

Bonnes pratiques de projets Gros Bois D'oeuvre

De la conception au chantier

Pros du bois automne 2021

12 et 19 novembre 2021

Guillaume Bédard Blanchet, ing.

Conseiller technique

gblanchet@cecobois.com



Photo: Stéphane Groleau

cecobois
Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

1

Plan de présentation

Mots clés: Structure de bois, mass timber, CNC, DFMA, chantier

- **Processus de la conception au chantier de structure de bois massif.**
 - **Conception**
 - Type de projets et type de processus de projet (design-bid-build, design/build)
 - Rôles et responsabilités des différentes parties selon le type de projet.
 - Intégration du manufacturier au processus de projet
 - Les points clés à la réussite d'un projet bois massif.
 - L'optimisation de projets de gros bois d'oeuvre
 - L'approche holistique pour les projets en bois
 - Comprendre l'origine des coûts pour projets « Mass timber »
 - Intégration du BIM aux projets bois
 - Intégration de la DFMA (Design for manufacturing and assembly) dans le processus
 - **Fabrication**
 - Type d'usinage bois (Usinage manuel, Fabrication soustractive (CNC, Laser, etc.), Fabrication additive (imprimante 3d, etc.)
 - Intégration de fabrication assistée par ordinateur (FAO), CAD-CAM
 - Concevoir en fonction des techniques de fabrication (DFM)
 - **Installation**
 - Préfabrication pour faciliter l'installation et de montage (DFA)
 - Assurer la qualité en chantier
 - Durabilité

cecobois

2

Avant-projet de construction bois

Public vs privé

Public

- Processus de conception intégrée (PCI)
 - Rassembler les différents intervenants essentiels à la bonne exécution d'un projet de construction dès les étapes préliminaires



Privé

- On appelle cela « réaliser un projet »

But réel:
Concevoir et réaliser un projet répondant aux besoins et objectifs du client

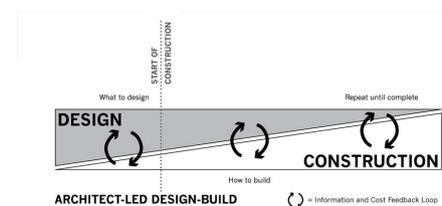
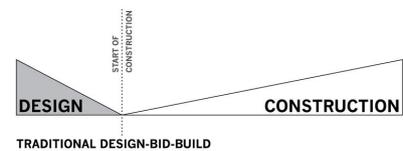
cecobois

3

Conception

Processus de projet

- « Design-Bid-Build »
 - Approche conventionnelle de projets publics
 - Dans la pratique ce que j'ai constaté:
 - Équipe de projet sur la défensive: Équipes de conception d'un côté et équipes de construction de l'autre.
 - Collaboration réduite puisque tout le monde travaille en vase clos.
 - L'échange d'information est au minimum (Responsabilités des parties).
- « Design-Built »
 - Équipe de projet axé sur les résultats
 - Plus grande collaboration entre les intervenants
 - Partage d'informations favorisées.
 - Peut résulter: réduction des coûts, diminution du calendrier de réalisation puisque chevauchement entre la partie conception et construction, etc.



By Pgluckwiki - Own work, CC BY-SA 3.0

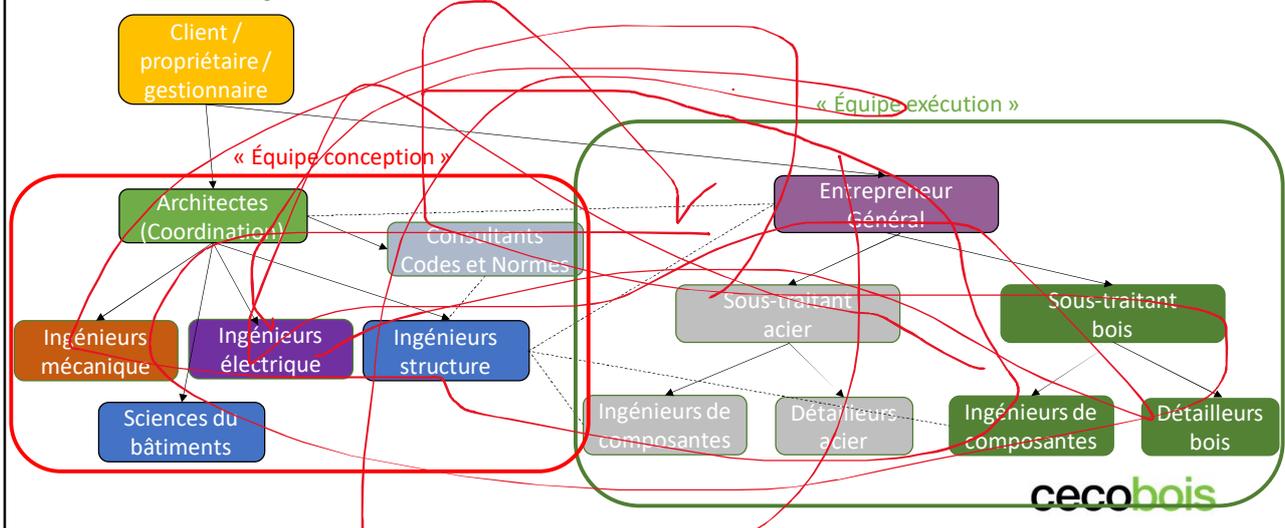
cecobois

4

Genèse d'un projet en bois massif

Les bases

Processus « design-bid-built »

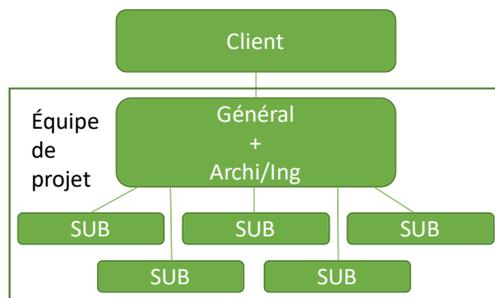


5

Conception

Processus de projet

« Design-Build » dans les projets



Pour réduire les coûts, maximiser les bénéfices et de diminuer les risques, il est intéressant de considérer le « design assist » ou le « design-built » intégré au processus de projet

cecobois

6

Conception et réalisation

Rôle et responsabilité des intervenants d'un projet bois

- **Donneur d'ouvrage (client):**

Donne la vision globale du projet selon ses besoins. Il doit aussi communiquer clairement sa vision avec tous les professionnels du projet

- **Architectes:**

Rôle clé de conception de l'ensemble et coordination générale du projet. Il est normalement la voix du client et doit transposer les besoins et la vision du client. Il doit aussi s'assurer que le bâtiment répond aux différents codes et normes applicables

- **Ingénieurs en structures**

Concevoir et assurer la solidité et la durabilité de l'ouvrage conformément aux codes et normes applicables

- **Ingénieur MEP**

Concevoir les différents systèmes et les coordonner avec les autres professionnels en avant-projet

- **Entrepreneur général**

Gérer et coordonner les différents corps de métier, l'échéancier et les coûts de projet

- **Fabricants, manufacturier et/ou entrepreneurs spécialisés (intégrateurs)**

Préparation des dessins d'atelier et procéder à la fabrication et l'installation des composants

cecobois

7

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

10 éléments fondamentaux qui facilitent la réalisation d'un projet en gros bois d'œuvre



Projet: Complexe le 600
Photos: Art Massif

cecobois

8

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

1. Connaître les buts, les bénéfices et les objectifs de l'utilisation du bois dès le début de projet

- Esthétique
- Biophilie
- Développement durable (Séquestration de carbone)
- Diminuer le poids de structure
- Etc.



Projet: École Metis-Beach intermédiaire
Photos: Stéphane Groleau

La conception doit étroitement suivre les buts et les objectifs du projet.

cecobois

9

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

2. Concevoir en fonction de la construction massive en bois dès le début

- Il est possible, mais non optimal de substituer les autres matériaux au bois sur des projets initialement conçus en d'autres matériaux.
- Élaborer le projet en fonction des objectifs initiaux à l'utilisation du bois
 - Architecture (Fonctionnalité et usages)
 - Type de construction (Systèmes structuraux)
 - Grid (Trames)
 - Esthétisme (Connexions, fonctionnalité)
 - Acoustique
 - Intégration des services MEP



Projet: Brock common
Photos: KK Law

cecobois

10

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

3. Comprendre et prendre avantage de la chaîne d'approvisionnement d'un projet en gros bois

- Pas de produits standard comme dans l'acier ou les autres matériaux (ossature légère)
 - Chaque fournisseur possède:
 - ✓ Produits, essences, qualité visuelle, grade, résistance mécanique, etc. différents
 - ✓ Possède un optimal « Sweet Spot » au niveau fabrication.

Tirer avantage comme concepteur d'utiliser la flexibilité à la fois de l'esthétisme et des capacités structurales

cecobois

11

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

4. Comprendre les possibilités de fabrication des différents fournisseurs

- Concevoir en fonction des capacités des fournisseurs permet d'optimiser et de diminuer le coût de projet.
 - Dimensions maximales (Épaisseur, largeur et longueur de panneaux ou de poutres)
 - Procédé de fabrication (Collage à chaud (haute fréquence), collage à froid, automatisation, etc)
 - Minimiser les pertes et les usinages (ex: CLT de largeur 8pi)
 - Transport (Routier standard, routier hors normes, conteneurs, etc.)

Certains intégrateurs permettent l'utilisation de différents systèmes et/ou matériaux de différents fournisseurs

cecobois

12

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

5. Optimiser les trames du bâtiment

- Validation avec le type de construction et son usage(charges, résistance au feu, acoustique, hauteur libre, etc.)
- Optimiser les portées maximales en fonction du type de construction
 - Partir du haut vers le bas d'un système (Ex: Dalles, poutres secondaires, poutres principales, colonnes, etc.)
 - Il a souvent un très grand volume de matériel dans les dalles

cecobois

13

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

6. Tirer avantage de la préfabrication

- L'industrie de la construction massive en bois offre une grande possibilité de préfabrication des éléments en usine (ouvertures, trous, entailles, etc.)
- Concevoir les ouvertures (passages, mécaniques, électriques, plomberie) en avant-projet (conception)
 - Sors un peu du processus habituel de construction. (MEP géré au chantier)
 - L'on doit prévoir avec précision l'emplacement des ouvertures nécessaires.
 - Demande plus de temps de conception pour la coordination des éléments.
 - Permet au besoin de prévoir les renforts si nécessaire en usine



Projet: 90 Arboretum, Newington, NH Photo: Woodwork



cecobois

14

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

7. Laisser un maximum de bois exposé (autant que le code le permet)

- Le bois possède des caractéristiques intrinsèques lui permettant d'être exposé:
 - Esthétisme et Biophilie
 - Résistance au feu
 - Etc.
- Intégration des systèmes MEP
 - Intégration visuelle de la MEP
 - Intégration de bloc mécanique caché
 - Etc.



Projet: Siège social Eddyfi technologie
Photos: Stéphane Groleau

cecobois

15

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

8. Intégrer des discussions rapidement avec les autorités approuvant les projets en pré-conception

- Certaines juridictions ont plus d'expériences de projets en bois que d'autres.
- Intégrer ces autorités rapidement comme faisant partie de « l'équipe de projet »
- Comprendre leurs préoccupations et leurs questionnements sur le projet.
- Ouvrir un dialogue permet un suivi de projet plus facile et rapide, limitant les mauvaises surprises de toutes parts.
- Projet suivant le code ou devant aller en solutions alternatives pour certaines parties du projet.

APPROVED

cecobois

16

Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

9. Travailler avec des gens d'expérience.

- Architectes
- Ingénieur en structure
- Ingénieur mécanique du bâtiment
- Fabricants, intégrateurs, entrepreneurs spécialisés
- Installateurs
- Entrepreneurs généraux
- Etc.

cecobois

17

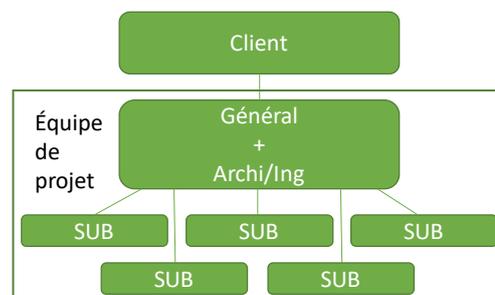
Projet de construction massive en bois

Points clés de la réussite d'un projet

10. Établir un écosystème collaboratif

- Relation de confiance entre intervenants
- Penser aux prochaines personnes dans la ligne de la réalisation de projet.

Intégration du « Design-Build » dans les projets



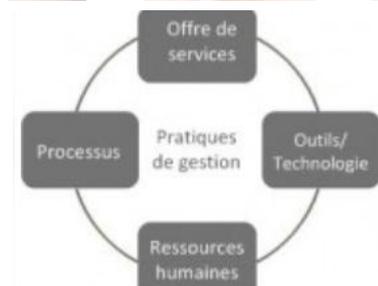
cecobois

18

Conception

Approche Holistique

- Holistique: vient du mot grec, holè qui signifie totalité.
- Concept utilisé en médecine qui consiste à traiter une personne dans sa globalité plutôt que de traiter un organe ou une maladie en particulier.
- **La somme des “optimum locaux” ne génère pas un “optimum global”**
- Dans un projet:
 - L'approche holistique consiste à élaborer des stratégies sur l'ensemble des éléments fondamentaux.
 - À partir d'une vision globale et intégrée, il est plus facile de prendre des décisions et de maintenir l'équilibre entre les différentes composantes du projet.



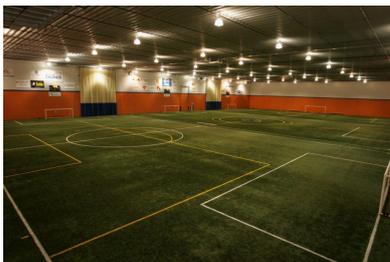
cecobois

19

Conception

Approche Holistique

- On ne peut pas comparer le coût d'une structure de bois /coût de structure d'autres matériaux (acier ou béton)
- Avantages des structures de bois au niveau finition (exemples)
 - Bois massif = finition architecturale.
 - Moins de finition intérieure (gypse et autre)



honcobuildings.com/



Crédit photo: Stéphane Groleau

cecobois

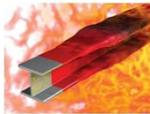
20

Conception

Approche Holistique

- On ne peut pas comparer le coût d'une structure de bois /coût de structure d'autres matériaux (acier ou béton)
 - Avantages des structures de bois à la protection incendie
 - Protection au feu intrinsèque au matériau comparativement aux autres matériaux

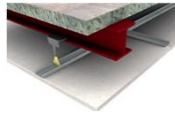
Protection au feu de l'acier VS. Gros Bois d'oeuvre



Peintures intumescentes



Plaques résistantes au feu



Mortiers projetés résistant au feu



Résistance au feu de la section transversale Annexe B CSA 086-14

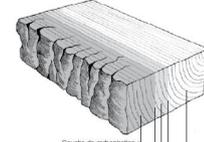


FIGURE 9 - Couche de carbonisation (Source: adaptée de CSA 0177)

Bois encapsulé



cecobois

21

Conception

Approche Holistique

- On ne peut pas comparer le coût d'une structure de bois /coût de structure d'autres matériaux (acier ou béton)
 - Avantages des structures de bois au niveau installation
 - Bois massif = plus rapide d'installation que le béton. (Comparable à l'acier.)
 - Pas de temps de cure
 - Pas d'étalement, coffrage, décoffrage
 - Etc.
 - Chantier plus propre = moins de déchet (Préfabrication)



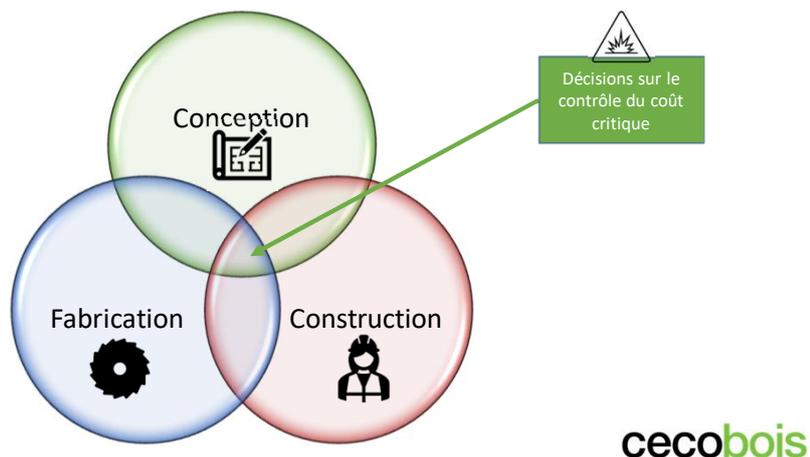
cecobois

22

Conception

Approche Holistique

- Les décisions ayant les impacts les plus importants sur les coûts sont situées à l'intersection entre l'optimisation de la conception, de la fabrication et de la construction.



23

Conception

Approche Holistique

- Chemin de décision en phase conceptuelle.

1. Type de bâtiment, dimensions, informations sur les usages, type de construction et trame



2. Informations concernant la sécurité incendie et la résistance au feu (DRF), Étude de code



3. Informations sur les trames et résistance au feu en fonction de la dimension des membrures et l'intégration de la mécanique.

cecobois

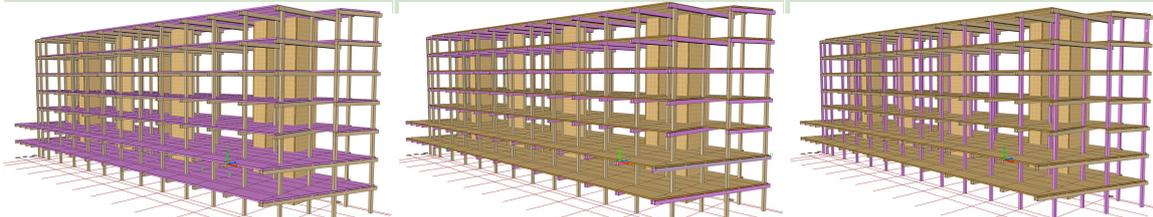
24

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Connaissance des produits disponibles et de la fabrication
 - Permet l'optimisation des produits (Solicitation plus près de 100%)
 - Minimise les « pertes » lors de la fabrication.

Dalles	Poutres	Colonnes
CLT	Bois lamellé-collé (BLC)	Bois lamellé-collé (BLC)
Platelage Lamellé-collé (GLT decking)		
NLT		
MPP (Kerto, etc.)		
Etc.		



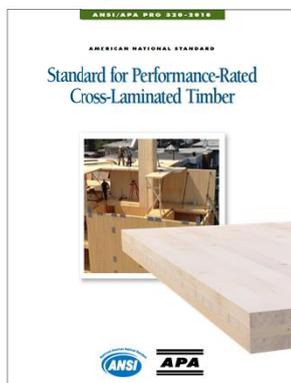
25

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (CLT)

- Fabriqué selon la norme APA PRG 320



CLT

- Dalles (platelage BLC ou NLT)

- Fabriqué selon CCMC ES11 sauf le 89mm en 20F-ES/CPG
- Grade visuel (#2 & btr)



NLT

GLT

cecobois

26

Conception

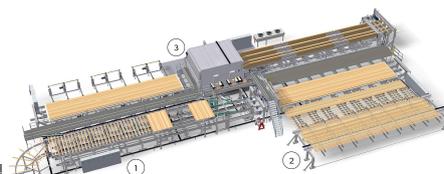
Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

▪ Dalles (CLT)

- Le coût d'un projet dépend grandement des pertes de produit dans le procédé de fabrication des dalles
- Procédé de fabrication du CLT adapté à une longueur transportable



USNR.com

Ligne de collage à chaud: kallesoemachinery.com/

Largeur fabriquée de panneaux:
Généralement entre 8 et 12pi selon le fournisseur.

cecobois

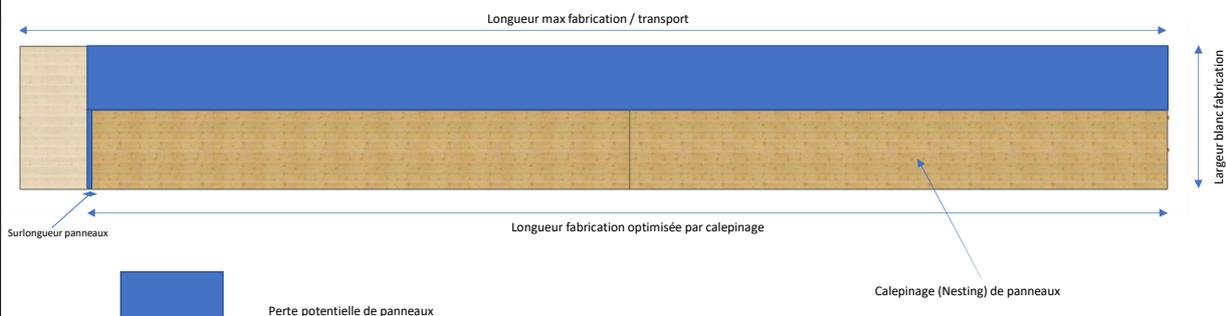
27

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

▪ Dalles (CLT)

- Blanc de CLT collés à la largeur de la presse



NORDIC
STRUCTURES

Ex: Nordic Xlam
• Largeur max: 2.7m (106-1/4")
• Longueur max: 19.5m (64')



Ex: Élément 5 CLT
• Largeur max: 3.2m (10'6")
• Longueur max: 16m (52')

cecobois

28

Conception

Optimisation des dalles

- Dalles (CLT) **NORDIC STRUCTURES** Ex: Nordic Xlam
 - Largeur max: 2.7m (106-1/4")
 - Longueur max: 19.5m (64')

Fournisse	Produit	Grade	Hauteur	Portée	Utilisation	Large Mort	Large vive	Feu	(m)	Critère
Nordic	CLT	E1	89	Simple	Plancher	3	2.4	60	3	Feu Moment
Nordic	CLT	E1	105	Simple	Plancher	3	2.4	60	3	Feu Moment
Nordic	CLT	E1	143	Simple	Plancher	3	2.4	60	4.6	ELS Flèche
Nordic	CLT	E1	175	Simple	Plancher	3	2.4	60	5.4	ELS Vibrator
Nordic	CLT	E1	197	Simple	Plancher	3	2.4	60	6.1	ELS Flèche
Nordic	CLT	E1	244	Simple	Plancher	3	2.4	60	7.1	ELS Flèche
Nordic	CLT	E1	89	Double	Plancher	3	2.4	60	3	Feu Moment
Nordic	CLT	E1	105	Double	Plancher	3	2.4	60	3.1	Feu Moment
Nordic	CLT	E1	143	Double	Plancher	3	2.4	60	5.6	ELS Vibrator
Nordic	CLT	E1	175	Double	Plancher	3	2.4	60	6.3	ELS Vibrator
Nordic	CLT	E1	197	Double	Plancher	3	2.4	60	7	ELS Vibrator
Nordic	CLT	E1	244	Double	Plancher	3	2.4	60	7.9	ELS Vibrator

Plancher					
60	min au feu	portée (m)		charge (m)	
		min	max	min	max
3ply	105	2.5	3.1	2.4	4.8
5ply	175	5	6.3	2.4	4.8
7ply	244	6.6	7.9	2.4	4.8

Toit					
0	min au feu	portée (m)		charge (m)	
		min	max	min	max
3ply	105	4	5.6	2.4	4.8
5ply	175	6	8.5	2.4	4.8
7ply	244	8	11.1	2.4	4.8

Plancher édifice bureau (Groupe D) (portée double)

- CLT 3-ply (105mm): autour d'un max de 3m ($\approx 10\pi$)
- CLT 5-ply (175mm): autour d'un max de 6m ($\approx 20\pi$)
- CLT 7-ply (244mm): autour d'un max entre 7 et 8m ($\approx 25\pi$)

Panneaux de longue portée sensible à la vibration limité à 8m CSA O86-14 (A.8.5.3)

cecobois

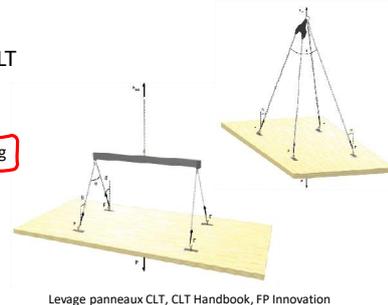
29

Conception

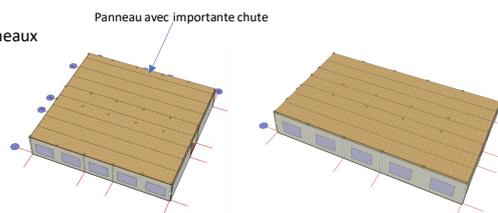
Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (CLT)
 - Il est important de bien balancer l'optimisation des panneaux de CLT

- Dimension des panneaux
 - Poids pour levage (panneaux 267mm 2700mm x 19.5m) poids autour de **7000kg**
 - Rigidité des panneaux au levage
 - Ancrages de levage
 - Utilisation d'un palonnier (spreader beam).



- Minimiser les pertes (si possible)
 - Optimisation des dimensions de panneaux
 - Réutilisation possible des chutes?



cecobois

30

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (Platelage lamellé-collé)

NORDIC STRUCTURES

POUTRES ET COLONNES PLATELAGE

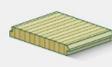
Épaisseurs*
38, 44, 54 et 89 mm
(1-1/2, 1-3/4, 2-1/8 et 3-1/2 po)

Largeurs
203, 305 et 406 mm
(8, 12 et 16 po)

Longueurs
Jusqu'à 18,9 m (62 pi)

*Dimensions supérieures disponibles sur demande

Classes de contraintes
EB11 (sauf le 89 mm d'épaisseur en 20F-ES/CPG)



DONNÉES TECHNIQUES

ESSENCE
Épinette noire

UTILISATIONS
Planchers ou toiture

CLASSE DE FINITION
Architecturale

TAUX D'HUMIDITÉ DU BOIS
12% +/- 2%

ÉPAISSEURS
38 mm, 60 mm, 80 mm, 130 mm

LONGUEURS
Sur demande



GOODFELLOW
SPECIALISTES DU BOIS

Dimensions nominales: 2x4, 2x6, 3x6, 3x8, 4x4, 4x6, 5x6 et 5x8 (Noc); les assemblages typiques de longueurs pour les épaisseurs de 2, 3, 4 et 5 pouces.

2" = 1" x 2" ou 2" x 1"

Minimum 15% de 1" et/ou 1" combinés, minimum 5% de 1 1/2", maximum 85% de 6" à 12", maximum 15% de 6" à 9"

3" = 1 1/2" x 2" ou 2" x 1 1/2"

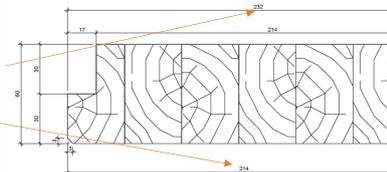
Minimum 20% de 1" et/ou 1" combinés, minimum 10% de 1 1/2", maximum 80% de 6" à 12", maximum 10% de 6" à 9"

4" = 2" x 2" ou 2" x 2"

Minimum 25% de 1" et/ou 1" combinés, minimum 20% de 1 1/2", maximum 55% de 6" à 12", maximum 10% de 6" à 9"

5" = 2 1/2" x 2" ou 2" x 2 1/2"

Minimum 45% de 1" et/ou 1" combinés, minimum 30% de 1 1/2", maximum 55% de 6" à 12", maximum 7% de 6" à 9"



cecobois

- Faire attention sur largeur couvrante vs largeur totale
- Habituellement les platelages nécessitent un contreplaqué pour assurer l'effet diaphragme des planchers

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

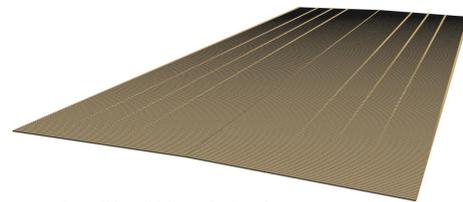
- Dalles (général)

Figure 2.2
Platelage de configuration irrégulière contrôlée

$K_{portée}$ est un coefficient de flèche dépendant de la configuration du platelage. Les tableaux sont basées sur une configuration irrégulière contrôlée ($K_{portée} = 1,0$). Pour les autres configurations, multiplier les valeurs w_{DR} par les coefficients suivants :

$$K_{portée} = 0,77 \text{ pour les portées simples}$$

$$= 1,83 \text{ pour les portées doubles continues.}$$



Platelage en Bois massif (sawn timber decking)

- Limité en longueur (au Québec 16'max) (20' dans l'ouest)
- Difficile de faire des portées doubles à cause de la longueur (16' max = 2 x 8')
- Agencement irrégulier permet plus de flexibilité, mais contraignant au niveau de l'esthétisme (joint bout à bout visible)

Platelage en Bois lamellé-collé (GLT decking)

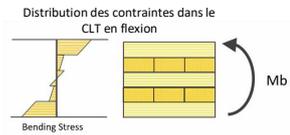
- Adaptable à des longueurs et largeurs plus grandes (plus de p^2 couvrant par planche)
- Facile de faire de la multiportée (même pour des longueurs > 16')

cecobois

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (général)
 - Optimisation du Calepinage (Nesting)
 - En fonction du procédé de fabrication
 - En fonction de la manœuvrabilité
 - En fonction des limites de transport
 - En fonction des charges de levage et des techniques d'installations
 - En fonction de l'ingénierie et du partage de charges



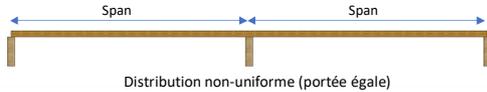
Portées simples	Portées multiples (joints contrôlés)	Portées multiples (joints décalés)
<p>Distribution uniforme</p> <p>$R = V = \frac{wL}{2}$</p>	<p>Distribution non-uniforme (portée égale)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Portée double: 1.25 ▪ Portée triple: 1.1 ▪ Portée quadruple: 1.143 <p>$R_2 = V_1 = 0.375wL$ $R_3 = V_2 + V_3 = 1.250wL, V_4 = V_5 = 0.625wL$</p>	<p>Distribution non-uniforme (portée égale)</p>

33

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (général)
 - Influence sur les poutres centrales au dessous



- Portée double: 1.25
- Portée triple: 1.1
- Portée quadruple: 1.143

COMPANY PROJECT

Nov. 10, 2021 15:17 test poutre milieu wwB

Design Check Calculation Sheet
WoodWorks Sizer 2020 (Update 2)

Load	Type	Distribution	Factor	Location [m]	Magnitude	Unit
Load1	Dead	Full Area		Start End	3.00 (4.50m)	kN/m ²
Load2	Live	Full Area		Start End	2.40 (4.50m)	kN/m ²
Self-weight	Dead	Full UDL			0.56	kN/m

Beam is a continuous support for all area loads, such that 125% of load on beam is applied to beam.

Reactions (kN), Bearing Resistances (kN) and Bearing Lengths (mm) :

Reaction	Value
Unfactored: Dead	61.03
Unfactored: Live	47.25
Factored: Total	147.16

$$L = \frac{2.4 * 4.5 * 7}{2} = 37.8 \text{ kN}$$

$$\text{Ratio} = \frac{47.25 \text{ kN}}{37.8 \text{ kN}} = 1.25$$

cecobois

34

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (général)
 - Différents intégrateurs peuvent aussi fournir des produits de platelage et de CLT
 - Certains fournisseurs peuvent fournir seulement une partie des produits de gros bois d'œuvre
 - Une trop grande mixité de matériaux peut entrainer des complexités supplémentaires dans l'approvisionnement et la chaîne logistique du projet.

Il est important de bien balancer l'optimisation dans la chaîne logistique globale du projet

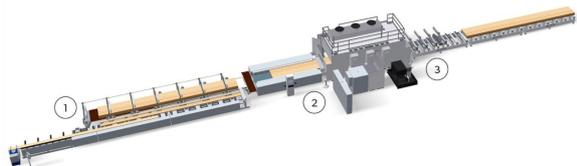
cecobois

35

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Poutres et colonnes
 - Valider avec les fabricants leurs produits optimisant leur production peut faire diminuer le prix du projet.
 - Ligne de collage à chaud vs. ligne de collage à froid.
 - Largeur de produit optimal.
 - Longueur
 - Calepinage des presses.
 - Etc.



Ligne de collage à chaud Kallasoe



Presse à froid Minda

cecobois

36

■ Spécification et travail avec le bois LC du bois lamellé-collé

Poutres et colonnes – Dimensions standard **Nordic**

Postres et columnas – Dimensiones standard

NR. de travées	Largeur (mm)										
	30	40	137	194	215	241	282	340	395	445	502
67	140	137	137	144	215	241	282	340	395	445	502
40	140	144	144	144	215	241	282	340	395	445	502
117	241	241	241	241	215	241	282	340	395	445	502
143	292	292	292	292	343	343	343	346	395	445	502
171	343	343	343	343	343	343	343	346	395	445	502
191	394	394	394	394	394	394	394	394	395	445	502
222	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	502
244	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	502
273	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546	502
286	597	597	597	597	597	597	597	597	597	597	603
307	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	603
332	699	699	699	699	699	699	699	699	699	699	603
338	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749	603
403	803	803	803	803	803	803	803	803	803	803	803
430	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854
454	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905
559	956	956	956	956	956	956	956	956	956	956	956
609	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007
659	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058
709	1109	1109	1109	1109	1109	1109	1109	1109	1109	1109	1109
759	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160
809	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211
859	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262
909	1313	1313	1313	1313	1313	1313	1313	1313	1313	1313	1313
959	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364
1009	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415	1415
1059	1466	1466	1466	1466	1466	1466	1466	1466	1466	1466	1466
1109	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1517
1159	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568
1209	1619	1619	1619	1619	1619	1619	1619	1619	1619	1619	1619
1259	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670
1309	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721
1359	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772
1409	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823	1823
1459	1874	1874	1874	1874	1874	1874	1874	1874	1874	1874	1874
1509	1925	1925	1925	1925	1925	1925	1925	1925	1925	1925	1925
1559	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976
1609	2027	2027	2027	2027	2027	2027	2027	2027	2027	2027	2027
1659	2078	2078	2078	2078	2078	2078	2078	2078	2078	2078	2078
1709	2129	2129	2129	2129	2129	2129	2129	2129	2129	2129	2129
1759	2180	2180	2180	2180	2180	2180	2180	2180	2180	2180	2180
1809	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231
1859	2282	2282	2282	2282	2282	2282	2282	2282	2282	2282	2282
1909	2333	2333	2333	2333	2333	2333	2333	2333	2333	2333	2333
1959	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384
2009	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435

Collage à chaud

Art Massif

Dimensions STANDARDS

NR. de travées	Largeur (mm)			Hauteur (mm)		
	60	80	130	175	215	265
3	104	104	104	175	215	265
4	139	139	139	175	215	265
5	174	174	174	175	215	265
6	208	208	208	208	208	208
7	243	243	243	243	243	243
8	278	278	278	278	278	278
9	312	312	312	312	312	312
10	347	347	347	347	347	347
11	382	382	382	382	382	382
12	416	416	416	416	416	416
13	451	451	451	451	451	451
14	486	486	486	486	486	486
15	521	521	521	521	521	521
16	555	555	555	555	555	555
17	590	590	590	590	590	590
18	625	625	625	625	625	625
19	659	659	659	659	659	659
20	694	694	694	694	694	694
21	729	729	729	729	729	729
22	763	763	763	763	763	763
23	798	798	798	798	798	798
24	833	833	833	833	833	833
25	868	868	868	868	868	868
26	902	902	902	902	902	902
27	937	937	937	937	937	937
28	972	972	972	972	972	972
29	1006	1006	1006	1006	1006	1006
30	1041	1041	1041	1041	1041	1041
31	1076	1076	1076	1076	1076	1076
32	1110	1110	1110	1110	1110	1110
33	1145	1145	1145	1145	1145	1145
34	1180	1180	1180	1180	1180	1180
35	1215	1215	1215	1215	1215	1215
36	1250	1250	1250	1250	1250	1250
37	1285	1285	1285	1285	1285	1285
38	1320	1320	1320	1320	1320	1320
39	1355	1355	1355	1355	1355	1355
40	1390	1390	1390	1390	1390	1390
41	1425	1425	1425	1425	1425	1425
42	1460	1460	1460	1460	1460	1460
43	1495	1495	1495	1495	1495	1495
44	1530	1530	1530	1530	1530	1530
45	1565	1565	1565	1565	1565	1565

Plus de perte en fabrication

Moins de perte en fabrication

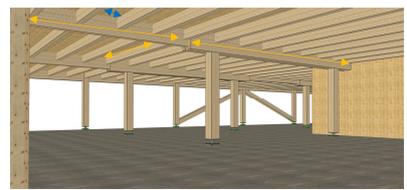
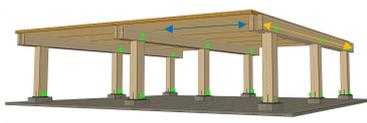
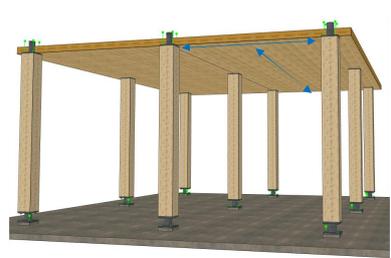


Conception

Optimisation des trames

- Choix du type de système constructif en gros bois d'oeuvre
 - Le choix du système constructif doit s'adapter à l'usage.

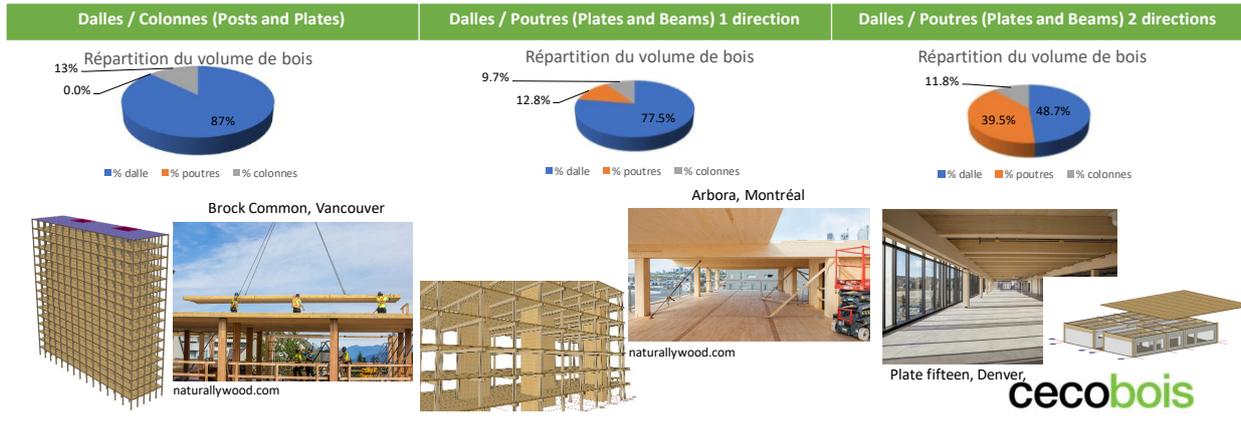
Dalles / Colonnes (Posts and Plates)	Dalles / Poutres (Plates and Beams) 1 direction	Dalles / Poutres (Plates and Beams) 2 directions
Dalles supportées par points (bi-directionnel)	Dalles supportées totalement sur un axe	Dalles supportées sur plusieurs poutres rapprochées
Système se rapprochant le plus d'un bâtiment de béton	Permet un agencement des espaces plus versatile	Les poutres dans les 2 directions permettent encore plus de latitude pour l'aménagement d'espaces



Conception

Optimisation des trames

- Les dalles des planchers sont les éléments critiques au dimensionnement
 - Il est primordial de les optimiser pour obtenir une solution efficace
 - Les dalles représentent un volume considérable de bois sur la totalité du volume consommé dans un projet



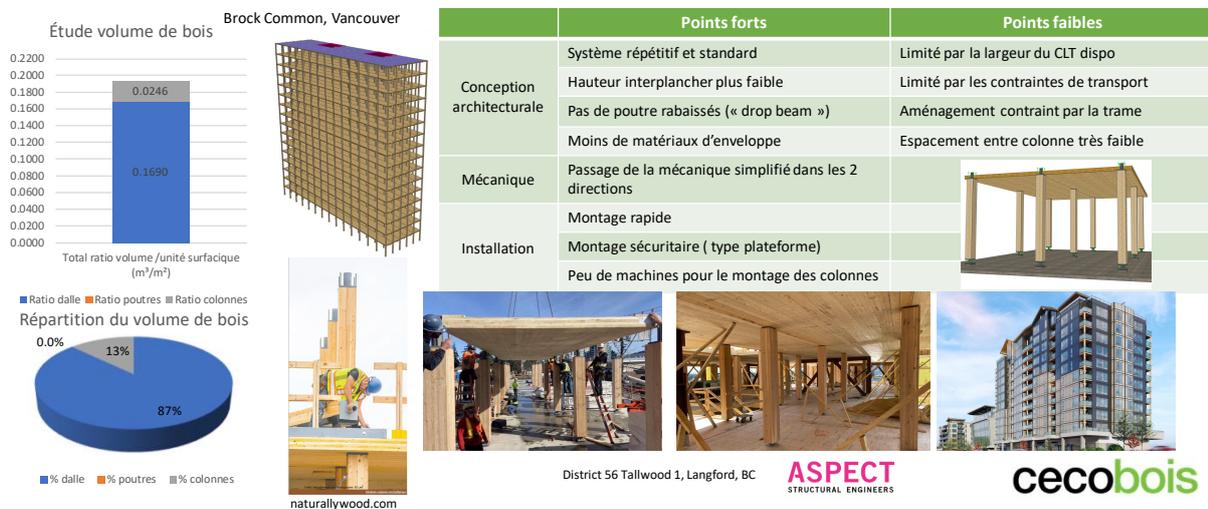
39

Conception

Optimisation des trames

Dalles / Colonnes (Posts and Plates)

Dalles de CLT supportées par points et travaillant biaxialement. Système qui se rapproche le plus des bâtiments en béton



40

Conception

Optimisation des trames

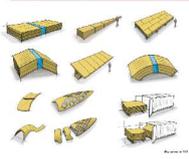
Dalles / Colonnes (Posts and Plates)



- Certains systèmes innovants allient le CLT supporté par points avec des possibilités d'aménagements plus versatiles.



World record: 650m² large CLT panel
<https://www.ts3.biz/>



Possibilité de trame jusqu'à 7m x 7m
 Transfert de charge jusqu'à 5000 kN



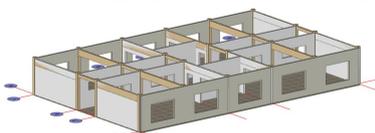
cecobois

Conception

Optimisation des trames

Dalles / Poutres (Plates and Beams) 1 direction

Dalles de CLT ou de platelage supporté totalement par une poutre sur son axe faible. La trame est habituellement définie par la portée maximale de la dalle et offre plus de flexibilités

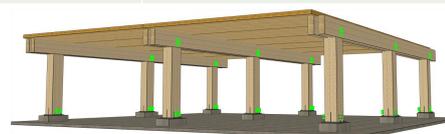


Arbora, Montréal, Qc

	Points forts	Points faibles
Conception architecturale	Système s'adaptant à un éventail d'usages	Poutres rabaissées dans une direction
	Plus de flexibilité dans l'aménagement intérieur	
	Espacement d'être coponne plus grand	
Mécanique	Moins de fondation	
	Passage de la mécanique simplifié dans une direction (parallèle aux poutres)	Passage de la mécanique difficile dans une direction (perpendiculaire aux poutres)
Installation	Simple d'installation	
	Trame répétitive	
	L'utilisation de CLT permet de couvrir beaucoup de surface à l'installation	



T3, Minneapolis, Minnesota crédit: StructureCraft



cecobois

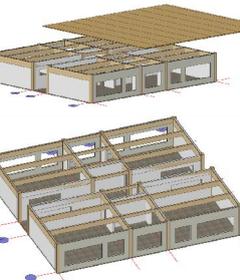
Conception

Optimisation des trames

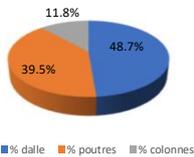
Dalles / Poutres (Plates and Beams) 2 directions

Dalles de CLT ou de platelage supporté totalement par une poutre sur son axe faible. Ce système permet de diminuer l'épaisseur de la dalle puisqu'elle possède une portée plus faible.

Étude indicateur de consommation de bois



Répartition du volume de bois



	Points forts	Points faibles
Conception architecturale	Système s'adaptant à un éventail d'usages	Poutres rabaissées dans deux directions
	Plus de flexibilité dans l'aménagement intérieur	Impact sur la hauteur globale du bâtiment
	Espacement d'être coponce plus grand	
Mécanique	Moins de fondation	Passage de la mécanique difficile dans les deux directions
Installation	S'adapte à un plus grand éventail de matériaux	Plus de pièce à installer (moins rapide)

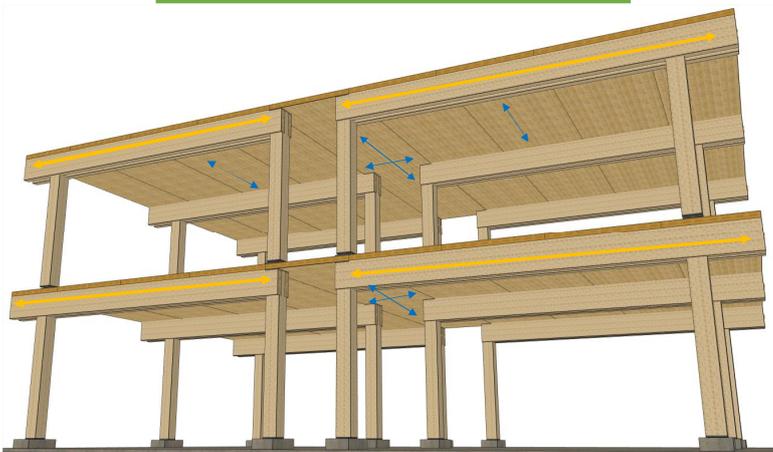


Conception

Optimisation des trames

- Pourquoi ne pas mixer les systèmes pour une plus grande optimisation?

Mixte Dalles sur point et dalles sur poutre 1 direction



Jour 2 pros

cecobois

45

Bonnes pratiques de projets Gros Bois D'oeuvre

De la conception au chantier

Pros du bois (Jour 2)

19 novembre 2021 (9h00)

Guillaume Bédard Blanchet, ing.

Conseiller technique

gbblanchet@cecobois.com

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

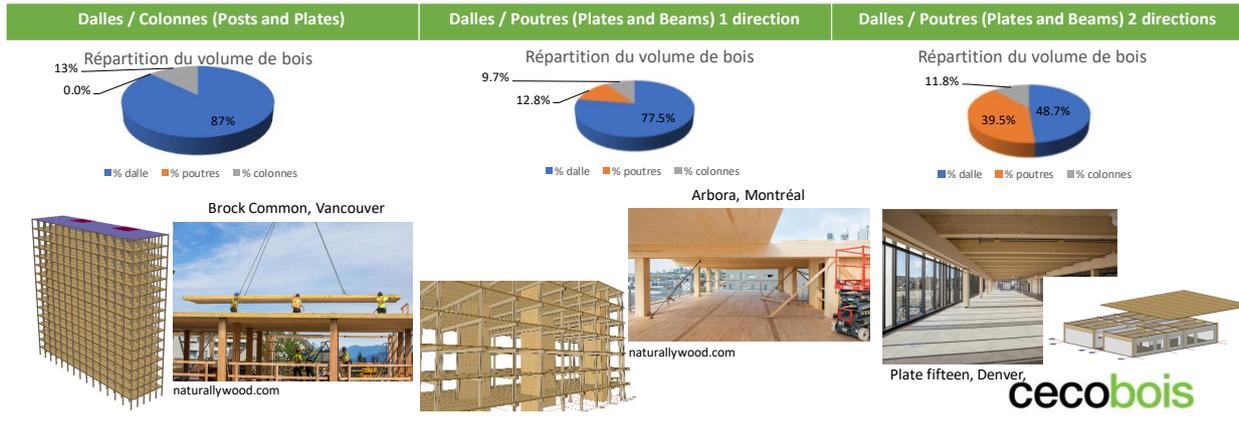
©Photo: Stéphane Groleau

46

Conception

Optimisation des trames

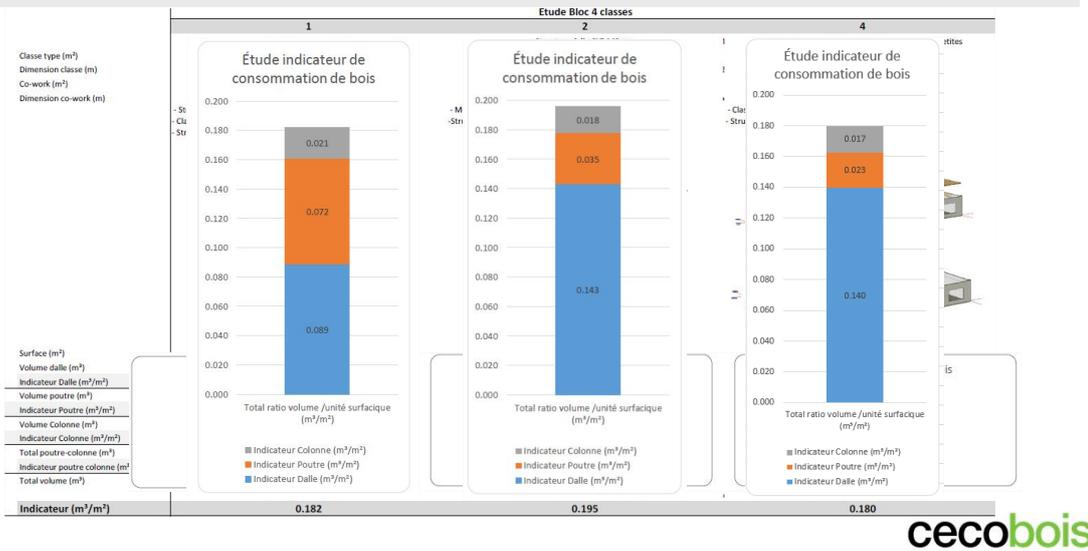
- Les dalles des planchers sont les éléments critiques au dimensionnement
 - Il est primordial de les optimiser pour obtenir une solution efficace
 - Les dalles représentent un volume considérable de bois sur la totalité du volume consommé dans un projet



47

Conception

Efficacité de la trame structurale (exemple théorique)

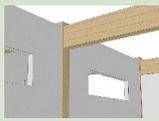


48

Conception

Efficacité de la trame structurale (détails)

Choix du système de poutres structurales

	Points forts	Points faibles
Poutre simple 	Moins de pièces (fabriquer, usiner, installer, etc.)	Porte à faux plus difficilement réalisable si l'on veut préserver la continuité des colonnes.
	Pièces plus courtes (portée simple)	Connexions des poutres aux colonnes demandant une ferrure massive
		Augmente l'excentricité par l'appui sur la face des colonnes
Poutres doubles 	Permet d'aller chercher des porte-à-faux plus facilement	Plus de pièces (fabriquer, usiner, installer, etc.)
	Possible de passer de la MEP (principalement électrique) au centre des pièces.	Détails de protection incendie à insérer entre les poutres
	Détail de connexions poutre colonne simplifié (continuité des colonnes)	Peut nécessiter une augmentation de la dimension des colonnes pour simplifier la connexion poutres-colonnes



80 Atlantic, Toronto



11^e Lennox, USA crédit: QWEB



Conception

Efficacité de la trame structurale (détails)



Arbora, Montréal, QC Crédit: Adrien Williams

Poutres et colonnes – Dimensions standard

Poutres et colonnes – Dimensions standard		Largeur (mm)											
Poutres et colonnes – Dimensions standard		215	241	262	346	395	448	502	552	603			
38	88	137	184	Hauteurs (mm)									
67	140	137											
92	191	191											
117	241	241	215	241									
143	292	292	292	292	292								
171	343	343	343	343	343	346							
197	394	394	394	394	394	395	448						
222	445	445	445	445	445	445	445	502					
248	495	495	495	495	495	495	495	502	552				
273	546	546	546	546	546	546	546	546	552				
298	597	597	597	597	597	597	597	597	597	603			
327	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	663		
352	699	699	699	699	699	699	699	699	699	699	699		
378	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749		
403	800	803	803	803	803	803	803	803	803	803	803		
429	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854	854		
454	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905		
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100		
1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200		
1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413	1413		
1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464	1464		
1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514	1514		
1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565	1565		
1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616	1616		
1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670	1670		
1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721	1721		
1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772	1772		
1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822	1822		
1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873	1873		
1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924	1924		
1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975		
2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026	2026		
2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076	2076		
2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127		
2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178	2178		
2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229	2229		
2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280		
2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330	2330		
2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384	2384		
2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435	2435		



Conception

Intégration MEP

- Mettre des attentes réalistes aux clients sur l'esthétisme des systèmes MEP
 - Plusieurs solutions possibles au passage de la mécanique

Exposé



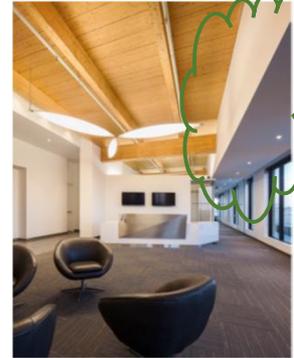
Bibliothèque Paul-Mercier, Blainville, Qc, Crédit: Nordic

Caché



Crédit: Woodworks

Passages et puits mécaniques



Édifice Complan, Québec, Qc, Crédit: Nordic

cecobois

Conception

Intégration MEP

- Passages de la mécanique dans la structure de GBO

- Au dessus



- Bâtiment plus haut

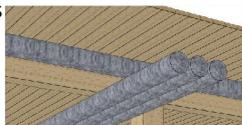
- À travers



- Plus de coordination

- En dessous

- Plus visible



Partout dans toutes directions

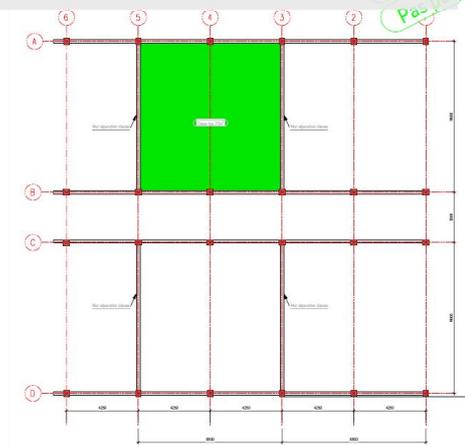
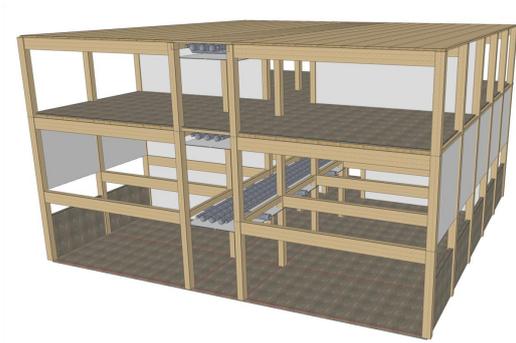
cecobois

Projet de construction massive en bois

Optimisation des trames

Étude de cas (Trame d'école standard)

- Trame des classes: 8.5m x 9.0m



VUE EN PLAN
Position de colonne type
ÉCH.: 1/25

cecobois

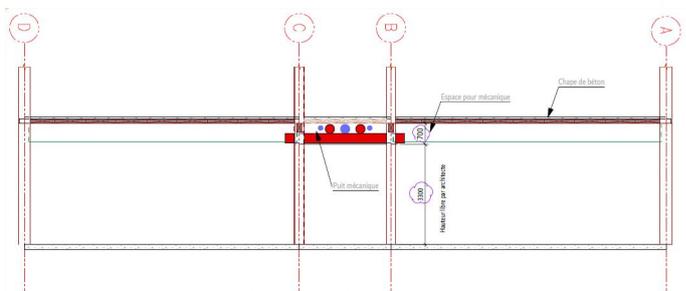
54

Projet de construction massive en bois

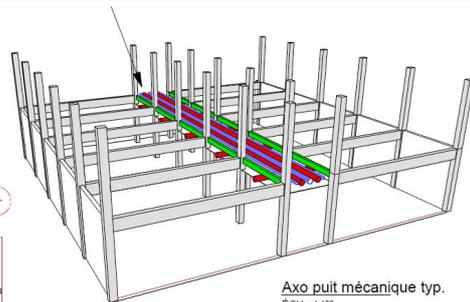
Optimisation des trames

Étude de cas (Trame d'école standard)

- Trame des classes: 8.5m x 9.0m



VUE EN ÉLEVATION
Classe typ.
ÉCH.: 1/75



Axo puit mécanique typ.
ÉCH.: 1/100

cecobois

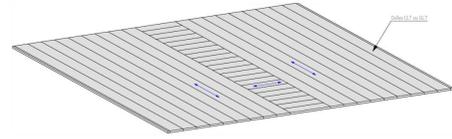
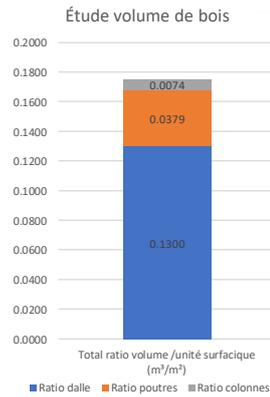
55

Projet de construction massive en bois

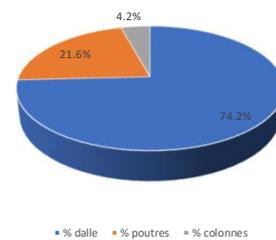
Optimisation des trames

Étude de cas (Trame d'école standard)

- Trame des classes: 8.5m x 9.0m



Répartition du volume de bois (ordre de grandeur)



cecobois

56

Projet de construction massive en bois

Optimisation des trames

Étude de cas

- Applications à d'autres usages de bâtiments



cecobois

57

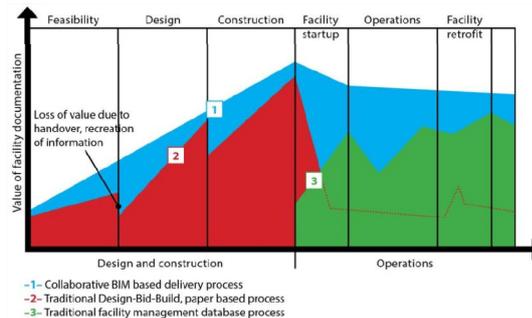
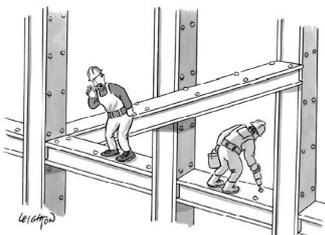
Intégration du BIM

Pertes d'informations sur la vie d'un bâtiment

- Modélisation faite par chaque discipline (structure, architecture, MEP, fabricants, etc.)
 - Retravail à chaque étape autant en conception qu'en exécution

- Les problématiques de coordination sont souvent gérées en chantier

- « Solved on site » (SOS)



Data integrity (Eastman et al., 2008). Graphic presentation of the data losses during the lifetime of a building in a traditional paper-based process vs. a collaborative BIM based delivery process.

cecobois

58

Intégration du BIM

Pertes d'informations sur la vie d'un bâtiment

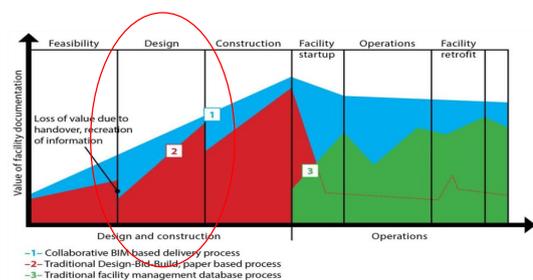
- Pertes d'informations très marquées à l'intérieur de la phase de conception

- Retravail à chaque transfert de professionnels

- Architectes
- Ingénieurs structure
- Ingénieurs MEP
- Fabricants
- Etc.

- Reprise à zéro ou presque de l'information entre les professionnels.

- Aucun ou peu de partages de maquettes 3d
- Informations prises sur plans 2d
 - Risque d'erreurs ou de mauvaises interprétations



Data integrity (Eastman et al., 2008). Graphic presentation of the data losses during the lifetime of a building in a traditional paper-based process vs. a collaborative BIM based delivery process.

cecobois

59

Intégration du BIM

Pertes d'informations sur la vie d'un bâtiment

Une plateforme BIM pour la fourniture de structure en gros bois d'œuvre.

- Favorise le transfert d'information entre les différents corps de métiers
- Minimise les pertes d'informations
- Minimise le retravail en conception
- Permet de prévoir les problématiques en amont (collisions, tolérances, espaces trop restreints, coordination, etc.)

cecobois

60

Intégration du BIM

Ce que peut apporter le BIM au « Mass Timber »

- L'industrie du « Mass Timber » est de beaucoup en avance à l'implantation du BIM



- 3d Model
- Géométries
- Quantités (Take-off)
- Rendus et visualisations

- Flux d'information
- Base de données
- Analyses structurales
- Procédés et procédures
- Collaboration et communication
- Normes et certifications
- Analyses de toutes sortes
- Analyse thermique
- Gestion d'actifs
- Gestion des installations
- DFMA
- Traçabilité
- Etc.

cecobois

61

Intégration du BIM

Au-delà du cad 3D! 4D, 5D et +

- 4D: Introduit l'aspect du temps dans le modèle.
 - Séquence de construction
 - Gestion de projets
- 5D: Introduit l'aspect des coûts.
 - Pour les professionnels, les coûts font partie intégrante de l'optimisation.
 - Pour le client, le coût est un enjeu majeur.
- 6D: Introduit les concepts de développement durable du bâtiment
 - Analyses énergétiques
- 7D: Introduit l'aspect des performances du bâtiment sur sa durée de vie.
 - Informations utiles à l'utilisation du bâtiment
- XD: Toute autre donnée additionnelle utile au bâtiment.

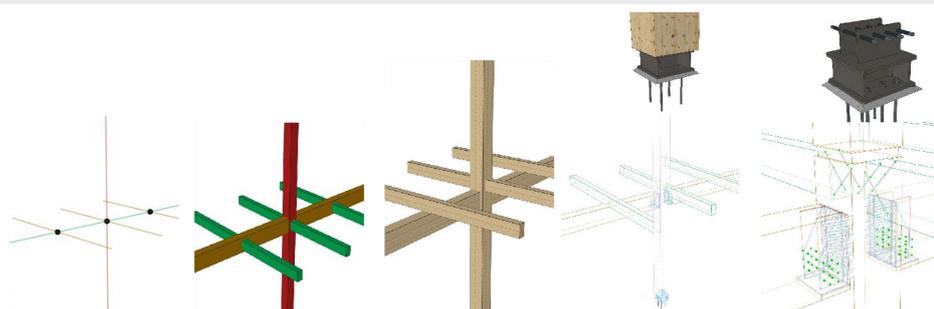


cecobois

62

Intégration du BIM

Niveau de détails de projet (Level of details LOD)



LOD	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500
Stade	Conceptuel	Géométries approximatives	Géométries précises	Géométries précises avec principe de connexion	Prêt pour fabrication	Modèle opérationnel Tel que construit (TQC)
	Éléments approximatifs		Qte précise: Matériaux		Dessins d'ateliers (DA)	

cecobois

63

Formes structurales Lamellé-collé

- Pièces droites



+ Courbes 1 plan \$



++ Courbes hors plan \$\$



+++ Courbes 3d \$\$\$



- Poutres à inertie variable



- Pièces Ronde \$



Photos: Stéphane Groleau

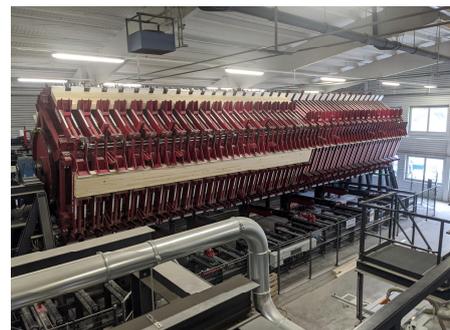
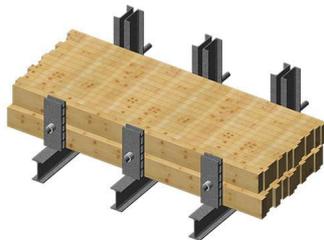
64

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

▪ Pièces droites

- Collage à chaud
 - Plus rapide
- Collage à froid
 - Plus versatile



cecobois

65

Comprendre l'origine des coûts

Structure de bois courbe (un savoir perdu dans le temps)



Source: glenfort.com



Source: inventaire.poitou-charentes.fr

cecobois

66

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

▪ Courbes 1 plan \$

- Le prix dépend très fortement de l'épaisseur des lamelles
- Rendement matière



Source: naturallywood.com/

Tableau 8
Rayons de courbure minimaux*
(voir l'article 6.4.3)

Épaisseur de lamelle (mm)	Rayons de courbure minimaux (mm)	
	Extrémité en tangence [†]	Extrémité courbe
38 standard	8 400	10 800
19 standard	2 800	3 800
35 non standard	7 400	9 500
32 non standard	6 300	8 500
29 non standard	5 600	7 300
25 non standard	4 600	6 200
16 non standard	2 300	3 000
13 non standard	1 800	2 200
10 non standard	1 200	1 400
6 non standard	800	800

*Voir le tableau A.2 de l'annexe A pour consulter les équivalences en unités anglo-saxonnes.
†l'extrémité en tangence exige une section droite de lamelle finie se prolongeant au-delà du point de tangence d'au moins 32 fois l'épaisseur de la lamelle.

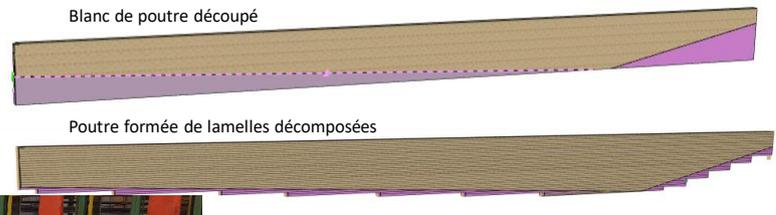
cecobois

67

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

- Poutre à inertie variable \$\$
 - perte de matière



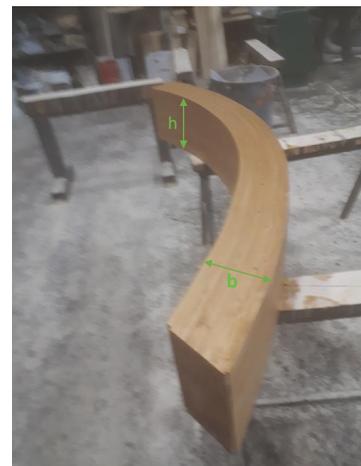
cecobois

68

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

- Courbes hors plan \$\$
 - Fabrication plus complexe
 - Limité par la largeur de presse
 - 2 étapes de fabrication
 - Fabrication des lamelles larges (hauteur de poutre h)
 - Collage courbe des lamelles (b)



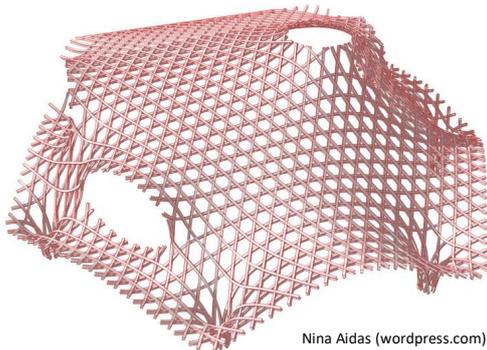
cecobois

69

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

- Courbes 3d \$\$\$
 - Fabrication plus complexe
 - Plus de pertes matières (reprofilage)
 - 2 étapes de fabrication
 - Fabrication des lamelles larges (hauteur de poutre d)



Nina Aidas (wordpress.com)

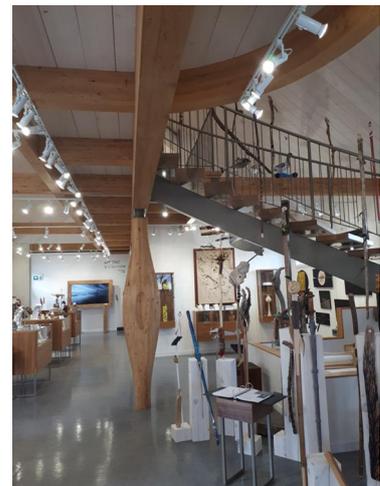
cecobois

70

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

- Pièces Ronde
 - Beaucoup de pertes de matière
 - Perte de capacités au niveau structural vs. section carrée initiale

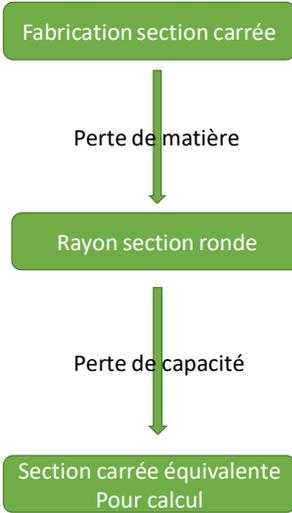


cecobois

71

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé



Exemple :

Section initiale: 215mmx215mm

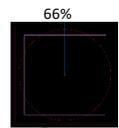
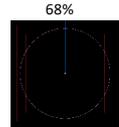
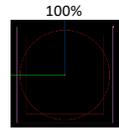
Rayon section ronde : 200mm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

CSA O86-14 14.5.2.5

$$b_{equiv} = r\sqrt{12}$$

Section pour calcul: 175mmx175mm

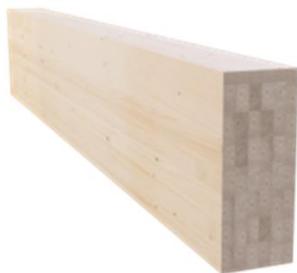


cecobois

Bois lamellé-collé et propriétés

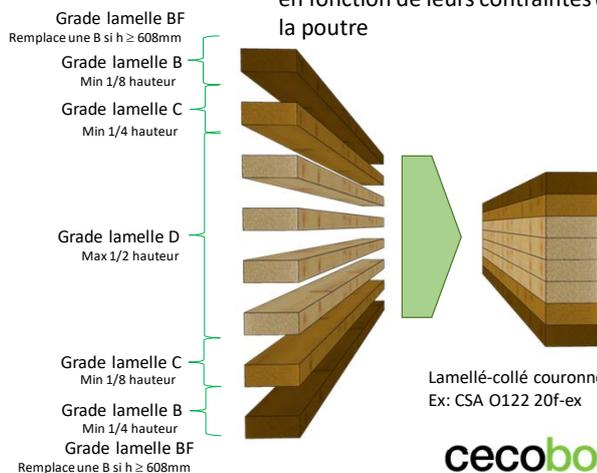
- Lamellé-collé homogène vs. couronné

Homogène= mêmes propriétés de lamelles sur le hauteur de la pièce



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

Couronné = disposition des lamelles en fonction de leurs contraintes dans la poutre



cecobois

Exemple

Cas projet Patinoire Parc des Saphirs, Boischatel, Québec



Lamellé-collé couronné



Lamelles de plus faibles qualités et résistance au centre au centre



Crédit photo: Stéphane Groleau

Équipe de projet

- Client: **Boischatel**
The Massif concept, inc.
 - Architectes: **ABCP**
 - Ingénieurs: **LC**
 - Entrepreneur général: **DURAND**
CONSTRUCTION
 - Fabricant structure: **ART MASSIF**
STRUCTURE DE BOIS
- cecobois**

Exemple

Cas projet 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	<p>LC collé en bloc</p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p>		<p>LC collé en bloc</p> <p>Simple de fabrication Beaucoup de pertes</p>	
nb de jours de prod	8				
pcs/jour	4	<p>LC collé en escalier</p> <p>Fabrication complexe et plus longue ++ Bon rendement matière</p>		<p>LC collé en escalier</p> <p>Fabrication complexe et plus longue +++ Bon rendement matière</p>	
nb de jours de prod	12				
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>LC collés en bloc de 2 pièces</p> <p>Fabrication (dimensions de pièce importante par contre) Limite une partie des pertes de matière</p>	
nb de jours de prod	4				

Bois lamellé-collé vs. propriétés

Propriétés du bois lamellé-collé

CSA 086-14 (7.5.3)
Utilisation du bois lamellé collé à lamelles verticales
= Calculé comme système composé de #2&btr

Typical use
X-X major axis

Y-Y major axis

- $F_{bx} \neq F_{by}$ $E_x \neq E_y$
- $F_{vx} \neq F_{vy}$ $F_{c.Lx} \neq F_{c.Ly}$
- $F_{bx}^+ \neq F_{bx}^-$ → Grade 20f-e
- $F_{bx}^+ = F_{bx}^-$ → Grade 20f-ex

cecobois

76

Bois lamellé-collé vs. propriétés

Bois lamellé-collé

Groupe d'essence disponibles au Québec

Essences:

Species Group	Symbol	Species that may be included in the group
Alaska Cedar	AC	Alaska Cedar
Douglas-Fir-Larch	DF	Douglas-Fir, Western Larch
Eastern Spruce	ES	Black Spruce, Red Spruce, White Spruce
Hem-Fir	HF	California Red Fir, Grand Fir, Noble Fir, Pacific Silver Fir, Western Hemlock, White Fir
Port Orford Cedar	POC	Port Orford Cedar
Softwood Species	SW	Alpine Fir, Balsam Fir, Black Spruce, Douglas Fir, Douglas Fir South, Engelmann Spruce, Idaho White Pine, Jack Pine, Lodgepole Pine, Mountain Hemlock, Norway (Red) Pine, Norway Spruce (N) ^b , Ponderosa Pine, Sitka Spruce, Sugar Pine, Red Spruce, Western Larch, Western Red Cedar, White Spruce
Southern Pine	SP	Loblolly Pine, Longleaf Pine, Shortleaf Pine, Slash Pine
Spruce-Pine-Fir ^a	SPF	Alpine Fir, Balsam Fir, Black Spruce, Engelmann Spruce, Jack Pine, Lodgepole Pine, Norway (Red) Pine, Norway Spruce ^c , Red Spruce, Sitka Spruce, White Spruce

a. Including Spruce-Pine-Fir and Spruce-Pine-Fir (South).
b. Norway Spruce (N) grown in Canada.
c. Norway Spruce grown in the U.S., as part of Spruce-Pine-Fir (South).

Au Canada:
CSA O122 et CSA O86
Ne permet pas l'utilisation de sapin dans le lamellé-collé

cecobois

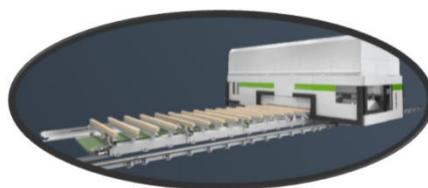
77

Fabrication

Intégration de la conception et de la fabrication numérique

- Processus de conception alliant la conception 3d (CAD) et la fabrication additive ou soustractive

Fabrication additive	Fabrication soustractive
Impression 3d	Découpe CNC, Découpe laser, etc.



cecobois

80

Fabrication

Fabrication soustractive

- Machines à commande numérique pour le « Mass timber »
 - « Beam processing machine »
 - Habituellement à pont fixe



Hundegger ROBOT-Drive



Biesse Uniteam CK



Technowood Agil



Hundegger K2i



SCM Oikos XL



Esstre Techno fast

cecobois

81

Fabrication

Fabrication soustractive

- Machines à commande numérique pour le « Mass timber »
 - Machines pour panneaux



Biesse Uniteam CLT 400



Technowood Mill E



SCM Area



Hundegger PBA

Machine à pont fixe



Technowood Mill C

cecobois

Assurer la qualité en chantier

Tolérances à l'installation ancrages

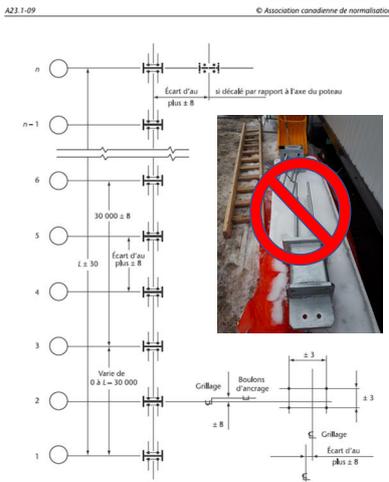
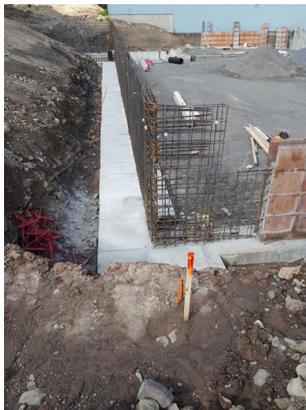


Figure 3
Tolérances d'installation des boulons d'ancrage
(voir l'article 6.7.3.1)



Tolérances des ancrages de béton:
(CSA A23-1 article 6.7.3.1)

- $\pm 3\text{mm}$ dans un groupe d'ancrage
- $\pm 8\text{mm}$ entre les groupes d'ancrages



cecobois

Assurer la qualité en chantier

Tolérances à l'installation et à la fabrication

Dimensions trous de fabrication vs. dimension des goujons

- Faire attention de la spécification des produits en métrique
 - Ex: goujons de 12mm dans des trous percés à ½" (12.7mm)
 - Moins problématique pour les autres dimensions:
 - 19mm vs. ¾" (19.1mm)
 - 16mm vs. 5/8" (16.1mm)
 - 10mm vs. 3/8" (9.5mm) (Problématique inverse)
 - Faire attention à la mixité des diamètres de goujons/boulons sur un même projet
 - 5/8" vs. 3/4" Peu visible pour un installateur peu expérimenté.

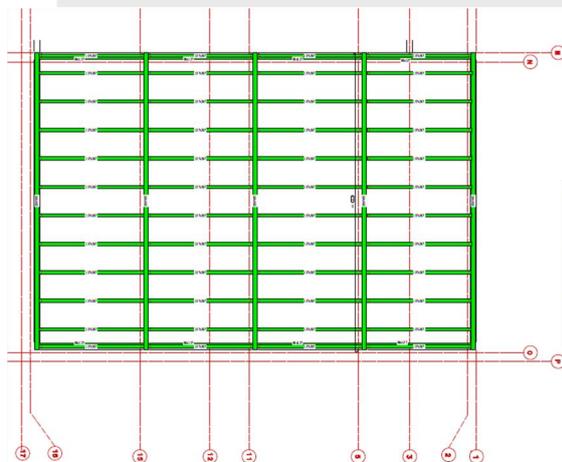


cecobois

84

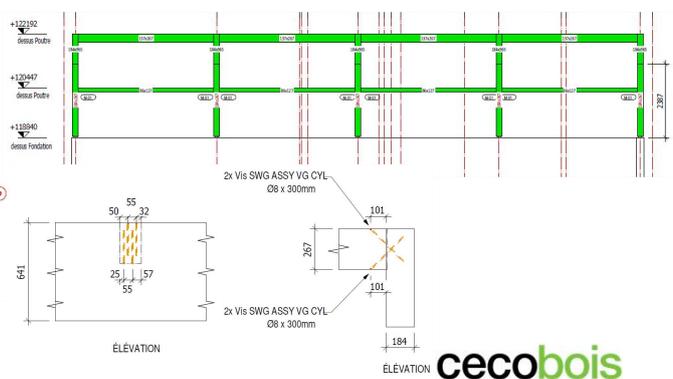
Assurer la qualité en chantier

Addition des incertitudes vs. verticalité des colonnes



Accumulations des tolérances de fabrication et d'installation

- ± 1 mm par connexion
 - Prévoir des connexions permettant de compenser à l'installation
- Problèmes potentiels:
- Désaplomb des colonnes



cecobois

85

Assurer la qualité en chantier

Formation du personnel en usine et en chantier



Salissures sur le bois apparent

- Traces de mains ou de pieds
- Infiltrations d'eau dans le bâtiment



cecobois

86

Assurer la qualité en chantier

Protection temporaire en chantier



- Protection temporaire des colonnes
 - Protection tout au long du chantier afin de protéger les structures apparentes des autres corps de métier.



Projet: 90 Arboretum, Newington, NH Photo: Woodwork



Projet Platte Fifteen, Denver, USA Photo: DenverInFill

cecobois

87

Assurer la qualité en chantier

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

- Coordination des intervenants (couvreur, structure, etc.)



Photo: Durand Construction



Photo: FP Innovations

cecobois

88



- Traitement temporaire ou permanent de la quincaillerie et des connexions pour le temps du chantier
- Pas d'acier noir

Assurer la qualité en chantier

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



89

Assurer la qualité en chantier

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

- Traitement temporaire ou permanent de la quincaillerie et des connexions pour le temps du chantier
 - Pas d'acier noir
 - Ferrures
 - Quincaillerie



cecobois

90

Assurer la qualité en chantier

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



- Prioriser les équipements de chauffage indirect
- Ne pas orienter les équipements directement sur les pièces de bois
- Éviter les environnements trop secs
 - Peut causer du fendillement et de la gerce

cecobois

91

Assurer la qualité en chantier

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

Éviter des changements brusques de la température et de l'humidité relative des conditions ambiantes

- Pendant le chantier et lors de la mise en service du bâtiment.
- Favoriser la préfabrication et prévoir la protection temporaire / permanente des éléments



cecobois

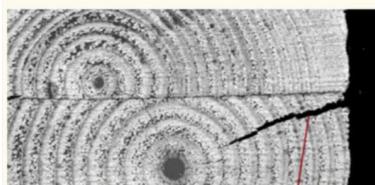
92

Assurer la qualité en chantier

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

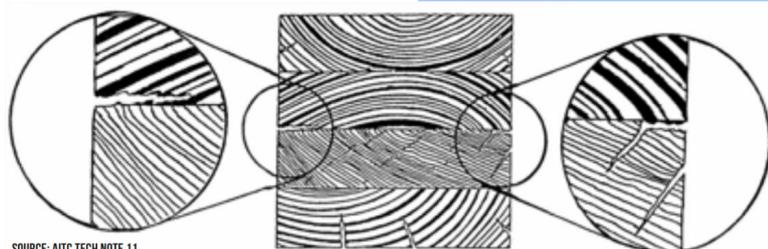
Gerces ou délaminations

GLUED LAMINATED BEAM CROSS SECTION ILLUSTRATING CHECKING

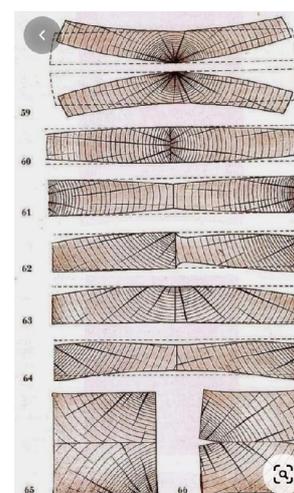


Seasoning check (uneven surfaces with torn wood fiber)

SOURCE: APA TECH NOTE B476



SOURCE: AITC TECH NOTE 11



cecobois

93

Assurer la qualité en chantier

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

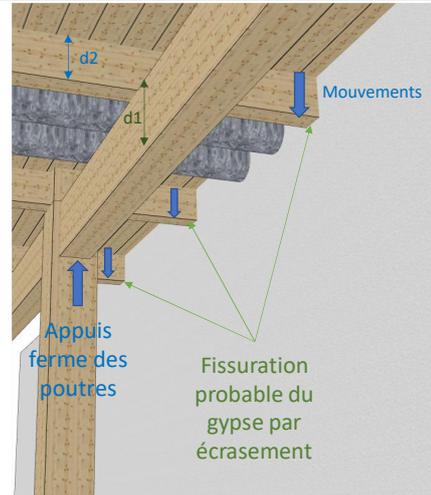
Travail du bois à l'humidité (Hygroscopicité)

- Prévoir les mouvements de tassements différentiels en conception et en fonction des systèmes.
- Limiter le bois à fil de 90°
- Prévoir les détails architecturaux pouvant absorber un retrait du bois

		Shrinkage (%) from green to oven-dry moisture content			
		Radial	Tangential	Volumetric	T/R
Type de bois:	Softwood / Bois mou	4.1	6.8	11.3	1.7
Essence :	Spruce Black				
TH Collage %	11%				
TH Service %	10%				
		Δ TH% -1.0%			
d1	500.0 mm	retrait/gonflement radial		-0.1%	
d2	300.0 mm	retrait/gonflement tangential		-0.2%	
hauteur de poutre com.	800.0 mm				
		radial	-1.09 mm	798.9 mm	
		tangential	-1.81 mm	798.2 mm	

Environ 1.5mm par ΔTH%

Ex: 12% à 7%= 5% variation environ -7,5mm de retrait



cecobois

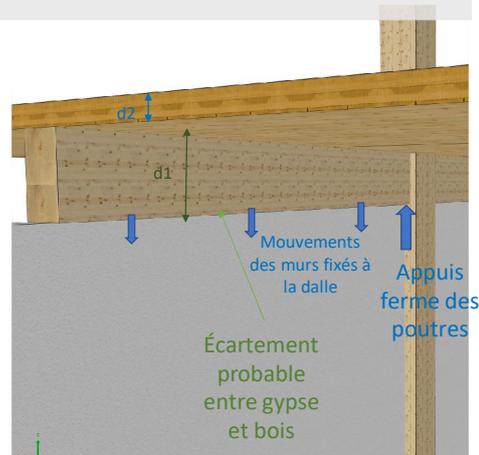
Assurer la qualité en chantier

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

Travail du bois à l'humidité (Hygroscopicité)



		Shrinkage (%) from green to oven-dry moisture content			
		Radial	Tangential	Volumetric	T/R
Type de bois:	Softwood / Bois mou	4.1	6.8	11.3	1.7
Essence :	Spruce Black				
TH Collage %	11%				
TH Service %	10%				
		Δ TH% -1.0%			
d1	143.0 mm	retrait/gonflement radial		-0.1%	
d2	700.0 mm	retrait/gonflement tangential		-0.2%	
hauteur de poutre com.	843.0 mm				
		radial	-1.15 mm	841.9 mm	
		tangential	-1.91 mm	841.1 mm	



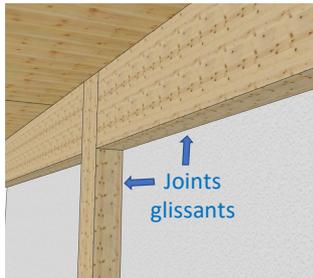
cecobois

Assurer la qualité en chantier

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

Solutions possibles pour joints gypse/bois

- Minimiser la hauteur de bois perpendiculaire (90°)
- S'assurer d'avoir des points fixes (immobile)
- Travail sur les détails architecturaux (principalement les jonctions)
 - Jeux d'assemblages permettant de compenser le retrait.
 - Joints libres de mouvements.
 - Etc.



111 East Grand, Des Moines, Iowa, Woodworks

cecobois

96

Intégration de la DFMA

État de situation et innovations de la construction en bois

- Principales innovations développées autour des produits. (CLT, lamellé-collé, produits d'ingénieries, etc.)
- Peu d'innovation sur les méthodes d'installation.
- Industrie de la construction en général très conservatrice.
- L'industrie de la construction bois et principalement la construction en gros bois d'œuvre est à l'avant-garde de l'industrie de la construction sur l'implantation des technologies numériques.



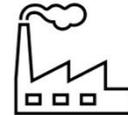
Photo: Technowood.ch

cecobois

97

Intégration de la DFMA

- DFMA (design for manufacturing and assembly)
 - Design for manufacture (DFM)
 - Minimiser la complexité des opérations de fabrication,
 - Fabriquer en fonction des tolérances des procédés de fabrication.
 - Design for assembly DFA
 - Faciliter la construction sur le site
 - Diminuer les coûts d'assemblage en chantier
 - Augmenter la rapidité d'exécution
 - Design for disassembly DFD
 - Réduction de l'impact de la construction sur l'environnement
 - Réutilisation et réemploi
 - Bâtiment évolutif pour de futurs changements d'usage
 - Etc.



cecobois

98

Intégration de la DFMA

Facteurs influençant la conception d'assemblages bois

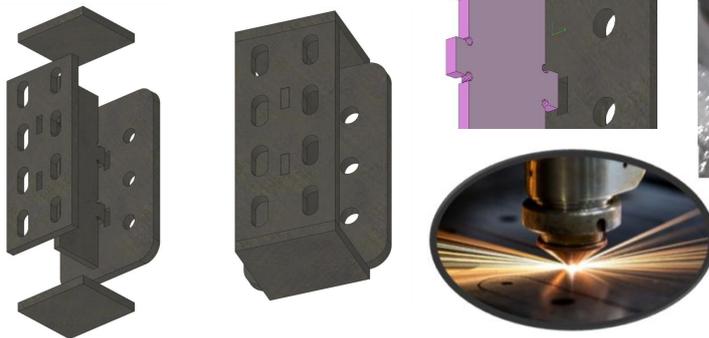
- Critères à considérer qui influence la conception de connecteurs en bois.
 - Esthétisme (connexions apparentes ou non)
 - Durabilité (protection constructive, type de matériel, finition, etc.)
 - Techniques d'usinage (possibilités de fabrication (CNC), Tolérances de fabrications bois, acier, etc.)
 - Résistance mécanique (type de connexion)
 - Facilité et rapidité d'installation (possibilité de préfabrication)
 - Résistance au feu
 - Stabilité
- Caractéristiques intrinsèques au bois influençant la conception des connexions.
 - Résistance mécanique (type de connexion)
 - Anisotropie (Orientation du grain)
 - Hygroscopicité (retrait-gonflement)
 - Résistance au feu

cecobois

99

Intégration de la DFMA

- Exemple DFM (design for manufacture)
 - Intégration des assemblages mécano-soudés
 - Précision d'usinage
 - Fabrication par CNC (Laser)
 - Facilité et précision de montage
 - Analogie au tenon-mortaise

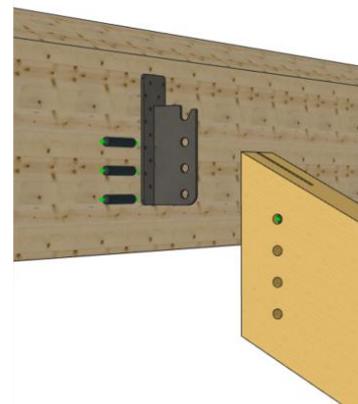
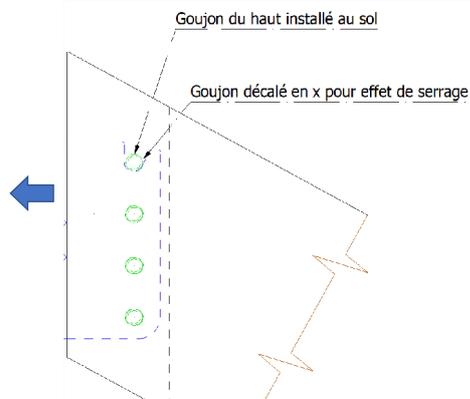


cecobois

100

Intégration de la DFMA

- Exemple DFMA (design for manufacturing and assembly)
 - Connecteur goujons perp.



cecobois

101

Intégration de la DFMA

- Exemple DFMA (design for manufacturing and assembly)
 - Connecteurs suspendus.



cecobois

102

Intégration de la DFMA

Facteurs influençant la conception d'assemblages bois

- Facilités d'installations
 - Favoriser les installations utilisant la gravité (du haut vers le bas)



Photos: Les constructions FGP

cecobois

103

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Préfabrication des composantes



cecobois

104

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Préfabrication des composantes



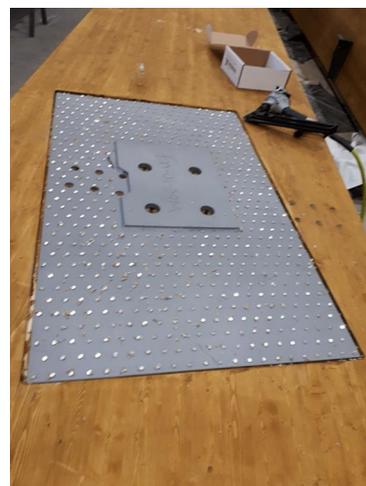
cecobois

105

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Pré-installation des assemblages



cecobois

106

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Pré-installation des assemblages



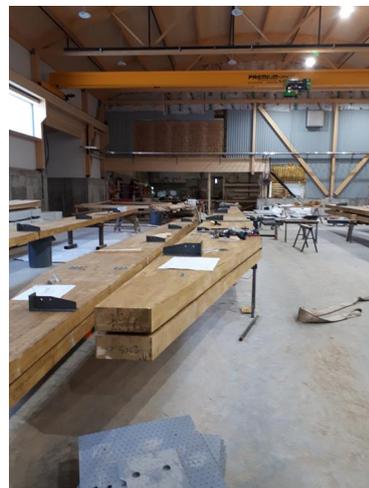
cecobois

107

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Pré-montage en usine



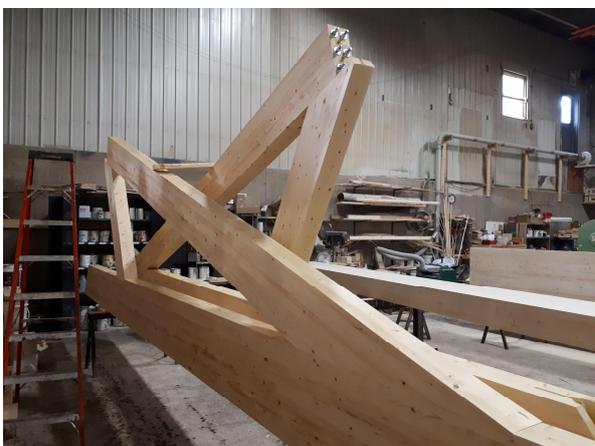
cecobois

108

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Pré-montage en usine



cecobois

109

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Pré-montage en usine



cecobois

110

© Cecobois. Tous droits réservés. Reproduction interdite.

Fabrication

Tirer avantage de la préfabrication et de la pré-installation dans le « Mass Timber »

Fabrication en Modules 3d

- Très sensible aux coûts de transport
- Souvent les structures plancher/plafond sont dédoublées
 - Coûts supplémentaires \$
- Installation et mobilisation de chantier de beaucoup diminué



Crédit photo: Homag.com
Blumer Lehmann AG



Crédit photo: © Perkins+Will

cecobois

111



MERCI DE VOTRE ATTENTION !

Guillaume Bédard Blanchet, ing.
Conseiller technique
gbblanchet@cecobois.com

 (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