

Guide technique sur les **poutrelles ajourées** pour la construction commerciale



cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

cecobois remercie Ressources naturelles Canada
et le ministère des Ressources naturelles
et de la Faune 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 utilisant des poutrelles ajourées en bois. 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 et collaborateurs pour leurs commentaires constructifs sur les divers aspects techniques de la première version du présent guide :

- Sylvain Dumais, ing., Distribution Toiture Mauricienne,
- Jacques Péroquin, ing., MiTek Canada,
- Michel Lamontagne, ing., Bureau d'études Michel Lamontagne,
- Éric St-Georges, ing. M. Sc. A., Douglas Consultants inc.,
- Louise Kupin, ing., Teknika-HBA.

Nous remercions également MiTek Canada et Distribution Toiture Mauricienne pour les nombreuses photographies des produits et des systèmes de plancher qui illustrent ce guide.

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	VI
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 plancher ajourées en bois	3
3 DESCRIPTION DES POUTRELLES DE PLANCHER AJOURÉES EN BOIS	4
3.1 Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques	6
3.1.1 Caractéristiques générales	6
3.1.2 Normes de calcul	6
3.1.3 Caractéristiques particulières	7
3.2 Poutrelle ajourée à âme métallique	9
3.2.1 Caractéristiques générales	9
3.2.2 Normes de calcul	10
3.2.3 Caractéristiques particulières	10
3.3 Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée	11
3.3.1 Caractéristiques générales	11
3.3.2 Normes de calcul	12
3.3.3 Caractéristiques particulières	12
3.4 Ouvertures	12
3.5 Fabrication	14
3.5.1 Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques et à âme métallique	14
3.5.2 Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée	15
3.6 Estimation	15
4 CONCEPTION SELON LE CNB	16
4.1 Rôle et responsabilité des concepteurs	16
4.1.1 Concepteur du bâtiment	16
4.1.2 Concepteur des poutrelles de plancher	17
4.2 Normalisation des poutrelles ajourées	17
4.3 Conception des poutrelles ajourées	20
4.3.1 Flexion	20
4.3.2 Cisaillement	20
4.3.3 Flèche	21
4.4 Performance des systèmes	22
4.5 Résistance au feu et acoustique	24
4.5.1 Résistance au feu	24
4.5.2 Acoustique	25

5	INSTALLATION	27
5.1	Support latéral et transfert de charge	28
5.1.1	Support latéral des semelles	28
5.1.2	Support latéral avec des étriers métalliques	28
5.1.3	Panneau de rive	29
5.1.4	Ceinture continue	30
5.1.5	Poteau de transfert	31
5.2	Raidisseurs continus	32
5.3	Poutrelles parallèles à un mur extérieur	32
5.4	Poutrelle double	33
5.4.1	Linéau encastré dans la poutrelle double	33
5.4.2	Linéau supporté par un étrier métallique vis-à-vis une membrure d'âme verticale	34
5.4.3	Linéau supporté par un renforcement de bois et un étrier métallique	35
5.5	Porte-à-faux	35
5.6	Balcon	36
5.7	Revêtement de plancher	36
5.8	Stabilité en cours de construction	37
6	TABLES DE PORTÉES	38
6.1	Poutrelles de plancher (1,9 kPa + 0,70 kPa non pondérées)	38
6.2	Poutrelles de plancher (1,9 kPa + 1,70 kPa non pondérées)	39
6.3	Poutrelles de plancher (4,8 kPa + 0,70 kPa non pondérées)	40
6.4	Poutrelles de plancher (4,8 kPa + 1,70 kPa non pondérées)	41
7	EXEMPLES DE CONCEPTION	42
7.1	Plancher d'un hôtel	42
7.2	Faisabilité d'une poutrelle ajourée avec connecteurs métalliques (par calculs)	42
8	FABRICANTS	45
9	RÉFÉRENCES	45

Liste des tableaux

Tableau 1 Réactions maximales pondérées (appui à la membrure supérieure en 2x4 selon le TPIC)	8
Tableau 2 Ouvertures maximales selon la configuration des poutrelles (semelles en 2x3)	13
Tableau 3 Ouvertures maximales selon la configuration des poutrelles (semelles en 2x4)	13
Tableau 4 Caractéristiques des poutrelles ajourées au Québec	17
Tableau 5 Résistances génériques pondérées (métrique)	18
Tableau 6 Résistances génériques pondérées (anglais)	19
Tableau 7 Flèches maximales autorisées pour les éléments structuraux en bois (adapté de CNRC)	21
Tableau 8 Contribution des parois d'un plancher selon l'annexe D-2.3 du CNB	25
Tableau 9 Degré de résistance au feu, ITS et IIC de divers assemblages de planchers selon le CNB	26
Tableau 10 Charges verticales maximales pour panneau de rive	29
Tableau 11 Réactions maximales pondérées pour poutrelles renforcées à l'aide de poteaux de transfert	31
Tableau 12 Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi ²) non pondérée)	38
Tableau 13 Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi ²) non pondérée)	39
Tableau 14 Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi ²) non pondérée)	40
Tableau 15 Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi ²) non pondérée)	41

Liste des figures

Figure 1 Page www.cecobois.com	1
Figure 2 Émissions de GES liées à la fabrication calculées avec Gestimat	2
Figure 3 Potentiel de réchauffement climatique de systèmes de plancher (en kg CO ₂ /m ²)	3
Figure 4 Modèle « Warren »	4
Figure 5 Modèle « Warren modifié »	4
Figure 6 Nomenclature d'une poutrelle ajourée	4
Figure 7 Poutrelles ajourées à connecteurs métalliques	5
Figure 8 Poutrelles ajourées à âme métallique	5
Figure 9 Poutrelles ajourées à âme de bois dentée et collée	6
Figure 10 Système de plancher de poutrelles ajourées	6
Figure 11 Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques	6
Figure 12 Connecteurs métalliques	7
Figure 13 Appui à la membrure supérieure	7
Figure 14 Doublage des semelles et des membrures d'âme	9
Figure 15 Bout ajustable d'une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques	9

Figure 16 Poutrelle à âme métallique	10
Figure 17 Membrures d'âme métallique	10
Figure 18 Appui à la membrure supérieure	10
Figure 19 Doublage des diagonales	11
Figure 20 Bouts ajustables	11
Figure 21 Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée (Triforce™)	11
Figure 22 Configuration des ouvertures	12
Figure 23 Fabrication des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques	14
Figure 24 Fabrication des poutrelles Triforce™	15
Figure 25 Efforts combinés pour la flexion locale	20
Figure 26 Critère de vibration réduite pour les produits de bois d'ingénierie structuraux	23
Figure 27 Amélioration de la performance d'un plancher	24
Figure 28 Appui sur un mur	28
Figure 29 Appui avec étrier métallique	28
Figure 30 Appui à la membrure supérieure	28
Figure 31 Installation avec des étriers métalliques	28
Figure 32 Panneau de rive à un appui d'extrémité	29
Figure 33 Effet d'un panneau de rive en bois de sciage	29
Figure 34 Ceinture continue en 2x4	30
Figure 35 Alignement des poutrelles avec les colombages	30
Figure 36 Poteaux de transfert sous les colombages	30
Figure 37 Renfort avec deux poteaux de transfert	31
Figure 38 Renfort avec trois poteaux de transfert	31
Figure 39 Raidisseurs continus installés contre la semelle supérieure	32
Figure 40 Muret parallèle aux poutrelles	32
Figure 41 Mur non supporté latéralement	33
Figure 42 Blocage du mur parallèle	33
Figure 43 Linteau encastré dans la poutrelle double	34
Figure 44 Linteau supporté par un étrier métallique	34
Figure 45 Linteau supporté par un renforcement de bois et un étrier métallique	35
Figure 46 Poutrelle en porte-à-faux avec un renforcement	35
Figure 47 Balcon avec poutrelles et solives en bois traité	36
Figure 48 Balcon autoportant	36
Figure 49 Exemples de consignes de sécurité	37

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:

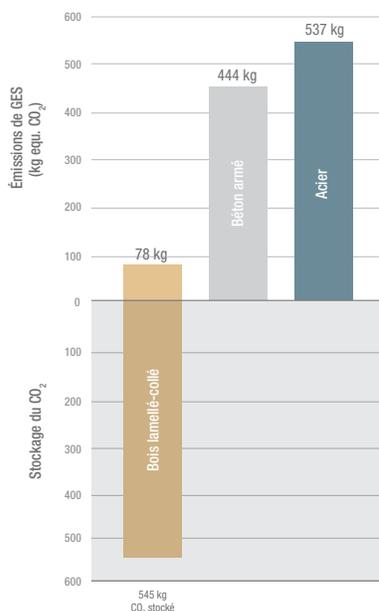


Figure 2 • Émissions de GES liées à la fabrication calculées avec Gestimat (estimées en fonction de la composition du bois pour une masse volumique de 420 kg/m³)

Il est à noter qu'on ne peut soustraire le carbone stocké des émissions de carbone associées au bois, puisque le stockage est relatif 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 le stockage 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.

2.2 Avantages des poutrelles de plancher ajourées en bois

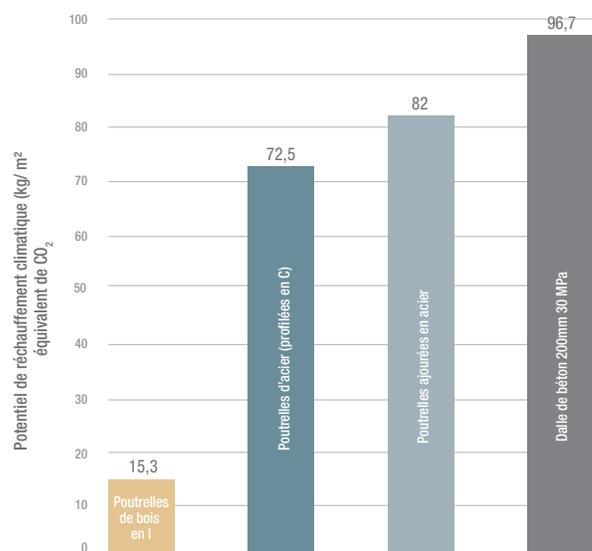
Les poutrelles ajourées en bois sont utilisées depuis de nombreuses années dans l'industrie de la construction de bâtiments et offrent de nombreux avantages.

- Concept ajouré : permet le passage de tuyaux, conduits et fils sans avoir à percer les éléments.
- Longue portée : procure une grande flexibilité pour l'aménagement des pièces.
- Légèreté : les poutrelles se manipulent à la main et pèsent entre 0,04 à 0,07 kN/m (3 à 5 lb/pi) selon la hauteur.
- Stabilité dimensionnelle : fabriquées en bois sec.
- Respectueux de l'environnement : le bois est le seul matériau de construction renouvelable.
- Large surface de clouage : meilleure installation du revêtement de plancher.
- Grand choix de hauteur : varie généralement entre 235 et 610 mm (9¼" à 24") selon le type de poutrelles.
- Assemblage pour la résistance au feu de 45 à 90 minutes homologué ULC.
- Assemblage pour l'insonorisation (ITS 48 à 60).
- Possibilité d'ajuster la géométrie de la triangulation pour faire passer des éléments mécaniques particuliers.

La résistance d'une poutrelle ajourée en bois 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 assemblés en grandes longueurs, les poutrelles ajourées en bois 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 de grandes portées, tant pour la construction résidentielle que commerciale, industrielle ou institutionnelle. La forme ajourée confère à ces produits des rapports résistance/poids et performance/coût élevés.

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 x 6,1 m (16' x 20') 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.



Description des composition de planchers

Poutrelles de bois ajourées :

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

Poutrelles d'acier (ajourées ou profilées à froid en C) :

- Chape de béton (75 mm au plus épais) avec fibre
- Pontage d'acier de 38 mm (calibre 22) de profondeur
- Profilés en C formé à froid (ou poutrelles ajourées) et raidisseurs

Dalle de béton :

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

FIGURE 3 • Potentiel de réchauffement climatique de systèmes de plancher (en kg CO₂ /m²)

3 Description des poutrelles de plancher ajourées en bois

Les poutrelles ajourées en bois sont des cadres triangulés composés de pièces de bois de petites dimensions (2x3 et 2x4). De par leur concept triangulé, elles sont très efficaces et elles utilisent avantageusement la ressource première qui est le bois. Les poutrelles sont fabriquées généralement selon les modèles «Warren» (figure 4) ou «Warren modifié» (figure 5). La figure 6 représente la nomenclature des principales composantes d'une poutrelle ajourée.



FIGURE 4 • Modèle «Warren»



FIGURE 5 • Modèle «Warren modifié»

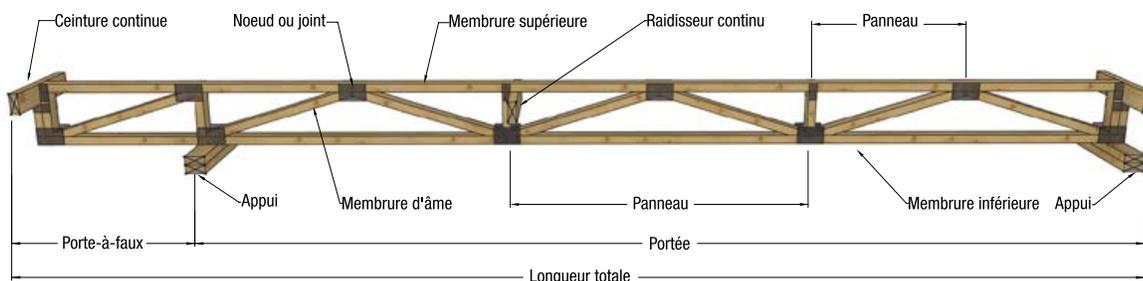


FIGURE 6 • Nomenclature d'une poutrelle ajourée

Il existe sur le marché trois types de poutrelles ajourées en bois, soit :

- 1) la poutrelle ajourée à connecteurs métalliques (**figure 7**),
- 2) la poutrelle ajourée à âme métallique (**figure 8**),
- 3) la poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée (**figure 9**).

Toutes ces poutrelles ont l'avantage du concept ajouré qui permet le passage de conduits de ventilation, de tuyaux de plomberie et de fils sans avoir à percer l'âme. Elles sont fabriquées à partir de semelles en 2x3 et 2x4 classées visuellement (EPS n°2 par exemple) ou classées mécaniquement (MSR 1650F_b-1.5E à 2400F_b-2.0E). Ces semelles sont faites de bois sec (S-Dry) et sont placées à plat, ce qui procure une large surface de clouage au support de revêtement de plancher.

La méthode de calcul des poutrelles ajourées consiste à l'analyse d'un treillis. L'intersection des membrures d'âme avec les semelles constitue les nœuds ou les joints qui sont la base du modèle mathématique pour l'analyse. Sous les charges d'application, on obtient des efforts axiaux et de flexion dans chacune des membrures qui nous permettent ainsi d'en préciser le dimensionnement.

L'analyse du treillis permet également de déterminer la déformation de la poutrelle qui doit répondre aux exigences du code national du bâtiment. Finalement, une vérification des vibrations en accord avec le rapport sur le contrôle des vibrations du Centre canadien des matériaux de construction (CCMC) doit être effectuée. (voir section 4.4 du présent guide)



FIGURE 7 • Poutrelles ajourées à connecteurs métalliques



FIGURE 8 • Poutrelles ajourées à âme métallique



FIGURE 9 • Poutrelles ajourées à âme de bois dentée et collée



FIGURE 10 • Système de plancher de poutrelles ajourées

3.1 Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques

3.1.1 Caractéristiques générales

Ce type de poutrelles, communément appelé *floor truss*, représente la première génération de poutrelles ajourées en bois (**figure 11**). Elles demeurent encore très populaires et très utilisées de nos jours. Les semelles supérieure et inférieure ainsi que les membrures d'âme (diagonales et poteaux) sont faites de pièces de bois de 2x3 ou 2x4 placées à plat et assemblées entre elles à l'aide de connecteurs (goussets) métalliques, les mêmes que l'on utilise pour la fabrication des fermes de toit légères en bois.

3.1.2 Normes de calcul

Ces poutrelles de plancher sont calculées à partir des règles de calcul publiées par le Truss Plate Institute of Canada (TPIC) [14] qui est la norme officielle de calcul au Canada pour les fermes de bois à connecteurs métalliques. Cette norme est proposée par le Code national du bâtiment du Canada CNB [8]. Les membrures de bois sont faites de bois classé visuellement ou mécaniquement (MSR) dont les propriétés mécaniques sont établies selon la norme CSA O86 [13].

Les connecteurs métalliques utilisés comme organes d'assemblage des membrures sont faits d'acier galvanisé conforme ou supérieur à la norme ASTM A653/A653M [5] (**figure 12**). Les nuances d'acier généralement utilisées sont SQ255 (grade B) et SQ275 (grade C). Le minimum requis pour la galvanisation au Canada est le revêtement de type G90, en conformité avec la norme ASTM A924/A924M [4]. Les épaisseurs de tôles utilisées sont habituellement de calibre 20 (environ 1 mm) et parfois de calibre 18 (environ 1,3 mm) ou de calibre 16 (environ 1,6 mm).

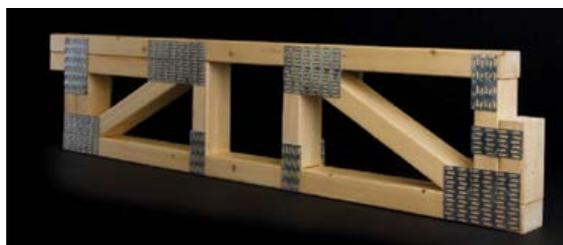


FIGURE 11 • Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques

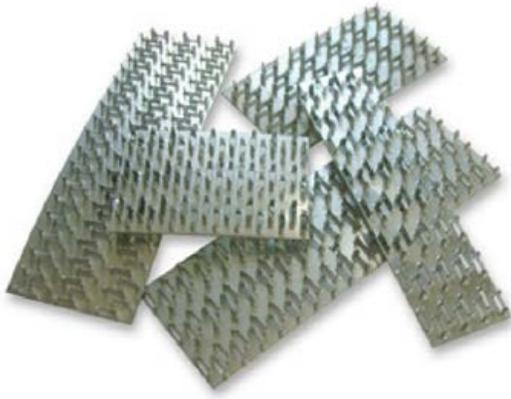


FIGURE 12 • Connecteurs métalliques

Ces connecteurs sont des produits propriétaires qui sont fabriqués et distribués par différentes compagnies spécialisées dans ce domaine et dont les capacités structurales sont établies par essais en conformité avec la norme CSA S347 [10]. Par la suite, les valeurs de calcul de ces connecteurs pour le calcul aux états limites seront déterminées à partir de la sous-section 12.8 de la norme CSA O86. Ces valeurs de calcul sont publiées dans le recueil d'évaluations de produits du CCMC et sont disponibles au www.nrc.ca/ccmc.

3.1.3 Caractéristiques particulières

Hauteur

L'industrie des poutrelles de plancher tend à uniformiser le choix des hauteurs des poutrelles. Les hauteurs les plus courantes sont 302 mm (11⁷/₈"), 318 mm (12¹/₂"), 356 mm (14"), 406 mm (16"), 457 mm (18") et 508 mm (20").

Cependant, dans le cas des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques, le choix des hauteurs est quasi illimité du fait qu'elles sont entièrement fabriquées sur mesure. On peut alors en fabriquer avec toutes sortes de hauteurs de façon à s'ajuster avec la hauteur d'un plancher existant ou pour d'autres considérations.

Appui à la membrure supérieure

L'appui à la membrure supérieure permet d'encastrer une poutre tout en éliminant la nécessité d'utiliser un étrier (figure 13).

Les règles du TPIC fournissent différents détails pour les appuis à la membrure supérieure. Les réactions maximales permises sont indiquées au **tableau 1**, selon les différents détails. La membrure supérieure au-dessus de l'appui peut être simple ou double, selon la réaction à l'appui. Lorsque la membrure supérieure doit être doublée, le doublage doit se prolonger de l'appui jusqu'au prochain joint de la membrure supérieure tel que l'illustre la **figure 13**.

De plus, les réactions maximales indiquées au **tableau 1** s'appliquent à des membrures en 4x2 (2x4 placé à plat). Lorsque la poutrelle est faite de 3x2, il faut réduire ces réactions permises au prorata de la dimension des membrures à partir de l'équation (1) suivante :

$$1 \quad R_{\max-3x2} = R_{\max-4x2} \times \frac{64 \text{ mm}}{89 \text{ mm}} = 0,71 \times R_{\max-4x2}$$

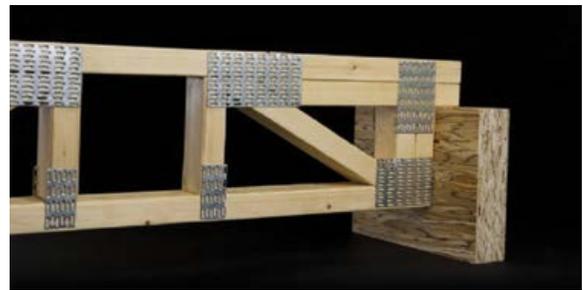
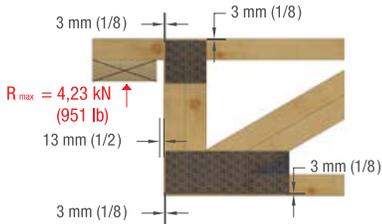
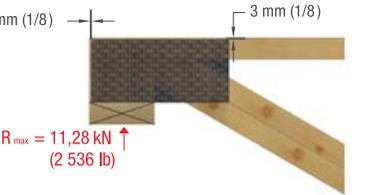
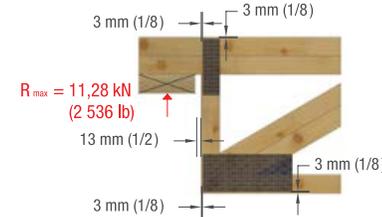
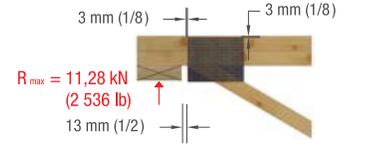
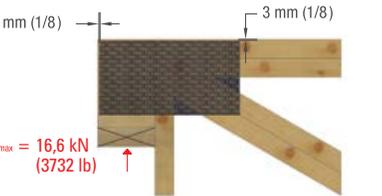


FIGURE 13 • Appui à la membrure supérieure

TABLEAU 1 • Réactions maximales pondérées (appui à la membrure supérieure en 2x4 selon le TPIC [14])

Détail 1	 <p>$R_{max} = 4,23 \text{ kN}$ (951 lb)</p>	Détail 2
Détail 3	 <p>$R_{max} = 11,28 \text{ kN}$ (2 536 lb)</p>	Détail 4
Détail 5	 <p>$R_{max} = 11,28 \text{ kN}$ (2 536 lb)</p>	Détail 6
Détail 7	 <p>$R_{max} = 11,28 \text{ kN}$ (2 536 lb)</p>	Détail 8
Détail 9	 <p>$R_{max} = 16,6 \text{ kN}$ (3732 lb)</p>	Détail 10

Note : Toutes les dimensions indiquées dans le tableau représentent les tolérances maximales permises (mm).

Longueur de panneau variable

La longueur de panneau est la distance entre 2 nœuds (**figure 6**). La longueur des panneaux à la membrure supérieure varie généralement entre 610 et 762 mm (24" et 30"). Cependant, cette dimension pourrait être réduite au besoin, dans le cas de lourdes charges comme une salle de rayonnage de bibliothèque par exemple, de façon à diminuer les efforts de flexion locale dans les panneaux.

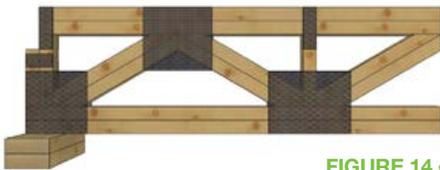


FIGURE 14 • Doublage des semelles et des membrures d'âme

Doublage des semelles et des membrures d'âme

Une fois encore, du fait que les poutrelles ajourées à connecteurs métalliques puissent être fabriquées sur mesure, il est facile de doubler les semelles supérieure et inférieure ainsi que les membrures d'âme de façon à obtenir une plus grande capacité structurale (**figure 14**). Le doublage est particulièrement intéressant dans le cas des charges de plancher élevées (entreposage de matériel lourd par exemple) ou des longues portées avec une limite de hauteur des poutrelles exigée.



Longueur à dimension exacte et variable

Habituellement, les poutrelles ajourées à connecteurs métalliques sont fabriquées à dimensions exactes. Ainsi, aucun coupage ou ajustement n'est requis au chantier, ce qui accélère l'installation des poutrelles. Cependant, depuis quelques années, certains fabricants offrent une version « ajustable » des poutrelles (**figure 16**). Ces poutrelles sont fabriquées avec une ou deux extrémités pouvant être coupées au chantier, généralement jusqu'à 300 mm (12"). Ce bout « ajustable » a deux avantages. Il permet au fabricant de tenir en stock des poutrelles disponibles rapidement sur demande, et il autorise des ajustements au chantier.

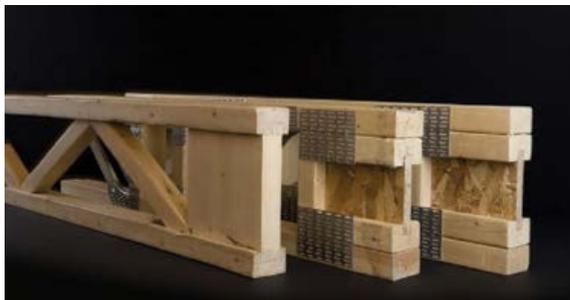


FIGURE 15 • Bout ajustable d'une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques

3.2 Poutrelle ajourée à âme métallique

3.2.1 Caractéristiques générales

Ce type de poutrelles est très semblable aux poutrelles de type *floor truss*, à l'exception des membrures d'âme en bois qui sont remplacées par des membrures métalliques (**figure 16** et **figure 17**). Ces dernières sont produites à partir des mêmes tôles d'acier galvanisé de calibre 20 (environ 1 mm d'épaisseur) qui servent à la fabrication des connecteurs métalliques pour fermes légères en bois. Ces membrures d'âme métalliques ont la forme d'un « V » qui couvre environ 610 mm (24") en dimension horizontale.

Le métal qui constitue les deux côtés du « V » est formé pour résister au flambage latéral. Les points de contact du « V » avec les semelles en bois de la poutrelle sont garnis de dents comme ceux des connecteurs métalliques. Les poutrelles fabriquées à l'aide de ces produits offrent cependant moins de versatilité au fabricant quant à la personnalisation des hauteurs. Les hauteurs disponibles des poutrelles fabriquées avec ces produits varient entre 235 mm et 406 mm (9 ¼" et 16").

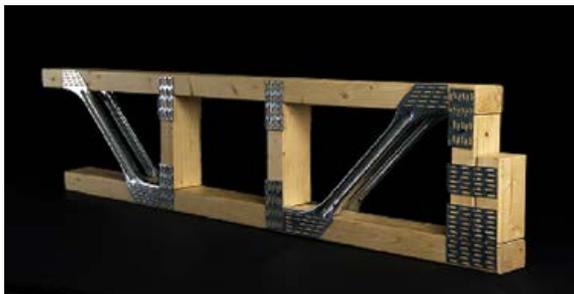


FIGURE 16 • Poutrelle à âme métallique



FIGURE 17 • Membres d'âme métallique

3.2.2 Normes de calcul

Ces poutrelles de plancher sont calculées également à partir des règles de calcul du TPIC [14]. Les semelles en 2x3 ou 2x4 sont faites de bois classé visuellement ou mécaniquement (MSR) dont les propriétés mécaniques sont établies selon la norme CSA O86 [13].

Les diagonales métalliques utilisées comme membrures d'âme sont faites d'acier galvanisé conforme ou supérieur à la norme ASTM A653/A653M [5]. Les nuances d'acier généralement utilisées sont SQ255 (grade B) et SQ275 (grade C). Le minimum requis pour la galvanisation au Canada est le revêtement de type G90, en conformité avec la ASTM A924. Les épaisseurs de tôles utilisées sont de calibre 20 (environ 1 mm).

Ces âmes métalliques sont des produits propriétaires qui sont fabriqués et distribués par différentes compagnies spécialisées dans ce domaine. Les capacités structurales sont établies par essais en conformité avec les exigences du guide technique du CCMC visant les solives de plancher et de toit à armature métallique ajourée et qui offrent une résistance structurale équivalente à celle prescrite dans le Code national du bâtiment du Canada et les règles de calcul des charpentes en bois CSA O86.

Les résultats de ces essais sont publiés dans le recueil d'évaluations de produits du CCMC et sont disponibles sur leur site Internet au www.nrc.ca/ccmc.

3.2.3 Caractéristiques particulières

Hauteur

Les hauteurs de poutrelles que l'on trouve généralement sur le marché sont les suivantes : 235 mm (9¼"), 286 mm (11¼"), 302 mm (11⅞"), 324 mm (12¾"), 356 mm (14") et 406 mm (16").

Appui à la membrure supérieure

L'appui à la membrure supérieure permet d'encastrer une poutre tout en éliminant la nécessité d'utiliser un étrier (figure 18). Il est important toutefois que l'extrémité de la diagonale de métal (section dentée) chevauche l'appui sur une distance de 25 mm (1"). La longueur minimale d'appui de la poutrelle doit être de 38 mm.

Les réactions maximales permises aux appuis sont dérivées d'essais et sont établies par les différents fabricants d'âmes métalliques. Du fait que ce type de poutrelle ne permette pas de doubler la semelle supérieure, les réactions maximales aux appuis maximales permises ne pourront correspondre qu'au détail 2 du **tableau 1**.

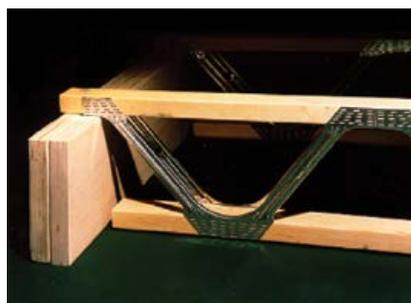


FIGURE 18 • Appui à la membrure supérieure

Diagonales simples et doubles

Dans une poutrelle ajourée, les efforts de cisaillement sont repris par les diagonales. Afin d'augmenter la capacité en cisaillement des poutrelles ajourées à âme métallique, on doublera les diagonales où les efforts l'exigent (généralement près des appuis), comme l'illustre la **figure 19**.

Longueur à dimension exacte et variable

Habituellement, les poutrelles ajourées à connecteurs métalliques sont fabriquées à dimensions exactes. Ainsi, aucun coupage ou ajustement n'est requis au chantier, ce qui accélère l'installation des poutrelles. La section ajustable est presque toujours nécessaire dans la conception des poutrelles, car l'angle des diagonales constant implique des panneaux d'une longueur spécifique à chaque hauteur de poutrelle. Ces poutrelles sont fabriquées avec une ou deux extrémités pouvant être coupées au chantier, généralement jusqu'à 300 mm (12"). Ce bout «ajustable» a deux avantages. Il permet au fabricant de tenir en stock des poutrelles disponibles rapidement sur demande et il autorise des ajustements au chantier lorsque les mesures sont imprécises.



FIGURE 19 • Doublage des diagonales



FIGURE 20 • Bouts ajustables

3.3 Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée

3.3.1 Caractéristiques générales

Ce type de poutrelles, qui porte le nom de «Triforce™», a été mis sur le marché par la compagnie Distribution Toiture Mauricienne en 1990, maintenant Barrette Structural (**figure 21**). Les semelles supérieure et inférieure sont faites de pièces de bois de 2x3 ou 2x4 sec (S-Dry) placées à plat, de catégorie EPS et de qualité n°1/n°2, MSR 2100F_b-1.8E ou MSR 2400F_b-2.0E. Pour les membrures d'âme (diagonales et poteaux intérieurs), on utilise du 2x2 ou du 2x3 sec (S-Dry), EPS n°1/n°2. Le montant d'extrémité vertical est en bois massif ou en bois lamellé-collé.



FIGURE 21 • Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée (Triforce™)

Tous les joints à entures multiples, y compris ceux servant à l'assemblage des membrures d'âme aux semelles, sont collés au moyen d'un adhésif hydrofuge phénol-résorcinol. Tous les points de contact entre les semelles et les membrures d'âme sont machinés avec des rainures (semelles) et des doigts (membrures d'âme). L'adhésif utilisé pour la fabrication de cette poutrelle est conforme à la norme CSA O112.10 ou CSA O112.9 [11 et 12].

3.3.2 Normes de calcul

La poutrelle Triforce™ est un produit propriétaire. Les capacités structurales sont établies par essais en conformité avec les exigences du guide technique du CCMC visant les solives de plancher en bois à âme ajourée collée et qui offrent une performance équivalente à celle prescrite dans le Code national du bâtiment du Canada CNB [8] et les règles de calcul des charpentes en bois (CSA O86) [13].

Un rapport d'évaluation de cette poutrelle est publié dans le recueil d'évaluations de produits du CCMC.

3.3.3 Caractéristiques particulières

Hauteur

Cette poutrelle est offerte en quatre hauteurs de 241, 302, 356 et 406 mm (9½", 11⅞", 14" et 16"). La hauteur de 241 mm (9 ½") n'est cependant pas distribuée partout.

Longueur à dimension variable

La particularité de cette poutrelle est d'offrir à la fois le concept ajouré et l'ajustement au chantier en permettant de couper chaque extrémité de 140 mm (5½") pour la poutrelle traditionnelle et 610 mm (24") pour la poutrelle «nouvelle génération». Cette poutrelle est offerte à partir d'un stock, ce qui la rend alors disponible rapidement.

Contrôle de qualité

Comme la poutrelle Triforce™ est un produit de bois structural de type «propriétaire», elle est fabriquée à l'intérieur d'un programme de contrôle de qualité placé sous la responsabilité d'une agence de certification indépendante. Cette agence de certification indépendante assure que la fabrication est conforme à toutes les exigences appropriées du guide technique du CCMC et de la norme CSA O86 [13] et que les valeurs de résistance sont maintenues au cours de la production.

De plus, le guide technique publié par le CCMC est largement inspiré de la norme américaine ASTM D5055 (qui s'applique aux poutrelles ajourées et aux lignes directrices établies par la Wood I-Joist Manufacturer Association (WIJMA) afin de déterminer un haut niveau de contrôle de la qualité.

3.4 Ouvertures

Il n'est pas permis de couper ou d'entailler les membrures des poutrelles ajourées à moins d'avoir un détail approuvé par l'ingénieur du fabricant. Le concept ajouré permet toutefois le passage de conduits, tuyaux et fils sans la nécessité de perçage. Le **tableau 2** et le **tableau 3** fournissent les dimensions approximatives des ouvertures selon la longueur des panneaux et la profondeur de la poutrelle ajourée à connecteurs métalliques de modèle «Warren modifié». La **figure 22** illustre les configurations possibles.

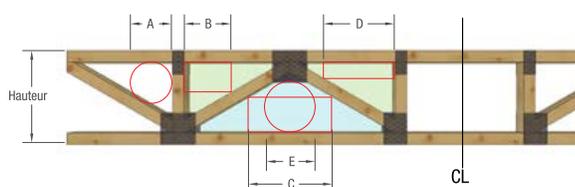


FIGURE 22 • Configuration des ouvertures

■ Panneaux supérieurs de la poutrelle ajourée (tableau 2)

■ Panneaux inférieurs de la poutrelle ajourée (tableau 3)

TABLEAU 2 • Ouvertures maximales selon la configuration des poutrelles (semelles en 2x3)

Longueur des panneaux supérieurs = 610 mm (24"), panneaux inférieurs = 1 220 mm (48")					
Hauteur mm (po)	A mm (po)	B mm (po)	C mm (po)	D mm (po)	E mm (po)
302 (117/8")	149 (57/8")	130 (51/8")	70 x 610 (23/8" x 24")	67 x 305 (25/8" x 12")	171 (63/4")
356 (14")	187 (73/8")	162 (63/8")	98 x 610 (37/8" x 24")	95 x 305 (33/4" x 12")	225 (87/8")
406 (16")	213 (83/8")	184 (71/4")	124 x 610 (47/8" x 24")	121 x 305 (43/4" x 12")	254 (10")
457 (18")	238 (93/8")	206 (81/8")	146 x 610 (53/4" x 24")	143 x 305 (55/8" x 12")	305 (12")
508 (20")	260 (101/4")	222 (83/4")	168 x 610 (65/8" x 24")	165 x 305 (61/2" x 12")	349 (133/4")
559 (22")	279 (11")	241 (91/2")	194 x 610 (75/8" x 24")	187 x 305 (73/8" x 12")	384 (151/8")
610 (24")	298 (113/4")	254 (10")	216 x 610 (81/2" x 24")	210 x 305 (81/4" x 12")	419 (161/2")

TABLEAU 3 • Ouvertures maximales selon la configuration des poutrelles (semelles en 2x4)

Longueur des panneaux supérieurs = 762 mm (30"), panneaux inférieurs = 1 524 mm (60")					
Hauteur mm (po)	A mm (po)	B mm (po)	C mm (po)	D mm (po)	E mm (po)
302 (117/8")	159 (61/4")	140 (51/2")	95 x 610 (33/4" x 24")	92 x 305 (35/8" x 12")	171 (63/4")
356 (14")	197 (73/4")	175 (67/8")	130 x 610 (51/8" x 24")	127 x 305 (5" x 12")	229 (9")
406 (16")	232 (91/8")	203 (8")	159 x 610 (61/4" x 24")	156 x 305 (61/8" x 12")	254 (10")
457 (18")	257 (101/8")	225 (87/8")	187 x 610 (73/8" x 24")	184 x 305 (71/4" x 12")	305 (12")
508 (20")	286 (111/4")	248 (93/4")	216 x 610 (81/2" x 24")	213 x 305 (83/8" x 12")	356 (14")
559 (22")	308 (121/8")	267 (101/2")	248 x 610 (93/4" x 24")	241 x 305 (91/2" x 12")	406 (16")
610 (24")	330 (13")	286 (111/4")	276 x 610 (107/8" x 24")	270 x 305 (105/8" x 12")	445 (171/2")

De plus, plusieurs fabricants peuvent laisser à mi-portée une ouverture rectangulaire pour le passage de conduit de plus grande dimension, comme les conduits de chauffage ou de ventilation. La dimension horizontale de cette ouverture est généralement limitée à 610 mm (24"). Si une telle ouverture est nécessaire, il faut cependant le spécifier sur les plans du bâtiment.

3.5 Fabrication

3.5.1 Poutrelle ajourée à connecteurs métalliques et à âme métallique

La **figure 23** illustre le processus de fabrication des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques. Les membrures sont d'abord taillées avec précision de façon à obtenir des joints bien ajustés, puis elles sont disposées sur une table d'assemblage et maintenues en place à l'aide d'un gabarit. Par la suite, on y installe les connecteurs aux joints, sur chaque face

de la poutrelle (deux connecteurs à chaque joint). Ces connecteurs seront finalement pressés à fond à l'aide de presse hydraulique ou de rouleau.

La fabrication de la poutrelle ajourée à âme métallique est similaire, sauf que les membrures d'âme en bois sont remplacées par des membrures d'âme métallique.

Ces poutrelles peuvent être fabriquées avec une contre-flèche (cambrure).

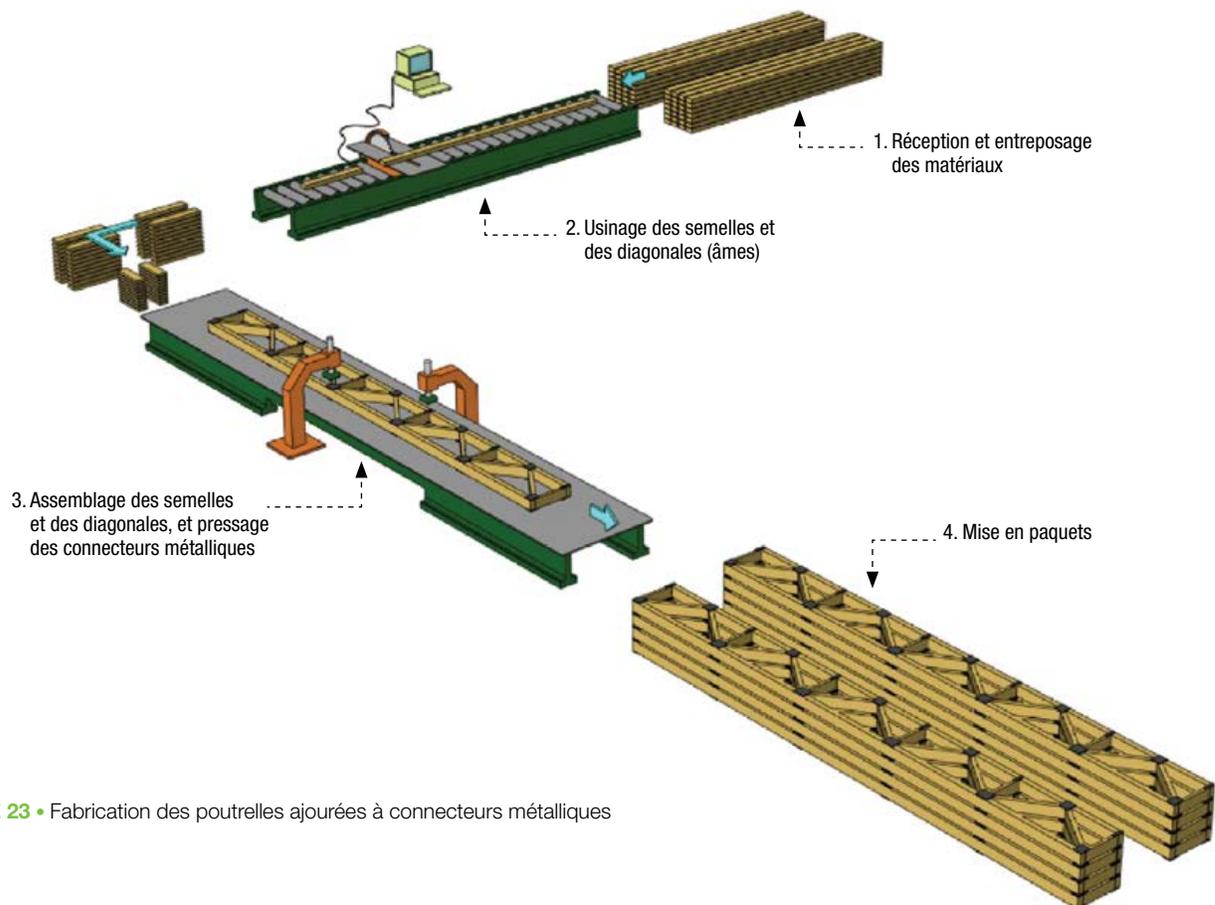


FIGURE 23 • Fabrication des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques

3.5.2 Poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée

La **figure 24** illustre le processus de fabrication de la poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée Triforce™. Les membrures sont d'abord coupées et rainurées selon le profil requis pour permettre un assemblage précis. La colle hydrofuge sera appliquée à chaque extrémité des membrures d'âme, ainsi que

dans les rainures des semelles. Une fois que l'assemblage de la poutrelle est terminé et que la colle est sèche, un essai de chargement non destructif sera effectué sur chaque poutrelle afin d'en valider la résistance prévue.

Ces poutrelles sont fabriquées avec une configuration particulière et font une différence entre la membrure supérieure et inférieure. Le respect du sens de pose est donc important.

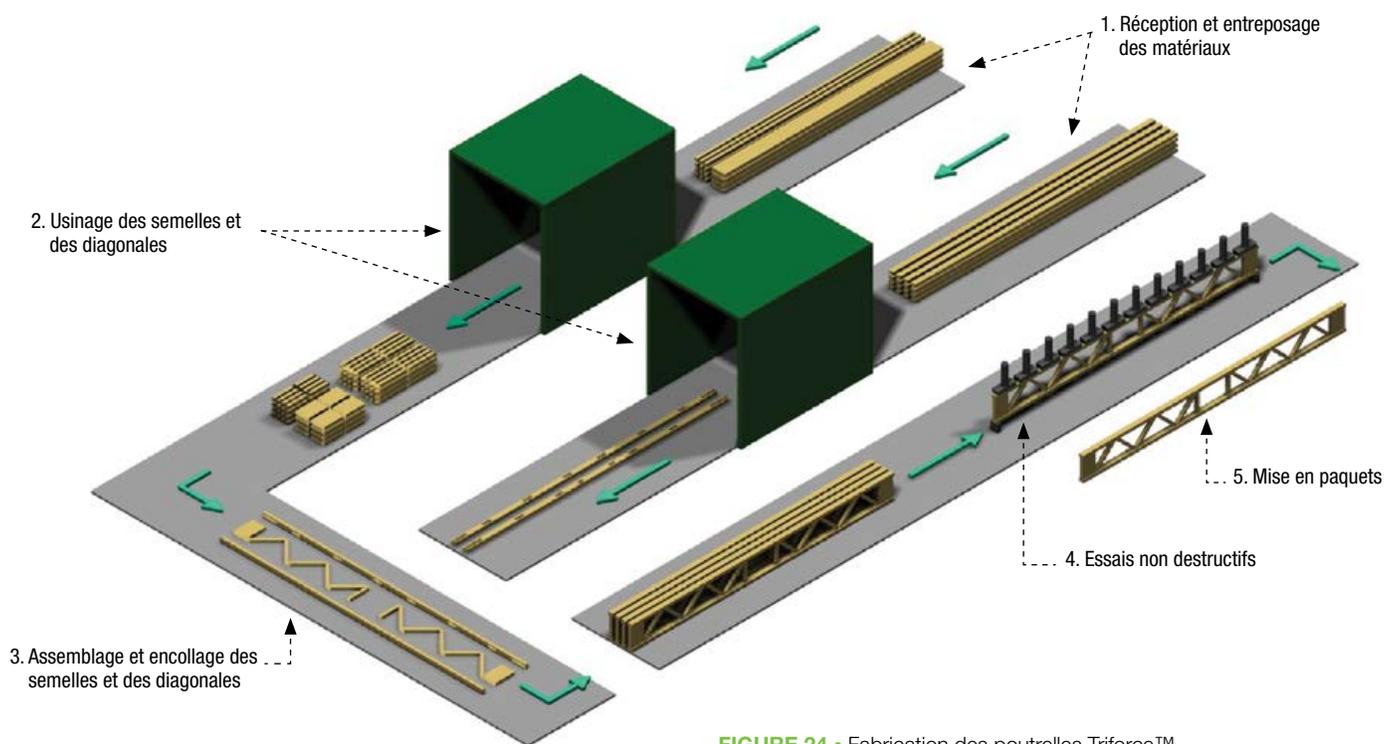


FIGURE 24 • Fabrication des poutrelles Triforce™

3.6 Estimation

Puisqu'il existe sur le marché plusieurs types de poutrelles ajourées en bois, il est parfois difficile de déterminer laquelle 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 la dimension et le nombre de raidisseurs continus requis, les dispositifs d'attaches, le revêtement et les charges à supporter. On ne doit pas considérer uniquement

le coût unitaire des poutrelles sans tenir compte des autres étapes d'installation comme la plomberie ou l'électricité.

Généralement, le coût d'une poutrelle ajourée en bois est fourni au mètre linéaire (ou au pied linéaire). Les divers fournisseurs de poutrelles peuvent fixer 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.

4 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, c'est-à-dire que l'état limite soit atteint. Ce dernier peut se définir comme étant le point où 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 structurales 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. Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)* [9] fournit de plus amples informations quant à ces charges ainsi qu'aux combinaisons de charges prescrites dans le CNB (CNRC [8]).

4.1 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.

Par ailleurs, la norme de calcul du TPIC définit clairement le rôle et les responsabilités du calcul de l'ingénieur/concepteur du bâtiment et de l'ingénieur/concepteur des fermes de bois à connecteurs métalliques, qui peut s'appliquer également à d'autres composants structuraux tels que les poutrelles de plancher.

4.1.1 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 ajourées, 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'assemblage des unités mécaniques et électriques aux diverses poutrelles.
7. Le contreventement permanent résistant aux charges de vent et de séisme ainsi qu'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.

4.1.2 Concepteur des poutrelles de plancher

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.

4.2 Normalisation des poutrelles ajourées

Contrairement aux poutrelles en I dont les propriétés mécaniques sont homogènes et uniformes sur toute la longueur de la poutrelle, il est difficile de fournir avec précision des tableaux des capacités structurales pour les poutrelles ajourées. Beaucoup de variables peuvent influencer leur capacité structurale, dont la longueur des panneaux et la triangulation, en plus des particularités propres à chaque type de poutrelles (membrures d'âme et connecteurs différents). Cependant, en posant quelques hypothèses de base telles que des résistances génériques déterminées conformément à la norme CSA O86, il est possible de normaliser les poutrelles ajourées en diverses séries selon les dimensions et la classe de bois utilisés pour les semelles. Le **tableau 4** indique les caractéristiques habituelles pour des séries de poutrelles ajourées ayant des semelles de bois classé visuellement ou mécaniquement (MSR).

Puisque le bois MSR possède de bonnes résistances mécaniques, il est le matériau habituellement utilisé dans la fabrication des poutrelles ajourées destinées à la construction commerciale produites au Canada, et tout particulièrement au Québec. Le **tableau 5** et le **tableau 6** indiquent des résistances génériques propres aux poutrelles ajourées.

TABLEAU 4 • Caractéristiques des poutrelles ajourées au Québec

Série	Semelle		Hauteur	
	Matériau	Dimension	Minimum	Maximum
2x3-EPS	EPS n°1/n°2	38 x 64 mm (1½" x 2½")	302 mm (117/8")	406 mm (16")
2x3-1650	MSR 1650F _b -1.5E	38 x 64 mm (1½" x 2½")	302 mm (117/8")	406 mm (16")
2x3-2100	MSR 2100F _b -1.8E	38 x 64 mm (1½" x 2½")	302 mm (117/8")	406 mm (16")
2x4-2100	MSR 2100F _b -1.8E	38 x 89 mm (1½" x 3½")	302 mm (117/8")	610 mm (24")
2x4-2400	MSR 2400F _b -2.0E	38 x 89 mm (1½" x 3½")	302 mm (117/8")	610 mm (24")

TABLEAU 5 • Résistances génériques pondérées (métrique)

Hauteur (mm)	Série	Poutrelle			Semelle			
		EI _{poutrelle} ^(b) (x10 ⁶ kN-mm ²)	K ^(c) (x10 ³ kN)	V _r ^(d) (kN)	EI _{semelle} ^(e) (x10 ⁶ kN-mm ²)	M _r ^(f) (kN-m)	P _r ^(g) (kN)	T _r ^(h) (kN)
302	2x3 - EPS	811	21,13	9,85	2,78	0,306	27,75	19,86
	2x3 - 1650	879	21,13	9,85	3,01	0,364	42,48	27,45
	2x3 - 2100	1 058	21,13	9,85	3,63	0,464	47,35	42,62
	2x4 - 2100	1 472	21,13	9,85	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	1 638	21,13	9,85	5,62	0,736	62,10	72,32
318	2x3 - EPS	911	22,57	10,31	2,78	0,306	27,75	19,86
	2x3 - 1650	988	22,57	10,31	3,01	0,364	42,48	27,45
	2x3 - 2100	1 189	22,57	10,31	3,63	0,464	47,35	42,62
	2x4 - 2100	1 654	22,57	10,31	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	1 841	22,57	10,31	5,62	0,736	62,10	72,32
356	2x3 - EPS	1 174	29,23	11,42	2,78	0,306	27,75	19,86
	2x3 - 1650	1 273	29,23	11,42	3,01	0,364	42,48	27,45
	2x3 - 2100	1 532	29,23	11,42	3,63	0,464	47,35	42,62
	2x4 - 2100	2 131	29,23	11,42	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	2 371	29,23	11,42	5,62	0,736	62,10	72,32
406	2x3 - EPS	1 570	35,95	12,88	2,78	0,306	27,75	19,86
	2x3 - 1650	1 702	35,95	12,88	3,01	0,364	42,48	27,45
	2x3 - 2100	2 049	35,95	12,88	3,63	0,464	47,35	42,62
	2x4 - 2100	2 850	35,95	12,88	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	3 171	35,95	12,88	5,62	0,736	62,10	72,32
457	2x4 - 2100	3 691	42,38	14,36	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	4 108	42,38	14,36	5,62	0,736	62,10	72,32
508	2x4 - 2100	4 642	49,38	15,84	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	5 166	49,38	15,84	5,62	0,736	62,10	72,32
559	2x4 - 2100	5 702	59,04	17,52	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	6 346	59,04	17,52	5,62	0,736	62,10	72,32
610	2x4 - 2100	6 871	64,30	18,33	5,05	0,645	57,88	59,26
	2x4 - 2400	7 646	64,30	18,33	5,62	0,736	62,10	72,32

- a. Valeurs de résistances pondérées établies pour une durée de chargement normale ($K_D = 1,0$), une utilisation en milieu sec ($K_S = 1,0$) et du bois non traité ($K_T = 1,0$) et basées sur des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques de modèle «Warren modifié» tel que décrit à la section 3.1.3 de ce guide. Toutes les valeurs, à l'exception de EI (semelle et poutrelle) 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 en considérant les semelles seulement.
- c. 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 4.3.3 pour les équations de calcul.
- d. Résistance pondérée au cisaillement (V_r) incluant un coefficient de partage de charge (K_{Vr}) de 1,10 et tel que décrite à la section 4.3.2 de ce guide. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations.
- e. Rigidité en flexion (EI) de la semelle seulement pour la flexion locale.
- f. Résistance pondérée en flexion (M_r) de la semelle seulement pour la flexion locale ($K_{M_r} = 1,10$).
- g. Résistance pondérée en compression axiale (P_r) de la semelle ($K_{P_r} = 1,10$).
- h. Résistance pondérée en traction axiale (T_r) de la semelle ($K_{T_r} = 1,10$).

TABLEAU 6 • Résistances génériques pondérées (anglais)

Hauteur (po)	Série	Poutrelle			Semelle			
		$EI_{\text{poutrelle}}^{(b)}$	$K^{(c)}$	$V_r^{(d)}$	$EI_{\text{semelle}}^{(e)}$	$M_r^{(f)}$	$P_r^{(g)}$	$T_r^{(h)}$
		($\times 10^6$ lb-po ²)	($\times 10^6$ lb)	(lb)	($\times 10^3$ lb-po ²)	(lb-pi)	(lb)	(lb)
11 7/8	2x3 - EPS	282	4,75	2 214	968	225	6 238	4 464
	2x3 - 1650	306	4,75	2 214	1 050	268	9 549	6 171
	2x3 - 2100	368	4,75	2 214	1 264	342	10 644	9 581
	2x4 - 2100	512	4,75	2 214	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	570	4,75	2 214	1 956	542	13 960	16 258
12 ½	2x3 - EPS	317	5,07	2 317	968	225	6 238	4 464
	2x3 - 1650	344	5,07	2 317	1 050	268	9 549	6 171
	2x3 - 2100	414	5,07	2 317	1 264	342	10 644	9 581
	2x4 - 2100	576	5,07	2 317	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	641	5,07	2 317	1 956	542	13 960	16 258
14	2x3 - EPS	409	6,57	2 567	968	225	6 238	4 464
	2x3 - 1650	443	6,57	2 567	1 050	268	9 549	6 171
	2x3 - 2100	533	6,57	2 567	1 264	342	10 644	9 581
	2x4 - 2100	742	6,57	2 567	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	826	6,57	2 567	1 956	542	13 960	16 258
16	2x3 - EPS	547	8,08	2 895	968	225	6 238	4 464
	2x3 - 1650	593	8,08	2 895	1 050	268	9 549	6 171
	2x3 - 2100	713	8,08	2 895	1 264	342	10 644	9 581
	2x4 - 2100	993	8,08	2 895	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	1 104	8,08	2 895	1 956	542	13 960	16 258
18	2x4 - 2100	1 286	9,53	3 228	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	1 431	9,53	3 228	1 956	542	13 960	16 258
20	2x4 - 2100	1 617	11,10	3 560	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	1 800	11,10	3 560	1 956	542	13 960	16 258
22	2x4 - 2100	1 986	13,27	3 938	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	2 211	13,27	3 938	1 956	542	13 960	16 258
24	2x4 - 2100	2 394	14,46	4 120	1 758	475	13 011	13 322
	2x4 - 2400	2 664	14,46	4 120	1 956	542	13 960	16 258

- a. Valeurs de résistances pondérées établies pour une durée de chargement normale ($K_D = 1,0$), une utilisation en milieu sec ($K_S = 1,0$) et du bois non traité ($K_T = 1,0$) et basées sur des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques de modèle « Warren modifié » tel que décrit à la section 3.1.3 de ce guide. Toutes les valeurs, à l'exception de EI (semelle et poutrelle) 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 en considérant les semelles seulement.
- c. 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 4.3.3 pour les équations de calcul.

- d. Résistance pondérée au cisaillement (V) incluant un coefficient de partage de charge (K_V) de 1,10 et tel que décrite à la section 4.3.2 de ce guide. Se référer aux fabricants pour des réactions plus élevées concernant différentes configurations.
- e. Rigidité en flexion (EI) de la semelle seulement pour la flexion locale.
- f. Résistance pondérée en flexion (M) de la semelle seulement pour la flexion locale ($K_H = 1,10$).
- g. Résistance pondérée en compression axiale (P) de la semelle ($K_H = 1,10$).
- h. Résistance pondérée en traction axiale (T) de la semelle ($K_H = 1,10$).

4.3 Conception des poutrelles ajourées

Chaque poutrelle ajourée est analysée à l'aide d'un logiciel spécialisé qui déterminera les dimensions et la qualité des membrures, ainsi que les connecteurs. Les tableaux et les méthodes de calcul montrés ci-dessous sont basés sur le calcul des poutrelles ajourées avec connecteurs métalliques et sont fournis à titre indicatif seulement. L'analyse des poutrelles ajourées se résume principalement à quatre vérifications de base, soit la flexion, le cisaillement, la flèche et les vibrations.

4.3.1 Flexion

Dans le cas des poutrelles ajourées, ce sont les semelles qui contrôlent la résistance en flexion. La vérification se fera par panneau (segment entre deux nœuds) selon les forces axiales obtenues au moment de l'analyse, en plus de l'effort de flexion locale dans le panneau. Il s'agit donc du calcul de la résistance à la flexion et à la charge axiale combinées pour chaque panneau des membrures supérieures et inférieures décrit à l'article 6.5.10 de la norme CSA O86. La vérification s'effectue selon l'équation (2) pour une combinaison de compression et de flexion ou l'équation (3) pour une combinaison de traction et de flexion.

$$2 \quad \frac{P_f}{P_r} + \frac{M_f}{M_r} \leq 1,0$$

$$3 \quad \frac{T_f}{T_r} + \frac{M_f}{M_r} \leq 1,0$$

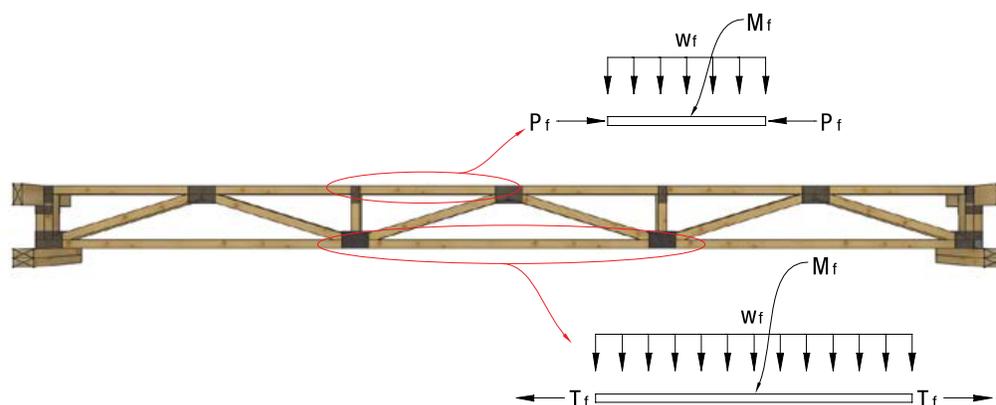


FIGURE 25 • Efforts combinés pour la flexion locale

On peut effectuer une vérification approximative de la résistance en flexion d'une poutrelle ajourée à partir des résistances pondérées des semelles (**tableau 5** et **tableau 6**). Pour ce qui est de la résistance en flexion des semelles (M_r), on considère des longueurs de panneau de 610 mm pour des membrures supérieures en 2x3 (762 mm pour celles en 2x4) et de 1 220 mm pour des membrures inférieures en 2x3 (1 524 mm pour celles en 2x4).

4.3.2 Cisaillement

Les efforts de cisaillement dans les poutrelles ajourées sont repris par les membrures d'âme, qui seront sous forme de forces axiales de compression ou de traction. La résistance au cisaillement pour ces poutrelles sera donc contrôlée par la dimension des membrures d'âme, leur qualité et leur mode d'ancrage aux extrémités. À moins de situations exceptionnelles

(poutrelles maîtresses avec charges concentrées élevées), les efforts en cisaillement pour des charges uniformes dans les poutrelles ajourées sont rarement un enjeu, en particulier pour les poutrelles ajourées avec connecteurs métalliques car il est généralement possible d'augmenter la dimension des connecteurs métalliques ou de doubler les membrures en bois.

À titre indicatif seulement, on peut estimer les résistances en cisaillement des poutrelles ajourées comme étant comparables aux résistances en cisaillement des poutrelles en I (se référer au *Guide technique sur les poutrelles en I pour la construction commerciale de cecobois*). Le **tableau 5** et le **tableau 6** fournissent ces résistances au cisaillement. Tel qu'il a été mentionné précédemment, une analyse plus précise par ordinateur pourrait fournir des résultats différents de ceux de ces tableaux. Pour les poutrelles ajourées à âme métallique et à âme en bois dentée et collée, qui sont des produits propriétaires, il est possible d'obtenir les résistances au cisaillement directement auprès du fabricant.

4.3.3 Flèche

Flèche globale

Dans le cas d'une poutrelle ajourée, plusieurs vérifications doivent être effectuées. Il faut tout d'abord

vérifier la flèche globale qui correspond à la flèche maximale mesurée à la membrure inférieure.

Le **tableau 7** résume les flèches maximales autorisées dans le CNB. Selon la note A.5.4.2.1 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 pour la vérification de la flèche maximale indiquée au **tableau 7**. Cependant, une vérification de la flèche sous l'effet des charges totales doit être effectuée, en particulier lorsque les charges permanentes sont élevées (plancher avec chape de béton par exemple).

La flèche des éléments de charpente doit être limitée pour plusieurs raisons qui sont habituellement liées aux exigences du CNB ou au confort des occupants. Pour limiter la flèche des éléments fléchis, on utilise généralement les critères (L/360 par exemple) indiqués au **tableau 7**. Donc, plus l'élément est long, plus on permet une flèche élevée. Souvent, on perd de vue les 20 mm ou 25 mm de flèche permise et l'on croit que le simple fait de satisfaire au critère de L/360 rend le plancher tout à fait acceptable. Une trop grande flèche peut causer des fissures à certains types de revêtement tel le gypse ou le béton. Cela peut également entraver le jeu des portes et apporter des charges non prévues sur des cloisons non

TABLEAU 7 • 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 A.5.4.2 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 réduira 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 A.5.4.2 de la norme CSA O86.

porteuses. Le *Guide de l'utilisateur – CNB. Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)* fournit de l'information supplémentaire à ce sujet et nous met en garde contre ces critères de flèche qui peuvent s'avérer inadéquats dans certains cas (CNRC [9]).

La flèche globale d'une poutrelle ajourée (Δ_{globale}) est la somme de la flèche due à la flexion (Δ_{flexion}) et de la flèche due au cisaillement ($\Delta_{\text{cisaillement}}$). La flèche due à la flexion (Δ_{flexion}), qui représente la plus grande proportion de la flèche globale, est contrôlée principalement par les dimensions et la qualité des semelles (EI_{semelle}). Quant à la flèche due au cisaillement ($\Delta_{\text{cisaillement}}$), elle est contrôlée par les dimensions, la qualité et l'angle des membrures d'âme. Pour un chargement uniforme, on peut estimer la flèche globale des poutrelles ajourées en portée simple à partir de l'équation (4) suivante :

$$4 \quad \Delta_{\text{GLOBALE}} = \Delta_{\text{FLEXION}} + \Delta_{\text{CISAILLEMENT}}$$

La flèche due au cisaillement est obtenue à partir de l'équation (5) suivante :

$$5 \quad \Delta_{\text{CISAILLEMENT}} = \frac{8M}{K}$$

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

$$6 \quad \Delta_{\text{GLOBALE}} = \frac{5wL^4}{384EI} + \frac{wL^2}{K}$$

(pour un chargement uniforme)

$$7 \quad \Delta_{\text{GLOBALE}} = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{2PL}{K}$$

(pour une charge concentrée au centre)

Le **tableau 5** et le **tableau 6** fournissent les rigidités en flexion (EI) et les coefficients de flèche due au cisaillement (K) selon la dimension et la qualité des semelles, ainsi que la hauteur de la poutrelle.

Flèche locale

Pour les poutrelles ajourées, il faut également contrôler la flèche locale au milieu de chaque panneau, en particulier sur la membrure supérieure. Le document du TPIC fournit les directives suivantes :

- Flèche maximale du panneau à la membrure supérieure :

$$\Delta_{\text{Panneau supérieur}} \leq \frac{L_{\text{Panneau supérieur}}}{180}$$

(sous les charges totales appliquées sur ce panneau)

- Flèche maximale du panneau à la membrure inférieure :

$$\Delta_{\text{Panneau inférieur}} \leq \frac{L_{\text{Panneau inférieur}}}{360}$$

(sous les charges totales appliquées sur ce panneau)

Pour un chargement uniforme, on peut estimer la flèche du panneau par la formule suivante :

$$8 \quad \Delta_{\text{PANNEAU}} = \frac{3,75wL^4}{384EI}$$

4.4 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 (CCB, DMO Associates, Quail Engineering Ltd., & Forintek Canada Corp., 1997). 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 CNB 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 est toutefois semblable à 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 modifié 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 26** :

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 de 9,9 m ;

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 ajourées en bois possèdent des logiciels de conception permettant de déterminer la performance d'un système de plancher conformément au critère de vibration réduite du CCMC. De plus, la composition du plancher sera plus souvent qu'autrement déterminée par le fabricant des poutrelles afin d'optimiser sa performance.

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

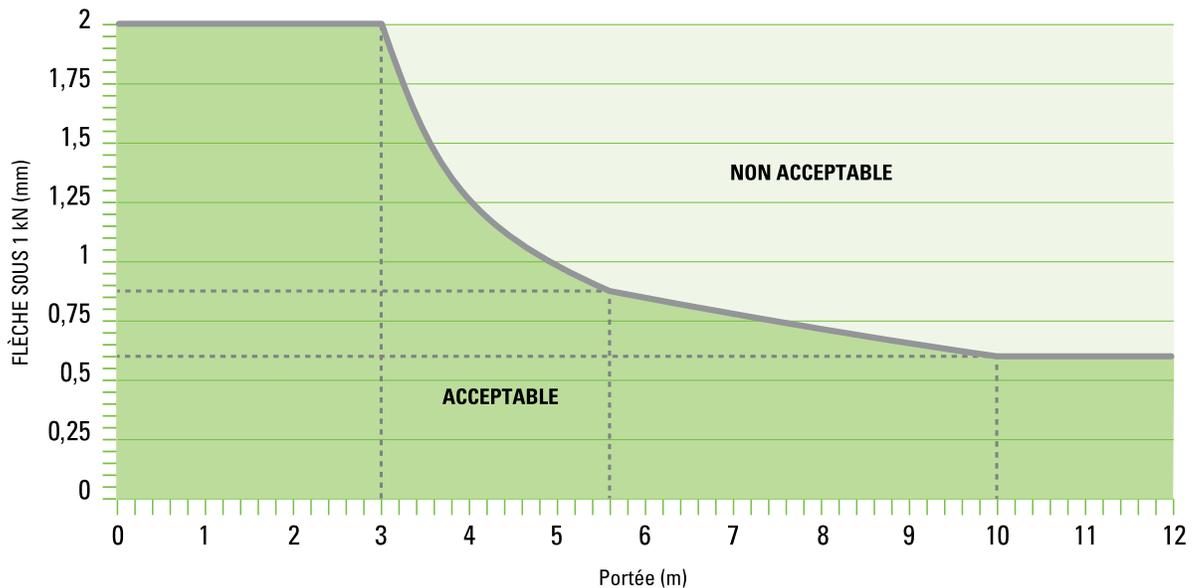


FIGURE 26 • Critère de vibration réduite pour les produits de bois d'ingénierie structuraux

permettant d'améliorer la performance d'un système soumis à des vibrations (**figure 27**), 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 deux 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 raidisseurs continus améliorera grandement la rigidité des poutrelles, en particulier si installés près de la mi-portée des poutrelles;
- g) l'ajout de cloisons peut augmenter la rigidité, quoique cela soit difficilement quantifiable.

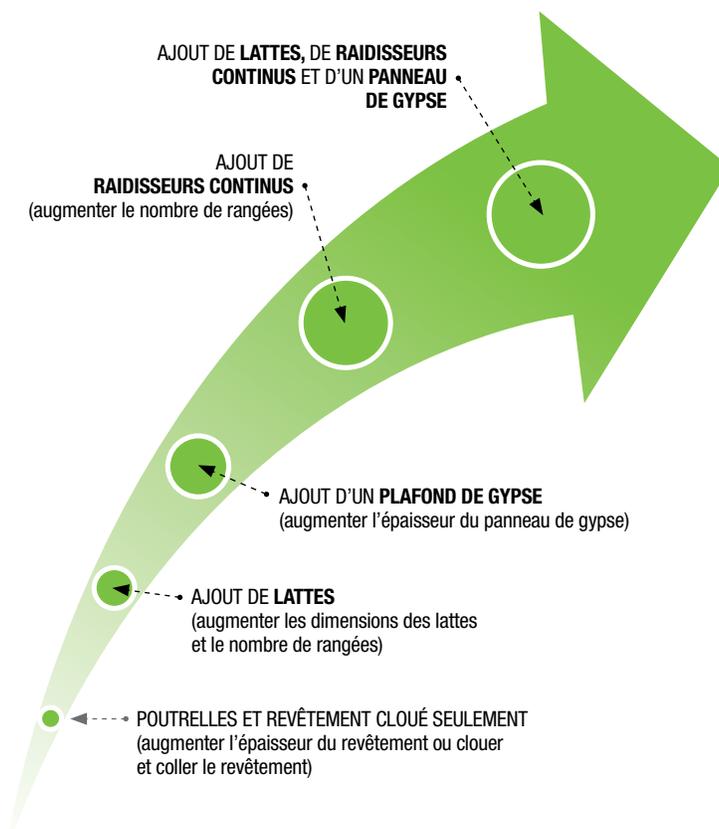


FIGURE 27 • Amélioration de la performance d'un plancher

4.5 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 à la performance acoustique 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 acoustique d'un grand nombre d'éléments de plancher génériques et le degré de résistance au feu de multiples éléments de plancher génériques. Cette information est présentée dans le tableau 9.10.3.1-B du CNB.

4.5.1 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 planchers ou de toits peut être évalué de trois façons, soit :

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

Cette méthode permet de déterminer le degré de résistance au feu jusqu'à une concurrence de 90 minutes. Le **tableau 8** résume la contribution des différents panneaux de gypse offerts, comme l'indique le tableau D-2.3.4.B du CNB. Ces contributions ne sont pas cumulatives lorsque utilisées pour des systèmes de plancher.

TABLEAU 8 • Contribution des parois d'un plancher selon l'annexe D-2.3 du CNB

TYPE DE PAROI (EXPOSÉE AU FEU)	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 dicte plusieurs assemblages pour un degré de résistance au feu allant de 45 à 60 minutes. Le **tableau 9** résume quelques-uns de ces assemblages.

3. Par essais normalisés conformes à la norme CAN/ULC S101 [15] ou la norme ASTM E119 [6].

Plusieurs fabricants de poutrelles ajourées en bois 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 8). 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 plancher sont accessibles sur le site Internet du laboratoire d'essai Intertek (www.intertek-etlsemko.com). Une recherche simple et rapide d'un fabricant de connecteurs métalliques, à partir du répertoire des produits de construction (*Intertek Directory of Building Products*), 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. Une recherche de la poutrelle ajourée Triforce™ fournira également toute l'information relative à ce produit.

Ces assemblages peuvent être obtenus à partir du lien Internet suivant :

https://bpdirectory.intertek.com/pages/DLP_Search.aspx

4.5.2 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 plus efficace du son. Les isolants en fibres de verre en fibre naturelle 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 de la transmission 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 (indice typique d'isolement d'impact, IIC).

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 [3]. Il est à noter que le CNB 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) 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 courantes. Le **tableau 9** 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 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 9 • 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 ajourées 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)
F27c	<ul style="list-style-type: none"> • 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 400 mm • 1 panneau de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm 	45	48	41
F29c	<ul style="list-style-type: none"> • 1 revêtement en OSB ou contreplaqué de 11 mm • 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 400 mm • 1 panneau de gypse côté plafond de type X de 15,9 mm 	45	51	43

5 Installation

Tout comme les bois de charpente traditionnels, les poutrelles ajourées en bois se trouvent surtout dans des systèmes de construction comme les solives de plancher. 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. De plus, certaines lignes directrices sont acceptées par la majorité des fabricants, telles que :

1. Les membrures et les connecteurs des poutrelles ajourées en bois ne doivent jamais être coupés, entaillés ou percés, sauf pour les poutrelles munies d'une extrémité «ajustable» qui peut être coupée au chantier pour obtenir la longueur de poutrelle désirée. Il faut respecter les directives du fabricant concernant les longueurs de coupe permises selon les limites propres à chaque type de poutrelles.
2. Installer les poutrelles 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 mm (1½") pour les appuis d'extrémité et 89 mm (3½") pour les appuis intermédiaires, ou selon les exigences du fabricant.
5. Il faut laisser un jeu de 1,5 mm (1/16") entre l'extrémité de la poutrelle et la face d'une poutre ou d'un linteau.
6. Il ne faut pas charger les poutrelles au-delà des charges de conception, même temporairement. Les charges concentrées doivent être appliquées de la façon et aux endroits prévus sur les plans de conception des poutrelles. Les détails d'assemblage prévus pour les poutrelles doubles doivent être respectés pour assurer un partage égal des charges entre les deux poutrelles.
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 du revêtement structural de mur en contreplaqué ou en OSB.
9. Lorsque les poutrelles sont installées perpendiculairement entre des murs porteurs, il faut s'assurer que les membrures d'âme verticales vis-à-vis des murs porteurs sont en nombre suffisant pour transférer les charges du mur au-dessus au mur en dessous. Il faut également porter attention à l'alignement des colombages des murs avec les poutrelles. Si l'espacement des colombages des murs ne coïncide pas avec l'espacement des poutrelles, il faudra prévoir l'utilisation d'un panneau de rive structurale ou l'ajout de poteaux de transfert entre les poutrelles.
10. Un support latéral permanent doit être fourni 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.

5.1 Support latéral et transfert de charge

Les poutrelles ajourées en bois peuvent s'appuyer par la membrure inférieure sur un mur ou une poutre (**figure 28**), ou à l'aide d'un étrier (**figure 29**). Sauf pour la poutrelle à âme de bois dentée et collée, elles peuvent aussi s'appuyer par la membrure supérieure (**figure 30**).

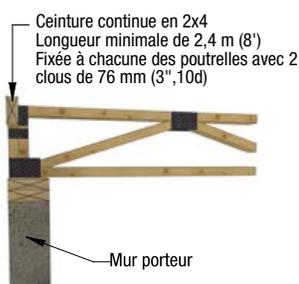


FIGURE 28 • Appui sur un mur

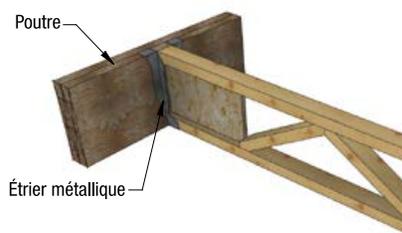


FIGURE 29 • Appui avec étrier métallique

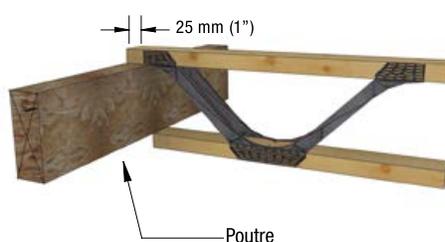


FIGURE 30 • Appui à la membrure supérieure

5.1.1 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 d'une ceinture continue à l'extrémité supérieure de la poutrelle s'avère nécessaire et permet également de transférer les charges latérales du diaphragme. Les sous-sections 5.1.3 et 5.1.4 traitent de ces deux éléments.

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 assuré 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 de Saint-André sont habituellement utilisés.

5.1.2 Support latéral avec des étriers métalliques

Pour l'utilisation d'étriers métalliques, il est primordial que la semelle supérieure soit retenue latéralement par les ailes de l'étrier. Les fabricants d'étriers métalliques recommandent que la hauteur de l'étrier soit supérieure à 60 % de celle de la poutrelle. La **figure 31** illustre les bonnes pratiques dans l'utilisation d'étriers métalliques.

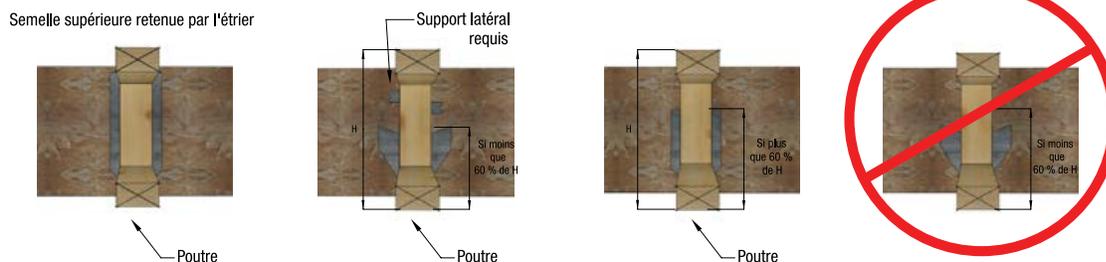


FIGURE 31 • Installation avec des étriers métalliques

5.1.3 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 32**), 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. Les panneaux de rive couramment utilisés sont ceux fait d'OSB, dont l'épaisseur varie entre 28,5 et 32 mm (1 1/8" à 1 1/2"), et possèdent des capacités de transfert de charge verticales spécifiques à chaque fournisseur. Une vérification des valeurs structurales des panneaux de rives seront nécessaires pour valider, le cas échéant, les valeurs de résistance aux charges horizontales et aux charges verticales uniformes et ponctuelles. Les valeurs de référence pour les panneaux de rives sont définies selon les standards ANSI/APA PRR-410 [7] et selon le document W345 CA de l'APA [8]. Il faut aussi noter qu'il existe des rapports CCMC pour les différents produits offerts comme panneau de rive.

L'utilisation de panneaux de rive en bois de sciage traditionnel n'est pas recommandée puisque celui-ci doit être exactement de la même hauteur que la poutrelle. De plus, les pièces de bois de sciage traditionnel sont moins stables dimensionnellement que les poutrelles ajourées, du fait qu'elles sont sensibles à l'humidité dans le sens perpendiculaire au fil. Avec le temps, un jeu pourrait se créer entre la solive de rive et le dessous du contreplaqué, ce qui ne permettrait pas à la solive de rive de supporter correctement la charge du mur supérieur (**figure 33**). Puisque le transfert de charge latéral d'un diaphragme de plancher 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.

De plus, il n'est pas recommandé d'utiliser des 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 [16]). 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.

TABLEAU 10 • Charges verticales maximales pour panneau de rive

Hauteur (panneau de 28,5 mm (1 1/8") d'épaisseur)	Charges verticales maximales pondérées
$h \leq 406 \text{ mm (16")}$	102,6 kN/m (7 033 lb/pi)
$406 \text{ mm (16")} < h \leq 610 \text{ mm (24")}$	67,7 kN/m (4 640 lb/pi)

Source : W345 CA pour un grade de panneau C1, conforme à APA PRR-410.

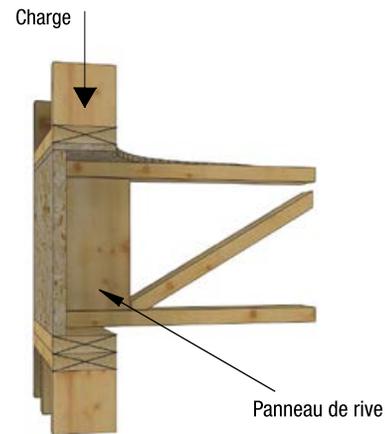


FIGURE 32 • Panneau de rive à un appui d'extrémité

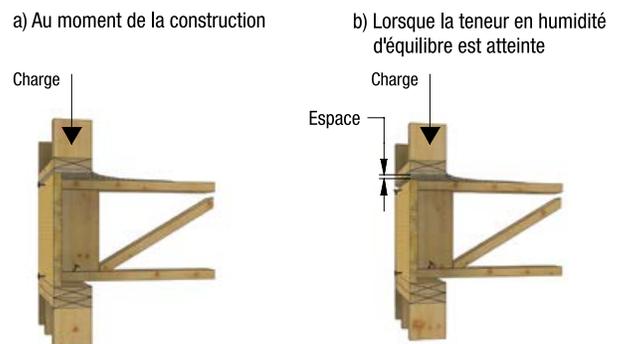


FIGURE 33 • Effet d'un panneau de rive en bois de sciage

5.1.4 Ceinture continue

Le deuxième moyen de fournir un support latéral à l'appui consiste à fabriquer les poutrelles de façon à pouvoir y installer une ceinture continue à l'extrémité supérieure de la poutrelle. Cette ceinture, généralement en 2x4, sert de liaison entre le revêtement de mur et de plancher, ce qui procure la stabilité latérale nécessaire. Cette technique est souvent utilisée pour les poutrelles ajourées avec connecteurs métalliques et à âmes métalliques, en particulier pour des applications résidentielles où les charges à transférer sont faibles.

La ceinture continue illustrée à la **figure 34** ne permet pas de transférer de lourdes charges provenant du mur situé au-dessus (environ 18 kN/m pondéré (1 200 lb/pi) pour une ceinture en 38 x 89 mm (2x4) Eps n° 1/n° 2, et des poutrelles espacées à 406 mm (16 po)). Pour des charges de mur plus élevées, il faut soit faire coïncider l'espacement des colombages des murs avec l'espacement des poutrelles (**figure 35**), soit ajouter des poteaux de transfert entre les poutrelles en ligne avec les colombages des murs (**figure 36**). La sous-section 5.1.5 traite des poteaux de transfert.

Dans le cas où les poutrelles sont alignées avec les colombages (**figure 35**), la réaction d'appui doit être vérifiée selon la configuration de l'extrémité des poutrelles pour être renforcée à l'aide de deux poteaux d'extrémité (**figure 37**) ou trois poteaux d'extrémité (**figure 38**). Le **tableau 11**, détail A, indique les réactions maximales pondérées dues à l'écrasement des bouts de poutrelles avec deux ou trois poteaux d'extrémité.

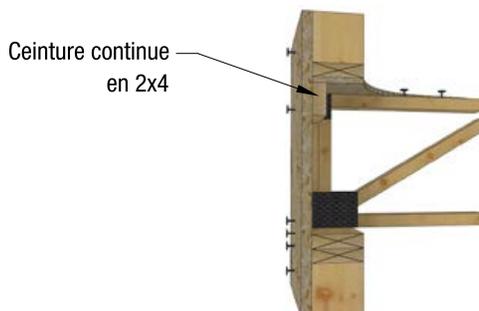


FIGURE 34 • Ceinture continue en 2x4

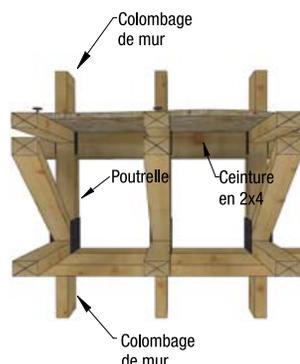


FIGURE 35 • Alignement des poutrelles avec les colombages

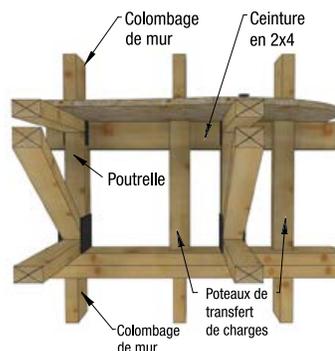
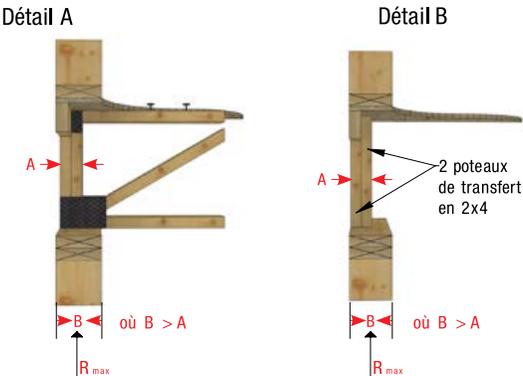
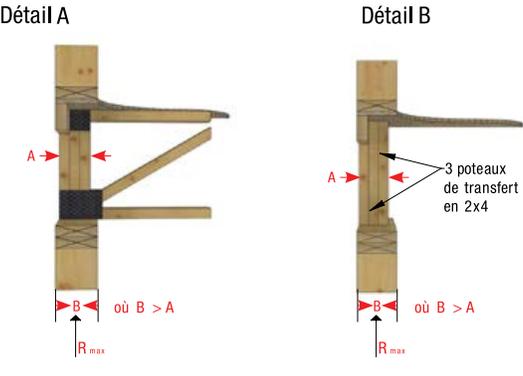


FIGURE 36 • Poteaux de transfert sous les colombages

TABLEAU 11 • Réactions maximales pondérées pour poutrelles renforcées à l'aide de poteaux de transfert

		Dimensions et classes des membrures et des poteaux de transfert	
		Classe	3x2
 <p>FIGURE 37 • Renfort avec deux poteaux de transfert</p>	EPS n°1/n°2	19,07 kN (4 287 lb)	27,24 kN (6 124 lb)
	MSR 2100F _b -1.8E	21,64 kN (4 865 lb)	30,97 kN (6 962 lb)
 <p>FIGURE 38 • Renfort avec trois poteaux de transfert</p>	EPS n°1/n°2	30,41 kN (6 836 lb)	43,73 kN (9 831 lb)
	MSR 2100F _b -1.8E	35,55 kN (7 992 lb)	51,19 kN (11 508 lb)

5.1.5 Poteau de transfert

Dans le cas où les poutrelles ne sont pas alignées avec les colombages des murs (**figure 36**), des poteaux de transfert doivent être ajoutés. Un poteau de transfert (appelé aussi bloc de transfert) est une pièce de bois de sciage traditionnel installée verticalement

entre les poutrelles afin de transférer les charges d'un mur porteur supérieur à un mur porteur inférieur (ou à une poutre inférieure). Les capacités de transfert sont indiquées au **tableau 11**, détail B, pour deux poteaux (**figure 37**) ou trois poteaux de transfert (**figure 38**).

5.2 Raidisseurs continus

Les raidisseurs continus jouent un rôle important dans les systèmes de plancher ajourés en bois. Ils contribuent à assurer un bon partage des charges entre les poutrelles, en plus d'améliorer considérablement le comportement du plancher face aux vibrations. Les raidisseurs sont plus efficaces lorsqu'ils sont placés près de la mi-portée. Ils s'installent facilement et rapidement, et peuvent être placés contre la semelle supérieure ou inférieure (**figure 39**).

Il est à noter que les croix de Saint-André, utilisées auparavant pour les solives traditionnelles, ne procurent pas la même performance qu'un raidisseur continu quant à la vibration de plancher.

5.3 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 située au-dessus du mur par un muret (**figure 40**). 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 aux plus ou moins 406 mm, selon les charges à supporter. L'utilisation des murets au lieu des poutrelles facilite l'isolation qui s'effectue de la même manière que les murs traditionnels à colombages.

Le concepteur du bâtiment doit 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 41**). Selon l'intensité des forces latérales, un système de blocage et de contreventement devrait donc être défini par le concepteur du bâtiment pour assurer la stabilité du mur (**figure 42**).

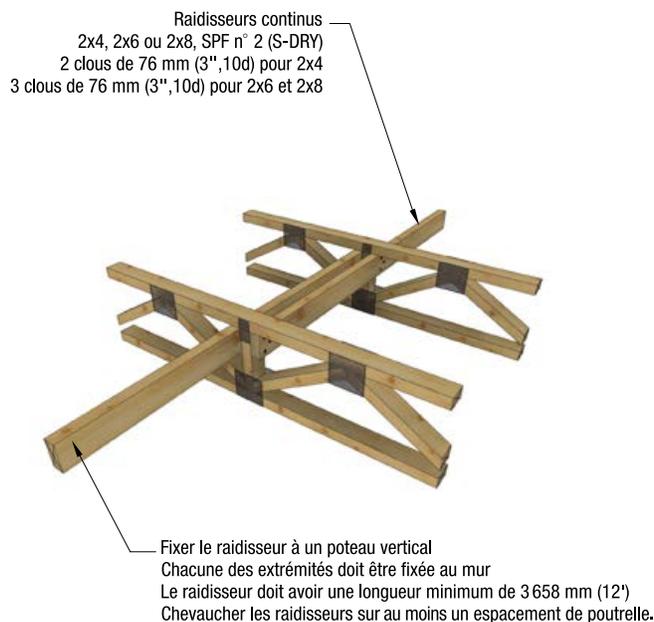


FIGURE 39 • Raidisseurs continus installés contre la semelle supérieure

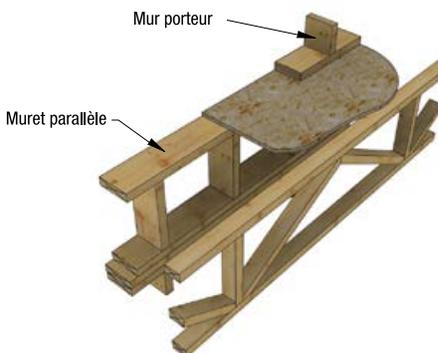


FIGURE 40 • Muret parallèle aux poutrelles

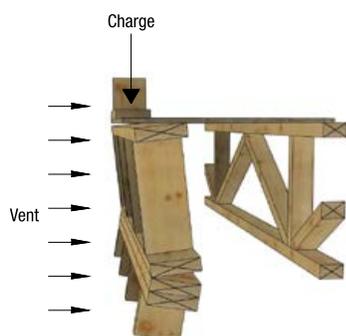


FIGURE 41 • Mur non supporté latéralement

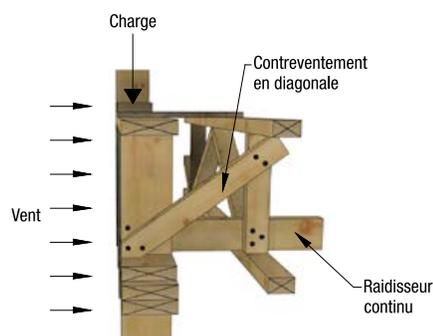


FIGURE 42 • Blocage du mur parallèle

5.4 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 assemblage est généralement suffisant. Cependant, lorsque la charge est appliquée sur le côté, la poutrelle double doit agir comme un élément simple et les deux poutrelles doivent alors être adéquatement assemblées afin d'être solidaires et d'assurer un partage de charge adéquat d'une poutrelle à l'autre. Un renforcement local et un calcul des attaches sont requis par le concepteur des poutrelles. Selon le type de poutrelle et la dimension du linteau, les différents fabricants proposeront généralement les trois détails décrits aux sous-sections 5.4.1 à 5.4.3.

5.4.1 Linteau encastré dans la poutrelle double

Ce détail est particulièrement intéressant puisqu'il procure à la fois l'attache du linteau à la poutrelle double et assure le partage de la charge concentrée par les deux poutrelles par contact direct (figure 43). Ainsi, aucun étrier n'est requis et le détail de connexion des deux poutrelles est minimal. On recommandera généralement des blocages en bois contre les membrures d'âme verticales pour réunir les deux poutrelles ensemble.

Ce détail peut être utilisé avec des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques ou à âmes métalliques fabriquées sur mesure. Dans le cas des poutrelles à âme métallique, on devra généralement substituer certaines membrures d'âme près de la charge concentrée par des membrures en bois.

Certaines conditions peuvent cependant limiter l'usage de ce détail. L'ouverture créée dans la poutrelle pour le passage du linteau a pour effet de discontinuer la triangulation. Les efforts en cisaillement qui sont repris habituellement par les membrures d'âme (diagonales) devront être repris uniquement par les semelles au voisinage de l'ouverture. Par conséquent, pour que ce détail soit possible, on doit limiter la largeur de l'ouverture (linteau étroit) et l'utiliser à des endroits où les efforts en cisaillement sont modérés (dans la partie centrale de la poutrelle, pas trop près des appuis).

Fixer un bloc à tous les 2 poteaux verticaux de la poutrelle et de chaque côté de la boîte avec des clous de 76 mm (3" - 10d) aux 76 mm (3") c/c sur 4 rangées

- Bloc en 2x6 pour poutrelles en 3x2
- Bloc en 2x8 pour poutrelles en 4x2

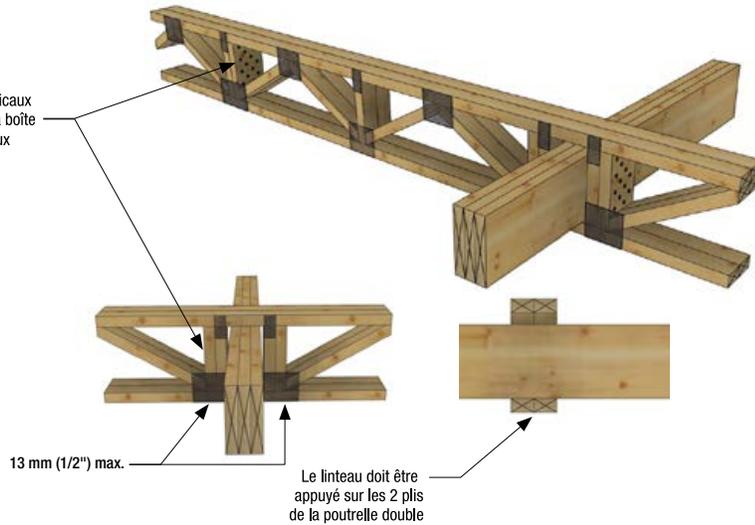


FIGURE 43 • Linteau encastré dans la poutrelle double

5.4.2 Linteau supporté par un étrier métallique vis-à-vis une membrure d'âme verticale

Ce détail est utilisé généralement lorsque le linteau est de même hauteur que la poutrelle. On doit alors utiliser un étrier pour fixer le linteau sur le côté de la poutrelle double, vis-à-vis une membrure d'âme verticale. Avec ce détail, il est important de bien solidariser les deux poutrelles près de la charge concentrée. En prenant comme hypothèse que la charge est supportée également par les deux poutrelles, le détail d'attache entre les deux poutrelles doit être en mesure de transférer la moitié de la charge concentrée. On utilise généralement des attaches métalliques illustrées à la **figure 44**. La capacité des attaches et le nombre requis sont fonction de la charge à transférer (déterminés par le concepteur des poutrelles).

Pour la dimension de la membrure d'âme verticale requise vis-à-vis la charge concentrée, il existe deux options. La plus populaire auprès des fabricants est d'utiliser des poteaux multiples de même dimension que les membrures d'âme des poutrelles. Le nombre de poteaux requis sera fonction de la largeur de la

poutre à supporter, ainsi que de la largeur de l'étrier. Cependant, avec des poteaux multiples, il est essentiel d'utiliser un étrier à bretelles ou de type « *top flange* ». L'usage d'étrier de face de type « *face mount* » est à proscrire. En utilisant des poteaux multiples de 38 mm (1 1/2") de largeur, les clous de l'étrier de face risqueraient en effet de se retrouver entre deux poteaux, ce qui réduirait considérablement la capacité de l'étrier. Un étrier à bretelles ou « *top flange* » permet d'installer les clous sur le dessus de la poutrelle, sur la face large des semelles.

L'autre option consiste à utiliser un poteau d'une seule pièce solide, dont la largeur est suffisante pour recevoir l'étrier. Certains fabricants utilisent des pièces en bois d'ingénierie (LVL ou lamellé-collé). Ainsi, il est possible d'utiliser un étrier de face de type « *face mount* ».

Ce détail peut être utilisé avec des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques ou à âme métallique fabriquées sur mesure.

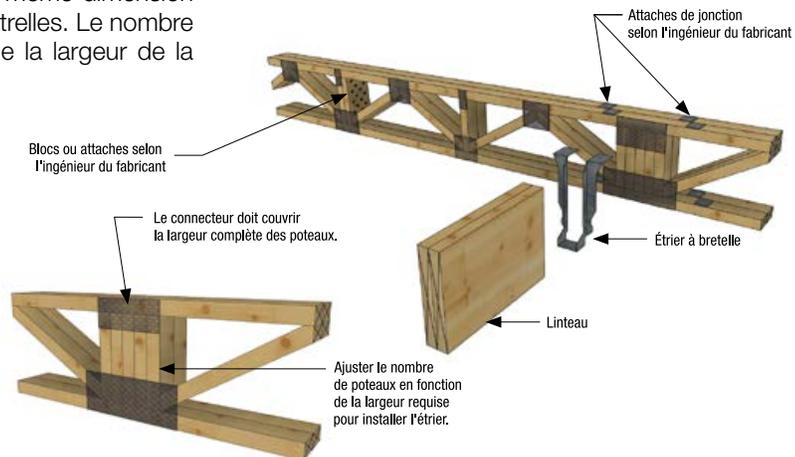


FIGURE 44 • Linteau supporté par un étrier métallique

5.4.3 Linteau supporté par un renforcement de bois et un étrier métallique

Ce détail est généralement utilisé avec des poutrelles régulières tenues en stock. Le renforcement en bois est déterminé par le concepteur de la poutrelle selon la charge à supporter. Ce renforcement (contre-plaqué, OSB, LVL) doit être de longueur suffisante pour répartir la charge aux nœuds (joints) avoisinant la charge concentrée. Il doit être fixé à la poutrelle double de façon à pouvoir transférer 100 % de la charge concentrée. Il est possible de fixer le linteau au renforcement à l'aide d'un étrier. Si l'on utilise un étrier de face, le renforcement doit être d'épaisseur suffisante pour la pénétration des clous de l'étrier selon les exigences du fabricant de l'étrier.

De même que pour le détail de la **figure 44**, il est important de bien solidariser les deux poutrelles près de la charge concentrée. Le détail d'assemblage entre les deux poutrelles doit être en mesure de transférer la moitié de la charge concentrée (déterminé par le concepteur des poutrelles).

Ce détail est généralement utilisé avec des poutrelles ajourées à âme de bois dentée et collée, ainsi qu'avec les autres types de poutrelles ajourées avec bout ajustable.

5.5 Porte-à-faux

On utilise les poutrelles de plancher en porte-à-faux pour toutes sortes d'exigences architecturales. 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. Par ailleurs, dans le cas des poutrelles fabriquées sur mesure, la triangulation est ajustée en conséquence de façon à ce que l'appui soit aligné avec un nœud de la poutrelle, comme l'illustre la **figure 7**.

Dans le cas des poutrelles dont la triangulation est établie d'avance (poutrelle ajourée à âme de bois dentée et collée par exemple), des détails de renfort spécifiés par le concepteur des poutrelles seront utilisés afin d'adapter la poutrelle aux conditions du porte-à-faux (**figure 46**).

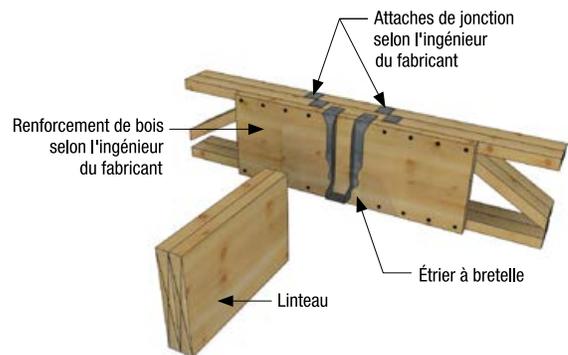


FIGURE 45 • Linteau supporté par un renforcement de bois et un étrier métallique

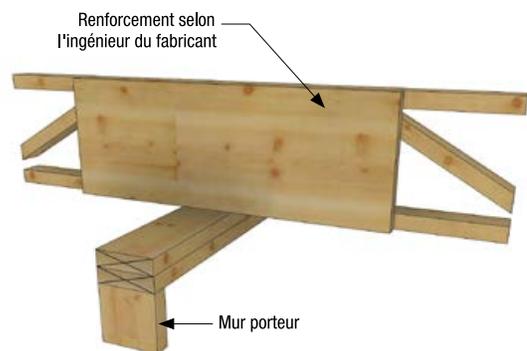


FIGURE 46 • Poutrelle en porte-à-faux avec un renforcement

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 excessives 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 [8]. Pour un porte-à-faux de 610 mm de longueur avec un critère de déformation de $L/360$, par exemple, la limite permise au bout du porte-à-faux est 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 [9]).

Le concepteur du plancher doit 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).

5.6 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 47**. De façon générale, ces solives en bois traité se prolongent à l'intérieur des poutrelles sur une longueur égale à deux fois la longueur du balcon.

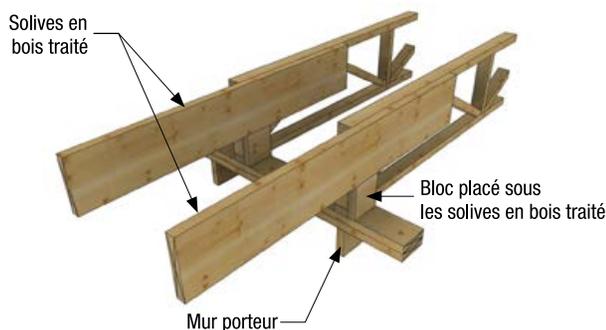


FIGURE 47 • Balcon avec poutrelles et solives en bois traité

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 50**.

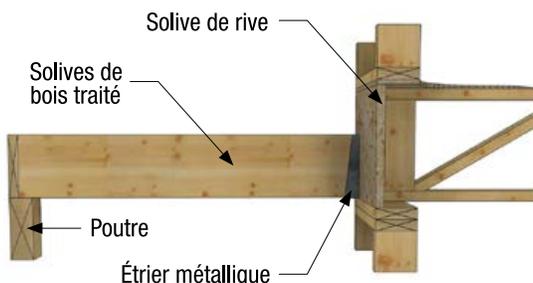


FIGURE 48 • Balcon autoportant

5.7 Revêtement de plancher

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 [8].

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.

Par ailleurs, il est important de rappeler que ces panneaux sont fabriqués en dimensions fixes de 1,22 x 2,44 m (4' x 8') et que, contrairement à un tablier d'acier en rouleau, ces dimensions fixes dictent 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').

5.8 Stabilité en cours de construction

Les poutrelles ajourées en bois 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 49** 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.

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.



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.

2.

Lorsque le plancher 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 2½"). 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 supérieure et inférieure 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 ajourées 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.

FIGURE 49 • Exemples de consignes de sécurité

6 Tables de portées

6.1 Poutrelles de plancher (1,9 kPa + 0,70 kPa non pondérées)

TABLEAU 12 • Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		1,9 kPa (L) + 0,70 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"
302 mm (11 7/8")	2x3 - EPS	5,90	5,08	4,60	4,05	19' - 4"	16' - 7"	15' - 1"	13' - 3"
	2x3 - 1650	6,58	6,00	5,45	4,80	21' - 6"	19' - 8"	17' - 10"	15' - 8"
	2x3 - 2100	6,83	6,38	6,05	5,60	22' - 4"	20' - 10"	19' - 10"	18' - 4"
	2x4 - 2100	7,35	6,85	6,53	6,15	24' - 1"	22' - 5"	21' - 4"	20' - 2"
	2x4 - 2400	7,53	7,03	6,70	6,30	24' - 8"	23' - 0"	21' - 11"	20' - 8"
318 mm (12 1/2")	2x3 - EPS	6,08	5,23	4,73	4,17	19' - 11"	17' - 1"	15' - 6"	13' - 8"
	2x3 - 1650	6,78	6,18	5,60	4,95	22' - 2"	20' - 3"	18' - 4"	16' - 2"
	2x3 - 2100	7,05	6,58	6,28	5,83	23' - 1"	21' - 6"	20' - 7"	19' - 1"
	2x4 - 2100	7,58	7,08	6,75	6,35	24' - 10"	23' - 2"	22' - 1"	20' - 10"
	2x4 - 2400	7,78	7,25	6,93	6,50	25' - 6"	23' - 9"	22' - 8"	21' - 3"
356 mm (14")	2x3 - EPS	6,48	5,58	5,05	4,45	21' - 2"	18' - 3"	16' - 6"	14' - 7"
	2x3 - 1650	7,28	6,58	5,98	5,28	23' - 10"	21' - 6"	19' - 7"	17' - 3"
	2x3 - 2100	7,55	7,08	6,75	6,35	24' - 9"	23' - 2"	22' - 1"	20' - 10"
	2x4 - 2100	8,13	7,60	7,25	6,83	26' - 7"	24' - 11"	23' - 9"	22' - 4"
	2x4 - 2400	8,33	7,78	7,43	6,98	27' - 3"	25' - 6"	24' - 4"	22' - 10"
406 mm (16")	2x3 - EPS	6,98	5,98	5,43	4,78	22' - 10"	19' - 7"	17' - 9"	15' - 7"
	2x3 - 1650	7,88	7,08	6,43	5,68	25' - 10"	23' - 2"	21' - 0"	18' - 7"
	2x3 - 2100	8,20	7,68	7,33	6,90	26' - 10"	25' - 2"	24' - 0"	22' - 7"
	2x4 - 2100	8,80	8,23	7,85	7,40	28' - 10"	26' - 11"	25' - 9"	24' - 3"
	2x4 - 2400	9,00	8,43	8,05	7,58	29' - 6"	27' - 7"	26' - 4"	24' - 10"
457 mm (18")	2x4 - 2100	9,45	8,85	8,45	7,95	31' - 0"	29' - 0"	27' - 8"	26' - 0"
	2x4 - 2400	9,68	9,05	8,65	8,15	31' - 8"	29' - 8"	28' - 4"	26' - 8"
508 mm (20")	2x4 - 2100	9,93	9,30	8,88	8,38	32' - 6"	30' - 6"	29' - 1"	27' - 5"
	2x4 - 2400	10,40	9,65	9,23	8,70	34' - 1"	31' - 7"	30' - 3"	28' - 6"
559 mm (22")	2x4 - 2100	10,70	9,85	9,43	8,88	35' - 1"	32' - 3"	30' - 11"	29' - 1"
	2x4 - 2400	11,18	10,28	9,75	9,20	36' - 7"	33' - 8"	31' - 11"	30' - 2"
610 mm (24")	2x4 - 2100	11,45	10,53	9,93	9,38	37' - 6"	34' - 6"	32' - 6"	30' - 9"
	2x4 - 2400	11,95	11,00	10,38	9,70	39' - 2"	36' - 1"	34' - 0"	31' - 9"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion et au cisaillement ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement (se référer au **tableau 5** et au **tableau 6** pour les résistances spécifiées et les hypothèses de calcul). Ces portées pourraient différer des portées déterminées à partir de logiciels basés sur l'analyse d'une structure triangulée.
- Les charges non pondérées sont de 1,9 kPa (surcharge) et de 0,45 kPa (permanente) appliquées à la membrure supérieure et de 0,25 kPa (permanente) à la membrure inférieure.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement. 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 considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (3/4"), cloué et collé, 2 rangées de raidisseurs continus en 2x6 à la mi-portée, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (5/8") 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].
- Se référer aux fabricants de poutrelles ajourées afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux capacités portantes et des détails de construction des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques, à âme métallique ou à âme de bois dentée et collée.

6.2 Poutrelles de plancher (1,9 kPa + 1,70 kPa non pondérées)

TABLEAU 13 • Portées admissibles de plancher (surcharge 1,9 kPa (40 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		1,9 kPa (L) + 1,70 kPa (D)				40 lb/pi ² (L) + 35 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"
302 mm (11 ⁷ / ₈ "	2x3 - EPS	5,13	4,40	3,97	3,45	16' - 9"	14' - 5"	13' - 0"	11' - 3"
	2x3 - 1650	6,05	5,20	4,70	4,17	19' - 10"	17' - 0"	15' - 5"	13' - 8"
	2x3 - 2100	6,58	5,95	5,58	4,98	21' - 6"	19' - 6"	18' - 3"	16' - 3"
	2x4 - 2100	7,33	6,60	6,20	5,38	24' - 0"	21' - 7"	20' - 4"	17' - 7"
	2x4 - 2400	7,53	6,85	6,40	5,70	24' - 8"	22' - 5"	20' - 11"	18' - 8"
318 mm 12 ¹ / ₂ "	2x3 - EPS	5,28	4,53	4,10	3,57	17' - 3"	14' - 10"	13' - 5"	11' - 8"
	2x3 - 1650	6,23	5,35	4,85	4,30	20' - 5"	17' - 6"	15' - 10"	14' - 1"
	2x3 - 2100	6,85	6,18	5,80	5,13	22' - 5"	20' - 3"	19' - 0"	16' - 9"
	2x4 - 2100	7,58	6,88	6,45	5,55	24' - 10"	22' - 6"	21' - 1"	18' - 2"
	2x4 - 2400	7,78	7,13	6,68	5,88	25' - 6"	23' - 4"	21' - 10"	19' - 3"
356 mm (14")	2x3 - EPS	5,63	4,83	4,38	3,80	18' - 5"	15' - 9"	14' - 4"	12' - 5"
	2x3 - 1650	6,63	5,70	5,18	4,58	21' - 8"	18' - 8"	16' - 11"	15' - 0"
	2x3 - 2100	7,48	6,78	6,30	5,45	24' - 6"	22' - 2"	20' - 8"	17' - 10"
	2x4 - 2100	8,13	7,53	6,88	5,90	26' - 7"	24' - 8"	22' - 6"	19' - 4"
	2x4 - 2400	8,33	7,78	7,25	6,28	27' - 3"	25' - 6"	23' - 9"	20' - 7"
406 mm (16")	2x3 - EPS	6,03	5,18	4,70	4,07	19' - 9"	16' - 11"	15' - 5"	13' - 4"
	2x3 - 1650	7,13	6,13	5,55	4,93	23' - 4"	20' - 1"	18' - 2"	16' - 1"
	2x3 - 2100	8,20	7,48	6,78	5,88	26' - 10"	24' - 6"	22' - 2"	19' - 3"
	2x4 - 2100	8,80	8,23	7,38	6,35	28' - 10"	26' - 11"	24' - 2"	20' - 10"
	2x4 - 2400	9,00	8,43	7,78	6,73	29' - 6"	27' - 7"	25' - 6"	22' - 0"
457 mm (18")	2x4 - 2100	9,45	8,83	7,88	6,78	31' - 0"	28' - 11"	25' - 10"	22' - 2"
	2x4 - 2400	9,68	9,05	8,30	7,20	31' - 8"	29' - 8"	27' - 2"	23' - 7"
508 mm (20")	2x4 - 2100	9,93	9,30	8,35	7,18	32' - 6"	30' - 6"	27' - 4"	23' - 6"
	2x4 - 2400	10,40	9,65	8,80	7,60	34' - 1"	31' - 7"	28' - 10"	24' - 11"
559 mm (22")	2x4 - 2100	10,70	9,85	8,78	7,55	35' - 1"	32' - 3"	28' - 9"	24' - 9"
	2x4 - 2400	11,18	10,28	9,28	8,03	36' - 7"	33' - 8"	30' - 5"	26' - 3"
610 mm (24")	2x4 - 2100	11,45	10,33	9,20	7,93	37' - 6"	33' - 10"	30' - 2"	26' - 0"
	2x4 - 2400	11,95	10,85	9,70	8,40	39' - 2"	35' - 7"	31' - 9"	27' - 6"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion et au cisaillement ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement (se référer au **tableau 5** et au **tableau 6** pour les résistances spécifiées et les hypothèses de calcul). Ces portées pourraient différer des portées déterminées à partir de logiciels basés sur l'analyse d'une structure triangulée.
- Les charges non pondérées sont de 1,9 kPa (surcharge) et de 1,45 kPa (permanente) appliquées à la membrure supérieure et de 0,25 kPa (permanente) à la membrure inférieure.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement. 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 considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (3/4"), cloué et collé, 2 rangées de raidisseurs continus en 2x6 à la mi-portée, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (5/8") 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].
- Se référer aux fabricants de poutrelles ajourées afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux capacités portantes et des détails de construction des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques, à âme métallique ou à âme de bois dentée et collée.

6.3 Poutrelles de plancher (4,8 kPa + 0,70 kPa non pondérées)

TABLEAU 14 • Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		4,8 kPa (L) + 0,70 kPa (D)				100 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"
302 mm (117/8")	2x3 - EPS	4,02	3,22	2,73	2,08	13' - 2"	10' - 6"	8' - 11"	6' - 9"
	2x3 - 1650	4,75	4,07	3,62	2,92	15' - 7"	13' - 4"	11' - 10"	9' - 7"
	2x3 - 2100	5,13	4,63	4,12	3,45	16' - 9"	15' - 2"	13' - 6"	11' - 3"
	2x4 - 2100	5,70	5,08	4,40	3,62	18' - 8"	16' - 7"	14' - 5"	11' - 10"
	2x4 - 2400	5,90	5,30	4,73	3,95	19' - 4"	17' - 4"	15' - 6"	12' - 11"
318 mm 12½")	2x3 - EPS	4,15	3,30	2,80	2,15	13' - 7"	10' - 9"	9' - 2"	7' - 0"
	2x3 - 1650	4,88	4,20	3,72	3,00	15' - 11"	13' - 9"	12' - 2"	9' - 10"
	2x3 - 2100	5,35	4,83	4,25	3,55	17' - 6"	15' - 9"	13' - 11"	11' - 7"
	2x4 - 2100	5,93	5,23	4,55	3,72	19' - 5"	17' - 1"	14' - 11"	12' - 2"
	2x4 - 2400	6,15	5,53	4,88	4,07	20' - 2"	18' - 1"	15' - 11"	13' - 4"
356 mm (14")	2x3 - EPS	4,40	3,52	2,97	2,28	14' - 5"	11' - 6"	9' - 9"	7' - 5"
	2x3 - 1650	5,20	4,48	3,97	3,20	17' - 0"	14' - 8"	13' - 0"	10' - 5"
	2x3 - 2100	5,85	5,15	4,53	3,77	19' - 2"	16' - 10"	14' - 10"	12' - 4"
	2x4 - 2100	6,50	5,55	4,85	3,97	21' - 3"	18' - 2"	15' - 10"	13' - 0"
	2x4 - 2400	6,73	5,93	5,20	4,35	22' - 0"	19' - 5"	17' - 0"	14' - 3"
406 mm (16")	2x3 - EPS	4,75	3,80	3,20	2,45	15' - 7"	12' - 5"	10' - 5"	8' - 0"
	2x3 - 1650	5,60	4,83	4,28	3,45	18' - 4"	15' - 9"	14' - 0"	11' - 3"
	2x3 - 2100	6,48	5,55	4,85	4,05	21' - 2"	18' - 2"	15' - 10"	13' - 3"
	2x4 - 2100	7,20	5,98	5,20	4,28	23' - 7"	19' - 7"	17' - 0"	14' - 0"
	2x4 - 2400	7,45	6,38	5,60	4,68	24' - 5"	20' - 10"	18' - 4"	15' - 4"
457 mm (18")	2x4 - 2100	7,78	6,38	5,55	4,58	25' - 6"	20' - 10"	18' - 2"	15' - 0"
	2x4 - 2400	8,15	6,80	5,95	4,98	26' - 8"	22' - 3"	19' - 6"	16' - 3"
508 mm (20")	2x4 - 2100	8,23	6,75	5,88	4,83	26' - 11"	22' - 1"	19' - 3"	15' - 9"
	2x4 - 2400	8,68	7,20	6,33	5,28	28' - 5"	23' - 7"	20' - 9"	17' - 3"
559 mm (22")	2x4 - 2100	8,65	7,10	6,20	5,10	28' - 4"	23' - 3"	20' - 4"	16' - 8"
	2x4 - 2400	9,15	7,58	6,65	5,55	30' - 0"	24' - 10"	21' - 9"	18' - 2"
610 mm (24")	2x4 - 2100	9,08	7,45	6,48	5,33	29' - 9"	24' - 5"	21' - 2"	17' - 5"
	2x4 - 2400	9,58	7,93	6,98	5,83	31' - 4"	26' - 0"	22' - 10"	19' - 1"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion et au cisaillement ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement (se référer au **tableau 5** et au **tableau 6** pour les résistances spécifiées et les hypothèses de calcul). Ces portées pourraient différer des portées déterminées à partir de logiciels basés sur l'analyse d'une structure triangulée.
- Les charges non pondérées sont de 4,8 kPa (surcharge) et de 0,45 kPa (permanente) appliquées à la membrure supérieure et de 0,25 kPa (permanente) à la membrure inférieure.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement. 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 considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, 2 rangées de raidisseurs continus en 2x6 à la mi-portée, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (5/8") 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].
- Se référer aux fabricants de poutrelles ajourées afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux capacités portantes et des détails de construction des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques, à âme métallique ou à âme de bois dentée et collée.

6.4 Poutrelles de plancher (4,8 kPa + 1,70 kPa non pondérées)

TABLEAU 15 • Portées admissibles de plancher (surcharge 4,8 kPa (100 lb/pi²) non pondérée)

Portée (m ou pi-po)		4,8 kPa (L) + 1,70 kPa (D)				100 lb/pi ² (L) + 35 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"
302 mm (11 ⁷ / ₈ "	2x3 - EPS	3,60	2,80	2,30	1,65	11' - 9"	9' - 2"	7' - 6"	5' - 4"
	2x3 - 1650	4,43	3,72	3,15	2,45	14' - 6"	12' - 2"	10' - 4"	8' - 0"
	2x3 - 2100	5,13	4,22	3,67	3,00	16' - 9"	13' - 10"	12' - 0"	9' - 10"
	2x4 - 2100	5,60	4,53	3,90	3,12	18' - 4"	14' - 10"	12' - 9"	10' - 3"
	2x4 - 2400	5,90	4,88	4,22	3,47	19' - 4"	15' - 11"	13' - 10"	11' - 4"
318 mm (12 ¹ / ₂ "	2x3 - EPS	3,72	2,90	2,38	1,70	12' - 2"	9' - 6"	7' - 9"	5' - 6"
	2x3 - 1650	4,55	3,85	3,25	2,53	14' - 11"	12' - 7"	10' - 7"	8' - 3"
	2x3 - 2100	5,33	4,35	3,77	3,10	17' - 5"	14' - 3"	12' - 4"	10' - 2"
	2x4 - 2100	5,75	4,68	4,02	3,22	18' - 10"	15' - 4"	13' - 2"	10' - 6"
	2x4 - 2400	6,10	5,00	4,35	3,57	20' - 0"	16' - 4"	14' - 3"	11' - 8"
356 mm (14"	2x3 - EPS	3,97	3,07	2,53	1,80	13' - 0"	10' - 1"	8' - 3"	5' - 10"
	2x3 - 1650	4,85	4,10	3,47	2,68	15' - 10"	13' - 5"	11' - 4"	8' - 9"
	2x3 - 2100	5,68	4,65	4,02	3,30	18' - 7"	15' - 3"	13' - 2"	10' - 9"
	2x4 - 2100	6,15	4,98	4,28	3,42	20' - 2"	16' - 3"	14' - 0"	11' - 2"
	2x4 - 2400	6,50	5,33	4,65	3,80	21' - 3"	17' - 5"	15' - 3"	12' - 5"
406 mm (16"	2x3 - EPS	4,25	3,32	2,73	1,93	13' - 11"	10' - 10"	8' - 11"	6' - 3"
	2x3 - 1650	5,20	4,40	3,72	2,88	17' - 0"	14' - 5"	12' - 2"	9' - 5"
	2x3 - 2100	6,10	5,00	4,33	3,55	20' - 0"	16' - 4"	14' - 2"	11' - 7"
	2x4 - 2100	6,60	5,35	4,60	3,67	21' - 7"	17' - 6"	15' - 1"	12' - 0"
	2x4 - 2400	7,00	5,75	5,00	4,10	22' - 11"	18' - 10"	16' - 4"	13' - 5"
457 mm (18"	2x4 - 2100	7,05	5,70	4,90	3,92	23' - 1"	18' - 8"	16' - 0"	12' - 10"
	2x4 - 2400	7,48	6,13	5,33	4,38	24' - 6"	20' - 1"	17' - 5"	14' - 4"
508 mm (20"	2x4 - 2100	7,45	6,05	5,20	4,15	24' - 5"	19' - 10"	17' - 0"	13' - 7"
	2x4 - 2400	7,90	6,48	5,63	4,63	25' - 11"	21' - 2"	18' - 5"	15' - 2"
559 mm (22"	2x4 - 2100	7,85	6,38	5,48	4,38	25' - 9"	20' - 10"	17' - 11"	14' - 4"
	2x4 - 2400	8,33	6,83	5,93	4,88	27' - 3"	22' - 4"	19' - 5"	15' - 11"
610 mm (24"	2x4 - 2100	8,23	6,68	5,73	4,60	26' - 11"	21' - 10"	18' - 9"	15' - 1"
	2x4 - 2400	8,73	7,15	6,23	5,10	28' - 7"	23' - 5"	20' - 5"	16' - 8"

- Le tableau ci-dessus présume une vérification des états limites ultimes quant à la résistance à la flexion et au cisaillement ainsi qu'une vérification des états limites de tenue en service (flèche et vibration) pour une poutrelle ajourée à connecteurs métalliques de plancher sous un chargement uniforme et en portée simple seulement (se référer au **tableau 5** et au **tableau 6** pour les résistances spécifiées et les hypothèses de calcul). Ces portées pourraient différer des portées déterminées à partir de logiciels basés sur l'analyse d'une structure triangulée.
- Les charges non pondérées sont de 4,8 kPa (surcharge) et de 1,45 kPa (permanente) appliquées à la membrure supérieure et de 0,25 kPa (permanente) à la membrure inférieure.
- Les flèches sous la surcharge et sous la charge totale sont limitées à L/360 et L/240 respectivement. 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 considère un système de plancher comportant un revêtement en OSB de 19 mm (¾"), cloué et collé, 2 rangées de raidisseurs continus en 2x6 à la mi-portée, ainsi qu'un panneau de gypse de 15,9 mm (5/8") 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].
- Se référer aux fabricants de poutrelles ajourées afin d'obtenir de plus amples informations relatives aux capacités portantes et des détails de construction des poutrelles ajourées à connecteurs métalliques, à âme métallique ou à âme de bois dentée et collée.

7 Exemples de conception

7.1 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 0,70 kPa (0,45 + 0,25 kPa)
- Flèche sous la surcharge limitée à L/360
- Flèche sous la charge totale limitée à L/240
- Portée simple recherchée de 6,4 m.

Puisque les critères de conception sont les mêmes que les hypothèses de calcul du **tableau 12**, ce dernier peut être utilisé pour une sélection préliminaire.

Hauteur	Série et espacement c/c	Portée admissible
302 mm	2x3 – MSR 1650 aux 305 mm	6,58 m
	2x3 – MSR 2100 aux 305 mm	6,83 m
	2x4 – MSR 2100 aux 487 mm	6,53 m
	2x4 – MSR 2400 aux 487 mm	6,70 m
318 mm	2x3 – MSR 1650 aux 305 mm	6,78 m
	2x3 – MSR 2100 aux 406 mm	6,58 m
	2x4 – MSR 2100 aux 487 mm	6,75 m
	2x4 – MSR 2400 aux 610 mm	6,50 m
356 mm	2x3 – n° 1/n° 2 aux 305 mm	6,48 m
	2x3 – MSR 1650 aux 406 mm	6,58 m
	2x3 – MSR 2100 aux 487 mm	6,75 m
	2x4 – MSR 2100 aux 610 mm	6,83 m
	2x4 – MSR 2400 aux 610 mm	6,98 m

Selon ces données, un système de plancher constitué de poutrelles ajourées en bois d'une hauteur de 302 mm en 2x4 MSR 2100 aux 487 mm s'avère un bon choix.

Cependant, puisque que plusieurs poutrelles ajourées rencontrent la portée recherchée de 6,4 m, le système de plancher fait de poutrelles ajourées de 318 mm en 2x3 MSR 2100 aux 406 mm peut procurer une meilleure performance de plancher (plus petit espacement) et peut être plus économique (semelle en 2x3 au lieu de 2x4) selon les conditions du marché.

7.2 Faisabilité d'une poutrelle ajourée avec connecteurs métalliques (par calculs)

On désire vérifier la faisabilité d'une poutrelle ajourée en bois avec connecteurs métalliques selon les critères de conception suivants :

• Semelles en 2x4 de bois MSR 2100F _b -1.8E	• Surcharge (L) de 7,2 kPa
• Portée recherchée de 5,0 m	• Charge permanente (D _{sup}) à la membrure supérieure de 0,7 kPa
• Hauteur maximale de 406 mm	• Charge permanente (D _{inf}) à la membrure inférieure de 0,3 kPa
• Espacement de 305 mm	• Flèche sous la surcharge limitée à L/480
• Coefficient de partage de charge (K _p) = 1,10	• Flèche sous la charge totale limitée à L/240

Dans cet exemple, nous vérifierons les résistances de la poutrelle en compression et en flexion combinées (semelle supérieure), en traction et en flexion combinées (semelle inférieure), en cisaillement (réaction maximale à l'appui) et la vérification des flèches totales et locales.

Vérification de la membrure supérieure en compression et en flexion combinées

- a) Détermination de la force axiale dans la semelle

Le moment de flexion maximal pour une portée simple est obtenu à partir de l'équation suivante :

$$M_{f(\text{poutrelle})} = \frac{W_{f(\text{poutrelle})} \times L^2_{\text{poutrelle}}}{8}$$

$$M_{f(\text{poutrelle})} = \frac{[(1,5 \times 7,2 \text{ kPa}) + 1,25 \times (0,70 \text{ kPa} + 0,30 \text{ kPa})] \times 0,305 \text{ mm} \times (5,0 \text{ m})^2}{8} = 11,5 \text{ kN-m}$$



$$M_{f(\text{poutrelle})} = P_f \times h = T_f \times h$$

$$P_f = T_f = \frac{M_{f(\text{poutrelle})}}{h} = \frac{11,5 \text{ kN-m}}{0,368 \text{ m}} = 31,25 \text{ kN}$$

Selon le **tableau 5**, la résistance en compression parallèle (P_r) de la semelle est de 57,88 kN.

- b) Détermination du moment de flexion locale dans le panneau

Longueur maximale du panneau à la membrure supérieure = 762 mm (sous-section 4.3.1)

$$M_{f(\text{panneau sup})} = \frac{W_{f(\text{panneau sup})} \times L^2_{\text{panneau sup}}}{9}$$

$$M_{f(\text{panneau sup})} = \frac{[(1,5 \times 7,2 \text{ kPa}) + (1,25 \times 0,70 \text{ kPa})] \times 0,305 \text{ mm} \times (0,762 \text{ m})^2}{9} = 0,230 \text{ kN-m}$$

Selon le **tableau 5**, la résistance en flexion (M_r) de la semelle supérieure est de 0,645 kN-m.

- c) Sollicitation des efforts combinés

$$\text{Ratio} = \frac{P_f}{P_R} + \frac{M_f}{M_R} = \frac{31,25 \text{ kN}}{57,88 \text{ kN}} + \frac{0,230 \text{ kN-m}}{0,645 \text{ kN-m}} = 0,90 \leq 1,00 \text{ donc acceptable}$$

Vérification de la membrure inférieure en traction et en flexion combinées

- a) Détermination de la force axiale dans la semelle

$$P_f = T_f = 31,25 \text{ kN}$$

Selon le **tableau 5**, la résistance en traction parallèle (T_r) de la semelle est de 59,26 kN.

- b) Détermination du moment de flexion locale dans le panneau

Longueur maximale du panneau à la membrure inférieure = 1 524 mm (sous-section 4.3.1)

$$M_{f(\text{panneau inf})} = \frac{W_{f(\text{panneau inf})} \times L^2_{\text{panneau inf}}}{8}$$

$$M_{f(\text{panneau inf})} = \frac{[(1,25 \times 0,30 \text{ kPa}) \times 0,305 \text{ mm}] \times (1,524 \text{ m})^2}{8} = 0,033 \text{ kN-m}$$

Selon le **tableau 5**, la résistance en flexion (M_r) de la semelle inférieure est de 0,645 kN-m.

- c) Sollicitation des efforts combinés

$$\text{Ratio} = \frac{T_f}{T_R} + \frac{M_f}{M_R} = \frac{31,25 \text{ kN}}{59,26 \text{ kN}} + \frac{0,033 \text{ kN-m}}{0,645 \text{ kN-m}} = 0,58 \leq 1,00 \text{ donc acceptable}$$

Vérification du cisaillement

a) Détermination du cisaillement à l'appui d'extrémité

$$V_f = \frac{W_{f(\text{poutrelle})} \times L_{\text{poutrelle}}}{2}$$

$$V_{f(\text{poutrelle})} = \frac{[(1,5 \times 7,2 \text{ kPa}) + 1,25 \times (0,70 \text{ kPa} + 0,30 \text{ kPa})] \times 0,305 \text{ m}] \times 5,0 \text{ m}}{2} = 9,2 \text{ kN}$$

Selon le **tableau 5**, la résistance au cisaillement peut être estimée à 12,88 kN, soit supérieure à 9,2 kN.

Vérification des flèches (globale et locale)

a) Détermination de la flèche globale sous la surcharge

La flèche sous la surcharge pour une portée simple est obtenue à partir de l'équation suivante :

$$\Delta = \frac{5w_L L^4}{384Ei_{\text{poutrelle}}} + \frac{w_L L^2}{K}$$

Selon le **tableau 5**, la rigidité en flexion (EI) de la poutrelle et le coefficient de flèche due au cisaillement (K) est de $2\,850 \times 10^6 \text{ kN-mm}^2$ et de $35,95 \times 10^3 \text{ kN}$ respectivement. On obtient ainsi une flèche sous la surcharge égale à :

$$= \frac{5 \times (7,2 \text{ kPa} \times 0,305 \text{ m}) \times (5\,000 \text{ mm})^4}{384 \times 2\,850 \times 10^6 \text{ N-mm}^2} + \frac{(7,2 \text{ kPa} \times 0,305 \text{ m}) \times (5\,000 \text{ mm})^2}{35,95 \times 10^6 \text{ N}} = 7,64 \text{ mm}$$

Selon les critères de conception, la limite de flèche sous la surcharge est de 10,41 mm (5 000 mm / 480). La flèche de 7,64 mm est donc acceptable.

b) Détermination de la flèche locale à la membrure supérieure sous la charge totale

La flèche locale sous la charge totale peut être estimée à partir de l'équation suivante :

$$\Delta = \frac{3,75w_L L_{\text{panneau}}^4}{384Ei_{\text{semelle}}}$$

Selon le **tableau 5**, la rigidité en flexion (EI) d'une semelle en bois de 2x4 de classe MSR 2100F_b-1.8E est de $5,05 \times 10^6 \text{ kN-mm}^2$. On obtient ainsi une flèche locale sous la charge totale égale à :

$$\Delta = \frac{3,75 \times [(7,2 \text{ kPa} + 0,70 \text{ kPa}) \times 0,305 \text{ m}] \times (762 \text{ mm})^4}{384 \times 5,05 \times 10^9 \text{ N-mm}^2} = 1,57 \text{ mm}$$

Selon les critères de conception indiqués à la sous-section 4.3.3, la limite de flèche locale sous la charge totale est de 4,23 mm (762 mm / 180). La flèche de 1,57 mm est donc amplement acceptable.

Tous les critères de conception sont vérifiés et acceptables. Par contre, la performance du système de plancher (vibration) doit également être vérifiée à partir des critères de flèche maximale permise indiqués à la section 4.4 du guide. Ainsi, la composition du système de plancher doit être établie adéquatement afin de limiter la flèche ponctuelle à 0,99 mm.

8 Fabricants

Il existe plusieurs fabricants de poutrelles ajourées en bois au Québec. 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.

Vous trouverez la liste complète des fabricants de poutrelles ajourées en bois membres de l'Association des manufacturiers de structures de bois du Québec (MSBQ) sur le site www.msbq.org. Notez que ce ne sont pas tous les fabricants qui sont membres de cette association.

9 Références

1-ANSI/APA. 2021. PRR-410 Standard for performance-rated engineered wood rim boards. Tacoma, Wa. APA - The engineered wood association.

2-APA. 2021. APA W345 CA. Performance-rated rim board Canadian limit states design. Tacoma, Wa. APA - The engineered wood association.

3-ASTM (2016). *Classification for Rating Sound Insulation (E413-16)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

4-ASTM (2020). *Standard Specification for General Requirements for Steel Sheet, Metallic-Coated by the Hot-Dip Process (A924/A924M-20)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

5-ASTM (2020). *Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process (A653/A653M-20)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

6-ASTM (2020). *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (E119-20)*, West Conshohocken, PA, USA, American Society for Testing and Materials.

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

8-CNRC (2015). Code national du bâtiment, Canada, 2015. Volumes 1 et 2, Ottawa, Conseil national de recherche du Canada. -modifié Québec Code de Construction du Québec.

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 2014-(R2018) CAN/CSA S347-14: Method of Test for Evaluation of Truss Plates Used in Lumber Joint, Mississauga, Canadian Standards Association.

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

12-CSA (2021) CAN/CSA-O112.9. Evaluation of Adhesives for Structural Wood Products (exterior exposure), Mississauga, Canadian Standard Association.

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

14-TPIC (2019). *Truss Design Procedures and Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses*, Truss Plate Institute of Canada.

15-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.

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



Canadian
Wood
Council

Conseil
Canadien
du bois



cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

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

Mars 2023

www.cecobois.com