



## Challenge Bois 2022-2023

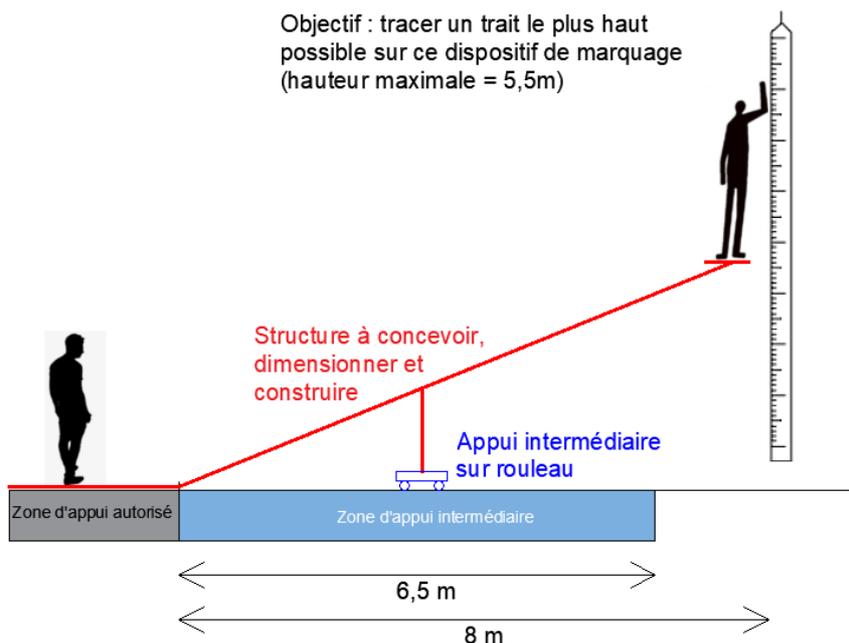
“Stairwood to heaven”

### Article 1 : Objet du Concours

Le Challenge bois est une organisation conjointe du département ArGEnCo (Architecture, Géologie, Environnement et Constructions) de l'Université de Liège (ULiège), de l'ABSL Ressources Naturelles Développement et des organisateurs du salon Batimoi®.

L'édition 2023 du concours, nommée *Stairwood to Heaven*, se déroule par équipes de six participants, dont quatre étudiants ingénieurs ou concepteurs chargés du calcul et dimensionnement de la structure ainsi que deux étudiants techniciens, en renfort pour la réalisation des structures. Chaque équipe s'attribue un nom et le communique aux organisateurs dès le début du concours.

L'objet du concours consiste en la réalisation d'une structure en bois d'un coût maximum de 300€, permettant à une personne de s'élever aussi haut que possible à une certaine distance d'une ligne de départ. Les conditions de réalisation sont décrites à l'Article 2.



Le concours est ouvert :

- aux étudiants de l'Université de Liège qui sont inscrits au cours « Introduction à l'ingénierie des constructions » dispensé au Bloc 3 du Bachelier ingénieur civil et ingénieur civil architecte de l'Université de Liège. Chaque équipe sera composée dans la mesure du possible d'au moins un(e) étudiant(e) en construction et un(e) étudiant(e) ingénieur architecte,
- aux étudiants de Bachelier à la Haute Ecole Libre Mosane (Gramme), de la Haute Ecole de la Province de Liège (ISIL), et du Bachelier en Construction en Bois de la Haute Ecole Robert Schuman (Libramont),
- aux étudiants du collège technique Saint-Roch de Marche-en-Famenne.

Les structures en bois construites dans le cadre du concours feront l'objet d'une conception et d'un dimensionnement préalable par les candidats ingénieurs ou bacheliers. Elles seront assemblées et testées par les équipes complètes au Wex à Marche-en-Famenne, durant le salon Batimoi 2023.

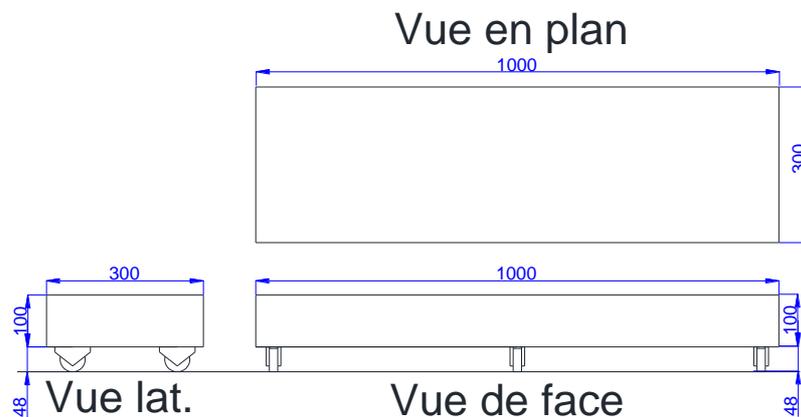
Afin de rencontrer les objectifs pédagogiques, seules les équipes ayant validé les crédits du cours relatif à ce projet dans leurs institutions respectives pourront prendre part au concours. La présence d'au minimum un encadrant de chaque institution participante est obligatoire pendant toute la durée du concours.

Le Challenge se déroulera les **26 et 27 janvier 2023**, en marge du salon et sera doté d'un prix octroyé selon les conditions décrites à l'Article 5.

## Article 2 : Conditions de réalisation

**Éléments de structure.** La structure sera réalisée entièrement à l'aide des éléments disponibles dans le magasin décrit à l'Article 3. Ils comprennent uniquement des éléments en bois et de la visserie . La structure peut être réalisée pour un montant virtuel maximum de 300€ par équipe, à valoir dans le magasin.

**Appuis et gabarit.** La structure devra s'appuyer sur le sol dans une zone d'appui autorisé (voir schéma repris à l'Article 1). Dans une zone d'appui intermédiaire de 6,5m de long démarrant de la zone d'appui autorisé, un et un seul appui supplémentaire via un madrier sur roulement, fourni par les organisateurs, est autorisé (charge maximale autorisée : 300kg) ; les dimensions de cet appui intermédiaire sont fournies sur le schéma suivant.



Appui intermédiaire à roulement (dimensions en [mm])

Le sol de la zone d'essai mise à disposition n'offre aucun ancrage. Le décollement des appuis de la structure n'est donc pas empêché. Il est strictement interdit de coller, clouer ou visser au sol ou sur l'appui supplémentaire les éléments en contact avec ceux-ci.

**L'ascension.** L'équipe enverra le ou la candidat(e) de son choix pour escalader la structure construite et tracer un trait le plus haut possible sur une règle graduée suspendue au plafond et se trouvant à 8 m de la zone d'appui autorisé. Les autres membres de l'équipe pourront éventuellement se trouver sur la partie de la structure se trouvant dans la zone d'appui autorisé afin de participer à sa stabilisation. L'équipier « escaladeur » sera assuré contre la chute par du matériel adéquat fourni par les organisateurs.

**Déroulement de l'essai.** Durant le concours, l'escaladeur aura la possibilité de réaliser un seul trait sur la règle graduée à l'aide d'un marqueur indélébile. Il devra également indiquer le numéro de son équipe à côté de ce trait. Pour être éligible au classement, il convient que l'escaladeur ait réalisé le trait, indiqué le numéro de son équipe et soit revenu sur la zone d'appui sans que la structure ne périclite.

**Calcul du prix.** En remettant son projet, chaque équipe s'engage également à remettre un bordereau de commande et un prix, calculé sur base des prix unitaires des matériaux du magasin virtuel. Le bordereau servira à la commande des matériaux. En aucun cas le prix calculé ne peut dépasser la limite de 300€.

**Fairplay.** L'esprit du concours est celui du fairplay. L'entraide entre équipes pendant le concours est autorisée, mais pas pendant l'ascension.

**Décoration des structures.** Après ou durant l'assemblage de leur réalisation, les équipes ont la possibilité de décorer leur structure à l'aide d'éléments non structurels (peinture, décoration, etc.). Les matériaux de décoration ne sont pas disponibles dans le magasin d'approvisionnement et seront apportés par les équipes qui désirent personnaliser davantage leur réalisation. Les matériaux de décoration placés sur la maquette ne peuvent en aucun cas contribuer à la reprise des efforts s'appliquant sur celle-ci.

**Règles particulières.** Les structures seront réalisées dans une zone délimitée pour chaque équipe et qui est différente de la zone de test ; elles doivent donc être transportables par les membres de l'équipe jusqu'à la zone de test. Pour des raisons de sécurité, l'escaladeur ne pourra pas passer sous des éléments porteurs critiques de la structure pendant qu'il y circule.

## Article 3 : Les magasins virtuel et d'approvisionnement

**Magasin virtuel.** Le magasin virtuel est le catalogue des éléments qui peuvent être « achetés » pour réaliser la structure. Il comporte des éléments calibrés en épicea et des panneaux d'OSB, ainsi que de la visserie. Le contenu du catalogue est résumé au tableau repris en annexe. Chaque groupe devra identifier les éléments dont il a besoin pour la construction de sa structure en préparant un bordereau de commande.

**Magasin d'approvisionnement.** Le magasin d'approvisionnement sera installé à proximité des zones de montage des structures. A l'arrivée des équipes sur le site, il comportera, pour chaque équipe, un colis avec les matériaux commandés via le bordereau de commande. Par ailleurs, le magasin d'approvisionnement restera ouvert aux équipes durant la durée de réalisation des structures. Il sera achalandé avec les mêmes produits mais dont le prix sera doublé, et permettra de dépenser, au besoin, le budget dans son intégralité. Ces matériaux commandés en dernière minute pourraient s'avérer être utiles pour corriger les petites erreurs de dimensionnement ou de réalisation (par exemple découpes imprécises ou erronées).

**Equipement.** Chaque équipe disposera d'un outillage pour la réalisation de la structure. Cet équipement se compose notamment de : une visseuse/foreuse à accus avec 2 accus, des embouts pour la visseuse, des mèches à bois de 3 mm et 4 mm, une scie égoïne, une boîte à ongles, un double mètre, 5 serre-joints, une équerre de

maçon, 1 crayon de menuisier, un ciseau à bois et un marteau. Un coffre sera aussi mis à disposition pour ranger les outils en fin de journée ainsi que 2 tréteaux et un panneau pour servir de banc de travail (ne pouvant pas être utilisés dans la structure). En plus de cet équipement mis à disposition, les techniciens de chaque équipe auront le droit d'apporter une visseuse supplémentaire (avec des embouts) et leur petit équipement personnel. Des scies circulaires et défonceuses seront également disponibles, mais utilisées uniquement par les étudiants techniciens ayant reçu au préalable l'autorisation d'un des enseignants du collège technique Saint-Roch présent sur place.

**Sécurité.** La sécurité doit être la première priorité, notamment lors de l'utilisation des outils et de la manipulation des éléments de construction. En cas de doute sur la manière d'utiliser des outils mis à disposition, il est nécessaire de consulter les encadrants.

**Règles particulières.** Les équipes peuvent collaborer lors de la réalisation de leurs structures mais il ne peut pas y avoir de transfert ni d'échange de matériel acheté virtuellement. Chaque équipe reste cependant responsable du bon avancement et de la réalisation de sa propre structure.

## Article 4 : Réalisation et procédure de test

**Timing.** La réalisation des structures se déroulera sur deux journées (jeudi 26 et vendredi 27 janvier 2023). Les étudiants pourront prendre possession du matériel au magasin d'approvisionnement le premier jour, vers 13h30. Ils disposeront de 6 heures de travail le premier jour et de 6 heures de travail le second jour pour venir à bout de la réalisation de leur structure.

**Surface disponible.** Le Wex met à disposition une surface au sol d'environ 40 m<sup>2</sup> par équipe pour la réalisation des structures.

**Test.** Le test des structures aura lieu le vendredi 27 janvier 2023, entre 14h et 18h. Les équipes, à tour de rôle, seront responsables du transport en toute sécurité de leur réalisation, depuis la zone d'assemblage vers le site de test.

**Règles particulières.** (i) l'appréhension du comportement structurel à l'aide d'un modèle réduit testé préalablement par les candidats est autorisée, (ii) tous les candidats de l'équipe doivent participer en vêtement de travail, streetwear ou tenue sportive ; il est interdit de se délester (par exemple de ses vêtements ou de ses chaussures) ou de se lester anormalement, (iii) il est interdit d'utiliser une « rallonge » ; le trait sur la règle graduée devra se faire en portant en main l'indélébile servant à faire le trait, (iv) il est interdit de sauter sur la structure.

## Article 5 : Prix

**Éligibilité.** Seront éligibles pour le prix de dimensionnement, les équipes qui auront pu à l'aide de leur structure tracer un trait sur la règle graduée, apposer le numéro de leur équipe et revenir en zone d'appui autorisé sans que la structure ne s'effondre.

**Classement.** Toutes les équipes éligibles au prix de dimensionnement seront classées en fonction de la hauteur du trait tracé. Le prix de dimensionnement reviendra à la structure ayant marqué le trait le plus haut. En cas d'égalité, le prix de dimensionnement reviendra à l'équipe qui a utilisé le budget minimum pour la réalisation de sa structure.

**Reconnaissance du prix.** Les étudiants des équipes récompensées par ces prix pourront inscrire sur leur C.V. « Lauréat du concours *Challenge bois 2023* ».

## Article 6 : Informations manquantes

Des informations techniques concernant les résistances des matériaux, leur variabilité, les résistances d'assemblages spéciaux, les méthodes de calcul sont également transmises en annexe. Toute information manquante doit être obtenue par les équipes participantes auprès des sources d'information de leur choix.

Tout point non prévu dans ce règlement sera tranché par les organisateurs du concours.

## Article 7 : Annexes

En annexe au règlement, on trouve: (i) le modèle de bordereau pour la commande du matériel, (ii) les données techniques relatives aux matériaux utilisés et quelques règles de dimensionnement de structures en bois.

## Article 8 : Assurance

Les étudiants sont couverts en responsabilité civile et accidents corporels, dans les limites et conditions des contrats souscrits par leur Institution.

## Article 9 : Droits d'auteur

Les étudiants participant au présent concours autorisent RND et l'Université de Liège à reproduire les structures réalisées dans le cadre du présent concours par tout moyen (photographie, support audiovisuel,...) et à diffuser ces reproductions notamment sur

leur site internet à des fins de promotion de leurs activités respectives et notamment d'illustration du présent concours.

Cette licence non-exclusive relative à l'utilisation de la reproduction des structures réalisées par les étudiants participant dans le cadre du présent concours est concédée à l'Université de Liège par ceux-ci à titre gratuit pour la durée légale de la protection des droits d'auteur et pour le monde entier.

Annexe 1 : Bordereau de commande

<b><u>Challenge Bois 2023: Stairwood to heaven</u></b>							
<b>Bordereau de commande</b>				<b>Nom d'équipe :</b>			
<b>BOIS</b>							
Label	Dimensions			vol	Quantité	Prix unitaire	Prix total
	H (mm)	B (mm)	L (mm)	(dm <sup>3</sup> )	Nombre	€	€
Latte 20	21	20	1000	0.42		0.64	0.00
Latte 32	21	30	2400	1.512		2.26	0.00
Planche	22	48	2400	2.5344		3.80	0.00
Volige	22	100	2400	5.28		7.92	0.00
Chevron	40	48	2400	4.608		6.92	0.00
Panneau	18	400	1000	7.2		10.80	0.00
<b>VISSERIE</b>							
Label	Dimensions				Quantité	Prix unitaire	Prix total
		Diamètre (mm)	L (mm)		Nombre	€	€
M3 x 35		3	35			0.12	0.00
M4 x 45		4	45			0.2	0.00
M4 x 60		4	60			0.24	0.00
M4 x 80		4	80			0.30	0.00

Annexe 2 : Données techniques relatives aux matériaux utilisés et quelques règles de dimensionnement de structures en bois

## Combinaisons d'actions

Pour la vérification de l'équilibre global (EQU), on multipliera :

- chacune des charges variables, soit par  $\gamma_{sup} = 1,1$ , soit par  $\gamma_{inf} = 0,9$  selon qu'elles sont défavorables ou favorables à l'équilibre ;
- l'ensemble du poids propre par  $\gamma_{sup} = 1,1$  ou par  $\gamma_{inf} = 0,9$  selon qu'il est défavorable ou favorable à l'équilibre ;

Pour les vérifications de résistance (STR), on multipliera les charges variables par  $\gamma_q = 1,5$  et le poids propre par  $\gamma_G = 1,35$ . Pour évaluer le poids propre, on prendra au stade du projet une masse volumique de  $380 \text{ kg/m}^3$ .

## Résistance du matériau bois.

On suppose qu'on a à faire à du résineux dont la classe de résistance est C18.

Les valeurs caractéristiques des résistances sont les suivantes :

Résistance en compression longitudinale :  $f_{c,0,k} = 18 \text{ MPa}$

Résistance en traction longitudinale :  $f_{t,0,k} = 11 \text{ MPa}$

Résistance en flexion :  $f_{m,k} = 18 \text{ MPa}$

Module d'élasticité longitudinal :  $E_{0,05} = 6\,000 \text{ MPa}$

Masse volumique (valeur caractéristique) :  $\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$

Masse volumique (valeur moyenne) :  $\rho_m = 380 \text{ kg/m}^3$

Les valeurs de calcul seront obtenues à partir des valeurs caractéristiques par l'équation suivante :

$$F_{*,d} = k_{mod} f_{*,k} / \gamma_m \quad \text{avec}$$

$k_{mod}$  facteur tenant compte de l'humidité du bois et de la durée d'application des charges = 0,9

$\gamma_m$  coefficient partiel de sécurité sur le matériau = 1,3

## Formules de vérification

Note : il s'agit de formules simplifiées car on néglige un effet d'échelle qui peut exister en traction ou en flexion (ce qui est du côté de la sécurité).

### **Eléments en traction parallèle au fil du bois**

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

### **Eléments comprimés parallèlement au fil du bois.**

Pour le flambement selon l'axe d'inertie y :

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d}$$

avec

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \text{ le coefficient de flambement}$$

$$k_y = 0.5(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_E}$$

$$\lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E_{0,05}}{f_{c,0,k}}}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{fl}}{i}, \text{ l'élanement de la pièce suivant son axe faible}$$

$L_{fl}$  , la longueur de flambement de l'élément

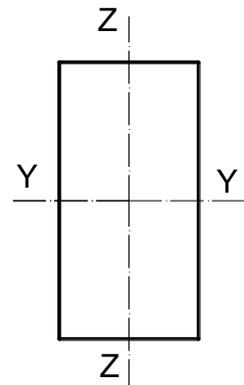
$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A}}, \text{ le rayon de giration avec :}$$

$I_y$  l'inertie de l'élément et ;

A sa section transversale

$$\beta_c = 0.2 \text{ pour le bois massif}$$

Pour le flambement selon l'axe d'inertie z, les formules précédentes restent valables en remplaçant « y » par « z »



## **Eléments fléchis**

En cas de flexion gauche, les deux vérifications suivantes doivent être satisfaites :

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

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

$k_m = 0.7$  pour les sections rectangulaires en bois massif, en BLC ou en LVL,

## **Flexion et traction**

Les deux conditions suivantes doivent être satisfaites en cas de flexion gauche + traction :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

## **Flexion et compression**

Les deux conditions suivantes doivent être satisfaites en cas de flexion gauche + compression :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

## **Fixations**

Les vis doivent être enfoncées perpendiculairement au fil du bois et la longueur de pénétration dans le dernier bois assemblé doit valoir au moins  $6d$  avec  $d$  le diamètre de la vis.

**La portance locale du bois**, sorte de résistance à l'écrasement, est calculée suivant les deux formules suivantes pour des vis avec un diamètre  $d$  inférieur ou égal à 8 mm :

$$f_{h,k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3} \quad \text{sans avant-trou}$$

$$f_{h,k} = 0.082 \rho_k (1 - 0.01 d) \quad \text{avec avant-trou}$$

avec  $\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$ ,  $d$ , le diamètre de la vis en mm et  $f_{h,k}$  en  $\text{N/mm}^2$

On voit donc qu'on a intérêt à percer un avant trou (diamètre  $\approx 0,8 d$ ).

Pour les panneaux de particules et OSB, la valeur de la portance locale est obtenue via la formule suivante :

$$f_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{0,1}$$

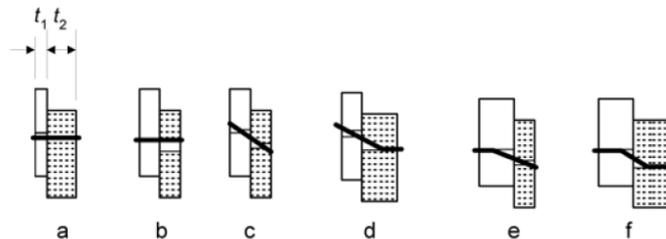
avec  $t$ , l'épaisseur du panneau

**Moment plastique des tiges cylindriques** (si  $f_y = 600 \text{ N/mm}^2$ )

$$M_{y,k} = 180 d^{2,6}$$

**Résistance en simple cisaillement**

Pour un assemblage en simple cisaillement, différents modes de ruine peuvent intervenir :



Les modes de ruine a et b correspondent à un manque de portance locale. La résistance en portance locale dans chacun des deux éléments assemblés peut être obtenue via les formules suivantes :

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d \quad t_1 = \text{épaisseur de la pièce se trouvant du côté de la tête}$$

$$R_{d,2} = f_{h,2,d} t_2 d \quad t_2 = \text{profondeur de pénétration dans l'autre pièce (doit être au moins égale à } 6d)$$

Il faut aussi vérifier les 4 autres modes de ruine :

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

$\beta$  est le rapport entre la portance locale dans les deux pièces de bois  $f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$ .

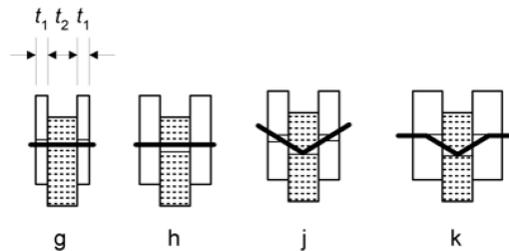
$F_{ax,Rk}$  est la résistance à l'arrachement, à déterminer expérimentalement. Si  $F_{ax,Rk}$  n'est pas connu, il convient alors de poser cette contribution égale à zéro.

La résistance de l'assemblage correspondra à la valeur minimum de la résistance de ces 6 modes de ruine.

Voir <http://issuu.com/lignum/docs/tcb1/103> pour des valeurs calculées de  $R_d$ .

### Résistance en double cisaillement

Pour un assemblage en double cisaillement, il est supposé que les deux éléments assemblés extérieurs ont la même épaisseur  $t_1$  (cf. figure ci-dessous). Dans ce cas, quatre modes de ruine sont à considérer :



Les formules permettant de déterminer la résistance par plan de cisaillement associée à ces différents modes de ruine sont les suivantes :

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

La résistance de l'assemblage correspondra à la valeur minimum de la résistance de ces 4 modes de ruine.

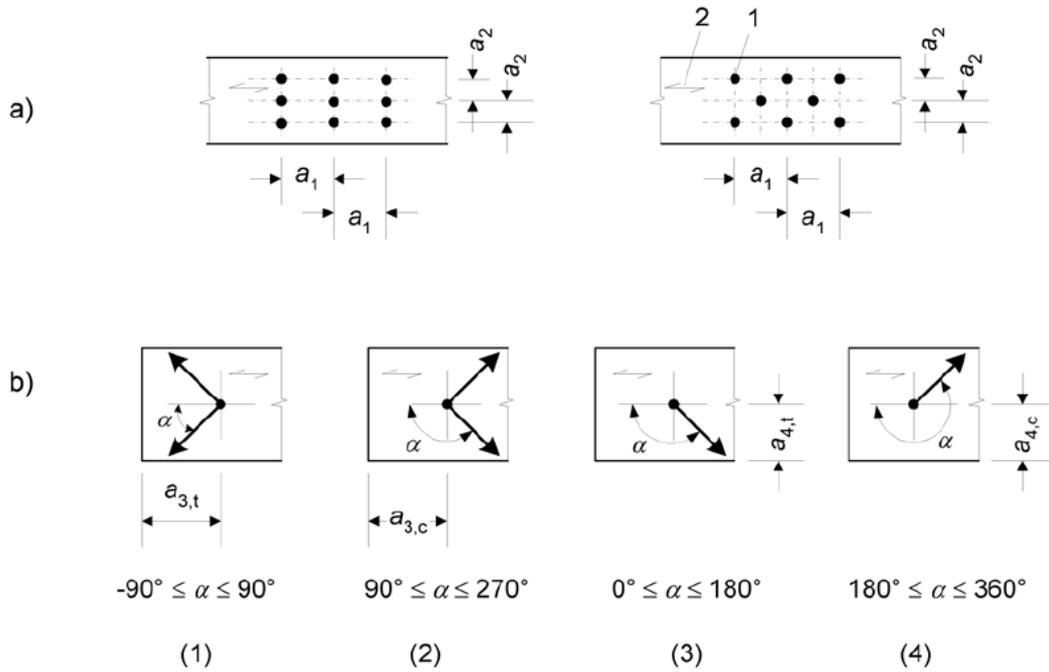
### Espacement des vis

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

- $a_1$  est l'espacement des pointes dans une file parallèle au fil du bois ;
- $a_2$  est l'espacement des pointes perpendiculairement au fil du bois ;
- $a_{3,c}$  est la distance entre une pointe et une extrémité non chargée ;
- $a_{3,t}$  est la distance entre une pointe et une extrémité chargée ;
- $a_{4,c}$  est la distance entre une pointe et une rive non chargée ;
- $a_{4,t}$  est la distance entre une pointe et une rive chargée.

**Tableau 8.2 – Espacements et distances minimaux pour les pointes.**

Espacements et distances (voir Figure 8.7)	Angle	Distance minimum		
		Sans pré-perçage		Avec pré-perçage
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_1$ (parallèle au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm}: (5+5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5\text{mm}: (5+7  \cos \alpha ) d$	$(7+8  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perpendiculaire au fil)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+  \sin \alpha ) d$
$a_{3,t}$ (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)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ (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)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$



Clé :

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

- 1 Organe d'assemblage
- 2 Direction du fil

Note :  $a_1$  et  $a_2$  peuvent être multipliés par 0,85 dans un panneau d'OSB.