

# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



## Équipe de projet

- Client:

**Boischatel**  
The history exceptionalists

- Architectes:

**ABCP**

- Ingénieurs:



- Entrepreneur général:

**DURAND**  
CONSTRUCTION

- Fabricant structure:



**cecobois**

# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Crédit photo: Stéphane Groleau

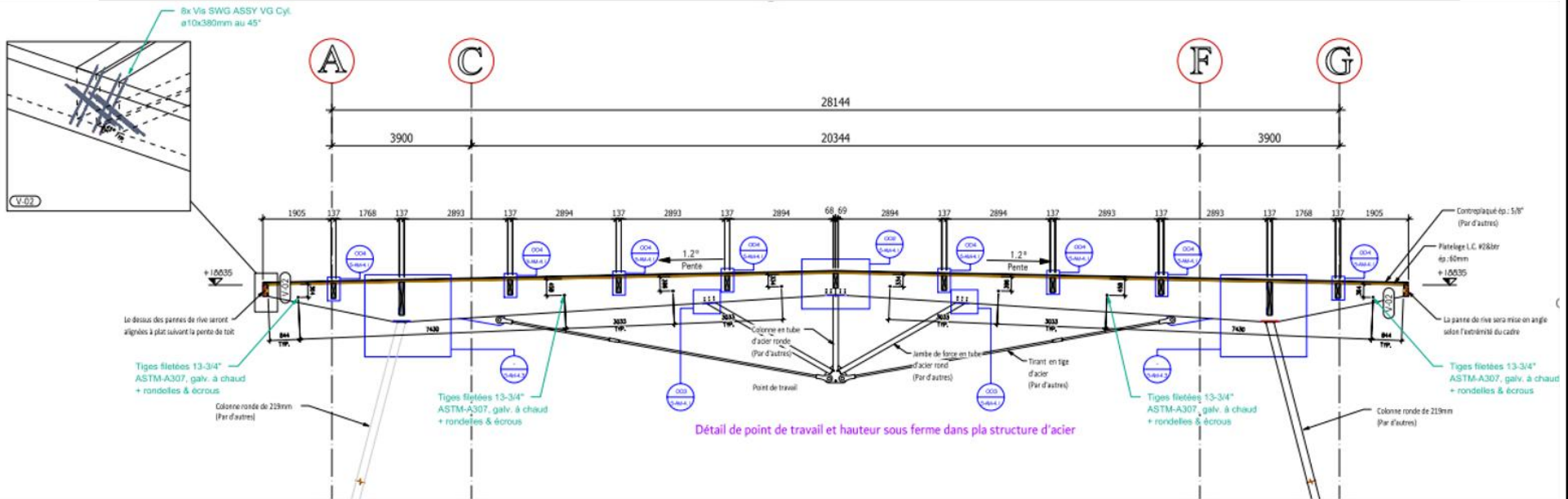


Crédit photo: Stéphane Groleau

**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

## Poutre sous-tendue à inertie variable



cecobois



# Ferme hybride bois-acier

## Poutres sous-tendues et forces déstabilisantes

Le treillis permet de faire varier localement l'inertie du système porteur

- Poutre à haute performance dans le plan de la toiture
- Le sous-tirant permet de créer des appuis intermédiaires élastiques
- Permet de réduire les moments dans la membrure supérieure.

Ratio de hauteur pour prédimensionnement

$$h \geq \frac{l}{12}$$

Rapport l/h fermes parc des saphirs (axe neutre)

$$\frac{l}{h} \geq \frac{24,2m}{2,6m} = 9,3$$

Exemple de formes structurale de poutres sous-tendues

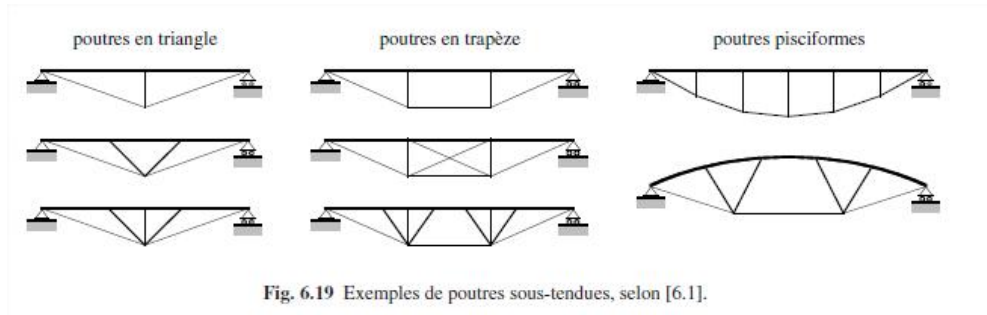


Fig. 6.19 Exemples de poutres sous-tendues, selon [6.1].

(Naterrer, Sandoz, Rey, Fiaux.)

**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

## Poutres sous-tendues et forces déstabilisantes

Système de stabilisation des poinçons

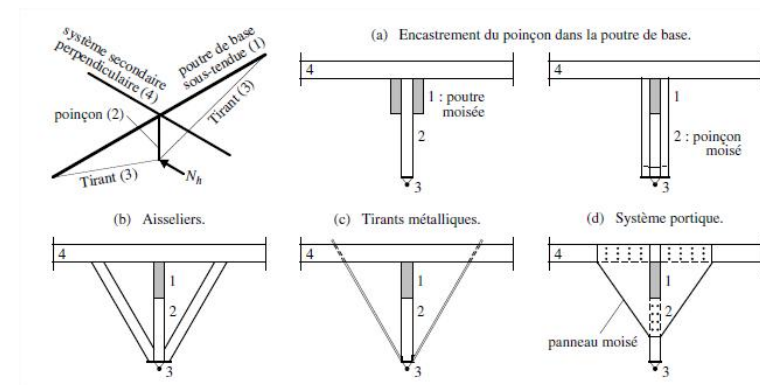
- Le plus simple est de stabiliser le poinçon dans le plan perp. à l'axe de la poutre haute.

Ajout de tirants pour la stabilisation hors plan

- Un calcul du 2<sup>e</sup> ordre permet de définir l'effort horizontal  $N$  par tirant.

$$N = \text{entre } \frac{-P}{50} \text{ et } \frac{-P}{70}$$

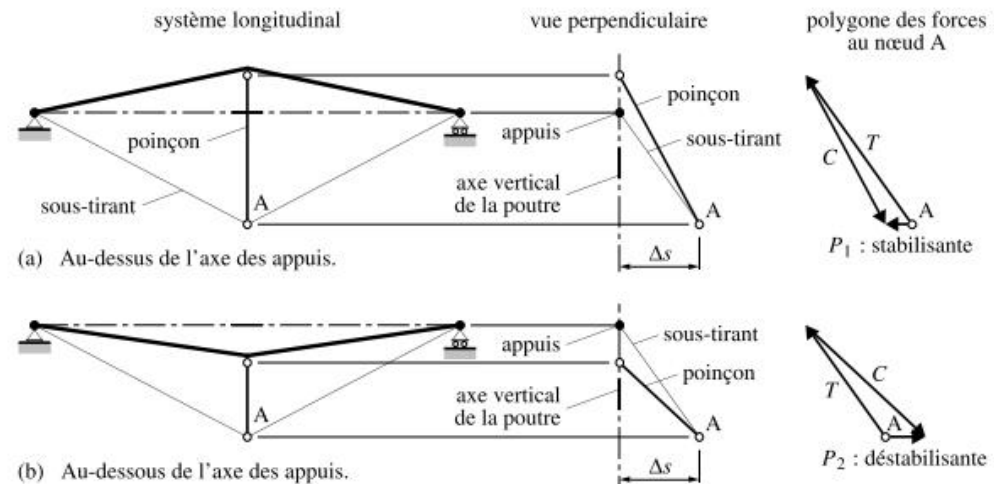
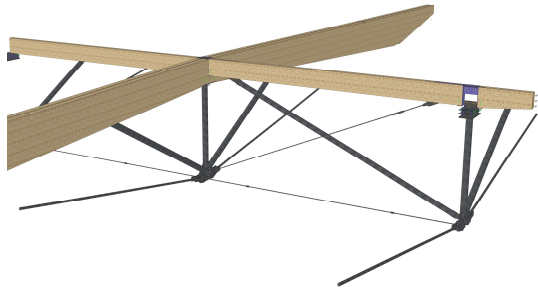
(Naterrer, Sandoz, Rey, Fiaux.)



cecobois

# Ferme hybride bois-acier

## Poutre sous-tendues et forces déstabilisantes



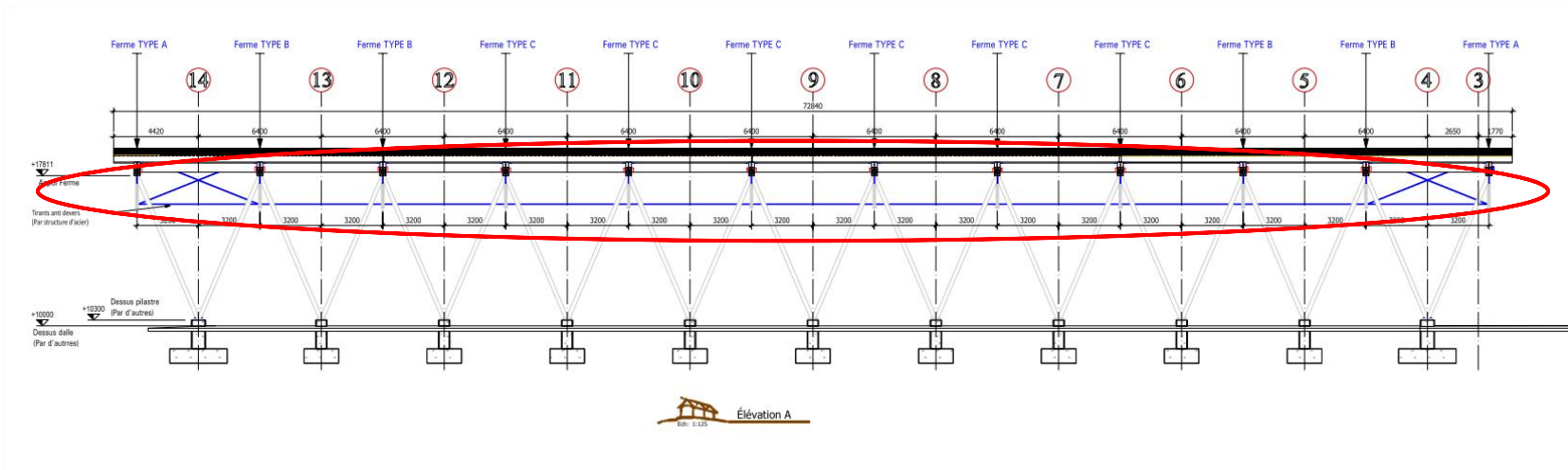
**Fig. 6.22** Poutre sous-tendue: mise en évidence des forces stabilisantes ou déstabilisantes dans le cas d'une poutre de base brisée.

Construction en bois, Matériaux, technologie et dimensionnement, Traité de Génie Civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, Volume 13, Julius Naterrer, Jean Luc Sandoz, Martial Rey, Maurice Fiaux, 560 p.

**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

## Poutre sous-tendues et forces déstabilisantes









cecobois

# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec

- Intégration de la DFM (design for manufacturing) au projet
  - Optimisation de la méthode de fabrication des arbalétriers
    - Résistances prévu vs. Rendement matière vs. Méthode de fabrication

		Stratégies possibles de fabrication des arbalétriers			
		Lamelles alignées face supérieure		Lamelles alignées face inférieure	
		Caractéristiques: Meilleure résistance en flexion négative		Caractéristiques: Meilleure résistance en flexion positive	
Prix bois LC (\$/m <sup>3</sup> )	1400				
volume réel pièce fini (m <sup>3</sup> )	1,8				
pcs/jour	6				
nb de jours de prod	8	 <p><b>LC collé en bloc</b></p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p> <p>volume pièce brute (m<sup>3</sup>) 2,41 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,61 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 29,28 rendement matière 75% Perte projet/ (\$) 40 992,00 \$</p>		 <p><b>LC collé en bloc</b></p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p> <p>volume pièce brute (m<sup>3</sup>) 2,77 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,97 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 46,56 rendement matière 65% Perte projet/ (\$) 65 184,00 \$</p>	
pcs/jour	4	 <p><b>LC collé en escalier</b></p> <p>Fabrication complexe et plus longue ++ Bon rendement matière</p> <p>volume lamelle (m<sup>3</sup>) 1,97 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,17 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 8,16 rendement matière 91% Perte projet/ (\$) 11 424,00 \$</p>		 <p><b>LC collé en escalier</b></p> <p>Fabrication complexe et plus longue +++ Bon rendement matière</p> <p>volume lamelle (m<sup>3</sup>) 2,05 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,25 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 12 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 800,00 \$</p>	
pcs/jour	12	 <p><b>LC collés en bloc de 2 pièces</b></p> <p>Simple de fabrication (dimensions de pièce importante par contre) Limite une partie des pertes de matière</p> <p>volume pièce brute 2 pièces (m<sup>3</sup>) 4,09 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,49 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 11,76 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 464,00 \$</p>		 <p><b>LC collés en bloc de 2 pièces</b></p> <p>Fabrication (dimensions de pièce importante par contre) Limite une partie des pertes de matière</p> <p>volume pièce brute 2 pièces (m<sup>3</sup>) 4,09 volume pertes (m<sup>3</sup>) 0,49 volume pertes total projet (m<sup>3</sup>) 11,76 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 464,00 \$</p>	
nb de jours de prod	4				

cecobois



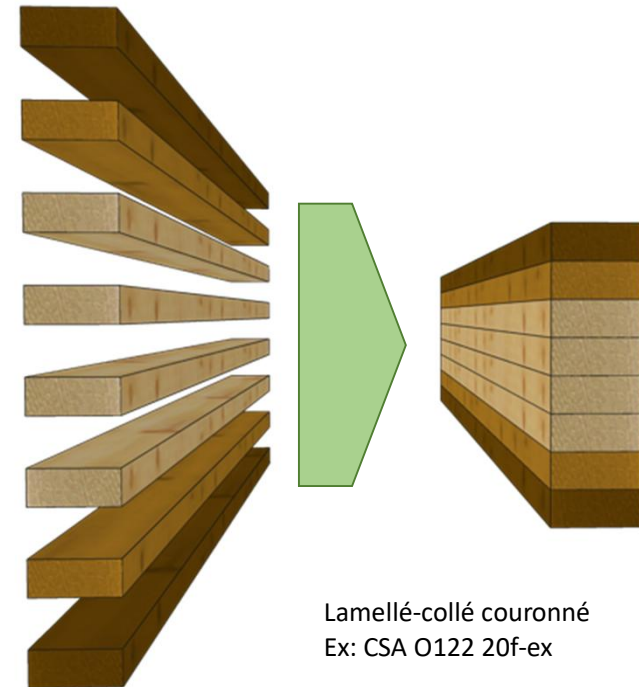
# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec

- Intégration de la DFM (design for manufacturing) au projet
  - Lamellé-collé homogène vs. couronné



**Bois lamellé-collé Nordic Lam**  
Rapport d'évaluation CCMC 13216-R



Lamellé-collé couronné  
Ex: CSA O122 20f-ex

**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

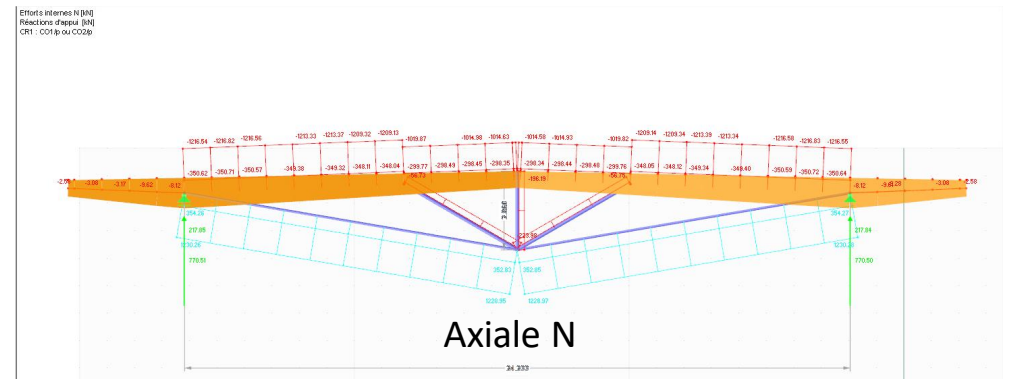
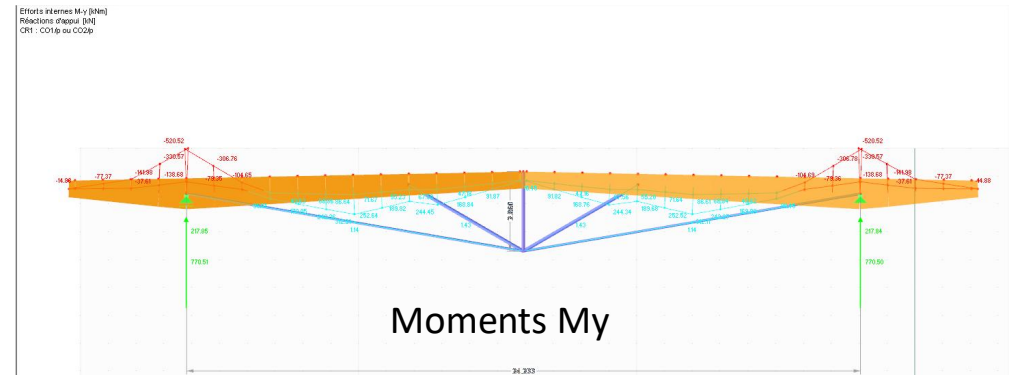
## Critères et prémisses de conception

### Charge permanente (D) :

Liste de choix :	Toiture (D <sub>toit</sub> ) T2	Épaisseur (mm)	Charges
15	Feutres et gravillons 5 plis	64	0,31 kN/m <sup>2</sup>
19	Toiture en rouleaux		0,05 kN/m <sup>2</sup>
95	Contreplaqué, Toutes essences		0,10 kN/m <sup>2</sup>
89	Platelage de 64 mm (É-P-S)		0,28 kN/m <sup>2</sup>
	Structure des fermes		0,25 kN/m <sup>2</sup>
		<b>D<sub>toit</sub></b>	<b>0,99 kPa</b>
		<b>D<sub>toit sans structure</sub></b>	<b>0,74 kPa</b>

### Grande Toiture ( Cas de charge I pour un toit à deux versants )

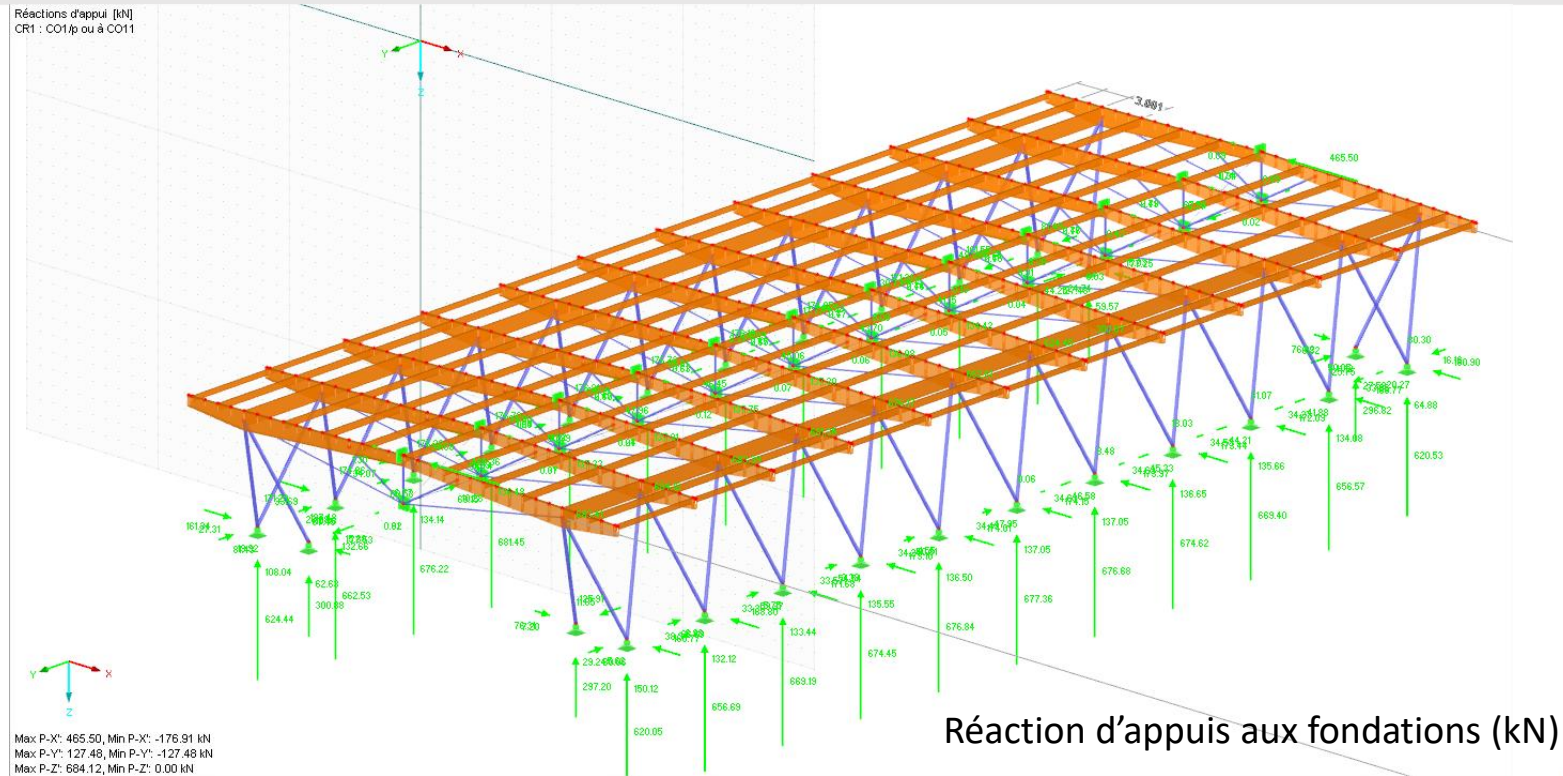
État limite ultime:	S <sub>ELU</sub> Cas I	3,32	kN/m <sup>2</sup>
État limite de service:	S <sub>ELS</sub> Cas I	2,99	kN/m <sup>2</sup>



**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

## Critères et prémisses de conception

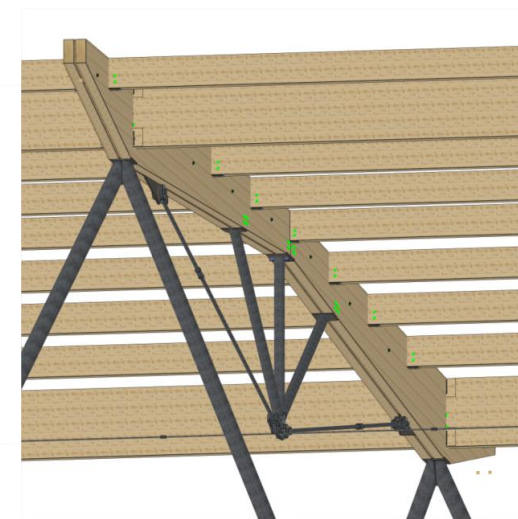
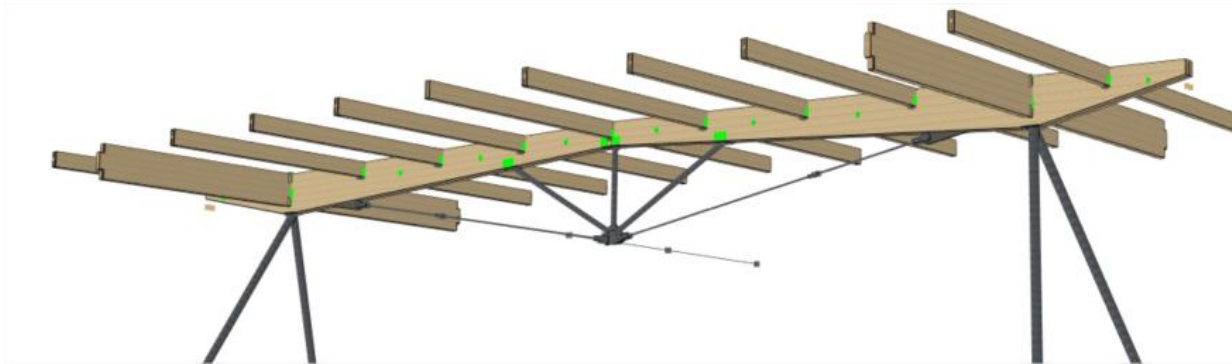


**cecobois**

# Ferme hybride bois-acier

Stratégie d'optimisation des fermes et de la structure

- Modification pour pièces de bois moisées
  - Permet de dissimuler plus facilement les assemblages.
  - Permet un espace entre les fermes pour le passage électrique

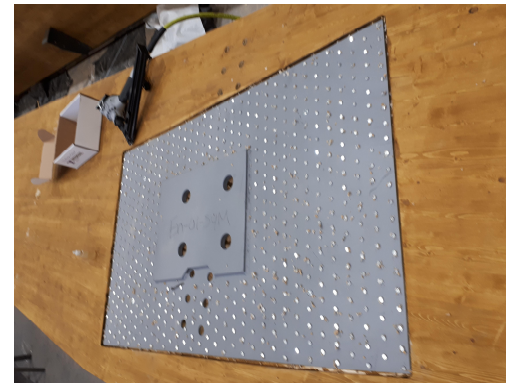
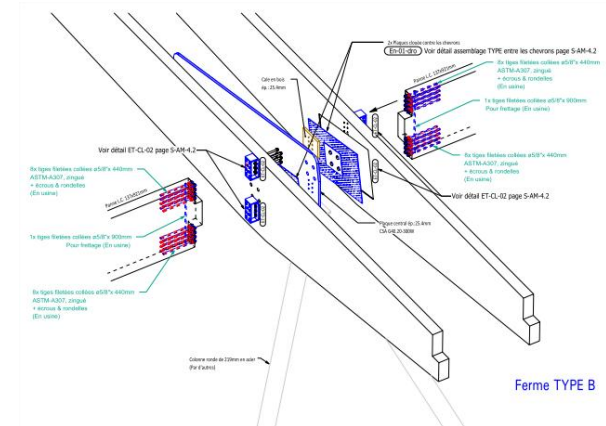
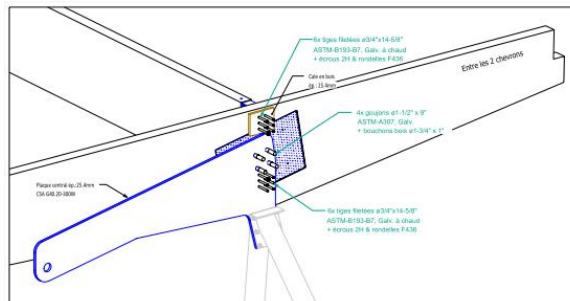


cecobois

# Ferme hybride bois-acier

## Conception et connexions

- Assemblages par clés de cisaillement clouées
  - Les clous permettent des connexions efficaces à un coût intéressant
    - Ratio « \$/kN » très bas
  - Installation facile, surtout en usine
    - Utilisation d'outil pneumatique
  - La pose engendre un affaiblissement minimal « faible coefficient d'entaille »
  - La multitude de petits connecteurs permet d'atteindre une ductilité dans toutes les directions
  - Contrôle de la qualité facile (assemblages visibles)



- 586 clous par cotés

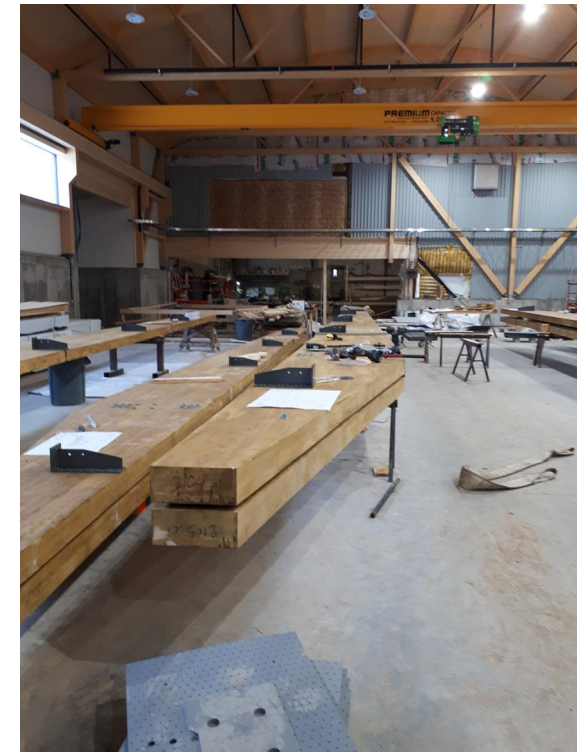
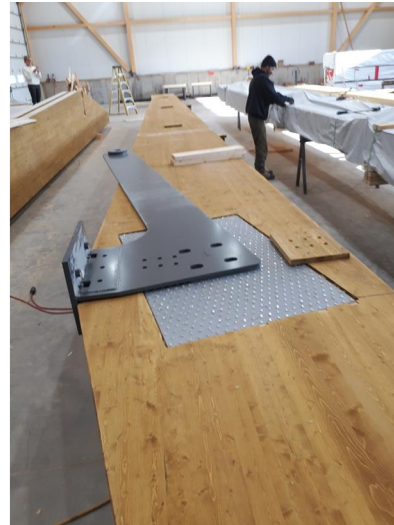
**cecobois**



# Ferme hybride bois-acier

## Fabrication en usine

- Préfabrication et pré assemblage des demis-arbalétriers en usine



cecobois

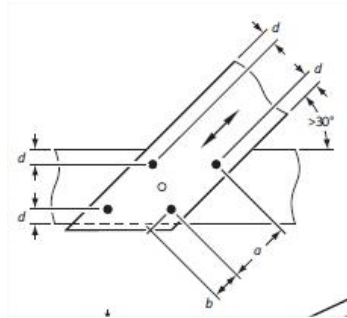
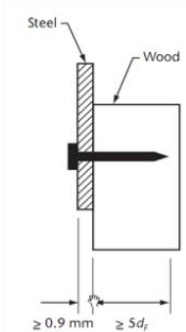
# Ferme hybride bois-acier

## Conception et connexions

### Exemple de calcul connexion clouée.

Caractéristiques des clous:		Caractéristiques de l'élément central:	
Longueur:	38 mm	Matériau:	Bois lamellé-collé
Diamètre (d <sub>f</sub> ):	3,8 mm	Essence:	Épinette-Pin
Nombre de clous (Nr):	586	Épaisseur:	137 mm
	1 plaque	2 plaques	Hauteur:
Caractéristiques de l'élément extérieur:		Densité rel. (G):	0,47 Bois Nordic Lam
Matériau:	Acier		
Épaisseur:	4,8 mm		
Hauteur:	664 mm		
Quantité:	1		

f <sub>1a</sub> :	1130,63	Mpa	Résistance à l'enfoncement dans l'acier	* Voir le calcul plus bas
f <sub>2</sub> :	22,61	Mpa	Résistance à l'enfoncement de l'élément principal,	$f_{2v} = 50 G (1 - 0.01 d_f)$
f <sub>3</sub> :	27,19	Mpa	Résistance à l'enfoncement de l'élément principal dans le cas d'une rupture ductile de l'attache,	$f_{3v} = 110 G^{1.8} (1 - 0.01 d_f)$
f <sub>y</sub> :	610	MPa	Limite d'élasticité du clou ou de la pointe,	$f_{yv} = 50 (16 - d_f)$
t <sub>1</sub> :	4,8	mm	Épaisseur de l'élément côté tête des clous d'un assemblage à deux éléments	
			Épaisseur minimale de la plaque de jonction d'un assemblage à trois éléments	
t <sub>2</sub> :	33,2	mm	Profondeur de pénétration dans l'élément côté pointe des clous d'un assemblage à 2 éléments	
* Résistance à l'enfoncement de la plaque de jonction en acier				
$f_{1a} = K_{sp} \left( \frac{\Phi_{acier}}{\Phi_{bois}} \right) f_u$				
k <sub>sp</sub>	3,00		Acier doux conforme aux CSA G40.21 or ASTM A 36/A 36M	
φ acier	0,67		Acier doux conforme aux CSA G40.21 or ASTM A 36/A 36M	
φ bois	0,8			
F <sub>u</sub>	450		450 MPa pour l'acier conforme à la CSA G40.21, nuances 300W and 350W	
f <sub>1a</sub>	1130,63	MPa		



**Tableau 12.9.2.1**  
**Espacements minimaux des clous et des pointes**

Dimension*	Espace minimal (en diamètres des clous)	
	Douglas-mélèze, pruche-sapin et thuya géant	Épinette-pin-sapin et essences nordiques
a — Espacement parallèle au fil	20	16
b — Distance d'extrémité parallèle au fil	15	12
c — Espacement perpendiculaire au fil	10	8
d — Distance d'extrémité perpendiculaire au fil	5	4

\*Voir la figure 12.9.2.1.

Espacements choisis:

a:	61	mm
b:	60	mm
c:	31	mm
d:	16	mm



# Ferme hybride bois-acier

## Conception et connexions

### Exemple de calcul connexion clouée (suite).

$n_u$	1,50	KN	Résistance latérale unitaire, N (Clause 12.9.4.2)			
(a)	$f_t d_1$			a)	20,62	KN
(b)	$f_t d_2$			b)	2,85	KN
(c)	$\frac{1}{2} f_t d_1$			c)	-	
(d)	$f_t d_1^2 \left( \frac{1}{6} \frac{f_b}{(l_1 + l_2)} \frac{f_c}{f_t} + \frac{1}{5} \frac{f_t}{d_1} \right)$			d)	4,87	KN
(e)	$f_t d_1^2 \left( \frac{1}{6} \frac{f_b}{(l_1 + l_2)} \frac{f_c}{f_t} + \frac{1}{5} \frac{f_t}{d_1} \right)$			e)	29,28	KN
(f)	$f_t d_1^2 \frac{1}{5} \left( \frac{f_t}{d_1} + \frac{f_t}{f_t} \frac{f_c}{f_t} \right)$			f)	4,69	KN
(g)	$f_t d_1^2 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{f_b}{(l_1 + l_2)} \frac{f_c}{f_t}}$			g)	1,50	KN

Mode de ductilité conception: mode (g) 2 rotules plastiques

$N_r = \phi \times N_u \times n_f \times J_f$		Résistance latérale pondérée [12.9.4.1]
$N_u = n_u (K_D K_{SF} K_T)$		
$\phi$	0,8	
$k_d$	1,00	
$k_{SF}$	1,00	
$k_T$	1,00	
$n_f$	586	
$J_F = J_E J_A J_B J_D$		
$J_E$	1,00	Cas autres que le clouage parallèle au fil de bout
$J_A$	1,00	Cas autres que le clouage en biais
$J_B$	1,00	Clous non rivetés ou dans le cas d'un assemblage à trois éléments ou plus
$J_D$	1,00	Cas autres que la construction en diaphragme
$J_F$	1,00	

La résistance de l'assemblage de clous:		
Nr 1pl.	703,4 KN	1 plaque
Nr 2pl.	1406,7 KN	2 plaques

- $N_r = 1406 \text{ kN} > T_f = 1215 \text{ kN} + 170 \text{ kN} = 1385 \text{ kN}$   
 Effort max de l'entrait      Effort provenant de l'angle des colonnes

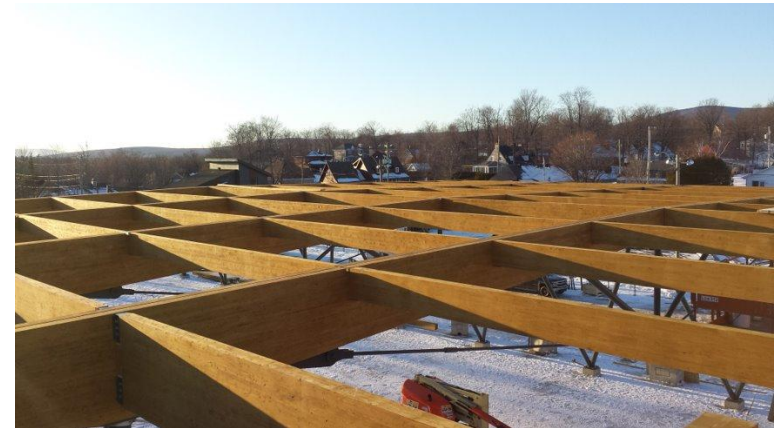


# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Crédit photo: Art Massif



Crédit photo: Art Massif



**cecobo**is



# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Crédit photo: Durand construction



Crédit photo: Art Massif

**cecobois**



# Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Crédit photo: Stéphane Groleau

**cecobois**

# Assurer la qualité en chantier

## Gestion de l'eau et de l'humidité en chantier



Photo: Durand Construction

- Coordination des intervenants (couvreur, structure, etc.)
- Rôle de l'entrepreneur général
- Accompagnements des professionnels

**cecobois**





**MERCI DE VOTRE ATTENTION !**



(418) 650-7193



[www.cecobois.com](http://www.cecobois.com)



1175 avenue Lavigerie  
Bureau 200  
Québec (QC), G1V 4P1

**cecobois**

Centre d'expertise  
sur la construction  
commerciale en bois

Photo: Stéphane Groleau