

Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Équipe de projet

- Client:

Boischatel
The history exceptionalists

- Architectes:

ABCP

- Ingénieurs:



- Entrepreneur général:

DURAND
CONSTRUCTION

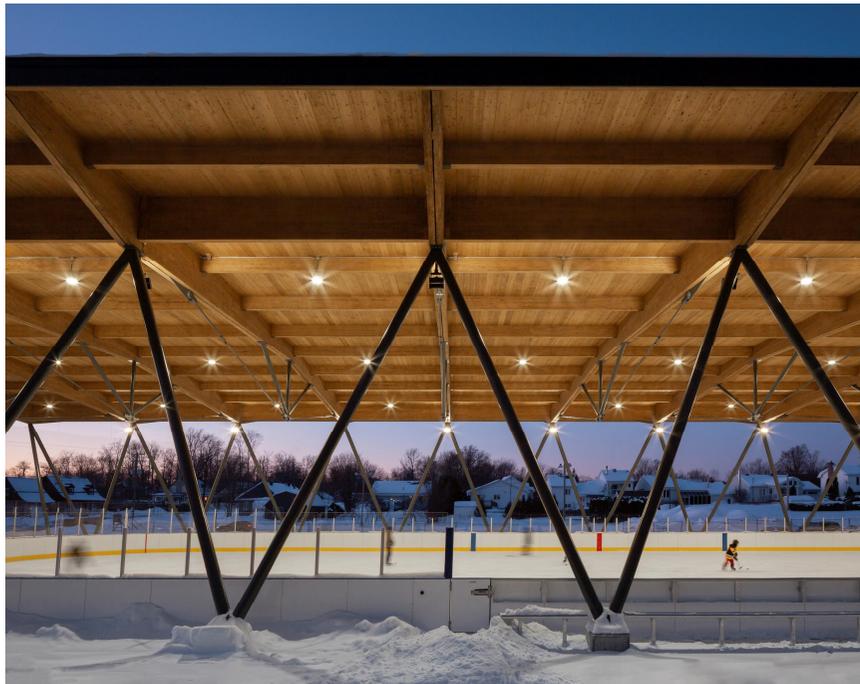
- Fabricant structure:



cecobois

Patinoire Parc des Saphirs

Boischatel, Québec



Crédit photo: Stéphane Groleau

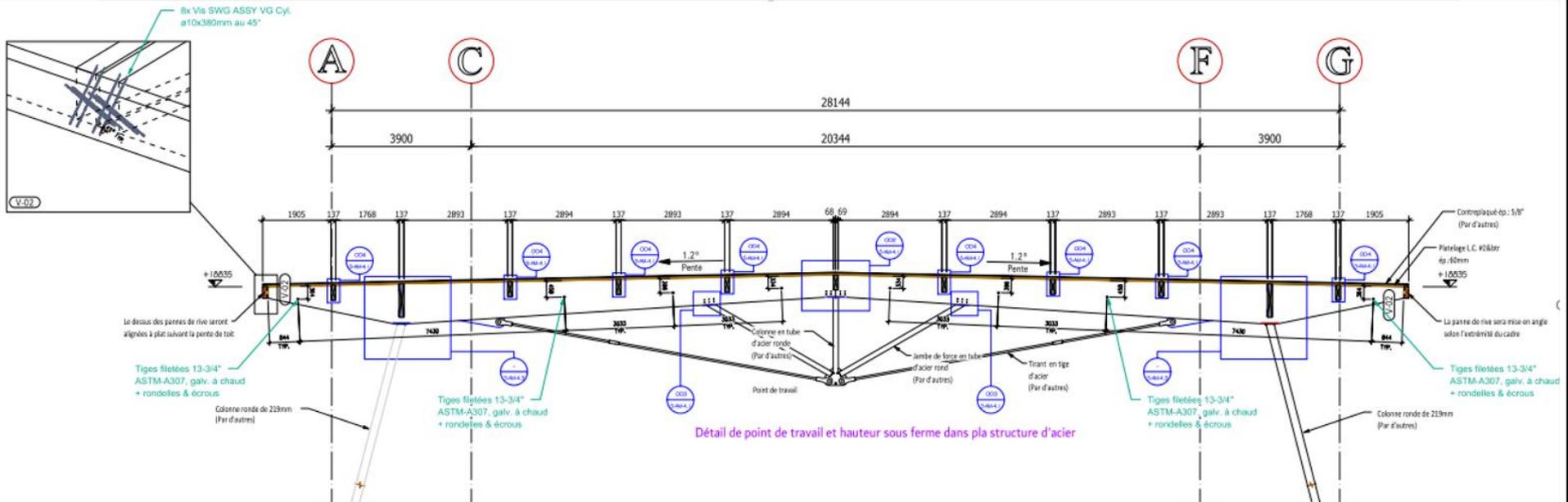


Crédit photo: Stéphane Groleau

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

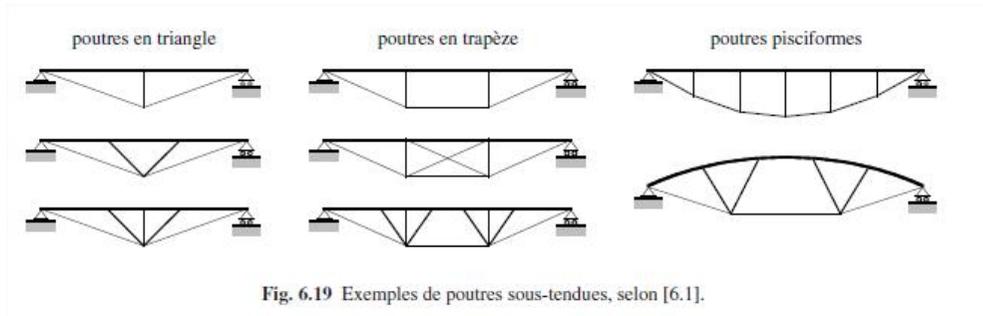


Fig. 6.19 Exemples de poutres sous-tendues, selon [6.1].

(Naterrer, Sandoz, Rey, Fiaux.)

cecobois

Ferme hybride bois-acier

Poutres sous-tendues et forces déstabilisantes

Système de stabilisation des poinçons

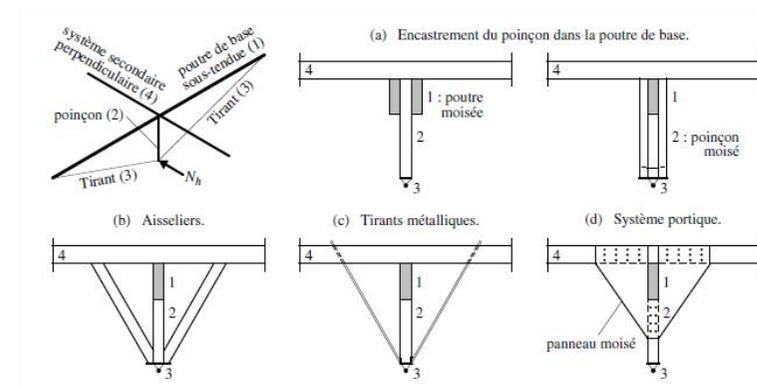
- Le plus simple est de stabiliser le poinçon dans le plan perp. à l'axe de la poutre haute.

Ajout de tirants pour la stabilisation hors plan

- Un calcul du 2^e 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

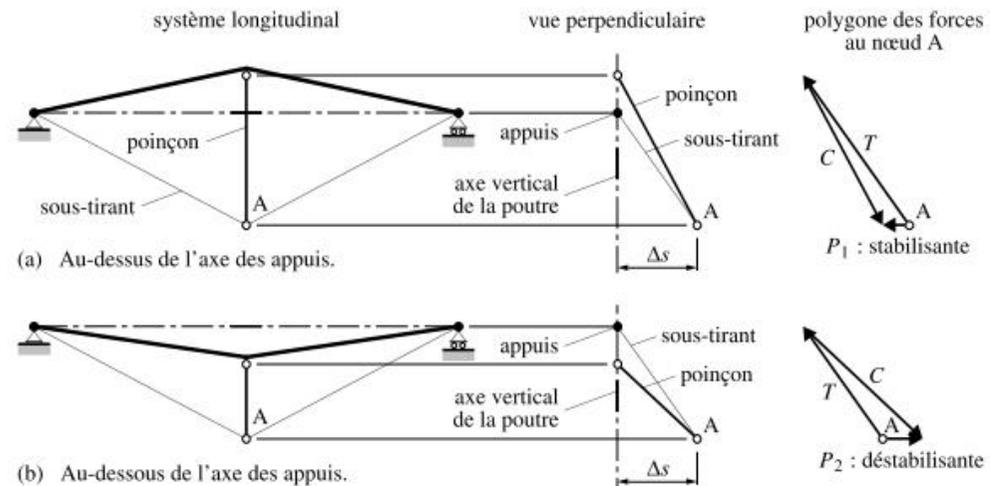
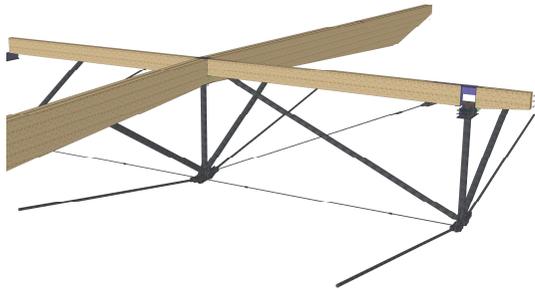


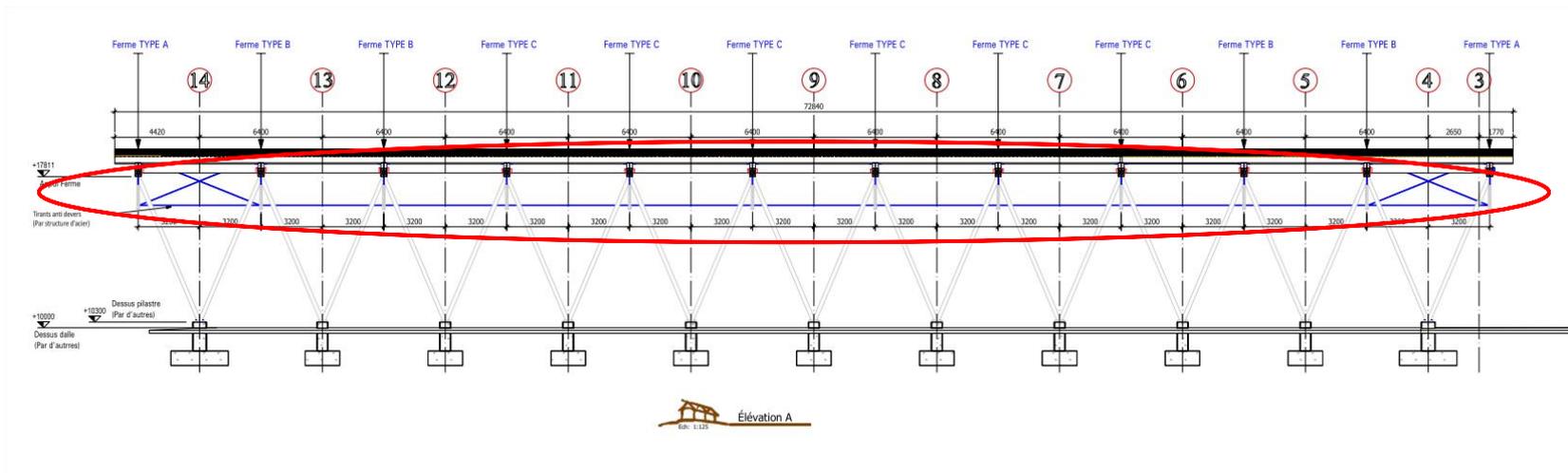
Fig. 6.22 Poutre sous-tendue: mise en évidence des forces stabilisantes ou déstabilisantes dans le cas d'une poutre de base brisée.

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

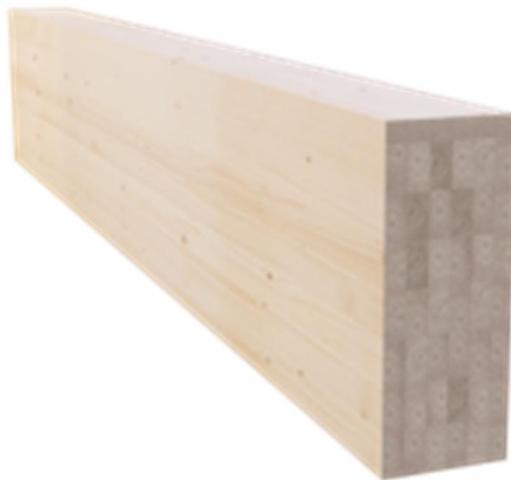
		Stratégies possibles de fabrication des arbalétriers			
		Lamelles alignées face supérieure		Lamelles alignées face inférieure	
		Caractéristiques: Meilleure résistance en flexion négative		Caractéristiques: Meilleure résistance en flexion positive	
Prix bois LC (\$/m ³)	1400				
volume réel pièce fini (m ³)	1,8				
pcs/jour	6				
nb de jours de prod	8	 <p>LC collé en bloc</p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p> <p>volume pièce brute (m³) 2,41 volume pertes (m³) 0,61 volume pertes total projet (m³) 29,28 rendement matière 75% Perte projet/ (\$) 40 992,00 \$</p>		 <p>LC collé en bloc</p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p> <p>volume pièce brute (m³) 2,77 volume pertes (m³) 0,97 volume pertes total projet (m³) 46,56 rendement matière 65% Perte projet/ (\$) 65 184,00 \$</p>	
pcs/jour	4	 <p>LC collé en escalier</p> <p>Fabrication complexe et plus longue ++ Bon rendement matière</p> <p>volume lamelle (m³) 1,97 volume pertes (m³) 0,17 volume pertes total projet (m³) 8,16 rendement matière 91% Perte projet/ (\$) 11 424,00 \$</p>		 <p>LC collé en escalier</p> <p>Fabrication complexe et plus longue +++ Bon rendement matière</p> <p>volume lamelle (m³) 2,05 volume pertes (m³) 0,25 volume pertes total projet (m³) 12 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 800,00 \$</p>	
pcs/jour	12	 <p>LC collés en bloc de 2 pièces</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 (m³) 4,09 volume pertes (m³) 0,49 volume pertes total projet (m³) 11,76 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 464,00 \$</p>		 <p>LC collés en bloc de 2 pièces</p> <p>Fabrication (dimensions de pièce importante par contre) Limite une partie des pertes de matière</p> <p>volume pièce brute 2 pièces (m³) 4,09 volume pertes (m³) 0,49 volume pertes total projet (m³) 11,76 rendement matière 88% Perte projet/ (\$) 16 464,00 \$</p>	
nb de jours de prod	4				

cecobois

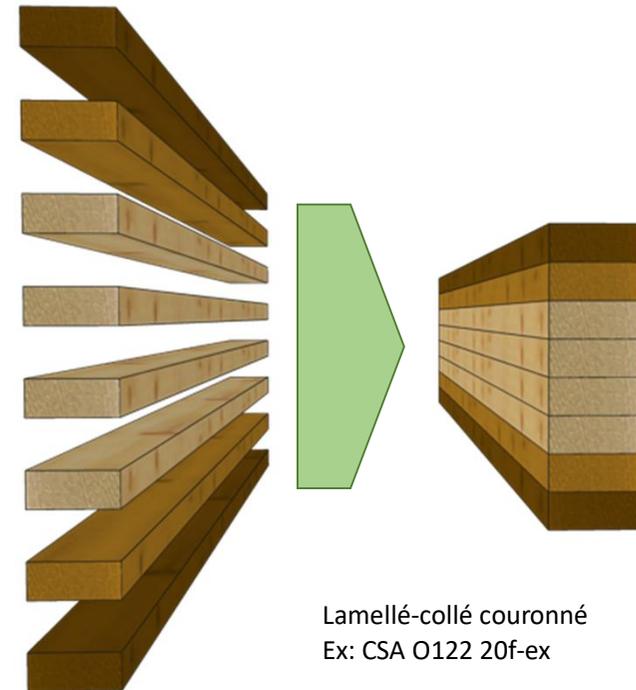
Patinoire Parc des Saphirs

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

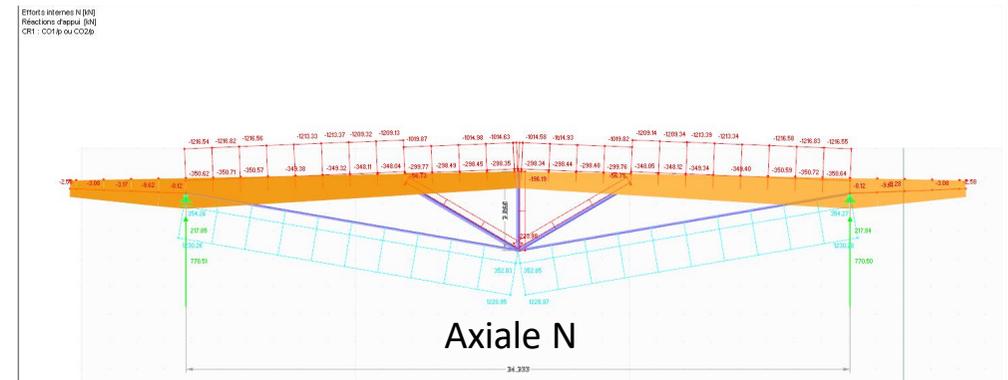
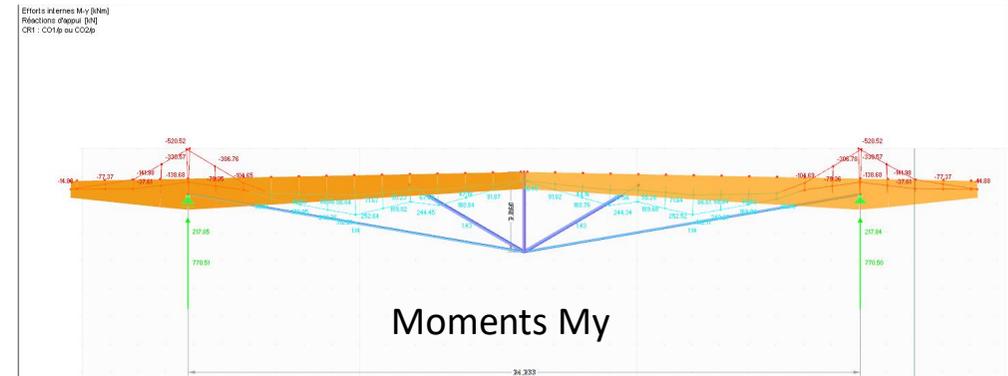
Critères et prémisses de conception

Charge permanente (D) :

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

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

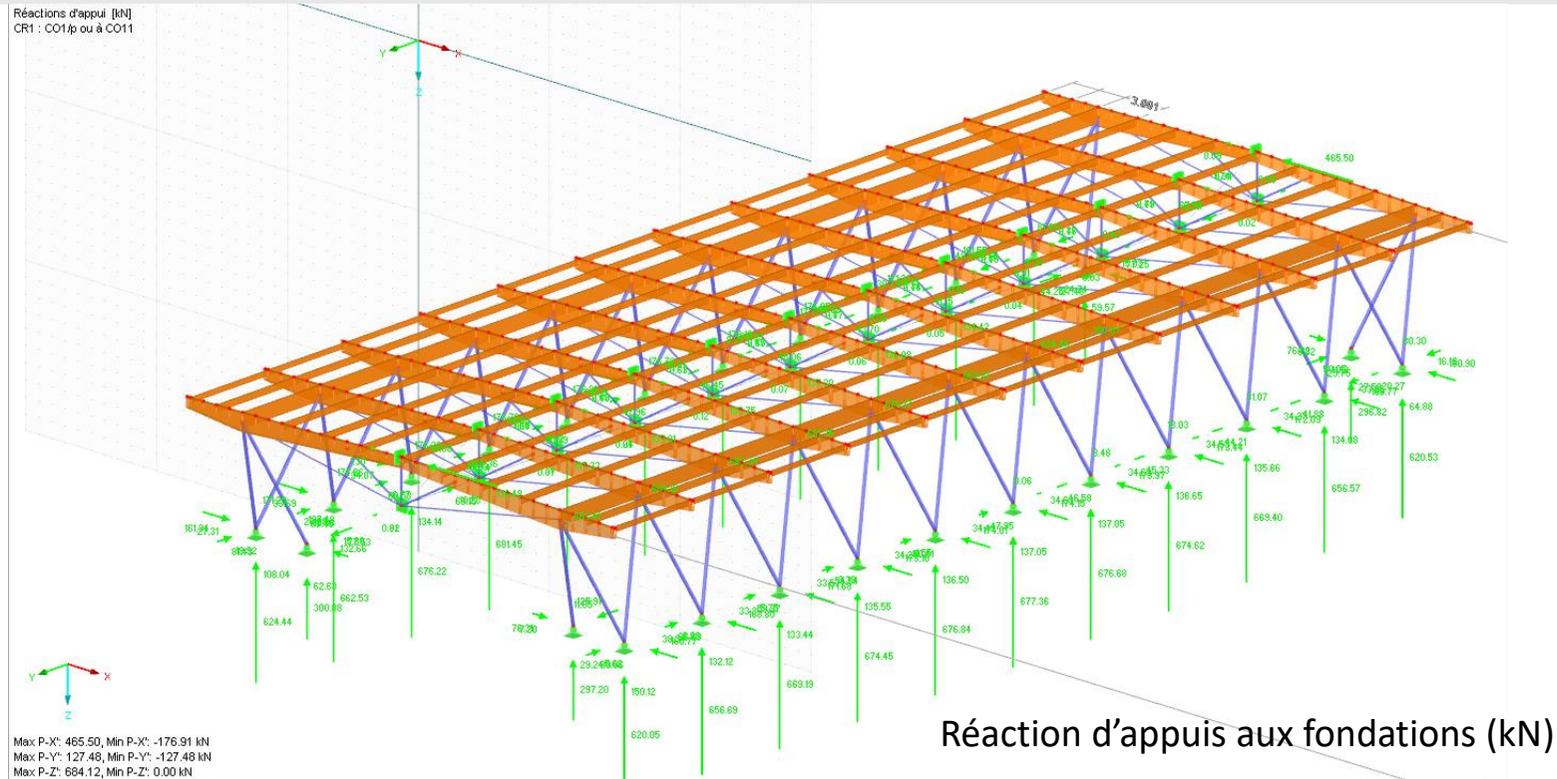
État limite ultime:	S _{ELU} Cas I	3,32	kN/m ²
État limite de service:	S _{ELS} Cas I	2,99	kN/m ²



cecobois

Ferme hybride bois-acier

Critères et prémisses de conception

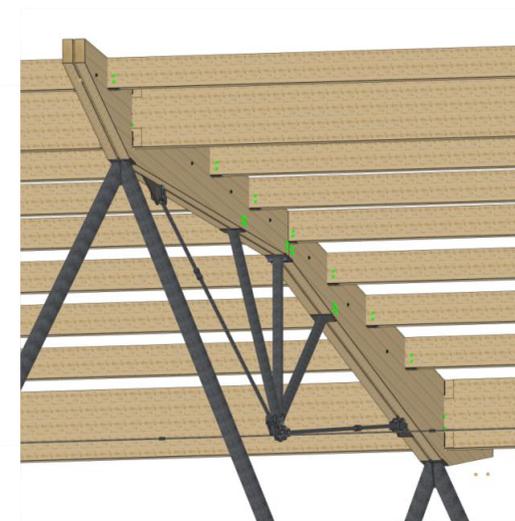
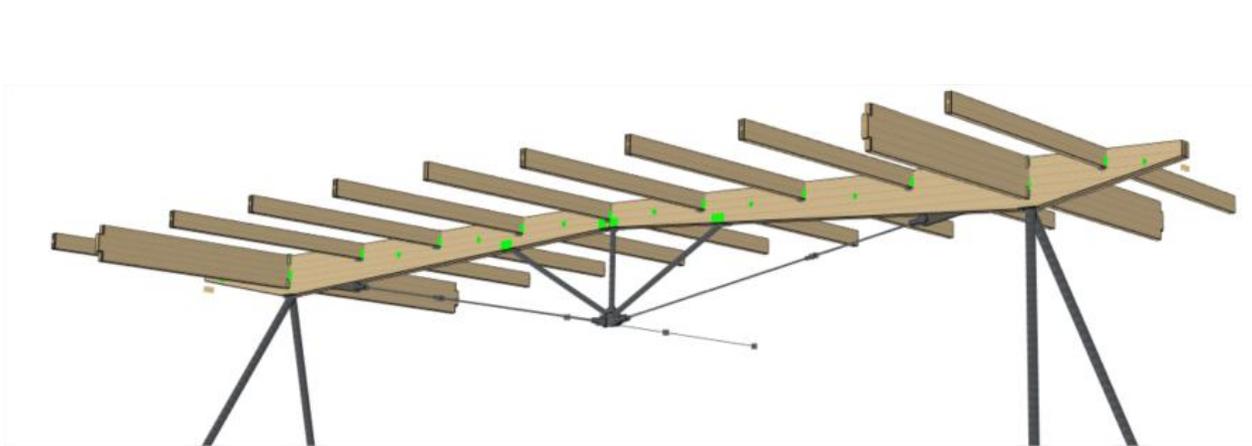


cecobois

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

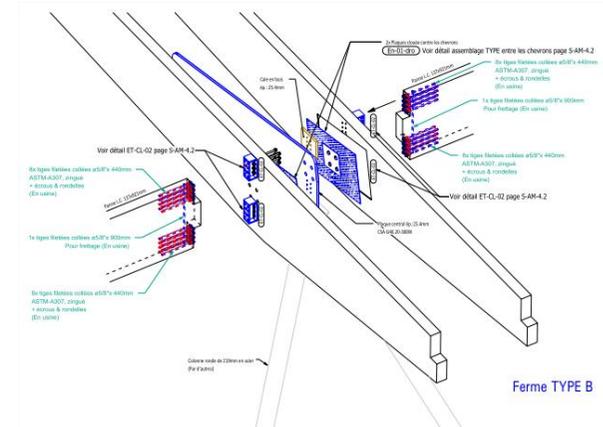
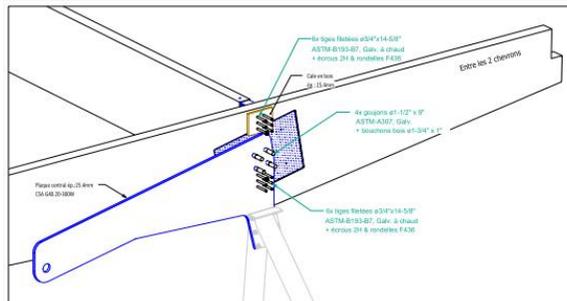


cecobois

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)



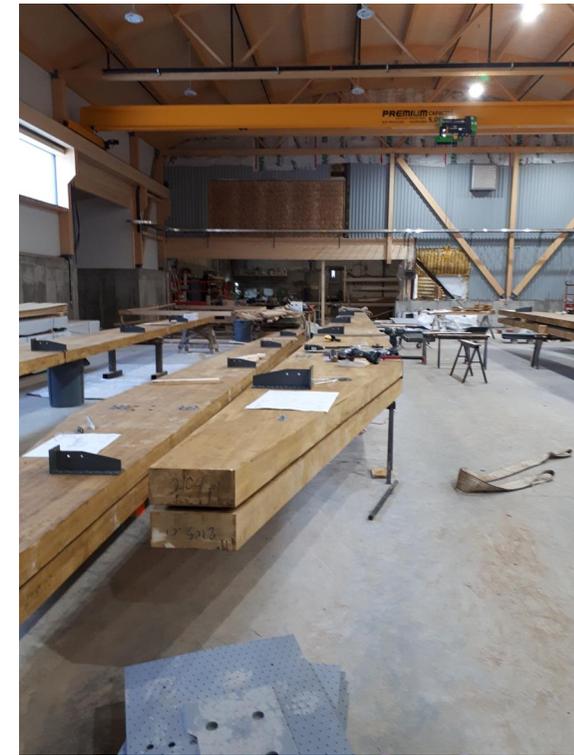
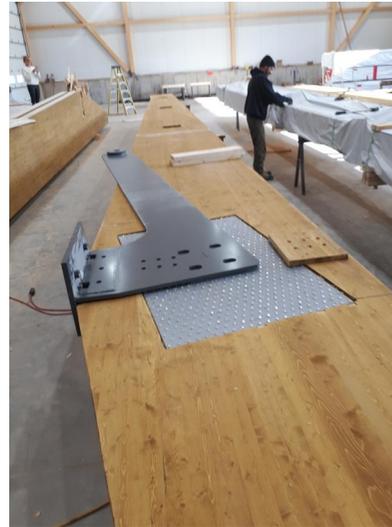
- 586 clous par cotés

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 _f):	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 _{1a} :	1130,63	Mpa	Résistance à l'enfoncement dans l'acier	* Voir le calcul plus bas
f ₂ :	22,61	Mpa	Résistance à l'enfoncement de l'élément principal,	$f_{2v} = 50 G (1 - 0.01 d_f)$
f ₃ :	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 _y :	610	MPa	Limite d'élasticité du clou ou de la pointe,	$f_{yv} = 50 (16 - d_f)$
t ₁ :	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 ₂ :	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 _{sp}	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 _u	450		450 MPa pour l'acier conforme à la CSA G40.21, nuances 300W and 350W	
f _{1a}	1130,63	MPa		

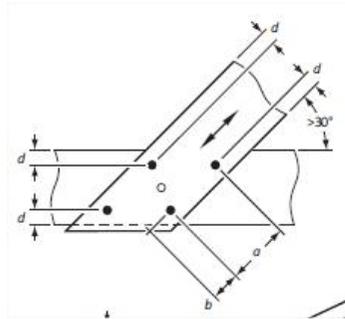
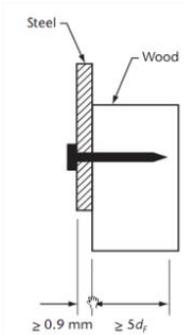


Tableau 12.9.2.1
Espacements minimaux des clous et des pointes

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)	$f_1 d_1$			a)	20,62	KN
(b)	$f_2 d_2$			b)	2,85	KN
(c)	$\frac{1}{2} f_2 d_1$			c)	-	
(d)	$f_1 d_1^2 \left(\frac{1}{6} \frac{f_2}{(l_1 + l_2)} \frac{f_2}{f_1} + \frac{1}{5} \frac{f_1}{d_1} \right)$			d)	4,87	KN
(e)	$f_1 d_1^2 \left(\frac{1}{6} \frac{f_2}{(l_1 + l_2)} \frac{f_2}{f_1} + \frac{1}{5} \frac{f_2}{d_1} \right)$			e)	29,28	KN
(f)	$f_1 d_1^2 \frac{1}{5} \left(\frac{f_1}{d_1} + \frac{f_2}{f_1} \frac{f_2}{d_1} \right)$			f)	4,69	KN
(g)	$f_1 d_1^2 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{f_2}{(l_1 + l_2)} \frac{f_2}{f_1}}$			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]
$N_u = n_u (K_D K_{SF} K_T)$		
ϕ	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



cecobois

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

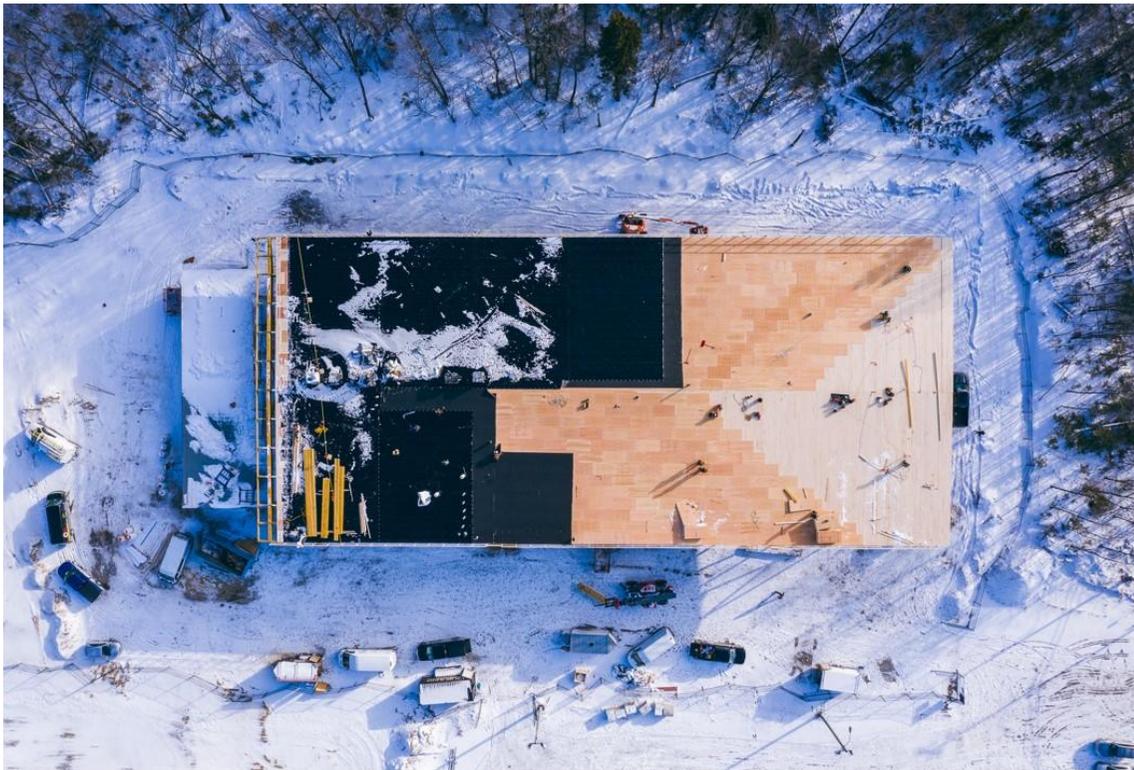


Photo: Durand Construction

- 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



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

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

Photo: Stéphane Groleau