

## Sommaire

PRESENTATION ET EFFET DES ACTIONS SUR LE PORTIQUE ETUDIE .....	4
ASSEMBLAGE 1 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN EMBREVEMENT.....	11
<b>1 Hypothèses de calcul .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Détermination de la résistance de l'about.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Contrainte de compression inclinée provoquée par les actions. ....</b>	<b>13</b>
<b>Résistance de compression axiale. ....</b>	<b>14</b>
<b>Résistance de compression inclinée.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Taux de travail de l'about.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Justification de la contrainte de cisaillement longitudinale dans le talon .....</b>	<b>15</b>
<b>4 Vérification du cisaillement .....</b>	<b>16</b>
<b>Contrainte de cisaillement provoquée par les actions. ....</b>	<b>17</b>
<b>Contrainte de résistance de cisaillement.....</b>	<b>18</b>
<b>Taux de travail.....</b>	<b>18</b>
ASSEMBLAGE 2 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE BOIS/BOIS AVEC DES BOULONS.....	19
<b>1 Hypothèses de calcul .....</b>	<b>20</b>
<b>2 Détermination de la résistance des boulons de l'assemblage .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Calcul de la résistance d'une tige isolée .....</b>	<b>21</b>
<b>Effet de corde.....</b>	<b>22</b>
<b>Résistance d'un plan de cisaillement d'un boulon avec l'effet de corde ...</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Distances et espacements .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Nombre efficace de boulon .....</b>	<b>25</b>
<b>Nombre efficace dans le poteau.....</b>	<b>26</b>
<b>Nombre efficace dans l'entrait.....</b>	<b>26</b>
<b>Nombre efficace de l'assemblage.....</b>	<b>26</b>
<b>3 Résistance, taux de travail de l'assemblage et comparaison avec la note de calcul.....</b>	<b>26</b>
<b>4 Vérification du cisaillement et du fendage .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Cisaillement .....</b>	<b>27</b>
<b>Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions.....</b>	<b>29</b>

<b>Contrainte de résistance de cisaillement.</b> .....	29
<b>Taux de travail</b> .....	30
<b>4.2 Fendage</b> .....	30
<b>Taux de travail</b> .....	31
VARIANTE DE L'ASSEMBLAGE 2 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE PAR CONTACT DIRECT.....	34
<b>1 Hypothèses de calcul</b> .....	34
<b>2 La compression sous les appuis.</b> .....	35
<b>Contrainte provoquée par les actions, <math>\sigma_{c,90,d}</math></b> .....	35
<b>Contrainte de résistance du bois <math>f_{c,90,k}</math></b> .....	37
<b><math>k_{c,90}</math> : Coefficient permettant de majorer la contrainte de résistance</b> ...	37
<b>Taux de travail</b> .....	37
<b>3 Vérification du cisaillement</b> .....	37
<b>Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions.</b> .....	38
<b>Contrainte de résistance de cisaillement.</b> .....	38
<b>Taux de travail</b> .....	38
ASSEMBLAGE 3 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE BOIS/METAL AVEC DES BOULONS.....	39
<b>1 Hypothèses de calcul</b> .....	40
<b>2 Détermination de la résistance des boulons de l'assemblage</b> .....	41
<b>2.1 Calcul de la résistance d'une tige isolée</b> .....	41
<b>2.2 Distances et espacements</b> .....	43
<b>2.3 Nombre efficace de boulon</b> .....	44
<b>Nombre efficace dans l'arbalétrier</b> .....	44
<b>Nombre efficace dans l'entrait</b> .....	45
<b>Nombre efficace de l'assemblage</b> .....	45
<b>3 Résistance, taux de travail de l'assemblage et comparaison avec la note de calcul</b> .....	45
<b>4 Vérification du cisaillement et du fendage</b> .....	46
<b>4.1 Cisaillement</b> .....	46
<b>Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions</b> .....	48
<b>Contrainte de résistance de cisaillement.</b> .....	48
<b>Taux de travail</b> .....	48

<b>4.2 Fendage</b> .....	49
<b>Taux de travail</b> .....	50
<b>Pour en savoir plus</b> .....	50
<b>TABLEAUX : Vérifications des structures en bois avec les eurocodes</b> .....	51
<b>Tab. 1. Valeurs des charges d'exploitation en fonction du bâtiment</b> .....	51
<b>Carte de France des valeurs des charges de neige</b> .....	52
<b>Tab. 2. Coefficients <math>\mu_i</math> pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige</b> .....	53
<b>Tab. 3. Coefficients partiels de l'action permanente pour un bâtiment courant</b> .....	53
<b>Tab. 4. Coefficients statistiques en fonction des catégories de bâtiment et de l'altitude</b> (Source : NF EN 1990) .....	53
<b>Tab. 5. Valeur coefficient <math>\gamma_M</math></b> (Source : NF EN 1995-1-1) .....	53
<b>Tab. 6. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier</b> .....	54
(Source : NF EN 338).....	54
<b>Tab. 7. Valeurs caractéristiques des bois lamellés</b> (source : NF EN 14080) ...	54
<b>Tab. 8 : Valeur de <math>k_{mod}</math> du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué</b> (Source : NF EN 1995-1-1) .....	55

# Vérification des assemblages aux Eurocodes

---

## PRESENTATION ET EFFET DES ACTIONS SUR LE PORTIQUE ETUDIE

Considérons un portique d'un bâtiment recevant du public illustré par la figure 1. Une étude avec le logiciel Mdbat permet de définir l'effet des actions. Ce portique est défini par les figures 2 à 5 provenant de sa modélisation. Attention, la photographie n'est qu'une illustration. Les hypothèses de modélisations sont précisées avec la figure 2.



*Figure 1 : Portique étudié (©CRUARD Charpente Construction Bois)*

La figure 2 précise les dimensions du portique ainsi que les anti-flambements. Les poteaux sont maintenus par l'ossature bois, les arbalétriers par les pannes fixées dans l'œuvre et reliées à un point fixe (contreventement par exemple), l'entrait par les solives et le plancher en OSB et le faux entrait par une lambourde du plafond (Elles ne sont pas toutes représentées car une seule suffit).

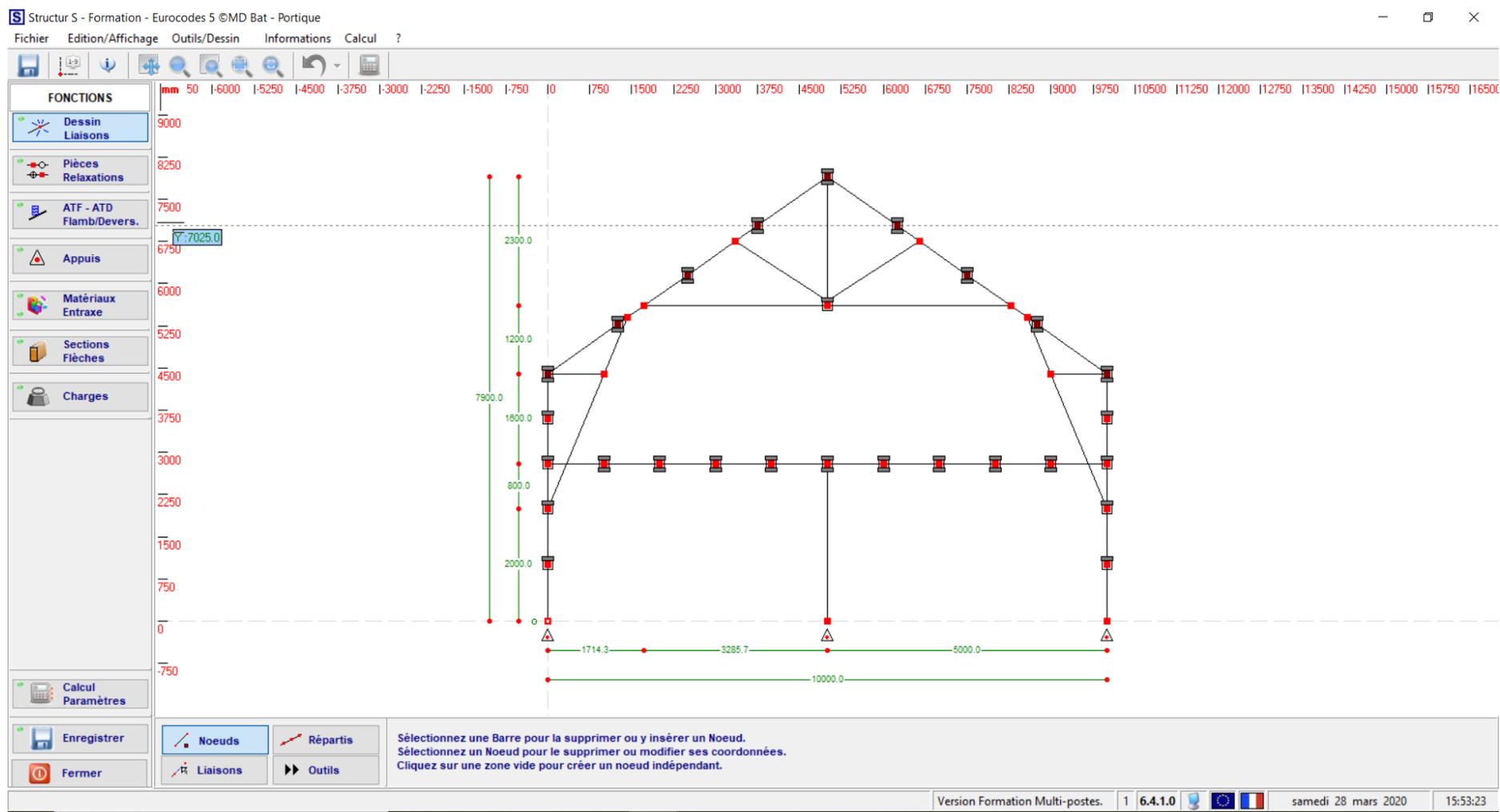


Figure 2 : Caractéristiques du portique © Mdbat

La figure 3 définit les pièces avec leurs relaxations.

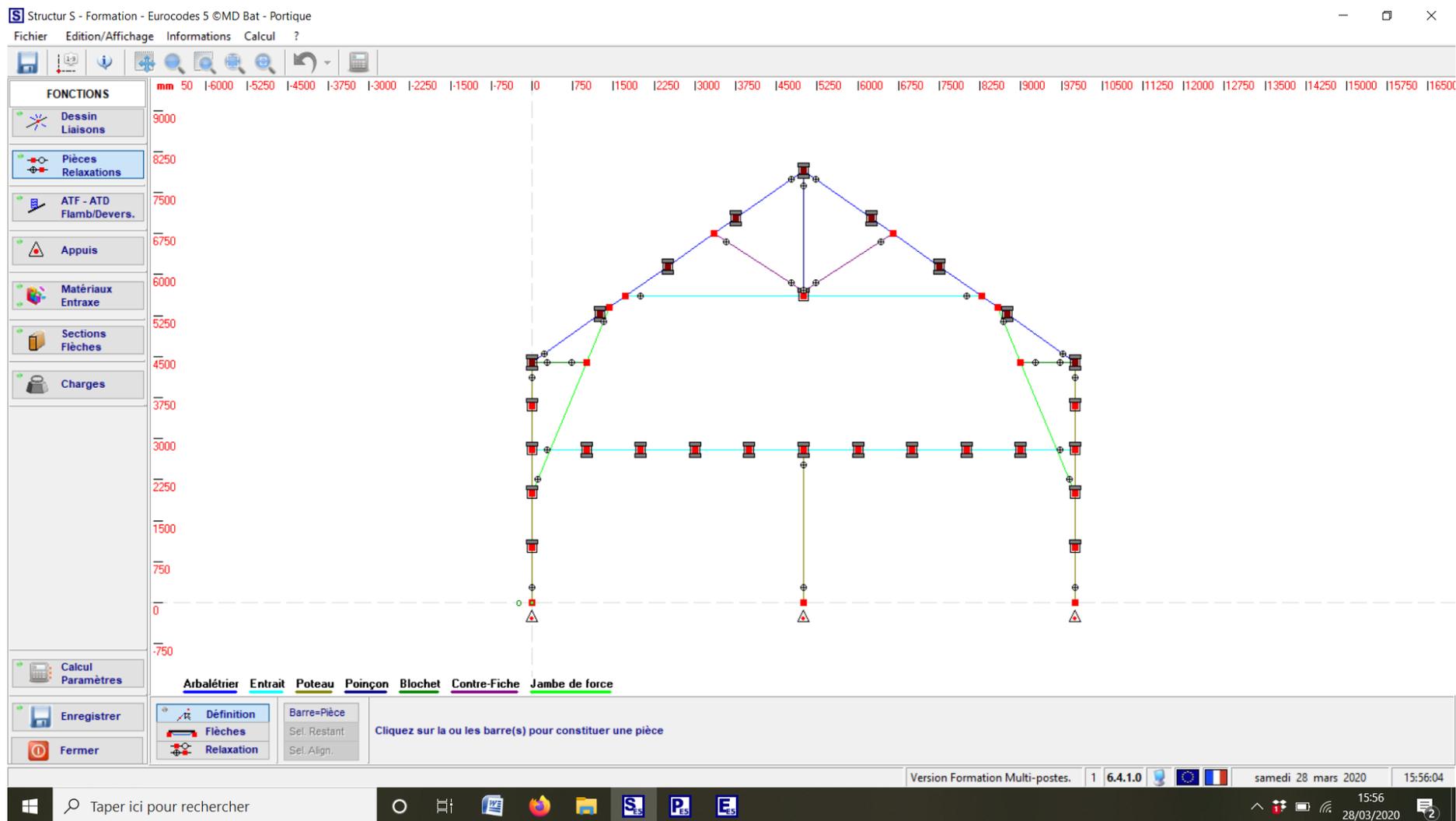


Figure 3 : Définition des pièces et de leurs relaxations © Mdbat

La figure 4 définit les sections. Les pièces de 80x360 mm et de 80x440 mm sont en bois lamellé collé GL24h. L'entrait et le blochet noté 80+80x360 sont aussi GL24h. Les pièces de 200x200, 80x100 et 80x220 sont en bois massif classé C24.

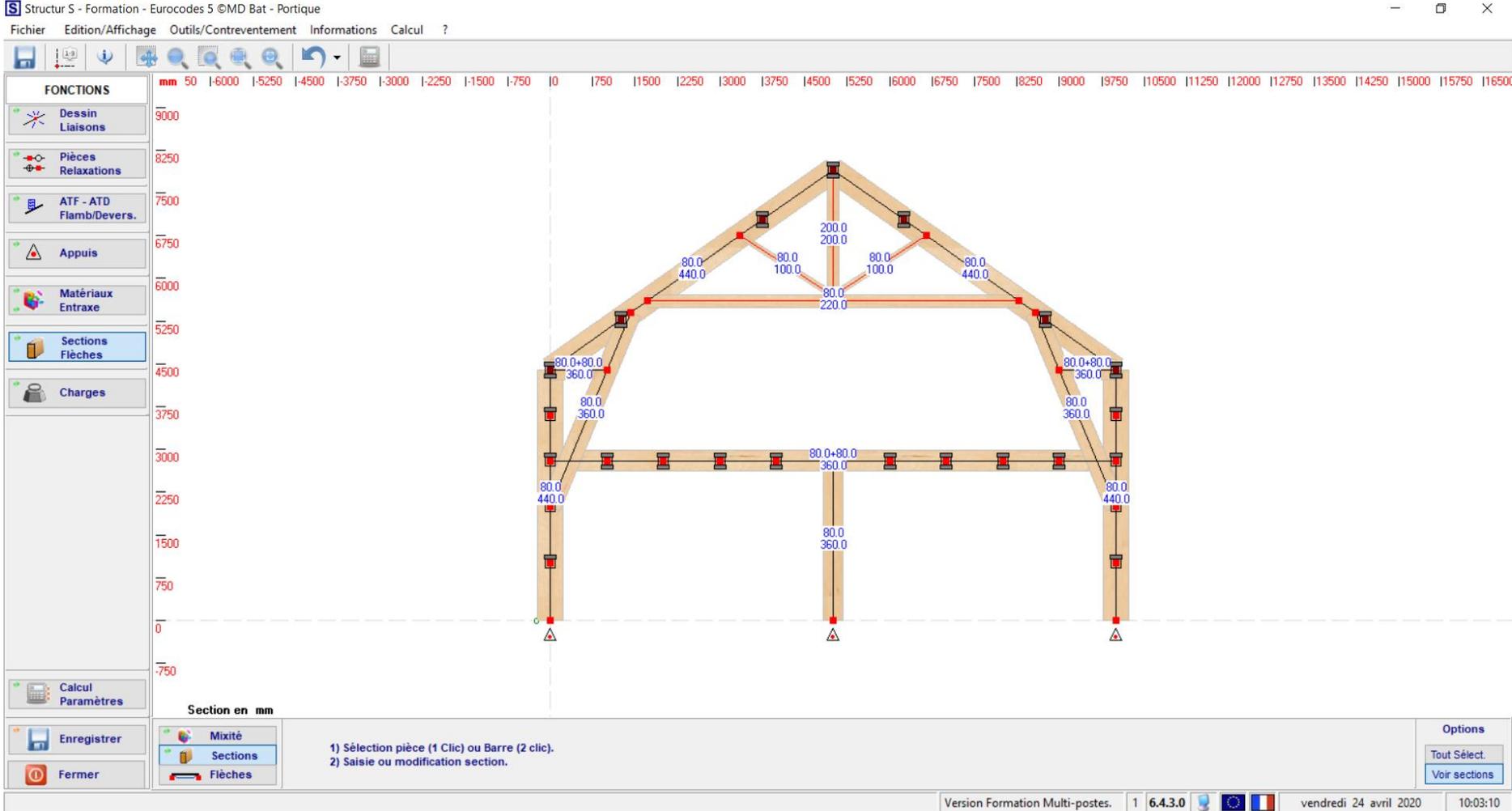


Figure 4 : Définition des sections pièces © Mdbat

La figure 5 indique les charges et les effets du vent. Les charges nodales sont provoquées par les pannes. La couverture est en tuile mécanique à emboîtement, Le bâtiment est situé à une altitude inférieure à 200 m dans la région de neige A1. Concernant le vent, il est situé dans la zone 1 avec une rugosité IIIb (zone industrielle). L'entrait supporte des solives et un parquet en chêne. Les charges d'exploitation sont de 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

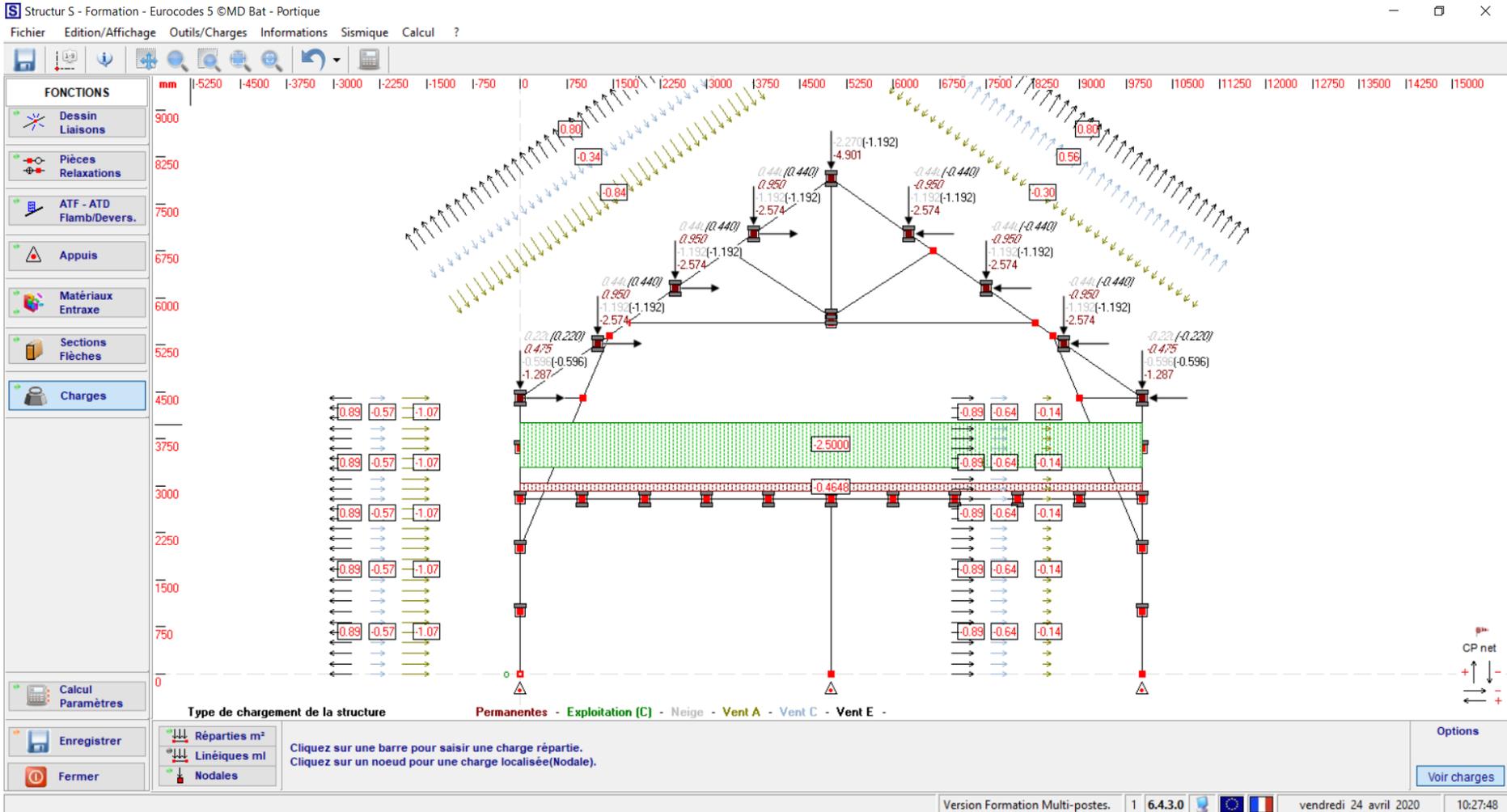


Figure 5 : Charges supportées © Mdbat

La figure 6 résume le résultat des calculs.

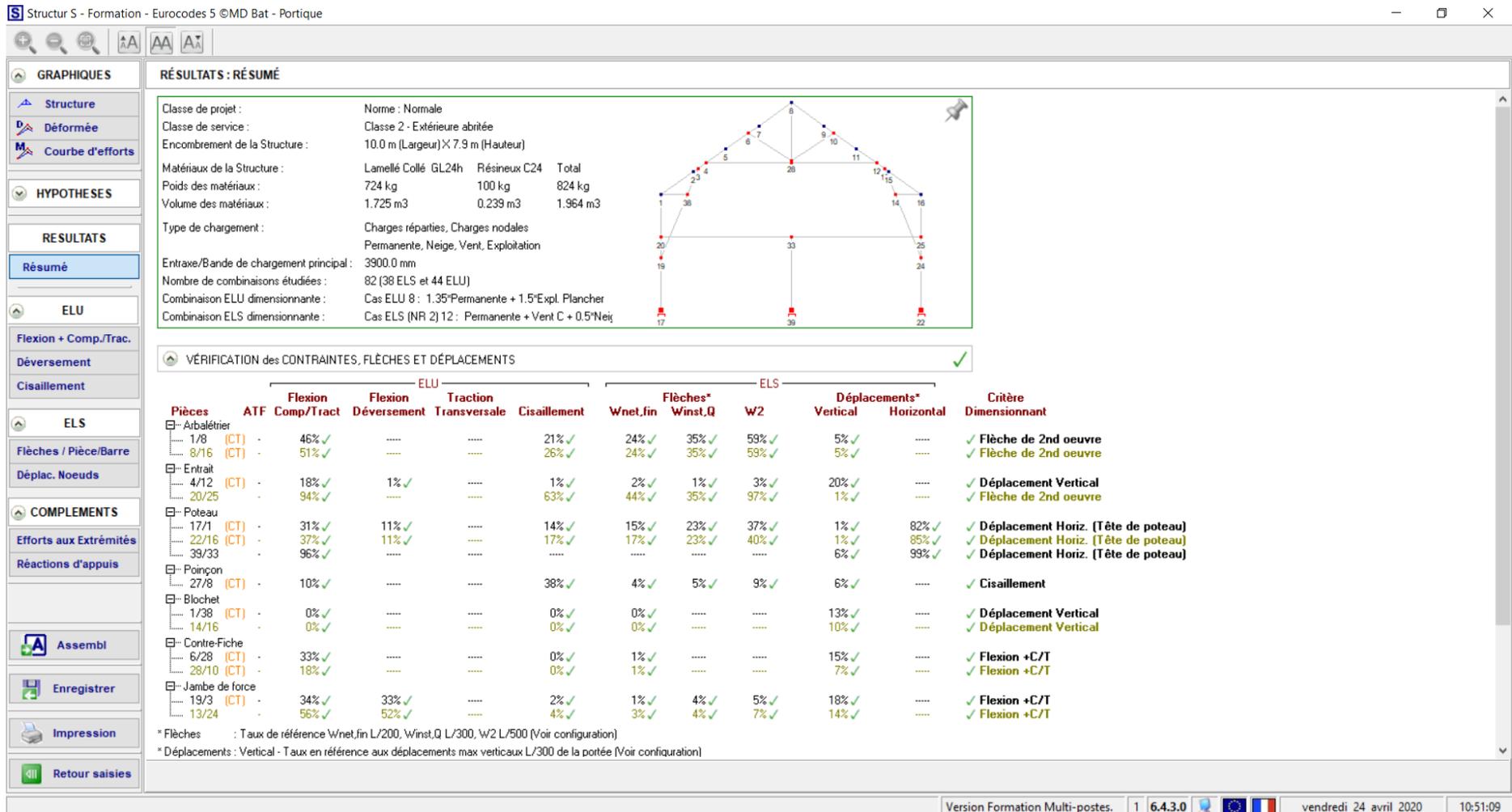


Figure 6 : Résumé du résultat des calculs © Mdbat

La figure 7 précise les assemblages étudiés. Dans la suite du document, ces trois assemblages seront étudiés « à la main » à partir des résultats de la note de calcul du logiciel, avec une variante pour l'assemblage n°2.

Assembl S - Formation - Eurocodes 5 © MD Bat - Portique

Fichier ?

**ASSEMBLAGES**

Choix

Visualiser

Fermer

The image shows a 3D model of a timber roof truss. Three specific joints are highlighted with yellow boxes and numbered 1, 2, and 3. Joint 1 is at the ridge, joint 2 is at the base of the central column, and joint 3 is at the top chord joint. Each joint has a corresponding information box showing the assembly type and rate.

EMBREVEMENT : ABOUT

Taux : 100%

BOIS/BOIS - PLATS METALLIQUES - BOULON

Taux : 41%

BOIS/BOIS - DOUBLE CISAILEMENT - BOULON

Taux : 124%

Impression

Enregistrer

Fermer

Cliquer sur le noeud sur lequel l'assemblage va être appliqué.

<p>Matériau Principal</p> <p>Lamellé Collé GL24h</p>	<p>Classes de service</p> <p>Classe 2 - Extérieure abritée</p>	<p>Liste des cas de charges étudiés</p> <p>Cas ELU 1 : 1.35*Permanente</p>
--	--	--

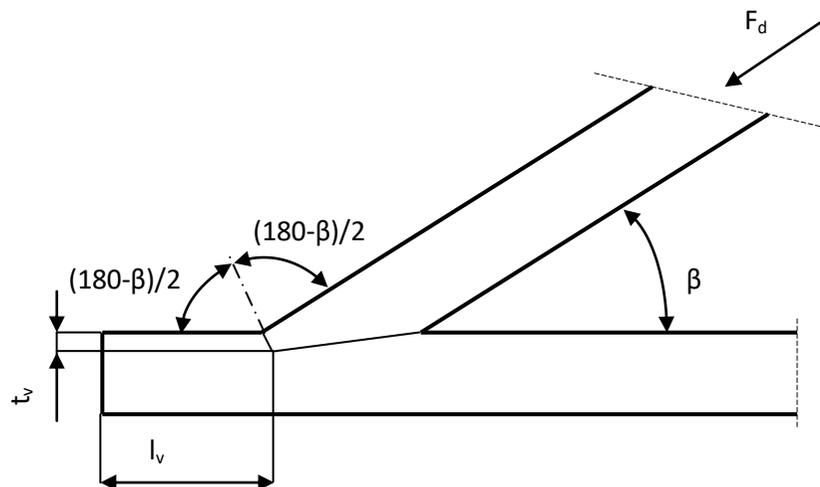
Version Formation Multi-postes. 1 6.4.1.0 samedi 28 mars 2020 16:02:26

Figure 7 : Assemblages étudiés © Mdbat

## ASSEMBLAGE 1 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN EMBREVEMENT.

La première étape permettant de justifier l'assemblage à l'état limite ultime (ELU) concerne la vérification de l'about et du talon de l'embrèvement. La deuxième étape consiste à vérifier la section au droit de l'assemblage, c'est-à-dire le risque de fendage et la contrainte de cisaillement sous l'about. L'assemblage est justifié lorsque ces quatre conditions sont vérifiées, la contrainte de compression oblique sur l'about, les contraintes de cisaillement du talon et de l'entrait et le risque de fendage.

Selon les règles de l'art l'angle de taille est égal à la bissectrice de l'angle obtus entre les 2 pièces. Cet usinage optimise les performances de l'assemblage en provoquant un taux de contrainte identique sur les 2 abouts. Le calcul de l'effort de compression s'effectue en recherchant l'effort normal au plan de contact entre les 2 pièces  $F_d \times \cos(\beta/2)$ . La hauteur de la zone de contact entre les 2 pièces est de  $\frac{t_v}{\cos(\beta/2)}$ .



- $F_d$  effort repris par la barre
- $t_v$  profondeur de l'embrèvement ( $h_{\text{entrait}}/6 \leq t_v \leq h_{\text{entrait}}/4$ )
- $l_v$  longueur du talon

*Figure 1.1 : Construction d'un embrèvement avant*

# 1 Hypothèses de calcul

Reprenons l'exemple du portique du bâtiment recevant du public. L'étude réalisée avec le logiciel Mdbat à permis de déterminer les efforts dans les barres.

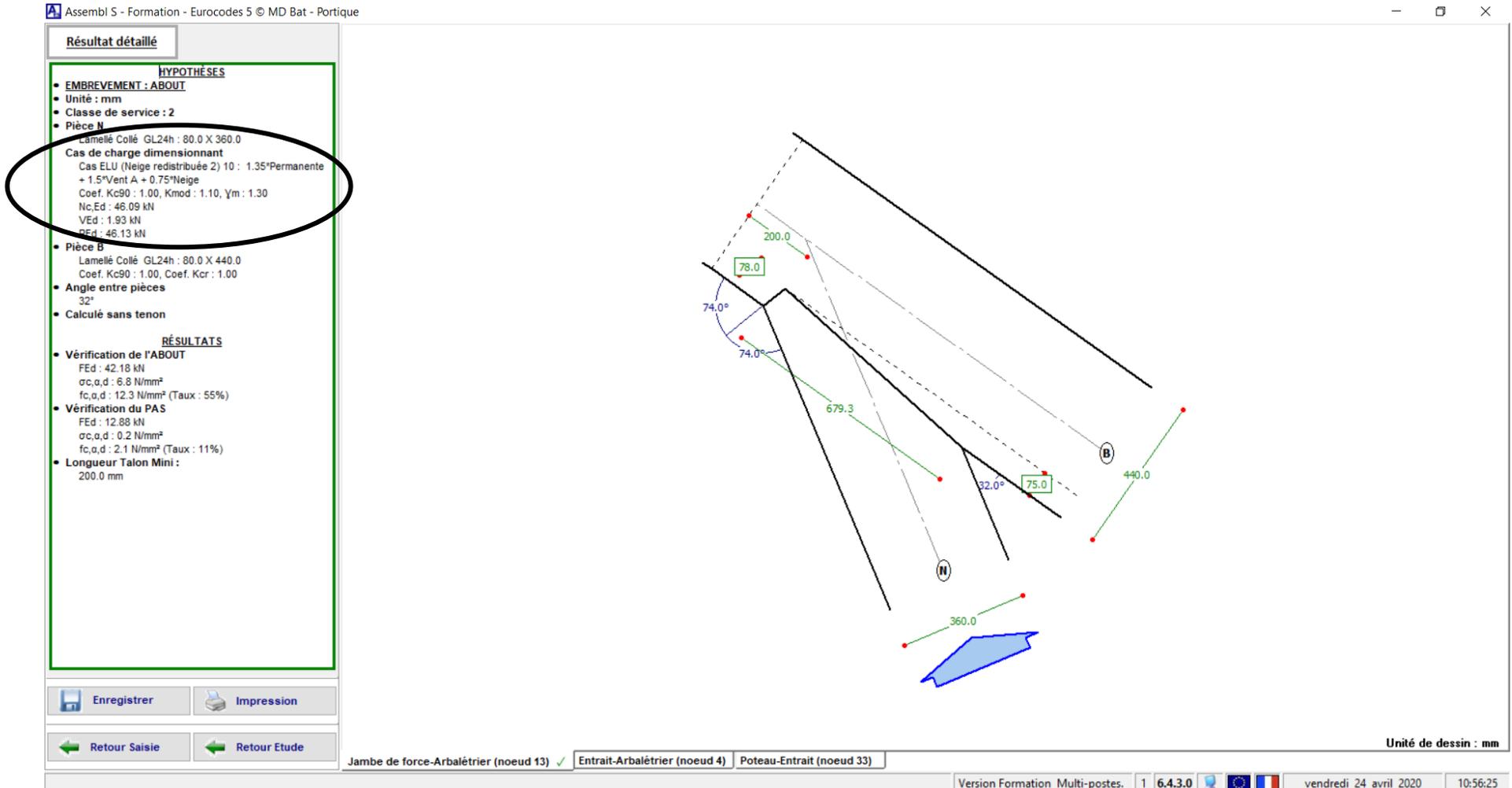


Figure 1.2 : Hypothèses de calcul et résultats © Mdbat

La jambe de force apporte à l'assemblage un effort normal de 46,09 kN, un effort tranchant de 1,93 kN, soit une force de 46,13 kN, avec la combinaison 1,35 G + 1,5 W + 0,75 S. L'angle de l'effort par rapport au fil du bois est de  $\tan^{-1}\left(\frac{1,93}{46,09}\right) = 2,4^\circ$ , soit par simplification l'angle sera nul. La jambe de force a une section de 80 x 360 mm et l'arbalétrier a une section de 80 x 440 mm. Les deux pièces sont en bois lamellé-collé classé GL24h. Une partie des pièces du portique n'étant pas en zone chauffée, la classe de service est 2.

## 2 Détermination de la résistance de l'about

La justification consiste à vérifier que la contrainte de compression oblique sur l'about reste inférieure à la contrainte de résistance.

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

### 2.1 Contrainte de compression inclinée provoquée par les actions.

La contrainte de compression inclinée provoquée par les actions en  $N/mm^2$  ( $\sigma_{c,\alpha,d}$ ) est donnée par la formule :

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_d \cdot \cos(\beta/2)}{b_{ef} \cdot t_v / \cos(\beta/2)} = \frac{F_d \cdot \cos^2(\beta/2)}{b_{ef} \cdot t_v}$$

$F_d$  effort normal dans l'arbalétrier en N

$b_{ef}$  largeur du talon égale à l'épaisseur de l'arbalétrier, en mm

$t_v$  profondeur de l'embranchement en mm ( $h_{entrait}/6 \leq t_v \leq e_{entrait}/4$ )

$\beta$  angle de l'assemblage

Soit pour notre exemple :

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{46130 \times \cos^2(32,2/2)}{80 \times 75} = 7,1 N/mm^2$$

$$F_d = 46130 \text{ N}$$

$$b_{ef} = 80 \text{ mm}$$

$$t_v = 75 \text{ mm (figure 1.2)}$$

$$\beta = 32,2^\circ$$

La note de calcul (figure 1.2) indique que  $\sigma_{c,\alpha,d} = 6,8 N/mm^2$ . Cette différence provient de la simplification en prenant un angle nul entre l'effort et le fil du bois.

## 2.2 Contrainte de résistance de compression inclinée.

La contrainte de résistance de compression inclinée en  $N/mm^2$  ( $f_{c,\alpha,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \times f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$$

$f_{c,0,d}$  : Contrainte de résistance calculée en compression axiale en  $N/mm^2$

$f_{c,90,d}$  : Contrainte de résistance calculée en compression transversale en  $N/mm^2$

$\alpha$  : angle entre la direction de l'effort de compression et celle du fil du bois

$k_{c,90}=1$  pour un embrèvement

Pour déterminer la contrainte de résistance de compression inclinée, il faut calculer la contrainte de résistance en compression transversale et axiale.

### Résistance de compression transversale.

La contrainte de résistance de compression transversale en  $N/mm^2$  ( $f_{c,90,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance en compression transversale en  $N/mm^2$ , soit 2,5  $N/mm^2$  pour notre exemple.

$k_{mod}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (vent) et de la classe de service (zone non chauffée), soit 1,1 pour notre exemple.

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau, soit 1,3 pour l'assemblage.

$$f_{c,90,d} = 2,5 \frac{1,1}{1,3} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

### Résistance de compression axiale.

La contrainte de résistance de compression axiale en  $N/mm^2$  ( $f_{c,0,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c,0,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance en compression axiale en  $N/mm^2$ , soit 24  $N/mm^2$  pour notre exemple.

$k_{mod}$  : 1,1.

$\gamma_M$  : 1,3.

$$f_{c,0,d} = 24 \frac{1,1}{1,3} = 20,3 \text{ N/mm}^2$$

### Résistance de compression inclinée

Soit pour notre exemple, la contrainte de résistance de compression inclinée devient :

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{20,3}{\frac{1}{1} \times 2,1 \sin^2 16,1^\circ + \cos^2 16,1^\circ} = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

$f_{c,0,d}$  : Contrainte de résistance calculée en compression axiale soit 20,3 N/mm<sup>2</sup> pour notre exemple.

$f_{c,90,d}$  : Contrainte de résistance calculée en compression transversale 2,1 N/mm<sup>2</sup> pour notre exemple.

$\alpha$  : angle entre la direction de l'effort de compression et celle du fil du bois, soit  $32,2/2 = 16,1^\circ$  car l'angle de taille est égal à la bissectrice de l'angle entre les l'arbalétrier et l'entrait (figure 1).

$k_{c,90}=1$  pour un embrèvement

### 2.2 Taux de travail de l'about.

Le taux de travail de l'about est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1 ; \text{ soit pour notre exemple : } \frac{7,1}{12,2} = 0,58 \leq 1 , \text{ le critère est vérifié.}$$

### 3 Justification de la contrainte de cisaillement longitudinale dans le talon

La justification consiste à vérifier que la contrainte de cisaillement longitudinale du talon oblique reste inférieure à la contrainte de résistance.

$$\text{Le taux de travail est : } \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Avec :

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement de calcul en N/mm<sup>2</sup>

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en N/mm<sup>2</sup>

Cette vérification est nécessaire lorsque l'embrèvement est proche de l'extrémité de la pièce de bois (figure 1.1). Pour notre exemple, il n'est pas nécessaire de réaliser cette vérification car le « talon » mesure plusieurs mètres (figure 1.2). Toutefois, la note de calcul précise « Longueur de talon mini = 200 mm ». Calculons cette longueur de talon mini.

La longueur minimum du talon est calculée à partir de la contrainte de cisaillement  $\tau_d$  (N/mm<sup>2</sup>)

provoquée par les actions. Elle est donnée par la formule :  $\tau_d = \frac{F_d \times \cos(\alpha)}{b \times l_v}$

Avec :

$F_d$  : Effort dans l'arbalétrier en Newton,

$b$  : Epaisseur de la pièce en mm,

$l_v$  : Longueur du talon en mm,

Isolons  $l_v$  en prenant  $\tau_d = f_{v,d}$

$$l_{v,mimi\ théorique} = \frac{F_d \times \cos(\alpha)}{b \times f_{v,d}}$$

Soit pour notre application :

$$l_{v,mimi\ théorique} = \frac{46130 \times \cos(32,2)}{80 \times 3} = 163\ mm$$

$$F_d = 46130\ N$$

$$\beta = 32,2^\circ$$

$$b : 80\ mm$$

$$f_{v,d} : 3\ N/mm^2$$

La contrainte de résistance de cisaillement en  $N/mm^2$  ( $f_{v,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance de cisaillement en  $N/mm^2$

$k_{mod}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (vent) et de la classe de service (zone non chauffée).

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau

$$\text{Soit pour notre exemple : } f_{v,d} = 3,5 \frac{1,1}{1,3} = 3\ N/mm^2$$

$$f_{v,k} : 3,5\ N/mm^2,$$

$$k_{mod} : 1,1$$

$$\gamma_M : 1,3\ \text{pour l'assemblage.}$$

La note de calcul (figure 1.2) indique une longueur de talon mini de 200 mm. Même si le calcul indique une longueur minimum de 163 mm, Les usages professionnels précisent que celle-ci sera toujours supérieure ou égal à 200 mm.

## 4 Vérification du cisaillement

Cette vérification concerne le bois sous l'embrèvement. Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), une contrainte de cisaillement apparaît. La hauteur de la section exposée au cisaillement est la hauteur de bois restant sous l'about (figure 1.3).

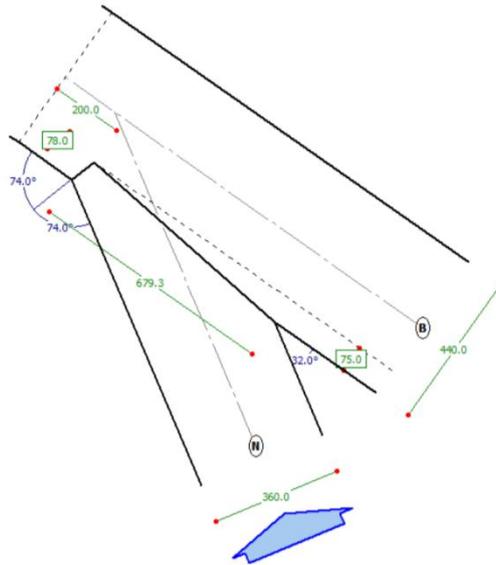


Figure 1.3 : hauteur cisailée © Mdbat

Le taux de travail en cisaillement doit être inférieur ou égal à 1 :  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$

Avec :

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement de calcul en N/mm<sup>2</sup>

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en N/mm<sup>2</sup>

**Contrainte de cisaillement provoquée par les actions.**

La contrainte de cisaillement provoquée par les actions en N/mm<sup>2</sup> ( $\tau_d$ ) est donnée par la formule :

$$\tau_d = \frac{k_f \times F_{v,d}}{k_{cr} \times b \times h_e}$$

Avec :

$k_f$  : Coefficient de forme de la section valant 1,5 pour une section rectangulaire,

$F_{v,d}$  : Effort tranchant en Newton,

$b$  : Epaisseur de la pièce en mm,

$h_e$  : Hauteur réelle exposée au cisaillement (figure 1.3),

$k_{cr}$  : défini dans le tableau du formulaire.

Soit pour notre application :  $\tau_d = \frac{1,5 \times 18760}{1 \times 80 \times 365} = 1 \text{ N/mm}^2$

Avec :

$k_f$  : 1,5

$b$  : 80 mm

$h_e : 440 - 75 = 365 \text{ mm}$  (figure 1.3).

$k_{cr} : 1$ , figure 1.4 (Bois lamellé collé, classe de service 2 et les effets des charges permanentes sont inférieures à 70% des effets des actions variables et permanentes).

$F_{v,d} : 18760 \text{ N}$  (figure 1.4)

### Contrainte de résistance de cisaillement.

La contrainte de résistance de cisaillement est calculée dans le paragraphe « Longueur minimum du talon », soit :  $f_{v,d} = 3,5 \frac{1,1}{1,3} = 3 \text{ N/mm}^2$

### Taux de travail

Taux de travail est de  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1}{3} = 0,33 \leq 1$ , le critère est vérifié.

$\tau_d : 1 \text{ N/mm}^2$

$f_{v,d} : 3 \text{ N/mm}^2$

Remarque : ce critère n'est pas vérifié par le logiciel.

La figure 1.4 indique la vérification du cisaillement de la structure sans tenir compte des assemblages. Elle précise la valeur du  $k_{cr}$  (valant 1 pour l'arbalétrier) en fonction de la combinaison d'action.

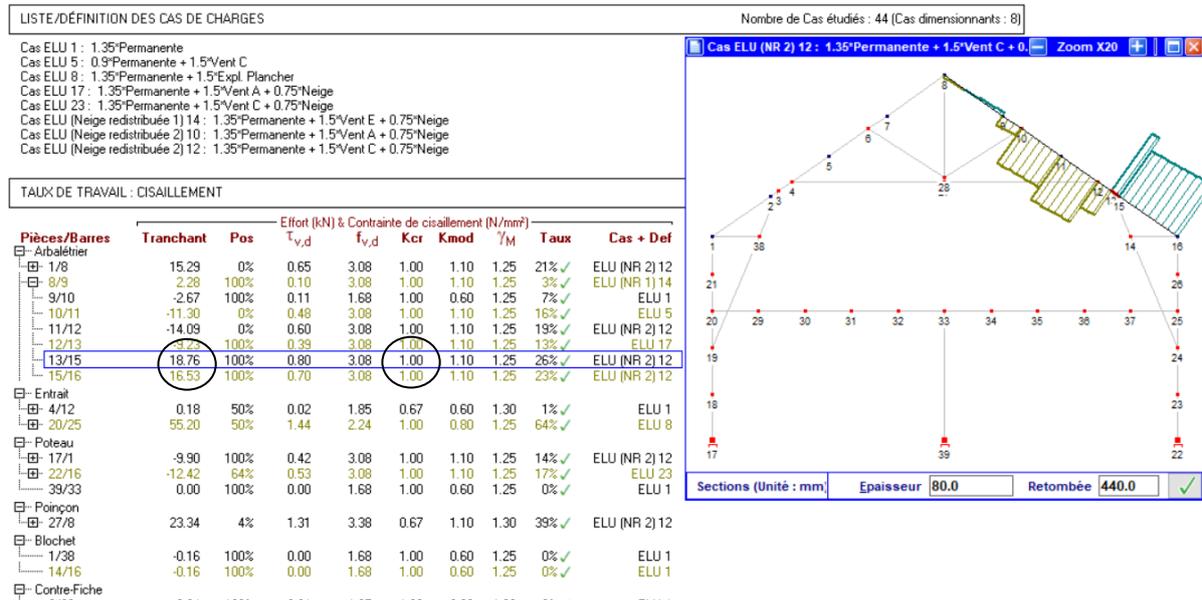


Figure 1.4 : Vérification du cisaillement et valeur du  $k_{cr}$  © Mdbat

## **ASSEMBLAGE 2 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE BOIS/BOIS AVEC DES BOULONS.**

La première étape permettant de justifier un assemblage par boulons à l'état limite ultime (ELU) concerne la vérification des boulons dans le bois. Il faut calculer l'effort que peut reprendre un boulon isolé à partir des caractéristiques de l'assemblage, définir le nombre de boulons nécessaires, établir les conditions de pince, calculer le nombre efficace de boulons et vérifier qu'il est suffisant. La deuxième étape consiste à vérifier le bois autour des boulons, c'est-à-dire le risque de fendage et la contrainte de cisaillement. L'assemblage est justifié lorsque ces trois conditions sont vérifiées. L'effort subi par les boulons reste inférieur ou égal à leur capacité résistante (qui dépend de ce nombre efficace de boulons), la contrainte de cisaillement de calcul est inférieure à la contrainte de cisaillement de résistance et l'effort tranchant reste inférieur à la résistance de calcul au fendage.



*Figure 2.1 : Assemblage étudié*

# 1 Hypothèses de calcul

Reprenons l'exemple du portique du bâtiment recevant du public. L'étude réalisé avec le logiciel Mdbat à permis de déterminer les efforts dans les barres.

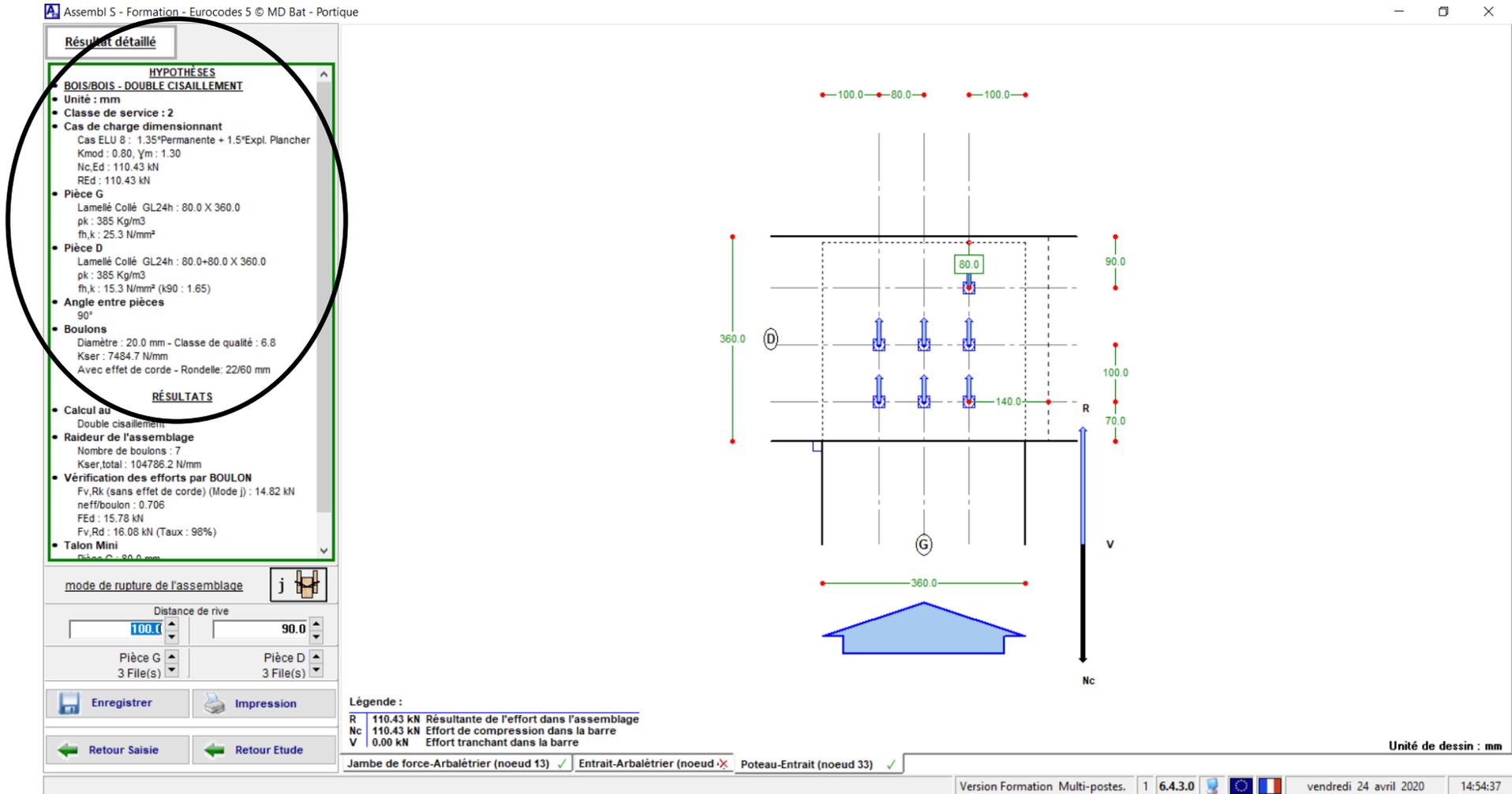


Figure 2.2 : Hypothèses de calcul et résultats © Mdbat



## Mode de rupture du boulon

Le boulon travaille en double cisaillement. La capacité résistante caractéristique ( $F_{v,Rk}$ ) est calculée pour un organe et un plan de cisaillement.

g) écrasement du bois dans la pièce  $t_1$  (moïse) ;

h) écrasement du bois dans la pièce centrale  $t_2$  (poteau) ;

j) écrasement du bois dans la pièce  $t_1$  (moïse) et rotule plastique dans la tige ;

k) écrasement des deux pièces de bois (moïse et poteau) et rotule plastique dans la tige.

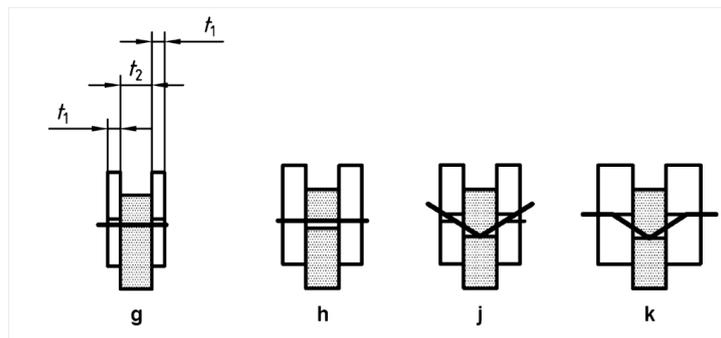


Figure 2.4 : Modes de rupture d'une tige travaillant en double cisaillement

*Remarque : le mode de rupture a une influence sur la résistance de la structure lorsqu'une vérification vis-à-vis du séisme est réalisée. L'Eurocode 8 limite le diamètre des boulons à 16 mm pour favoriser le mode de rupture avec deux rotules plastiques d'où une quantité d'énergie absorbée par chaque tige. Ce n'est pas le cas des équations g et h qui n'ont aucune rotule plastique. Ce mode de rupture est traduit par le coefficient de comportement « q ».*

## Effet de corde

Dans les équations j et k, la tige se déforme. Il est possible d'ajouter une résistance correspondant à l'effet de corde ( $F_{ax,Rk}/4$ ), avec  $F_{ax,Rk}$  la résistance à l'arrachement. Cette valeur est plafonnée à 25% de la partie de droite de l'équation. Le calcul doit être effectué une première fois sans l'effet de corde, puis avec l'effet de corde.

La capacité à l'arrachement des boulons dépend de la résistance du bois sous la rondelle pour les assemblages bois/bois. Elle est déterminée par la formule :

$$F_{ax,Rk} = 3 \cdot f_{c,90,k} \frac{\pi \cdot (D_{rondelle}^2 - d_{rondelle}^2)}{4}$$

Avec :

$f_{c,90,k}$  : Contrainte caractéristique de compression perpendiculaire du bois en  $N/mm^2$ .

$D_{rondelle}$  : Diamètre extérieur de la rondelle en mm, il doit avoir au moins un diamètre équivalent à trois diamètres du boulon.

$d_{rondelle}$  : Diamètre intérieur de la rondelle en mm.

Les dimensions des rondelles de charpente sont définies dans le tableau ci-dessous.

∅ boulon	$D_{ext}$	$d_{int}$	épaisseur	∅ boulon	$D_{ext}$	$d_{int}$	épaisseur
12	40	14	4	20	60	22	6
14	45	16	5	22	65	24	6,5
16	50	18	5	24	75	26	7,5
18	55	20	6	27	90	30	8,5

Soit pour notre exemple :

$$F_{ax,Rk} = 3 \times 2,5 \frac{\pi \cdot (60^2 - 22^2)}{4} = 18355 \text{ N}$$

Avec :

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ , contrainte caractéristique de compression perpendiculaire du bois

$D_{rondelle} = 60 \text{ mm}$ , diamètre extérieur de la rondelle.

$d_{rondelle} = 22 \text{ mm}$  diamètre intérieur de la rondelle.

Soit un effet de corde maximum de  $18355/4 = 4589 \text{ N}$

### Résistance d'un plan de cisaillement d'un boulon avec l'effet de corde

La résistance caractéristique d'un plan de cisaillement d'un boulon sera :

Equation g : 24491 N (L'effet de corde ne peut pas s'appliquer car la tige ne se déforme pas).

Equation h : 20205 N (L'effet de corde ne peut pas s'appliquer car la tige ne se déforme pas).

$$\text{Equation j : } 14818 + \min\left(\frac{18355}{4}; 14818 \times 0,25\right) = 18522 \text{ N}$$

$$\text{Equation k : } 20930 + \min\left(\frac{18355}{4}; 20930 \times 0,25\right) = 25519 \text{ N}$$

La valeur la plus faible est :  $F_{v,Rk} = 18522 \text{ N}$ .

Il faut transformer cette valeur caractéristique en valeur de résistance ou valeur design.

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \times k_{mod} / \gamma_M = 18522 \times 0,8 / 1,3 = 11398 \text{ N}$$

Avec

$k_{mod} = 0,8$  car avec la combinaison 1,35G + 1,5Q, la durée du chargement est « moyen terme » et la classe de service est 2.

$\gamma_M = 1,3$  car c'est un assemblage.

### Calcul du nombre efficace de boulons minimum

La résistance d'un boulon est de  $11398 \times 2 = 22796 \text{ N}$  car le boulon travail en double cisaillement. Le nombre efficace de boulons minimum sera de  $110440/22796=4,85$ .

## 2.2 Distances et espacements

On distingue les espacements entre les boulons et les distances entre les boulons et les rives et les extrémités du bois. La résistance de l'assemblage dépend de l'espacement entre les boulons dans le sens du fil. Cette étape permet de définir cet espacement. Les espacements et les distances sont exprimés en fonction du diamètre du boulon et de l'orientation de la force par rapport au fil du bois. Par ailleurs, les distances aux rives et extrémités chargées seront plus importantes que les distances aux rives et extrémités non chargées.

Le tableau du formulaire indique les espacements et les distances des boulons nommées également conditions de pinces.  $\alpha$  est l'angle entre l'effort et le fil du bois.

Le tableau ci-dessous et la figure 2.5 indiquent la valeur des espacements et des distances des boulons de 20 mm de diamètre de l'assemblage de notre exemple.

### Valeur des espacements et des distances des boulons de 20 mm de diamètre de l'assemblage

Pinces	Description	Angle entre l'effort et le fil du bois du poteau : $\alpha = 0^\circ$		Angle entre l'effort et le fil du bois de l'entrait : $\alpha = 90^\circ$	
		Minimum	Selection	Minimum	Selection
$a_1$	Espacement parallèle au fil	$(4+\cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm}$	220 mm	$(4+\cos 90^\circ) \cdot 20 = 80 \text{ mm}$	90 mm
$a_2$	Espacement perpendiculaire au fil	$4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$	90 mm	$4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$	220 mm
$a_{3,t}$	Distance d'extrémité chargée	Sans objet			
$a_{3,c}$	Distance d'extrémité non chargée	$\text{Max}[(1+6 \sin 0^\circ)d ; 4d] = 80 \text{ mm}$	80 mm	Sans objet	
$a_{4,t}$	Distance de rive chargée	Sans objet		$\text{Max}[(2+2 \sin 90^\circ)d ; 3d] = 80 \text{ mm}$	80 mm
$a_{4,c}$	Distance de rive non chargée	$3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$	90 mm	$3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$	60 mm

La figure 2.5 propose un positionnement des boulons. Lorsque l'effort est parallèle au fil du bois et plusieurs boulons sont sur une file parallèle au fil du bois la résistance de l'assemblage diminue (effet de file). Il faut donc sélectionner un nombre de boulons plus important que le nombre efficace de boulons minimum et rechercher la distance la plus importante entre les boulons dans le sens du fil du bois du poteau car l'effort est parallèle au fil du bois ( $\alpha = 0^\circ$ ). Il n'y a pas d'effet de fil dans l'entrait car l'effort est perpendiculaire au fil du bois ( $\alpha = 90^\circ$ ). Le choix. Vérifions qu'un nombre de 6 boulons (supérieur à 4,85 nombre efficace de boulons minimum) soit suffisant.

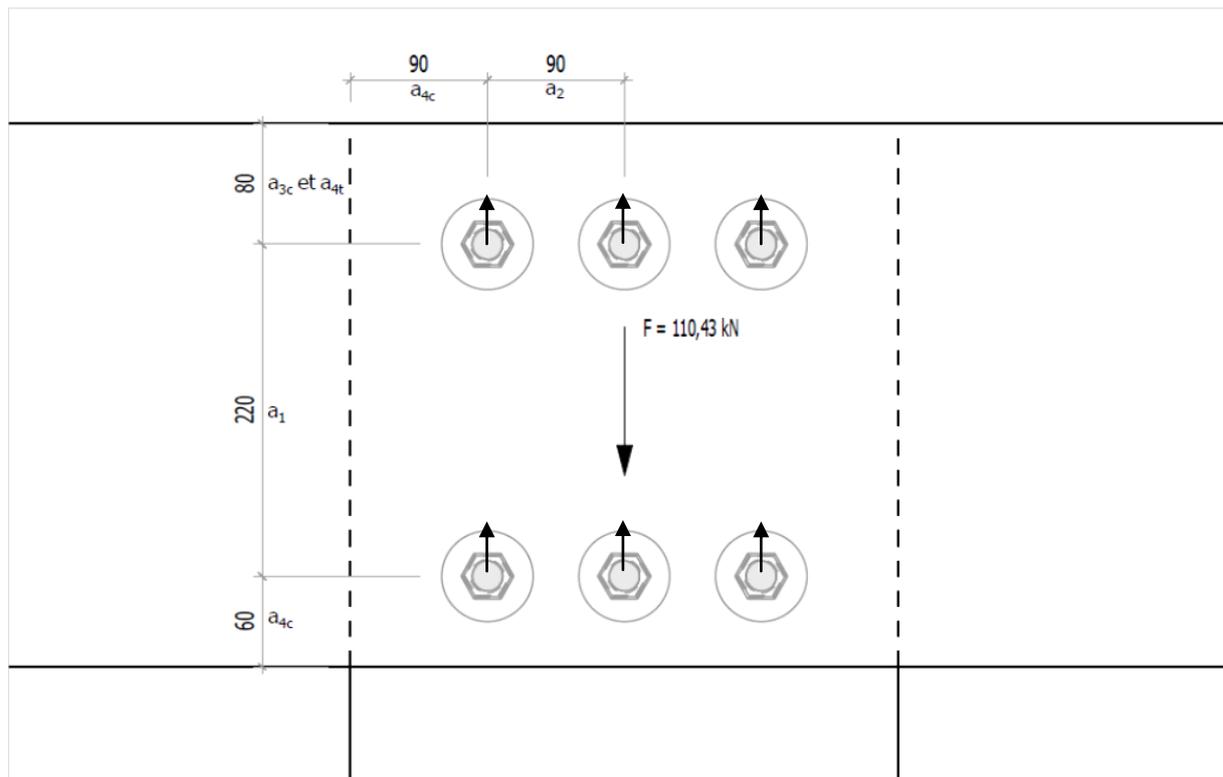


Figure 2.5 : Position et valeur des espacements et des distances de l'assemblage (la nomination des conditions de pinces est exprimée pour le poteau)

Cette étape a permis de définir l'espacement entre les boulons dans le poteau et dans l'entrait. Cette valeur est nécessaire pour définir le nombre efficace de boulons afin de connaître la résistance de l'assemblage.

### 2.3 Nombre efficace de boulon

Lorsque l'effort est parallèle au fil du bois et plusieurs boulons sont sur une file parallèle au fil du bois la résistance de l'assemblage diminue (effet de file). Le nombre efficace de boulon sera de :

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

Avec

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

$n$  : nombre de boulons dans la file,

$a_1$  : espacement entre les boulons dans la file (parallèle au fil du bois) en mm,

$d$  : diamètre des boulons en mm.

Le tableau ci après précise l'espacement nécessaire entre les boulons pour obtenir un nombre de boulon efficace équivalent au nombre de boulons réel.

## Espacement nécessaire entre les boulons pour obtenir un nombre de boulon efficace équivalent au nombre de boulons réel

Nombre de boulons dans la file	Espacement entre les boulons nécessaire pour que $n_{ef} = n$
2	18d
3	21d
4	23d
5	25d

### Nombre efficace dans le poteau

Le poteau à 3 files de 2 boulons

$$n_{ef} = \min \left\{ 2, 0,9^4 \sqrt{\frac{220}{13 \times 20}} \right\} = 1,79 ; \text{ Soit un nombre efficace totale de } 1,79 \times 3 = 5,37 \text{ boulons.}$$

### Nombre efficace dans l'entrait

L'entrait à 2 files de 3 boulons. Lorsque l'effort est perpendiculaire au fil du bois, il n'y a pas d'effort dans le sens du fil, donc pas d'effet de fil. Le nombre efficace de boulon est  $2 \times 3 = 6$  boulons

### Nombre efficace de l'assemblage

Le nombre efficace de l'assemblage sera le plus petit des deux pièces, soit 5,37. Le nombre efficace de boulons est plus important que le nombre efficace de boulons minimum (4,85). La résistance de l'assemblage sera donc suffisante.

## 3 Résistance, taux de travail de l'assemblage et comparaison avec la note de calcul

### 3.1 Résistance de l'assemblage

La résistance de l'assemblage s'obtient en multipliant la résistance d'un boulon isolé par le nombre efficace de l'assemblage.

$$F_{v,Rd,ass} = F_{v,Rd,boulon} \times n_{ef}$$

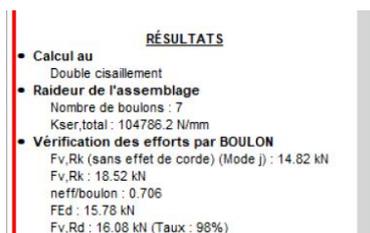
$$F_{v,Rd,ass} = 22796 \times 5,37 = 122414 \text{ N}$$

### 3.2 Taux de travail

Le taux de travail est :  $F_{v,Ed} / F_{v,Rd,ass} = 110430 / 122414 = 0,90 < 1$ , le critère est vérifié

Avec  $F_{v,Ed}$  l'effet des actions = 110430 N (figure 2.2).

### 3.3 Comparaison avec la note de calcul



RÉSULTATS	
• Calcul au	Double cisaillement
• Raideur de l'assemblage	Nombre de boulons : 7 Kser,total : 104786,2 N/mm
• Vérification des efforts par BOULON	Fv,Rk (sans effet de corde) (Mode j) : 14,82 kN Fv,Rk : 18,52 kN neff/boulon : 0,706 FEd : 15,78 kN Fv,Rd : 16,08 kN (Taux : 98%)

Figure 2.6 : Extraits des résultats du logiciel

Il y a 7 boulons car la distance entre les boulons dans le sens du fil du bois du poteau est plus faible ( $a_1$  du poteau).

$F_{v,Rk}$  avec et sans effet de corde correspondent à la valeur d'un plan cisailé.

$F_{v,Ed}$  correspond à l'effort repris par un boulon, soit  $110430/7$ .

$F_{v,Rd}$  correspond à la résistance d'un boulon  $\left(18,52 \times 2 \times 0,706 \times \frac{0,8}{1,3}\right) = 16,09 \text{ kN}$ , avec  $n_{ef,boulon} = 1,412/2 = 0,706$  car la distance entre les boulons  $a_1$  est de 100 mm au lieu de 220 mm.

## 4 Vérification du cisaillement et du fendage

Cette vérification concerne le bois autour des boulons.

### 4.1 Cisaillement

Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), une contrainte de cisaillement apparaît.

Le taux de travail en cisaillement doit être inférieur ou égal à un.

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Avec :

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement de calcul en  $\text{N/mm}^2$

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$

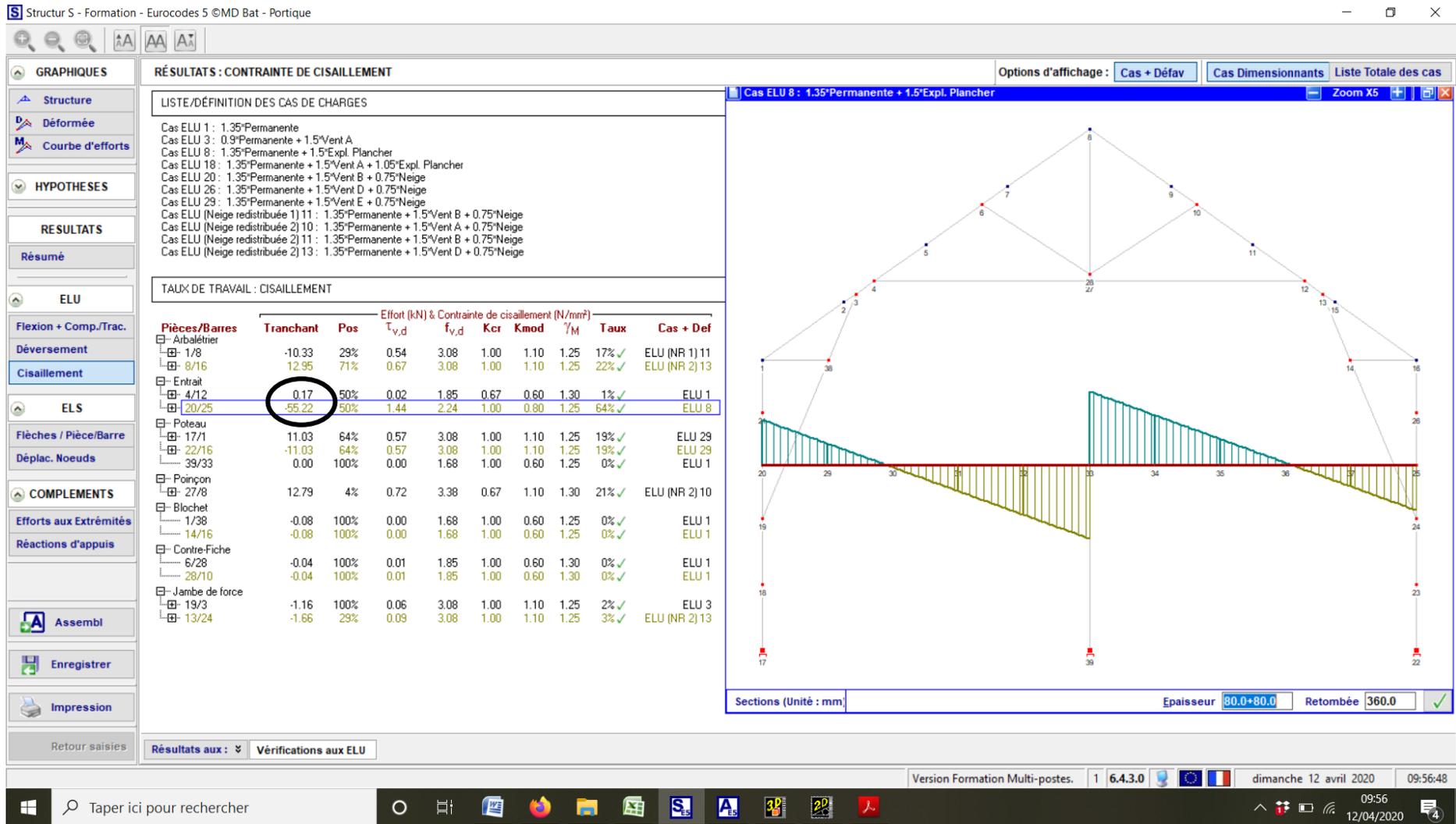


Figure 2.6 : Effort tranchant dans l'entrait © Mdbat

### Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions.

$$\tau_d = \frac{k_f \times F_{v,d}}{k_{cr} \times b \times h_e}$$

Avec :

$k_f$  : Coefficient de forme de la section valant 3/2 pour une section rectangulaire

$F_{v,d}$  : Effort tranchant maximal à droite et à gauche de l'assemblage en Newton,

$b$  : Epaisseur de la pièce en mm,

$h_e$  : Hauteur réelle exposée au cisaillement.

$k_{cr}$  : défini dans le formulaire

Soit pour notre application :

Soit pour notre application :

$$\tau_d = \frac{1,5 \times 55220}{1 \times 2 \times 80 \times 360} = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

$k_f$  : 1,5

$b$  : 2x80 mm car les entrants sont moisés.

$h_e$  : 360 (figure 2.2).

$k_{cr}$  : 1 (Bois lamellé collé, classe de service 2 et les effets des charges permanentes sont inférieures à 70% des effets des actions variables et permanentes)

$F_{v,d}$  : 55220 N (figure 2.6)

### Contrainte de résistance de cisaillement.

La contrainte de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$  ( $f_{v,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service.

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau

Soit pour notre exemple :  $f_{v,d} = 3,5 \frac{0,8}{1,3} = 2,1 \text{ N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : 0,8 car l'effort subi par l'assemblage est calculé avec la combinaison 1,35G + 1,5Q

$\gamma_M$  : 1,3 (nous vérifions un assemblage).

## Taux de travail

Taux de travail est de  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,4}{2,1} = 0,68 \leq 1$ , le critère est vérifié.

Remarque : ce critère n'est pas vérifié par le logiciel.

## 4.2 Fendage

Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), il est nécessaire de réaliser la justification au fendage. La hauteur de la section exposée au fendage est la distance entre le bord chargé et le perçage le plus éloigné.

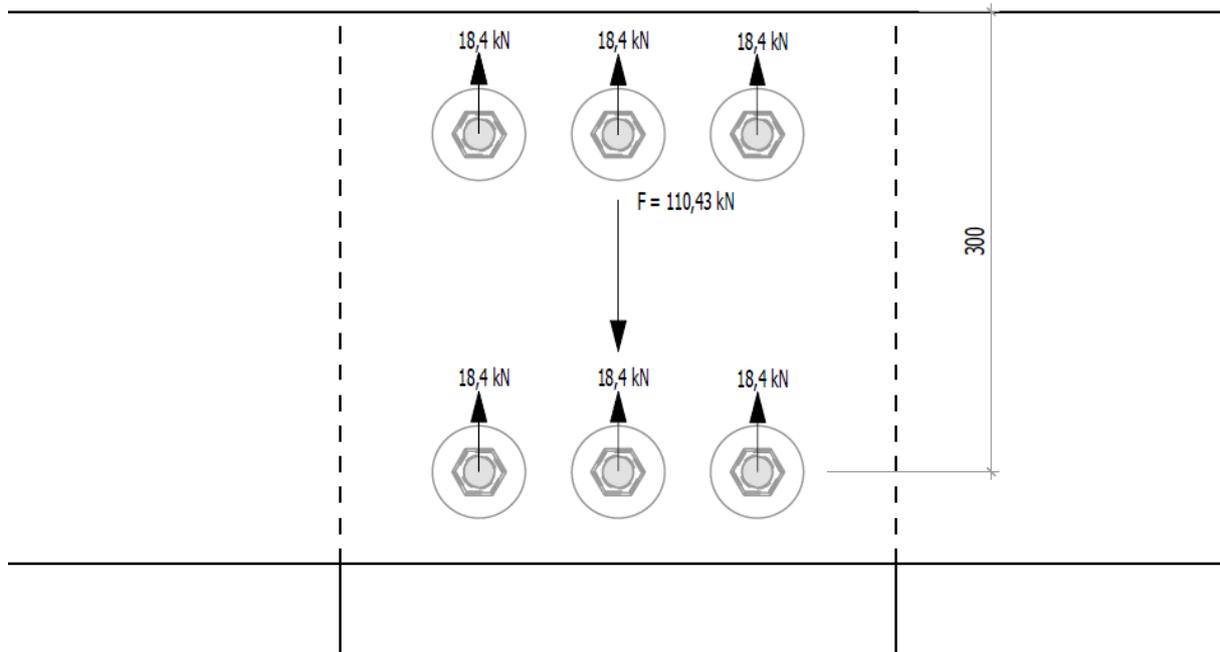


Figure 2.7 : Hauteur cisailée

Le taux de travail est :  $\frac{F_{V,d}}{F_{90,Rd}} \leq 1$

Avec

$F_{V,d}$  : Effort tranchant maximum au niveau de l'assemblage en N,

$F_{90,Rd}$  : Résistance de calcul au fendage en N.

La résistance de calcul au fendage est déterminée par la formule :

$$F_{90,Rd} = F_{90,Rk} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M}$$

$F_{90,Rk}$  : Résistance caractéristique au fendage en N,

$k_{\text{mod}}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service,

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

La résistance caractéristique au fendage est déterminée par la formule :

$$\text{Pour les résineux : } F_{90,Rk} = 14b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}$$

Avec

b : Epaisseur de l'élément en mm

$h_e$  : Hauteur exposée à la traction perpendiculaire aux fibres en mm (comme pour le cisaillement, la hauteur de la section exposée au risque de fendage est la distance entre le bord chargé et le perçage le plus éloigné, voir la figure 2.7).

h : Hauteur de la pièce en mm

$$\text{Soit pour notre application : } F_{90,Rk} = 14 \times 2 \times 80 \sqrt{\frac{300}{\left(1 - \frac{300}{360}\right)}} = 95036 \text{ N}$$

avec

b : 2x80 mm car les entrants sont moisés.

$h_e$  : 300 mm (figure 2.7),

h : 360 mm.

La valeur design est donc :  $F_{90,Rd} = 95036 \frac{0,8}{1,3} = 58484 \text{ N}$

$F_{90,Rk}$  : 95036 N

$k_{mod}$  : 0,8 car l'effort subi par l'assemblage est calculé avec la combinaison 1,35G + 1,5Q

$\gamma_M$  : 1,3 (nous vérifions un assemblage).

### Taux de travail

Taux de travail est de  $\frac{F_{v,d}}{F_{90,Rd}} = \frac{55220}{58484} = 0,94 \leq 1$ , le critère est vérifié.

Avec

$F_{v,d}$  = 55220 N (figure 2.7),

$F_{90,Rd}$  = 58484 N.

### Comparaison avec la note de calcul



Figure 2.8 : Extraits des résultats du logiciel

Les boulons sont à 70 mm de la rive,  $h_e$  devient  $360-70 = 290$  mm (300 mm pour notre exemple),  $F_{90,Rk}$  devient 86,51 kN (95,036 kN pour notre exemple),  $F_{90,Rd}$  devient 53,23 kN (58,48 kN pour notre exemple) et le taux de travail devient 1,04 (0,94 pour notre exemple), ce critère n'est pas vérifié. Le logiciel informe des conditions de pince minimum et permet de les modifier (figure 2.9).

### Résultat détaillé

- Pièce D**  
Lamellé Collé GL24h : 80.0+80.0 X 360.0  
pk : 385 Kg/m3  
fh,k : 15.3 N/mm<sup>2</sup> (k90 : 1.65)
- Angle entre pièces**  
90°
- Boulons**  
Diamètre : 20.0 mm - Classe de qualité : 6.8  
Kser : 7484.7 N/mm  
Avec effet de corde - Rondelle: 22/60 mm

**RÉSULTATS**

- Calcul au**  
Double cisaillement
- Raideur de l'assemblage**  
Nombre de boulons : 7  
Kser,total : 104786.2 N/mm
- Vérification des efforts par BOULON**  
Fv,Rk (sans effet de corde) (Mode j) : 14.82 kN  
Fv,Rk : 18.52 kN  
neff/boulon : 0.706  
FEd : 15.77 kN  
Fv,Rd : 16.08 kN (Taux : 98%)
- Vérification au risque de FLETTAGE (Pièce D)**  
Effort Tranchant :  
Cas ELU 8 : 1.35\*Permanente + 1.5\*Expl. Plancher  
w : 1    he : 300.00  
Kmod : 0.80    F90r,k : 95.04 kN  
Effort Tranchant : (Fv,Ed) : 55.20 kN  
Effort Limite (F90r,d) : 58.48 kN (Taux : 94%)
- Vérification du risque de FENDAGE (Pièce G)**  
Absence d'effort tranchant
- Talon Mini**  
Pièce G : 80.0 mm  
Pièce D : 140.0 mm

mode de l'union de l'assemblage

Distance de rive  
100.0    100.0

Pièce G : 3 File(s)    Pièce D : 3 File(s)

Enregistrer    Impression

Retour Saisie    Retour Etude

Unité de dessin : mm

Jambe de force-Arbalétrier (noeud 13) ✓    Entrait-Arbalétrier (noeud X)    Poteau-Entrait (noeud 33) ✓    Poteau-Entrait (noeud 33) ✓

Version Formation Multi-postes. 1    6.4.3.0    vendredi 24 avril 2020    15:07:09

Figure 2.9 : Extraits des résultats du logiciel © Mdbat

## VARIANTE DE L'ASSEMBLAGE 2 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE PAR CONTACT DIRECT.

Reprenons l'assemblage du poteau avec les entrails repéré « 2 » sur la figure 7. Les entrails reposent directement sur le poteau, il n'y a plus de boulons. La première étape permettant de justifier un assemblage par contact direct à l'état limite ultime (ELU) concerne la vérification de la contrainte de compression perpendiculaire sur l'entrait. La deuxième étape consiste à vérifier la contrainte de cisaillement. L'assemblage est justifié lorsque ces deux conditions sont vérifiées. La contrainte de compression perpendiculaire de calcul est inférieure à la contrainte de compression perpendiculaire de résistance et la contrainte de cisaillement de calcul est inférieure à la contrainte de cisaillement de résistance.



*Figure 2.10 : Assemblage étudié*

*Remarque : ce type d'assemblage n'est pas proposé par le logiciel*

### **1 Hypothèses de calcul**

Rappelons les résultats de l'étude réalisés avec le logiciel Mdbat (figure 2.2). Les entrails moisés apportent à l'assemblage un effort de 110,43 kN avec la combinaison  $1,35 G + 1,5 Q$ . Les entrails moisés et le poteau sont en bois lamellé-collé classé GL24h, la section pour les moises de l'entrait sont de 80 x 360 mm et la section du poteau est de 240 x 240 mm. La classe de service est 2.

## 2 La compression sous les appuis.

La contrainte de compression transversale provoquée par les actions doit être inférieure ou égale à la contrainte de résistance de compression transversale. Dans certains cas la contrainte de résistance peut être augmentée du coefficient  $k_{c,90}$ .

Le taux de travail est :  $\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} \leq 1$ , avec

$\sigma_{c,90,d}$  : Contrainte de compression transversale provoquée par les actions en  $N/mm^2$ .

$f_{c,90,d}$  : Contrainte de résistance de compression transversale en  $N/mm^2$ .

$k_{c,90}$  : Coefficient majorant la contrainte de résistance

### Contrainte provoquée par les actions, $\sigma_{c,90,d}$ -

La contrainte de compression transversale provoquée est calculée par la formule :  $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{b * l_{ef}}$

Avec :

$F_{c,90,d}$  : effort de compression en Newton soit 110430 N

$b$  : 2x80 mm, épaisseur des deux moises.

La longueur efficace pour une moise est :  $l_{ef} = l + c_1 + c_2$

Avec :

$C_1 = \min\{30; a; l; \}$ , et  $C_2 = \min\{30; l; 0,5l_1\}$  (figure 2.12)

Le poteau est au milieu de l'entrait, donc,  $c_1 = c_2$  et  $l_{ef} = l + 2 \times c_2$  (figures 2.11 et 2.12).

Avec :

$C_2 = \min\{30; 80; 0,5 * 5000\} = 30 \text{ mm}$ ,

-  $c_2 = 30 \text{ mm}$ , majoration en mm à droite et à gauche de l'appui,

-  $l = 240 \text{ mm}$ , la longueur de l'appui en mm.

-  $l_1 = 5000 \text{ mm}$ , la distance entre deux charges ponctuelles, le poteau intermédiaire et le poteau extérieur (figure 2)

$l_{ef} = l + 2 \times c_2 = 240 + 2 \times 30 = 300 \text{ mm}$

*Remarque : « a » concerne  $c_1$ , c'est la distance entre l'extrémité de la poutre et une charge ponctuelle.*

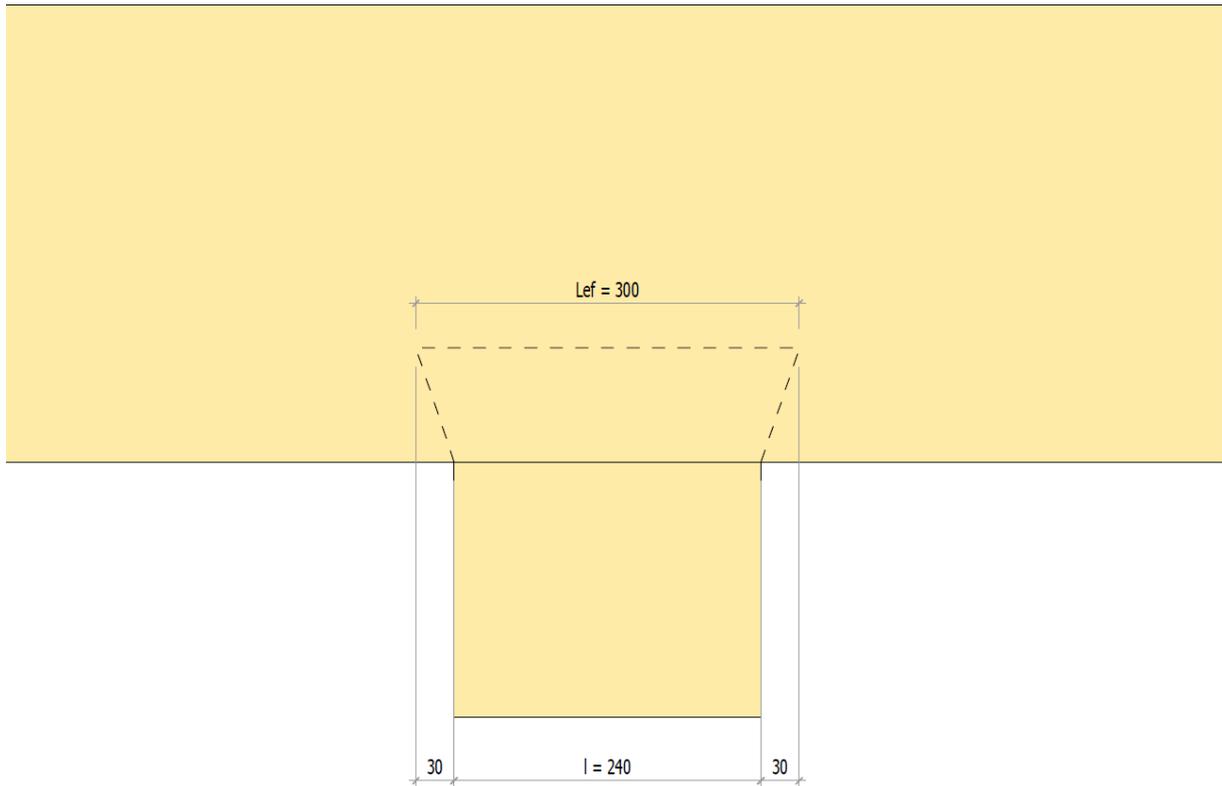


Figure 2.11 : Définition de Lef

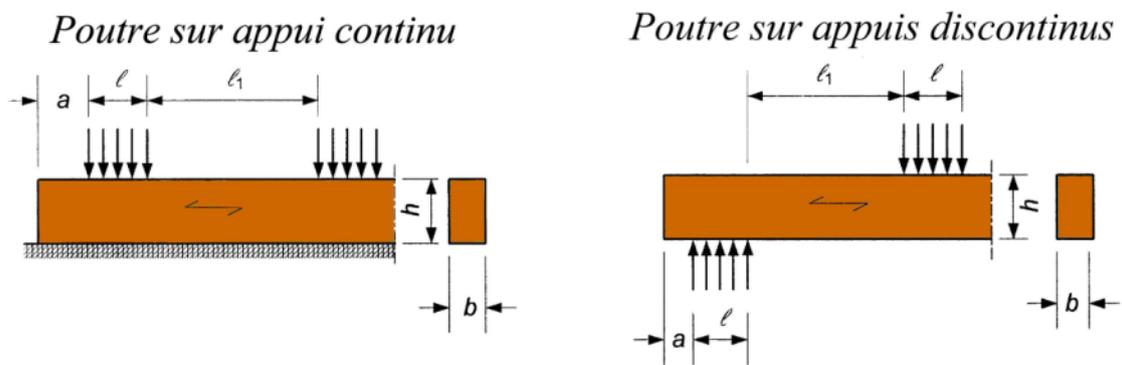


Figure 2.12 : Définition des distances a, l, et l<sub>1</sub> (cas général)

Remarque : Si vous retournez la poutre sur appuis continu (à gauche) vous obtenez une poutre sur appuis discontinus uniformément chargée.

La contrainte de compression transversale devient :  $\sigma_{c,90,d} = \frac{110430}{2 \times 300 \times 80} = 2,3 \text{ N/mm}^2$

### Contrainte de résistance du bois $f_{c,90,k}$

La contrainte de résistance du bois dépend de la contrainte caractéristique, de la classe de service (humidité du bois), de la charge de plus courte durée de la combinaison d'actions.

$$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ , contrainte caractéristique en compression transversale.

$k_{mod} = 0,8$ , coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge d'exploitation) et de la classe de service.

$\gamma_M = 1,25$ , coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau

$$f_{c,90,d} = 2,5 * \frac{0,8}{1,25} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

### $k_{c,90}$ : Coefficient permettant de majorer la contrainte de résistance

Le tableau ci-après précise les cas où il est possible de majorer la contrainte de résistance. La distance  $l_1$  doit être supérieure ou égale à 2 fois la hauteur de la pièce ( $l_1 \geq 2h$ ).

#### Coefficient majorant la contrainte de résistance $k_{c,90}$

Type d'appui	Bois massif résineux	Bois lamellé-collé résineux
appuis continus	1,25	1,5
appuis discontinus	1,5	1,75

### Taux de travail

Le taux de travail est :  $\frac{2,3}{1,75 \times 1,6} = 0,82 \leq 1$  ; Le critère est vérifié.

$\sigma_{c,90,d}$  : Contrainte de compression transversale provoquée par les actions,  $2,3 \text{ N/mm}^2$ .

$f_{c,90,d}$  : Contrainte de résistance de compression transversale,  $1,6 \text{ N/mm}^2$ .

$k_{c,90}$  : Coefficient majorant la contrainte de résistance,  $1,75$

## 3 Vérification du cisaillement

Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), une contrainte de cisaillement apparaît. La hauteur de la section exposée au cisaillement correspond cette fois à la hauteur de l'entrait.

Le taux de travail en cisaillement doit être inférieur ou égal à un.

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Avec :

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement de calcul en  $\text{N/mm}^2$

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$

### **Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions.**

$$\tau_d = \frac{k_f \times F_{v,d}}{k_{cr} \times b \times h_e}$$

Avec :

$k_f$  : Coefficient de forme de la section valant 3/2 pour une section rectangulaire,

$F_{v,d}$  : Effort tranchant maximal à droite et à gauche de l'assemblage en Newton,

$b$  : Epaisseur de la pièce en mm,

$h_e$  : Hauteur de la pièce.

$k_{cr}$  : défini dans le formulaire

Soit pour notre application :  $\tau_d = \frac{1,5 \times 55220}{1 \times 2 \times 80 \times 360} = 1,4 \text{ N/mm}^2$

Avec :

$k_f$  : 1,5

$b$  : 2x80 mm car les entrants sont moisés.

$h_e$  : 360 mm (hauteur de la pièce).

$k_{cr}$  : 1 (Bois lamellé collé, classe de service 2 et les effets des charges permanentes sont inférieures à 70% des effets des actions variables et permanentes)

$F_{v,d}$  : 55220 N (figure 2.6)

### **Contrainte de résistance de cisaillement.**

La contrainte de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$  ( $f_{v,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service.

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau

Soit pour notre exemple :  $f_{v,d} = 3,5 \frac{0,8}{1,25} = 2,2 \text{ N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : 0,8 car l'effort subi par l'assemblage est calculé avec la combinaison 1,35G + 1,5Q

$\gamma_M$  : 1,25 (bois lamellé collé).

### **Taux de travail**

Taux de travail est de  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,4}{2,2} = 0,64 \leq 1$ , le critère est vérifié.

*Remarque : le fendage n'est pas vérifié lorsqu'il y a un appui simple, he étant égal à h*

### **ASSEMBLAGE 3 : VERIFICATION AUX EUROCODES D'UN ASSEMBLAGE BOIS/METAL AVEC DES BOULONS.**

Les étapes pour justifier un assemblage bois/métal par boulons sont similaires aux étapes pour justifier un assemblage bois/bois. La première étape concerne la vérification des boulons dans le bois. Il faut calculer l'effort que peut reprendre un boulon isolé à partir des caractéristiques de l'assemblage, définir le nombre de boulons nécessaires, établir les conditions de pince, calculer le nombre efficace de boulons et vérifier qu'il est suffisant. La deuxième étape consiste à vérifier le bois autour des boulons, c'est-à-dire le risque de fendage et la contrainte de cisaillement. L'assemblage est justifié lorsque ces trois conditions sont vérifiées. L'effort subi par les boulons reste inférieur ou égal à leur capacité résistante (qui dépend de ce nombre efficace de boulons), la contrainte de cisaillement de calcul est inférieure à la contrainte de cisaillement de résistance et l'effort tranchant reste inférieur à la résistance de calcul au fendage.



*Figure 3.1 : Assemblage étudié*

# 1 Hypothèses de calcul

Reprenons l'exemple du portique du bâtiment recevant du public. L'étude réalisé avec le logiciel Mdbat à permis de déterminer les efforts dans les barres.

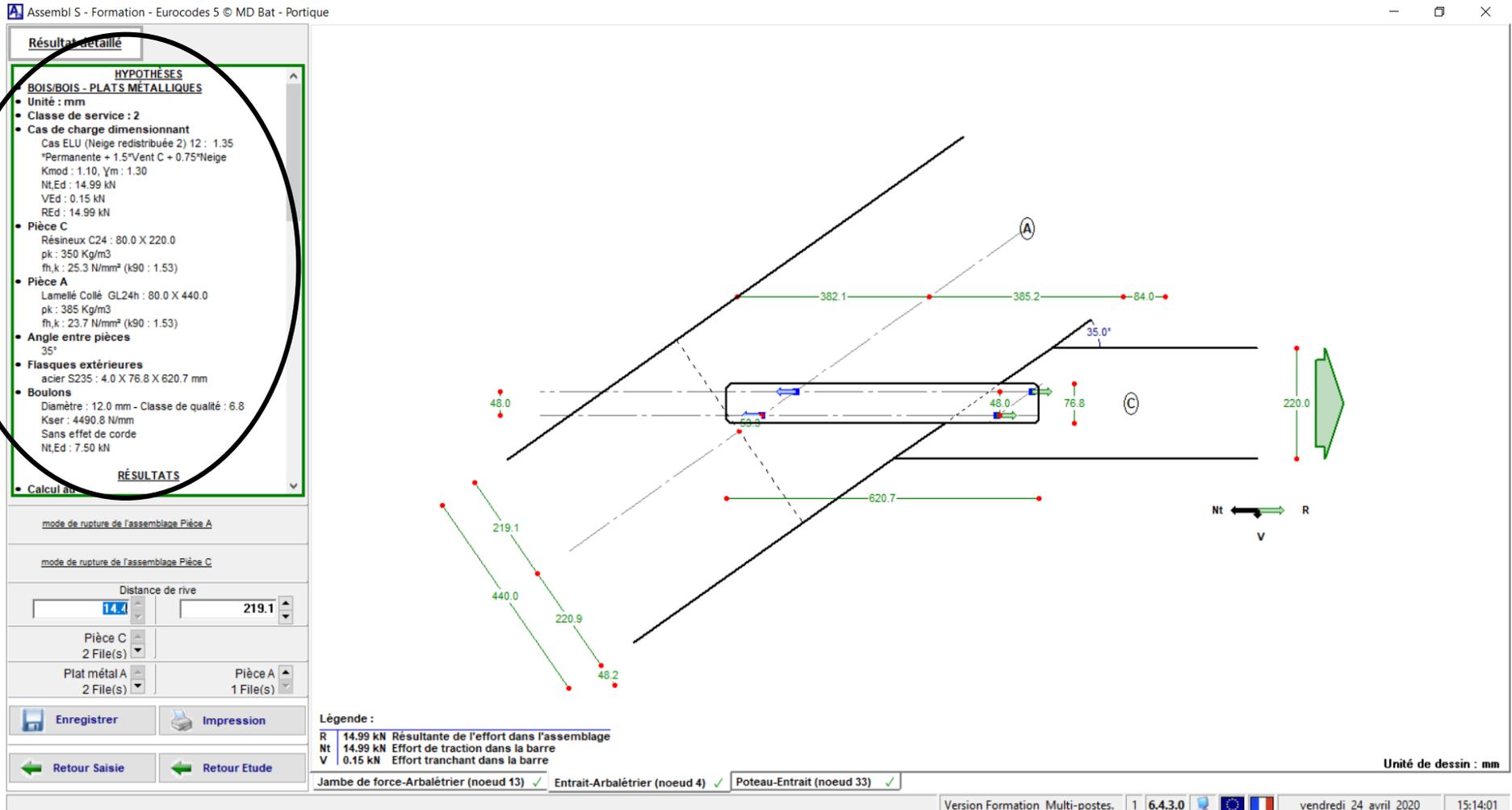


Figure 3.2 : Hypothèses de calcul et résultats © Mdbat

L'entrait retroussé apporte à l'assemblage un effort normal de 14,99 kN, un effort tranchant de 0,15 kN, soit une force de 15 kN, avec la combinaison 1,35 G + 1,5 W + 0,75 S. L'angle de l'effort par rapport au fil du bois est de  $\tan^{-1}\left(\frac{0,15}{14,99}\right) = 0,6^\circ$ , soit par simplification l'angle sera nul. L'arbalétrier est en bois lamellé-collé classé GL24h de section 80 x 440 mm et l'entrait retroussé est en bois massif classé C24 de section 80x220. L'assemblage est réalisé avec des boulons de 12 mm de diamètre en acier classé 6.8 et des Flasques extérieures en acier S235 de 4 X 80 X 500 mm. Une partie des pièces du portique n'étant pas en zone chauffée, la classe de service est 2.

## 2 Détermination de la résistance des boulons de l'assemblage

Le calcul de la résistance des boulons de l'assemblage consiste à définir la résistance d'un boulon isolé, de définir le nombre minimum de boulons efficace, puis de positionner les boulons dans l'assemblage afin de déterminer la résistance de l'ensemble des boulons.

### 2.1 Calcul de la résistance d'une tige isolée

Le calcul de la résistance des boulons s'applique si leur diamètre est compris entre 10 et 30 mm. Attention, les résultats des équations de l'Eurocode 5 fournissent la résistance d'un plan de cisaillement. L'assemblage travaillant en double cisaillement car il y a une flasque de chaque coté, il est nécessaire de doubler les valeurs.

Le matériau et les angles entre l'effort et le fil du bois sont différents pour l'arbalétrier (figure 3.3, GL24h et 35°) et l'entrait retroussé (figure 3.4, C24 et 0°). Il faut donc calculer la résistance dans l'entrait et la résistance dans l'arbalétrier afin de sélectionner le cas le plus défavorable.

ASSEMBLAGES BOULONS OU BROCHES [ACIER Plaques latérales / BOIS] (2X CISAILLEMENT)				
	R, F, C	R	Indiquer la lettre R, F, C	
DONNEES	Résineux "R" Feuillus "F" Contreplaqué "C"	pk	380	daN/m3
	Masse volumique	t2	80	mm
	Épaisseur bois t2 pièce centrale	t	4	mm
	Épaisseur plaque métallique	α t2	35	en degré
	Angle effort / fil du bois par rapport à t2	d	12	mm
	Diamètre du boulon	Kmod	1,1	
	Coef Kmod (selon classe de service)	fuk	600	Mpa
	Résistance caractéristique du boulon	fn2k	23,35	Mpa
	Portance locale bois sur t2	t/d	0,33	Mpa
	Rapport ep plaque / d boulon	Myk	115118	N.mm
Moment plastique du boulon	j	11208	N	
RESULTATS	t < 0.5d, rupture mode 1 (*)	k	9237	N
	t < 0.5d, rupture mode 3 (*)	l	11208	N
	t > d, rupture mode 1 (*)	m	13063	N
	t > d, rupture mode 3 (*)		8580	N
	0,5d < t < d, mini rupture mode 1,2 ou 3 (*)	Rk	9237	N
	<b>Rk à retenir</b>	Rd	7816	N
	<b>Rd à retenir (*)</b>			

Figure 3.3 : Résistance d'un plan cisailé d'un boulon dans l'arbalétrier (Feuilles de calcul Coach ECS réalisées par Vincent Tastet)

COACH ECS (version 1).xls [Enregistré automatiquement] [Mode de compatibilité] - Microsoft Excel

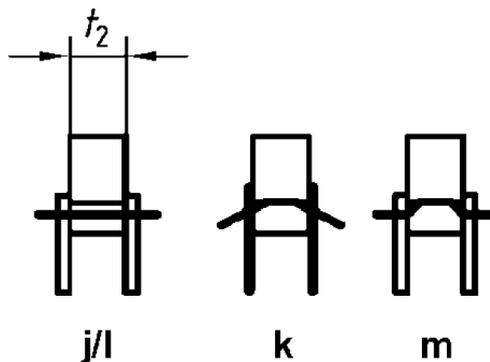
	A	B	C	D	E	F
1	<b>ASSEMBLAGES BOULONS OU BROCHES [ACIER Plaques latérales / BOIS] (2X CISAILEMENT)</b>					
2	<b>DONNEES</b>	Résineux "R" Feuillus "F" Contreplaqué "C"	R, F, C	R	Indiquer la lettre R, F, C	
3		Masse volumique $\rho_k$ du bois ou du CP	$\rho_k$	350	daN/m <sup>3</sup>	
4		Épaisseur bois $t_2$ pièce centrale	$t_2$	80	mm	
5		Épaisseur plaque métallique $t$	$t$	4	mm	
6		Angle effort / fil du bois par rapport à $t_2$	$\alpha$ $t_2$	0	en degré	Entrez les données dans la partie grise
7		Diamètre du boulon	$d$	12	mm	
8		Coeff $K_{mod}$ (selon classe de service)	$K_{mod}$	1,1		
9		Résistance caractéristique du boulon	$f_{uk}$	600	Mpa	... selon classe de résistance
10		Portance locale bois sur $t_2$	$f_{h2k}$	25,26	Mpa	
11		Rapport ép plaque / $d$ boulon	$t/d$	0,33	Mpa	
12		Moment plastique du boulon	$M_{yk}$	115118	N.mm	
13		<b>RESULTATS</b>	$t < 0,5d$ , rupture mode 1 (*)	$j$	12123	N
14	$t < 0,5d$ , rupture mode 3 (*)		$k$	9606	N	
15	$t > d$ , rupture mode 1 (*)		$l$	12123	N	
16	$t > d$ , rupture mode 3 (*)		$m$	13585	N	
17	$0,5d < t < d$ , mini rupture mode 1,2 ou 3 (*)			8767	N	
18	<b>R<sub>k</sub> à retenir</b>		<b>R<sub>k</sub></b>	<b>9606</b>	<b>N</b>	VALEUR POUR 1 PLAN CISAILLE
19	<b>R<sub>d</sub> à retenir (*)</b>		<b>R<sub>d</sub></b>	<b>8128</b>	<b>N</b>	

Figure 3.4 : Résistance d'un plan cisailé d'un boulon dans l'entrait (Feuilles de calcul Coach EC5 réalisées par Vincent Tastet)

### Mode de rupture du boulon

Le boulon travaille en double cisaillement. La capacité résistante caractéristique ( $F_{v,Rk}$ ) est calculée pour un organe et un plan de cisaillement. Par ailleurs, l'épaisseur de la flasque métallique «  $t$  » est inférieure à la moitié du diamètre du boulon ( $4 < 0,5 \times 12$ ).

- j) écrasement du bois dans la pièce centrale  $t_2$  (arbalétrier) ;
- k) écrasement du bois dans la pièce centrale  $t_2$  et rotule plastique dans la tige.



Remarque :

- le mode de rupture à une influence sur la résistance de la structure lorsqu'une vérification vis-à-vis du séisme est réalisée. L'Eurocode 8 limite le diamètre des boulons à 16 mm pour favoriser le mode de rupture avec deux rotules plastiques d'où une quantité d'énergie absorbée par chaque tige. Ce n'est pas le cas des équations j et l qui n'ont aucune rotule plastique. Ce mode de rupture est traduit par le coefficient de comportement «  $q$  ».
- L'effet de corde n'est pas calculer car la justification avec 2 boulons sera largement obtenue.

## Calcul du nombre efficace de boulons minimum

La résistance d'un boulon dans l'entrait est 8128 N pour un plan cisaillé et  $8128 \times 2 = 16256$  N pour un boulon. La résistance d'un boulon dans l'arbalétrier est 7816 N pour un plan cisaillé et  $7816 \times 2 = 15632$  N pour un boulon. La résistance la plus faible est dans l'arbalétrier. L'effort à reprendre étant de 15000 N, en théorie un boulon suffirait. Pour respecter les usages de la profession et par sécurité deux boulons sont sélectionnés. L'entrait comportera 2 boulons isolés et l'arbalétrier 1 file de 2 boulons (figure 3.5).

## 2.2 Distances et espacements

On distingue les espacements entre les boulons et les distances aux rives et aux extrémités du bois. La résistance de l'assemblage dépend de l'espacement entre les boulons dans le sens du fil. Cette étape permet de définir cet espacement. Les espacements et les distances sont exprimés en fonction du diamètre du boulon et de l'orientation de la force par rapport au fil du bois. Par ailleurs, les distances aux rives et extrémités chargées seront plus importantes que les distances aux rives et extrémités non chargées.

Le tableau du formulaire indique les espacements et les distances des boulons nommées également conditions de pinces.  $\alpha$  est l'angle entre l'effort et le fil du bois.

Le tableau ci-dessous et la figure 3.5 indiquent la valeur des espacements et des distances des boulons de 12 mm de diamètre de l'assemblage de notre exemple.

### Valeur des espacements et des distances des boulons de 12 mm de diamètre de l'assemblage

Pinces	Description	Angle entre l'effort et le fil du bois de l'entrait : $\alpha = 0^\circ$		Angle entre l'effort et le fil du bois de l'arbalétrier : $\alpha = 35^\circ$	
		Minimum	Selection	Minimum	Selection
$a_1$	Espacement parallèle au fil	Sans objet		$(4 + \cos 35^\circ) \cdot 12 = 58$ mm	84 mm
$a_2$	Espacement perpendiculaire au fil	$4 \times 12 = 48$ mm	48 mm	Sans objet	
$a_{3,t}$	Distance d'extrémité chargée	$\text{Max}(7 \times 12 ; 80) = 84$ mm	84 mm	Sans objet	
$a_{3,c}$	Distance d'extrémité non chargée	Sans objet			
$a_{4,t}$	Distance de rive chargée	Sans objet		$\text{Max}[(2 + 2 \sin 35^\circ)d ; 3d] = 38$ mm	80 mm
$a_{4,c}$	Distance de rive non chargée	$3 \times 12 = 36$ mm	86 mm	$3 \times 12 = 36$ mm	360 mm

La figure 3.5 propose un positionnement des boulons. Cette étape a permis de définir l'espacement entre les boulons dans l'arbalétrier. Cette valeur est nécessaire pour définir le nombre efficace de boulons afin de connaître la résistance de l'assemblage. Lorsqu'une partie de l'effort est parallèle au

fil du bois et plusieurs boulons sont sur une file parallèle au fil du bois la résistance de l'assemblage diminue (effet de file).

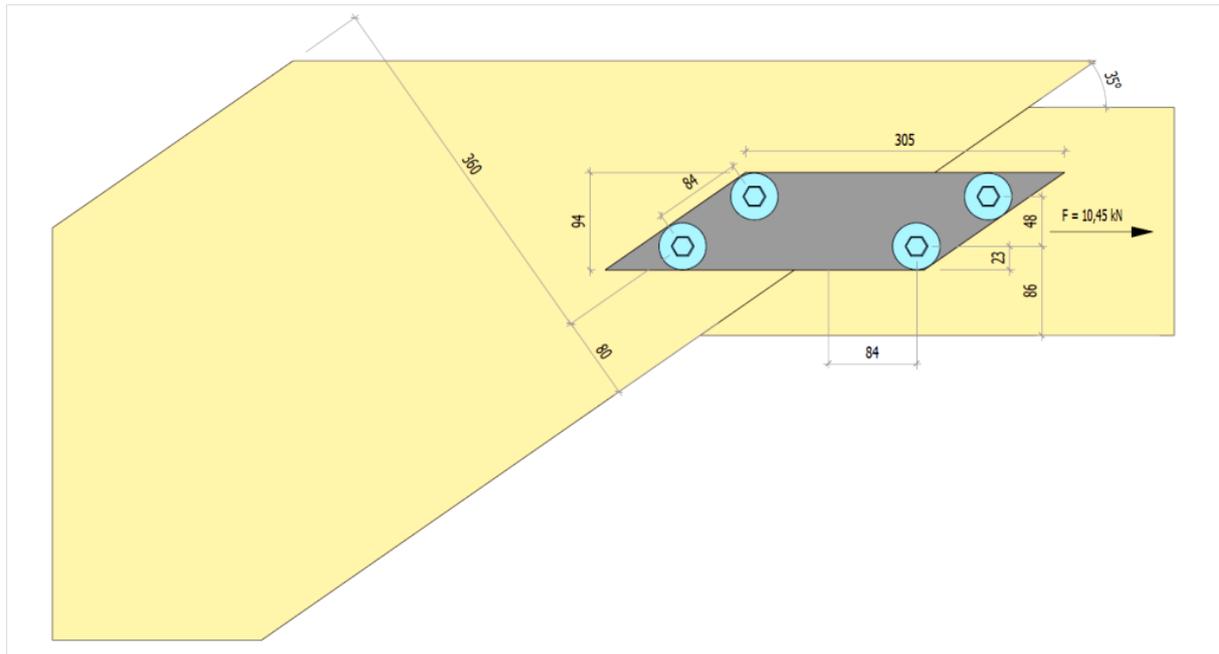


Figure 3.5 : Position et valeur des espacements et des distances de l'assemblage

Remarque : la distance entre l'axe du boulon et la rive de la flasque métallique doit être supérieure ou égale à  $1,2x d_0$ , avec  $d_0$  le diamètre de perçage dans l'acier, soit pour notre exemple,  $23 > 1,2 \times 14$ .

### 2.3 Nombre efficace de boulon

Lorsque l'effort est parallèle au fil du bois et plusieurs boulons sont sur une file parallèle au fil du bois la résistance de l'assemblage diminue (effet de file). Le nombre efficace de boulon sera de :

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

Avec

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

$n$  : nombre de boulons dans la file,

$a_1$  : espacement entre les boulons dans la file (parallèle au fil du bois) en mm,

$d$  : diamètre des boulons en mm.

#### Nombre efficace dans l'arbalétrier

L'arbalétrier à 1 file de 2 boulons, soit  $n_{ef} = \min \left\{ 2, 0,9^4 \sqrt[4]{\frac{84}{13 \times 12}} \right\} = 1,6$

Pour notre exemple, l'effort est incliné par rapport au fil du bois, l'effet de file est moins important. Le nombre efficace de boulon est :

$$n_{ef,\alpha} = n_{ef,0} + \frac{\alpha}{90} (n - n_{ef,0})$$

Avec

$n$  : nombre de boulons dans la file,

$\alpha$  : angle entre l'effort et le fil du bois en degré,

$n_{ef,\alpha}$  : nombre efficace de boulons dans la file avec un effort formant un angle  $\alpha$  par rapport au fil du bois,

$n_{ef,0}$  : nombre efficace de boulons dans la file avec un effort parallèle au fil du bois.

Soit pour notre exemple :  $n_{ef,\alpha} = 1,6 + \frac{35}{90} (2 - 1,6) = 1,75$  boulons efficaces pour une file de boulons.

### **Nombre efficace dans l'entrait**

L'entrait à 2 boulons isolé (figure 3.5), donc 2 boulons isolés.

### **Nombre efficace de l'assemblage**

Il est préférable de comparer directement la résistance dans l'entrait et dans l'arbalétrier car la résistance d'un boulon isolé est différente pour chacune des pièces.

## **3 Résistance, taux de travail de l'assemblage et comparaison avec la note de calcul**

### **3.1 Résistance de l'assemblage**

La première étape consiste à multiplier la résistance d'un boulon isolé par le nombre efficace de boulons pour l'entrait puis de réaliser la même opération pour l'arbalétrier. La valeur la plus faible sera retenue.

#### **Résistance dans l'entrait**

$$F_{v,Rd,entrait} = F_{v,Rd,boulon,entrait} \times n_{ef,entrait}$$

$$F_{v,Rd,entrait} = 16256 \times 2 = 32512 \text{ N}$$

#### **Résistance dans l'arbalétrier**

$$F_{v,Rd,entraits} = F_{v,Rd,boulon,arbalétrier} \times n_{ef,arbalétrier}$$

$$F_{v,Rd,arbalétrier} = 15632 \times 1,75 = 27356 \text{ N}$$

La résistance de l'assemblage sera de 27356 N

### **3.2 Taux de travail**

Le taux de travail est :  $F_{v,Ed} / F_{v,Rd,ass} = 15000 / 27356 = 0,55 < 1$ , le critère est vérifié

Avec  $F_{v,Ed}$  l'effet des actions = 15000 N (figure 3.2).

### 3.3 Comparaison avec la note de calcul

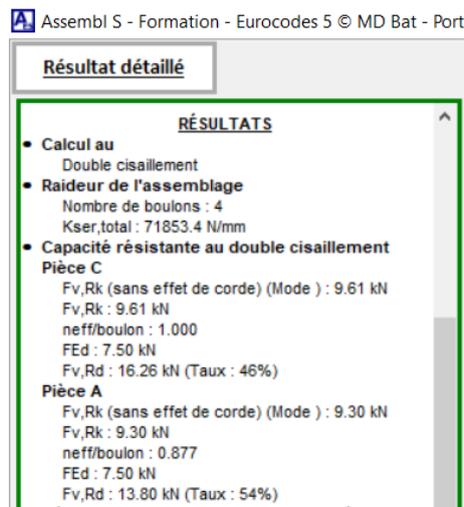


Figure 3.6 : Extraits des résultats du logiciel

#### Pour la pièce A (l'arbalétrier)

$F_{v,Rk}$  sans effet de corde correspondent à la valeur d'un plan cisailé (9,30 kN).

$F_{v,Ed}$  correspond à l'effort repris par un boulon, soit  $15000/2 = 7500$  N .

$F_{v,Rd}$  correspond à la résistance d'un boulon  $\left(9,61 \times 2 \times 0,877 \times \frac{1,1}{1,3}\right) = 13,8$  kN , avec  $n_{ef,boulon} = 1,75/2 = 0,875$

## 4 Vérification du cisaillement et du fendage

Cette vérification concerne le bois autour des boulons. Attention, suivant le critère vérifié, la combinaison dimensionnante peut changer, pour ces deux critères ce n'est plus  $1,35G + 1,5W + 0,75S$ , mais  $0,9G + 1,5W$  (figure 3.7).

### 4.1 Cisaillement

Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), une contrainte de cisaillement apparaît. La hauteur de la section exposée au cisaillement est la distance entre le bord chargé et le perçage le plus éloigné (figure 3.5).

Le taux de travail en cisaillement doit être inférieur ou égal à un.

$$\text{Taux de travail} = \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Avec :

$\tau_d$  : Contrainte de cisaillement de calcul en N/mm<sup>2</sup>

$f_{v,d}$  : Contrainte de résistance de cisaillement en N/mm<sup>2</sup>

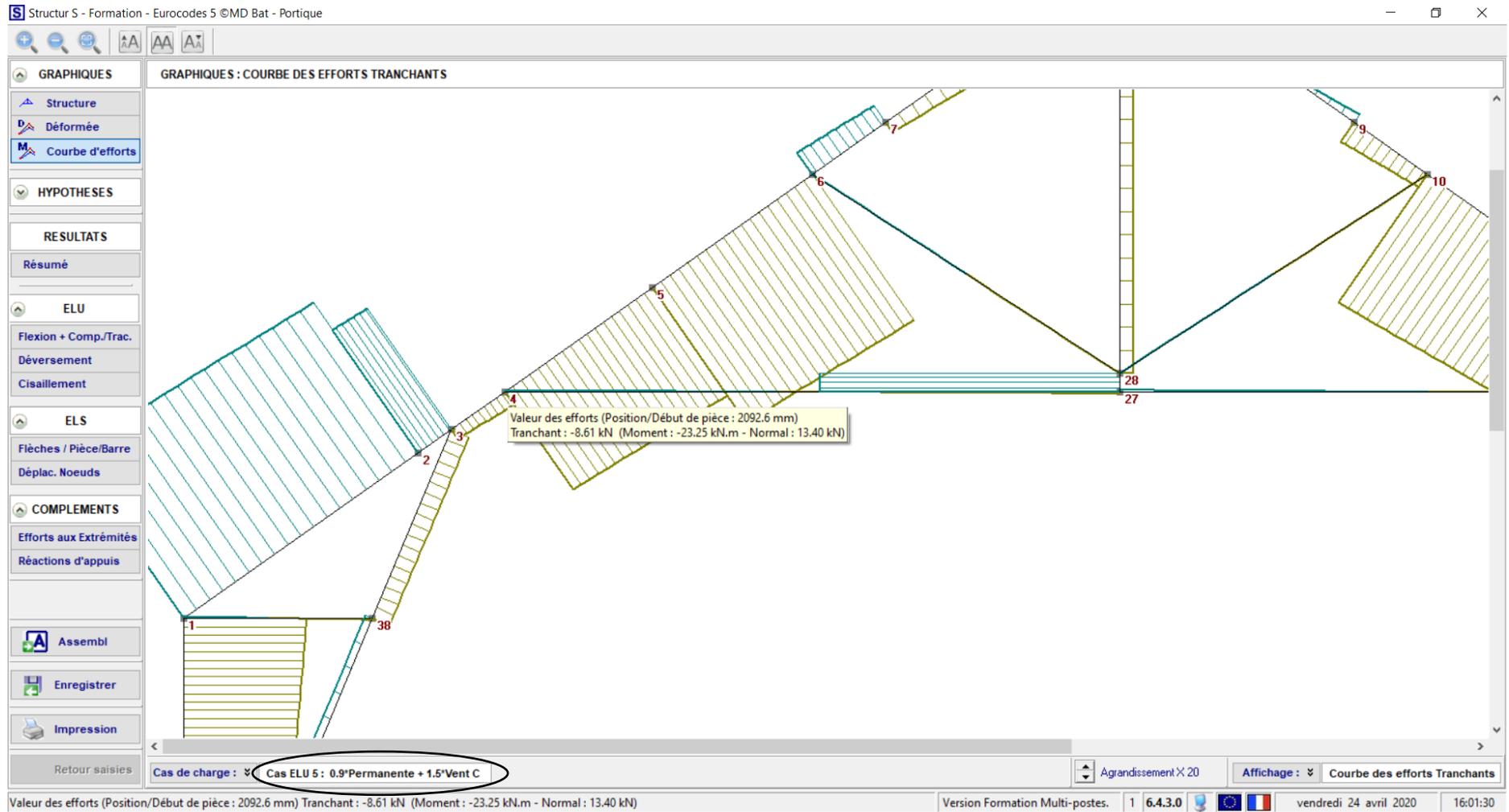


Figure 3.7 : Effort tranchant dans l'entrait avec la combinaison 1,35G © Mdbat

### Contrainte de cisaillement induite par la combinaison d'actions

$$\tau_d = \frac{k_f \times F_{v,d}}{k_{cr} \times b \times h_e}$$

Avec :

$k_f$  : Coefficient de forme de la section valant 3/2 pour une section rectangulaire,

$F_{v,d}$  : Effort tranchant maximal à droite et à gauche de l'assemblage en Newton,

$b$  : Epaisseur de la pièce en mm,

$h_e$  : Hauteur exposée au cisaillement (figure 3.5).

$k_{cr}$  : défini dans le formulaire

Soit pour notre application :  $\tau_d = \frac{1,5 \times 8610}{1 \times 80 \times 440} = 0,37 \text{ N/mm}^2$

Avec :

$k_f$  : 1,5

$b$  : 80 mm l'épaisseur de l'arbalétrier.

$h_e$  : 440 mm (figure 3.5).

$k_{cr}$  : 1 (Bois lamellé collé, classe de service 2 et les effets des charges permanentes sont inférieures à 70% des effets des actions variables et permanentes)

$F_{v,d}$  : 8610 N (figure 3.7)

### Contrainte de résistance de cisaillement.

La contrainte de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$  ( $f_{v,d}$ ) est donnée par la formule :

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$  : Contrainte caractéristique de résistance de cisaillement en  $\text{N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service.

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau

Soit pour notre exemple :  $f_{v,d} = 3,5 \frac{1,1}{1,3} = 3 \text{ N/mm}^2$

$k_{\text{mod}}$  : 0,8 car l'effort subi par l'assemblage est calculé avec la combinaison 1,35G

$\gamma_M$  : 1,3 (nous vérifions un assemblage).

### Taux de travail

Taux de travail est de  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,37}{3} = 0,12 \leq 1$ , le critère est vérifié.

*Remarque : ce critère n'est pas vérifié par le logiciel.*

## 4.2 Fendage

Lorsque l'assemblage transmet un effort tranchant (effort perpendiculaire à l'axe de l'élément), il est nécessaire de réaliser la justification au fendage.

Le taux de travail est :  $\frac{F_{V,d}}{F_{90,Rd}} \leq 1$

Avec

$F_{V,d}$  : Effort tranchant maximum au niveau de l'assemblage en N,

$F_{90,Rd}$  : Résistance de calcul au fendage en N.

La résistance de calcul au fendage est déterminée par la formule :

$$F_{90,Rd} = F_{90,Rk} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M}$$

$F_{90,Rk}$  : Résistance caractéristique au fendage en N,

$k_{\text{mod}}$  : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service,

$\gamma_M$  : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

La résistance caractéristique au fendage est déterminée par la formule :

$$\text{Pour les résineux : } F_{90,Rk} = 14b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}$$

Avec

$b$  : Epaisseur de l'élément en mm

$h_e$  : Hauteur exposée à la traction perpendiculaire aux fibres en mm (comme pour le cisaillement, la hauteur de la section exposée au risque de fendage est la distance entre le bord chargé et le perçage le plus éloigné, voir la figure 3.5).

$h$  : Hauteur de la pièce en mm

$$\text{Soit pour notre application : } F_{90,Rk} = 14 \times 80 \sqrt{\frac{80}{\left(1 - \frac{80}{440}\right)}} = 11075 \text{ N}$$

Avec :

$b$  : 80 mm l'épaisseur de l'arbalétrier.

$h_e$  : 80 mm (figure 3.5).

$h$  : 440 mm (figure 3.5).

$$\text{La valeur design est donc : } F_{90,Rd} = 11075 \frac{1,1}{1,3} = 9371 \text{ N}$$

$F_{90,Rk}$  : 11075 N

$k_{mod}$  : 1,1 car l'effort subi par l'assemblage est calculé avec la combinaison 1,35G + 1,5W + 0,75S

$\gamma_M$  : 1,3 (nous vérifions un assemblage).

### Taux de travail

Taux de travail est de  $\frac{F_{v,d}}{F_{90,Rd}} = \frac{8610}{9371} = 0,92 \leq 1$ , le critère est vérifié.

Avec

$F_{v,d} = 8610$  N (figure 3.7),

$F_{90,Rd} = 9371$  N.

### Comparaison avec la note de calcul



Figure 3.8 : Extraits des résultats du logiciel

Les boulons sont à 220,9 mm de la rive, donc  $h_e = 220,9$  mm,  $F_{90,Rk}$  devient 23,59 kN,  $F_{90,Rd}$  devient 19,96 kN et le taux de travail devient 0,43. La sécurité est plus importante mais la ferrure n'est pas optimisée (figures 3.2 et 3.5).

## Pour en savoir plus

Calcul des structures en bois - Guide d'application des Eurocodes 5 (structures en bois) et 8 (séismes)  
- Assemblage de pieds de poteaux - Auteurs : Vincent Tastet, Bernard Legrand, Yves Benoit - Éditeurs : Eyrolles, AFNOR

Construction bois : l'eurocode 5 par l'exemple - Le dimensionnement des barres et des assemblages en 30 applications - Auteur : Yves Benoit - Éditeur : Eyrolles

Résistance au feu des constructions bois - Barres en situation d'incendie et assemblages selon l'eurocode 5 - Auteur : Yves Benoit - Éditeur : Eyrolles

## TABLEAUX : Vérifications des structures en bois avec les eurocodes

**Tab. 1. Valeurs des charges d'exploitation en fonction du bâtiment**

(source : NF P 06-111-2/A1)

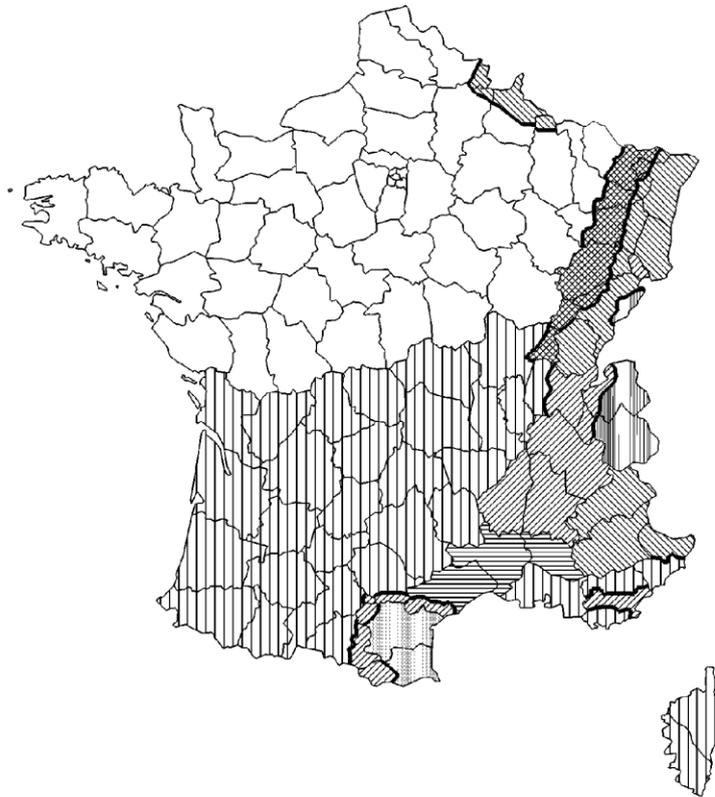
Catégorie	Charge uniformément répartie $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Charge concentrée $Q_k$ (kN)
<b>A – Logement</b>		
– Plancher	1,5	2
– Escalier	2,5	2
– Balcon	3,5	2
<b>B – Bureau</b>		
– Bureau	2,5	4
<b>C – Locaux publics</b>		
– C1 Locaux avec table (école, restaurant, etc.)	2,5	3
– C2 Locaux avec sièges fixes (théâtre, cinéma, etc.)	4	4
– C3 Locaux sans obstacles à la circulation (musée, salles d'exposition)	4	4
– C4 Locaux pour activités physiques (dancing, salles de gymnastique, etc.)	5	7
– C5 Locaux susceptibles d'être surpeuplés (salles de concert, terrasses, etc.)	5	4,5
<b>D – Commerces</b>		
– D1 Commerces de détail courants	5	5
– D2 Grands magasins	5	7
<b>E – Aires de stockage et locaux industriels</b>		
– E1 Surfaces de stockage (Entrepôts, bibliothèques,...)	7,5	7
– E2 Usage industriel	cf. CCTP	
<b>H – Toitures</b>		
– Si pente $\leq 15\%$ + étanchéité	0,8 (1)	1,5
– Autres toitures	0	1,5
<b>I – Toitures accessibles</b>		
– Pour les usages des catégories A à D	charges identiques à la catégorie de l'usage	
– Si aménagement paysager	$\geq 3$	–

(1)  $q_k$  sur une surface rectangulaire ( $A \times B$ ) de  $10 \text{ m}^2$  telle que  $A/B \leq 2$ .

Les vérifications sont effectuées avec la charge uniformément répartie  $q_k$  puis avec la charge concentrée  $Q_k$ .  
 Pour les locaux de catégories A, B, C3 et D1, la charge uniformément répartie  $q_k$  est minorée par le coefficient  $\alpha_A = 0,77 + A_0 / A \leq 1$  avec  $A_0 = 3,5 \text{ m}^2$  lorsque l'élément étudié reprend une surface supérieure à  $15,2 \text{ m}^2$ .  
 Les charges des équipements importants sont précisés dans le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) de l'opération de construction.  
 Les charges d'exploitation de la catégorie H sont des charges d'entretien ; elles ne doivent pas être cumulées avec les actions de la neige ou du vent, mais sont prises en compte lors de la vérification de la déformation à l'état limite de service.

## Carte de France des valeurs des charges de neige

(source : NF EN 1991-1-3/NA)



Régions :

Valeurs caractéristiques ( $S_k$ ) de la charge de neige sur un sol à une altitude inférieure à 200 m.
Valeurs de la charge de neige exceptionnelle ( $S_{Ad}$ ) sur un sol
Augmentation de la charge lorsque l'altitude est supérieure à 200 m.

A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E	
0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40	
—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—	
$\Delta s_1$							$\Delta s_2$	

(charges en KN/m<sup>2</sup>)

Altitude A	$\Delta s_1$	$\Delta s_2$
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

### Remarques

- La valeur de charge neige accidentelle est indépendante de l'altitude.
- La valeur totale de neige est obtenue en ajoutant la valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol.

**Tab. 2. Coefficients  $\mu_i$  pour une toiture sans dispositif de retenue de la neige**

(source : NF EN 1991-1-3)

Angle $\alpha$ du toit (degré)	$0 < \alpha \leq 30$	$30 < \alpha \leq 60$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1$ (toiture à 1 ou 2 versants)	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0
$\mu_2$ (toiture à versants multiples)	$0,8 + (0,8\alpha / 30)$	1,6	

*Remarques*– Si des éléments (barre à neige, acrotères...) empêchent la neige de glisser,  $\mu_1$  est pris égal à 0,8.

– Les accumulations de neige sont définies dans les annexes des normes NF EN 1991-1-3

**Tab. 3. Coefficients partiels de l'action permanente pour un bâtiment courant**

(Source : NF EN 1990/NA)

Type d'action	Coefficient partiel
<b>Permanente :</b>	
– (STR) : $\gamma_{G, sup}$	1,35
– (STR) : $\gamma_{G, inf}$	1
– (EQU) : $\gamma_{G, inf}$	0,9
<b>Variable (STR) : <math>\gamma_Q</math></b>	1,5

**Tab. 4. Coefficients statistiques en fonction des catégories de bâtiment et de l'altitude** (Source : NF EN 1990)

	Action variable d'accompagnement $\Psi_0$	Combinaison accidentelle (incendie) $\Psi_1$	Fluage et combinaison accidentelle $\Psi_2$
<b>Charges d'exploitation des bâtiments</b>			
Catégorie A : Habitations résidentielles	0,7	0,5	0,3
Catégorie B : Bureaux	0,7	0,5	0,3
Catégorie C : Lieux de réunion	0,7	0,7	0,6
Catégorie D : Commerce	0,7	0,7	0,6
Catégorie E : Stockage	1	0,9	0,8
Catégorie H : Toits	0	0	0
<b>Charges de neige</b>			
Altitude > 1 000 m	0,7	0,5	0,2
Altitude $\leq$ 1 000 m	0,5	0,3	0
<b>Action du vent</b>			
	0,6	0,2	0

**Tab. 5. Valeur coefficient  $\gamma_M$**  (Source : NF EN 1995-1-1)

Éléments considérés		$\gamma_M$
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2
	Panneaux de particules et de fibres	1,3
Assemblages		1,3
Combinaisons accidentelles		1

**Tab. 6. Valeurs caractéristiques des bois massifs résineux et de peuplier**

(Source : NF EN 338)

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale		8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire		0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale		16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire		2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement		3	3,2	3,4	3,8	4	4	4	4	4
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm <sup>2</sup>	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile		4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal		0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
$G_{mean}$	Module de cisaillement		0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
$\rho_k$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	290	310	320	340	350	370	380	400	420
$\rho_{mean}$	Masse volumique moyenne		350	370	380	410	420	450	460	480	500

**Tab. 7. Valeurs caractéristiques des bois lamellés** (source : NF EN 14080)

Propriété	Symbole	Classe de résistance du bois lamellé-collé						
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Résistance à la flexion	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Résistance à la traction	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,4	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Résistance à la compression	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Résistance au cisaillement (cisaillement et torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Résistance au cisaillement roulant	$f_{r,g,k}$	1,2						
Module d'élasticité	$E_{0,g,moyen}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,moyen}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Module de cisaillement	$G_{g,moyen}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Module de cisaillement roulant	$G_{r,g,moyen}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Masse volumique	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,moyen}$	370	410	420	445	460	480	490

**Tab. 8 : Valeur de  $k_{mod}$  du bois massif, du lamellé-collé, du lamibois (LVL) et du contreplaqué** (Source : NF EN 1995-1-1)

Durée de chargement		Classe de service		
Classe de durée	Exemple	1 Hbois < 13% (local chauffé)	2 13%<Hbois < 20% (sous abris)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
permanente (>10 ans)	Charge de structure	0,6	0,6	0,5
long terme (6mois à 10 ans)	Stockage	0,7	0,7	0,55
moyen terme (1 semaine à 6mois)	Charges d'exploitation Neige Altitude >1000m	0,8	0,8	0,65
court terme (<1semaine)	Neige Altitude ≤1000m	0,9	0,9	0,7
Instantanée	Vent Situation accidentelle Neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

**Tab. 9. Valeurs du coefficient du risque de fente en bout  $k_{cr}$**  (Source : NF EN 1995-1-1)

	Classe de service 1	Classe de service 2	Classe de service 3
Bois massif dont la hauteur ≤ 150 mm	1	1	0,67
Bois massif dont la hauteur > 150 mm	0,67	0,67	0,67
Bois lamellé-collé avec moins de 70% de charge permanente par rapport à la charge totale	1	1	0,67
Bois lamellé-collé avec au moins 70% de charge permanente par rapport à la charge totale	1	0,67	0,67