

# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

DAVID MIZRAHI, ing., M.S.

# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

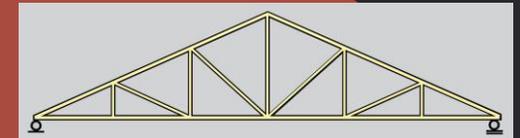
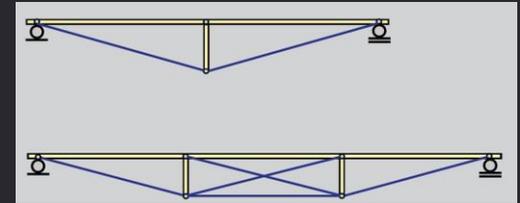
DES PLUS GRANDES PORTÉES POSSIBLES

1 Poutre en portée simple - 2 à 15 m

2 Poutre en portées continues - 6 à 25 m

3 Systèmes sous-tendu - jusqu'à 60 m

4 Systèmes triangulés (fermes) - jusqu'à 80 m (?)



# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

## AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

### ● AVANTAGES

- PERMET D'OPTIMISER LA MATIÈRE
- PERMET LE MÉLANGE DE MATÉRIAUX (BOIS+ / ACIER)
- POSSIBILITÉ DE PORTÉES LIBRES PLUS IMPORTANTES
- FACILITE LE PASSAGE DE CONDUITS À TRAVERS LA STRUCTURE
- PLUS DE FLEXIBILITÉS DANS LES FORMES DE TOITURE
- GRANDE CRÉATIVITÉ POSSIBLE DANS LES DÉTAILS

### ● INCONVÉNIENTS

- PLUS DE DÉTAILS À ÉTUDIER ET FABRIQUER
- PLUS D'ASSEMBLAGES ACIER
- PLUS D'USINAGE MATIÈRE
- ATTENTION AUX ASSEMBLAGES (CONCEPTION / RIGIDITÉ)
- NÉCESSITE UNE ANALYSE PLUS POUSSÉE (2nd ORDRE)

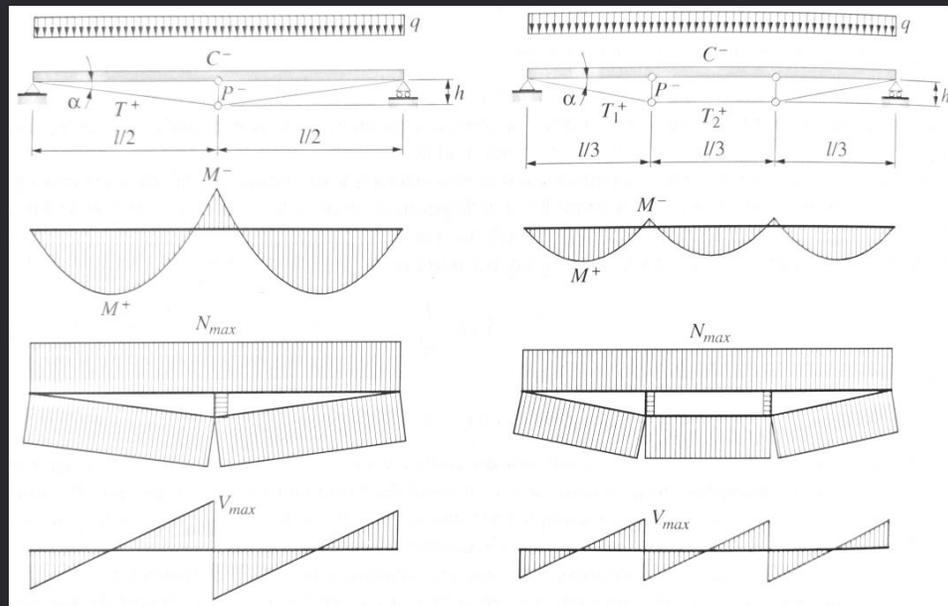


# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

## PRÉDIMENSIONNEMENT

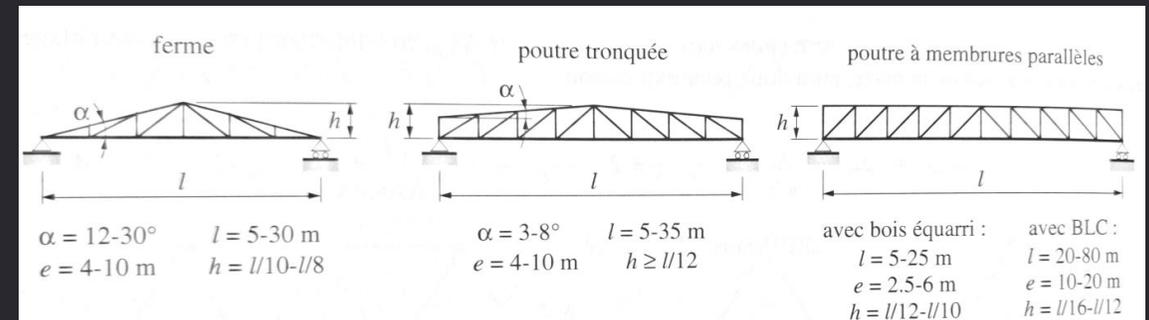
### • POUTRES SOUS-TENDUES

HAUTEUR DU SYSTÈME > L / 12



### • FERMES

HAUTEUR DU SYSTÈME > L / 16



# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

## ASSEMBLAGES

### ● LES FAMILLES D'ASSEMBLAGES

PAR CONTACT - EMBRÈVEMENTS

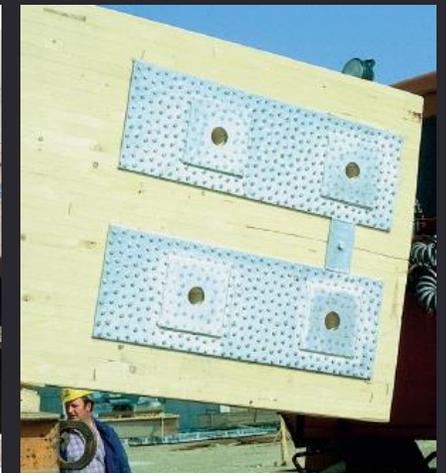
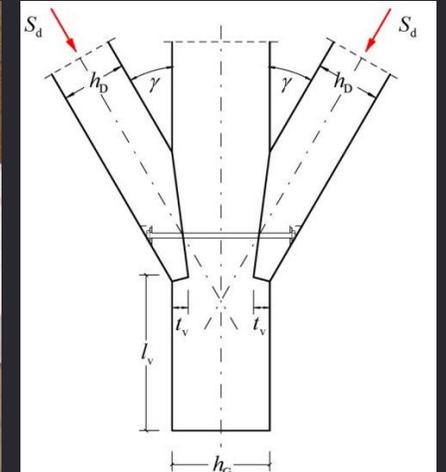
BROCHÉS / BOULONNÉS (TYPIQUE?)

CLOUÉS - BOIS / BOIS - BOIS / ACIER (+)

VISSÉS

COLLÉS

.....



# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN GROS MASSIF

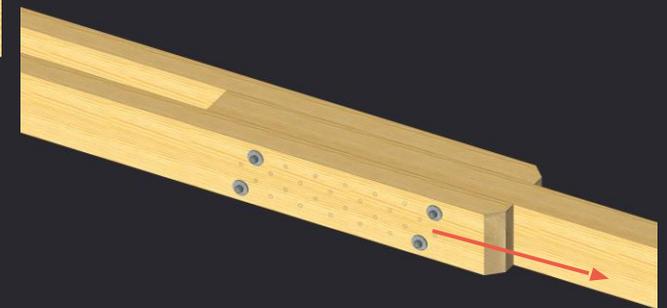
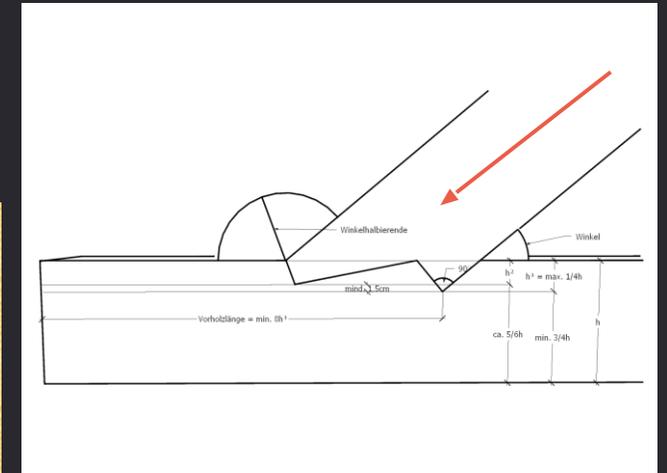
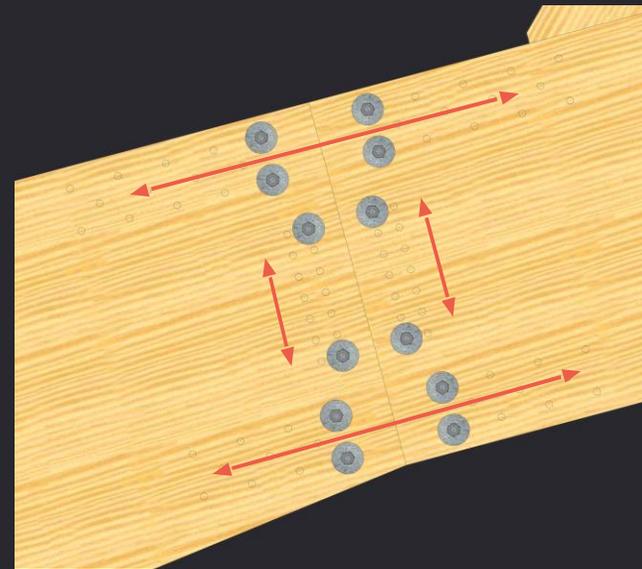
## ASSEMBLAGES

- **DIFFÉRENTS TYPES**

COMPRESSION  
TENSION  
MOMENT  
CISAILLEMENT

- **CHOIX DE L'ASSEMBLAGE**

EFFICACITÉ  
COÛTS  
FABRICATION  
ESTHÉTISME



# SYSTÈMES TRIANGULÉS EN BOIS MASSIF

## ASSEMBLAGES

- **PRÉ-ANALYSE DU SYSTÈME**

RÉALISER UN MODÈLE PRÉLIMINAIRE DU SYSTÈME AVEC LES INFORMATIONS DE BASES (CHARGES)

- **DEFINIR LES POSITIONS DES JOINTS DE TRANSPORT**

EN FONCTION DES CAPACITÉS DE FABRICATION, DE TRANSPORT ET DE MONTAGE, DÉFINIR JUDICIEUSEMENT LA POSITION DES JOINTS DE TRANSPORT

IDÉALEMENT, POINTS DE MOMENTS NULS

- **ESTIMER LA FAISABILITÉ DES JONCTIONS PRINCIPALES**

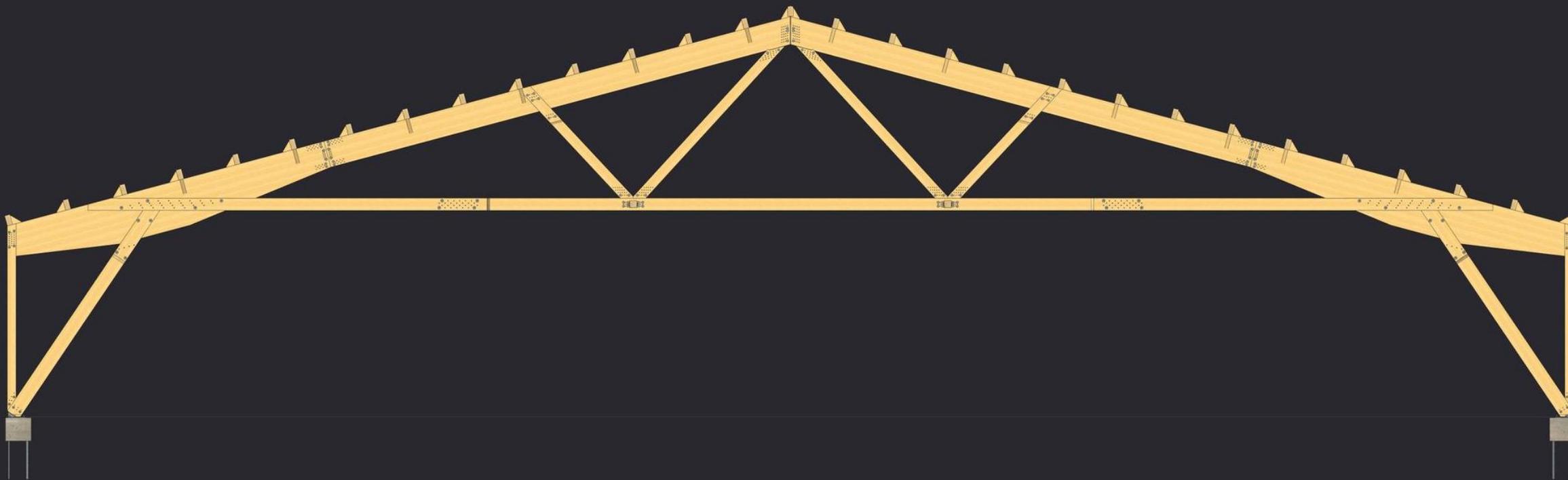
RÉALISER UNE PRÉ-ANALYSE DES CONNEXIONS PRINCIPALES

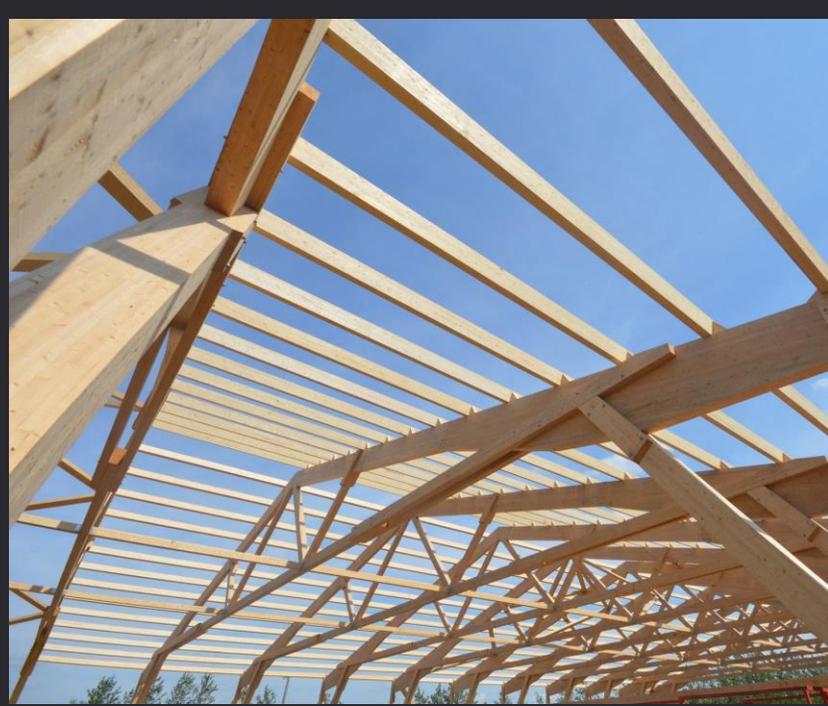
UTILISER PAR DÉFAUT UN ASSEMBLAGE BROCHÉ / BOULONNÉ

# ÉTUDE DE CAS 1

## FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

CLIENT: SENC ZWYGART  
CHARPENTE: AMBIANCE BOIS  
INGÉNIERIE STRUCTURE: KAMBIUM





# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

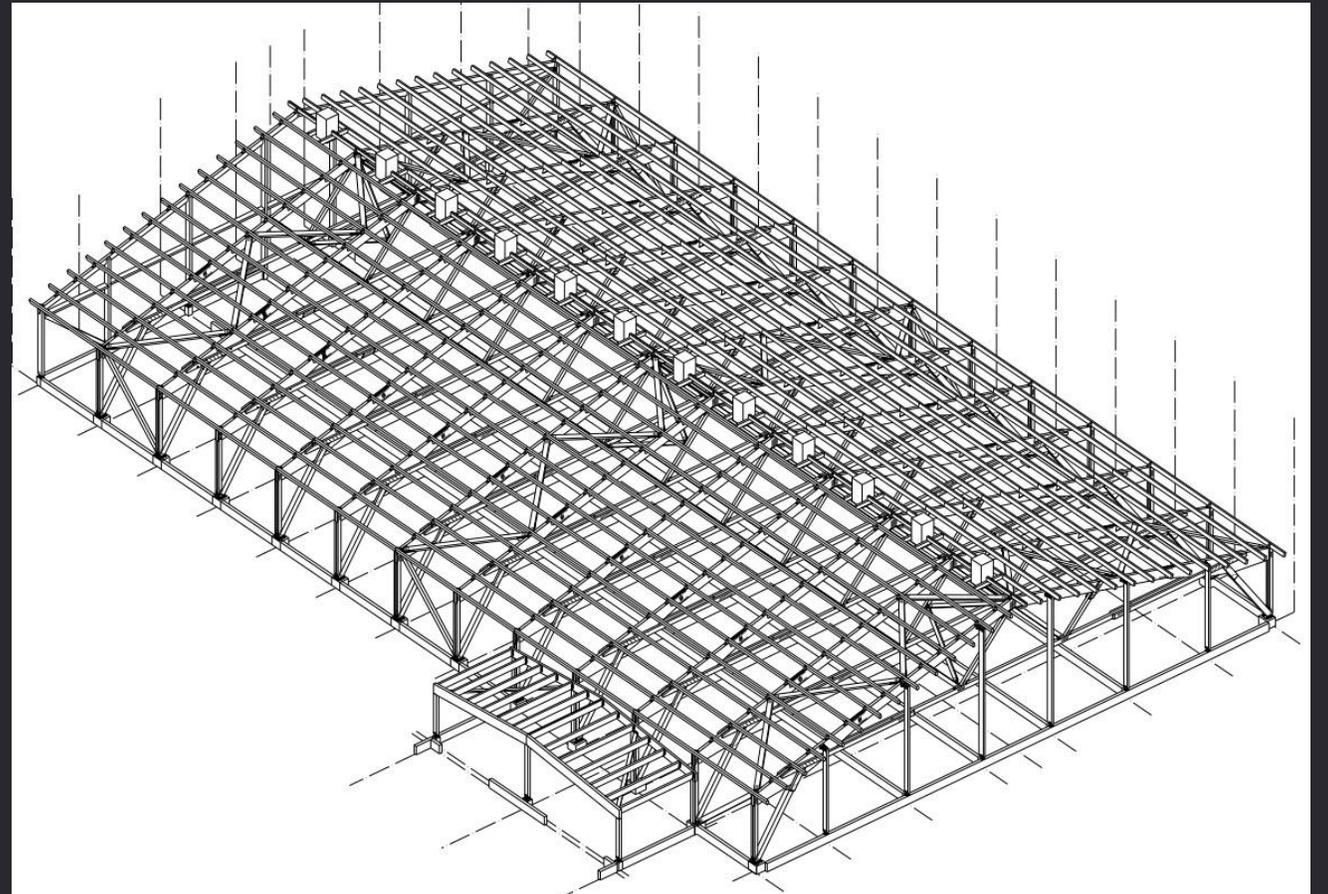
## DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

- **11 PORTIQUES AUTO-STABLES**

LAMELLÉ-COLLÉ S-P-F 24 F-EX  
ESPACEMENT 5.5 m

- **STABILISATION LONGITUDINALE**

3 TRAMES STABILISÉES  
TRIANGULATION DANS LE PLAN DE TOITURE



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

- **PORTIQUES AUTO-STABLE**

FERME SUR SUPPORT INCLINÉS (DIAGONALES)

ARBALÉTRIER EN 2 PARTIES:

- SECTION VARIABLE
- SECTION DROITE



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ANALYSE STRUCTURELLE

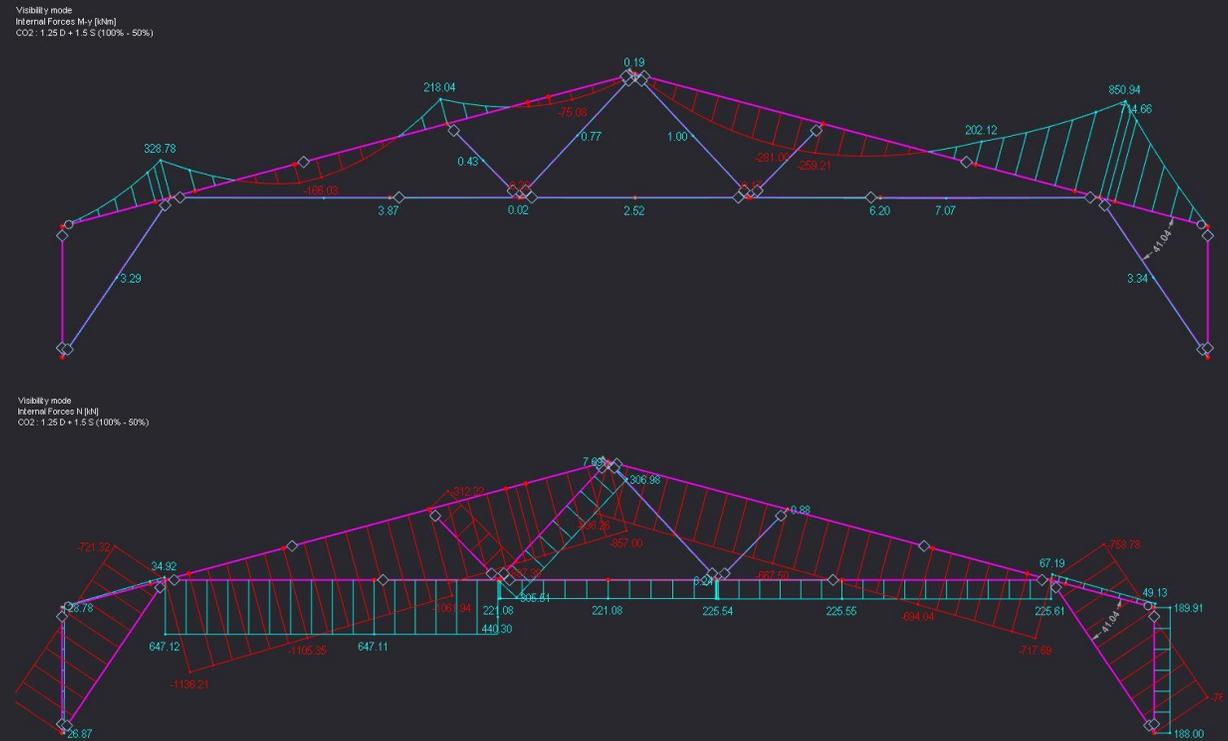
### ● ANALYSE STRUCTURELLE PRÉLIMINAIRE

ANALYSE DU PORTIQUE EN 2D

TOUS LES JOINTS ROTULÉS

CHARGES DÉBALANCÉES ET LATÉRALES

ESTIMATION DES SECTIONS REQUISES

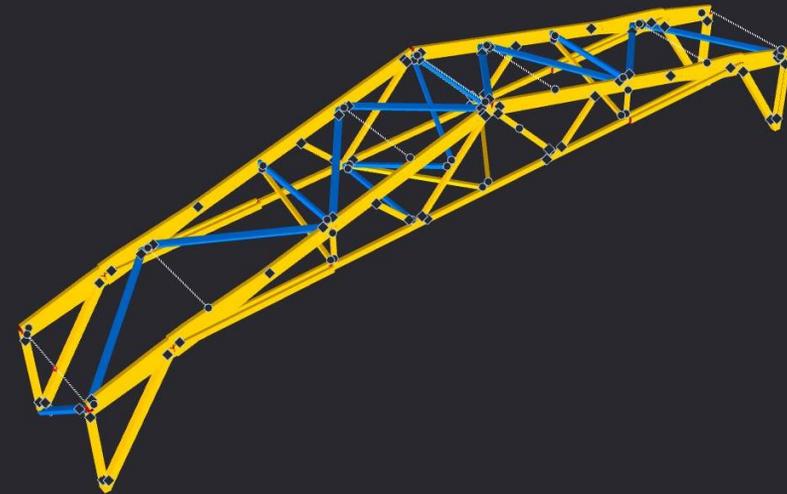


# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

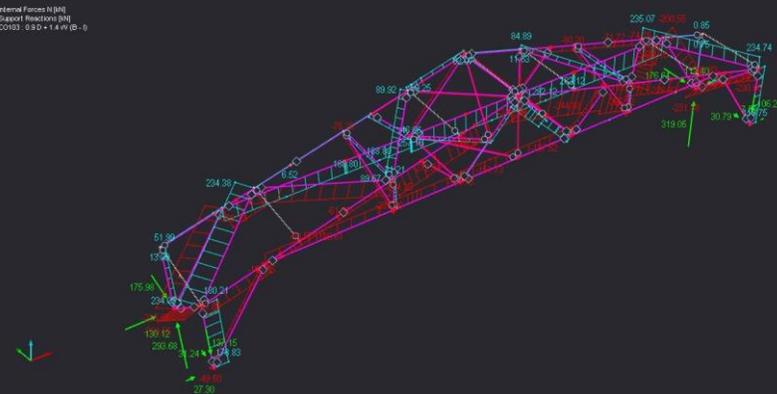
## ANALYSE STRUCTURELLE

### ● STABILISATION

TRIANGULATION DANS LE PLAN DE TOITURE  
REPRISE DES EFFORTS DE VENTS ET DE  
STABILISATION DES FERMES  
- COMPRESSION / 80 (ART. 9.2.5 EN 1995-1-1)



Internal Forces N (kN)  
Support Reactions (kN)  
Contour: 0.50 - 1.4 m (B - 1)



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## POSITIONS DES JOINTS DE TRANSPORT

- **ARBALÉTRIER**

CONNEXION RIDIDE AU POINT DE MOMENT NUL  
(1.25 D + 1.5 S)

PLAQUES EN ÂME AVEC BROCHES

- **TIRANT**

TENSION PURE

MOISES BOIS

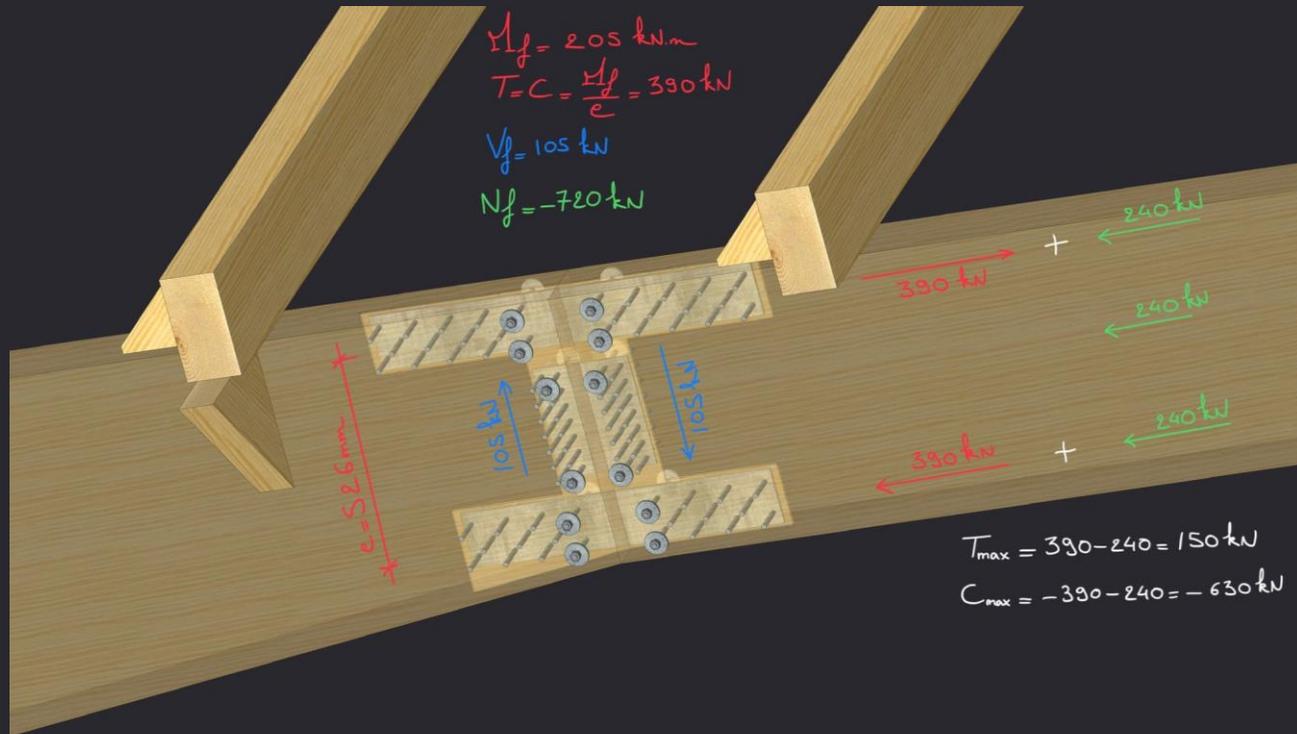




# ETUDE D'ASSEMBLAGES

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ASSEMBLAGE ARBALÉTRIER



### 1 Nombre de broches - Moment

Assemblage brochés ( $d = 12 \text{ mm}$ ) avec plaque en âme - sollicitation parallèle au fil

### 2 Nombre de broches - Cisaillement

Assemblage broché ( $d = 12 \text{ mm}$ ) avec plaque en âme - sollicitation perpendiculaire au fil

### 3 Rigidité de l'assemblage

3.a Détermination de la rigidité rotationnelle de l'assemblage - calcul  $K_{ser}$  (EN1995-1-1)

3.b Ajout de la rigidité au modèle d'analyse

3.c Validation des efforts dans la connexion après une analyse au 2nd ordre

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ASSEMBLAGE ARBALÉTRIER

BOLTED CONNECTION YIELDING RESISTANCE		
CSA O86-09 ART. 10.4.4.2		
<b>A - Member 1</b>	<b>Nordiclam</b>	<b>Failure modes capacities</b>
<i>b</i>	184 mm	(a) 20,3 kN
<i>t<sub>1</sub></i>	87 mm	(b) 143,6 kN
<i>f<sub>1</sub></i>	18,3 MPa	(c) 71,8 kN
<b>B - Member 2</b>	<b>Steel 300W</b>	(d) 9,0 kN
<i>t<sub>2</sub></i>	10 mm	(e) 5,4 kN
<i>f<sub>2</sub></i>	1130,6 MPa	(f) 32,8 kN
		(g) 9,8 kN
<b>C - Dowel or bolt</b>	<b>A307</b>	<b>Total connection capacity</b>
<i>d<sub>f</sub></i>	12,7 mm	<i>n<sub>u</sub></i> 9,0 kN
<i>f<sub>y</sub></i>	310,0 MPa	<b><i>N<sub>r</sub></i> 201,0 kN</b>
<b>D - Geometrical properties</b>		
<i>θ</i>	0 deg	
<i>n<sub>f</sub></i>	14	
<i>n<sub>s</sub></i>	2	
<b>E - Reduction factors</b>		
<i>Φ<sub>v</sub></i>	0,8	
<i>K<sub>D</sub></i>	1	
<i>K<sub>SF</sub></i>	1	
<i>K<sub>T</sub></i>	1	

$f_1 d_f t_1$		(a)
$f_2 d_f t_2$		(b)
$\frac{1}{2} f_2 d_f t_2$		(c)
$f_1 d_f^2 \sqrt{\frac{1}{6} \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \frac{f_y}{f_1} + \frac{1}{5} \frac{t_1}{d_f}}$		(d)
$f_1 d_f^2 \sqrt{\frac{1}{6} \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \frac{f_y}{f_1} + \frac{1}{5} \frac{t_2}{d_f}}$		(e)
$f_1 d_f \frac{1}{5} \left( \frac{t_1}{d_f} + \frac{f_2 t_2}{f_1 d_f} \right)$		(f)
$f_1 d_f^2 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \frac{f_y}{f_1}}$		(g)

### 1 Nombre de broches - Moment

Assemblage brochés (d = 12 mm) avec plaque en âme - sollicitation parallèle au fil

### 2 Nombre de broches - Cisaillement

Assemblage broché (d = 12 mm) avec plaque en âme - sollicitation perpendiculaire au fil

### 3 Rigidité de l'assemblage

3.a Détermination de la rigidité torsionnelle de l'assemblage - calcul *K<sub>ser</sub>* (EN1995-1-1)

3.b Ajout de la rigidité au modèle d'analyse

3.c Validation des efforts dans la connexion après une analyse au 2nd ordre

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ASSEMBLAGE ARBALÉTRIER

### Section 7 Etats limites de service

#### 7.1 Glissement des assemblages

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

NOTE

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

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

a) Le jeu doit être ajouté spécifiquement à la déformation.

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

(2) Si les masses volumiques moyennes de deux éléments assemblés à base de bois sont différentes ( $\rho_{m,1}$  et  $\rho_{m,2}$ ), alors il convient de prendre  $\rho_m$  dans les équations ci-dessus selon :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \rho_{m,2}} \quad \dots (7.1)$$

### 1 Nombre de broches - Moment

Assemblage brochés ( $d = 12$  mm) avec plaque en âme - sollicitation parallèle au fil

### 2 Nombre de broches - Cisaillement

Assemblage broché ( $d = 12$  mm) avec plaque en âme - sollicitation perpendiculaire au fil

### 3 Rigidité de l'assemblage

3.a Détermination de la rigidité torsionnelle de l'assemblage - calcul  $K_{ser}$  (EN1995-1-1)

3.b Ajout de la rigidité au modèle d'analyse

3.c Validation des efforts dans la connexion après une analyse au 2nd ordre

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

ASSEMBLAGE ARBALÉTRIER - BONNES PRATIQUES

- **PLAQUE ACIER INTERFACE  
COMPRESSION**

EFFET DE "PEIGNE" - INTERPÉNÉTRATION DES  
FIBRES DE BOIS

- **BOULONS FERMETURE JOINT**

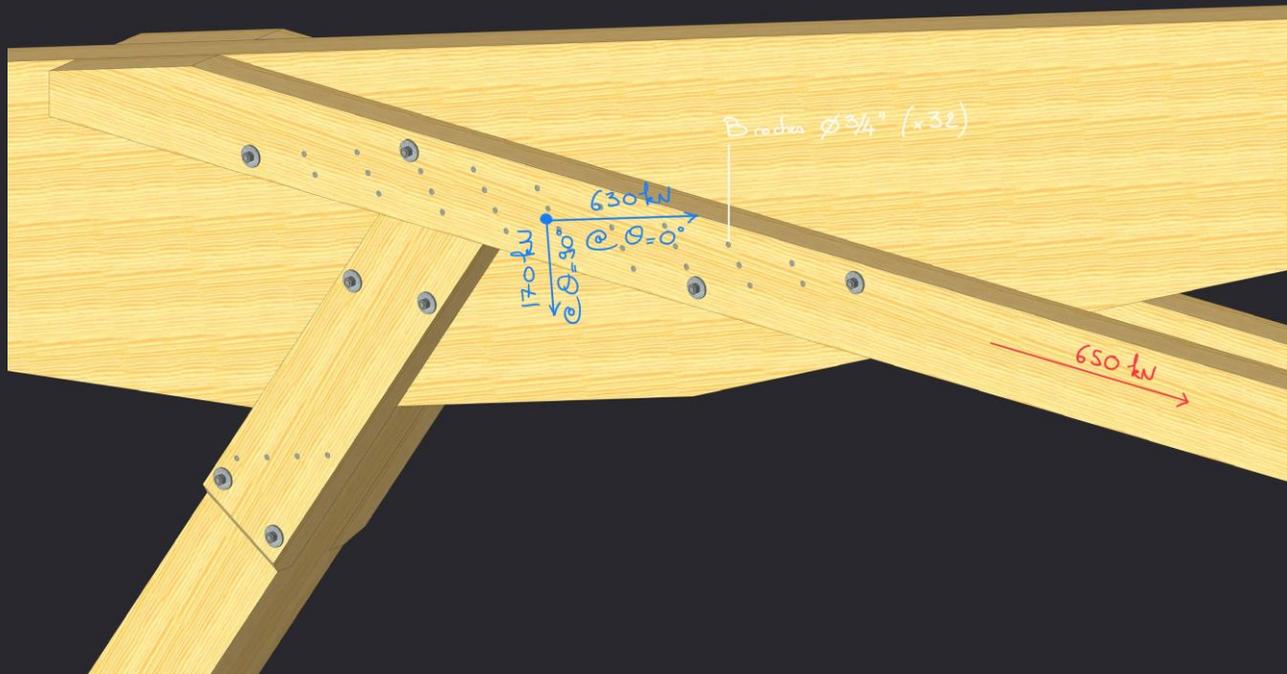
- **UTILISATION DE VIS DE FRETTAGES**

RENFORCE CAPACITÉ DU JOINT - VOIR EN 1995-1-1



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ASSEMBLAGE ENTRAIT



### 1 Nombre de broches - Tension

Assemblage brochés (d = 19 mm) par moises

Rupture ductile - rotule plastique dans les broches

### 2 Vérification de la tension nette - rupture de bloc

Vérification rapide de la tension nette

Faire l'assemblage le plus long possible pour éviter rupture de bloc

### 3 Rigidité de l'assemblage

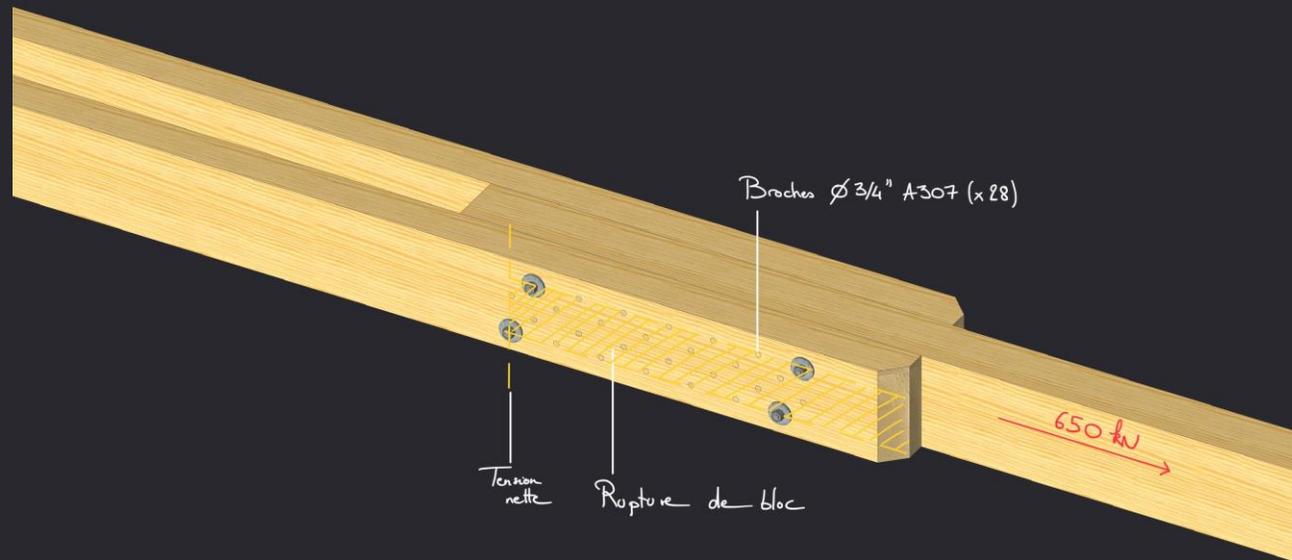
3.a Détermination de la rigidité axiale de l'assemblage

3.b Ajout de la rigidité au modèle d'analyse

3.c Validation des efforts dans la connexion après une analyse au 2nd ordre

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ASSEMBLAGE ENTRAIT



### 1 Nombre de broches - Tension

Assemblage brochés ( $d = 19$  mm) par moises

### 2 Rigidité de l'assemblage

3.a Détermination de la rigidité axiale de l'assemblage

3.b Ajout de la rigidité au modèle d'analyse

3.c Validation des efforts dans la connexion après une analyse au 2nd ordre

# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

ASSEMBLAGE ARBALÉTRIER - BONNES PRATIQUES

- **ÉVITER LA TENSION PERPENDICULAIRE AU FIL**

DERNIER ORGANE DE FIXATION A AU MOINS 70% DE LA HAUTEUR DE POUTRE - SIA 265

- **BOULONS FERMETURE JOINT**

- **ALTERNATIVE VIS @ 45 DEGRÉS**

CONNEXION PLUS RIGIDE  
PAS DE POSITIONNEMENT DES PIÈCES



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

## ATTACHE DES PANNES DE TOIT – STABILISATION LONGITUDINALE

- **ÉCHANTIGNOLLES BOIS**

VISSÉES À LA STRUCTURE (VIS VG @ 45 DEGRÉS)  
PRÉINSTALLATION DES ÉCHANTIGNOLLES AUX  
ARBALÉTRIERS

- **BLOCAGE BOIS**

VISSÉ À LA PANNE  
TRANSMISSION DES EFFORTS DE STABILISATION



# FERME BIOLOGIQUE ZWYGART

ATTACHE DES PANNES DE TOIT - STABILISATION LONGITUDINALE

- **STABILISATION LONGITUDINALE**

CONTREVENTEMENTS LC VISSÉS SOUS PANNES  
CONNEXION AUX ARBALÉTRIERS ET POTEAUX

- **AVANTAGES**

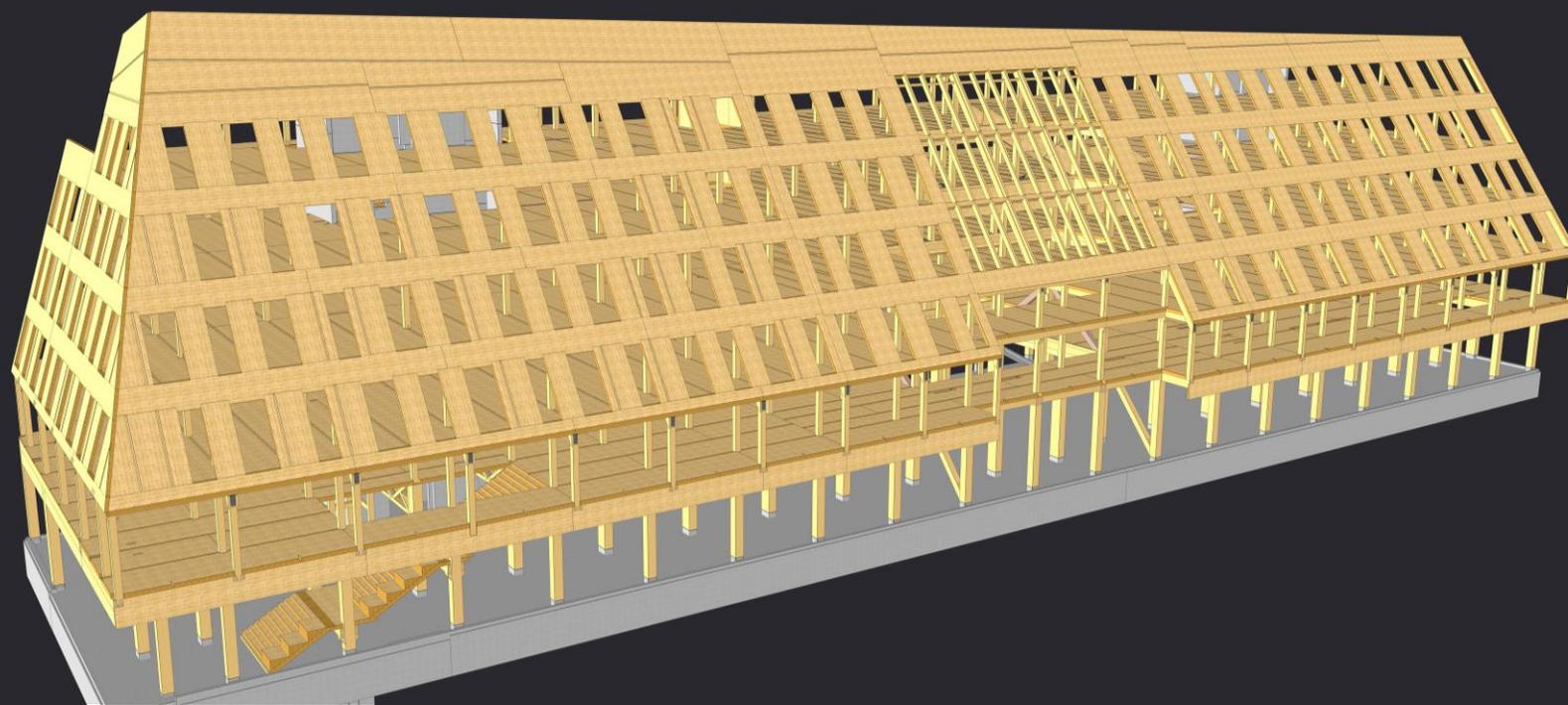
CONTROLE DE L'INSTALLATION DES  
CONTREVENTEMENTS FACILE  
ANALYSE SIMPLE  
CONNEXIONS BROCHÉES

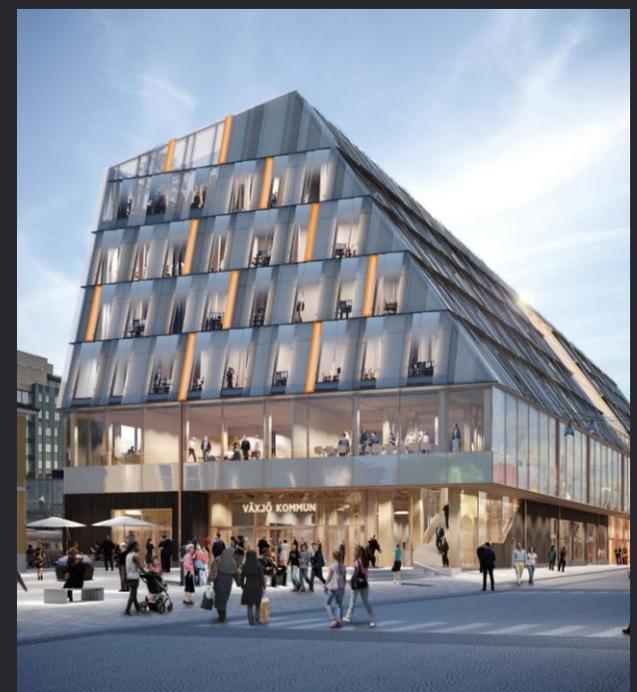


# ÉTUDE DE CAS 2

GARE FERROVIAIRE ET BÂTIMENT ADMINISTRATIF  
VILLE DE VÄXJÖ (SUÈDE)

CLIENT: VILLE DE VÄXJÖ  
CHARPENTE: BINDERHOLZ  
INGÉNIERIE STRUCTURE: KAMBIUM





# GARE DE VÄXJÖ

FERME SUPPORT ÉTAGES SUPÉRIEURS

- **FERME MIXTE BOIS-MÉTAL**

TENSION: TIRANT MÉTAL

COMPRESSION: LAMELLÉ-COLLÉ AVEC RENFORT LOCAL EN LVL

- **RESISTANCE AU FEU 1H**

ASSEMBLAGES ET TIRANTS MÉTALLIQUES  
PROTÉGÉS PAR 50 mm LAMELLÉ-COLLÉ



# GARE DE VÄXJÖ

FERME SUPPORT ÉTAGES SUPÉRIEURS

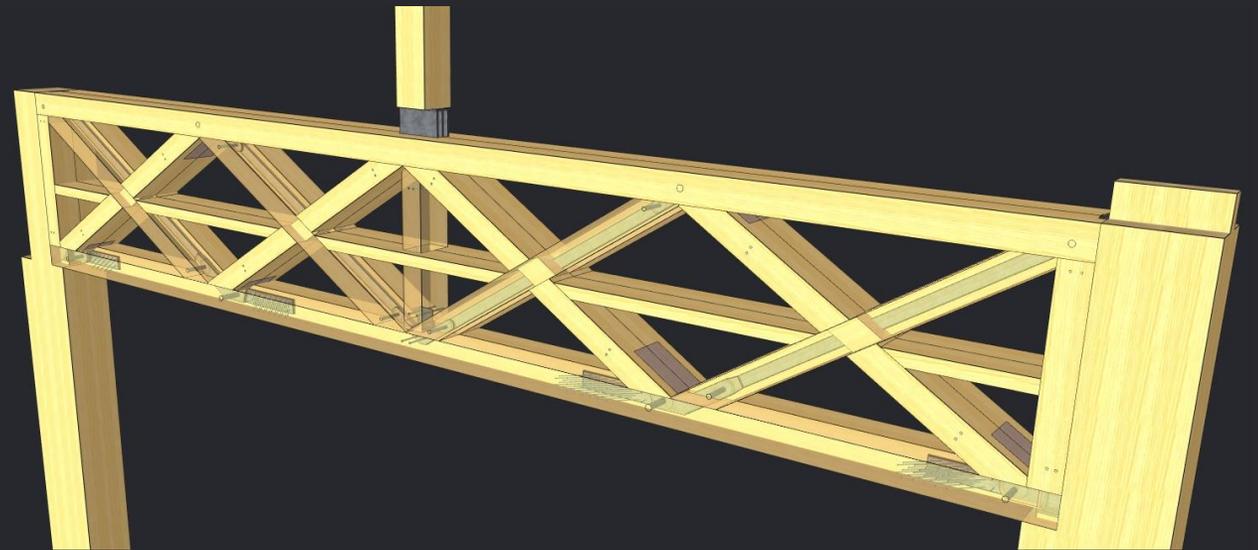
- **FERME MIXTE BOIS-MÉTAL**

TENSION: TIRANT MÉTAL

COMPRESSION: LAMELLÉ-COLLÉ AVEC RENFORT LOCAL EN LVL

- **RESISTANCE AU FEU 1H**

ASSEMBLAGES ET TIRANTS MÉTALLIQUES  
PROTÉGÉS PAR 50 mm LAMELLÉ-COLLÉ



# GARE DE VÄXJÖ

## FERME SUPPORT ÉTAGES SUPÉRIEURS

- **ASSEMBLAGE TIRANT MÉTALLIQUE - BOIS**

PLAQUES VISSÉE (VIS @ 45 DEGRÉS) SUR LA FACE INTÉRIEURE DE CHAQUE DEMI-FERME  
CONNEXION PLAQUE - TIRANT PAR PIN ACIER (PROTÉGÉE PAR BOUCHONS DE BOIS)

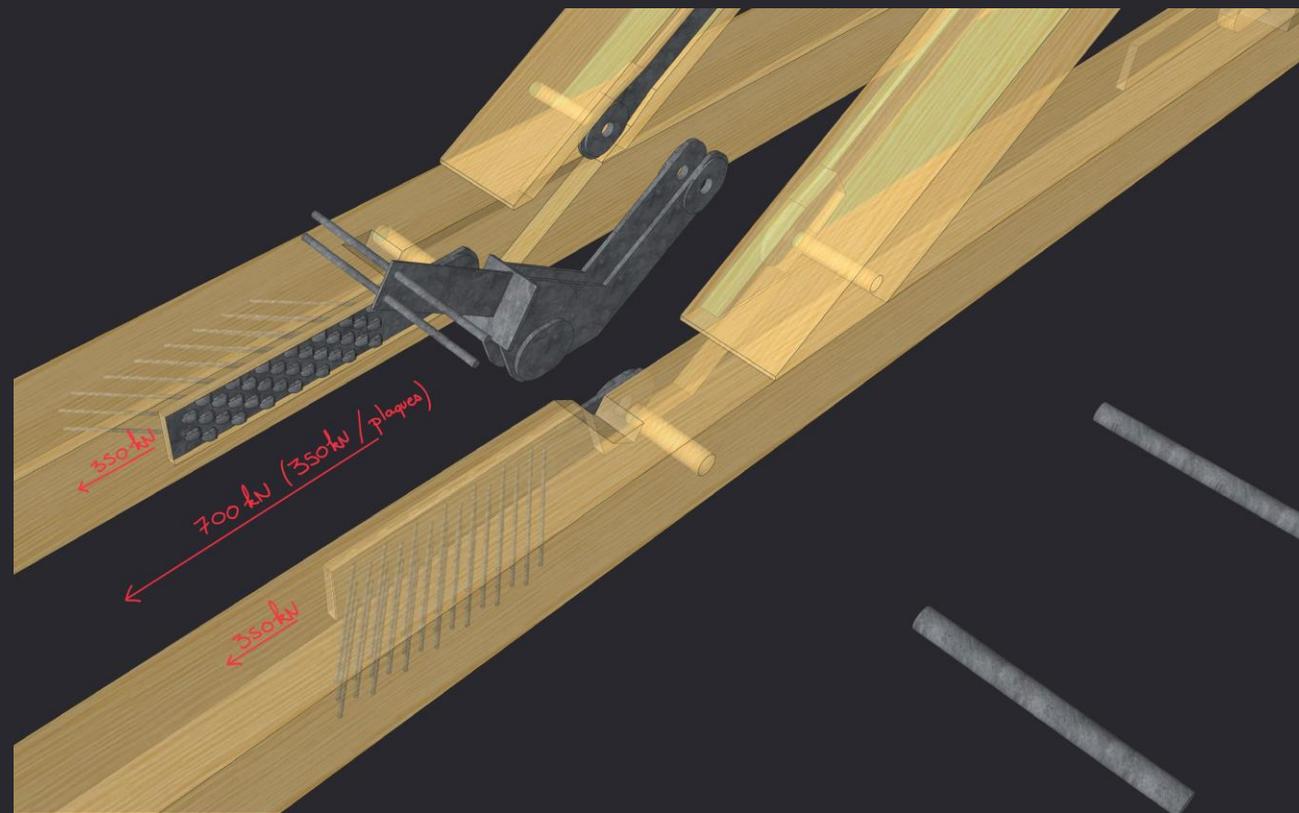
- **AVANTAGES DE LA CONNEXION**

GRANDE RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE VISSÉ

ASSEMBLAGE COMPACT

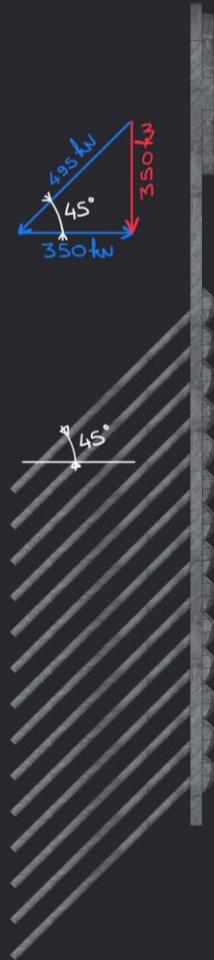
INFLUENCE DES JEUX D'ASSEMBLAGES DANS LES CONNEXIONS MÉTALLIQUES FAIBLE

L'EXTRÉMITÉ DES VIS ET DES PLAQUES A MIN. 50 mm DU BORD DU BOIS (FRR 1h)



# GARE DE VÄXJÖ

## FERME SUPPORT ÉTAGES SUPÉRIEURS



- 1 Longueur efficace de filet dans le bois**
- 2 Détermination de la capacité en traction de la vis dans connection bois - métal**
  - 2.a Capacité caractéristique du filetage  $f_{ax,k}$
  - 2.b Capacité en traction de la vis  $f_{tens,k}$  (voir données fabricant)
  - 2.c Capacité de la vis = min. (capacité filetage; capacité tension)
- 3 Détermination du nombre efficace de vis**
- 4 Détermination de la capacité totale de l'assemblage**

# QUESTIONS

DAVID MIZRAHI, ing., M.S.