

Guide technique sur les **poutrelles de bois en I** pour la construction commerciale



cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

cecobois remercie Ressources naturelles Canada et le ministère
des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec pour leur contribution
financière à la réalisation de ce guide.

Avant-propos

Ce guide technique a pour but d'aider les ingénieurs et les architectes dans la conception de planchers et de toits utilisant des poutrelles de bois en I. On y présente, entre autres, les avantages et les particularités des différents types de poutrelles que l'on trouve couramment sur le marché. On y présente également les principes de conception ainsi que les différentes normes de calcul utilisées. Ce guide met aussi l'accent sur les exigences concernant l'installation au chantier.

Remerciements

Les conseillers techniques de cecobois remercient les représentants des membres fabricants pour leurs commentaires constructifs sur les divers aspects techniques de la première édition du présent du présent guide :

- Pierre Audet, ing., Groupe Distribution Toiture Mauricienne,
- Yves Carignan, Groupe Distribution Toiture Mauricienne,
- Julie Frappier, ing., Nordic Structures.

Nous remercions particulièrement Nordic Structures pour la figure 5 et la figure 6.

Responsabilités du lecteur

Bien que ce guide ait été conçu avec la plus grande exactitude conformément à la pratique actuelle du calcul des structures en bois, le Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois n'est nullement responsable des erreurs ou des omissions qui peuvent découler de l'usage du présent guide. Toute personne utilisant ce guide en assume pleinement tous les risques et les responsabilités. Toute suggestion visant l'amélioration de notre documentation sera grandement appréciée et considérée pour les versions futures.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
1 CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS	1
2 GÉNÉRALITÉS	2
2.1 Avantages environnementaux de la construction en bois	2
2.2 Avantages des poutrelles de bois en I	3
2.3 Normes de calcul	6
2.4 Fabrication	6
2.5 Contrôle de la qualité	8
2.6 Normalisation	8
2.7 Estimation	11
2.8 Identification	11
3 CONCEPTION SELON LE CNBC	12
3.1 Rôle et responsabilité des concepteurs	12
3.1.1 Concepteur du bâtiment	13
3.1.2 Concepteur des poutrelles de plancher et de toit	13
3.2 Calcul de la flèche	13
3.3 Performance des systèmes	14
3.4 Effets des charges près des appuis	16
3.5 Ouvertures maximales pour conduits dans le panneau d'âme	17
3.6 Résistances aux appuis	19
3.7 Résistance au feu et acoustique	20
3.7.1 Résistance au feu	20
3.7.2 Acoustique	21
4 INSTALLATION	22
4.1 Support latéral et transfert de charge	23
4.1.1 Support latéral des semelles	24
4.1.2 Support latéral avec des étriers métalliques	24
4.1.3 Panneau de rive	25
4.1.4 Poteau de transfert	26
4.1.5 Panneau de blocage et entretoises	27
4.2 Poutrelles parallèles à un mur extérieur	27
4.3 Raidisseur d'âme	28
4.4 Poutrelle double	28
4.5 Porte-à-faux	29

4.6	Balcon	30
4.7	Poutrelles de toit	31
4.8	Revêtement de plancher et de toit	31
4.9	Stabilité en cours de construction	32
5	TABLES DE PORTÉES	33
5.1	Poutrelles de plancher	33
5.2	Poutrelles de toit plat	37
6	EXEMPLES DE CONCEPTION	41
6.1	Plancher d'un hôtel	41
6.2	Toit plat	41
6.3	Plancher de bureau (par calculs)	42
7	FABRICANTS	44
8	RÉFÉRENCES	45

Liste des tableaux

Tableau 1	Hauteurs courantes	4
Tableau 2	Caractéristiques des poutrelles de bois en I au Québec	8
Tableau 3	Résistances génériques pondérées (métrique)	9
Tableau 4	Résistances génériques pondérées (anglais)	10
Tableau 5	Flèches maximales autorisées pour les éléments structuraux en bois (adapté de CNRC ^[9])	14
Tableau 6	Contribution des parois d'un plancher selon l'annexe D-2.3 du CNB ^[8]	20
Tableau 7	Degré de résistance au feu, ITS et IIC de divers assemblages de planchers selon le CNB ^[8]	22
Tableau 8	Charges verticales maximales pour panneau de rive	25
Tableau 9	Charges verticales maximales par paire de poteaux de transfert	26
Tableau 10	Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi ²) non pondérée)	33
Tableau 11	Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi ²) non pondérée)	34
Tableau 12	Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi ²) non pondérée)	35
Tableau 13	Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi ²) non pondérée)	36
Tableau 14	Portées admissibles de toit plat (neige 1,9 kPa (40 lb/pi ²) non pondérée)	37
Tableau 15	Portées admissibles de toit plat (neige 2,4 kPa (50 lb/pi ²) non pondérée)	38
Tableau 16	Portées admissibles de toit plat (neige 2,9 kPa (60 lb/pi ²) non pondérée)	39
Tableau 17	Portées admissibles de toit plat (neige 3,4 kPa (70 lb/pi ²) non pondérée)	40
Tableau 18	Fabricants de poutrelles de bois en I distribuant au Québec	44

Liste des figures

Figure 1	Page www.cecobois.com	1
Figure 2	Cycle de vie des matériaux de construction	2
Figure 3	Données comparatives du cycle de vie d'un bâtiment commercial	3
Figure 4	Poutrelle de bois en I avec des semelles en bois de sciage (gauche) et en LVL (à l'extrême droite)	3
Figure 5	Tuyau dans le panneau d'âme	4
Figure 6	Ouvertures dans le panneau d'âme	4
Figure 7	Utilisation de la ressource	5
Figure 8	Potentiel de réchauffement climatique de systèmes de plancher (en kg CO ₂ /m ²)	5
Figure 9	Fabrication des poutrelles de bois en I en longueur fixe	7
Figure 10	Exemple d'identification d'une poutrelle de bois en I	11
Figure 11	Critère de vibration réduite pour les produits de bois d'ingénierie structuraux	15
Figure 12	Amélioration de la performance d'un plancher	16
Figure 13	Distance et dimensions minimales pour les ouvertures	17
Figure 14	Combinaisons de charges avec une ouverture dans l'âme	18
Figure 15	Interfaces dans la détermination des réactions d'appuis	19
Figure 17	Support latéral des semelles	24
Figure 18	Installation avec des étriers métalliques	24
Figure 19	Panneau de rive à un appui d'extrémité	25
Figure 20	Effet d'un panneau de rive en bois de sciage	25
Figure 21	Poteaux de transfert	26
Figure 22	Panneau de blocage et entretoise	26
Figure 23	Muret parallèle aux poutrelles	27
Figure 24	Mur non supporté latéralement	27
Figure 25	Blocage du mur parallèle	27
Figure 26	Raidisseurs d'âme à l'appui	28
Figure 27	Raidisseurs d'âme sous une charge concentrée	28
Figure 28	Remplissage d'une poutrelle double	28
Figure 29	Charge concentrée appliqué sur le côté	28
Figure 30	Bloc de remplissage pour une poutrelle double	29
Figure 31	Poutrelles en porte-à-faux	30
Figure 32	Renforcement d'un seul côté	30
Figure 33	Balcon avec poutrelles et solives en bois traité	30
Figure 34	Balcon auto-portant	30
Figure 35	Ventilation dans un toit en poutrelles de bois en I	31
Figure 36	Exemples de consigne de sécurité	32

1 Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois

Le Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois **cecobois** est un organisme à but non lucratif dont la mission est d'appuyer sans frais les promoteurs, les développeurs ainsi que les firmes d'ingénieurs et d'architectes en matière d'utilisation du bois dans les constructions non résidentielles au Québec.

cecobois est votre ressource première afin d'obtenir des :

- références sur les produits du bois, leurs propriétés et les fournisseurs ;
- conseils techniques en matière de faisabilité d'utilisation dans les projets commerciaux ;
- renseignements et des services sur des solutions constructives en bois.

Vous êtes promoteur, ingénieur ou architecte ? cecobois peut vous renseigner sur :

- l'interprétation du Code du bâtiment ;
- la démarche à suivre pour concevoir un bâtiment en bois ;
- les possibilités d'utilisation du bois en construction commerciale, industrielle ou institutionnelle ;
- les produits de structure, les bois d'apparence et les parements disponibles ;
- les propriétés mécaniques du bois et des bois d'ingénierie ;
- les outils et les manuels de calcul des structures disponibles ;
- les solutions constructives en bois appropriées ;
- les avantages du bois du point de vue des impacts environnementaux ;
- l'analyse du cycle de vie des matériaux, des bâtiments ou des systèmes de construction.

Visitez notre site Internet www.cecobois.com afin d'obtenir une vaste gamme d'information sur la construction non résidentielle en bois, des nouvelles, des fiches techniques et des outils de conception en ligne (figure 1).



FIGURE 1 • Page www.cecobois.com

2 Généralités

2.1 Avantages environnementaux de la construction en bois

Les nombreuses caractéristiques environnementales du bois en font un allié de taille dans la lutte contre les changements climatiques. Le bois est un matériau issu d'une ressource renouvelable et exploitée de manière durable au Québec. Son utilisation dans la construction de bâtiments, un domaine qui génère énormément de gaz à effet de serre, s'avère ainsi une solution pertinente.

Contrairement à d'autres matériaux issus de ressources non renouvelables, le bois provient des arbres qui poussent dans nos forêts. Les forêts québécoises sont d'ailleurs aménagées de façon durable. Ainsi, au Québec, le volume de bois récolté chaque année est bien inférieur aux possibilités forestières, qui correspondent au « volume maximum des récoltes annuelles que l'on peut prélever à perpétuité, sans diminuer la capacité productive du milieu forestier ». En 2019, la possibilité forestière dans les forêts publiques était de plus de 32 millions de m³ alors que le volume récolté était de moins de 23 millions de m³.

Le Québec dispose d'un régime forestier visant à assurer un aménagement durable des forêts et, par conséquent, la pérennité du patrimoine forestier.

La certification forestière est donc un complément au régime forestier québécois et constitue une reconnaissance supplémentaire de la qualité de l'aménagement durable des forêts. La certification forestière est un processus volontaire par lequel un organisme d'enregistrement, accrédité et indépendant, reconnaît que les pratiques de gestion forestière respectent des normes préétablies en matière d'aménagement durable des forêts.

À ce jour, plus de 90 % des forêts de tenure publique sous aménagement sont certifiées selon un des systèmes de certification forestière en vigueur, près du quart de cette superficie possédant deux certifications (SFI et FSC). Le taux de certification des forêts publiques québécoises est parmi les plus élevés au monde.

Les forêts sont omniprésentes au Québec. En utilisant les produits du bois dans la construction, on encourage ainsi l'économie locale. En effet, en plus d'être issu de nos forêts, le bois est également transformé

localement. Au Québec, l'industrie des produits du bois compte environ 60 000 travailleurs en aménagement forestier ainsi qu'en transformation du bois. Le secteur forestier est présent dans plus de 900 municipalités, soit 83 % des municipalités du Québec.

La fabrication des produits du bois émet peu de GES. La transformation des produits du bois se positionne en effet comme étant la moins émettrice par rapport aux autres matériaux de construction les plus utilisés, soit l'acier et le béton. Pour donner une base comparative valable entre les trois matériaux, on peut comparer une poutre sur appui simple avec un cas de chargement standard (14,4 kN/m) et une portée standard (7,3 m) à l'aide du logiciel Gestimat, reconnu pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la fabrication des matériaux de structure. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant:

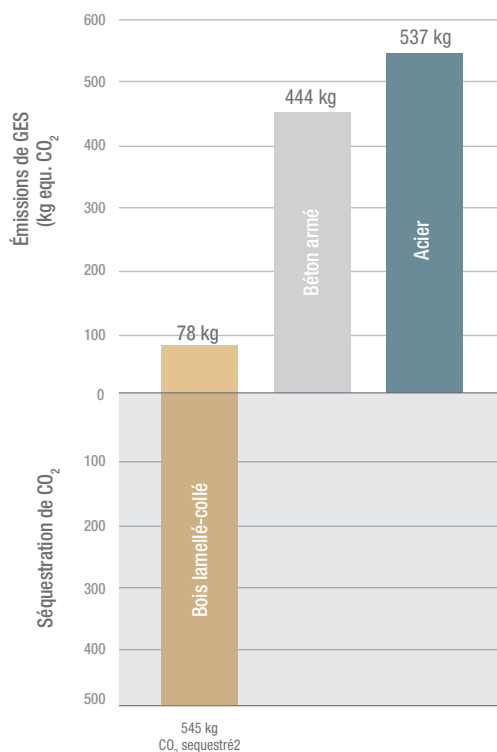


Figure 1 • Émissions de GES liées à la fabrication calculées avec Gestimat (estimées en fonction de la composition du bois pour une masse volumique de 420 kg/m³)

Il est à noter qu'on ne peut soustraire le carbone séquestré des émissions de carbone associées au bois, puisque la séquestration est relative à la durée de vie de l'ouvrage et aux moyens de disposition ou de recyclage en fin de vie. Ces deux indices sont donc indépendants. Sans même considérer la séquestration du carbone, il est tout de même possible de constater le net avantage de l'utilisation du bois par rapport aux autres matériaux de construction.

2.1.4. Un matériau qui séquestre le carbone

Le bois est l'un des seuls matériaux de construction à emmagasiner du carbone pendant sa croissance et à le conserver durant toute la durée de vie du bâtiment. On estime que 1 m³ de bois utilisé permet de séquestrer près d'une tonne de CO₂. Cette caractéristique du bois s'explique par le processus de photosynthèse des arbres, desquels il est issu. Au cours de sa vie utile, l'arbre absorbe le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère et le transforme en oxygène (O₂). L'arbre utilise ensuite le carbone (C) du CO₂ pour constituer sa matière (le bois) et croître.

Ainsi, en utilisant le bois comme matériau de construction, il est possible de prolonger la séquestration du carbone au-delà de la vie de l'arbre et de retarder les émissions de carbone dans l'atmosphère, qui se produiraient naturellement pour les arbres en fin de vie, lors d'incendie de forêt ou lorsqu'il se décompose.

2.2 Avantages des poutrelles de bois en I

Les poutrelles de bois en I sont constituées de semelles de bois de sciage aboutés (classés visuellement ou mécaniquement MSR) ou de bois de charpente composite (en placages stratifiés LVL ou en bois de copeaux longs laminés LSL) solidarisées au moyen d'un adhésif hydrofuge à une âme de panneau de lamelles orientées (OSB) ou de contreplaqué pour réaliser un élément dimensionnellement stable doté de caractéristiques mécaniques connues et uniformes. L'âme provient généralement d'un panneau amélioré en OSB propre à chaque fabricant de poutrelles et est identifiée par l'inscription Web Stock. Les joints verticaux encollés des panneaux sont soit en biseau, à mi-bois ou à rainures et languettes.

La géométrie d'une poutrelle de bois en I permet d'appliquer des concepts d'ingénierie fort simples quant à l'utilisation efficace du matériau là où il est requis. Les semelles reprennent principalement les efforts de traction et de compression alors que le panneau d'âme reprend l'effort de cisaillement (**figure 4**).

- Produit stable dimensionnellement
- Résistances mécaniques connues et uniformes
- Utilisation efficace de la ressource première
- Longues portées
- Utilisation de portées continues
- Légèreté
- Respect de l'environnement
- Large surface de clouage pour le revêtement
- Grand choix de hauteur
- Ouvertures permises pour les tuyaux
- Assemblages résistants au feu pouvant aller jusqu'à 2 heures
- Assemblages permettant une bonne insonorisation (ITS de 48 à 60)



FIGURE 4 • Poutrelle de bois en I avec des semelles en bois de sciage (gauche) et en LVL (à l'extrême droite)

La résistance d'une poutrelle de bois en I est déterminée par l'essence de bois utilisée pour les semelles, sa classe et ses dimensions. Puisque les matériaux de haute résistance utilisés peuvent être aboutés en grandes longueurs, les poutrelles de bois en I peuvent franchir de plus longues portées que les solives en bois de sciage traditionnelles. Elles sont en outre plus stables dimensionnellement puisque leurs constituants ont été séchés avant la fabrication.

La rigidité, la résistance et la légèreté uniformes de ces produits préfabriqués conviennent bien aux poutrelles de plancher et de toiture de grandes portées, tant pour la construction résidentielle que commerciale, industrielle ou institutionnelle. La forme en « I » confère à ces produits des rapports résistance/poids et performance/coût élevés.

Les poutrelles de bois en I sont offertes en de nombreuses dimensions standards (**tableau 1**) et en longueurs pouvant aller jusqu'à 20 m (66 pi) permettant ainsi une utilisation en portées continues. Pour des considérations pratiques de transport, il est préférable de se limiter à des longueurs de 14,6 m (48 pi).

De plus, les poutrelles de bois en I ne possèdent pas d'orientation verticale propre ou de cambrure. Elles n'ont pas de côté supérieur ou inférieur. Les semelles peuvent donc être installées d'un côté ou de l'autre sans influencer les résistances.

Des ouvertures pour la plomberie et la ventilation peuvent être facilement percées dans l'âme, mais doivent cependant être localisées adéquatement selon les recommandations du fabricant (**figure 5 et figure 6**). De plus, la largeur des semelles permet une meilleure surface de clouage et de collage pour le revêtement. Les poutrelles de bois en I peuvent être coupées et travaillées à l'aide d'outils communs pour l'usinage du bois. Par contre, les semelles ne doivent jamais être entaillées, percées ou coupées (se référer au chapitre 4 concernant l'installation des poutrelles de bois en I).

« les poutrelles de bois en I peuvent franchir de plus longues portées que les solives en bois de sciage traditionnelles »

TABLEAU 1 • Hauteurs courantes

HAUTEURS ⁽¹⁾	
(mm)	(po)
241	9½
302	11⅞
356	14
406	16
457 ⁽²⁾	18 ⁽²⁾
508 ⁽²⁾	20 ⁽²⁾
559 ⁽²⁾	22 ⁽²⁾
610 ⁽²⁾	24 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Différentes hauteurs peuvent être offertes chez certains fabricants.

⁽²⁾ Ces hauteurs ne sont pas offertes chez tous les fabricants.



FIGURE 5 • Tuyau dans le panneau d'âme



FIGURE 6 • Ouvertures préfabriquées dans le panneau d'âme

Par ailleurs, les poutrelles de bois en I sont des produits respectueux de l'environnement. La conception d'une poutrelle de bois en I permet en effet une meilleure utilisation de la ressource en utilisant des arbres de plus petits diamètres tout en fabriquant un produit de haute qualité. Par exemple, une poutrelle en I de semelles en 2x3 d'une hauteur de 302 mm (11 7/8") utilise 35 % moins de bois qu'une solive en 2x12, tout en procurant une inertie supérieure de 15 % (figure 7).

« les poutrelles de bois en I sont des produits respectueux de l'environnement »



FIGURE 7 • Utilisation de la ressource

Une analyse du cycle de vie réalisée à l'aide du logiciel Gestimat portant sur le potentiel d'émissions de gaz à effet de serre d'un système de plancher d'édifice à bureau situé au Québec (d'une superficie de 4,88 m x 6,1 m (16 pi x 20 pi) et supportant une charge de 2,4 kPa ou 50 lbs/pi²) démontre que le système de plancher utilisant des poutrelles de bois en I émet environ 5 fois moins de CO₂ que celui faisant appel aux poutrelles d'acier (ajourées et profilées à froid) et 6 fois moins que celui en béton (figure 8).

FIGURE 8 • Potentiel de réchauffement climatique de systèmes de plancher (en kg CO₂ /m²)

Description des compositions de planchers

Poutrelles de bois en I :

- Chape de béton 38 mm avec fibre
- Contreplaqué ou OSB 19 mm
- Poutrelle de bois en I 302 mm à 406 mm C/C
- Raidisseurs

Poutrelles d'acier profilées en C formées à froid

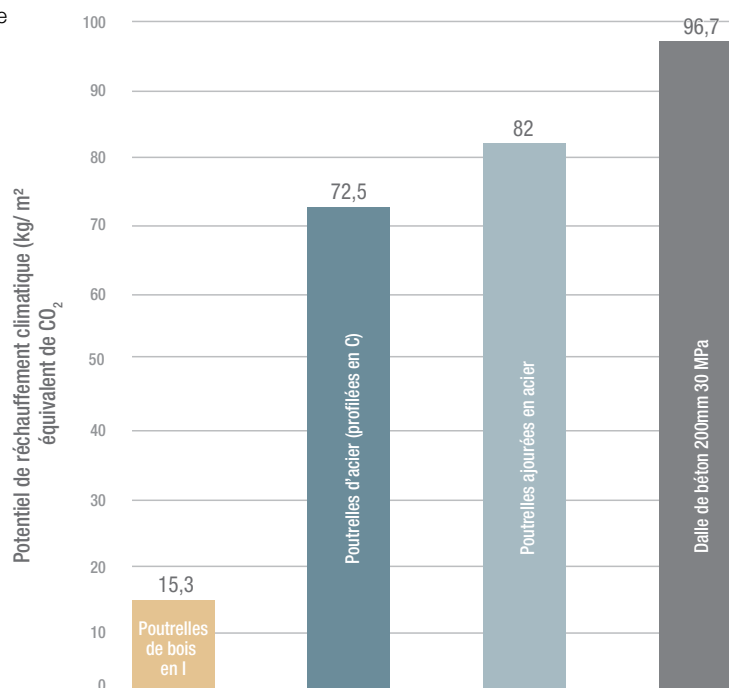
- Chape de béton (75 mm au plus épais) avec fibre
- Pontage d'acier de 38 mm de profondeur (calibre 22)
- Poutrelle profilée formée à froid
- Raidisseurs

Poutrelles d'acier (ajourées)

- Chape de béton (75 mm au plus épais) avec fibre
- Pontage d'acier de 38 mm de profondeur (calibre 22)
- Poutrelle profilée formée à froid
- Raidisseurs

Dalle de béton

- Dalle de béton 30 MPa, armé
- Armature d'acier



2.3 Normes de calcul

Selon la norme CSA O86 ^[11] intitulée *Règles de calcul des charpentes en bois*, les poutrelles de bois en I sont des éléments de charpente en bois brevetés et doivent être conformes à sa section 15.2. Cette dernière est destinée à servir de référence afin d'aider les concepteurs à mieux comprendre l'origine des valeurs des résistances de ces produits brevetés. Ces produits sont exclusifs et chaque fabricant offre une poutrelle possédant ses propres caractéristiques de résistances et de rigidité. Les concepteurs n'ont habituellement pas à calculer les valeurs des résistances de ces produits brevetés à partir des équations présentées dans la norme.

Au Canada, les caractéristiques et les résistances des poutrelles de bois en I sont évaluées et approuvées par le Centre canadien des matériaux de construction (CCMC) ^[7]. Le CCMC publie un guide technique afin d'évaluer la performance des poutrelles de bois en I en respect avec les exigences de la norme CSA O86. À partir des évaluations du CCMC, il est possible de déterminer si un produit ou un système est conforme aux exigences de l'article 1.2.1.1.1)b) de la division A du CNB, soit par l'emploi d'une solution de rechange permettant d'atteindre au moins le niveau minimal de performance exigé par la division B du CNB.

Les résistances génériques utilisées au Québec sont présentées à la section 2.6 et elles sont conformes aux exigences de calcul aux états limites de la norme CSA O86.

2.4 Fabrication

Puisque les poutrelles de bois en I sont des éléments de charpente en bois brevetés, les méthodes de fabrication sont plus souvent qu'autrement propres à chaque fabricant.

De plus, comme les matériaux utilisés sont très variés, le procédé de fabrication est également varié afin d'accommoder ces différents matériaux. À ce jour, il n'existe aucune norme canadienne régissant la fabrication des poutrelles de bois en I. Cependant, le guide technique publié par le CCMC renvoie à la norme américaine ASTM D5055 ^[3] quant à la fabrication de ces produits. L'APA est responsable de s'assurer de la qualité des poutrelles en I préfabriquées ^[1].

Les adhésifs utilisés dans la fabrication des poutrelles de bois en I doivent être conformes aux normes de performance CSA O112.9 ^[10] ou O112.10 ^[12].

Deux méthodes de fabrication sont actuellement utilisées en Amérique du Nord, soit une fabrication en longueur fixe ou en continu. La méthode de fabrication en longueur fixe est la plus courante et consiste en l'assemblage des semelles en longueur fixe (habituellement en longueur de 18,2 m ou 60 pi avant d'effectuer l'assemblage final des semelles et des panneaux d'âme. Les poutrelles assemblées sont ensuite coupées aux longueurs désirées après le durcissement des adhésifs. Pour sa part, la méthode de fabrication en continu consiste en l'assemblage des semelles de façon continue et l'assemblage avec les panneaux d'âme s'effectue pratiquement en même temps. Les poutrelles assemblées sont ensuite coupées aux longueurs désirées avant le durcissement des adhésifs.

Les deux méthodes de fabrication comportent quatre principales étapes et sont représentées à la **figure 9** pour une fabrication en longueur fixe.

« les caractéristiques et les résistances des poutrelles de bois en I sont évaluées et approuvées par le CCMC »

1. Réception et entreposage des matériaux

Tout comme au moment de la fabrication d'autres produits de bois d'ingénierie, le contrôle de la teneur en humidité des matériaux des semelles et des panneaux d'âme est très important afin d'optimiser les conditions d'encollage et la stabilité dimensionnelle du produit fini. Tous les matériaux doivent être séchés à une teneur en humidité d'équilibre comprise entre 8 % et 18 %. Ils doivent également être conditionnés à l'air ambiant, mais à une température d'au moins 10 °C (50 °F).

2. Usinage des semelles et du panneau d'âme

Tel qu'il a été mentionné précédemment, c'est à cette étape que les deux procédés de fabrication se distinguent. Selon la fabrication en longueur fixe, les matériaux de semelles sont aboutés (généralement par entures multiples) en de grandes longueurs (habituellement 18,2 m ou 60 pi) et la rainure pour le panneau d'âme est également usinée sur une seule face du matériau de semelles. En parallèle, les matériaux servant de panneau d'âme sont coupés aux dimensions requises afin de fournir la hauteur exacte à la poutrelle et ses extrémités sont usinées selon les paramètres géométriques propres à chaque fabricant. L'usinage des semelles et du panneau d'âme s'effectue sur deux lignes de production indépendantes avant de se

croiser pour l'assemblage (étape 3). Pour sa part, la fabrication en continu est un procédé plus simple où les semelles sont aboutées quelque peu avant l'arrivée des panneaux d'âme selon un procédé continu, et ce, sur la même ligne de production.

3. Assemblage et encollage

L'adhésif est appliqué sur les extrémités des panneaux d'âme afin de former un joint de panneau à panneau et est aussi appliqué dans la rainure faite sur la face des semelles afin de former le joint de semelle à panneau. Les éléments de semelles et de panneaux d'âme sont ensuite acheminés dans une presse continue afin de former le produit fini.

4. Séchage et mise en paquets

Finalement, elles sont placées dans un four (ou un environnement quelconque permettant la cure) pendant une certaine période de temps afin de fournir une cure suffisante à l'adhésif. Le temps de cure et les conditions requises dépendent du type d'adhésif utilisé et est propre à chaque fabricant.

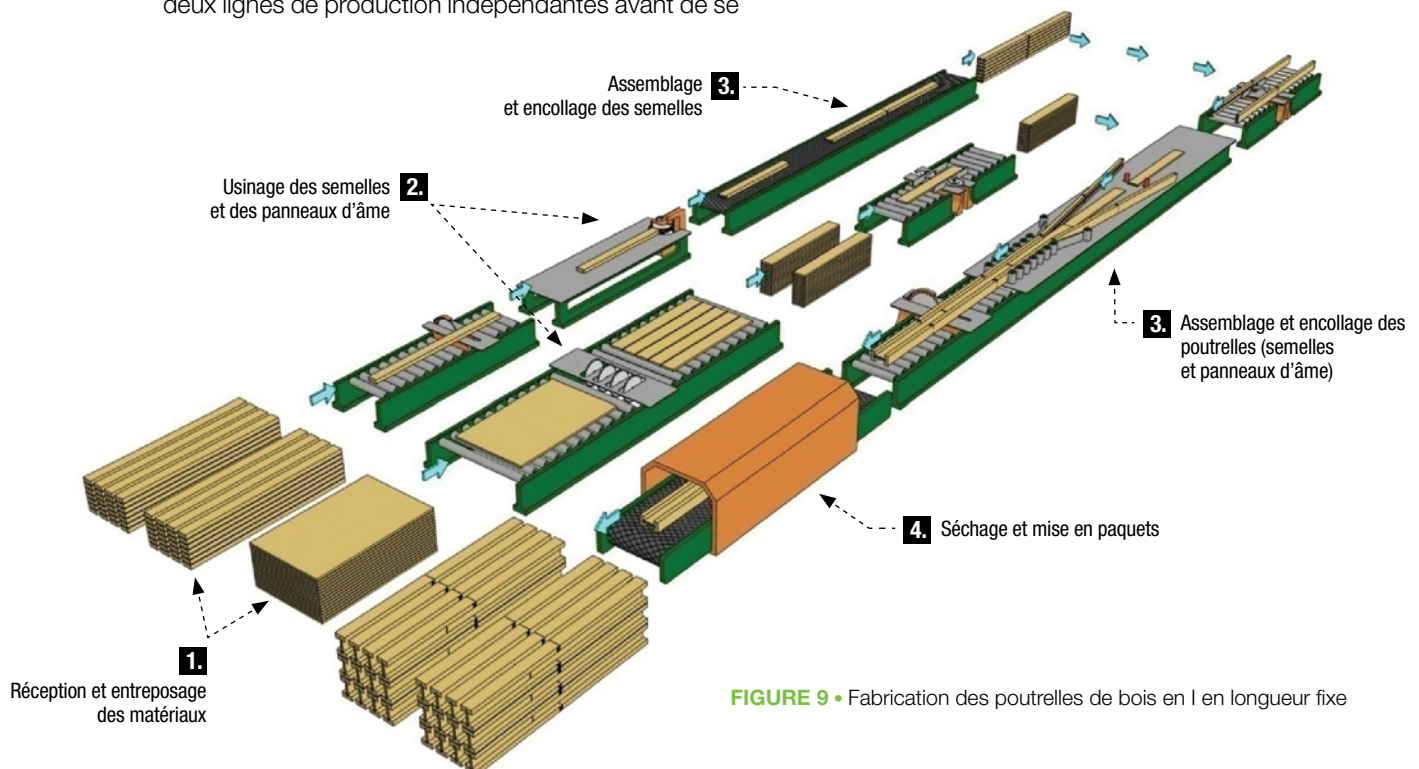


FIGURE 9 • Fabrication des poutrelles de bois en I en longueur fixe

2.5 Contrôle de la qualité

La performance anticipée des poutrelles de bois en I dépend de la qualité des matériaux entrant dans la fabrication ainsi que du procédé de fabrication. Puisque chaque fabricant utilise diverses sources d'approvisionnement et un procédé de fabrication différent, ces produits de bois structuraux propriétaires doivent être fabriqués suivant un programme de contrôle de la qualité. Ce dernier est placé sous la responsabilité d'une agence de certification indépendante afin d'assurer que le fabricant est conforme à toutes les exigences appropriées du guide technique du CCMC et de la norme CSA O86, et de démontrer que les valeurs de résistances sont maintenues au cours de la production.

Comme il a été mentionné à la section 2.4, il n'existe à ce jour aucune norme canadienne régissant la fabrication des poutrelles de bois en I. Cependant, le guide technique publié par le CCMC renvoie à la norme américaine ASTM D5055^[3] et aux lignes directrices établies par la Wood I-Joist Manufacturers Association (WIJMA) afin de déterminer le niveau minimal de contrôle de la qualité.

2.6 Normalisation

Les poutrelles de bois en I sont utilisées en Amérique du Nord depuis plus de 45 ans et leur demande a connu une forte croissance entre les années 2000 à 2010. Depuis, les parts de marchés pour ce produit sont relativement stables. Par ailleurs, puisqu'il existe une large gamme de poutrelles de bois en I offertes sur le marché et que la sélection d'une poutrelle peut s'avérer fastidieuse pour un concepteur ayant peu ou pas de connaissances dans le domaine, la nécessité d'une normalisation basée sur la performance devient inévitable.

Une normalisation basée sur la performance a pour but de simplifier les caractéristiques et les résistances, l'installation ainsi que l'inspection au chantier. Il est relativement facile de normaliser les différents produits par rapport à leurs résistances (performances). Cette normalisation consiste en plusieurs séries de poutrelles de bois en I auxquelles sont associées des résistances pondérées semblables. Les poutrelles de bois en I répondant aux exigences de performance d'une série quelconque peuvent être assignées à cette série particulière, peu importe le type, la classe et les dimensions des matériaux utilisés pour les semelles et le panneau d'âme. Le **tableau 2** indique les caractéristiques habituelles pour des séries de poutrelles en I ayant des semelles de bois classé mécaniquement (MSR).

TABLEAU 2 • Caractéristiques des poutrelles de bois en I au Québec

SÉRIE	SEMELLE		ÂME	HAUTEUR	
	Matériaux ^{a)}	Dimensions	Épaisseur	Minimum	Maximum
2x3-1650	MSR 1650F _b -1.5E	38 x 64 mm (1½" x 2½")	9,5 mm (¾")	241 mm (9½")	302 mm (11 7/8")
2x3-2100	MSR 2100F _b -1.8E	38 x 64 mm (1½" x 2½")	9,5 mm (¾")	241 mm (9½")	406 mm (16")
2x4-2100	MSR 2100F _b -1.8E	38 x 89 mm (1½" x 3½")	9,5 mm (¾")	302 mm (11 7/8")	508 mm (20")
2x4-2400	MSR 2400F _b -2.0E	38 x 89 mm (1½" x 3½")	11,1 mm (7/16")	302 mm (11 7/8")	610 mm (24")

a. Bien que les matériaux utilisés soient des produits de bois conformes à la norme CSA O86, les résistances retenues pour la détermination des résistances pondérées des poutrelles de bois en I (tableau 3 et tableau 4) sont légèrement majorées afin de refléter le plus de produits offerts sur le marché. Les véritables valeurs utilisées par les divers fabricants, comme le module d'élasticité (E) et la résistance prévue en traction parallèle au fil (f_t) des semelles, sont des valeurs propriétaires en conformité avec la norme ASTM D5055 et leurs exigences de contrôle de la qualité respectives.

Puisque le bois MSR possède de bonnes résistances mécaniques, il est le matériau que l'on trouve habituellement dans la fabrication des poutrelles en I produites au Canada, et tout particulièrement au Québec (il n'existe à ce jour qu'un seul fabricant au Québec utilisant des semelles en LVL). Cependant, il se peut que certaines poutrelles offertes sur le marché soient construites avec différents matériaux que ceux indiqués dans ce tableau. Une poutrelle de bois en I peut être fabriquée à partir de semelles en bois de sciage ou de bois de charpente composite, en autant qu'elle satisfasse aux exigences des résistances génériques spécifiées propres à chaque série et indiquées au **tableau 3** (unités métriques) et au **tableau 4** (unités anglaises).

TABLEAU 3 • Résistances génériques pondérées (unités métriques)

Hauteur (mm)	Série	El ^(b) (x10 ⁶ kN-mm ²)	M _R ^(c) (kN-m)	V _R ^(d) (kN)	RE _R ^(e) (kN)	RI _R ^(f) (kN)	K ^(g) (x10 ³ kN)
241	2x3 - 1650	540	5,37	8,08	6,92	14,49	20,83
	2x3 - 2100	646	8,33	8,08	6,92	14,49	20,83
302	2x3 - 1650	925	6,97	9,85	8,67	18,16	25,91
	2x3 - 2100	1 104	10,82	9,85	8,67	18,16	25,91
	2x4 - 2100	1 517	15,22	9,85	8,67	18,16	25,91
	2x4 - 2400	1 690	18,57	13,44	8,67	19,07	25,91
356	2x3 - 2100	1 619	13,03	11,42	8,67	18,16	30,40
	2x4 - 2100	2 217	18,32	11,42	8,67	18,16	30,40
	2x4 - 2400	2 471	22,36	14,30	8,67	19,07	30,40
406	2x3 - 2100	2 191	15,07	12,88	8,67	18,16	34,55
	2x4 - 2100	2 992	21,20	12,88	8,67	18,16	34,55
	2x4 - 2400	3 335	25,87	15,09	8,67	19,07	34,55
457	2x4 - 2100	3 910	23,98	14,36	11,80	24,71	38,79
	2x4 - 2400	4 360	29,27	15,90	11,80	25,95	38,79
508	2x4 - 2100	4 960	26,56	15,84	13,12	24,71	43,03
	2x4 - 2400	5 533	32,41	16,71	13,12	25,95	43,03
559	2x4 - 2400	6 858	35,51	17,52	14,44	25,95	47,28
610	2x4 - 2400	8 339	38,57	18,33	15,75	25,95	51,52

- Valeurs de résistances pondérées établies pour une durée de chargement normale ($K_D = 1,0$). Toutes les valeurs, à l'exception de EI et K, peuvent être ajustées pour d'autres durées de chargement, telles que permises par le CNB^(a) et CSA O86.
- Rigidité en flexion (EI) de la poutrelle seulement.
- Résistance pondérée en flexion (M_R), qui ne peut être augmentée par un quelconque coefficient de partage de charge autorisé par le CNB (article 13.2.4.4 de CSA O86).
- Résistance pondérée en cisaillement (V_R) de la poutrelle seulement.
- Réaction pondérée aux appuis d'extrémité (RE_R) pour une longueur d'appui minimale de 45 mm sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour des poutrelles d'une hauteur de 457 mm et plus. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations (autres longueurs d'appuis avec ou sans raidisseurs d'âme).
- Réaction pondérée aux appuis intermédiaires (RI_R) pour une longueur d'appui minimale de 89 mm sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour des poutrelles d'une hauteur de 457 mm et plus. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations (autres longueurs d'appuis avec ou sans raidisseurs d'âme).
- Coefficient de flèche due au cisaillement (K) à utiliser au moment du calcul de la déformation (flèche) d'une poutrelle. Se référer plus loin à la section 3.2 pour les équations de calcul.

TABLEAU 4 • Résistances génériques pondérées (unités anglaises)

Hauteur (po)	Série	El ^(b) (x10 ⁶ lb-po ²)	M _R ^(c) (lb-pi)	V _R ^(d) (lb)	RE _R ^(e) (lb)	RI _R ^(f) (lb)	K ^(g) (x10 ⁶ lb)
9 1/2	2x3 - 1650	188	3 958	1 815	1 555	3 255	4,68
	2x3 - 2100	225	6 146	1 815	1 555	3 255	4,68
11 7/8	2x3 - 1650	322	5 141	2 215	1 950	4 085	5,82
	2x3 - 2100	384	7 983	2 215	1 950	4 085	5,82
	2x4 - 2100	528	11 225	2 215	1 950	4 085	5,82
	2x4 - 2400	588	13 698	3 020	1 950	4 285	5,82
14	2x3 - 2100	564	9 609	2 565	1 950	4 085	6,83
	2x4 - 2100	772	13 514	2 565	1 950	4 085	6,83
	2x4 - 2400	860	16 491	3 215	1 950	4 285	6,83
16	2x3 - 2100	763	11 115	2 895	1 950	4 085	7,77
	2x4 - 2100	1 042	15 633	2 895	1 950	4 085	7,77
	2x4 - 2400	1 162	19 078	3 390	1 950	4 285	7,77
18	2x4 - 2100	1 362	17 687	3 230	2 655	5 555	8,72
	2x4 - 2400	1 519	21 585	3 575	2 655	5 835	8,72
20	2x4 - 2100	1 728	19 586	3 560	2 950	5 555	9,67
	2x4 - 2400	1 927	23 902	3 755	2 950	5 835	9,67
22	2x4 - 2400	2 389	26 189	3 940	3 245	5 835	10,63
24	2x4 - 2400	2 905	28 449	4 120	3 540	5 835	11,58

- a. Valeurs de résistances pondérées établies pour une durée de chargement normale ($K_D = 1,0$). Toutes les valeurs, à l'exception de EI et K, peuvent être ajustées pour d'autres durées de chargement, telles que permises par le CNB et CSA O86.
- b. Rigidité en flexion (EI) de la poutrelle seulement.
- c. Résistance pondérée en flexion (M_R), qui ne peut être augmentée par un quelconque coefficient de partage de charge autorisé par le CNBC (article 15.2.3.1 de CSA O86).
- d. Résistance pondérée en cisaillement (V_R) de la poutrelle seulement.
- e. Réaction pondérée aux appuis d'extrémité (RE_R) pour une longueur d'appui minimale de 1³/₄" sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour des poutrelles d'une hauteur de 18" et plus. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations (autres longueurs d'appuis avec ou sans raidisseurs d'âme).
- f. Réaction pondérée aux appuis intermédiaires (RI_R) pour une longueur d'appui minimale de 3¹/₂" sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour des poutrelles d'une hauteur de 18" et plus. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations (autres longueurs d'appuis avec ou sans raidisseurs d'âme).
- g. Coefficient de flèche due au cisaillement (K) à utiliser au moment du calcul de la déformation (flèche) d'une poutrelle. Se référer plus loin à la section 3.2 pour les équations de calcul.

2.7 Estimation

Puisqu'il y a plusieurs séries de poutrelles de bois en I, il est parfois difficile de déterminer quelle série sera la plus économique. Il est important de mentionner que le coût d'un système de plancher ou de toit dépendra de l'ensemble du système, à savoir la hauteur, l'espacement et la portée des poutrelles ainsi que les dispositifs d'attaches, le revêtement et les charges à supporter. On ne doit pas s'attarder au coût du type de poutrelles uniquement sans tenir compte des autres étapes d'installation comme la plomberie ou l'électricité.

Généralement, le coût d'une poutrelle de bois en I est donné au mètre linéaire (ou au pied linéaire). Les divers fournisseurs de poutrelles en I peuvent fournir un prix relativement précis et détaillé selon la composition du système. Il existe également plusieurs manuels d'estimation reconnus permettant de déterminer le coût des matériaux et l'installation de manière relativement précise.

2.8 Identification

Généralement, les poutrelles de bois en I comportent plusieurs informations inscrites sur le panneau d'âme ou sur les semelles (**figure 10**). La norme ASTM D5055 prescrit un minimum d'information devant apparaître sur les poutrelles de bois en I, mais toute autre information jugée pertinente par le fabricant peut également s'y trouver.

Les informations requises par la norme ASTM D5055 sont les suivantes :

- a) type de produit (série),
- b) nom du fabricant,
- c) numéro de l'usine de fabrication,
- d) agence d'inspection indépendante,
- e) codification de la date de fabrication à des fins de contrôle de la qualité,
- f) numéro du rapport d'évaluation du CCMC pour l'usage au Canada.

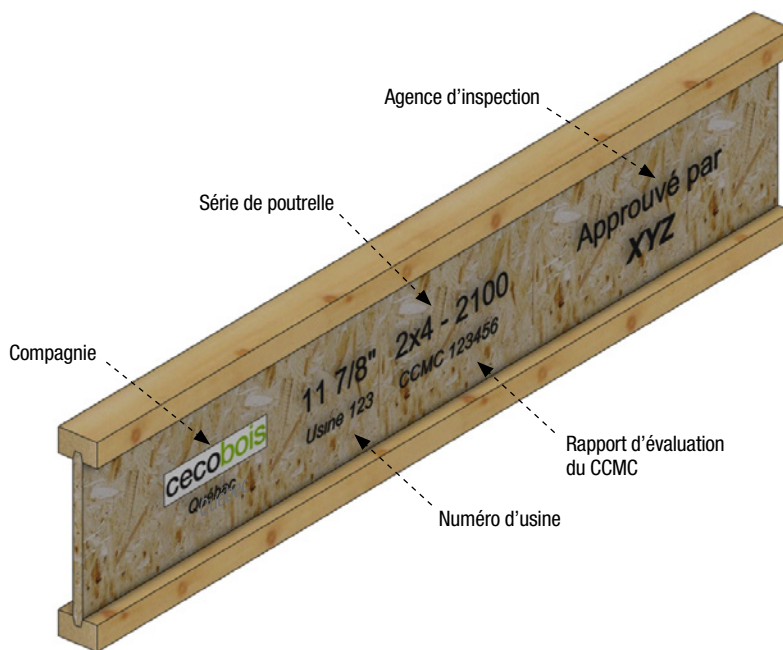


FIGURE 10 • Exemple d'identification d'une poutrelle de bois en I

3 Conception selon le CNB

Selon le CNB, toutes les structures de bâtiments doivent répondre aux mêmes exigences fonctionnelles fondamentales. Elles doivent être garanties contre l'effondrement durant et après leur construction, en plus d'afficher une bonne tenue en service pendant toute leur durée utile.

Le CNB et la norme CSA O86 adoptent le calcul aux états limites comme méthode d'analyse. Le calcul aux états limites vise à prévenir les défaillances, soit que l'état limite soit atteint. Ce dernier peut se définir comme étant le point auquel une structure cesse de remplir la fonction pour laquelle elle a été conçue. Ces états limites peuvent se diviser en trois catégories :

1. **États limites ultimes**: mettent en cause la sécurité et concernent entre autres le dépassement de la limite de capacité portante (résistance), la rupture, le renversement et le glissement.
2. **États limites de fatigue**: concernent les défaillances résultant de l'application de charges répétitives et s'appliquent principalement aux structures portantes de ponts roulants.
3. **États limites de tenue en service**: se rapportent à l'usage prévu du bâtiment et englobent les flèches, les vibrations, la déformation permanente et les dommages structuraux locaux comme la fissuration.

Le CNB prescrit que les éléments structuraux en bois soient calculés de manière à avoir une résistance et une intégrité structurale suffisantes en conformité avec la norme CSA O86 et la partie 4 de la division B du CNB relativement aux charges ainsi qu'aux flèches et aux vibrations maximales spécifiées aux parties 4 et 9 de la division B.

La sous-section 4.1.5 de la division B du CNB liste les surcharges (L) dues à l'usage (communément appelées les charges vives ou Live Loads). La surcharge spécifiée sur une surface de plancher ou de toit dépend de l'usage prévu et doit être au moins égale à la surcharge produisant l'effet le plus critique, soit selon :

1. la méthode des **surcharges uniformément réparties** de l'article 4.1.5.3 de la division B du CNB ;
2. la méthode des **surcharges concentrées** de l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB ;
3. l'utilisation prévue de la surface de plancher ou de toit.

La détermination des autres types de charges, telles que la charge de neige et de pluie (S), la charge de vent (W) ou de séisme (E), sont respectivement décrites aux sous-sections 4.1.6, 4.1.7 et 4.1.8 de la division B du CNB. Le *Guide de l'utilisateur – CNB [9] : Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)* fournit de plus amples informations quant à ces charges.

3.1 Rôle et responsabilité des concepteurs

Selon la partie 2 de la division C du CNB, le concepteur des calculs des structures doit être un professionnel qualifié (architecte ou ingénieur) et spécialisé dans le travail à accomplir. Cette exigence s'applique à tous les bâtiments régis par la partie 4 de la division B du CNB, mais peut également s'appliquer dans le cas d'un bâtiment régi par toute autre partie de la division B du CNB.

3.1.1 Concepteur du bâtiment

Le « concepteur du bâtiment » est un professionnel qualifié ayant la responsabilité de la conception globale du bâtiment. De plus, selon la *Loi sur les ingénieurs* (à l'article 2 de sa section 2), le calcul des structures relève du champ de pratique des ingénieurs. Au moment de la conception d'un système nécessitant des poutrelles de bois en I, le concepteur du bâtiment doit spécifier tous les points décrits à la sous-section 2.2.4 de la division C du CNB ainsi que :

1. Les emplacements prévus des appuis, ainsi que les détails d'ancrage pour tenir compte des déplacements horizontaux et verticaux et des autres réactions.
2. Les limites de flèches verticales et, si applicables, les limites de flèches horizontales.
3. L'humidité relative ambiante pour l'usage envisagé.
4. Toute information spéciale relative à la conception des poutrelles.

5. Les charges supplémentaires dues aux unités mécaniques et électriques, ainsi que leur emplacement.
6. Les méthodes d'assemblages des unités mécaniques et électriques aux diverses poutrelles.
7. Le contreventement permanent résistant aux charges de vent, de séisme et à toute autre charge latérale agissant parallèlement ou perpendiculairement aux poutrelles (diaphragme de plancher ou de toit).
8. L'intégrité structurale de l'ensemble du bâtiment.

3.1.2 Concepteur des poutrelles de plancher et de toit

Le « concepteur des poutrelles » est un ingénieur ayant la responsabilité de la conception des poutrelles en tant que composants structuraux individuels d'un ensemble pour les charges et les conditions de calcul spécifiées dans les plans de construction du concepteur du bâtiment.

3.2 Calcul de la flèche

La flèche totale d'une poutrelle de bois en I est déterminée selon l'équation (1) suivante :

$$1 \quad \Delta_{\text{TOTALE}} = \Delta_{\text{FLEXION}} + \Delta_{\text{CISAILLEMENT}}$$

Puisque la flèche due au cisaillement d'une poutrelle en I est plus significative si on la compare à celle d'un élément rectangulaire, il est donc important de la considérer au moment du calcul de la flèche réelle (ou totale). La flèche due au cisaillement est habituellement déterminée à partir de l'équation (2) suivante :

$$2 \quad \Delta_{\text{CISAILLEMENT}} = \frac{8 M}{K}$$

où M est le moment fléchissant maximal appliqué et K, le coefficient de déformation due au cisaillement. Si l'on combine les équations précédentes, la première devient ainsi :

$$3 \quad \Delta_{\text{TOTALE}} = \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{wL^2}{K} \quad (\text{Pour un chargement uniforme})$$

$$4 \quad \Delta_{\text{TOTALE}} = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{2PL}{K} \quad (\text{Pour une charge concentrée au centre})$$

Le **tableau 5** résume les flèches maximales autorisées dans le CNB ^[6]. Selon l'article A5.4.2.1 de la norme CSA O86, il est recommandé de ne pas considérer l'interaction entre les poutrelles et le revêtement au cours de la vérification de ces flèches maximales. Également, il n'y a pas lieu de considérer la charge permanente au moment de la vérification de la flèche maximale indiquée au **tableau 5**. Cependant, une vérification de la flèche sous l'effet des charges totales doit être effectuée. Par ailleurs, selon l'article 15.2.2.4 de la norme CSA O86, le coefficient de partage des charges (K_{μ}) pour les poutrelles de bois en I doit toujours être égal à 1,0.

TABLEAU 5 • Flèches maximales autorisées pour les éléments structuraux en bois (adapté de CNRC ^[9])

Éléments structuraux	CSA O86	Partie 9 de la division B
Éléments de toit ou de plancher supportant des composants vulnérables à la fissuration	(1)	1/360
Éléments de plancher ne supportant pas de composants en enduits vulnérables à la fissuration	1/360 ⁽²⁾ ou 1/180 ⁽²⁾	1/360
Éléments de toit ne supportant pas de plafond en enduit, etc.	1/360 ⁽²⁾ ou 1/180 ⁽²⁾	1/180 ⁽³⁾ ou 1/240
Éléments de mur	1/180 ou 1/360 ⁽⁴⁾	

(1) Pour des éléments de toit ou de plancher supportant des composants vulnérables à la fissuration, voir l'annexe A5.4.2 de la norme CSA O86.

(2) Une valeur de 1/180 réduira la flèche immédiate sous la charge totale, sauf pour les éléments cintrés en lamellé-collé auxquels une surcharge ou une charge due à la neige est appliquée. Une valeur de 1/360 réduit la flèche permanente sous une charge soutenue. Des critères spéciaux sont recommandés pour réduire les accumulations d'eau sur les toits plats.

(3) 1/180 s'applique s'il n'y a pas de plafond.

(4) 1/360 est recommandé pour réduire les dommages à un contre-mur en maçonnerie dus à une déformation par le vent des murs à poteaux de bois. Voir l'annexe A5.4.2 de la norme CSA O86.

3.3 Performance des systèmes

Afin d'évaluer la performance d'un système de plancher en bois d'ingénierie structuraux, le CCMC a établi un critère de vibration réduite spécialement pour ces produits structuraux ^[6]. Ce critère de vibration réduite adapté aux bois d'ingénierie structuraux n'est pas le même que celui présenté à l'annexe A-9.23.4.2.2) de la division B du CNBC adapté pour les solives de bois traditionnelles où on limite à 2 mm (5/64") la flèche sous l'effet d'une charge ponctuelle de 1 kN (225 lb) appliquée à la mi-portée de la poutrelle.

Le principe de ce critère de vibration réduite demeure sensiblement le même que pour celui adapté aux solives traditionnelles, soit en une vérification de la flèche maximale d'un système de plancher sous l'effet d'une charge de 1 kN (225 lb) appliquée à la mi-portée. Il a été défini compte tenu des plus longues portées que peuvent franchir ces poutrelles en bois d'ingénierie comparativement à celles des solives de bois traditionnelles où les portées sont généralement inférieures à 5,5 m (18 pi).

Pour les bois d'ingénierie structuraux, la flèche maximale permise d'un système de plancher dépend de la portée et doit donc être vérifiée selon les quatre critères suivants, comme l'illustre la **figure 11** :

a $\Delta \leq 2,0 \text{ mm}$

pour des portées inférieures à 3 m ;

b $\Delta \leq \frac{8}{L^{1,3}}$

pour des portées comprises entre 3 m et 5,5 m ;

c $\Delta \leq \frac{2,55}{L^{0,63}}$

pour des portées comprises entre 5,5 m et 9,9 m ;

d $\Delta \leq 0,6 \text{ mm}$

pour des portées supérieures à 9,9 m ;

Les différents logiciels de calcul de poutrelles prennent en considération la méthode de calcul de la vibration selon l'article 5.4.5 de la CSA O86.

Il faut prendre en considération que plus la portée des poutrelles augmente, plus les critères de flèches sont sévères, tel que démontré à la figure 11.

Il est important de mentionner que la flèche limite indiquée ci-dessus est celle du système de plancher global et non la flèche d'une poutrelle considérée individuellement. Cette vérification peut facilement s'effectuer à partir de logiciels très sophistiqués, mais peut s'avérer relativement complexe pour un calcul manuel. C'est pourquoi le CCMC a mis au point une méthode de calcul itérative afin de déterminer la portée permise pour ce critère de vibration réduite. Cette simplification est sensiblement la même que pour les coefficients A et B de l'équation montrée à l'annexe A-9.23.4.2.2) de la division B du CNB pour les solives de bois traditionnelles. Les fabricants de poutrelles de bois en I possèdent des logiciels de conception permettant de déterminer la performance d'un système de plancher conformément au critère de vibration réduite du CCMC ou selon l'article 5.4.5 de la CSA O86. De plus, la composition du plancher sera plus souvent qu'autrement déterminée par le fabricant des poutrelles afin d'optimiser sa performance.

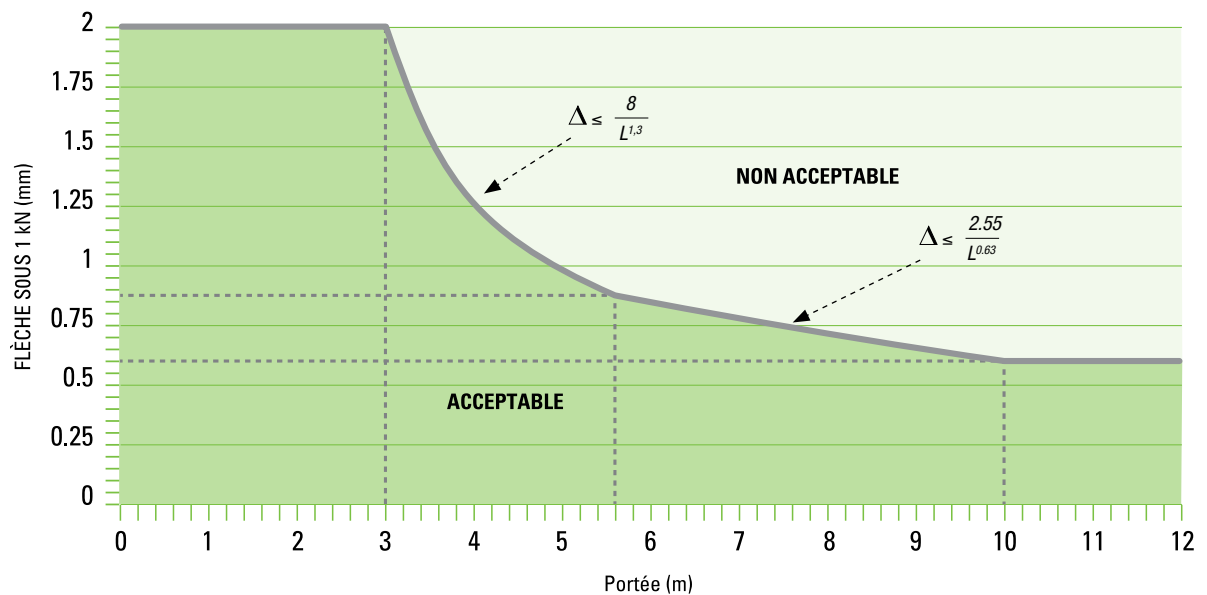


FIGURE 11 • Critère de vibration réduite pour les produits de bois d'ingénierie structuraux

Cette méthode de calcul considère l'effet composite de tous les composants du système où ces derniers apportent une rigidité supplémentaire aux bois d'ingénierie structuraux. L'augmentation de la rigidité du système permettra de réduire la flèche due aux charges de services. Il existe diverses méthodes permettant d'améliorer la performance d'un système soumis à des vibrations (**figure 12**), dont :

- a) la diminution de l'espacement des poutrelles ou l'augmentation de la hauteur des poutrelles diminuera la flèche ;
- b) l'utilisation d'un sous-plancher plus épais que l'épaisseur minimale prescrite dans le CNB augmentera la rigidité du système ;
- c) l'utilisation d'un sous-plancher cloué et collé aux poutrelles performera mieux qu'un sous-plancher seulement cloué ;
- d) l'utilisation de lattes attachées perpendiculairement sous les poutrelles améliorera la rigidité en l'absence d'un panneau de gypse directement attaché sous celles-ci. Les lattes doivent être de 1x3 minimum et les joints doivent se chevaucher sur un minimum de 2 poutrelles consécutives ;
- e) l'utilisation d'un panneau de gypse attaché directement sous les poutrelles ou à partir de lattes attachées sous les poutrelles contribuera à l'amortissement des vibrations ;
- f) l'utilisation de panneaux de blocage transversaux (ou entretoises) améliorera la rigidité en l'absence d'un panneau de gypse directement attaché sous les poutrelles ;
- g) l'ajout de cloisons peut augmenter la rigidité, quoique cela soit difficilement quantifiable.

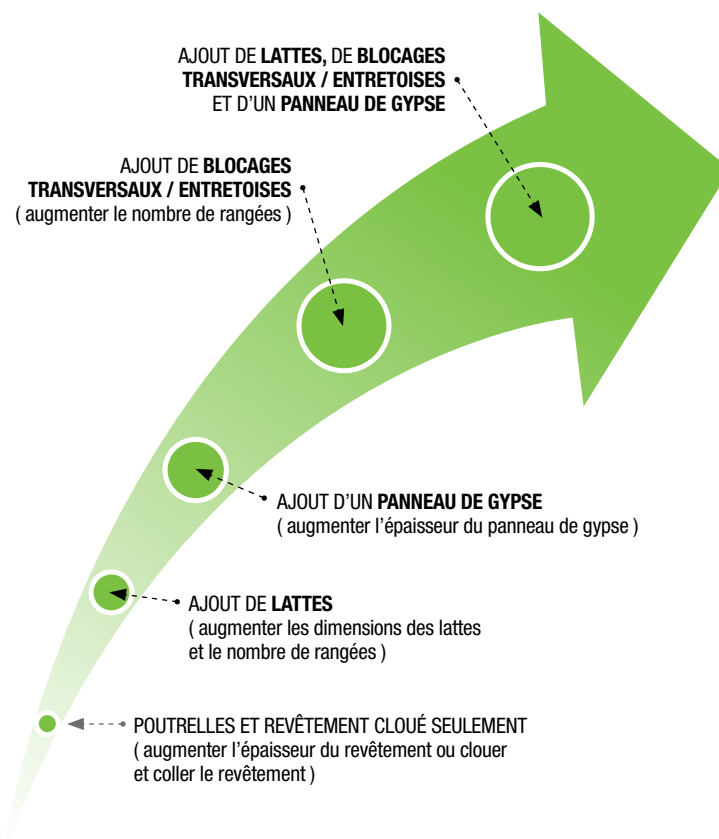


FIGURE 12 • Amélioration de la performance d'un plancher

3.4 Effets des charges près des appuis

Bien que les poutrelles de bois en I soient des solutions de rechange acceptables aux solives de bois traditionnelles, elles se différencient de ces dernières en ce qui concerne les panneaux de rive, les porte-à-faux, les ouvertures permises dans l'âme de la poutrelle, mais surtout en ce qui a trait à la continuité au-dessus d'un appui intermédiaire.

À cet effet, et contrairement à l'article 6.5.4.2.1 de la norme CSA O86 pour le bois de sciage traditionnel, l'article 15.2.3.4.2 de cette même norme indique qu'on doit tenir compte de l'effet de toutes les charges qui sollicitent la poutrelle à une distance d'un appui égale à la hauteur de la poutrelle au moment du calcul de la résistance en cisaillement.

3.5 Ouvertures maximales pour conduits dans le panneau d'âme

Il est possible d'effectuer des ouvertures dans le panneau d'âme selon des dimensions maximales et des localisations acceptables (**figure 13**). Puisque le panneau d'âme contribue largement à la résistance en cisaillement de la poutrelle, les ouvertures plus grandes réduisent considérablement cette résistance et doivent se trouver dans les zones où les efforts de cisaillement sont moindres, soit loin des appuis, au tiers central d'une portée, par exemple. La règle générale est qu'une ouverture circulaire dans le panneau d'âme réduit proportionnellement la capacité en cisaillement de la poutrelle. Une ouverture circulaire de 80 mm de diamètre, par exemple, génèrera une réduction approximative de 33 % à la capacité en cisaillement d'une poutrelle de bois en I d'une hauteur égale à 241 mm selon l'équation (5) suivante :

$$5 \quad \text{Facteur de réduction en cisaillement} = \frac{\text{Diamètre de l'ouverture}}{\text{Hauteur de la poutrelle}}$$

Une ouverture carrée ou rectangulaire est permise si ses dimensions s'inscrivent dans une ouverture ronde équivalente. Cependant, chaque fabricant prescrit ses ouvertures maximales et les emplacements selon ses propres essais en laboratoire. Il est important de

consulter les tableaux associés aux bons produits afin d'obtenir de plus amples informations. Les règles générales suivantes peuvent toutefois servir de référence :

- Les semelles supérieures et inférieures ne doivent JAMAIS être coupées, entaillées ou percées.
- Dans la mesure du possible, les ouvertures devraient être centrées sur la hauteur de l'âme.
- Selon L'APA Z725 révisé en mars 2020, la dimension D des trous ne devrait pas être supérieure à 2/3 de la hauteur de la poutre. Ainsi, une poutrelle de 241 mm avec des semelles de 38 mm pourrait avoir une ouverture maximale de 159 mm.
- Les côtés d'une ouverture rectangulaire ou carrée (largeur ou longueur) ne doivent pas être supérieurs à 75 % du diamètre de la plus grande ouverture ronde permise à cet endroit. L'ouverture rectangulaire pour une poutre de 241 mm devra avoir au maximum 119 mm x 105 mm.
- Si plusieurs ouvertures sont nécessaires, la distance libre entre le bord de deux ouvertures rondes adjacentes doit être au moins égale au double du diamètre de la plus grande ouverture. Dans le cas d'ouvertures rectangulaires ou carrées, la distance libre entre le bord de deux ouvertures adjacentes doit être au moins égale au double de la plus grande dimension (largeur ou longueur) des ouvertures.

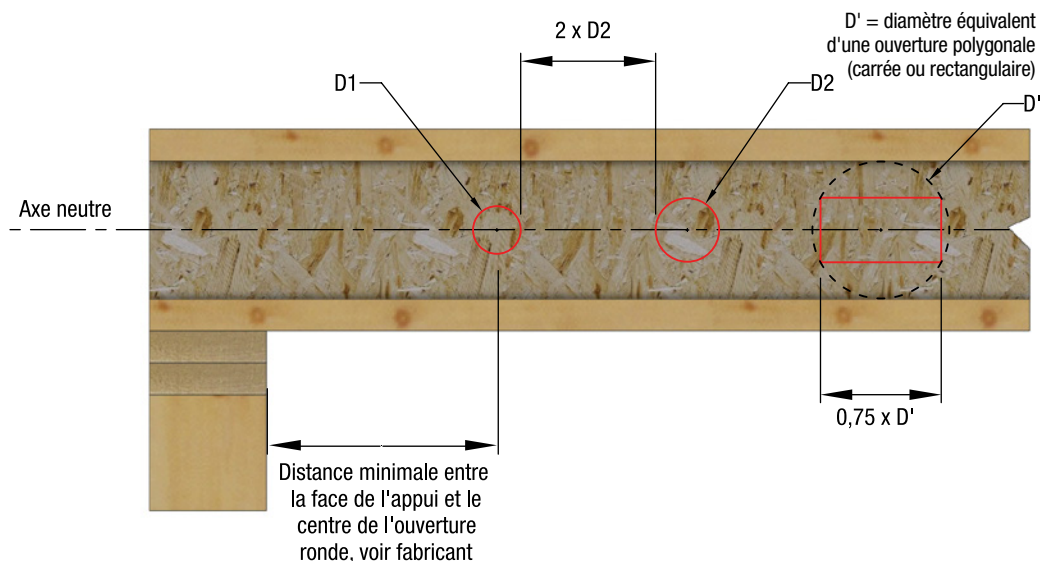


FIGURE 13 • Distance et dimensions minimales pour les ouvertures

- f) Les ouvertures prépercées (*knock-outs*), habituellement de 38 mm (1 1/2") de diamètre, ne sont pas considérées comme des ouvertures et peuvent être utilisées là où elles se présentent dans la poutrelle, incluant dans les portées en porte-à-faux. Dans la mesure du possible, il est préférable d'utiliser ces ouvertures au lieu d'en percer des nouvelles au chantier.
- g) Toutes les ouvertures doivent être percées selon les règles de l'art.
- h) À moins d'indications du fabricant, aucune portée ne devrait comporter plus de trois ouvertures. Un regroupement d'ouvertures rondes peut être permis s'il est conforme aux exigences du fabricant quant à une ouverture ronde circonscrite autour d'elles. Ce regroupement peut être considéré comme une unique ouverture au moment du calcul du nombre d'ouvertures maximales permis dans une même portée.
- i) À moins d'indications du fabricant, il n'est pas permis de percer des ouvertures dans les porte-à-faux.

En plus des combinaisons de charges exigées par le CNB, il faut considérer une combinaison supplémentaire où la surcharge uniforme est appliquée partiellement sur la portée à partir d'un appui adjacent jusqu'au côté opposé de l'ouverture rectangulaire (ou jusqu'au centre d'une ouverture circulaire). À chaque ouverture située dans une portée quelconque sont associées deux combinaisons de charges supplémentaires. Toutes les surcharges autres que la surcharge uniforme située dans la portée de calcul doivent être appliquées simultanément, incluant les charges concentrées ou triangulaires (AWC^[5]). Cette combinaison est particulièrement critique pour les ouvertures rectangulaires. Les logiciels de calcul ainsi que la documentation technique des fabricants tiennent compte de cette combinaison de charges. La **figure 14** illustre un exemple de ces combinaisons de charges supplémentaires.

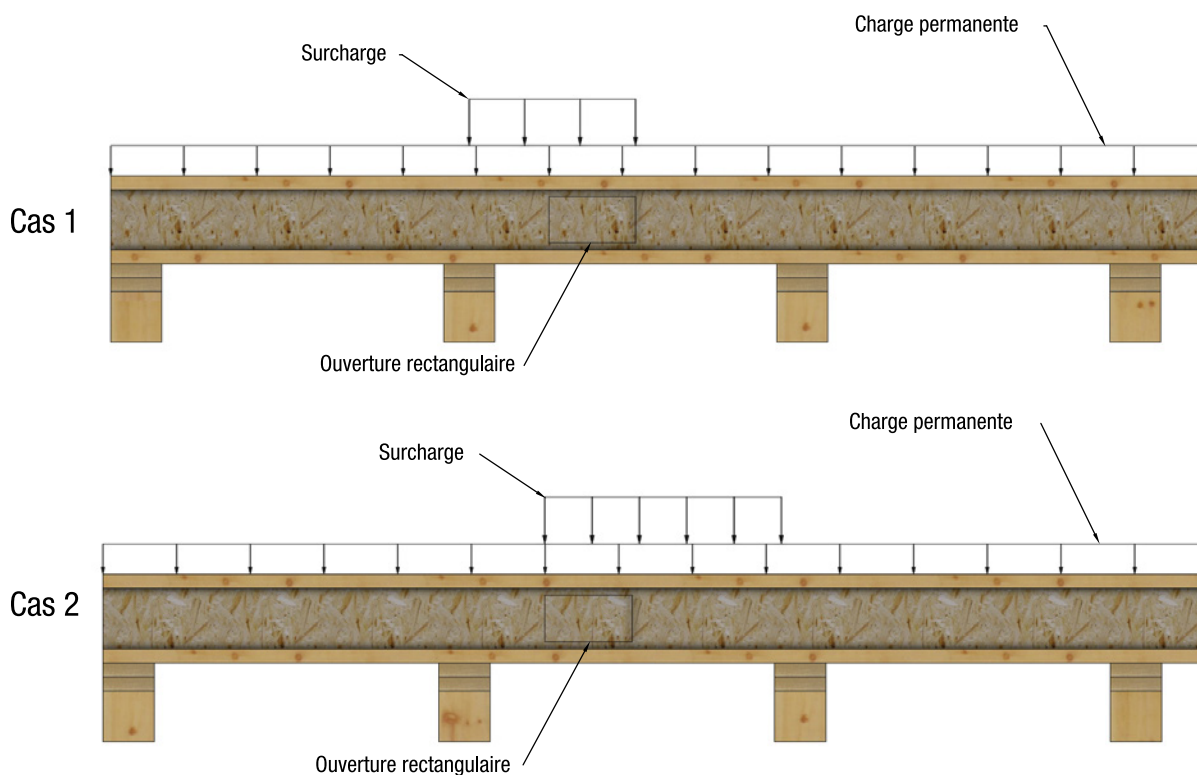


FIGURE 14 • Combinaisons de charges avec une ouverture dans l'âme

3.6 Résistances aux appuis

Les résistances aux appuis d'une poutrelle de bois en I demandent une analyse plus poussée que la simple considération de la compression perpendiculaire au fil du bois. À cet effet, il faut considérer, entre autres, la flexion perpendiculaire au fil et les forces de traction dans les semelles, le clouage des raidisseurs d'âme, la résistance du joint de colle entre le panneau d'âme et les semelles ainsi que les contraintes d'appui perpendiculaires au fil (**figure 15**).

Compte tenu de la complexité de ces vérifications, les résistances aux appuis sont habituellement obtenues à partir des résultats d'essais empiriques prescrits par la norme ASTM D5055, plutôt qu'à partir de calculs analytiques, et publiées dans la documentation technique des fabricants pour diverses longueurs d'appui avec et sans raidisseurs d'âme. Le concepteur ne doit habituellement pas calculer ces résistances. L'utilisation de la documentation technique des fabricants ou de logiciels de calcul facilite la détermination de la longueur d'appui requise et la nécessité des raidisseurs d'âme.

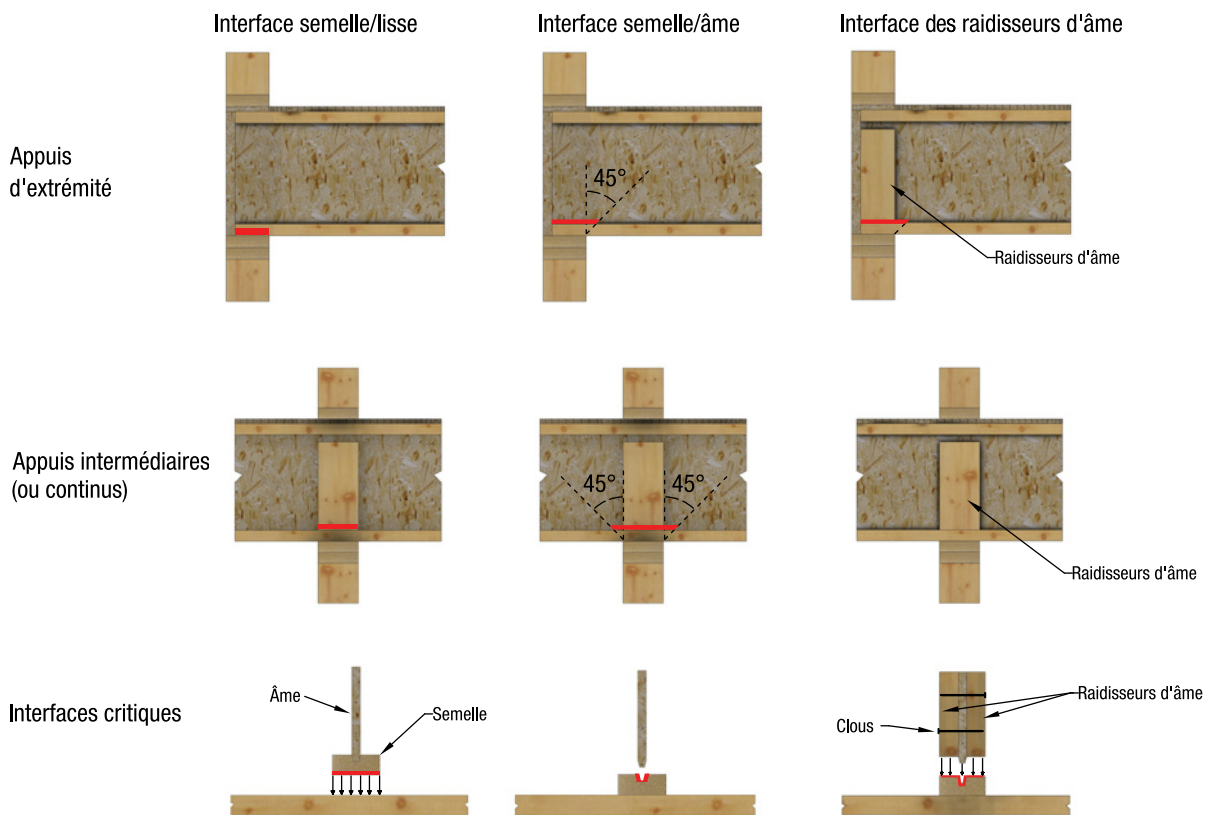


FIGURE 15 • Interfaces dans la détermination des réactions d'appuis

Les longueurs d'appui limitent parfois les résistances d'une poutrelle de bois en I. Habituellement, la plus petite longueur permise est utilisée pour déterminer les résistances aux appuis. Cette longueur minimale est habituellement de 45 mm (1 3/4") pour les appuis d'extrémités (sans être inférieure à 38 mm ou 1 1/2") et 89 mm (3 1/2") pour les appuis intermédiaires. Dans certains cas, une augmentation de la longueur d'appui entraînera une augmentation de la résistance à l'appui. L'utilisation de raidisseurs d'âme peut dans certains cas s'avérer nécessaire et permet d'augmenter la résistance aux appuis (se référer à la sous-section 4.3 pour une description plus complète). D'ailleurs, l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus requiert habituellement des raidisseurs d'âme afin de prévenir le flambage de l'âme. Pour atteindre les résistances maximales spécifiées avec raidisseurs d'âme, une installation adéquate de ces derniers est essentielle.

Les raidisseurs d'âme sont également requis pour certaines installations avec des étriers métalliques (se référer à la section 4.1 pour de plus amples informations sur la stabilité latérale aux appuis).

3.7 Résistance au feu et acoustique

Au cours de la dernière décennie, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), en collaboration avec dix-huit partenaires et experts venant de l'industrie, a effectué une importante étude scientifique afin d'évaluer la performance des éléments de plancher quant au bruit et à la résistance au feu. De nombreux essais d'acoustique, de résistance au feu à petite échelle et en grandeur réelle ont été étudiés.

Les résultats de ces essais ont servi de base pour déterminer l'indice de bruit d'un grand nombre d'éléments de plancher génériques et le degré de résistance au feu de multiples éléments de plancher génériques. Ces informations ont été incorporées dans un ensemble de révisions incorporées dans les nouvelles versions du CNB et publiées dans les tableaux 9.10.3.1.-A et 9.10.3.1.-B de la division B.

3.7.1 Résistance au feu

La résistance au feu des constructions à ossature de bois dépend principalement des panneaux de gypse (situés en dessous des poutrelles) utilisés pour protéger la structure en bois contre les effets de la chaleur. La construction de planchers ou de toits résistant au feu requiert l'utilisation de panneaux de gypse résistant au feu. Les panneaux de type X sont les plus couramment utilisés. Les panneaux plus épais procurent une meilleure barrière thermique et permettent une plus grande résistance au feu.

Le degré de résistance au feu d'un assemblage de plancher ou de toit peut être évalué de trois façons, soit :

1. Selon l'annexe D-2.3 de la division B (méthode de la somme des éléments contributants).

Cette méthode permet de déterminer le degré de résistance au feu jusqu'à une concurrence de 90 minutes. Le **tableau 6** résume la contribution des différents panneaux de gypse offerts, comme l'indique le tableau D-2.3.4.A du CNB^[6]. Ces contributions ne sont pas cumulatives lorsque utilisées pour des systèmes de plancher.

TABLEAU 6 • Contribution des parois de plaque de plâtre à la face exposée au feu des planchers 2.3 du CNB^[6]

TYPE DE PAROI	TEMPS (MINUTES)
Panneau de gypse de type X de 12,7 mm (1/2") d'épaisseur	25
Panneau de gypse de type X de 15,9 mm (5/8") d'épaisseur	40

2. Selon le tableau 9.10.3.1.-B de la division B du CNB.

Le tableau 9.10.3.1.-B du CNB^[6] dicte plusieurs assemblages pour un degré de résistance au feu allant de 30 à 60 minutes.

Le **tableau 7** résume quelques-uns de ces assemblages.

3. Par essais normalisés conformes à la norme CAN/ULC S101^[13] ou la norme ASTM E119^[4].

Plusieurs fabricants de poutrelles de bois en I possèdent des résultats propriétaires d'essais de résistance au feu conformes aux normes CAN/ULC S101 ou ASTM E119 (se référer à la liste des

fabricants au chapitre 7). Ces résultats sont habituellement publiés dans la documentation technique des fabricants et fournissent plusieurs types d'assemblages procurant un degré de résistance au feu allant de 30 minutes à 2 heures.

Plusieurs de ces assemblages propriétaires de planchers et de toits sont accessibles sur le site Internet du laboratoire d'essai Intertek (www.intertek-etlsemko.com). Une recherche simple et rapide d'un fabricant à partir du répertoire des produits listés ETL permettra d'obtenir toute l'information nécessaire sur les divers composants requis pour atteindre le degré de résistance au feu exigé, ainsi que les indices acoustiques qui seront atteints. Ces assemblages peuvent être obtenus à partir du lien Internet suivant : <https://bpdirectory.intertek.com/>

3.7.2 Acoustique

La fixation de panneaux de gypse aux plafonds à l'aide de profilés métalliques souples permet de réduire la transmission du son car ces profilés amortissent les vibrations du revêtement de plafond. Les panneaux de gypse plus épais atténuent le bruit un peu plus efficacement que les panneaux de faible épaisseur. Le couplage des panneaux de gypse permet une absorption du son plus efficace. Les isolants en fibres de verre ou en fibres de roche placés dans les cavités des planchers réduisent également la transmission du son. Un scellant acoustique appliqué sur le pourtour des ouvertures et à tous les joints est un moyen efficace de réduction du bruit. Enfin, la construction à ossature de bois ne présente pas les problèmes de transmission des bruits d'impact fréquemment relevés dans la construction en béton.

Les exigences concernant l'indice de transmission du son (ITS) sont données aux sous-sections 5.8 et 9.11 de la division B du CNB^[8]. Ces deux sous-sections stipulent que les ITS doivent être déterminés conformément à la norme ASTM E413^[2]. Il est à noter que le CNB^[8] ne contient pas d'exigences touchant l'indice typique d'isolation d'impact (IIC). Cependant, des recommandations sont fournies à l'article A-9.11.1.1.1 de l'annexe A de la division B.

Tout comme le degré de résistance au feu, le tableau 9.10.3.1.-B de la division B du CNB a été mis à jour à la suite de nombreux essais réalisés par le CNRC et qui donnent des indices de transmission du son (ITS) et des indices typiques d'isolation d'impact (IIC) pour les compositions de planchers les plus courants. Le **tableau 7** résume quelques-uns de ces assemblages. Il est important de se référer au CNB afin d'obtenir de plus amples informations sur ces assemblages concernant les valeurs indiquées.

Par ailleurs, le CNRC distribue gratuitement le logiciel soundPATHS Calculator qui permet de calculer l'indice de transmission du son (ITS) et l'indice typique d'isolation d'impact (IIC). Ce logiciel peut être consulté en ligne à partir du lien Internet <https://soundpaths.nrc-cnrc.gc.ca/#/>

TABLEAU 7 • Degré de résistance au feu, ITS et IIC de divers assemblages de planchers selon le CNB ^[8]

Assemblage du CNB	Description (valide pour des poutrelles de bois en I espacées d'au plus 610 mm (24"))	Degré de résistance au feu	Indice de transmission du son	Indice d'isolation d'impact
		(minutes)	(ITS)	(IIC)
F5d	• 1 revêtement de sol en OSB ou contreplaqué de 15,5 mm • Matériau absorbant dans les vides (fibre de roche de 90 mm) • Profils métalliques de fourrures aux 600 mm • 1 panneau de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm	30	40	33
F8d	• 1 revêtement en OSB ou contreplaqué de 15,5 mm • Matériau absorbant dans les vides (fibre de roche de 90 mm) • Profils métalliques souples aux 600 mm • 1 panneau de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm	30	50	44
F6d	• 1 revêtement de sol en OSB ou contreplaqué de 15,5 mm • Matériau absorbant dans les vides • Profils métalliques de fourrures aux 600 mm • 2 panneaux de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm	60	44	37
F9d	• 1 revêtement de sol en OSB ou contreplaqué de 15,5 mm • Matériau absorbant dans les vides • Profils métalliques souples aux 600 mm • 2 panneaux de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm	60	54	48
F11d	• 1 revêtement de sol en OSB ou contreplaqué de 11 mm • 1 revêtement de sol en OSB ou contreplaqué de 15,5 mm • Matériau absorbant dans les vides • Profils métalliques souples aux 600 mm • 2 panneaux de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm	60	57	50

4 Installation

Tout comme les bois de charpente traditionnels, les poutrelles de bois en I se trouvent surtout dans des systèmes de construction comme les poutrelles de plancher ou les chevrons de toit. Elles peuvent généralement être utilisées de la même façon que les solives de bois de charpente traditionnelles, par exemple les patrons de clouage prescrits dans la partie 9 du CNB, sauf indications contraires dans les rapports d'évaluation du CCMC ou la documentation technique du fabricant.

Puisque les poutrelles de bois en I se différencient des solives de bois traditionnelles (voir la section 3.4), le guide technique du CCMC stipule que tous les fabricants doivent se conformer aux détails types d'installation publiés par WIJMA afin de promouvoir une bonne installation de ces produits. De plus, certaines lignes directrices sont acceptées par la majorité des fabricants, telles que :

1. À l'exception de couper les poutrelles aux longueurs désirées, les semelles ne doivent JAMAIS être coupées, entaillées ou percées.
2. Installez-les d'aplomb de façon à ce que les semelles supérieures et inférieures soient alignées verticalement d'au plus 1 mm par 100 mm de hauteur de poutrelle (1/8" par pied de hauteur).
3. Les poutrelles doivent être solidement ancrées aux supports avant de fixer le revêtement structural. Lorsque utilisées comme poutrelles de plancher, les appuis intermédiaires doivent être au niveau.
4. Les longueurs d'appui minimales doivent être respectées (38 ou 45 mm selon les recommandations du fabricant (1 1/2" ou 1 3/4") pour les appuis d'extrémité et 89 mm (3 1/2") pour les appuis intermédiaires).

5. Il faut laisser un jeu de 1,5 mm ($\frac{1}{16}$ ") entre l'extrémité de la poutrelle et la face d'une poutre ou d'un linteau.
6. Les charges concentrées plus grandes que celles se trouvant normalement dans la construction résidentielle devraient s'appuyer seulement sur la face supérieure des semelles supérieures. Les charges concentrées normales incluent les éléments d'éclairage, les systèmes audiophoniques et les caméras de sécurité. Il ne faut jamais suspendre de lourdes charges ou des charges inhabituelles à la semelle inférieure d'une poutrelle de bois en I. Dans la mesure du possible, il est préférable de suspendre toutes les charges concentrées à la semelle supérieure de la poutrelle ou d'attacher la charge à des panneaux de blocage solidement fixés à l'âme de la poutrelle.
7. Les poutrelles doivent être utilisées dans un milieu sec. Elles ne doivent pas être exposées en permanence aux intempéries (porte-à-faux non protégé pour un balcon extérieur par exemple) ou utilisées à un endroit où elles demeureront en contact direct avec du béton ou de la maçonnerie.
8. Les extrémités des poutrelles doivent être retenues latéralement pour prévenir leur renversement à l'aide de panneau de rive, d'une poutrelle continue ou de panneaux de blocage.
9. Lorsque les poutrelles sont installées perpendiculairement au-dessus ou en dessous de murs porteurs, il faut utiliser des panneaux de blocage de pleine hauteur, des panneaux de rive ou des blocs de transfert afin de transférer les charges verticales des murs porteurs situés au-dessus des poutrelles aux éléments porteurs situés en dessous.
10. En raison du retrait volumique des bois de sciage traditionnels, ces derniers ne devraient jamais être utilisés comme panneaux de rive ou de blocage. Des sections de poutrelles de bois en I, ou tout autre produit de bois d'ingénierie comme les panneaux de rive en OSB, doivent être coupées avec précision pour s'insérer entre les poutrelles et une hauteur compatible avec les poutrelles devrait être sélectionnée.
11. Il faut fournir un support latéral permanent à la semelle en compression afin de prévenir la rotation ou le déversement. Dans le cas où des poutrelles sont utilisées en portée simple, le support latéral est généralement fourni par le revêtement structural. Dans le cas où les poutrelles sont utilisées en portées continues, un support latéral de la semelle inférieure est également requis aux appuis intermédiaires ainsi qu'à l'appui d'extrémité le plus rapproché d'une partie de poutrelle en porte-à-faux. Les extrémités de toutes les parties de poutrelles en porte-à-faux doivent également être retenues latéralement. Lorsque la structure sera complétée, le panneau de gypse fournira ce support latéral. Jusqu'à ce que le plafond fini soit installé, des liens continus doivent être utilisés temporairement.

4.1 Support latéral et transfert de charge

Les poutrelles de bois en I sont conçues uniquement pour supporter les charges de plancher ou de toit. Elles ne le sont pas pour transférer elles-mêmes des charges provenant d'un mur porteur supérieur à un mur porteur inférieur, sauf si elles sont utilisées comme panneaux de blocage ou de rive. La conception d'une poutrelle de bois en I suppose que le transfert de charge s'effectue par l'intermédiaire d'un panneau de rive ou de blocage ou par l'ajout de poteaux de transfert et non au travers de la poutrelle.

4.1.1 Support latéral des semelles

Les extrémités des poutrelles doivent être latéralement retenues afin de prévenir le déversement aux appuis. Pour ce faire, l'utilisation d'un panneau de rive ou de panneaux de blocage s'avère nécessaire et permet également de transférer les charges latérales du diaphragme (**figure 17**). Si l'on compare aux bois de sciage où le clouage se fait en biais, les panneaux de blocage peuvent développer une meilleure résistance latérale à cause de la plus grande largeur de l'élément et des meilleures résistances du clouage.

De plus, un support latéral de la semelle en compression doit toujours être présent afin d'éviter la rotation ou le déversement aux appuis. Ce support latéral est généralement procuré par le revêtement structural (contreplaqué ou OSB).

Dans le cas d'un porte-à-faux, un support latéral est requis à la semelle inférieure (en compression) à l'appui adjacent au porte-à-faux. Des pièces de panneau de rive, des panneaux de blocage ou des croix Saint-André sont habituellement utilisés.

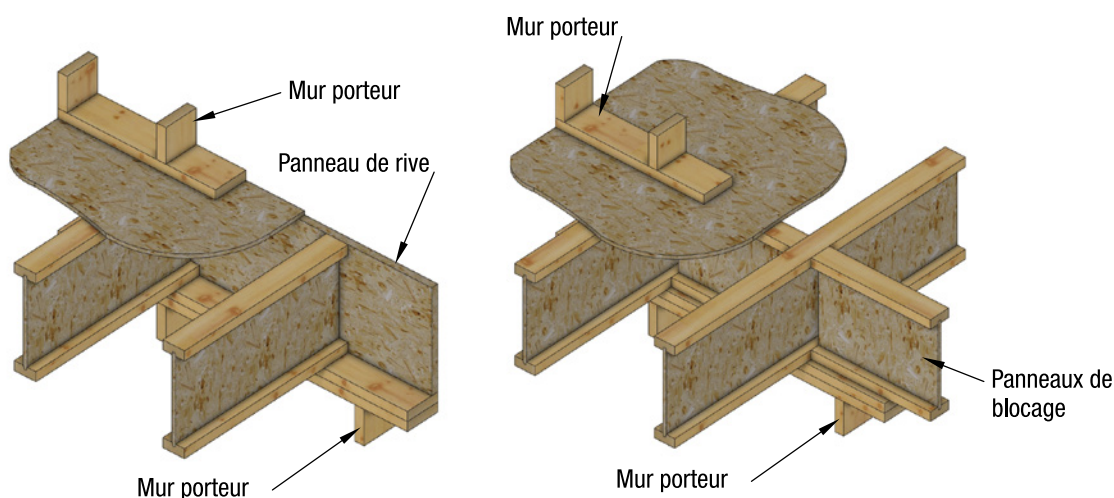


FIGURE 17 • Support latéral des semelles

4.1.2 Support latéral avec des étriers métalliques

Pour l'utilisation d'étriers métalliques, il est primordial que la semelle supérieure soit retenue latéralement, soit par les ailes de l'étrier, par l'ajout de cornières ou par l'ajout de raidisseurs d'âme (se référer à la sous-

section 4.3 pour de plus amples informations). Pour l'ajout de cornières ou de raidisseurs d'âme, les fabricants d'étriers métalliques recommandent que la hauteur de l'étrier soit supérieure à 60 % de celle de la poutrelle. La **figure 18** illustre les bonnes pratiques dans l'utilisation d'étriers métalliques.

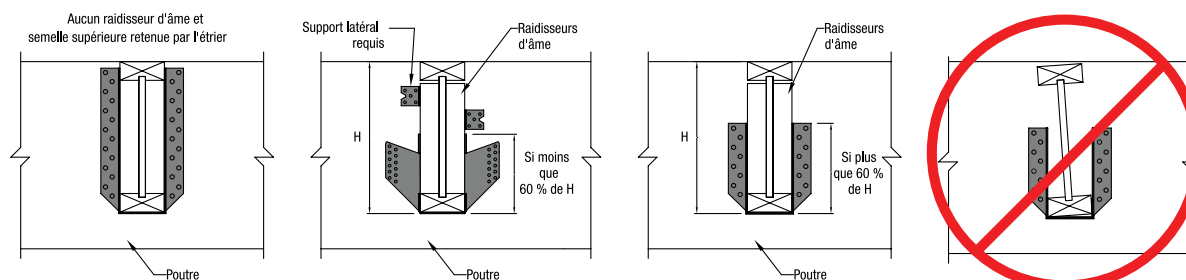


FIGURE 18 • Installation avec des étriers métalliques

4.1.3 Panneau de rive

Un panneau de rive est un panneau structural en bois de charpente composite, en panneau d'OSB ou de contreplaqué servant à transférer les charges verticalement entre les murs porteurs supérieurs et inférieurs (**figure 19**), à fixer le diaphragme (du support de revêtement de plancher à la rive supérieure du panneau de rive), à transférer les charges latérales dans le plan du diaphragme au mur de contreventement en dessous, ainsi qu'à procurer un support latéral aux extrémités des poutrelles. Le panneau de rive couramment utilisé est celui fait de panneau d'OSB de 28,5 mm (1 1/8") d'épaisseur et possède les capacités de transfert de charges verticales indiquées au **tableau 8**.

Puisque les poutrelles de bois en I ne sont pas conçues pour transférer elles-mêmes des charges provenant d'un mur porteur supérieur à un mur porteur inférieur, la hauteur du panneau de rive doit être exacte et stable dimensionnellement afin d'éviter de charger la poutrelle pendant la vie en service de la structure. De plus, le transfert de la charge latérale d'un diaphragme de plancher ou de toit est souvent limité par le patron de clouage entre le revêtement et le panneau de rive. Un panneau de rive trop court influencera grandement cette résistance latérale.

TABLEAU 8 • Charges verticales maximales pour panneau de rive

Hauteur (panneau de 28,5 mm (1 1/8") d'épaisseur)	Charges verticales maximales pondérées
$h \leq 406 \text{ mm (16")}$	107,1 kN/m (7 340 lb/pi)
$406 \text{ mm (16")} < h \leq 610 \text{ mm (24")}$	73 kN/m (5 000 lb/pi)

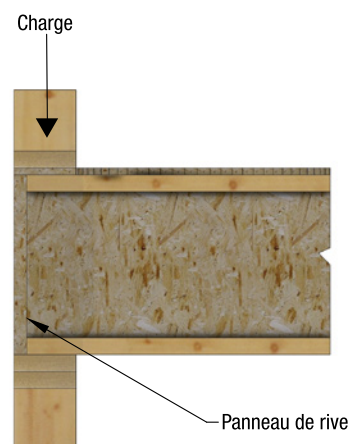
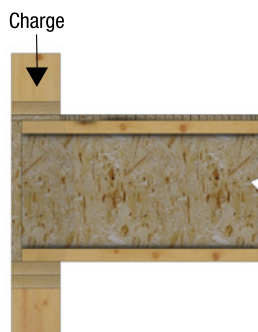


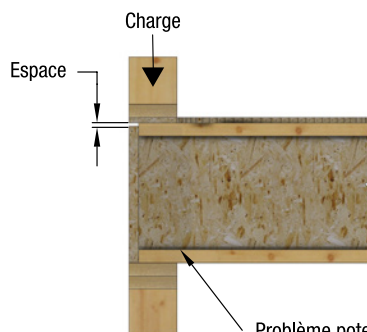
FIGURE 19 • Panneau de rive à un appui d'extrémité

De par sa méthode de fabrication, les poutrelles de bois en I sont des produits stables dimensionnellement et l'utilisation de panneaux de rive en bois de sciage traditionnel n'est pas recommandée puisque le panneau de rive doit posséder exactement la même hauteur que la poutrelle. Les pièces de bois de sciage traditionnel sont souvent fabriquées à diverses teneurs en humidité et selon diverses tolérances de dimensions. Les poutrelles de bois en I et les panneaux de rive en bois de sciage traditionnel ne sont donc tout simplement pas compatibles et on ne peut pas s'attendre à ce qu'ils performant adéquatement s'ils sont combinés (**figure 20**), ce qui peut résulter en des déficiences structurales (WIJMA)^[14].

a) Au moment de la construction



b) Lorsque la teneur en humidité d'équilibre est atteinte



Problème potentiel au joint du panneau d'âme et de la semelle à la suite du rétrécissement du panneau de rive en bois de sciage et de la charge du mur porteur supérieur

FIGURE 20 • Effet d'un panneau de rive en bois de sciage utilisé en combinaison avec des poutrelles en I

De plus, WIJMA ne recommande pas l'utilisation de panneaux de rive d'une épaisseur de 19 mm (3/4") ou moins coupés à partir d'une feuille de contreplaqué ou de panneau OSB (WIJMA ^[14]). Ces panneaux ne permettent pas un transfert adéquat des charges verticales et sont trop minces pour fournir un clouage adéquat visant à résister aux charges latérales. Les panneaux de rive devraient être conformes à la norme APA-PRR-410 (ANSI, ^[1])

4.1.4 Poteau de transfert

Un poteau de transfert (appelé aussi bloc de transfert) est une pièce de bois de sciage traditionnel installé verticalement le long de la poutrelle afin de transférer les charges d'un mur porteur supérieur à un mur porteur inférieur (ou à une poutre inférieure). Ce poteau, habituellement utilisé en paire, doit être coupé à une longueur supérieure de 2 mm (1/16") à la hauteur de la poutrelle et cloué sur le côté des semelles de la poutrelle (**tableau 9**). La **figure 21** illustre un poteau de transfert utilisé sous un mur porteur à un appui intermédiaire.

Il est important de mentionner que les poteaux de transfert ne procurent pas de support latéral aux poutrelles. L'utilisation de poteaux de transfert doit être combinée avec celle d'un panneau de rive ou de panneaux de blocage lorsqu'une stabilité latérale ou un diaphragme sont requis.

TABEAU 9 • Charges verticales maximales par paire de poteaux de transfert

Poteaux de transfert (par paire)	Charges verticales maximales pondérées
2x3	20,5 kN (4600 lbs)
2x4	28,7 kN (6460 lbs)
2x6	45,1 kN (10140 lbs)

Basé sur les résultats pour des sablières en EPS, classé visuellement

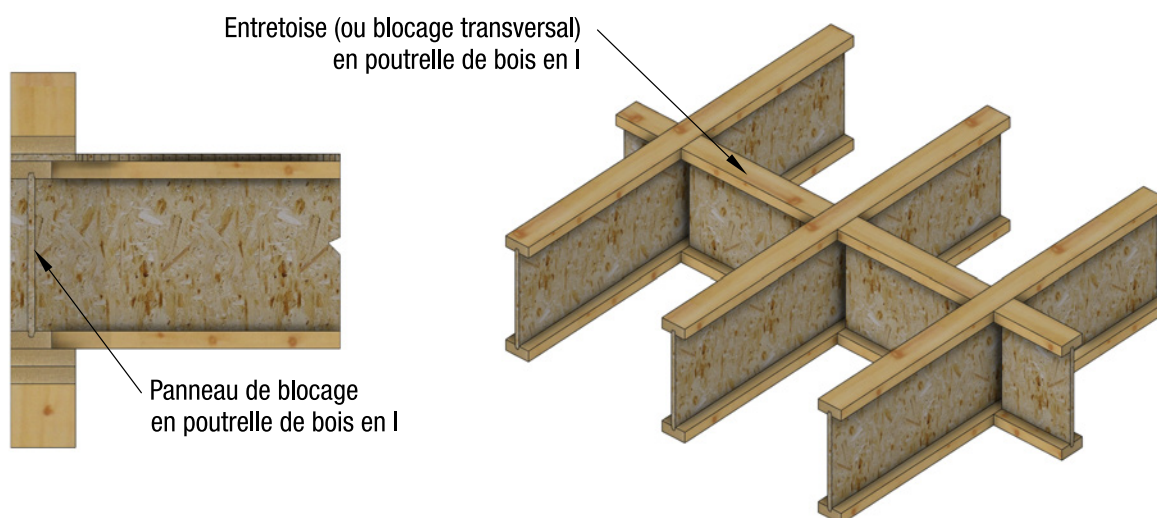
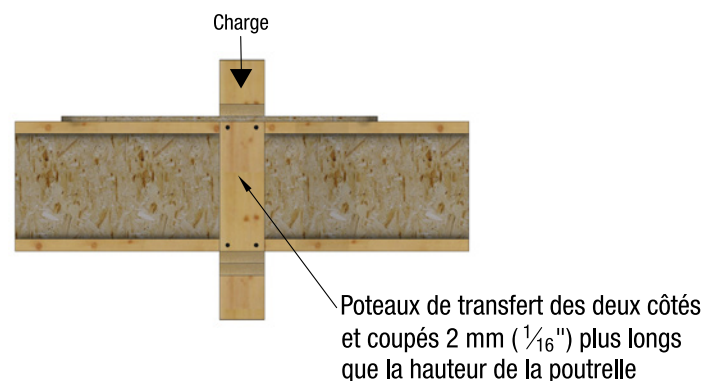


FIGURE 22 • Panneau de blocage et entretoise

4.1.5 Panneaux de blocage et entretoises

Les panneaux de blocage et les entretoises (ou blocages transversaux) consistent en de petites pièces de poutrelles en I coupées à la longueur requise afin de les insérer perpendiculairement aux poutrelles de plancher ou de toit. L'utilisation de panneaux de blocage et d'entretoises est requise afin de transférer les charges d'un mur porteur supérieur à un mur porteur inférieur (ou à une poutre inférieure). La **figure 22** illustre un panneau de blocage utilisé sous un mur porteur à un appui d'extrémité.

Les panneaux de blocage (ou entretoises) sont également requis dans certains assemblages de plancher afin de réduire l'effet des vibrations en procurant une meilleure rigidité au système. Une rangée d'entretoises est habituellement placée à la mi-portée des poutrelles, mais des rangées supplémentaires ou un emplacement différent peuvent s'avérer nécessaires (une rangée aux tiers de la portée, soit deux rangées au total, par exemple).

Il est à noter que les croix Saint-André, habituellement utilisées pour les solives traditionnelles, ne procurent pas la même performance qu'un panneau de blocage de poutrelle en I quant à la vibration de plancher.

4.2 Poutrelles parallèles à un mur extérieur

Lorsque les poutrelles de plancher se retrouvent parallèles à un mur extérieur, la pratique générale est de substituer la poutrelle au-dessus du mur par un muret (**figure 23**). Comme son nom l'indique, le muret est un petit mur de même hauteur que les poutrelles de plancher. Il est généralement fait en 2x4 (38 x 89 mm) ou en 2x6 (38 x 140 mm) avec des poteaux espacés au plus ou moins 406 mm, selon les charges à supporter. L'utilisation des murets au lieu des poutrelles facilite également l'isolation qui s'effectue de la même manière que les murs traditionnels à colombages.

Le concepteur du bâtiment devra porter une attention particulière au support latéral du mur sous le muret. Lorsque les poutrelles de plancher sont placées perpendiculairement au mur extérieur, elles assurent automatiquement le support latéral du mur, ce qui n'est pas le cas lorsqu'elles sont placées parallèlement au mur extérieur (**figure 24**). Un système de blocage et de contreventement devra donc être conçu par le concepteur du bâtiment pour assurer la stabilité du mur (**figure 25**).

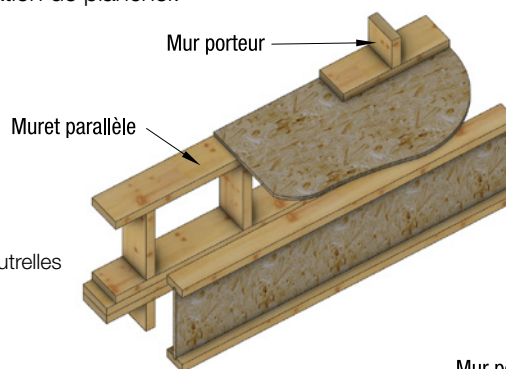


FIGURE 23 • Muret parallèle aux poutrelles

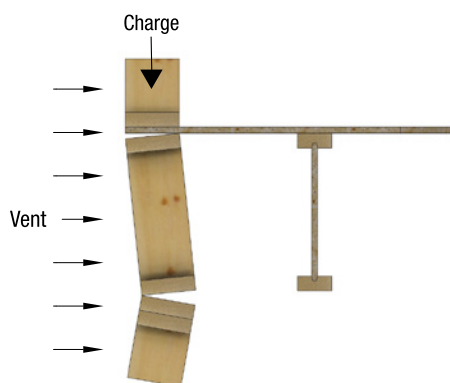


FIGURE 24 • Mur non supporté latéralement

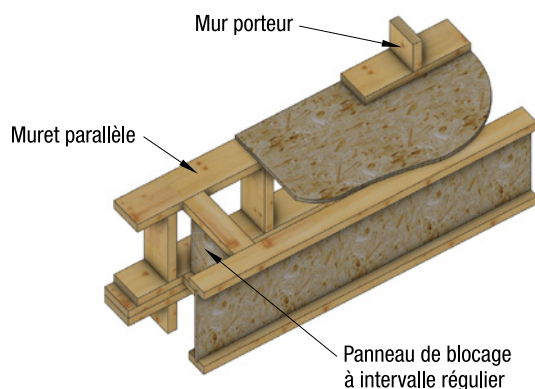


FIGURE 25 • Blocage du mur parallèle

4.3 Raidisseurs d'âme

Il est important de ne pas confondre les raidisseurs d'âme et les poteaux de transfert. Bien que les deux éléments consistent en des pièces de bois de sciage traditionnel installées verticalement, leur utilité est très différente. Les raidisseurs d'âme se clouent le long du panneau d'âme de la poutrelle afin d'accroître la résistance aux appuis ou de remplir l'espace situé entre un étrier métallique et l'âme de la poutrelle (voir la sous-section 4.1.2). Les raidisseurs d'âme, toujours utilisés en paire, doivent être coupés à une longueur inférieure d'au moins 3 mm (1/8") à la hauteur libre entre les semelles de la poutrelle et cloués sur le côté du panneau d'âme de celle-ci. La **figure 26** illustre des raidisseurs d'âme à un appui d'extrémité ainsi que sous l'application d'une charge concentrée.

Les raidisseurs d'âme servent également de renforcement afin de contrer le flambement de l'âme. Puisque la capacité en cisaillement d'une poutrelle croît, habituellement, proportionnellement à la hauteur de la poutrelle, les raidisseurs d'âme sont très importants pour les poutrelles de grande hauteur (plus de 406 mm ou 16") ou dans le cas où les poutrelles sont en portées continues et où l'appui intermédiaire est très sollicité. L'utilisation de raidisseurs d'âme peut également s'avérer nécessaire lorsqu'une charge concentrée de grande amplitude, soit plus de 6,7 kN (1 500 lb) non pondérée, est appliquée sur le dessus des poutrelles (**figure 27**).

4.4 Poutrelle double

Dans certaines applications, l'utilisation d'une poutrelle double s'avère nécessaire. Une poutrelle double peut être requise pour une cage d'escalier (ou toute autre ouverture) ou lorsqu'une charge concentrée est appliquée sur le dessus ou sur le côté de la poutrelle.

Lorsqu'une charge est appliquée sur le dessus de la poutrelle double, l'assemblage est moins critique car la charge se répartit également entre les deux poutrelles par contact direct et les poutrelles travailleront (fléchiront) ensemble. Un simple remplissage et clouage des poutrelles est généralement suffisant (**figure 28**). Cependant, lorsque la charge est appliquée sur le côté (**figure 29**), la poutrelle double doit agir comme un élément simple et les deux poutrelles doivent donc être adéquatement assemblées afin d'être solidaires et d'assurer un partage de charge adéquat d'une poutrelle à l'autre. Un renforcement local (remplissage) et un calcul des attaches sont requis par le concepteur des poutrelles.

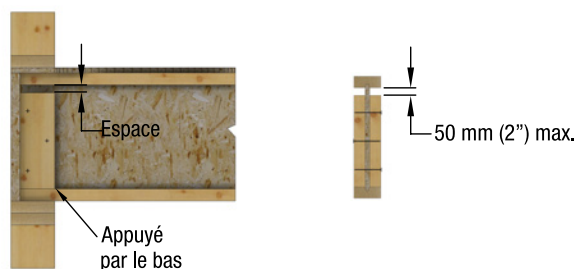


FIGURE 26 • Raidisseurs d'âme à l'appui



FIGURE 27 • Raidisseurs d'âme sous une charge concentrée

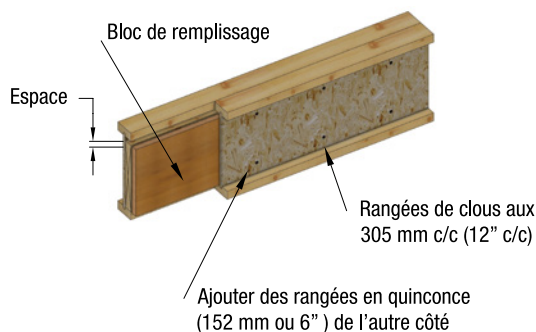


FIGURE 28 • Remplissage d'une poutrelle double

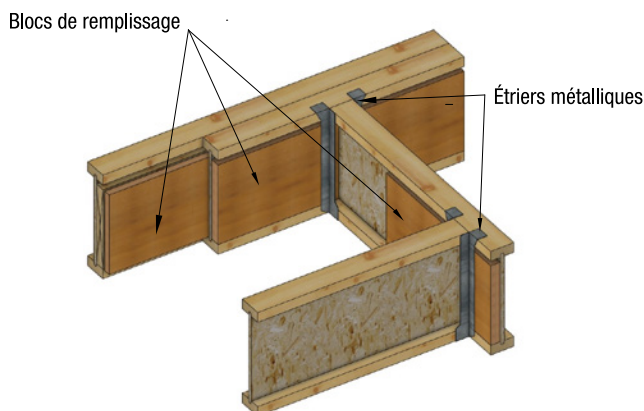


FIGURE 29 • Charge concentrée appliqué sur le côté

Le remplissage (ou bloc de remplissage) peut être constitué d'un agencement de bois de sciage traditionnel (2x4 à 2x12), de panneaux de contreplaqué ou d'OSB ou de panneaux de rive. Ce remplissage n'est habituellement pas considéré comme élément structural, mais plutôt comme élément servant au clouage et au partage de charge d'une poutrelle à l'autre. Si la poutrelle double est soumise à une charge sur toute sa longueur, le remplissage doit également couvrir toute la longueur. Il n'est par contre pas nécessaire qu'il soit fait de remplissage continu. Tel qu'il a été mentionné précédemment, il peut être fait de plusieurs pièces de bois de sciage ou de panneaux structuraux ou de rive, à la condition que le clouage soit adéquat.

Il faut également prévoir un espace d'au moins 3 mm (1/8") entre le dessus du remplissage et le dessous de la semelle supérieure. Cet espace facilitera la pose au chantier et évitera d'abîmer les poutrelles à assembler. De plus, la largeur du remplissage doit être

adéquate. Un remplissage trop large engendrera en effet un jeu entre les semelles des poutrelles. Puisque les clous sont généralement placés près des semelles, un remplissage trop étroit sera plus problématique. Si l'espace entre le panneau d'âme et le remplissage est trop grand, le fait de clouer les poutrelles ensemble aura tendance à vouloir réduire cet espace (**figure 30**). Cet effet pourra soit endommager le panneau d'âme ou le joint de colle entre la semelle et l'âme, soit faire pivoter la semelle supérieure (créant ainsi une surface inégale et une réduction des résistances causée par l'excentricité de la charge).

Les fabricants de poutrelles de bois en I publient, dans leur documentation technique, différents patrons de clouage et d'agencement de remplissage en fonction de la géométrie de leurs poutrelles.

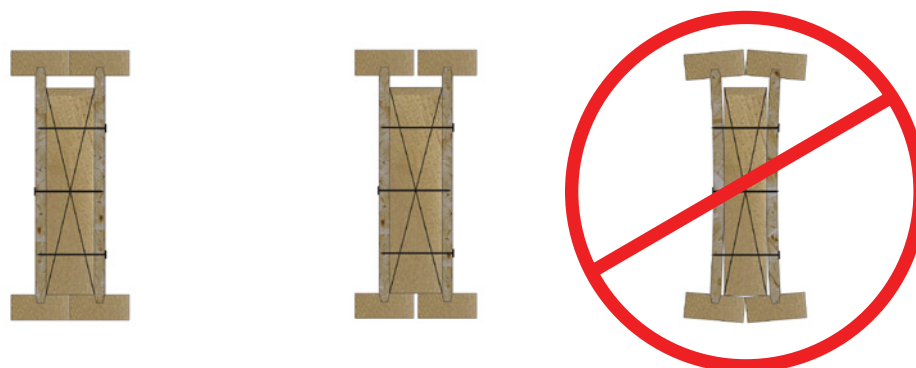


FIGURE 30 • Bloc de remplissage pour une poutrelle double

4.5 Porte-à-faux

On utilise les poutrelles de plancher en porte-à-faux pour toutes sortes d'exigences architecturales (**figure 31**). De façon générale, la portée intérieure de la poutrelle doit être égale ou supérieure à deux fois la longueur du porte-à-faux sortant. Cependant, le calcul de la poutrelle doit se faire pour les cas de surcharge totale et partielle, comme le spécifie l'article 4.1.5.3 de la division B du CNB^[8]. Ainsi, selon les charges appliquées dans le porte-à-faux, la longueur de la portée nécessaire pourrait aller bien au-delà du double de la longueur du porte-à-faux.

Les cas de surcharge partielle sont particulièrement importants pour les poutrelles en porte-à-faux, tout comme pour les poutrelles en portées continues (ou multiples). Les cas de surcharge partielle permettront de déterminer la déformation maximale au bout du porte-à-faux, ainsi que la réaction maximale de soulèvement à l'appui situé à l'autre extrémité de la poutrelle. Bien qu'il soit permis d'appliquer des charges à l'extrémité d'un porte-à-faux, il est tout de même préférable de les limiter afin de prévenir des déformations inadmissibles du porte-à-faux ou un soulèvement excessif de l'autre extrémité de la poutrelle en effectuant un transfert de charge ailleurs que sur le porte-à-faux.

Il est à noter que la déformation permise au bout du porte-à-faux est établie à partir du double de la longueur du porte-à-faux par rapport au critère de déformation requis au CNB ^[6]. Pour un porte-à-faux de 610 mm de longueur avec un critère de déformation de 1/360, par exemple, la limite permise au bout du porte-à-faux sera de $(610 \text{ mm} \times 2)/360$, soit 3,4 mm (voir commentaire D du guide de l'utilisateur de la partie 4 du CNB ^[6]).

Le concepteur du plancher devra apporter une attention spéciale au porte-à-faux, en particulier lorsque des charges concentrées sont appliquées au bout du porte-à-faux (mur porteur qui supporte un toit, par exemple).

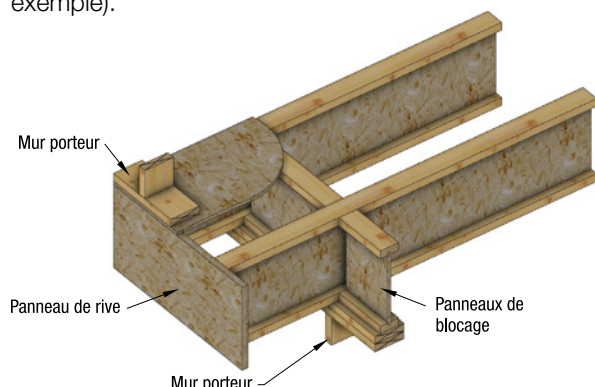


FIGURE 31 • Poutrelles en porte-à-faux

4.6 Balcon

Il n'est pas recommandé de prolonger les poutrelles en porte-à-faux pour les balcons à moins d'avoir un détail d'étanchéité du balcon conçu par le concepteur du bâtiment pour éviter toute infiltration d'eau. Les poutrelles sont fabriquées avec du bois non traité et elles sont conçues pour être utilisées dans des conditions normales (l'humidité du bois ne doit pas dépasser 19 % en tout temps et 15 % en moyenne sur une année). À défaut de garantir que les poutrelles seront protégées contre toute infiltration d'eau qui pourrait les endommager, il est recommandé d'utiliser des solives en bois traité, fixées sur le côté des poutrelles, comme l'illustre la figure 33. De façon générale, ces solives en bois traité se prolongeront à l'intérieur des poutrelles sur une longueur égale à deux fois la longueur du balcon.

On peut aussi réaliser des balcons autoportants. Cette solution est particulièrement intéressante puisqu'elle élimine tout pont thermique. Un appui est toutefois nécessaire au bout du balcon comme l'illustre la figure 34.

Par ailleurs, selon les charges appliquées, il se peut qu'un renforcement s'avère nécessaire. La méthode la plus courante consiste à clouer un panneau structural de 1,2 m (48") de longueur sur un seul côté (ou les deux côtés) des poutrelles (figure 32). L'axe fort du panneau structural doit être orienté de façon à ce qu'il soit longitudinal aux poutrelles. Le patron de clouage de ce renforcement dépendra de l'effort de cisaillement et de flexion qu'il doit reprendre. La portée d'un porte-à-faux nécessitant un renforcement est habituellement limitée à 610 mm (24") compte tenu de la longueur du renforcement de 1,2 m (48").

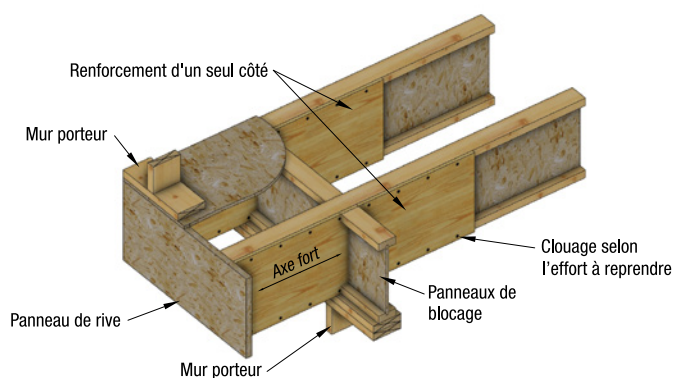


FIGURE 32 • Renforcement d'un seul côté

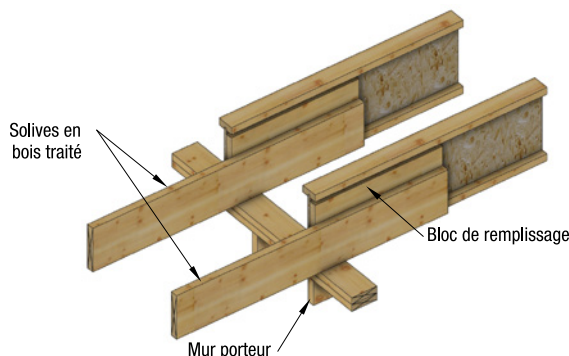


FIGURE 33 • Balcon avec poutrelles et solives en bois traité

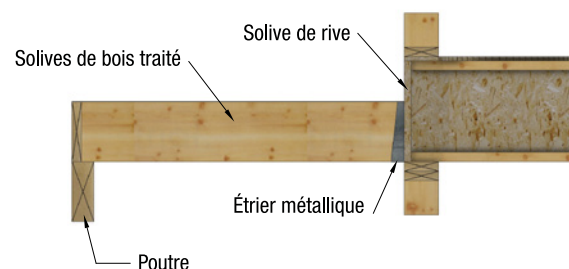


FIGURE 34 • Balcon autoportant

4.7 Poutrelles de toit

Bien qu'elles soient plus couramment utilisées dans des systèmes de plancher, les poutrelles de bois en I se prêtent également très bien pour des systèmes de toit. Une attention particulière doit cependant être portée dans ce cas. Les fabricants publient des détails d'installation à cet effet.

De plus, la plupart des poutrelles offertes sur le marché sont fabriquées avec des ouvertures préperçées approximativement de 38 mm (1 1/2") de diamètre espacées entre 305 et 406 mm (12" et 16"). Ces ouvertures sont habituellement localisées plus près d'une semelle de sorte que les poutrelles doivent être installées de manière à ce que les ouvertures se retrouvent dans la partie supérieure des poutrelles (les

poutrelles en I ne possèdent pas de cambrures, donc les semelles peuvent être interversées). L'orientation de ces ouvertures est critique si un isolant est placé entre les poutrelles afin qu'elles ne soient pas obscurcies et qu'elles permettent une bonne ventilation dans le système de toit (**figure 35**).

De plus, la conception de toits plats (pente de 0 % ou 0 dans 12) devrait toujours considérer un système de drainage adéquat afin de prévenir une déformation excessive à la suite d'un engorgement d'eau de pluie ou de neige. Il est recommandé de fournir une pente minimale de 2 % (¼ dans 12) afin de fournir un drainage au toit. Avec l'utilisation de poutrelles de bois en I, cette pente est habituellement fournie par un soufflage en bois au-dessus des poutrelles installées à plat.

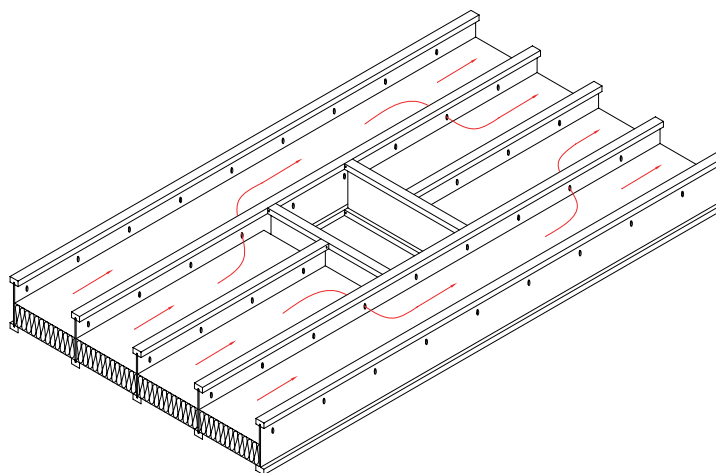


FIGURE 35 • Ventilation dans un toit en poutrelles de bois en I

4.8 Revêtement de plancher et de toit

Les revêtements de plancher les plus couramment utilisés sont les panneaux de contreplaqué et d'OSB. En plus de supporter les charges de plancher, ces panneaux agissent comme diaphragmes horizontaux qui sont nécessaires pour le contreventement et la stabilité structurale du bâtiment. Pour les maisons et petits bâtiments dont les surcharges ne dépassent pas 2,4 kPa (50 lb/pi²), les épaisseurs minimales des panneaux de contreplaqué et d'OSB sont données aux tableaux 9.23.15.5.-A et 9.23.15.5.-B de la division B du CNB^[9].

De plus, les capacités structurales de ces panneaux apparaissent aux tableaux 9.1 à 9.3 de la norme CSA O86. Les différentes associations, comme l'APA

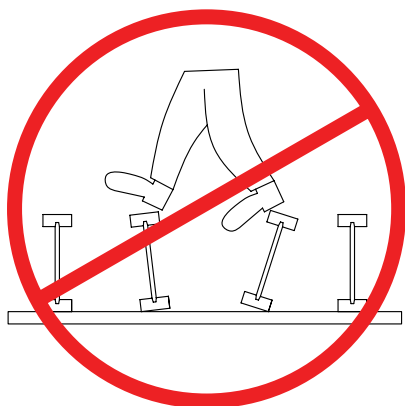
ou le Conseil canadien du bois regroupant les fabricants de panneaux, publient également plusieurs guides techniques. Les capacités structurales de ces panneaux peuvent être téléchargées à partir des liens suivants :

Par ailleurs, il est important de rappeler que ces panneaux sont fabriqués en dimensions typiques de 1,22 x 2,44 m (4' x 8') et que, contrairement à un tablier d'acier en rouleau, ces dimensions fixes dicteront les espacements des poutrelles. Les espacements couramment utilisés sont 305, 406, 487 et 610 mm (12", 16", 19,2" et 24"). Il faut noter qu'il peut y avoir des panneaux d'OSB plus grands, tout en respectant les incréments cités plus haut, jusqu'à concurrence de 2,44 m x 7,32 m (8' x 24').

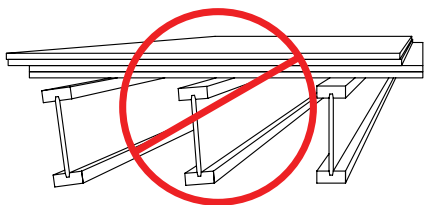
4.9 Stabilité en cours de construction

Les poutrelles de bois en I sont instables tant qu'elles ne sont pas complètement installées et ne doivent pas supporter de charges si elles ne sont adéquatement contreventées et recouvertes d'un panneau de revêtement structural. La **figure 36** illustre deux consignes de sécurité en cours de construction.

Il est important de suivre les consignes suivantes afin de prévenir des accidents. À défaut de se conformer à ces consignes de sécurité, de graves accidents peuvent survenir. Un responsable de chantier devrait voir au respect de ces consignes en tout temps.



NE PAS permettre aux travailleurs de marcher sur les poutrelles tant qu'elles ne sont pas complètement installées et contreventées. De graves blessures peuvent en découler si ces consignes ne sont pas respectées.



NE PAS empiler de matériaux de construction sur des poutrelles sans revêtement.

FIGURE 36 • Exemples de consigne de sécurité

1. Soutenez et clouez chaque poutrelle au fur et à mesure, en utilisant des panneaux de blocage ou des entretoises, des étriers, des panneaux ou des poutrelles de rive aux extrémités des poutrelles.
2. Lorsque le plancher ou le toit est terminé, le revêtement structural procurera le support latéral nécessaire aux semelles supérieures des poutrelles. Jusqu'à ce que le revêtement soit installé, un contreventement temporaire ou un revêtement temporaire doit être appliqué pour prévenir le renversement des poutrelles ou leur gauchissement.
 - a. Les traverses doivent avoir une dimension nominale minimale de 1x4 (soit 19 x 89 mm), être d'une longueur minimale de 2,4 m (8 pi), être espacées d'au plus 2,4 m (8 pi) et être attachées à la face supérieure de chacune des poutrelles à l'aide d'au moins deux clous de 63 mm (clous 8d de 2"). De plus, il faut rattacher les traverses à une retenue latérale aux extrémités des baies. La continuité des traverses doit être assurée par le chevauchement d'au moins deux poutrelles.
 - b. Le revêtement temporaire (ou permanent) peut être cloué aux semelles supérieures des poutrelles sur une longueur de 1,2 m (4 pi), à l'extrémité des baies.
3. Dans le cas de poutrelles en porte-à-faux, il faut contreventer les semelles supérieures et inférieures ainsi que soutenir les extrémités des poutrelles à l'aide d'un panneau de bordure, un panneau de rive ou des entretoises.
4. Le revêtement structural doit être installé et cloué à chaque poutrelle avant d'appliquer des charges sur ces dernières. Les charges appliquées ne doivent pas, en tout temps, dépasser les charges prévues de conception.
5. Il ne faut jamais installer une poutrelle endommagée. Le cas échéant, il est impératif d'obtenir un détail de réparation de la part du fabricant. Il se peut toutefois qu'une poutrelle endommagée ne soit pas réparable.

La documentation technique des divers fabricants de poutrelles en I dicte des consignes de sécurité en cours de construction. Il est important de se référer à la documentation propre à chaque fabricant pour une utilisation adéquate des poutrelles selon ses recommandations. La garantie limitée du fabricant peut être nulle si ces consignes ne sont pas suivies.

5 Tables de portées

5.1 Poutrelles de plancher

TABLEAU 10 • Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		1,9 kPa (L) + 0,7 kPa (D)				40 lb/pi ² (L) + 15 lb/pi ² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	5,30	5,00	4,83	4,35	17' - 4"	16' - 4"	15' - 9"	14' - 3"
	2x3 - 2100	5,45	5,15	4,95	4,75	17' - 10"	16' - 10"	16' - 2"	15' - 7"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	6,28	5,83	5,55	5,33	20' - 7"	19' - 1"	18' - 2"	17' - 5"
	2x4 - 2100	6,68	6,20	5,90	5,58	21' - 10"	20' - 4"	19' - 4"	18' - 3"
	2x4 - 2400	6,83	6,33	6,03	5,68	22' - 4"	20' - 9"	19' - 9"	18' - 7"
356 (14")	2x3 - 2100	6,98	6,48	6,18	5,85	22' - 10"	21' - 2"	20' - 3"	19' - 2"
	2x4 - 2100	7,43	6,88	6,55	6,18	24' - 4"	22' - 6"	21' - 5"	20' - 3"
	2x4 - 2400	7,58	7,03	6,70	6,33	24' - 10"	23' - 0"	21' - 11"	20' - 9"
406 (16")	2x3 - 2100	7,58	7,05	6,73	6,35	24' - 10"	23' - 1"	22' - 0"	20' - 10"
	2x4 - 2100	8,08	7,48	7,13	6,73	26' - 5"	24' - 6"	23' - 4"	22' - 0"
	2x4 - 2400	8,25	7,65	7,28	6,85	27' - 0"	25' - 1"	23' - 10"	22' - 5"
457 (18")	2x4 - 2100	8,70	8,05	7,68	7,25	28' - 6"	26' - 4"	25' - 2"	23' - 9"
	2x4 - 2400	8,88	8,23	7,85	7,40	29' - 1"	26' - 11"	25' - 9"	24' - 3"
508 (20")	2x4 - 2100	9,28	8,63	8,20	7,75	30' - 5"	28' - 3"	26' - 10"	25' - 5"
	2x4 - 2400	9,50	8,80	8,38	7,90	31' - 2"	28' - 10"	27' - 5"	25' - 11"
559 (22")	2x4 - 2400	10,13	9,35	8,90	8,40	33' - 2"	30' - 8"	29' - 2"	27' - 6"
610 (24")	2x4 - 2400	10,90	9,88	9,40	8,88	35' - 9"	32' - 4"	30' - 10"	29' - 1"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement.
- Le tableau ci-dessus considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (⅝") posé directement sous les semelles inférieures des poutrelles.
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[6].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de plancher au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABLEAU 11 • Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		1,9 kPa (L) + 1,7 kPa (D)				40 lb/pi² (L) + 35 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	5,30	4,61	4,21	3,76	17' - 4"	15' - 1"	13' - 9"	12' - 4"
	2x3 - 2100	5,45	5,08	4,75	4,38	17' - 10"	16' - 7"	15' - 7"	14' - 4"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	6,28	5,83	5,55	5,25	20' - 7"	19' - 1"	18' - 2"	17' - 2"
	2x4 - 2100	6,68	6,20	5,90	5,58	21' - 10"	20' - 4"	19' - 4"	18' - 3"
	2x4 - 2400	6,83	6,33	6,03	5,68	22' - 4"	20' - 9"	19' - 9"	18' - 7"
356 (14")	2x3 - 2100	6,98	6,48	6,18	5,71	22' - 10"	21' - 2"	20' - 3"	18' - 8"
	2x4 - 2100	7,43	6,88	6,55	5,71	24' - 4"	22' - 6"	21' - 5"	18' - 8"
	2x4 - 2400	7,58	7,03	6,70	6,33	24' - 10"	23' - 0"	21' - 11"	20' - 9"
406 (16")	2x3 - 2100	7,58	7,05	6,73	5,71	24' - 10"	23' - 1"	22' - 0"	18' - 8"
	2x4 - 2100	8,08	7,48	7,13	5,71	26' - 5"	24' - 6"	23' - 4"	18' - 8"
	2x4 - 2400	8,25	7,65	7,28	6,62	27' - 0"	25' - 1"	23' - 10"	21' - 8"
457 (18")	2x4 - 2100	8,70	8,05	7,68	7,25	28' - 6"	26' - 4"	25' - 2"	23' - 9"
	2x4 - 2400	8,88	8,23	7,85	7,40	29' - 1"	26' - 11"	25' - 9"	24' - 3"
508 (20")	2x4 - 2100	9,28	8,63	8,20	7,75	30' - 5"	28' - 3"	26' - 10"	25' - 5"
	2x4 - 2400	9,50	8,80	8,38	7,90	31' - 2"	28' - 10"	27' - 5"	25' - 11"
559 (22")	2x4 - 2400	10,13	9,35	8,90	8,40	33' - 2"	30' - 8"	29' - 2"	27' - 6"
610 (24")	2x4 - 2400	10,90	9,88	9,40	8,88	35' - 9"	32' - 4"	30' - 10"	29' - 1"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement.
- Le tableau ci-dessus considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (⅝") posé directement sous les semelles inférieures des poutrelles.
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[8].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de plancher au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABEAU 12 • Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		4,8 kPa (L) + 0,7 kPa (D)				100 lb/pi² (L) + 15 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	4,15	3,62	3,30	2,81	13' - 7"	11' - 10"	10' - 10"	9' - 2"
	2x3 - 2100	4,38	3,95	3,52	2,81	14' - 4"	12' - 11"	11' - 6"	9' - 2"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	5,25	4,73	4,41	3,52	17' - 2"	15' - 6"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2100	5,80	5,23	4,41	3,52	19' - 0"	17' - 1"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2400	6,03	5,43	5,08	4,08	19' - 9"	17' - 9"	16' - 7"	13' - 4"
356 (14")	2x3 - 2100	5,98	5,29	4,41	3,52	19' - 7"	17' - 4"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2100	6,60	5,29	4,41	3,52	21' - 7"	17' - 4"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2400	6,83	6,12	5,11	4,08	22' - 4"	20' - 1"	16' - 9"	13' - 4"
406 (16")	2x3 - 2100	6,60	5,29	4,41	3,52	21' - 7"	17' - 4"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2100	7,04	5,29	4,41	3,52	23' - 1"	17' - 4"	14' - 5"	11' - 6"
	2x4 - 2400	7,55	6,12	5,11	4,08	24' - 9"	20' - 1"	16' - 9"	13' - 4"
457 (18")	2x4 - 2100	8,00	7,20	6,00	4,79	26' - 2"	23' - 7"	19' - 8"	15' - 8"
	2x4 - 2400	8,28	7,20	6,00	4,79	27' - 1"	23' - 7"	19' - 8"	15' - 8"
508 (20")	2x4 - 2100	8,65	7,80	6,67	5,33	28' - 4"	25' - 7"	21' - 10"	17' - 5"
	2x4 - 2400	8,98	8,00	6,67	5,33	29' - 5"	26' - 3"	21' - 10"	17' - 5"
559 (22")	2x4 - 2400	9,65	8,70	7,34	5,86	31' - 7"	28' - 6"	24' - 1"	19' - 2"
610 (24")	2x4 - 2400	10,30	9,28	8,01	6,39	33' - 9"	30' - 5"	26' - 3"	20' - 11"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement.
- Le tableau ci-dessus considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (⅝") posé directement sous les semelles inférieures des poutrelles.
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB[®].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de plancher au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABLEAU 13 • Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		4,8 kPa (L) + 1,7 kPa (D)				100 lb/pi² (L) + 35 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	3,89	3,37	3,05	2,43	12' - 8"	11' - 0"	9' - 11"	7' - 11"
	2x3 - 2100	4,38	3,66	3,05	2,43	14' - 4"	11' - 11"	9' - 11"	7' - 11"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	5,25	4,58	3,82	3,05	17' - 2"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2100	5,80	4,58	3,82	3,05	19' - 0"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2400	6,03	5,30	4,42	3,53	19' - 9"	17' - 4"	14' - 6"	11' - 6"
356 (14")	2x3 - 2100	5,98	4,58	3,82	3,05	19' - 7"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2100	6,10	4,58	3,82	3,05	20' - 0"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2400	6,83	5,30	4,42	3,53	22' - 4"	17' - 4"	14' - 6"	11' - 6"
406 (16")	2x3 - 2100	6,10	4,58	3,82	3,05	20' - 0"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2100	6,10	4,58	3,82	3,05	20' - 0"	15' - 0"	12' - 6"	10' - 0"
	2x4 - 2400	7,06	5,30	4,42	3,53	23' - 1"	17' - 4"	14' - 6"	11' - 6"
457 (18")	2x4 - 2100	8,00	6,23	5,20	4,15	26' - 2"	20' - 5"	17' - 0"	13' - 7"
	2x4 - 2400	8,28	6,23	5,20	4,15	27' - 1"	20' - 5"	17' - 0"	13' - 7"
508 (20")	2x4 - 2100	8,64	6,93	5,78	4,61	28' - 4"	22' - 8"	18' - 11"	15' - 1"
	2x4 - 2400	8,98	6,93	5,78	4,61	29' - 5"	22' - 8"	18' - 11"	15' - 1"
559 (22")	2x4 - 2400	9,65	7,63	6,36	5,08	31' - 7"	25' - 0"	20' - 10"	16' - 7"
610 (24")	2x4 - 2400	10,30	8,32	6,94	5,54	33' - 9"	27' - 3"	22' - 9"	18' - 2"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement.
- Le tableau ci-dessus considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (⅝") posé directement sous les semelles inférieures des poutrelles.
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB[®].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de plancher lors du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis lors de l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées tel que décrites au tableau 3 et au tableau 4 de ce guide de produits.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

5.2 Poutrelles de toit plat

Les tableaux suivants sont valides uniquement pour des toits plats (pente de 0° ou 0 dans 12). Se référer à la documentation technique des fabricants pour obtenir les portées admissibles sous diverses pentes et divers cas de chargement.

TABLEAU 14 • Portées admissibles de toit plat (neige 1,9 kPa (40 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		1,9 kPa (S) + 0,7 kPa (D)				40 lb/pi² (S) + 15 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	6,15	5,33	4,87	4,35	20' - 2"	17' - 5"	15' - 11"	14' - 3"
	2x3 - 2100	7,13	6,45	6,05	5,42	23' - 4"	21' - 1"	19' - 10"	17' - 9"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	8,50	7,57	6,91	6,17	27' - 10"	24' - 9"	22' - 8"	20' - 3"
	2x4 - 2100	9,45	8,55	8,03	7,32	31' - 0"	28' - 0"	26' - 3"	24' - 0"
	2x4 - 2400	9,78	8,85	8,33	7,68	32' - 0"	29' - 0"	27' - 3"	25' - 2"
356 (14")	2x3 - 2100	9,58	8,30	7,58	6,77	31' - 5"	27' - 2"	24' - 10"	22' - 2"
	2x4 - 2100	10,73	9,70	8,99	7,63	35' - 2"	31' - 9"	29' - 5"	25' - 0"
	2x4 - 2400	11,10	10,05	9,45	8,73	36' - 5"	32' - 11"	31' - 0"	28' - 7"
406 (16")	2x3 - 2100	10,30	8,93	8,15	7,28	33' - 9"	29' - 3"	26' - 8"	23' - 10"
	2x4 - 2100	11,85	10,59	9,56	7,63	38' - 10"	34' - 8"	31' - 4"	25' - 0"
	2x4 - 2400	12,28	11,13	10,45	8,84	40' - 3"	36' - 5"	34' - 3"	28' - 11"
457 (18")	2x4 - 2100	12,95	11,26	10,28	9,19	42' - 5"	36' - 11"	33' - 8"	30' - 1"
	2x4 - 2400	13,43	12,18	11,36	10,15	44' - 0"	39' - 11"	37' - 3"	33' - 3"
508 (20")	2x4 - 2100	13,67	11,85	10,82	9,67	44' - 10"	38' - 10"	35' - 6"	31' - 8"
	2x4 - 2400	14,55	13,09	11,95	10,68	47' - 8"	42' - 11"	39' - 2"	35' - 0"
559 (22")	2x4 - 2400	15,63	13,71	12,51	11,18	51' - 3"	44' - 11"	41' - 0"	36' - 8"
610 (24")	2x4 - 2400	16,48	14,28	13,04	11,65	54' - 0"	46' - 10"	42' - 9"	38' - 2"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche) pour une poutrelle de toit plat sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la charge de neige et sous la charge totale sont limitées à L/240 et L/180 respectivement.
- Une catégorie de risque « normal » est considérée au moment du calcul des états limites ultimes ($I_s = 1,0$) et de tenue en service ($I_s = 0,9$).
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[8].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de toit au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABLEAU 15 • Portées admissibles de toit plat (neige 2,4 kPa (50 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		2,4 kPa (S) + 0,7 kPa (D)				50 lb/pi² (S) + 15 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	5,61	4,86	4,44	3,97	18' - 4"	15' - 11"	14' - 6"	13' - 0"
	2x3 - 2100	6,70	6,05	5,53	4,94	21' - 11"	19' - 10"	18' - 1"	16' - 2"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	7,97	6,90	6,30	5,63	26' - 1"	22' - 7"	20' - 8"	18' - 5"
	2x4 - 2100	8,88	8,05	7,47	6,35	29' - 1"	26' - 4"	24' - 6"	20' - 10"
	2x4 - 2400	9,20	8,33	7,83	7,23	30' - 2"	27' - 3"	25' - 8"	23' - 8"
356 (14")	2x3 - 2100	8,74	7,57	6,92	6,18	28' - 8"	24' - 10"	22' - 8"	20' - 3"
	2x4 - 2100	10,08	8,98	7,96	6,35	33' - 0"	29' - 5"	26' - 1"	20' - 10"
	2x4 - 2400	10,45	9,45	8,88	7,36	34' - 3"	31' - 0"	29' - 1"	24' - 1"
406 (16")	2x3 - 2100	9,40	8,15	7,44	6,35	30' - 10"	26' - 8"	24' - 4"	20' - 10"
	2x4 - 2100	11,15	9,54	7,96	6,35	36' - 6"	31' - 3"	26' - 1"	20' - 10"
	2x4 - 2400	11,55	10,45	9,21	7,36	37' - 10"	34' - 3"	30' - 2"	24' - 1"
457 (18")	2x4 - 2100	11,86	10,28	9,38	8,38	38' - 10"	33' - 8"	30' - 9"	27' - 6"
	2x4 - 2400	12,63	11,35	10,36	8,65	41' - 5"	37' - 2"	34' - 0"	28' - 4"
508 (20")	2x4 - 2100	12,48	10,81	9,87	8,82	40' - 11"	35' - 5"	32' - 4"	28' - 11"
	2x4 - 2400	13,68	11,95	10,91	9,61	44' - 10"	39' - 2"	35' - 9"	31' - 6"
559 (22")	2x4 - 2400	14,43	12,50	11,42	10,20	47' - 3"	41' - 0"	37' - 5"	33' - 5"
610 (24")	2x4 - 2400	15,04	13,03	11,90	10,63	49' - 3"	42' - 9"	39' - 0"	34' - 10"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche) pour une poutrelle de toit plat sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la charge de neige et sous la charge totale sont limitées à L/240 et L/180 respectivement.
- Une catégorie de risque « normal » est considérée au moment du calcul des états limites ultimes ($I_s = 1,0$) et de tenue en service ($I_s = 0,9$).
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[6].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de toit au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABEAU 16 • Portées admissibles de toit plat (neige 2,9 kPa (60 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		2,9 kPa (S) + 0,7 kPa (D)				60 lb/pi ² (S) + 15 lb/pi ² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	5,19	4,50	4,11	3,67	17' - 0"	14' - 9"	13' - 5"	12' - 0"
	2x3 - 2100	6,28	5,61	5,12	4,34	20' - 7"	18' - 4"	16' - 9"	14' - 2"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	7,37	6,39	5,83	5,21	24' - 2"	20' - 11"	19' - 1"	17' - 1"
	2x4 - 2100	8,33	7,53	6,81	5,44	27' - 3"	24' - 8"	22' - 4"	17' - 10"
	2x4 - 2400	8,63	7,80	7,30	6,30	28' - 3"	25' - 7"	23' - 11"	20' - 8"
356 (14")	2x3 - 2100	8,09	7,01	6,40	5,44	26' - 6"	22' - 11"	20' - 11"	17' - 10"
	2x4 - 2100	9,45	8,17	6,81	5,44	31' - 0"	26' - 9"	22' - 4"	17' - 10"
	2x4 - 2400	9,78	8,85	7,89	6,30	32' - 0"	29' - 0"	25' - 10"	20' - 8"
406 (16")	2x3 - 2100	8,70	7,54	6,81	5,44	28' - 6"	24' - 8"	22' - 4"	17' - 10"
	2x4 - 2100	10,32	8,17	6,81	5,44	33' - 10"	26' - 9"	22' - 4"	17' - 10"
	2x4 - 2400	10,83	9,47	7,89	6,30	35' - 6"	31' - 0"	25' - 10"	20' - 8"
457 (18")	2x4 - 2100	10,97	9,51	8,68	7,40	35' - 11"	31' - 2"	28' - 5"	24' - 3"
	2x4 - 2400	11,83	10,51	9,27	7,40	38' - 9"	34' - 5"	30' - 5"	24' - 3"
508 (20")	2x4 - 2100	11,55	10,01	9,14	8,16	37' - 10"	32' - 9"	29' - 11"	26' - 9"
	2x4 - 2400	12,75	11,06	10,09	8,23	41' - 10"	36' - 3"	33' - 1"	27' - 0"
559 (22")	2x4 - 2400	13,35	11,57	10,57	9,06	43' - 9"	37' - 11"	34' - 7"	29' - 8"
610 (24")	2x4 - 2400	13,92	12,06	11,01	9,84	45' - 7"	39' - 6"	36' - 1"	32' - 3"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche) pour une poutrelle de toit plat sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la charge de neige et sous la charge totale sont limitées à L/240 et L/180 respectivement.
- Une catégorie de risque « normal » est considérée au moment du calcul des états limites ultimes ($I_s = 1,0$) et de tenue en service ($I_s = 0,9$).
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[8].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de toit au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

TABLEAU 17 • Portées admissibles de toit plat (neige 3,4 kPa (70 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		3,4 kPa (S) + 0,7 kPa (D)				70 lb/pi² (S) + 15 lb/pi² (D)			
Hauteur	Série	Espacement (c/c)				Espacement (c/c)			
		305 mm	406 mm	487 mm	610 mm	12"	16"	19,2"	24"
241 (9½")	2x3 - 1650	4,85	4,21	3,84	3,43	15' - 11"	13' - 9"	12' - 7"	11' - 3"
	2x3 - 2100	5,93	5,24	4,76	3,80	19' - 5"	17' - 2"	15' - 7"	12' - 5"
302 (11⅞")	2x3 - 2100	6,89	5,97	5,46	4,76	22' - 7"	19' - 7"	17' - 10"	15' - 7"
	2x4 - 2100	7,88	7,08	5,96	4,76	25' - 10"	23' - 2"	19' - 6"	15' - 7"
	2x4 - 2400	8,15	7,38	6,90	5,51	26' - 8"	24' - 2"	22' - 7"	18' - 0"
356 (14")	2x3 - 2100	7,56	6,55	5,96	4,76	24' - 9"	21' - 6"	19' - 6"	15' - 7"
	2x4 - 2100	8,93	7,15	5,96	4,76	29' - 3"	23' - 5"	19' - 6"	15' - 7"
	2x4 - 2400	9,25	8,28	6,90	5,51	30' - 4"	27' - 1"	22' - 7"	18' - 0"
406 (16")	2x3 - 2100	8,13	7,05	5,96	4,76	26' - 8"	23' - 1"	19' - 6"	15' - 7"
	2x4 - 2100	9,52	7,15	5,96	4,76	31' - 2"	23' - 5"	19' - 6"	15' - 7"
	2x4 - 2400	10,23	8,28	6,90	5,51	33' - 6"	27' - 1"	22' - 7"	18' - 0"
457 (18")	2x4 - 2100	10,26	8,89	8,11	6,48	33' - 7"	29' - 2"	26' - 7"	21' - 2"
	2x4 - 2400	11,20	9,73	8,11	6,48	36' - 8"	31' - 11"	26' - 7"	21' - 2"
508 (20")	2x4 - 2100	10,80	9,36	8,54	7,20	35' - 5"	30' - 8"	28' - 0"	23' - 7"
	2x4 - 2400	11,93	10,34	9,02	7,20	39' - 1"	33' - 11"	29' - 7"	23' - 7"
559 (22")	2x4 - 2400	12,48	10,82	9,88	7,92	40' - 11"	35' - 6"	32' - 4"	25' - 11"
610 (24")	2x4 - 2400	13,01	11,28	10,30	8,64	42' - 8"	37' - 0"	33' - 9"	28' - 4"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion, au cisaillement et aux appuis d'extrémités ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche) pour une poutrelle de toit plat sous un chargement uniforme et en portée simple seulement.
- Les flèches sous la charge de neige et sous la charge totale sont limitées à L/240 et L/180 respectivement.
- Une catégorie de risque « normal » est considérée au moment du calcul des états limites ultimes ($I_s = 1,0$) et de tenue en service ($I_s = 0,9$).
- Le tableau ne considère pas l'effet de la surcharge concentrée telle que prescrite à l'article 4.1.5.9 de la division B du CNB^[8].
- Le tableau ci-dessus ne considère pas d'effet composite entre les poutrelles et le revêtement de toit au moment du calcul des flèches.
- Le tableau ci-dessus présume un appui d'extrémité de 45 mm (1¾") sans raidisseurs d'âme. Ces derniers sont requis pour l'utilisation de poutrelles d'une hauteur de 457 mm (18") et plus.
- Le tableau ci-dessus présume des résistances spécifiées décrites au tableau 3 et au tableau 4.
- Se référer aux fabricants de poutrelles en I afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux résistances spécifiées approuvées par le CCMC.

6 Exemples de conception

6.1 Plancher d'un hôtel

Critères de conception selon le CNB^[8] pour des planchers de chambres d'hôtel :

- Surcharge (L) de 1,9 kPa
- Charge permanente (D) de 0,7 kPa
- Flèche sous la surcharge limitée à L/360
- Flèche sous la charge totale limitée à L/240
- Portée simple recherchée de 6,5 m.

Puisque les critères de conception sont les mêmes que les hypothèses de calcul du tableau 10, ce dernier peut être utilisé pour une sélection préliminaire.

Hauteur	Série et espacement c/c	Portée admissible
302 mm	2x4 – 2100 aux 305 mm	6,68 m
	2x4 – 2400 aux 305 mm	6,83 m
356 mm	2x3 – 2100 aux 305 mm	6,98 m
	2x4 – 2100 aux 487 mm	6,55 m
	2x4 – 2400 aux 487 mm	6,70 m
406 mm	2x3 – 2100 aux 487 mm	6,73 m
	2x4 – 2100 aux 610 mm	6,73 m
	2x4 – 2400 aux 610 mm	6,85 m

Selon ces données, un système de plancher constitué de poutrelles de bois en I d'une hauteur de 356 mm en 2x4 – 2100 aux 487 mm s'avère être le meilleur choix.

Cependant, plusieurs options se rapprochent de la portée recherchée et, puisqu'il est généralement plus avantageux d'augmenter la hauteur de la poutrelle avant d'améliorer la classe de bois, il se pourrait qu'un système constitué de poutrelles de 406 mm de hauteur en 2x3 – 2100 aux 487 mm soit plus économique, selon les conditions du marché.

6.2 Toit plat

Critères de conception selon le CNB^[8] pour un toit plat non exposé au vent :

- Charge de neige (S) de 3,4 kPa
- Charge permanente (D) de 0,7 kPa
- Catégorie de risque « normal »
- Flèche sous la charge de neige limitée à L/240
- Flèche sous la charge totale limitée à L/180
- Portée simple recherchée de 7,30 m.

Puisque les critères de conception sont les mêmes que les hypothèses de calcul du tableau 17, ce dernier peut être utilisé pour une sélection préliminaire.

Hauteur	Série et espacement c/c	Portée admissible
302 mm	2x4 – 2100 aux 305 mm	7,88 m
	2x4 – 2400 aux 406 mm	7,38 m
356 mm	2x4 – 2100 aux 305 mm	7,56 m
	2x4 – 2400 aux 305 mm	8,93 m
406 mm	2x4 – 1950 aux 305 mm	7,59 m
	2x4 – 2100 aux 305 mm	8,13 m

Puisqu'il est généralement plus avantageux d'augmenter la hauteur de la poutrelle avant d'améliorer la classe de bois, un système de toit constitué de poutrelles de bois en I d'une hauteur de 356 mm en 2x4 – 2100 aux 305 mm s'avère être le meilleur choix.

À noter que le coût réel dépendra du fournisseur des poutrelles. De plus, la conception et l'installation d'un toit plat requièrent une attention particulière lorsque des poutrelles de bois en I sont utilisées (se référer à la sous-section 4.7).

6.3 Plancher de bureau (par calculs)

Critères de conception pour un plancher de bureau selon le CNB^[8] :

- Surcharge (L) de 2,4 kPa
- Charge permanente (D) de 1,0 kPa
- Surcharge concentrée (P_L) de 9,0 kN
- Poutrelles espacées aux 406 mm
- Flèche sous la surcharge limitée à L / 360
- Flèche sous la charge totale limitée à L / 240
- Portée simple recherchée de 5,25 m

Détermination des charges :

- Surcharge uniformément répartie :
 $w_L = 2,4 \times 0,406 = 0,975 \text{ kN/m}$
- Charge permanente uniformément répartie :
 $w_D = 1,0 \times 0,406 = 0,406 \text{ kN/m}$
- Surcharge concentrée uniformément répartie :
 $w_{PL} = \frac{9,0}{0,75^2} \times 0,406 = 6,496 \text{ kN/m}$ à appliquer sur 0,75 m de la poutrelle (le concepteur doit vérifier l'emplacement qui crée les plus grandes contraintes)

Détermination des cas de chargement pour les états limites ultimes et de service :

1. $w_f = 1,4 w_D = 0,57 \text{ kN/m}$

$$w_T = 1,0 w_L + 0,406 \text{ kN/m}$$

$$M_f = \frac{w_f L^2}{8} = 1,96 \text{ kN-m}$$

$$V_f = B_f = \frac{w_f L}{2} = 1,50 \text{ kN}$$

$$\Delta_T = \frac{5w_T L^4}{384EI} \leq \frac{L}{240} \rightarrow EI \geq \frac{5w_T L^4}{384} \times \frac{240}{L} = 184 \text{ kN-m}^2$$

À noter que l'on néglige la flèche due au cisaillement pour le dimensionnement préliminaire. Cette flèche devra cependant être vérifiée lors de la sélection finale.

2. $w_f = 1,5 w_L + 1,25 w_D = (1,5 \times 0,975) + 1,25 \times (0,406) = 1,97 \text{ kN/m}$

$$w_T = 1,0 w_L + 1,0 w_D = 1,38 \text{ kN/m}$$

$$M_f = \frac{w_f L^2}{8} = 6,79 \text{ kN-m}$$

$$V_f = B_f = \frac{w_f L}{2} = 5,17 \text{ kN}$$

$$\Delta_L = \frac{5w_L L^4}{384EI} \leq \frac{L}{360} \rightarrow EI \geq \frac{5w_L L^4}{384} \times \frac{360}{L} = 661 \text{ kN-m}^2 \text{ (} EI \geq 624 \text{ kN-m}^2 \text{ pour } \Delta_T \leq L / 240 \text{)}$$

3. $w_f = 1,5 w_{PL} + 1,25 w_D$ où w_{PL} sera appliqué au centre (pour M_f) et à l'appui (pour V_f et B_f)

$w_T = 1,0 w_{PL} + 1,0 w_D$ où w_{PL} devra être appliqué au centre (pour Δ)

$$M_f = M_f(w_{f-PL}) + \frac{w_{f-D}L^2}{8} = 10,68 \text{ kN-m}$$

$$V_f = B_f = V_f(w_{f-PL}) + \frac{w_{f-D}L}{2} = 8,13 \text{ kN}$$

$$\Delta_L = \Delta_L(w_{f-PL}) \leq \frac{L}{360} \rightarrow EI \geq 1\,241 \text{ kN-m}^2$$

$$\Delta_t = \Delta_L(w_{f-PL}) + \frac{5w_D L^4}{384EI} \leq \frac{L}{240} \rightarrow EI \geq 1\,011 \text{ kN-m}^2$$

Vérification des efforts appliqués :

Moment fléchissant appliqué (cas no 3): $M_R \geq M_f = 10,68 \text{ kN-m}$

Cisaillement appliqué (cas no 3): $V_R \geq V_f = 8,13 \text{ kN}$

Réaction d'appui d'extrémité (cas no 3): $RE_R \geq B_f = 8,13 \text{ kN}$

Vérification des flèches admissibles :

Limite sous la surcharge (cas no 3): $EI \geq 1\,241 \text{ kN-m}^2$

Limite sous la charge totale (cas no 3): $EI \geq 1\,011 \text{ kN-m}^2$

Vérification des états limites ultimes :

À partir des résistances génériques montrées au tableau 3, il est possible de déterminer une certaine quantité de séries pouvant répondre aux exigences de conceptions aux états limites ultimes.

Hauteur et série	M_R ($\geq 10,68 \text{ kN-m}$)	V_R ($\geq 8,13 \text{ kN}$)	RE_R ($\geq 8,13 \text{ kN}$)	EI ($\geq 1\,241 \text{ kN-m}^2$)
302 mm 2x4 – 2100	15,22	9,85	8,67	1 517
302 mm 2x4 – 2400	18,57	13,44	8,67	1 690
356 mm 2x3 – 2100	13,03	11,42	8,67	1 619

Nous obtenons une situation où la plus petite hauteur (302 mm) demande des semelles en 2x4 de classes de bois MSR passablement élevées alors que les poutrelles d'une hauteur de 356 mm seraient acceptables avec des semelles en 2x3 de classes inférieures. La série de poutrelle ayant des semelles de 2x3 en bois MSR 2100F_b-1.8E d'une hauteur de 356 mm serait alors probablement le choix le plus économique.

La performance du système doit également être vérifiée à partir des critères de flèche maximale permise indiqués à la section 3.3 du guide. Ainsi, la composition du système de plancher devra être établie adéquatement afin de limiter la flèche causée par une charge ponctuelle de 1kN ponctuelle à 0,93 mm.

7 Fabricants

Il existe un bon nombre de fabricants de poutrelles de bois en I en Amérique du Nord. Tous les fabricants possèdent leur propre service technique, leur documentation et leurs logiciels de conception. Le service technique offert par les divers fabricants concerne l'assistance technique au moment de la conception, les approbations d'ingénieur sur les dessins d'atelier des composants, la formation et bien d'autres. Contactez les fabricants afin d'obtenir de plus amples informations sur leur service.

Compte tenu de cette diversité, nous ne pouvons énumérer tous les différents fabricants et produits dans le présent guide, mais de plus amples informations peuvent être obtenues sur le site Web du CCMC quant aux produits approuvés au Canada (voir le lien ci-dessous). Si le fabricant n'est pas dans la liste, le concepteur, l'entrepreneur et le promoteur doivent s'assurer qu'un rapport CCMC est disponible.

<https://nrc.canada.ca/fr/certifications-evaluations-normes/centre-canadien-materiaux-construction/publications-ccmc/recueil/extranet/liste>

TABLEAU 18 • Fabricants de poutrelles de bois en I distribuant au Québec

Fabricant	Rapport(s) d'évaluation CCMC	Semelles		
		Bois visuel	Bois MSR	Bois SCL*
Abitibi – Louisiana Pacific (Larouche et Saint-Prime, Québec)	12412-R 12724-R		X	
Boise AllJoist (Saint-Jacques, N.-B.)	12787-R		X	
International Beams (Pohénégamook, Québec)	12768-R	X	X	
Nordic Bois d'Ingénierie (Chibougamau, Québec)	13032-R		X	
Weyerhaeuser/iLevel Claresholm (Alb.) et É.-U.	13132-R			X

MSBQ: Manufacturiers de structures de bois du Québec (msbq.org)

* SCL = bois de charpente composite

8 Références

1- ANSI (2021), Standard for performance-rated engineered wood rim boards, APA-PRR-141, WA, USA. APA- The Engineered Wood Association

2- ASTM (2004), *Classification for Rating Sound Insulation (D413-04)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

3- ASTM (2019), *Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists (D5055-19)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

4- ASTM (2020), *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (E119-08a)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

5- AWC (2001), *Guideline Wood I-Joists: Allowable Stress Design*, Washington, DC, American Wood Council.

6- CCB, DMO Associates, Quail Engineering Ltd., & Forintek Canada Corp. (1997), *Concluding Report: Development of Design Procedures for Vibration Controlled Spans Using Engineered Wood Members*, Ottawa.

7- CCMC (2006), *Technical Guide for Prefabricated Wood I-Joists*, Ottawa, Canadian Construction Materials Centre.

8- CNB (2015) Code National du Bâtiment Canada 2015, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada. Volumes 1 et 2.

9- CNRC (2017) *Guide de l'utilisateur CNB 2015, Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)*, (Quatrième édition Ottawa, Conseil national de recherche du Canada)

10- CSA (2021), *CAN/CSA-O112.9. Evaluation of Adhesives for Structural Wood Products (Exterior Exposure)*, Mississauga, Canadian Standards Association.

11- CSA (2019), *CAN/CSA-O86-19. Règles de calcul des charpentes en bois*, Mississauga, Canadian Standards Association.

12- CSA (R2017), *CAN/CSA-O112.10. Evaluation of Adhesives for Structural Wood Products (Limited Moisture Exposure)*, Mississauga, Canadian Standards Association.

13- ULC (2014), *CAN/ULC S101 - Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction*, Toronto, Underwriters's Laboratories of Canada.

14- WIJMA (2019). *Rim board products for use with wood I-joist*, Madison, WI, Wood I Joist Manufacturers Association.

15- WIJMA (2019). *Rim board products for use with wood I-joist*, Madison, WI, Wood I Joist Manufacturers Association.



Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec
Dépôt légal Bibliothèque nationale du Canada

Mars 2022

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

www.cecobois.com