampons à simple denture peuvent être utilisés dans tous les cas : liaison bois-bois, bois-métal ou bois-béton.

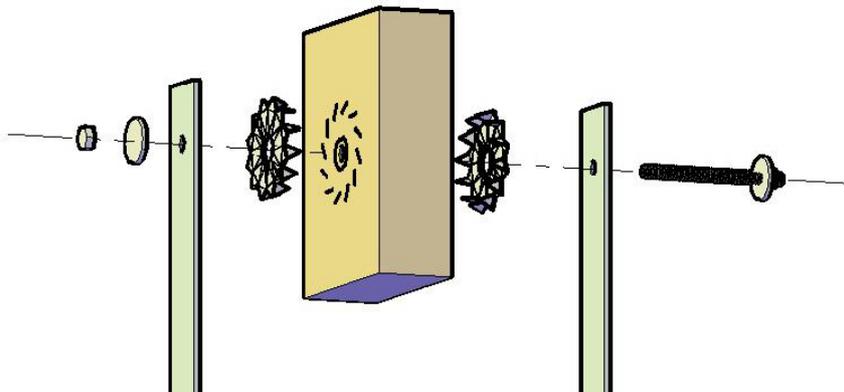


Figure 4-15 : Assemblage bois-métal par crampons simple face

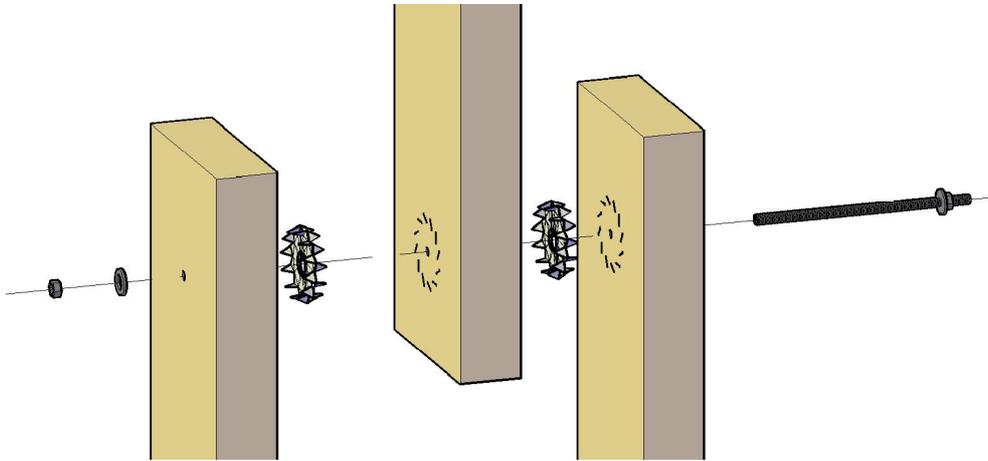


Figure 4-16 : Assemblage bois-bois par crampons double face

Les crampons sont associés à l'emploi de boulons dont la fonction peut être double : d'une part, ils servent au maintien des pièces de bois entre elles, d'autre part ils participent à la résistance de l'assemblage dans le cas des crampons simple face.

Dans un but de simplification, pour un assemblage par crampon simple ou double face, on fera le cumul de la résistance de l'assemblage boulonné et de la résistance obtenue par la méthode ci-dessous pour les crampons.

#### 4.3.2 Principe de fonctionnement

Les crampons sont utilisés pour transférer des efforts importants entre des éléments en bois. En raison de leur technologie de mise en oeuvre, leur emploi n'est pas possible avec des bois de forte densité. Dans un assemblage par crampons à double face, la transmission des efforts se fait de la manière suivante :

- L'effort est transmis du premier élément de bois au crampon par compression localisée des dents de la première face du crampon
- L'effort transite par cisaillement du plan médian du crampon
- L'effort est transmis du crampon au deuxième élément de bois par compression localisée des dents de la deuxième face du crampon

Dans le cas des crampons à simple face, les 2 premières étapes sont identiques. Ensuite, les efforts sont transmis par cisaillement du boulon à l'interface du second crampon ou du gousset métallique. Ainsi, lors de la mise en charge d'un assemblage utilisant des crampons à simple face, on pourra observer un glissement initial qui correspond à la tolérance d'ajustage du boulon dans le trou du crampon.

#### 4.3.3 Recommandations

La réalisation d'un assemblage par crampons est une opération soignée devant être effectuée à l'aide d'outils appropriés conformément aux prescriptions du fabricant. Les crampons doivent être complètement enfoncés dans le bois. C'est pourquoi, on se limitera à l'assemblage de bois dont la masse volumique moyenne n'excède pas  $600 \text{ kg/m}^3$ .

De plus, la technologie des assemblages par crampons à double denture est irréversible. Une fois que les crampons ont été enfoncés, l'assemblage ne doit plus être démonté.

Type d'assembleurs	$d_c$ (mm)	$d$ minimum (mm)	$d$ maximum (mm)
Double face	$\leq 130$	12	24
	$> 130$	$0,1 \cdot d_c$	24
Simple face		$d_1 - 1$	$d_1$

Tableau 4-3 : Diamètres de boulons utilisés avec des crampons

avec :

$d_c$  diamètre de l'assembleur

$d$  diamètre du boulon

$d_1$  diamètre du trou de l'assembleur

#### 4.3.4 Espacements et distances minimaux pour les anneaux

Les notations concernent les différents paramètres géométriques utilisés pour les règles d'espacement des crampons sont identiques aux chapitres précédents. Ces valeurs sont indiquées dans les tableaux suivants.

- Crampons de type C1 à C9

Espacements et distances	Angle	Distance minimale
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,3 \cdot  \cos\alpha ) \cdot d_c$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,9 + 0,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9 + 0,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

Tableau 4-4 : Espacements et distances minimaux pour les crampons C1 à C9

- Crampons de type C10 à C11

Espacements et distances	Angle	Distance minimale
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \cdot  \cos\alpha ) \cdot d_c$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (distance d'extrémité chargée)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (distance d'extrémité non chargée)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (distance de rive chargée)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \cdot  \sin\alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (distance de rive non chargée)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

Tableau 4-5 : Espacements et distances minimales pour les crampons C10 et C11

**Remarque :**

Les distances sont toujours considérées à partir du centre géométrique de l'assembleur.

Dans le cas où les crampons sont positionnés en quinconce, les distances minimales  $a_1$  et  $a_2$  peuvent être réduites par les coefficients  $k_{a1}$  et  $k_{a2}$  respectivement, et qui doivent vérifier la condition :

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \text{ avec } \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases}$$

**4.3.5 Épaisseurs minimales des bois**

L'application des règles de calcul de l'Eurocode 5 nécessite également des épaisseurs de bois minimales qui doivent être les suivantes :

- Bois extérieurs :  $t_1 \geq 2,25 \cdot h_e$
- Bois intérieur :  $t_2 \geq 3,75 \cdot h_e$

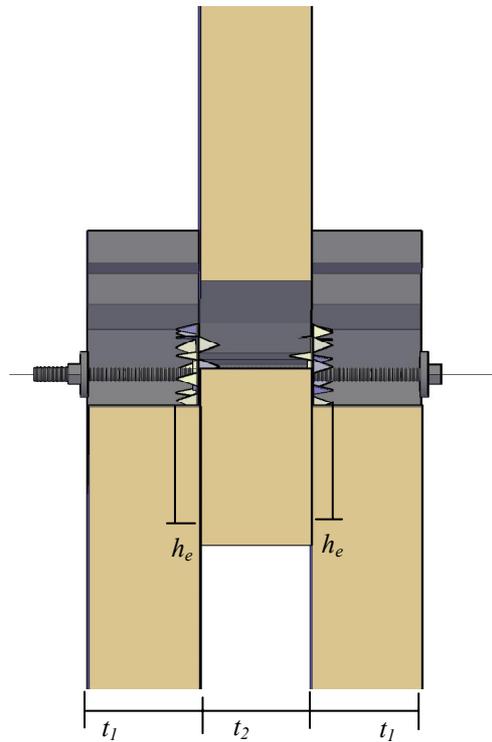


Figure 4-17 : Dimensions pour les assemblages par crampons

#### 4.3.6 Méthode de calcul d'un assemblage réalisé par crampons

La valeur caractéristique de la capacité résistante en cisaillement  $F_{v,0,Rk}$  est indépendante de l'angle entre l'effort et le fil du bois :

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 18.k_1.k_2.k_3.d_c^{1,5} & \text{Pour les simples faces} \\ 25.k_1.k_2.k_3.d_c^{1,5} & \text{Pour les doubles faces} \end{cases}$$

avec :

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3.h_e} \\ \frac{t_2}{5.h_e} \end{array} \right.$$

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5.d_c} \end{array} \right. \quad \text{pour les crampons de type C1 à C9 et avec } a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1.d_c \\ 7.d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2.d_c} \end{array} \right. \quad \text{pour les crampons de type C10 et C11 et avec } a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5.d_c \\ 7.d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right.$$

avec :

$d$  diamètre du boulon, en mm

$d_c$  diamètre de l'assembleur, en mm

$h_e$  profondeur de pénétration de l'assembleur, en mm

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

Si  $n$  crampons sont positionnés en file parallèlement au fil du bois, on doit tenir compte d'un effet de nombre. Le nombre efficace  $n_{ef}$  de crampons de cette file est :

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) \cdot (n - 2)$$

On considère que des crampons sont dans la même file lorsque leur espacement perpendiculairement au fil du bois est inférieur à 50 % de leur espacement dans le sens du fil du bois.

Puis d'une façon générale, la valeur caractéristique efficace de la capacité résistante  $F_{v,ef,Rk}$  est :

$$F_{v,ef,Rk} = m.n_{ef}.F_{v,Rk}$$

avec :

$m$  nombre de files d'organes

$F_{v,Rk}$  valeur caractéristique de la capacité résistante par crampon, en N

Pour les crampons, par cette méthode de calcul, il faut ajouter la résistance des boulons.

La résistance de calcul,  $F_{v,Rd}$ , de l'assemblage est :

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,ef,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

avec :

$k_{mod}$  coefficient de modification

$\gamma_M$  coefficient partiel pour les assemblages

#### 4.3.7 Module de glissement

Le module de glissement  $K_{ser}$  **par plan de cisaillement et par organe** pour une charge de service est, soit déterminé par essais conformément à la méthode donnée dans EN 26891 (noté  $k_s$ ), soit calculé conformément aux formules suivantes :

- Crampons de type C1 à C9 :  $K_{ser} = 1,5 \cdot \rho_m \cdot \frac{d_c}{4}$
- Crampons de type C10 et C11 :  $K_{ser} = \rho_m \cdot \frac{d_c}{2}$

avec :

$\rho_m$  masse volumique moyenne des éléments assemblés, en kg/m<sup>3</sup>

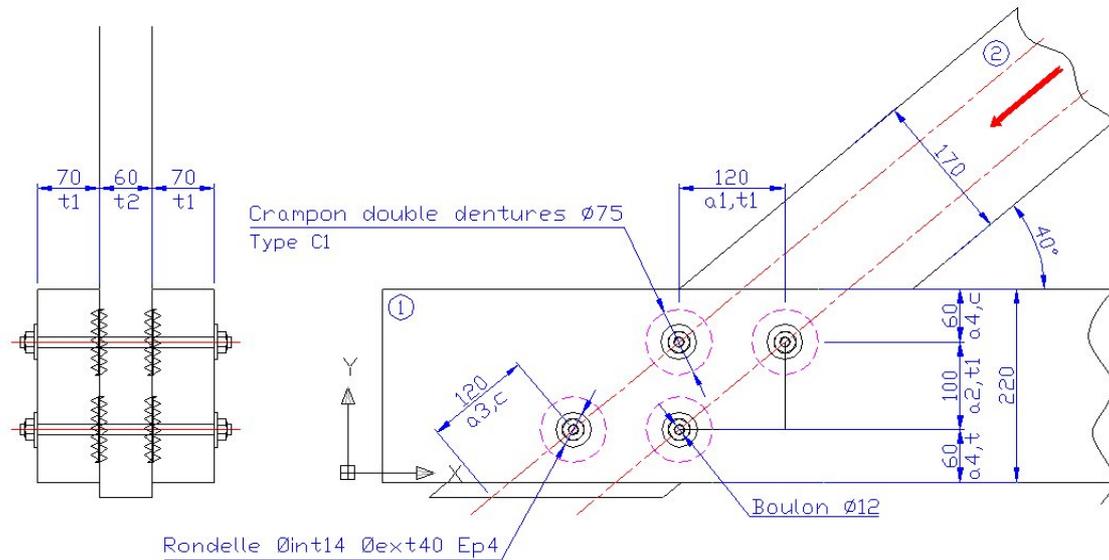
$d_c$  diamètre de l'organe d'assemblage, en mm

Pour les assemblages utilisant des éléments assemblés dont les masses volumiques moyennes sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), on applique une masse volumique moyenne équivalente  $\rho_m$  dans les équations ci-dessus selon :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

Pour les assemblages bois-métal ou bois-béton, le glissement des assemblages est plus limité. Aussi, le calcul de  $K_{ser}$  se base sur la masse volumique de l'élément bois et est multiplié par 2,0.

## 4.3.8 Exemple de calcul d'un assemblage réalisé par crampons



- **Environnement**
  - Classe de service 2
  - Chargement long terme  $\Rightarrow k_{mod} = 0.7$
- **Élément bois :**
  - Élément  $t_1 = 60 \times 170$  mm
  - Élément  $t_2 = 70 \times 220$  mm
  - Bois massif  $\Rightarrow \gamma_M = 1,3$
  - Classe de résistance = C24
  - Masse volumique caractéristique  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
- **Crampons et boulons utilisés :**
  - Crampon double denture  $\text{Ø}75$  type C1
  - Boulon  $\text{Ø}12$  classe 6.8  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$
  - Rondelles  $\text{Ø ext. } 40 \text{ Ø int. } 14 \text{ ep. } 4 \text{ mm}$
- **Vérification de l'assemblage**
  - $a_{1,t2} = 120 \text{ mm} \leq 107 \text{ mm}$  correct
  - $a_{2,t2} = 100 \text{ mm} \leq 90 \text{ mm}$  correct
  - $a_{3,C} = 100 \text{ mm} \leq 96 \text{ mm}$  correct
  - $a_{4,C} = 60 \text{ mm} \leq 45 \text{ mm}$  correct
  - $a_{4,t} = 60 \text{ mm} \leq 55 \text{ mm}$  correct
  - $\sin(\alpha) \times a_{1,t2} \geq a_{2,t1}$  correct
  - $\sin(\alpha) \times a_{1,t1} \geq a_{2,t2}$  correct
- **Vérification dimensions des plaquettes d'appuis**
  - Boulon  $d_b = 12 \text{ mm}$
  - Diamètre de la rondelle =  $40 \geq 3 \cdot d_b$  correct
  - Épaisseur de la rondelle =  $4 \geq 0.3 \cdot d_b$  correct

- **Résistance caractéristique par crampon et par plan de cisaillement**

$$K_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{60}{3.9,13} \\ \frac{70}{5.9,13} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2,19 \\ 1,53 \end{array} \right. = 1$$

$h_e$  = profondeur de pénétration du crampon = hauteur de la dent

$$K_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5 d_c} \end{array} \right. = 1$$

$a_{3,t}$  est très supérieur à  $1,5 d_c$

$$K_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. = 1$$

Pour un crampon double face par plan de cisaillement :

$$F_{v,Rk} = 25 K_1 K_2 K_3 d_c^{1,5}$$

$$F_{v,Rk} = 25 \times 75^{1,5}$$

$$F_{v,Rk} = 16238 \text{ N}$$

- **Résistance caractéristique du boulon sollicité en double cisaillement**

$$F_{v,Rk, \text{boulon}} = 6\,729 \text{ N}$$

- **Résistance globale de l'assemblage**

$$F_{v,Rk} = 2 \times 4 \times (F_{v,Rk} \text{ Crampon} + F_{v,Rk} \text{ boulon})$$

$$F_{v,Rk} = 2 \times 4 \times (16\,238 + 6\,729)$$

$$F_{v,Rk} = 183\,736 \text{ N}$$

- **Valeur de calcul des résistances  $R_d$**

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m} \quad \text{avec} \quad k_{mod} = 0,7 \text{ et } \gamma_m = 1,3$$

$$F_{v,Rd} = 0,7 \times \frac{183736}{1,3} = 98935 \text{ N soit } 98,9 \text{ kN}$$

A ce calcul, s'ajoute ensuite la vérification de la traction perpendiculaire et de la rupture de bloc.

---

## 5 AUTRES ÉLÉMENTS D'ASSEMBLAGE

---

### 5.1 Les assembleurs tridimensionnels

#### 5.1.1 Les sabots et équerres

Les sabots désignent une pièce métallique en forme de U possédant un fond sur lequel repose un élément de charpente. Les sabots comportent des rabats, les ailes, généralement à angle droit pour leur fixation sur le support de nature variée. Les ailes sont rabattues soit à l'extérieur, soit à l'intérieur. Les sabots sont largement utilisés en charpente traditionnelle et en charpente en bois lamellé-collé. Ils sont employés pour la fixation d'éléments en bois ou à base de bois sur différents supports bois ou maçonnerie. La nature du support définit le mode de fixation.

On peut distinguer trois grandes familles de sabots métalliques :

- Les sabots de solive, qui s'emploient pour la fixation des solives (bois massif, lamellé-collé ou poutre en I) sur une porteuse principale ou sur un élément de mur, pour la fixation de fermes et fermettes et l'assemblage des pannes (bois lamellé-collé).
- Les sabots à bretelles qui présentent un rabat supérieur permettant une fixation totale ou partielle sur la porteuse sur sa face supérieure, qui s'emploient pour la fixation des fermettes et des poutres en I.
- Les « étriers » de pied de fermes.

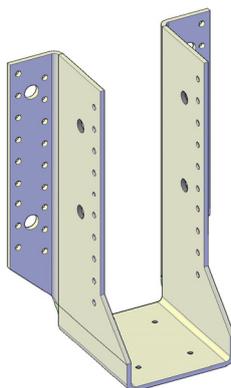


Figure 5-1 : Exemple de sabot

Les équerres sont des éléments métalliques en forme de L pliés à angle droit et comportant des trous de passage pour des organes métalliques de type tige. Elles peuvent être ou non renforcées. Le renforcement consiste en la réalisation d'un emboutissage plus ou moins prononcé au niveau de la pliure de l'équerre. Il en résulte un bombement dans l'angle de l'équerre : celui-ci accroît la capacité de résistance au pliage de l'équerre. Certains modèles comportent des trous oblongs qui permettent d'éviter des concentrations de contrainte si les éléments assemblés ont des déplacements différentiels importants sous l'effet des charges transmises à l'ouvrage.

Les équerres sont largement utilisées dans toutes les applications de la charpente : traditionnelle, industrialisée, en bois lamellé-collé. Elles sont simples d'emploi et leur géométrie permet la fixation d'éléments dont les axes sont perpendiculaires. Les équerres peuvent être utilisées pour fixations bois-bois, bois-béton ou encore bois-métal.

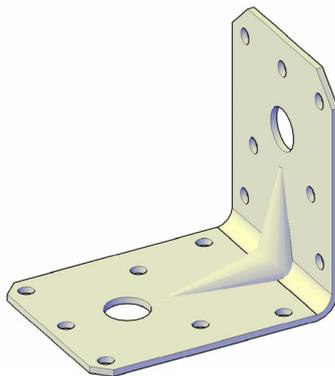


Figure 5-2 : Exemple d'équerre

L'Eurocode 5 ne donne pas de méthode de calcul pour de type d'assembleurs tridimensionnels. Pour une utilisation en structure, ils devront être évalués selon le référentiel de l'EOTA, le Guide pour l'Agrément Technique Européen (ETAG 015).

Cette évaluation permet ensuite au fabricant de demander l'obtention d'un Agrément Technique Européen (ATE), document nécessaire pour le marquage CE de ces assembleurs.

Les valeurs de résistance sont donc données directement dans les ATE de chaque fabricant.

## 5.2 Tirants

Les tirants prennent une place grandissante dans les structures actuelles. L'évolution des technologies et des moyens de calcul a favorisé le développement de ces produits. Aujourd'hui largement utilisés, ils permettent d'alléger les structures tout en assurant une mixité des matériaux. Ils sont de plus en plus des éléments de construction porteurs utilisés dans la construction de fermes sous-tendues, de ponts et de systèmes de contreventement, en apportant une note esthétique.

Les tirants permettent d'assurer exclusivement une transmission d'effort de traction. De conception mécano-soudée ou moulée, leurs sections sont faibles et leurs géométries généralement circulaires ou carrées.

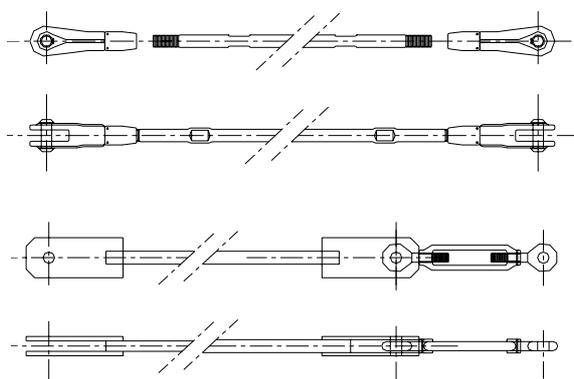
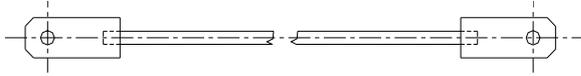


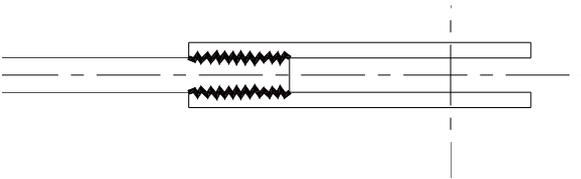
Figure 5-3 : Exemples de tirants

Selon les résultats des expérimentations, il est connu cinq modes courants de rupture au-delà de la charge maximale. Ces modes de rupture sont caractéristiques des propriétés mécaniques de l'ensemble des composants du tirant :

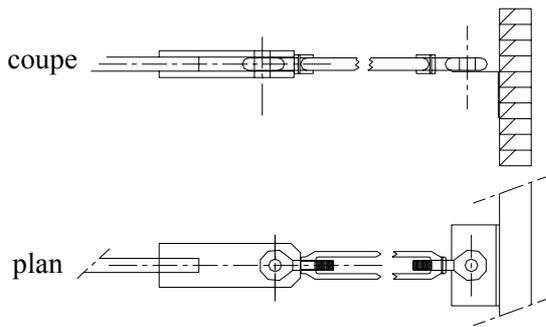
**Traction dans la tige**



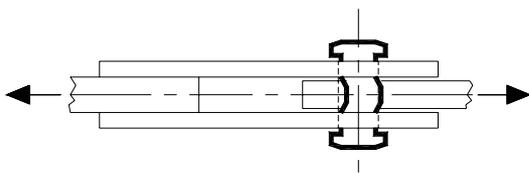
**Cisaillement de la liaison chape-tige**



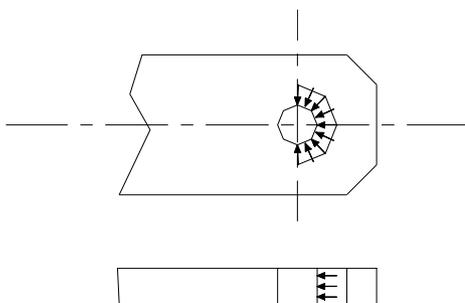
**Rupture du tendeur ou ridoir**



**Cisaillement de l'axe**



**Cisaillement de la chape - Pression diamétrale**





---

## 6 SITUATION D'INCENDIE

---

### 6.1 Introduction

La résistance au feu peut être justifiée par deux méthodes différentes : **la méthode simplifiée et la méthode de la charge réduite**. Les règles suivantes s'appliquent à des assemblages symétriques avec éléments latéraux en bois et chargés en double cisaillement exposé à un feu standard **dans la limite de 60 minutes**.

### 6.2 Méthode simplifiée

La méthode simplifiée consiste à vérifier la résistance de l'assemblage seulement en situation normale (calcul à froid) et à déterminer les temps de résistance à un feu standard comme suit :

#### 6.2.1 Assemblage non protégé

Les assemblages bois-bois liaisonnés par organes métalliques sont réputés ayant un temps de résistance au feu, noté  $t_{d,fi}$ , si l'ensemble des conditions d'espacements, de distances aux bords et aux rives est respecté pour une justification à froid et sous réserve de respecter les mises en œuvre suivantes :

Organe	Condition	$t_{d,fi}$ en min
Pointes	$d \geq 2,8$ mm	15
Tire-fond et vis	$d \geq 3,5$ mm	15
Boulons	$t_1 \geq 45$ mm	15
Broches	$t_1 \geq 45$ mm	20
Anneaux crampons	et $t_1 \geq 45$ mm	15

Ce temps de résistance sans protection,  $t_{d,fi}$ , peut être augmenté **sans dépasser 30 minutes**, en augmentant les dimensions des éléments latéraux de l'assemblage (épaisseur et largeur), ainsi que les distances aux bords et aux rives, d'une grandeur  $a_{fi}$  :

$$a_{fi} = 1,5 \cdot \beta_n \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

avec :

$\beta_n$  vitesse de combustion (donnée dans le manuel « Tronc commun »),

$t_{req}$  temps requis de résistance au feu standard en minutes ( $\leq 30$  minutes)

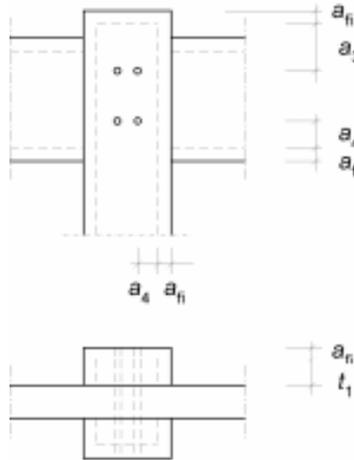


Figure 6-1 : Épaisseur additionnelle

## 6.2.2 Assemblage protégé

Le rôle de la protection est de retarder le démarrage de la combustion du bois au niveau de l'assemblage.

### 6.2.2.1 Temps de résistance du feu

On définit le temps de démarrage de la combustion, noté  $t_{ch}$ , comme étant le temps de tenue de la protection avant qu'elle ne tombe ou qu'elle ne joue plus son rôle protecteur. On détermine ce temps de démarrage de la combustion par :

- Pour les protections par un ou plusieurs panneaux à base de bois ou panneautage bois :

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_{0,\rho,t}} \quad \text{avec} \quad \beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \times \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \times \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{20}{h_p}} \end{array} \right.$$

avec :

$h_p$  épaisseur totale de la protection, en mm

$\rho_k$  masse volumique caractéristique de la protection, en  $\text{kg/m}^3$

$\beta_{0,\rho,t}$  vitesse de combustion de la protection, en mm/min

$\beta_0$  vitesse de combustion de référence de la protection, en mm/min

= 1 mm/min pour les panneaux contreplaqués

= 0,9 mm/min pour les panneautages bois et les panneaux à base de bois autres que les contreplaqués

- Pour les protections par une couche de plaque de plâtre de type A, F ou H (selon EN 520) :
  - o  $t_{ch} = 2,8.h_p - 23$  si les joints au droit de l'assemblage présentent un interstice non rempli supérieur à 2 mm,
  - o  $t_{ch} = 2,8.h_p - 14$  s'il n'y a pas de joint au droit de l'assemblage ou si les joints au droit de l'assemblage présentent un interstice, rempli ou non, inférieur à 2 mm,

où  $h_p$  est l'épaisseur de la plaque de plâtre en mm

En fonction du temps requis de résistance au feu, noté  $t_{req}$  (sans dépasser 60 minutes), l'exigence sur le temps de démarrage de la carbonisation est :

- Pour les protections par un ou plusieurs panneaux à base de bois, un panneautage bois ou par une couche de plaque de plâtre de type A ou H :

$$t_{ch} \geq t_{req} - 0,5.t_{d,fi}$$

- Pour les protections par une couche de plaque de plâtre de type F :

$$t_{ch} \geq t_{req} - 1,2.t_{d,fi}$$

Dans le cas d'utilisation de bouchons de protection, on détermine la profondeur des bouchons de la même façon que la grandeur  $a_{fi}$  d'un assemblage non protégé.

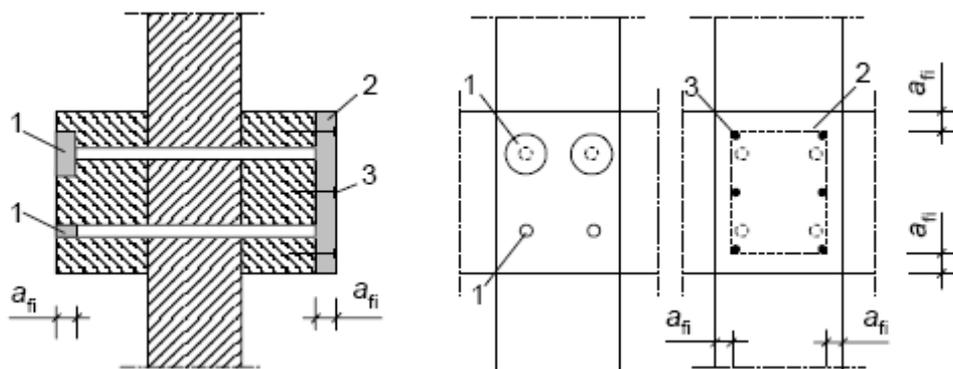
### 6.2.2.2 Fixation de la protection

La protection additionnelle doit être fixée de telle sorte que sa rupture prématurée soit évitée. Pour cela, la fixation par pointes, tire-fond ou vis de la protection doit respecter les règles suivantes :

- la distance entre les fixations ne soit pas être supérieure à :
  - 100 mm le long des rives du panneau,
  - 300 mm pour les fixations intérieures,
- la distance de rive des fixations est au moins égale à  $a_{fi}$ ,
- la longueur de pénétration des fixations dans l'élément bois,  $l_{f,req}$ , est :
  - $l_{f,req} \geq 6.d$  pour une protection additionnelle constituée de bois, panneaux à base de bois ou plaques de plâtre de types A ou H,
  - $l_{f,req} \geq h_p + d_{char,0} + 10$  pour une protection additionnelle constituée de plaques de plâtre de types F, avec :

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot (1 - 0,018.h_p) \cdot (t_{req} - t_{ch})$$

où  $\beta_0$  est la vitesse de combustion de référence de l'élément bois en mm/min (voir le manuel « Tronc commun »).



1 Bouchons collés  
 2 Protection additionnelle par panneaux  
 3 Fixation du panneau de protection

Figure 6-2 : Protection additionnelle

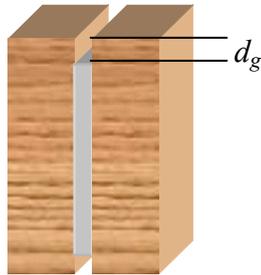
### 6.2.3 Cas particulier des plaques métalliques en âme

Lorsqu'un assemblage est réalisé par des plaques métalliques en âme d'une épaisseur d'au moins 2 mm, celles-ci doivent avoir une largeur minimale  $b_{st}$  qui dépend de leur mise en œuvre.

- Pour les plaques ne dépassant pas le bois :

		Exigence	$b_{st}$
		R30 R60	$\geq 200$ mm $\geq 280$ mm
	Rives non protégées sur 1 ou 2 côtés	R30 R60	$\geq 120$ mm $\geq 280$ mm

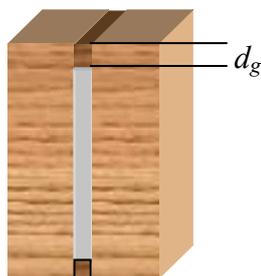
- **Pour les plaques métalliques plus étroites que le bois**, on considère qu'elles sont protégées sous réserve des conditions de mise en œuvre suivantes :



Épaisseur de plaque  $\leq 3$  mm

$d_g \geq 20$  mm pour une exigence R30

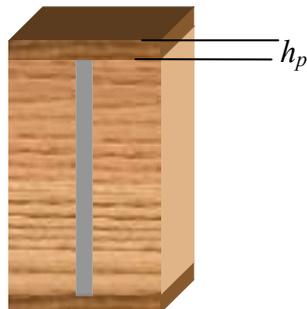
$d_g \geq 60$  mm pour une exigence R60



Profondeur de la bande collée :

$d_g \geq 10$  mm pour une exigence R30

$d_g \geq 30$  mm pour une exigence R60



Épaisseur du panneau :

$h_p \geq 10$  mm pour une exigence R30

$h_p \geq 30$  mm pour une exigence R60

## 6.3 Méthode de la charge réduite

La méthode de la charge réduite consiste à vérifier la résistance de l'assemblage en situation incendie (combinaison accidentelle) en déterminant une capacité résistante de calcul réduite et les temps de résistance liés à la situation incendie.

### 6.3.1 Assemblage non protégé

La valeur caractéristique de la capacité résistante d'un assemblage varie en fonction du temps d'exposition au feu. La valeur de calcul de la capacité résistante réduite d'un assemblage en situation d'incendie, dans le cas d'une exposition au feu standard et à l'instant  $t$ , est :

$$F_{v,Rd,fi} = \frac{\eta \cdot k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

$k_{fi}$  est un facteur de passage permettant de ramener la valeur caractéristique à un fractile à 20 % :

Assemblage	$k_{fi}$
En cisaillement avec éléments latéraux en bois ou panneaux à base de bois	1,15
En cisaillement avec éléments latéraux métalliques	1,05
Sollicités axialement	1,05

$\gamma_{M,fi}$  est le coefficient partiel pour les matériaux en situation d'incendie,  $\gamma_{M,fi} = 1,0$

$\eta$  est un facteur de conversion (prise en compte du temps d'exposition au feu) :

$$\eta = e^{-k \cdot t}$$

avec :

Assembleur	$k$	Durée maximum de validité pour l'assemblage non protégé
Pointes, vis et tire-fond	0,08	20 min
Boulons bois-bois, $d \geq 12$ mm	0,065	30 min
Boulons bois-métal, $d \geq 12$ mm	0,085	30 min
Broches bois-bois, $d \geq 12$ mm	0,04	40 min
Broches bois-métal, $d \geq 12$ mm	0,085	30 min
Anneaux et crampons EN912	0,065	30 min

Les broches nécessitent un boulon par groupe de 4 broches.  
Pour les broches dépassant de plus de 5 mm, on prendra le  $k$  des boulons.

$t$  est le temps en minutes auquel on souhaite calculer la résistance.

Cependant, sans mesure particulière, ce temps ne pourra pas excéder le temps de résistance au feu de l'assemblage non protégé  $t_{d,fi}$  :

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \gamma_{M,fi}}{1,3 \cdot k_{fi}} \right)$$

avec :

$\eta_{fi} = 0,7$  pour les bâtiments de catégorie E (stockage, industriels)

$\eta_{fi} = 0,6$  pour les autres catégories

Pour les boulons et les broches, l'ensemble des ces règles sont applicables si les éléments latéraux ont une épaisseur minimale de :

$$t_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ 50 + 1,25 \cdot (d - 12) \end{array} \right. \text{ en mm}$$

Pour les pointes, les vis et les tire-fond, si l'on souhaite augmenter le temps de résistance au-delà du temps de calcul  $t_{d,fi}$ , sans pour autant dépasser 30 minutes, on applique les règles complémentaires suivantes :

- Les têtes sont non dépassantes,
- L'épaisseur des éléments latéraux et les distances de bout et de rive sont augmentées d'une valeur  $a_{fi}$  :

$$a_{fi} = \beta_0 \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

avec :

$t_{req}$  temps requis de résistance au feu limité à 30 minutes

$\beta_0$  vitesse de combustion fictive

$\beta_0$ (en mm/min)	
<b>Résineux et hêtre</b>	
Bois lamellé-collé $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65
Bois massif $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65
<b>Feuillus</b>	
Bois lamellé-collé $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65
Bois massif $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50
LVL $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65
Panneaux contreplaqués	1,0
Panneautage bois	
Panneaux à base de bois autres que contreplaqués	0,9

### 6.3.2 Assemblage protégé

Pour un assemblage protégé, on applique les règles citées en 6.2.2 mais avec  $t_{d,fi}$  calculé conformément à 6.3.1.

En alternative à une protection complète, on peut limiter la protection à l'augmentation des distances d'extrémité ( $a_3$ ) et de rive ( $a_4$ ) des organes d'assemblage :

- pour  $t_{req} \leq 30$  minutes, de  $a_{fi} = 1,5 \cdot \beta_n \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$
- pour  $30 \leq t_{req} \leq 60$  minutes,
  - de  $a_{fi} = 1,5 \cdot \beta_n \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$  pour les distances de rive
  - de  $a_{fi} = 3 \cdot \beta_n \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$  pour les distances d'extrémité

avec :

$\beta_n$  est la vitesse de combustion des éléments assemblés

$\beta_n$ (en mm/min)	
<b>Résineux et hêtre</b>	
Bois lamellé-collé $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Bois massif $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,8
<b>Feuillus</b>	
Bois lamellé-collé $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Bois massif $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
LVL $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,7

$t_{req}$  est le temps requis de résistance au feu standard en minutes.

Ces augmentations de distance d'extrémité s'applique également pour les éléments centraux dans l'assemblage.