

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

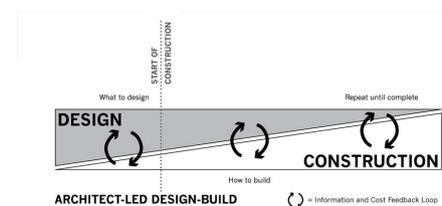
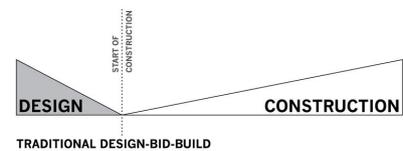
cecobois

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

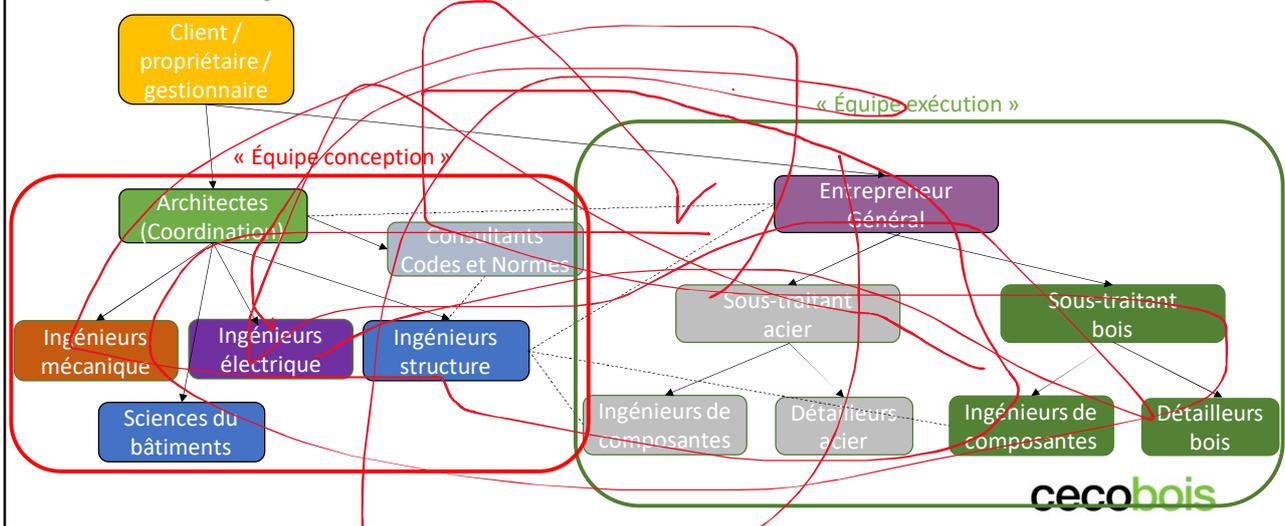
cecobois

4

Genèse d'un projet en bois massif

Les bases

Processus « design-bid-built »

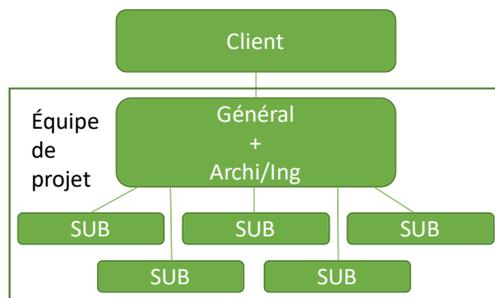


5

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

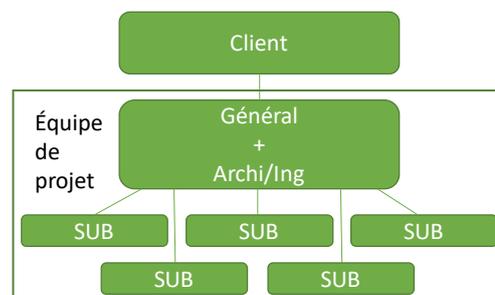
Projet de construction massive en bois

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



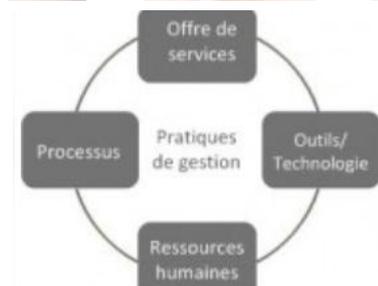
cecobois

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.



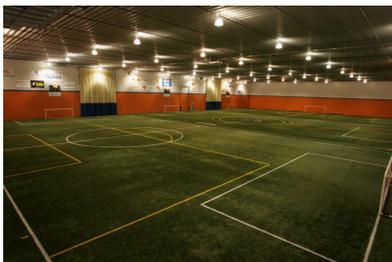
cecobois

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

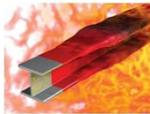
20

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

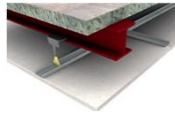
Protection au feu de l'acier VS. Gros Bois d'oeuvre



Peintures intumescentes



Plaques résistantes au feu



Mortiers projetés résistant au feu



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

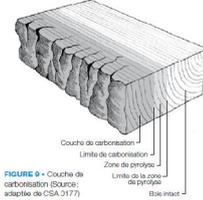


FIGURE 9 - Couche de carbonisation (Source: adaptée de CSA 0177)

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)



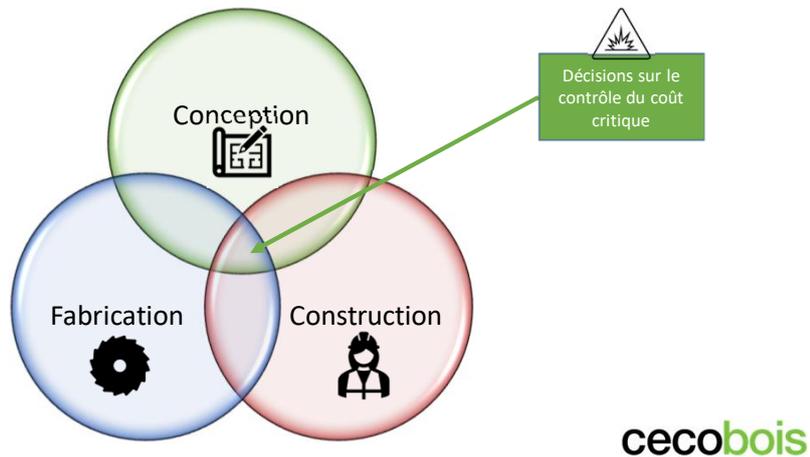
cecobois

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

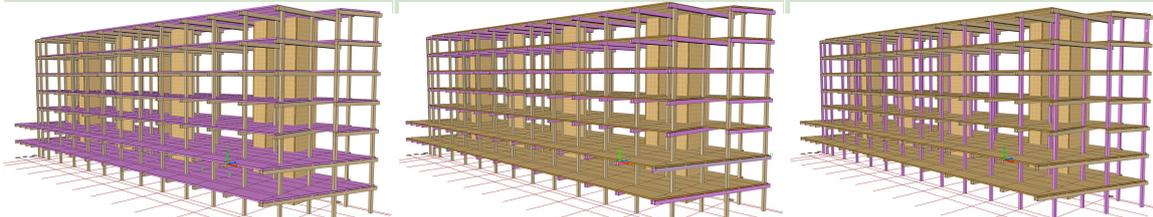
24

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.		



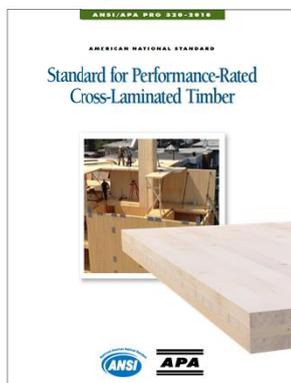
25

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

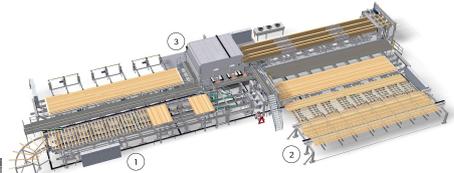
Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

▪ 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

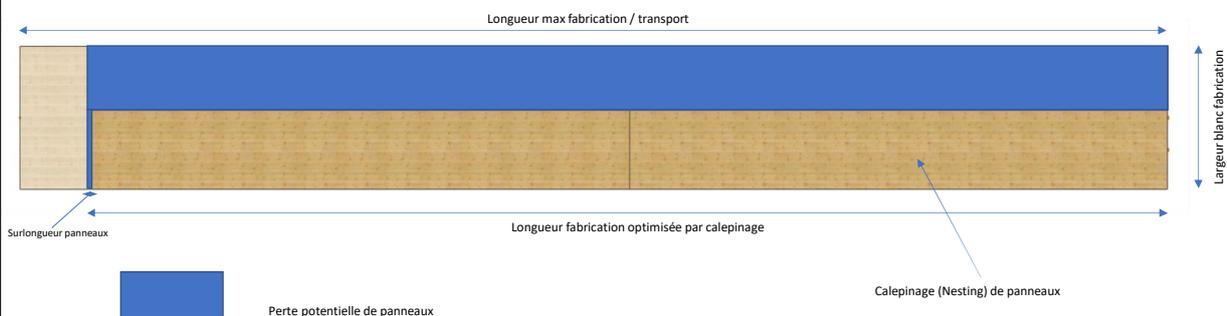
27

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

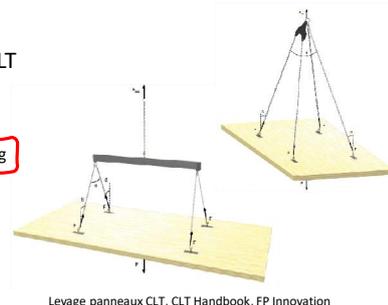
29

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

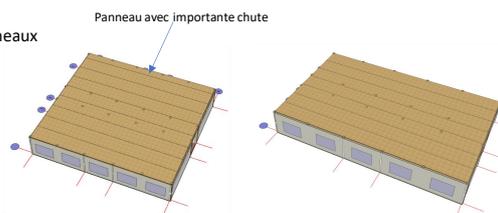
- Dalles (CLT)
 - Il est important de bien balancer l'optimisation des panneaux de CLT

- 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).



Levage panneaux CLT, CLT Handbook, FP Innovation

- 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

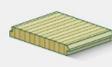
Épaisseurs*
38, 44, 54 et 89 mm
(1-1/2, 1-3/4, 2-1/8 et 3-1/2 po)

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%

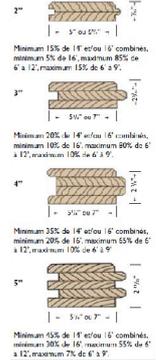
ÉPAISSEURS
38 mm, 60 mm, 80 mm, 130 mm

LONGUEURS
Sur demande

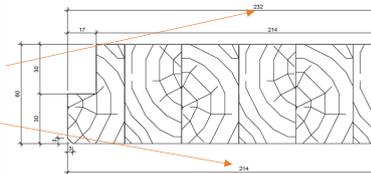


GOODFELLOW
SPECIALISTES DU BOIS

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.



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



cecobois

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

- Dalles (général)

Figure 2.2
Platelage de configuration irrégulière contrôlée

Minimum de 3 portées

Jointo adossés décalés d'au moins 610 mm (24 po)

Aucun joint dans l'extrémité de la portée

Les longueurs non appuies doivent être séparées par au moins six rangs. Les éléments adossés doivent reposer sur les deux appuis. Le platelage de plus de 30 mm (2 po) d'épaisseur doit être à double mesure et languettes. Les mesures de platelage de 30 mm (2 po) doivent chevaucher au moins un appui.

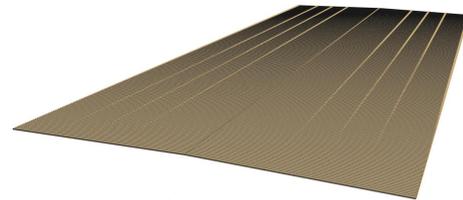
Deux rangs séparent les joints d'un joint en même alignement général.

Appui d'assemblés

$K_{portée}$ 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)

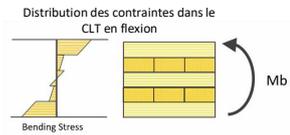
- Adaptable à des longueurs et largeurs plus grandes (plus de p^2 couvrant par planche)
- Facile de faire de la multiportée (même pour des longueurs > 16')

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



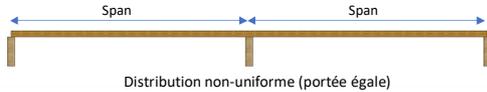
Portées simples	Portées multiples (joints contrôlés)	Portées multiples (joints décalés)
<p>Distribution uniforme</p>	<p>Distribution non-uniforme (portée égale)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Portée double: 1.25 ▪ Portée triple: 1.1 ▪ Portée quadruple: 1.143 	

33

Conception

Optimisation des trames (Connaissance des produits disponibles)

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



Distribution non-uniforme (portée égale)

- 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) :

Unfactored:	61.03	$L = \frac{2.4 * 4.5 * 7}{2} = 37.8 \text{ kN}$	61.03
Dead	47.25		47.25
Factored:	147.16	$\text{Ratio} = \frac{47.25 \text{ kN}}{37.8 \text{ kN}} = 1.25$	147.16
Total			

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

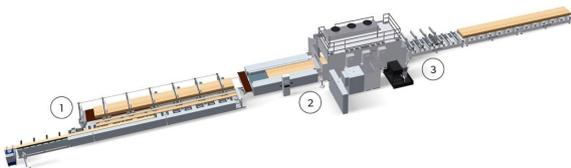
cecobois

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 lames	Largeur (mm)												
	30	40	57	104	210	241	292	340	395	440	500	552	600
67	140	137	137	144	215	241	292	340	395	440	500	552	600
80	160	164	164	164	232	262	312	360	415	460	520	572	620
117	241	241	241	241	315	343	395	440	495	540	600	652	700
143	292	292	292	292	362	393	445	495	550	600	660	712	760
171	343	343	343	343	413	445	495	545	600	650	710	762	810
191	395	395	395	395	465	495	545	595	650	700	760	812	860
222	445	445	445	445	515	545	595	645	700	750	810	862	910
246	495	495	495	495	565	595	645	695	750	800	860	912	960
273	545	545	545	545	615	645	695	745	800	850	910	962	1010
286	597	597	597	597	667	697	747	797	850	900	960	1012	1060
327	648	648	648	648	718	748	798	848	900	950	1010	1062	1110
332	699	699	699	699	769	799	849	899	950	1000	1060	1112	1160
338	749	749	749	749	819	849	899	949	1000	1050	1110	1162	1210
403	803	803	803	803	873	903	953	1003	1050	1100	1160	1212	1260
432	854	854	854	854	924	954	1004	1054	1100	1150	1210	1262	1310
454	905	905	905	905	975	1005	1055	1105	1150	1200	1260	1312	1360
559	956	956	956	956	1026	1056	1106	1156	1200	1250	1310	1362	1410
609	1007	1007	1007	1007	1077	1107	1157	1207	1250	1300	1360	1412	1460
637	1058	1058	1058	1058	1128	1158	1208	1258	1300	1350	1410	1462	1510
665	1109	1109	1109	1109	1179	1209	1259	1309	1350	1400	1460	1512	1560
693	1160	1160	1160	1160	1230	1260	1310	1360	1400	1450	1510	1562	1610
721	1211	1211	1211	1211	1281	1311	1361	1411	1450	1500	1560	1612	1660
749	1262	1262	1262	1262	1332	1362	1412	1462	1500	1550	1610	1662	1710
777	1313	1313	1313	1313	1383	1413	1463	1513	1550	1600	1660	1712	1760
805	1364	1364	1364	1364	1434	1464	1514	1564	1600	1650	1710	1762	1810
833	1415	1415	1415	1415	1485	1515	1565	1615	1650	1700	1760	1812	1860
861	1466	1466	1466	1466	1536	1566	1616	1666	1700	1750	1810	1862	1910
889	1517	1517	1517	1517	1587	1617	1667	1717	1750	1800	1860	1912	1960
917	1568	1568	1568	1568	1638	1668	1718	1768	1800	1850	1910	1962	2010
945	1619	1619	1619	1619	1689	1719	1769	1819	1850	1900	1960	2012	2060
973	1670	1670	1670	1670	1740	1770	1820	1870	1900	1950	2010	2062	2110
1001	1721	1721	1721	1721	1791	1821	1871	1921	1950	2000	2060	2112	2160
1029	1772	1772	1772	1772	1842	1872	1922	1972	2000	2050	2110	2162	2210
1057	1823	1823	1823	1823	1893	1923	1973	2023	2050	2100	2160	2212	2260
1085	1874	1874	1874	1874	1944	1974	2024	2074	2100	2150	2210	2262	2310
1113	1925	1925	1925	1925	1995	2025	2075	2125	2150	2200	2260	2312	2360
1141	1976	1976	1976	1976	2046	2076	2126	2176	2200	2250	2310	2362	2410
1169	2027	2027	2027	2027	2097	2127	2177	2227	2250	2300	2360	2412	2460
1197	2078	2078	2078	2078	2148	2178	2228	2278	2300	2350	2410	2462	2510
1225	2129	2129	2129	2129	2199	2229	2279	2329	2350	2400	2460	2512	2560
1253	2180	2180	2180	2180	2250	2280	2330	2380	2400	2450	2510	2562	2610
1281	2231	2231	2231	2231	2301	2331	2381	2431	2450	2500	2560	2612	2660
1309	2282	2282	2282	2282	2352	2382	2432	2482	2500	2550	2610	2662	2710
1337	2333	2333	2333	2333	2403	2433	2483	2533	2550	2600	2660	2712	2760
1365	2384	2384	2384	2384	2454	2484	2534	2584	2600	2650	2710	2762	2810
1393	2435	2435	2435	2435	2505	2535	2585	2635	2650	2700	2760	2812	2860

Collage à chaud

Art Massif

Dimensions STANDARDS

NR de lames	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

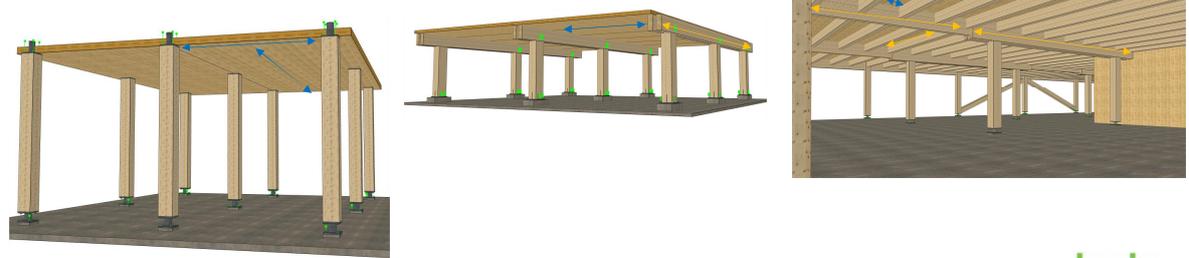


Conception

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.

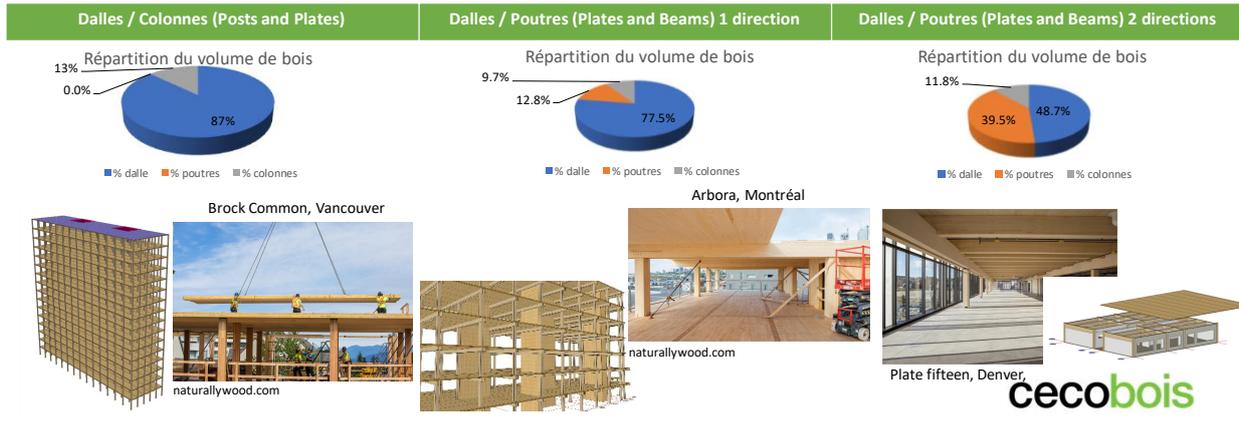
Dalles / Colonnes (Posts and Plates)	Dalles / Poutres (Plates and Beams) 1 direction	Dalles / Poutres (Plates and Beams) 2 directions
Dalles supportées par points (bi-directionnel)	Dalles supportées totalement sur un axe	Dalles supportées sur plusieurs poutres rapprochées
Système se rapprochant le plus 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



40

Conception

Optimisation des trames

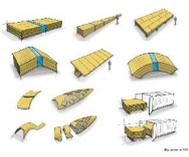
Dalles / Colonnes (Posts and Plates)



- 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



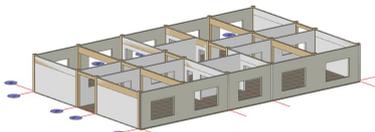
cecobois

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

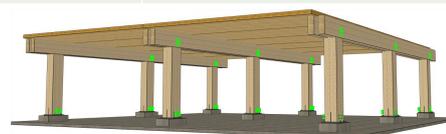


Arbora, Montréal, Qc

	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

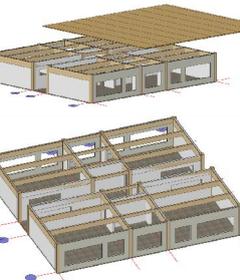
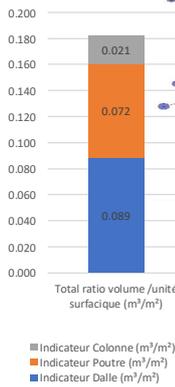
Conception

Optimisation des trames

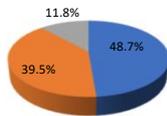
Dalles / Poutres (Plates and Beams) 2 directions

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



■ Indicateur Colonne (m³/m²)
■ Indicateur Poutre (m³/m²)
■ Indicateur Dalle (m³/m²)

■ % dalle ■ % poutres ■ % colonnes

	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	
	Moins de fondation	
Mécanique		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)

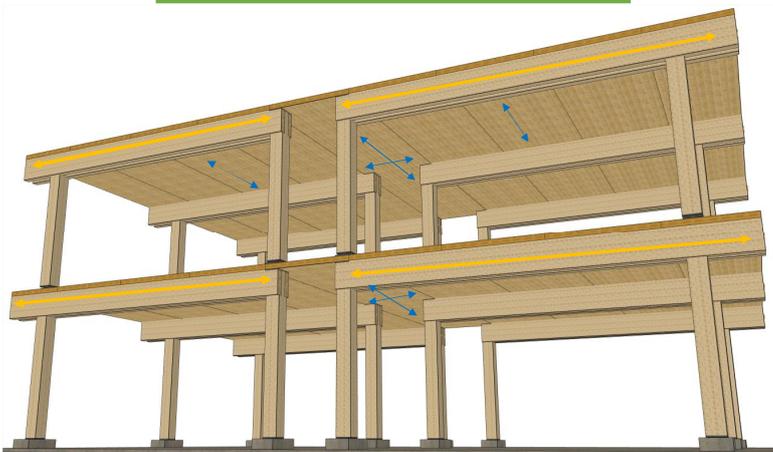


Conception

Optimisation des trames

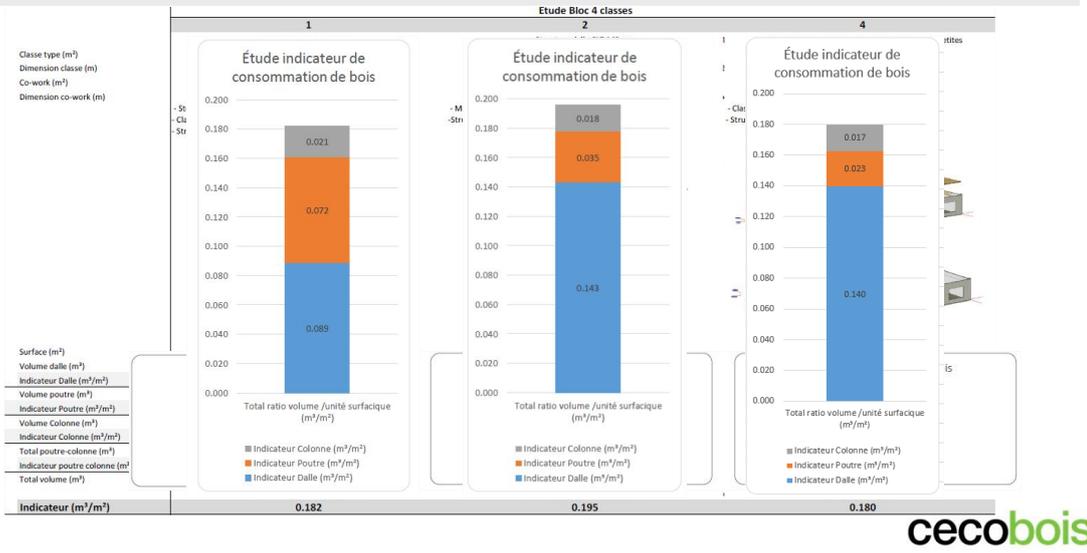
- Pourquoi ne pas mixer les systèmes pour une plus grande optimisation?

Mixte Dalles sur point et dalles sur poutre 1 direction



Conception

Efficacité de la trame structurale (exemple théorique)



45

Conception

Efficacité de la trame structurale

Choix du système de poutres structurales

	Points forts	Points faibles
Poutre simple 	Moins de pièces (fabriquer, usiner, installer, etc.) Pièces plus courtes (portée simple)	Porte à faux plus difficilement réalisable si l'on veut préserver la continuité des colonnes. 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 Possible de passer de la MEP (principalement électrique) au centre des pièces. Détail de connexions poutre colonne simplifié (continuité des colonnes)	Plus de pièces (fabriquer, usiner, installer, etc.) Détails de protection incendie à insérer entre les poutres Peut nécessiter une augmentation de la dimension des colonnes pour simplifier la connexion poutres-colonnes



80 Atlantic, Toronto



11^e Lennox, USA crédit: QWEB



46

Conception

Intégration MEP

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

Exposé



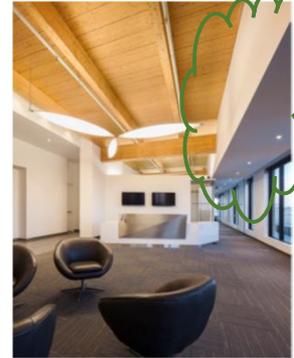
Bibliothèque Paul-Mercier, Blainville, Qc, Crédit: Nordic

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

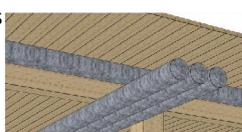
- À travers



- Plus de coordination

- En dessous

- Plus visible



Partout dans toutes directions



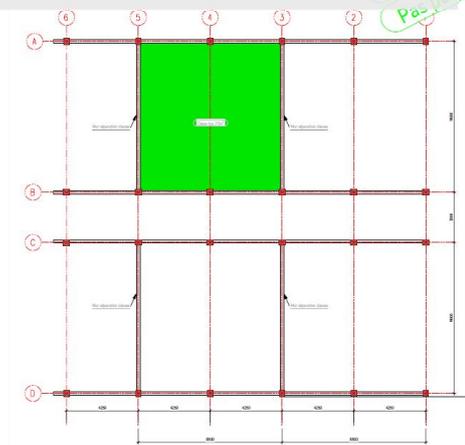
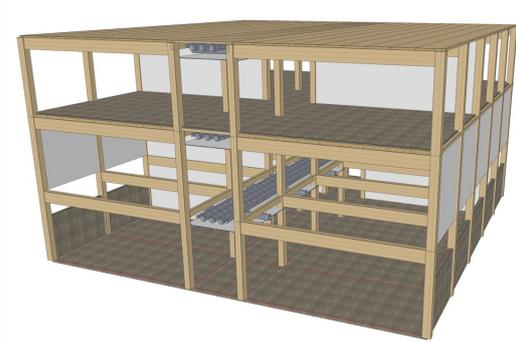
cecobois

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

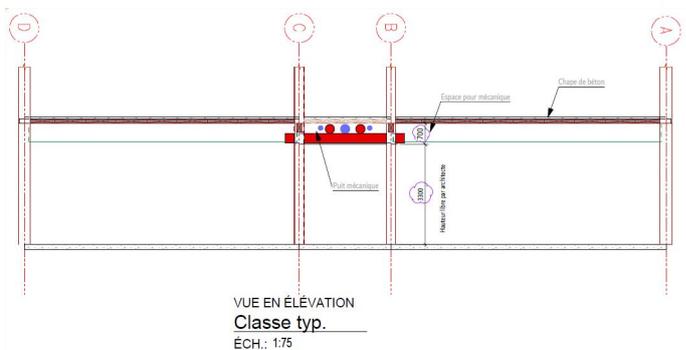
49

Projet de construction massive en bois

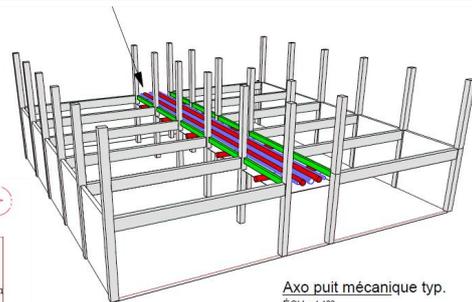
Optimisation des trames

Étude de cas (Trame d'école standard)

- Trame des classes: 8.5m x 9.0m



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



Axo puit mécanique typ.
ÉCH.: 1/100

cecobois

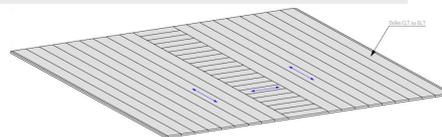
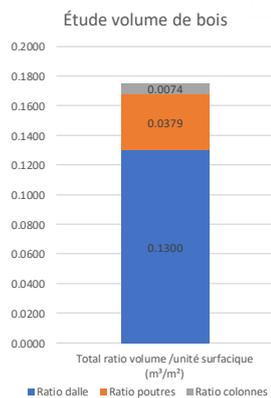
50

Projet de construction massive en bois

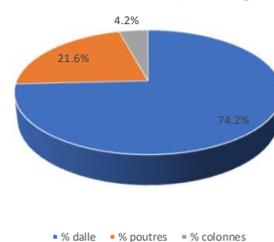
Optimisation des trames

Étude de cas (Trame d'école standard)

- Trame des classes: 8.5m x 9.0m



Répartition du volume de bois (ordre de grandeur)



cecobois

51

Projet de construction massive en bois

Optimisation des trames

Étude de cas

- Applications à d'autres usages de bâtiments



cecobois

52

Formes structurales Lamellé-collé

- Pièces droites



+ Courbes 1 plan \$



++ Courbes hors plan \$\$



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



- Poutres à inertie variable



- Pièces Ronde \$



Photos: Stéphane Groleau

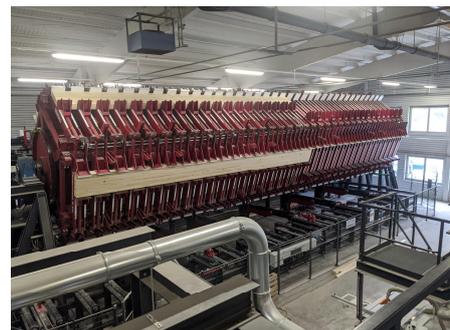
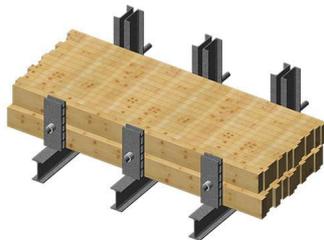
53

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

▪ Pièces droites

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



cecobois

54

Comprendre l'origine des coûts

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



Source: glenfort.com



Source: inventaire.poitou-charentes.fr

cecobois

55

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.

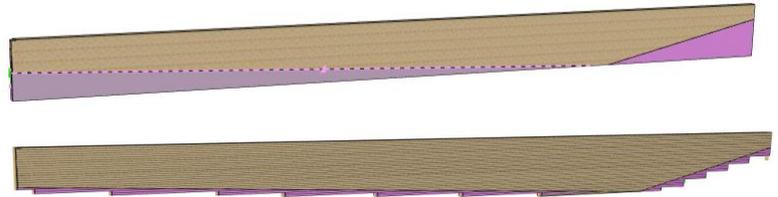
cecobois

56

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

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



cecobois

57

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

- Courbes hors plan \$\$
 - Fabrication plus complexe
 - 2 étapes de fabrication
 - Fabrication des lamelles larges (hauteur de poutre)
 - Collage courbe



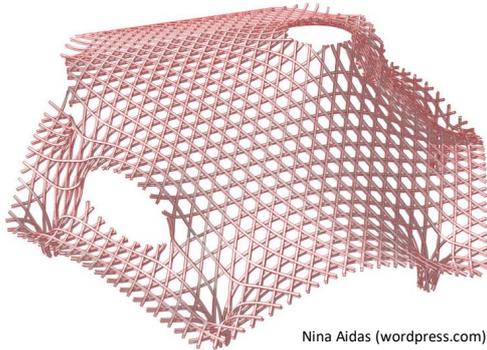
cecobois

58

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé

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



cecobois

59

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

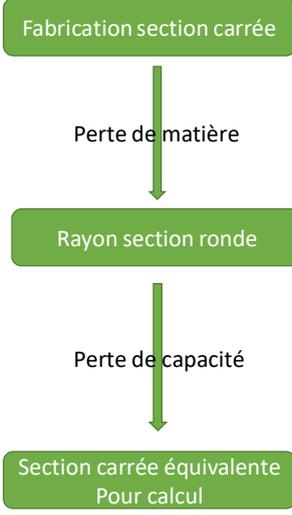


cecobois

60

Comprendre l'origine des coûts

Bois lamellé-collé



Exemple :

Section initiale: 215mmx215mm

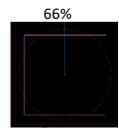
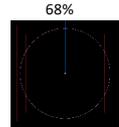
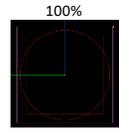
Rayon section ronde : 200mm

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

CSA O86-14 14.5.2.5

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

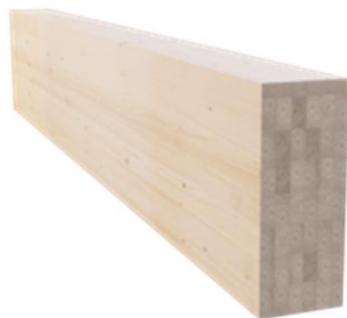
Section pour calcul: 175mmx175mm



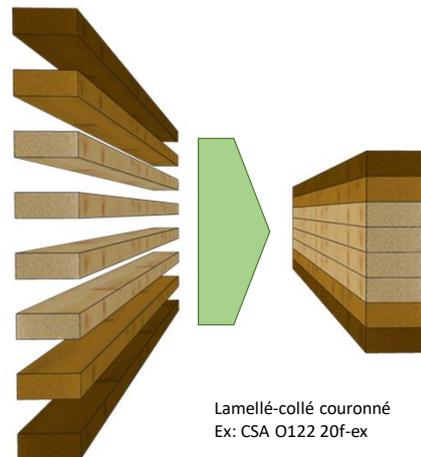
cecobois

Bois lamellé-collé et propriétés

- Lamellé-collé homogène vs. couronné



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

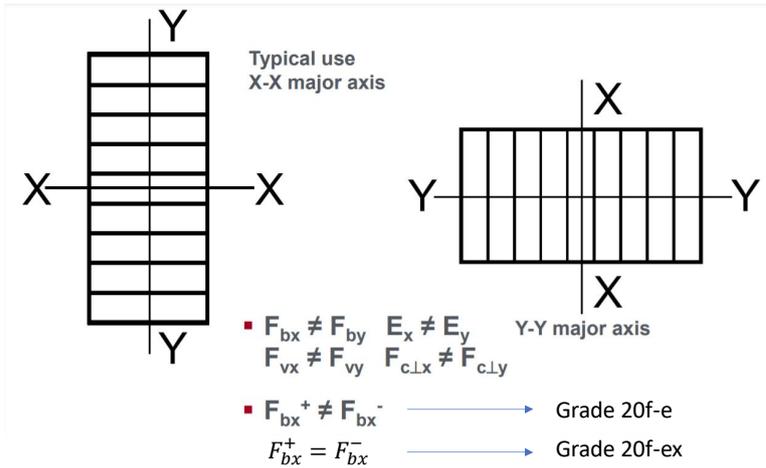


Lamellé-collé couronné
Ex: CSA O122 20f-ex

cecobois

Bois lamellé-collé vs. propriétés

Propriétés du bois lamellé-collé



Comprendre l'origine des coûts

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

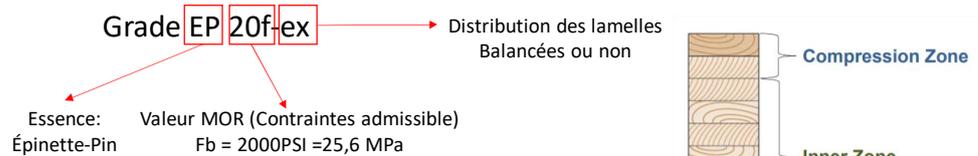
a. Including Spruce-Pine-Fir and Spruce-Pine-Fir (South).
 b. Norway Spruce (N) grown in Canada.
 c. Norway Spruce grown in the U.S., as part of Spruce-Pine-Fir (South).

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

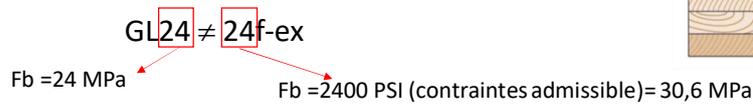


Bois lamellé-collé vs. propriétés

Propriétés du bois lamellé-collé CSA O122



Produits Européen:



Le GL24 (24,0 MPa) possède des valeurs de Fb plus faibles que le CSA O122 20f-ex (25,6 MPa)



Bois lamellé-collé vs. propriétés

Propriétés du bois lamellé-collé et résistance au feu

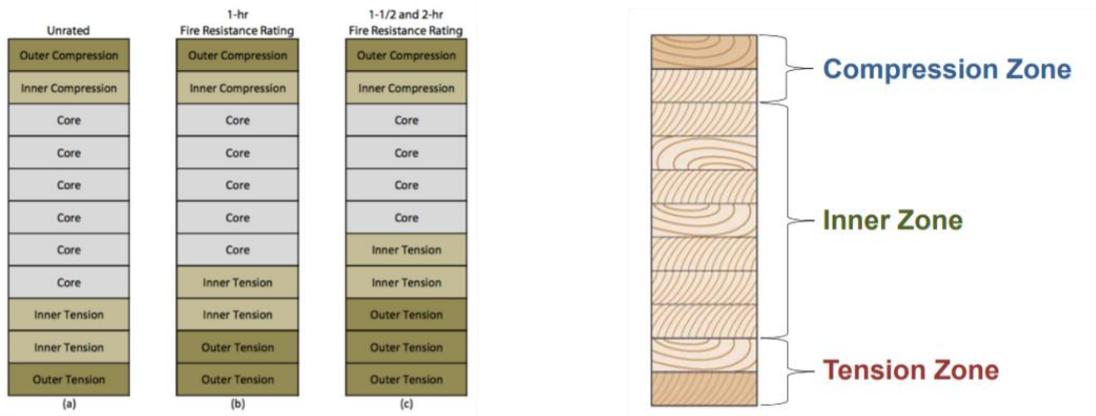


Figure 3-1 Typical glulam unbalanced beam layouts SOURCE: AWC'S TR 10

