

Guide sur l'utilisation du bois dans les écoles primaires



Photo : Joël Gingras

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

Avant-propos

Ce guide se veut un outil de référence afin de soutenir les directions des ressources matérielles des centres de services scolaires ainsi que les professionnels de la construction pour atteindre les objectifs du ministère de l'Éducation en matière d'utilisation du bois dans la construction ou l'agrandissement d'écoles primaires. Il a pour but de présenter les possibilités, les bénéfices et les bonnes pratiques d'utilisation du bois dans les constructions, mais aussi des exemples de projets réalisés ici et ailleurs.

Ayant pour objectif d'encourager la conception d'environnements propices à l'apprentissage et au bien-être des élèves, il permettra notamment au lecteur :

- De connaître les avantages du matériau bois ;
- De connaître les différents systèmes structuraux en bois ;
- De connaître les bonnes pratiques et les ressources pertinentes pour assurer la durabilité des éléments en bois ;
- De comprendre le cadre normatif en matière de sécurité incendie, qui permet d'intégrer ou non du bois dans les écoles primaires au Québec ;
- De prendre connaissance de plusieurs éléments clés dont l'application favorisera la réussite d'un projet d'école primaire en bois ;
- De découvrir des projets en bois réalisés dans les écoles primaires au Québec, ailleurs au Canada et dans le monde.

Équipe de rédaction

- Kévin Gazeau, conseiller technique, **cecobois** ;
- Richard Poirier, conseiller technique, **cecobois** ;
- Cynthia Bolduc-Guay, conseillère en communication, **cecobois**.

Collaborateurs à la rédaction du guide

- Benoît Béland, architecte, Développement des infrastructures scolaires, Centre de services scolaire Marie-Victorin (CSSMV) ;
- Jean-Philippe Bellemare, président, Mobilespace ;
- David Dompierre, acousticien, SIBE acoustique ;
- Kim Lajoie, ingénieur en structure, L2C Experts-conseils en structure ;
- Véronic Landry, professeure agrégée, chimiste, Ph. D., Université Laval ;
- Marc-André Langevin, ingénieur, M. Ing., M. Sc. A., président, Technorm.

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



Remerciements pour l'analyse Gestimat de l'école Fernand-Seguin

- Barrette Structural ;
- BGLA architecture + design urbain ;
- Charpentes Montmorency ;
- EXP ;
- Smith Vigeant Architectes.

Comité de révision

- Pascal Beaudoin, architecte associé, PA LEED BD+C, Leclerc architectes ;
- Benoit Béland, architecte, Développement des infrastructures scolaires, Centre de services scolaire Marie-Victorin (CSSMV) ;
- Jean-Luc Bouffard, ingénieur, directeur structure/civil – associé, LGT ;
- Julien Brousseau, ingénieur, secteur construction bois, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) ;
- Nicolas Gobeil, ingénieur, Structure - Bâtiments, Stantec ;
- Jean-Félix Houle, ingénieur, chargé de projets à la Direction de l'expertise et du développement des infrastructures scolaires, ministère de l'Éducation (MEQ) ;
- Pierre-André Lévesque, architecte associé, BGLA ;
- Nicolas Naud, ingénieur, concepteur, Structure - Bâtiments, Stantec ;
- Benoît Sévigny, architecte, coordonnateur des ressources matérielles, Centre de services scolaire Central Québec (CSSCQ) ;
- Nathalie Tabouillet, chargée de projets à la Direction de l'innovation et du développement des infrastructures scolaires, ministère de l'Éducation (MEQ).

Mises en garde

Bien que ce guide ait été conçu avec la plus grande exactitude possible, **cecobois** n'est nullement responsable des erreurs ou omissions pouvant découler de son usage. Le guide est complémentaire aux codes et normes, mais ne remplace aucunement ceux-ci. Aussi, bien que ce guide illustre certaines bonnes pratiques d'utilisation du bois dans la construction d'écoles primaires, ces informations présentées de manière globale afin de faciliter la compréhension du lecteur ne sont pas complètes et ne peuvent donc pas être utilisées telles quelles sans le recours aux services d'un professionnel du bâtiment qualifié. Toute personne utilisant ce guide en assume donc pleinement tous les risques et toutes les responsabilités. Toute suggestion visant l'amélioration de notre documentation sera grandement appréciée et considérée lors de sa mise à jour.

Table des matières

1. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois	1
2. Utilisation du bois dans les écoles primaires : le contexte québécois	2
3. Une vision pour nos écoles primaires	2
4. Pourquoi construire en bois ?	3
4.1. Le bois pour favoriser le bien-être et le confort des élèves	4
4.2. Le bois pour réduire l'empreinte environnementale des bâtiments	9
4.3. Le bois, une solution flexible et polyvalente	11
4.4. Le bois, une solution économique et rentable	11
4.5. Le bois, un matériau durable qui traverse le temps	13
4.6. Le bois, un matériau sécuritaire	14
5. Choisir le bon système structural	15
5.1. Construction à ossature légère en bois	16
5.2. Construction massive en bois	19
5.3. Systèmes structuraux mixtes	24
5.4. Construction modulaire	25
6. Les revêtements intérieurs et extérieurs en bois	27
6.1. Les revêtements extérieurs en bois	28
6.2. Les revêtements intérieurs en bois	29
7. Les possibilités du Code	35
7.1. Le bois en structure	36
7.2. Le bois comme matériau de finition	43
8. Quelques clés pour réussir une école en bois	50
8.1. Assurer la durabilité des structures en bois	51
8.2. Gestion de l'eau, de l'humidité et de la qualité en chantier	58
8.3. Assurer une bonne performance acoustique	59
8.4. Coordination des intervenants du projet	62
9. Exemples d'écoles en bois	66
10. Annexe	85
10.1. Description de l'outil Gestimat	86
10.2. Fonctionnement de Gestimat	86
10.3. Présentation du projet d'agrandissement	86
10.4. Description des structures analysées pour le projet en bois et le scénario comparable en acier	88
10.5. Analyse Gestimat du projet d'agrandissement en bois	91
10.6. Analyse Gestimat du scénario comparable en acier	93
10.7. Analyse comparative	94
11. Références	95

Liste des tableaux

Tableau 1	Valeurs d'IPF et d>IDF pour certains types de bois ^{[31] [32] [33] [34] [35]}	45
Tableau 2	Exigences de fini intérieur pour les bâtiments de construction combustible	47
Tableau 3	Exigences de fini intérieur pour les bâtiments de construction incombustible	48
Tableau 4	Regroupement de certaines essences de bois indigènes selon leur résistance moyenne à la pourriture du bois de cœur (duramen) ¹	52
Tableau 5	Conditions générales de développement des champignons sur le bois	53
Tableau 6	Teneur en humidité d'équilibre (THE) des éléments en bois	55
Tableau 7	Teneur en humidité des produits du bois au moment de l'installation	55

Liste des figures

Figure 1	Émissions de GES liées à la fabrication calculées avec Gestimat (estimées en fonction de la composition du bois pour une masse volumique de 420 kg/m ³)	9
Figure 2	Comparaison des émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement en bois du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin et de son comparable en acier	10
Figure 3	Cycle de vie des produits du bois.	11
Figure 4	Comparaison de la résistance thermique entre une ossature de bois et une ossature métallique	12
Figure 5	Couche de carbonisation (adapté de CSA O177)	14
Figure 6	Réduction et répartition des défauts dans le bois lamellé-collé par rapport au gros bois d'œuvre (à gauche) et meilleure répartition de l'humidité (à droite)	20
Figure 7	Types de construction en matière de sécurité incendie reconnus par le Code	36
Figure 8	Teneur en humidité d'équilibre du bois	54
Figure 9	Influence de la teneur en humidité sur les changements dimensionnels du bois	54
Figure 10	Phénomène de retrait et gonflement selon le sens du bois	54
Figure 11	Retrait des éléments en bois dû au séchage	56
Figure 12	La goutte d'eau usinée sur ce pied de colonne permet à l'eau qui ruisselle le long de la colonne de tomber directement au sol sans stagner.	57
Figure 13	Solutions acoustiques pour murs en ossature légère	59
Figure 14	Isolateur acoustique (à gauche) et barre résiliente (à droite)	60
Figure 15	Solutions acoustiques complexes pour planchers en bois massif (Illustrations: AcoustiTECH)	62
Figure 16	Émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin	92
Figure 17	Émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario comparable en acier du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin	93
Figure 18	Comparaison des émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement en bois du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin et de son comparable en acier.	94

1. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois

La mission du Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (**cecobois**) est de supporter techniquement les architectes, ingénieurs, donneurs d'ouvrage et constructeurs afin de favoriser l'utilisation du bois dans la construction de bâtiments institutionnels, multirésidentiels, commerciaux et industriels au Québec.

cecobois est votre ressource première afin d'obtenir :

- Des conseils techniques en matière de faisabilité et d'utilisation du bois ;
- Des renseignements et des services sur les solutions constructives en bois ;
- Des informations sur les produits du bois et leurs propriétés.

Nos services :

- Un accompagnement technique gratuit pour faciliter la construction en bois des bâtiments décrits dans la mission ;
- Des formations dédiées aux professionnels du bâtiment, admissibles aux crédits de formation continue de l'Ordre des architectes du Québec et de l'Ordre des ingénieurs du Québec ;
- Des études de cas et un répertoire de projets pour inspirer et découvrir les réalisations en bois ;
- Un répertoire de fournisseurs de produits ou de services dans le domaine de la construction en bois ;
- Des guides techniques pour aider les professionnels à concevoir des structures en bois durables et conformes à la réglementation en vigueur ;
- Des fiches techniques sur les solutions et produits en bois disponibles ;
- Des outils de calcul pour aider les professionnels dans le prédimensionnement des éléments de structure ;
- Un journal et une infolettre pour diffuser l'actualité du domaine de la construction en bois.

Contactez notre équipe dès les premières étapes de conception de votre projet.

Notre équipe peut analyser avec vous les solutions en bois les mieux adaptées à votre projet.

**Visitez notre site Internet :
cecobois.com**

cecobois

2. Utilisation du bois dans les écoles primaires : le contexte québécois

Ce guide constitue une étape de plus vers une meilleure intégration du bois dans les écoles primaires québécoises.

En 2017, **cecobois** a organisé plusieurs séminaires afin de démontrer les différentes possibilités d'utilisation du bois dans les écoles. Plusieurs projets d'écoles ont par la suite été lancés, et **cecobois** a suivi de près ces réalisations. L'analyse de ces projets a permis de constater des variations importantes entre les projets en matière d'utilisation du bois. Des études réalisées pour **cecobois** ont par la suite démontré que l'utilisation du bois, en tant que solution innovante, dépend grandement de la **volonté des centres de services scolaires** et que la **méconnaissance du bois** dans les équipes internes peut être un frein à son utilisation. Un comité composé de professionnels et de partenaires de **cecobois** a ainsi recommandé la rédaction d'un guide sur l'utilisation du bois pour la construction des écoles primaires.

Des actions sont aussi menées par le ministère de l'Éducation (MEQ) depuis plusieurs années. D'une part, le MEQ, accompagné de plusieurs autres ministères, a adopté la Charte du bois^[1], qui exige que l'option bois soit évaluée à l'étape d'avant-projet de tous les projets financés en tout ou en partie par des fonds publics. D'autre part, le MEQ a publié le tout premier Guide de planification immobilière pour les établissements scolaires primaires^[2]. Ce document énonce les principes directeurs qui devront gouverner la conception et la construction des écoles primaires du Québec, afin de favoriser la réussite éducative. Le ministère exige par exemple l'atteinte d'un **cycle de vie de 75 ans** pour les prochaines écoles, alors qu'il avait successivement été fixé à 40 ans puis à 25 ans depuis 1949. Le MEQ confirme également dans ce document sa **volonté d'utiliser le bois dans les écoles primaires**.

Le MEQ et 14 ministères et organismes membres du Comité interministériel de haut niveau sur l'exemplarité en construction bois sont d'ailleurs appelés à déterminer des actions concrètes à réaliser pour atteindre les objectifs de la **Politique d'intégration du bois dans la construction**. Ces actions permettront d'accroître la place du bois dans les bâtiments publics tout en accélérant le verdissement du parc immobilier gouvernemental et en contribuant au développement économique du Québec^[37].

3. Une vision pour nos écoles primaires

Belles, fonctionnelles, distinctives, évolutives et durables. Voilà la vision du ministère de l'Éducation de ce que seront les écoles primaires quand le grand chantier de rénovation et de construction entamé sera terminé^[2].

Le matériau bois a toutes les qualités nécessaires pour s'inscrire dans cette vision. Le bois est un matériau issu d'une **ressource naturelle et locale** dont **l'impact environnemental**, qui peut désormais être mesuré à l'aide d'outils spécifiques, est moindre par rapport aux autres matériaux de construction souvent utilisés en structure, soit le béton ou l'acier. De plus, il peut avoir une influence positive **sur la santé et le bien-être** des élèves et du personnel scolaire grâce à la biophilie. La flexibilité, la polyvalence et l'esthétique du matériau bois peuvent également contribuer à rehausser l'architecture des écoles, comme les différents systèmes structuraux et produits de revêtement disponibles sur le marché peuvent convenir à une multitude de projets et de besoins.

Le caractère naturel du bois lui confère des **propriétés physiques et chimiques spécifiques** qu'il faut savoir maîtriser dans les projets de construction. Ce guide les présente pour que les parties prenantes dans la conception et la construction d'une école en bois les prennent en considération dans leurs actions.

4. Pourquoi construire en bois ?

Utiliser davantage de bois dans les écoles primaires signifie :

- **Des écoles axées sur le bien-être et le confort des élèves**, ce qui a une incidence directe sur leur niveau de stress et leur concentration ;
- **Des écoles plus écologiques**, qui enseignent aux futures générations l'importance de prendre soin de l'environnement ;
- **Des écoles polyvalentes**, puisque le bois est un matériau qui offre une grande flexibilité de conception ;
- **Des écoles plus économiques**, grâce à une structure à ossature légère ou à l'optimisation des constructions massives en bois ;
- **Des écoles durables** qui résistent au passage du temps et à l'usure ;
- **Des écoles sécuritaires** qui offrent une bonne résistance au feu.



4.1. Le bois pour favoriser le bien-être et le confort des élèves

L'environnement dans lequel évoluent les élèves a une incidence directe sur leur comportement et **leur capacité d'apprentissage**. Une étude citée dans le Guide de planification immobilière du ministère de l'Éducation du Québec et réalisée par l'Université de Salford à Manchester en 2015 **évalue à 16 % l'influence des locaux pédagogiques sur le progrès d'un élève** au cours d'une année scolaire, notamment en lecture, en écriture et en mathématiques [3]. Cette étude montre l'importance d'aménager les salles de classe, qui sont le principal lieu d'apprentissage de l'élève, de sorte à y retrouver :

- **Des éléments évoquant des conditions naturelles** (apport généreux en lumière naturelle, température contrôlée, bonne qualité de l'air, bonne insonorisation, lien avec la nature) ;
- **Des éléments favorisant un sentiment d'individualisation** (flexibilité et appropriation de l'espace) ;
- **Des éléments stimulants** (complexité visuelle, couleurs).

Le bois comprend plusieurs caractéristiques qui permettent de répondre à ces préoccupations dans la construction ou l'agrandissement d'écoles primaires :

- Son caractère naturel **qui favorise la biophilie** ;
- Son aspect grandement **esthétique** ;
- Ses propriétés **acoustiques** ;
- La capacité des systèmes structuraux en bois de permettre un apport généreux en **lumière naturelle** par de grandes ouvertures sur l'extérieur.

4.1.1. Un matériau biophilique reconnu

La nature et les éléments naturels ont de nombreux effets bénéfiques sur les enfants. La nature est en effet perçue par ceux-ci comme un environnement protecteur. Une étude réalisée en 2003 auprès de 337 enfants âgés d'environ 9 ans a démontré que la nature diminuait non seulement leur niveau de stress, mais les aidait également à sociabiliser. **La présence d'éléments naturels comme le bois dans l'aménagement**

des écoles, plus particulièrement des salles de classe, permettrait donc de recréer dans les écoles les effets bénéfiques de la nature [41]. Ceci est d'autant plus important de nos jours, dans un contexte où la technologie est très présente dans la vie des élèves et qu'ils passent de moins en moins de temps à l'extérieur.

Le phénomène selon lequel le bois génère un sentiment de bien-être porte d'ailleurs un nom : la biophilie. Formée à partir de la racine grecque « bio » (vie) et du suffixe « phile » (qui aime), la biophilie est donc le fait d'aimer le vivant [38]. En architecture, elle désigne une conception qui se rapproche ou qui imite les conditions d'un environnement naturel. La lumière naturelle, les plantes, l'eau, les paysages naturels, les sons de la nature de même que des matériaux naturels tels que le bois sont tous des éléments qui permettent de répondre au besoin biophilique de l'être humain.

Qu'est-ce que la biophilie?

Formée à partir de la racine grecque « bio » (vie) et du suffixe « phile » (qui aime), la biophilie désigne la **tendance innée à chercher des liens avec la nature et avec le vivant**.

En architecture, elle désigne une conception qui se rapproche ou qui imite les conditions d'un environnement naturel.

Les bienfaits de la biophilie sont démontrés par de nombreuses études. On constate notamment chez l'humain une **réduction du stress**, une **diminution de la pression artérielle** [4][5][6], une **diminution du rythme cardiaque** [7], une **accélération de la convalescence** [8], une **diminution de la perception de la douleur** [9], une **augmentation de la créativité** [10], **de la concentration et de l'attention** [11][12], une **meilleure humeur ou encore une diminution de l'agressivité** [13].

Le bois est unique en tant que matériau de conception biophilique, car en plus de pouvoir être utilisé comme revêtement de mur, de plancher ou de plafond, il peut être utilisé en tant que matériau structural apparent, remplissant ainsi plusieurs rôles. L'utilisation du bois à l'intérieur des bâtiments s'avère une option particulièrement intéressante pour étendre les bienfaits biophiliques aux pièces dans lesquelles la lumière naturelle et les vues sur l'extérieur sont limitées.



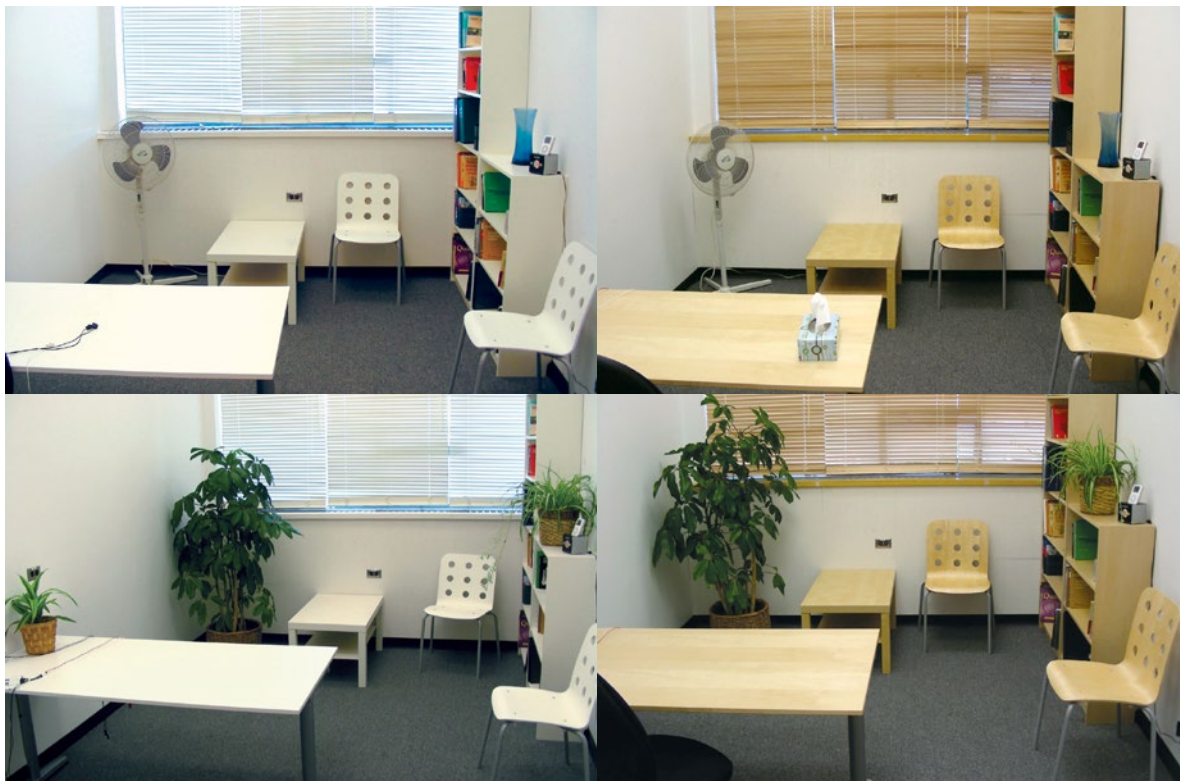
École Sans-Frontières, Saint-Jérôme (Photo : Stéphane Brugger)

4.1.1.1. Réduction du stress

Plusieurs études ont démontré que le niveau de stress des élèves diminue lorsque des éléments en bois sont intégrés dans une pièce.

Une étude de l'Université de Colombie-Britannique et de FPInnovations a établi que la présence de surfaces visuelles en bois dans une pièce permet de **réduire l'activation du système nerveux sympathique (SNS)**, responsable de réactions physiologiques dues au stress autant avant qu'après une activité intellectuelle intense ^[14].

Dans cette étude, les étudiants ont chacun été assignés à l'un des quatre environnements suivants : un intégrant des éléments en bois et des plantes, un avec des éléments de bois, mais sans plante, un dénudé de bois et de plante ainsi qu'un sans bois apparent, mais décoré de plantes. Les participants ont dû effectuer une tâche de performance de bureau, sans être informés que les effets des matériaux étaient à l'étude. À toutes les étapes de l'étude, les candidats ayant été soumis à un environnement comportant des éléments en bois avaient un **niveau de stress plus faible** que les autres.



Les quatre environnements de l'étude réalisée par David Fell, FPInnovations

Ces résultats ont été corroborés par une étude autrichienne (Kelz et coll., 2011) réalisée dans une école secondaire ^[15]. Pour les fins de cette étude, l'état de santé des élèves de deux classes avec des murs en bois massif apparents et des planchers en chêne a été comparé à celui d'élèves de deux autres classes avec seulement quelques meubles en bois, soit les pupitres et une bibliothèque située au fond de la classe. Les chercheurs ont mesuré le stress relié aux activités scolaires en surveillant le rythme cardiaque des élèves tout au long de l'été 2008 et de l'année scolaire 2008/2009. Ces données ont également été comparées à celles prélevées pendant les congés scolaires.

L'étude a démontré que le rythme cardiaque des élèves qui ont étudié dans les classes en bois **a diminué tout au long de l'année scolaire**, alors qu'il avait augmenté pour les élèves des autres classes.



Les deux classes utilisées dans l'étude autrichienne
(Photos : Kreiner)

4.1.1.2. Un plus grand confort

En plus d'offrir une ambiance chaleureuse, les surfaces en bois dans une pièce la rendraient davantage appréciée et plus confortable que celle n'en offrant aucune, selon une étude menée à l'Université Laval ^[17]. En comparant deux salles de réunion sur le campus, l'une avec bois apparent et l'autre sans, les chercheurs ont remarqué que même si les mesures de température, de bruit, d'humidité et de concentration en dioxyde de carbone étaient sensiblement les mêmes dans les deux pièces, le niveau de satisfaction des usagers était plus élevé dans la salle en bois. Les participants ont perçu la salle en bois comme étant plus lumineuse, agréable, moderne, chaleureuse, saine, invitante, reposante, confortable et stimulante que celle n'ayant aucun produit d'apparence en bois.

4.1.2. Un matériau esthétique

Les différents revêtements ou éléments structuraux en bois exposés permettent de rehausser l'apparence d'une pièce en créant une **ambiance riche et chaleureuse**. Le bois est grandement apprécié autant par les professionnels de la construction que par les usagers pour ses qualités esthétiques. Les architectes le recommandent fréquemment pour rehausser l'apparence visuelle et créer une ambiance chaleureuse. Les différentes essences de bois et les finis offerts s'adaptent aisément à tous les styles de décors, du plus classique au plus contemporain.



École Sans-Frontières, Saint-Jérôme
(Photo : Stéphane Brugger)

4.1.3. De bonnes propriétés acoustiques

L'acoustique est un élément primordial dans une école primaire : une mauvaise performance acoustique dans les locaux, en particulier les salles de classe, a des conséquences néfastes sur l'écoute et la concentration des élèves. C'est pourquoi il est important de prendre en compte cet aspect au moment de faire les choix de conception et de matériaux.

Le matériau bois est souvent associé à l'acoustique en musique, servant depuis longtemps à fabriquer des instruments. Comme pour tout instrument, un bon réglage est nécessaire afin que l'utilisation du bois dans les bâtiments permette d'atteindre la performance acoustique souhaitée. La **section 8.3. Assurer une bonne performance acoustique** présente les particularités acoustiques du bois ainsi que plusieurs solutions performantes.



Plafonds acoustiques en bois perforé, école de l'Everest, Québec
(Photo : Joël Gingras)

4.1.4. Des solutions pour plus de luminosité

Près d'une vingtaine d'études réalisées entre 1934 et 1999 ont permis de démontrer que la présence abondante de lumière naturelle dans les classes avait un impact important sur les résultats scolaires, la présence en classe, le bon comportement et la rapidité d'apprentissage des élèves ^[17]. Une étude américaine de 1999 a notamment démontré que l'apport de lumière naturelle pouvait améliorer les notes d'élèves d'écoles primaires de plus de 20 % ^[18].

Certains systèmes de construction en bois, comme le système poteaux-poutres (**voir section 5.2.1**), permettent de grandes surfaces d'ouverture qui offrent un large apport de lumière naturelle.

De plus, certains produits tels que les murs-rideaux en bois permettent un important apport de lumière tout en laissant le bois apparent grâce à l'utilisation du bois comme support des ouvertures. Certains sont même fabriqués par des entreprises québécoises.

Il est également possible d'installer des murs-rideaux en aluminium standards sur des structures en bois lamellé-collé conventionnelles.

4.1.5. Un produit aux bonnes propriétés hygiéniques

Depuis les années 1960, les **propriétés hygiéniques** du bois font débat, et le bois est souvent exclu de plusieurs secteurs. Pourtant, des études démontrent que le bois peut avoir de bonnes propriétés hygiéniques.

Des chercheurs allemands ont ainsi étudié la survie des bactéries *E. coli* et *E. faecium* sur différentes essences de bois (pin, épinette, mélèze, hêtre, érable, peuplier et chêne) et sur le plastique. Les résultats ont montré que la survie des bactéries était différente selon l'essence de bois utilisée. Le pin et le chêne ont ainsi présenté des performances hygiéniques nettement supérieures au plastique et auraient un effet antibactérien grâce à la combinaison de leurs propriétés hygroscopiques et à l'effet de leurs **extractibles**, ces matières présentes en quantités plus ou moins importantes (résines, tanins, etc.) dans le bois ^[19].



Mur-rideau en bois, Base de plein air de Sainte-Foy, Québec
(Photo : Manophotographie)



Usine Horisol, Saint-Jean-Port-Joli
(Photo : Dave Tremblay)

4.2. Le bois pour réduire l'empreinte environnementale des bâtiments

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.

4.2.1. Un matériau issu d'une ressource renouvelable

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 [20].

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 [39].

4.2.2. Un matériau produit et récolté localement

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.

4.2.3. Un matériau peu émetteur de GES

La fabrication des produits du bois émet peu de GES. La transformation des produits du bois se positionne en effet comme étant la moins émettrice par rapport aux autres matériaux de construction les plus utilisés, soit l'acier et le béton.

Pour donner une base comparative valable entre les trois matériaux, on peut comparer une poutre sur appui simple avec un cas de chargement standard (14,4 kN/m) et une portée standard (7,3 m) à l'aide du logiciel Gestimat, reconnu pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la fabrication des matériaux de structure. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant :

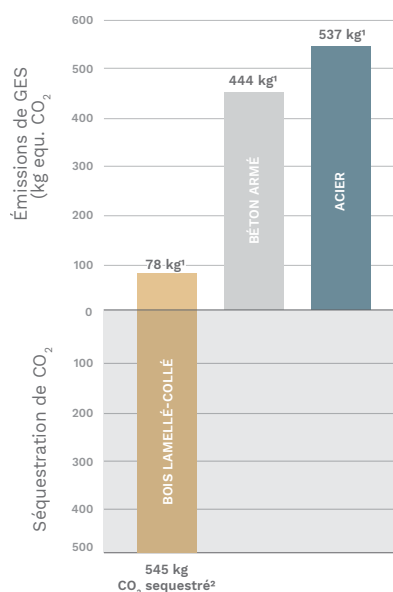
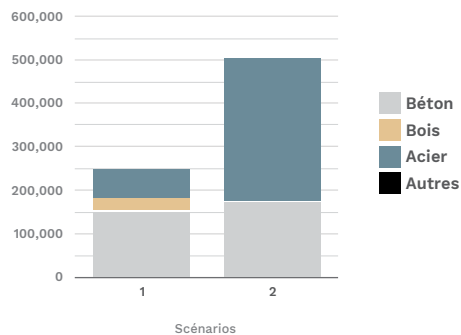


Figure 1 • Émissions de GES liées à la fabrication calculées avec Gestimat (estimées en fonction de la composition du bois pour une masse volumique de 420 kg/m³)

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

Afin de présenter les avantages environnementaux d'une structure en bois par rapport à une structure utilisant des matériaux plus émetteurs de GES, une analyse des émissions de GES a été réalisée sur un projet réel d'école primaire, à Montréal. Cette analyse a démontré que l'agrandissement en bois permettait d'éviter près de la moitié des émissions de GES liées à la fabrication des matériaux de structure, soit une réduction de **254 t éq. CO₂** ou de 104 kg éq. CO₂/m² de plancher. Cette quantité de GES évitée est l'équivalent de **200 voitures en moins sur la route pendant un an** ^[36].

Émissions de GES par matériau
(kg éq. CO₂)



Émissions de GES par système constructif
(kg éq. CO₂)

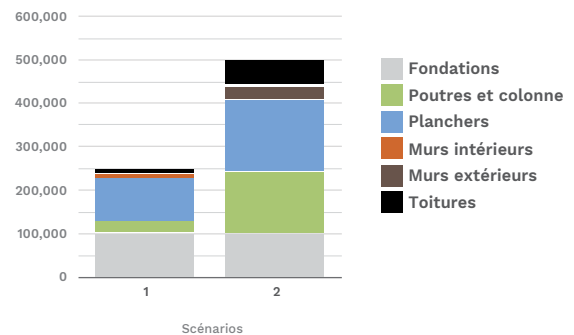


Figure 2 • Comparaison des émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement en bois du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin et de son comparable en acier



Agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin
(Dessin : Smith Vigéant + BGLA)

La section 10. ANNEXE Analyse Gestimat du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin présente en détail le projet et la méthodologie de l'étude.

4.2.4. Un matériau qui séquestre le carbone

Le bois est l'un des seuls matériaux de construction à emmagasiner du carbone pendant sa croissance et à le conserver durant toute la durée de vie du bâtiment. On estime que 1 m³ de bois utilisé permet de séquestrer près d'une tonne de CO₂.

Cette caractéristique du bois s'explique par le processus de photosynthèse des arbres, desquels il est issu. Au cours de sa vie utile, l'arbre absorbe le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère et le transforme en oxygène (O₂). L'arbre utilise ensuite le carbone (C) du CO₂ pour constituer sa matière (le bois) et croître.

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

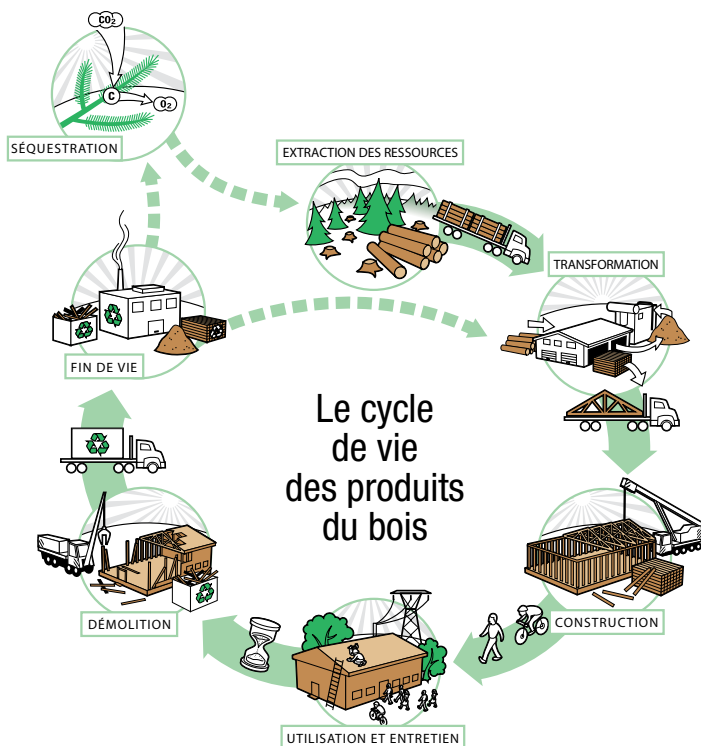


Figure 3 • Cycle de vie des produits du bois.

4.3. Le bois, une solution flexible et polyvalente

Le Code du bâtiment permet d'utiliser largement le matériau bois dans tous les espaces des écoles primaires (salles de classe, gymnase, lieux de convergence, etc.), que ce soit en structure ou en revêtement.

La section 7. Les possibilités du Code présente en détail les possibilités d'utilisation du matériau bois dans les écoles primaires du Québec selon le Code du bâtiment.

4.4. Le bois, une solution économique et rentable

Le bois peut parfois s'avérer plus cher que d'autres matériaux de construction. Cependant, les avantages connexes d'une structure en bois, comme l'isolation thermique supérieure et la réduction des éléments de finition, peuvent rendre l'option en bois particulièrement intéressante économiquement d'un point de vue global dans un projet. De plus, la construction à ossature légère en bois est l'une des plus économiques qui soient.

4.4.1. L'ossature légère en bois, hautement économique

Le système de construction à ossature légère en bois est le plus économique qui soit, tous matériaux confondus. Ceci s'explique notamment par le fait qu'il utilise du bois de sciage (2 x 4 ou 2 x 6) et du bois d'ingénierie, des matériaux de construction abondants et économiques. La grande disponibilité des produits sur le marché ainsi que le grand nombre de fabricants assurent également une fluidité d'approvisionnement [12].

À titre d'exemple, les stations-service Ultramar ont décidé de passer de l'ossature métallique à l'ossature légère en bois en 2009. Ce faisant, elles ont constaté une réduction des coûts de construction de 28 % ainsi qu'un gain en temps de construction de 70 % [13].



Ultramar, Mascouche (Photo : Maison Laprise)

4.4.2. Une installation simplifiée et rapide au chantier

En raison du haut degré de préfabrication des éléments structuraux en bois, le montage de la structure au chantier est accéléré et simplifié. Les composants sont préusinés et peuvent être assemblés facilement au chantier.



© Photo : Stéphane Groleau

4.4.3. Une isolation thermique supérieure

L'isolation thermique est souvent supérieure dans un bâtiment en bois comparativement à un bâtiment en acier ou en béton, en raison notamment de la grande capacité isolante du bois. En effet, le bois est 500 fois plus isolant que l'acier et 7 fois plus isolant que le béton. L'utilisation d'une charpente en bois réduit donc les pertes de chaleur dues aux ponts thermiques. Cette diminution du transfert de chaleur à travers les parois des bâtiments réduit la consommation d'énergie pour le chauffage et la ventilation, tout en augmentant le confort des usagers. Des murs isolés en bois permettent ainsi d'atteindre plus facilement les valeurs de résistance thermique des normes les plus strictes en matière d'efficacité énergétique.

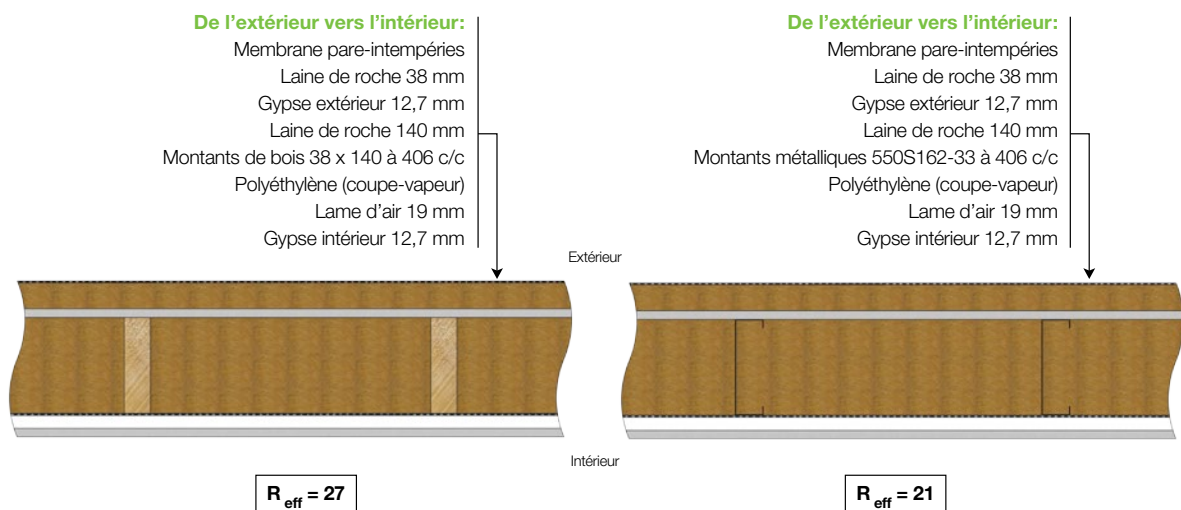


Figure 4 • Comparaison de la résistance thermique entre une ossature de bois et une ossature métallique

Source: Calculatrice U-Wert (www.u-wert.net)

4.4.4. Une réduction des éléments de finition

Vu leur résistance naturelle au feu, les structures en bois lamellé-collé ou en bois lamellé-croisé peuvent être laissées apparentes, si bien qu'elles nécessitent moins d'éléments de finition que les autres systèmes structuraux. De plus, le bois laissé apparent apporte chaleur et esthétisme au bâtiment, lui procurant une valeur ajoutée.

La possibilité de laisser la structure (et la mécanique du bâtiment) apparente permet également de réduire les épaisseurs de plancher en supprimant les faux plafonds. Ceci a pour effet de donner des espaces intérieurs tout aussi hauts, mais d'économiser sur les matériaux de finition et d'enveloppe.

4.5. Le bois, un matériau durable qui traverse le temps

Le ministère de l'Éducation exige désormais une durée de vie minimale de 75 ans pour les écoles primaires. Il est tout à fait possible de préserver les éléments en bois pendant cette période, et même davantage. Lorsque les principes de protection de base sont appliqués, les bâtiments en bois peuvent devenir millénaires.

En effet, nombreux sont les bâtiments en bois qui ont su perdurer plusieurs centaines d'années. Voici quelques exemples :



Temple Todai-ji (vers 752) (Photo : cecobois)



Temple Horyu-ji (vers 710) (Photo : 663highland)



Église Stavkirke de Heddal (vers 1250) (Photo : Micha L. Rieser)



Butler Square (1906) (Photo : McGhievery)

La section 8.1. Assurer la durabilité des structures en bois présente les principes de protection de base à appliquer pour assurer la durabilité des bâtiments en bois.

Certains produits en bois peuvent également être indiqués dans des endroits de grande circulation, comme les corridors. Par exemple, dans le cas du centre de rééducation One Kid's Place de North Bay, en Ontario, réalisé par Mitchell Jensen Architects, des rails en érable ont été installés dans le bas des murs afin d'éviter que ceux-ci ne soient endommagés par les fauteuils roulants des patients, un détail à la fois élégant et durable.

4.6. Le bois, un matériau sécuritaire

Peu importe le matériau utilisé, les constructions doivent être conformes à un certain degré de résistance au feu (60, 90 ou 120 minutes par exemple) afin de contenir l'incendie dans la pièce d'où il provient, d'en empêcher la propagation et d'ainsi permettre l'évacuation des occupants et l'intervention des pompiers. Les structures en bois ne font pas exception et doivent donc être conformes à ces exigences. D'une part, les éléments en bois de grandes dimensions résistent bien à la chaleur et peuvent parfois être laissés apparents et d'autre part, les murs à ossature légère en bois peuvent facilement atteindre le degré de résistance au feu requis grâce à un recouvrement en gypse. Une récente étude révèle d'ailleurs que le choix d'un matériau de construction n'a pas d'incidence sur le niveau de sécurité en cas d'incendie, à condition que des gicleurs et des détecteurs de fumée permettent d'offrir une protection efficace ^[40].

La **résistance au feu** est un concept très important dans les bâtiments. Il est essentiel de ne pas confondre le concept de « résistance au feu » et celui d'« **incombustibilité** » des matériaux. Le **degré de résistance au feu** est défini dans le Code de construction du Québec comme « le **temps** en minutes ou en heures pendant lequel un matériau ou une construction **empêche le passage des flammes** et la **transmission de la chaleur** dans des conditions déterminées d'essais et de comportement, ou tel qu'il est déterminé par interprétation ou extrapolation des résultats d'essais comme l'exige le CNB » (Code national du bâtiment). De manière générale, l'**incombustibilité** d'un matériau est associée à la limitation de la propagation du feu. Un matériau qui ne s'enflamme pas ne peut pas contribuer à la propagation du feu ^[28].

Le bois est certes un matériau combustible, mais il permet d'obtenir une bonne résistance au feu. En effet, lors d'un incendie, le bois carbonise en surface, créant une couche de carbonisation qui isole la partie résiduelle de la chaleur, comme présenté sur la **Figure 5**. Sous la couche de carbonisation, les résistances sont peu touchées. La fonction structurale des éléments en bois est donc toujours assurée, à condition que la section de bois résiduelle soit suffisante.

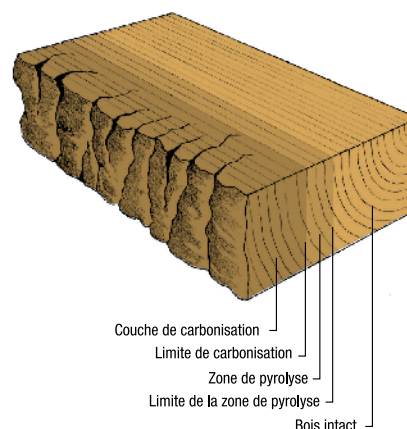


Figure 5 • Couche de carbonisation (adapté de CSA O177)

La vitesse de combustion unidirectionnelle du bois est prévisible : **0,65 mm/min**, soit environ 39 mm par heure. L'annexe B de la norme CSA O86 ^[29] permet ainsi aux ingénieurs de déterminer la section résiduelle des éléments en bois en condition d'incendie et de déterminer leur résistance.

D'autres stratégies peuvent être utilisées pour fournir la résistance au feu requise. L'encapsulation des éléments en bois dans des couches protectrices permet ainsi d'en retarder la combustion. Les panneaux de gypse représentent la solution la plus courante. Cette stratégie est utilisée dans la construction en ossature légère à cause des petites dimensions des éléments de bois. La législation l'exige également dans les bâtiments de grande hauteur en bois.

La section 7. Les possibilités du Code présente en détail le comportement du bois en cas d'incendie et les exigences du Code pour la construction des écoles primaires au Québec.

5. Choisir le bon système structural

Plusieurs systèmes structuraux en bois, tels que la construction à ossature légère, le système poteaux-poutres ou la construction en panneaux massifs en bois, permettent d'exploiter efficacement le matériau bois comme matériau de structure. Chacun possède des caractéristiques et des avantages différents. Plusieurs de ces systèmes structuraux font partie de la construction massive en bois, qui se distingue de la construction à ossature légère par les grandes dimensions des éléments qui la composent. Il est possible de combiner les systèmes structuraux en bois entre eux et avec d'autres matériaux comme l'acier et le béton afin d'exploiter les forces de chacun.



École Riverside, Arvida (Photo: Ulysse Lemerise)

cecobois tient sur son site Internet un répertoire de fournisseurs, classés par type de système constructif ou type de composant (murs, fermes de toit, panneaux en bois massif, etc.).

5.1. Construction à ossature légère en bois

Avantages

Économie

Légèreté

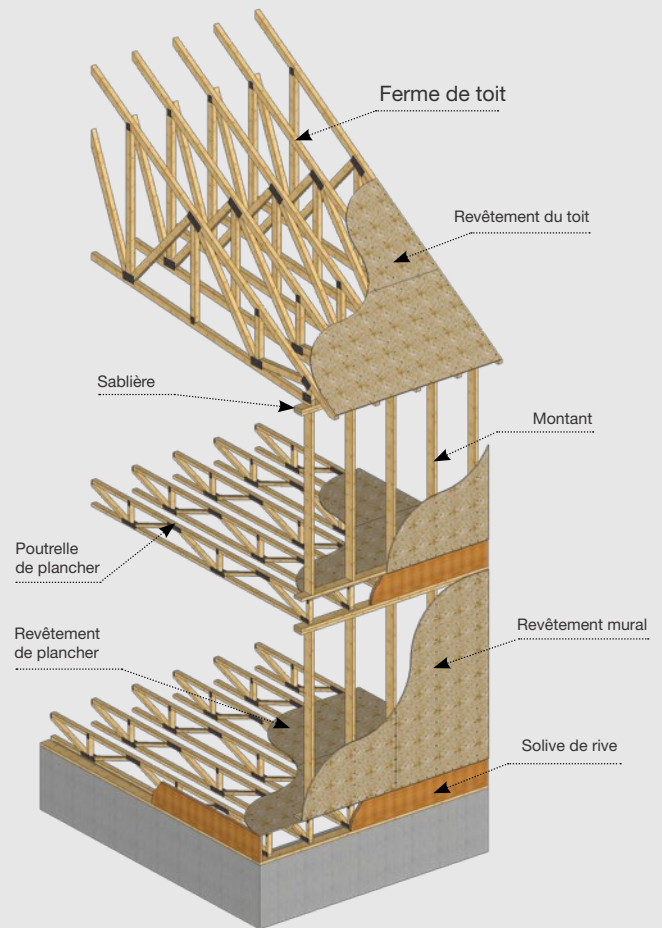
Disponibilité des matériaux

La construction à ossature légère en bois est **solidement implantée au Québec** depuis de nombreuses années. Ceci est notamment dû au fait qu'elle est largement utilisée dans les constructions résidentielles.

Sa grande popularité est attribuable à sa **simplicité**, à sa **facilité de montage**, à son **faible coût**, à la **disponibilité des produits** ainsi qu'à la **main-d'œuvre qualifiée facilement accessible**.

Depuis plus de 50 ans, différents produits en bois d'ingénierie sont apparus sur le marché comme les **fermes de toit** et les **poutrelles de plancher préfabriquées**, les **panneaux de bois** (contreplaqué et OSB), ainsi que les **poutres et colonnes en bois de charpente composite** (LVL, PSL, LSL). Ces produits ont ainsi contribué à accroître la performance du système de construction à ossature légère.

La construction à ossature légère se prête très bien à la **préfabrication** en usine. On pense évidemment aux structures de toit et de plancher avec fermes et poutrelles qui permettent de réaliser des structures complexes. Économiques et avec de grandes portées, elles offrent au concepteur beaucoup de flexibilité. La préfabrication des systèmes de murs, de fermes de toit et de poutrelles de plancher en usine permet également de réduire le temps d'exécution au chantier. Actuellement, il existe une trentaine de fabricants de murs préfabriqués au Québec.



Construction à ossature légère en bois

Performance structurale

Malgré l'appellation d'ossature légère, ce type de construction est très résistant et efficace. Les fermes de toit peuvent atteindre une portée de 24,4 m (80 pi) et les murs, une hauteur de 4,88 m (16 pi). Lorsque les charges l'imposent, il est possible d'utiliser du bois classé mécaniquement (MSR).

Par son efficacité structurale, l'utilisation de pièces de bois de dimensions courantes et son installation facile et rapide au chantier, l'ossature légère représente une solution des plus économiques. On peut fabriquer en usine des murs de 4,88 m (16 pi) de haut pourvu qu'ils ne dépassent pas 3,66 m (12 pi) de long. On peut également fabriquer des murs de 2,44 m (8 pi) à 3,66 m (12 pi) de haut et jusqu'à 12,2 m (40 pi) de long en une seule pièce.

Légèreté

Comme son nom l'indique, un avantage important de l'ossature légère est sa légèreté : qui dit légèreté dit moins de charge sur les fondations. Et qui plus est, les charges sismiques se trouvent aussi réduites.

Préfabrication en usine

Avec des équipements de haute technologie, la fabrication en usine assure un produit de qualité uniforme, avec un niveau de précision élevé, et ce, dans de courts délais. Elle accélère également l'érection du bâtiment au chantier.



Installation de fermes de toit préfabriquées pour l'usine de CMAC Thyssen (Photo : Paul Brindamour)

Les éléments structuraux à ossature légère en bois sont généralement recouverts par des panneaux de gypse et ne sont plus apparents lorsque le bâtiment est en service. Toutefois, ils peuvent être laissés apparents dans certains projets, pour un aspect esthétique et original.



Fermes de toit en bois apparentes dans les bureaux de STGM, Québec (Photo : Stéphane Groleau)

La 2^e édition du *Guide technique sur la construction de bâtiments à ossature légère en bois* présente plus en détail ce système de construction ainsi que ses composantes ^[21].

Produits utilisés

Bois de sciage (bois de dimension)

Le bois de dimension est un produit de première transformation du bois. Les éléments en bois de dimensions nominales 2 × 3, 2 × 4, 2 × 6 et jusqu'à 2 × 12 font partie de cette catégorie de produits. Plusieurs essences, classes et longueurs sont disponibles selon l'application. Ces éléments sont principalement utilisés dans les compositions de murs, de planchers ou de toitures. Le groupe d'essences le plus utilisé dans la construction à ossature légère au Québec est l'EPS (épinette-pin-sapin). Il existe plusieurs classes de résistance pour ce type de produit. Les pièces peuvent être classées visuellement, mais aussi par machine pour une meilleure précision et une optimisation de la matière première.



Contreplaqué

Les panneaux de contreplaqué sont composés de placages minces obtenus par déroulage de billes de bois qui sont ensuite collés perpendiculairement afin de leur conférer de meilleures propriétés. Plusieurs épaisseurs et dimensions sont disponibles. Les essences les plus courantes qui composent le contreplaqué sont l'EPS et le sapin de Douglas.



Panneaux de lamelles orientées (OSB)

Les panneaux de lamelles orientées, aussi connus sous leur nom anglophone *oriented strand board* (OSB), sont constitués de minces copeaux de bois, généralement de bouleau ou de peuplier faux-tremble, et d'un adhésif. Le tout est pressé et chauffé pour donner un panneau dense et solide. Le panneau compte généralement trois couches où les copeaux sont orientés perpendiculairement pour accroître les propriétés mécaniques. Les panneaux OSB sont offerts en plusieurs épaisseurs et dimensions. Ils sont utilisés dans les murs de refend et les diaphragmes. Leurs excellentes propriétés mécaniques leur permettent de se substituer au contreplaqué. La principale différence entre les deux types de panneaux est leur comportement face à l'exposition à l'eau : l'OSB a tendance à gonfler de façon plus rapide et importante que le contreplaqué.



Bois de placage stratifié (LVL)

Du nom anglais *laminated veneer lumber* (LVL), le bois de placage stratifié est aussi fabriqué à partir de placages de bois. Contrairement au contreplaqué, les placages minces sont tous orientés dans la même direction et les produits sont disponibles dans de plus grandes épaisseurs. Les LVL sont surtout utilisés dans les endroits où la résistance du bois de dimension n'est pas suffisante (linteaux par exemple). En plus d'avoir de meilleures propriétés mécaniques, les LVL ont aussi une meilleure stabilité dimensionnelle que le bois de dimension.



Bois à copeaux parallèles (PSL) et bois de longs copeaux laminés (LSL)

Le PSL (*parallel strand lumber*) et le LSL (*laminated strand lumber*) sont aussi des éléments en bois qui présentent des avantages par rapport au bois de dimension pour certaines applications. Ils sont tous deux fabriqués à partir de copeaux, le PSL avec des copeaux épais et le LSL avec des copeaux minces. Ils sont utilisés en remplacement du bois de sciage traditionnel pour la fabrication de composants tels que les linteaux, poutres, solives de rive et montants de mur de grande hauteur. Ils existent en plusieurs dimensions, longueurs et classes.



Poutrelles en I

Les poutrelles en I sont composées d'un panneau OSB en âme et de deux semelles en bois de dimension ou en LVL. Ces poutrelles sont utilisées dans les compositions de planchers. La forme de la poutrelle en I lui procure de bonnes propriétés mécaniques tout en optimisant le matériau. Plusieurs hauteurs, classes et longueurs de poutrelles en I sont offertes, et il est possible de faire des usinages dans l'âme de la poutrelle pour passer la mécanique du bâtiment, en suivant les recommandations du manufacturier.



Poutrelles ajourées

Les poutrelles ajourées sont composées de deux semelles en bois de dimension reliées généralement par des diagonales en bois. Cette géométrie permet d'optimiser le matériau tout en offrant des propriétés mécaniques intéressantes, notamment en flexion. Les poutrelles ajourées sont utilisées dans les compositions de planchers. Il est plus simple de faire passer les éléments de mécanique du bâtiment à travers une poutrelle ajourée en raison des diagonales. Les poutrelles ajourées sont également disponibles dans une vaste gamme de hauteurs, de portées et de longueurs. De plus, certains modèles permettent une adaptation facile en chantier grâce à leur âme pleine aux extrémités qui peut être coupée à la longueur souhaitée.



Fermes de toit

Les fermes de toits sont fabriquées à partir d'éléments en bois de dimension assemblés à l'aide de connecteurs métalliques. Elles sont fabriquées sur mesure selon les plans de l'équipe de conception. Ces fermes permettent des économies de temps au chantier et ont l'avantage d'être très légères.



Fermes de toit (Photo : Michel Lamontagne)

5.2. Construction massive en bois

Avantages

Esthétique

Bonne résistance au feu

Grandes portées

La construction massive en bois regroupe des systèmes structuraux qui, contrairement à la construction à ossature légère en bois, sont constitués d'éléments en bois de grandes dimensions. L'utilisation de pièces de grandes dimensions procure une bonne résistance au feu et offre la possibilité de laisser les structures en bois apparentes.

Le développement de nouveaux produits en bois d'ingénierie permet à ce type de construction de connaître une forte croissance. Par rapport aux éléments de grande dimension en gros bois d'œuvre, les éléments en bois d'ingénierie offrent de meilleures propriétés mécaniques et une meilleure stabilité dimensionnelle.

5.2.1. Système poteaux-poutres

Le système poteaux-poutres est caractérisé par l'assemblage d'éléments horizontaux (poutres) et verticaux (poteaux) de grandes dimensions. Les éléments structuraux sont généralement laissés apparents à l'intérieur des bâtiments, ce qui permet d'utiliser les avantages **esthétiques** du bois. De plus, l'absence de murs porteurs dans ce système structural permet de **grandes ouvertures** et **favorise l'apport de lumière naturelle** et les **vues vers l'extérieur**.

Bien que les éléments en gros bois d'œuvre soient encore utilisés dans ce type de construction, ils sont de plus en plus remplacés par des éléments structuraux en bois d'ingénierie dans les grands bâtiments. Le bois lamellé-collé est ainsi de plus en plus utilisé pour la construction en poteaux-poutres. Constitué de petits éléments en bois collés entre eux, il permet d'écarter les plus gros défauts, ce qui lui confère de meilleures propriétés mécaniques. De plus, l'humidité dans l'élément est mieux répartie et mieux contrôlée, procurant au bois lamellé-collé une meilleure stabilité dimensionnelle (**figure 6**).



Système poteaux-poutres, école Sans-Frontières, Saint-Jérôme (Photo: Stéphane Brügger)

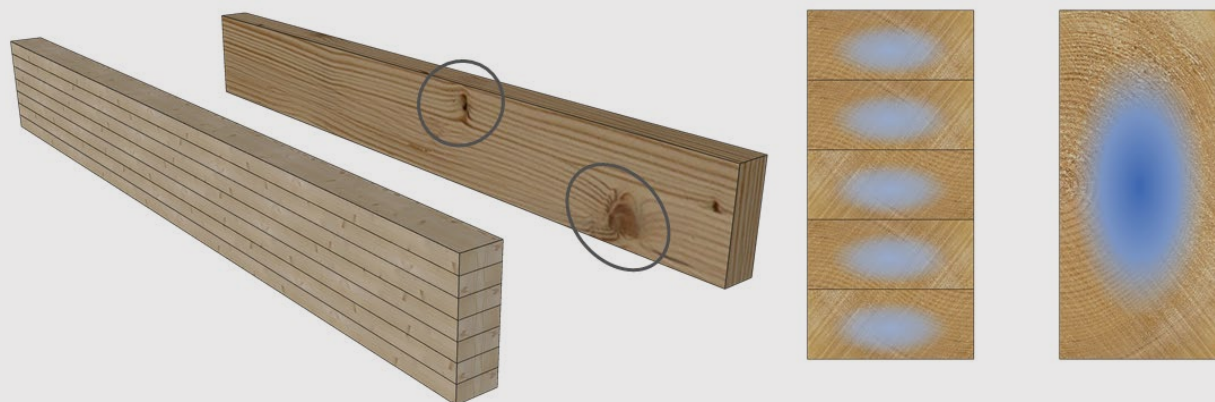


Figure 6 • Réduction et répartition des défauts dans le bois lamellé-collé par rapport au gros bois d'œuvre (à gauche) et meilleure répartition de l'humidité (à droite)

Produits utilisés

Gros bois d'œuvre (GBO)

Le gros bois d'œuvre est en fait du bois de dimension qui présente des sections plus importantes. Le bois de dimension est offert dans une gamme d'épaisseurs de 89 mm et moins, tandis que le gros bois d'œuvre se fait en épaisseurs de 114 mm et plus. Il est à noter que le bois de dimension est généralement séché en séchoir, tandis que le gros bois d'œuvre est séché à l'air seulement. Au Québec, les essences les plus utilisées pour le système poteaux-poutres sont le pin blanc, le sapin de Douglas (généralement importé de Colombie-Britannique ou de la côte ouest américaine) et, dans une moindre mesure, l'épinette.



Bois lamellé-collé (BLC)

Le bois lamellé-collé est constitué de plusieurs planches de bois d'œuvre aboutées et collées les unes aux autres, face contre face, sous pression, à l'aide d'un adhésif hydrofuge. Il a les mêmes fonctions que le gros bois d'œuvre, mais est plus stable dimensionnellement et plus résistant mécaniquement. Le BLC québécois est généralement fabriqué avec de l'épinette et du pin. Plusieurs dimensions, longueurs et classes de contraintes sont offertes. Le procédé de fabrication du lamellé-collé permet également de minimiser la perte de matière première.



Platelage en bois lamellé-collé

Le platelage est un produit complémentaire aux éléments de structure en poteaux-poutres. Également appelé pontage, il peut jouer à la fois le rôle de produit de finition et de structure d'un plancher ou d'un toit (il peut être visible sur la face inférieure, mais rarement sur la face supérieure). Le platelage peut aussi être utilisé comme un diaphragme lorsqu'un contreplaqué est cloué dessus, ce qui permet de résister à des flux de cisaillement importants et d'assurer le transfert des charges latérales aux poutres et/ou aux murs collecteurs. Il existe du platelage en bois massif et du platelage en lamellé-collé. Afin d'assurer une qualité de finition architecturale, les planches sont emboutées par rainure et languette ou feuillure.



5.2.2. Construction en panneaux massifs en bois

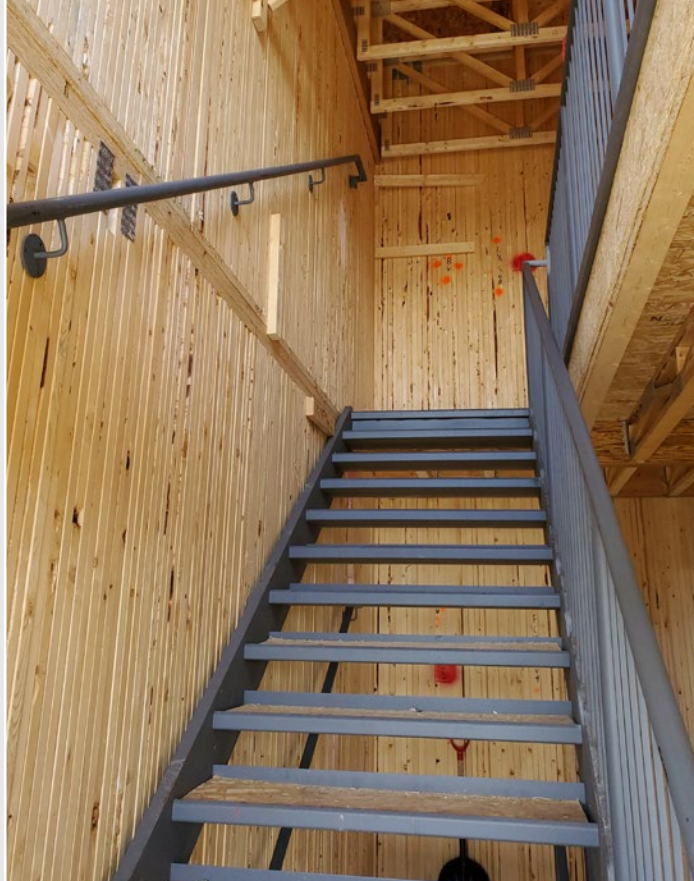
Avantages

Rapidité d'installation

Stabilité dimensionnelle

Les panneaux en bois massif sont constitués de pièces de bois d'œuvre jointes de différentes façons. Ces panneaux sont utilisés pour construire des planchers, des murs et des cages d'issue (escaliers ou ascenseurs).

Il existe plusieurs types de panneaux massifs en bois, tels que le bois lamellé-croisé (CLT, pour Cross Laminated Timber), le bois lamellé-cloué (NLT, pour Nail Laminated Timber) ou le bois lamellé-goujonné (DLT, pour Dowel Laminated Timber). Les fabricants fabriquent généralement sur mesure les panneaux selon les plans et devis des concepteurs. Les panneaux sont livrés sur le chantier avec tous les usinages nécessaires.



Cage d'issue en NLT durant la construction du projet Promenade des Forts, Québec (Photo : cecobois)

Bois lamellé-cloué (NLT, pour Nail Laminated Timber)

Les panneaux en bois lamellé-cloué (NLT, pour Nail Laminated Timber) sont composés d'éléments en bois d'œuvre juxtaposés et liés à l'aide de clous. L'approvisionnement de ce type de produit est facile, et ces panneaux peuvent être fabriqués par l'entrepreneur. Si des usinages sont requis (coupes, perçages, percements, etc.), il faut toutefois porter attention aux clous qui peuvent rendre la tâche difficile. Le NLT peut créer un effet esthétique intéressant lorsqu'il est utilisé comme platelage. Des valeurs de résistance pour ce type de produit sont fournies dans le Manuel de calcul des charpentes en bois et la norme CSA O86 ^[29], et des ressources complémentaires ont été publiées afin de fournir aux concepteurs des principes de calcul ^[42].



Produits utilisés

Bois lamellé-croisé (CLT, pour Cross Laminated Timber)

Les panneaux en bois lamellé-croisé sont composés de plusieurs couches perpendiculaires de bois d'œuvre jointes à l'aide d'un adhésif structural. Selon l'épaisseur et le nombre de plis des panneaux en CLT, la disposition perpendiculaire des différentes couches peut permettre de supporter les charges appliquées dans deux directions (longueur et largeur). Le bois lamellé-croisé, qui se caractérise aussi par sa stabilité dimensionnelle et sa bonne résistance au feu, est constitué de trois jusqu'à neuf épaisseurs de planches. Ces panneaux peuvent être utilisés pour construire des murs, des planchers ou des toitures.



Bois lamellé-goujonné (DLT, pour Dowel Laminated Timber)

Les panneaux en bois lamellé-goujonné (DLT, pour Dowel Laminated Timber) sont composés d'éléments en bois d'œuvre juxtaposés et liés à l'aide de goujons de bois dur. Aucune colle et aucun clou ne sont utilisés pour leur fabrication. Une large variété de profils architecturaux est proposée par les fabricants pour des considérations esthétiques ou acoustiques. Il est toutefois nécessaire de vérifier la disponibilité de ce type de produit au Québec. Comme le DLT n'est pas inclus dans la norme de calcul CSA O86, certaines ressources ont été publiées afin de fournir aux concepteurs des principes de calcul ^[43].



5.2.3. Applications particulières

En plus de systèmes structuraux complets, la construction massive en bois regroupe également des systèmes qui peuvent être utilisés dans des situations particulières, généralement dans le but d'atteindre de plus grandes portées. Ces systèmes peuvent être intéressants pour certaines sections des écoles primaires nécessitant de grandes portées, comme les cafétérias et les gymnases, par exemple.

5.2.3.1. Fermes en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie

Avantages

Grandes portées

Optimisation des matériaux

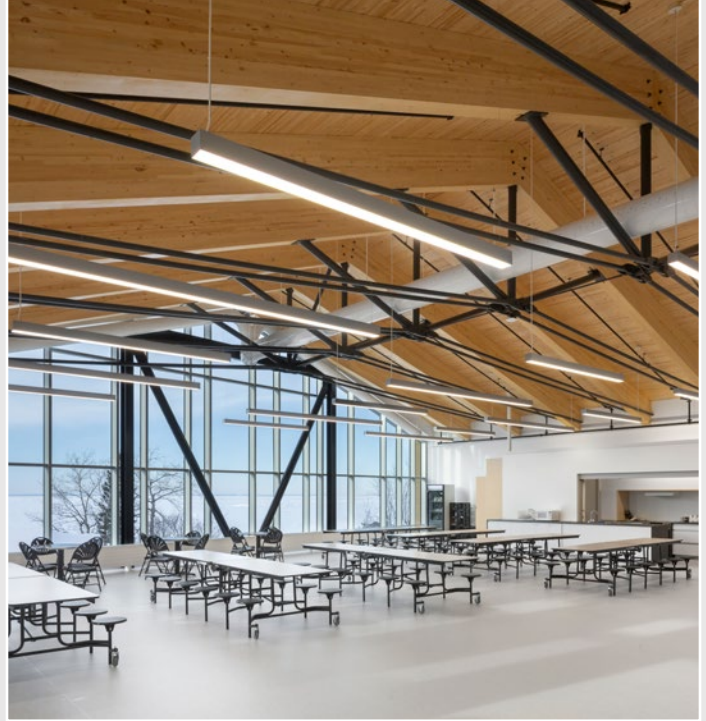
Les fermes en gros bois d'œuvre ou en bois d'ingénierie (bois lamellé-collé, bois de charpente composite, etc.) permettent d'atteindre de plus grandes portées que des éléments simples.

Les fermes peuvent être entièrement en bois, comme c'est le cas dans le projet de la ferme biologique Zwyygart à Fortierville, où leur portée est de 40 m.



Fermes en bois lamellé-collé de la ferme biologique Zwyygart, Fortierville
(Photo : Ambiance Bois)

L'acier étant très résistant en traction, il peut être intéressant de le combiner au bois et de l'utiliser pour les membrures inférieures des fermes, comme à l'école Metis Beach, à Métis-sur-Mer.



Fermes bois-acier à l'école Metis Beach, Métis-sur-Mer
(Photo : Stéphane Groleau)

5.2.3.2. Arches en bois

Avantages

Très grandes portées (60 m à 90 m)

Formes arrondies adaptées à l'usage

Par rapport à d'autres matériaux, la fabrication d'**éléments courbes** en bois lamellé-collé est assez simple grâce à l'assemblage de petites pièces de bois. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'utiliser de la chaleur ou de l'humidité pour courber les éléments. Le cintrage se fait à température ambiante par un système de pressage et, en quelques heures, l'adhésif est fixé et l'arche est créée. Cette géométrie permet d'atteindre de très grandes portées.

On pourra, par exemple, retrouver des arches dans les bâtiments sportifs ou les grandes salles de rassemblement.





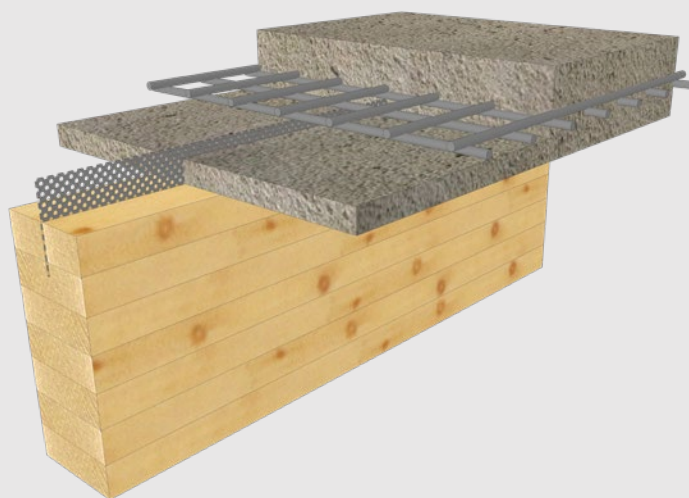
Arches du gymnase de l'école Notre-Dame, Notre-Dame-de-Pontmain
(Photo : DWB Consultants)

5.2.3.3. Planchers composites en bois-béton

Les planchers composites en bois-béton comptent deux couches distinctes, l'une en bois et l'autre en béton (sur le dessus), liées à l'aide de connecteurs en cisaillement. **Les propriétés des deux matériaux sont ainsi optimisées** puisque les forces de traction induites par la flexion sont principalement reprises par le bois tandis que les efforts de compression induits par la flexion sont quant à eux repris par le béton.

Cette technique, loin d'être nouvelle, peut s'avérer une solution rentable pour les planchers de plus longue portée puisque les propriétés mécaniques des deux matériaux agissent en complémentarité. Ce système peut également permettre d'intégrer des systèmes de chauffage et de refroidissement dans le plancher, sans avoir à construire une dalle de béton structural de pleine épaisseur.

Le même principe peut être utilisé avec des planchers en CLT-béton. Les coffrages ne sont plus nécessaires, ce qui diminue les coûts de construction. Ces systèmes peuvent également être préfabriqués.



Pour plus de détails, un guide canadien pour la conception de planchers composites en bois-béton a récemment été publié par FPInnovations dans le cadre de ses travaux liés aux bâtiments en bois : <https://web.fpinnovations.ca/fr/tcc/> ^[22].

5.3. Systèmes structuraux mixtes

Avantages

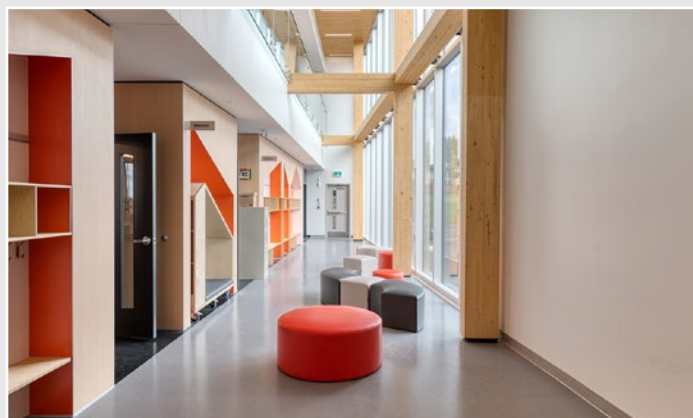
Optimisation des coûts

Optimisation des matériaux

L'utilisation de différents systèmes structuraux en bois pour un même projet peut être avantageuse. Il est en effet possible de **combinaison des avantages** des différents systèmes structuraux en bois : l'aspect économique de l'ossature légère en bois et l'esthétique de la construction massive en bois, par exemple.

C'est le cas, par exemple, à l'école primaire de l'Aventure, à Québec. L'équipe de conception a pris la décision de concentrer les éléments en construction de bois massive dans les aires de convergence du bâtiment (hall, corridors) alors que le reste du bâtiment, comme les salles de classe, a été construit en ossature légère en bois.

Il est également possible de combiner plusieurs systèmes structuraux de construction massive en bois. Par exemple, on peut utiliser une structure poteaux-poutres sur laquelle le platelage est constitué de panneaux massifs en bois.



Utilisation de deux systèmes structuraux pour l'école primaire de l'Aventure, à Québec (ossature légère à gauche et système poteaux-poutres à droite)
(Photo : Clément Robitaille)



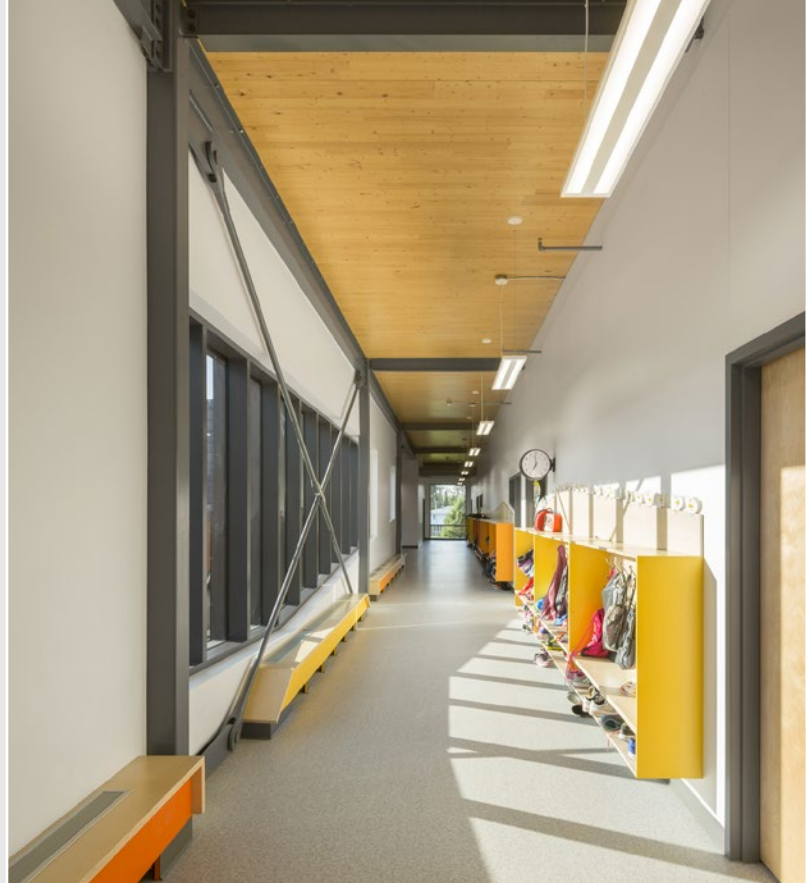
NLT (à partir de LVL) utilisé comme platelage d'une structure poteaux-poutres, dans les bureaux de Jodoin Lamarre Pratte, à Montréal (Photo : David Boyer)

Il est toutefois important de noter que l'intégration de différents systèmes structuraux dans un même projet suppose généralement la participation de fournisseurs différents. Par conséquent, une attention particulière doit être portée à leur coordination.

5.4. Construction modulaire

On distingue trois types de préfabrication dans l'industrie du bâtiment : la préfabrication de composantes du bâtiment, par exemple les portes et fenêtres, la préfabrication de sous-ensembles du bâtiment, qui consiste à assembler en usine différents composants structuraux pour en faire des sections de murs, de planchers ou de fermes de toit préassemblées, et la **préfabrication modulaire** (aussi appelée construction modulaire volumétrique), qui produit des **volumes en trois dimensions** plus ou moins complets, assemblés en **blocs empilables ou juxtaposables**.

Dans le cas des écoles primaires du Québec, la **construction modulaire** est souvent utilisée pour la construction de **locaux temporaires**. Par exemple, dans les écoles où le nombre d'élèves augmente, des locaux temporaires sont utilisés pour compenser le manque d'espace disponible. Ces locaux peuvent également être utilisés pendant des rénovations afin d'accueillir les élèves le temps des travaux. Généralement, les espaces temporaires sont des salles de classe et des locaux sanitaires (douches et locaux d'entretien).



Panneaux en CLT utilisés en plancher sur une structure en acier à l'école Dollard-des-Ormeaux, à Shannon (face inférieure des panneaux visible au plafond du niveau supérieur) (Photo : Stéphane Groleau)



Installation d'un module d'une construction de type modulaire (Photo : cecobois)

Les locaux modulaires commandés pour des besoins temporaires peuvent être moins favorables au bien-être et au confort des élèves. Il est important de définir avec l'entrepreneur la qualité des locaux souhaitée, car ils sont souvent utilisés plus longtemps que prévu.



École Riverside, Arvida (Photo: Ulysse Lemerise)



École Simone-Monet, Montréal (Photo: Ulysse Lemerise)



École Riverside, Arvida (Photo: Nordic Structures)



École Guillaume-Couture, Montréal (Photo: RG Solutions)



École Simone-Monet, Montréal (Photo: RG Solutions)

Il existe plusieurs solutions modulaires en bois, qui permettent d'offrir rapidement des locaux flexibles et de bonne qualité et même l'air conditionné. Ces solutions peuvent être en ossature légère (écoles Guillaume-Couture et Simone-Monet) ou en bois d'ingénierie (école Riverside).

La construction modulaire est un système structural qui permet de réaliser des ouvrages de grande qualité. En Europe et aux États-Unis, ce type de construction est même utilisé pour construire des **écoles permanentes**. Il existe aussi des systèmes préfabriqués **démontables et remontables** qui permettent de louer le bâtiment sur une période définie et de le démonter pour le déplacer.

Il appartient au donneur d'ouvrage de **spécifier la qualité et la durabilité** de la structure modulaire qu'il souhaite.

6. Les revêtements intérieurs et extérieurs en bois

Le bois peut aussi être utilisé en tant que matériau de finition. L'utilisation du bois à l'intérieur (en finition ou en structure) est d'ailleurs un critère incontournable du guide de planification immobilière du ministère de l'Éducation.

Cette section présente des applications pertinentes du bois comme revêtement à l'extérieur ou comme finition à l'intérieur des écoles primaires.



Banff Elementary School (Photo : Gracieusité de Structuriam)



Revêtements extérieurs de l'école Metis Beach, Métis-sur-Mer (Photo : Stéphane Groleau)

6.1. Les revêtements extérieurs en bois

Il existe une gamme très étendue de profilés et de finis de revêtements en bois massif, offrant une multitude de possibilités aux concepteurs. Certaines essences de bois ne nécessitent pas de protection particulière, dépendamment de l'effet recherché.

Essences de bois les plus utilisées et offertes chez les fournisseurs de revêtements en bois du Québec :

Cèdre blanc de l'Est

Pin blanc

Pin gris

Épinette

Pin rouge

Cèdre rouge de l'Ouest

Pin de Murray

Sapin de Douglas

On emploie fréquemment le cèdre rouge de l'Ouest, car cette essence possède une excellente stabilité dimensionnelle et une résistance naturelle à la pourriture. Il adopte une teinte remarquable en vieillissant et possède une bonne capacité de rétention des peintures et des teintures. Le cèdre blanc a des qualités équivalentes, mais comme il est généralement plus petit que le cèdre de l'Ouest, les planches sont souvent moins larges et son approvisionnement est plus limité.

Pour une longévité accrue et un entretien minimal :

- Utiliser des parements épais. Un parement épais résistera mieux aux coups, inévitables en milieu scolaire ;
- Utiliser du bois teint en usine, pour un meilleur contrôle de la qualité et de meilleures garanties ;
- Éviter les teintures trop foncées. Elles font monter en température la chambre d'air qui permet la ventilation derrière le parement. Cette surchauffe fait vieillir prématurément les enduits et assèche trop le parement, ce qui peut occasionner le fendillement et le gauchissement du bois ;
- Assurer une bonne ventilation ;
- Procéder à l'installation selon les recommandations du **Guide des meilleures pratiques d'installation du revêtement extérieur en bois massif – 2^e édition** ^[23] ;



Revêtements extérieurs en bois massif, école Bertolt Brecht, Allemagne (Photo: Thomas Ott)

- Privilégier une essence de bois qui a d'excellentes qualités de résistance à la pourriture telle que le cèdre (blanc ou de l'Ouest). Le **tableau 1**, à la **section 8.1.1. Le bois et l'humidité**, présente différentes essences de bois catégorisées selon leur résistance à la pourriture;
- Laisser le bois vieillir naturellement. Il deviendra grisé tout en conservant ses qualités de durabilité à long terme. Cet aspect esthétique est même volontairement recherché dans plusieurs pays, notamment en Europe;
- Prévoir le vieillissement du bois. Le vieillissement du bois ne sera pas uniforme selon le degré d'exposition aux intempéries de la façade. Par exemple, une façade avec une partie exposée et une partie protégée par une marquise vieillira plus rapidement sur la partie exposée, ce qui peut créer un contraste entre les deux sections.

Il est possible d'installer des revêtements « vieillis » en usine pour avoir un effet gris immédiat. La couleur du bois ne sera pas toujours uniforme à moyen terme, mais le bois sera gris dès la pose et continuera de grisonner par la suite.

Pour la pose des revêtements en bois massif, consultez le **Guide des meilleures pratiques d'installation du revêtement extérieur en bois massif – 2^e édition de cecobois** ^[23].

6.2. Les revêtements intérieurs en bois

Les revêtements intérieurs en bois, aussi appelés parements ou finis intérieurs, sont souvent utilisés dans les écoles primaires. Ils sont en effet idéaux pour créer des espaces chaleureux et ajouter un fini plus solide que les panneaux de gypse généralement installés aux murs. Les revêtements intérieurs s'intègrent aisément dans tous les styles de décors vu la grande diversité des essences, des finis, des textures et des dimensions sur mesure offertes.

Avantages des revêtements intérieurs en bois :

- Les revêtements intérieurs et moulures en bois sont à la fois esthétiques, chaleureux et d'apparence naturelle, ce qui contribue au bien-être des occupants (biophilie);
- Ils peuvent être peints, teints ou vernis avec des enduits transparents qui permettent de conserver leur aspect naturel;
- Le bois étant une ressource renouvelable et locale, les parements intérieurs en bois sont l'un des meilleurs choix de produit du point de vue environnemental;
- Le bois peut être utilisé de nombreuses façons pour habiller l'intérieur des bâtiments. La grande diversité d'essences, de textures et de couleurs existantes permet aux concepteurs de créer des ambiances variées et uniques.



Revêtements intérieurs en bois, école Metis Beach, Métis-sur-Mer (Photo: Stéphane Groleau)

6.2.1. Principales essences de bois utilisées

- Pour les endroits où le bois pourra être touché ou heurté par des objets, il faudra privilégier les parements et moulures fabriqués à partir de bois de feuillus (ou bois dur). Les essences les plus couramment utilisées sont l'érable, le chêne et le bouleau jaune (aussi appelé merisier) ;
- Les parements de murs hors de portée peuvent quant à eux être fabriqués à partir de bois de résineux, ou bois mou. Il faut toutefois s'assurer que leur indice de propagation de la flamme respecte les exigences du Code du bâtiment. Pour plus d'information à ce sujet, consulter la **section 7.2. Le bois comme matériau de finition.**

6.2.2. Revêtements de murs et plafonds

Lambris de bois

Les lambris de bois sont composés de planches juxtaposées l'une à l'autre. Des jeux d'assemblages divers et des mélanges d'essences sont souvent utilisés.

Placage en bois

Les placages sont en fait de très minces couches de bois, dont les nœuds et autres défauts sont souvent soustraits, collées sur du contreplaqué, des panneaux particules ou du MDF. Cette méthode de fabrication permet d'obtenir des finis très esthétiques à coût moindre. Les placages mettent généralement en valeur des essences nobles comme l'érable, le chêne, le bouleau jaune (merisier) et le noyer, mais de nombreuses autres variantes existent.

Lattes

Les lattes sont des planches de bois disposées de sorte qu'il y ait un espace d'air entre chacune. L'utilisation de lattes ajourées avec feutre acoustique pour recouvrir les plafonds et les murs offre une solution intéressante d'un point de vue esthétique et acoustique. Plusieurs murs de gymnase ont été recouverts de la sorte, car le bois est esthétique, mais aussi suffisamment résistant aux chocs.

Plafonds suspendus

L'utilisation d'un plafond suspendu avec panneaux en bois permet d'apporter une touche naturelle à l'intérieur des bâtiments. Il faudra cependant étudier l'aspect acoustique de ces assemblages. L'utilisation de perforations peut être envisagée. Le travail avec un acousticien peut apporter des solutions esthétiques, durables et efficaces.

6.2.3. Revêtements de plancher

Les planchers de bois dans les écoles sont souvent utilisés pour créer des ambiances chaleureuses dans les différents locaux, mais aussi dans les plateaux sportifs, où ils apportent un fini plus sécuritaire pour la pratique de sports.

6.2.3.1. Pour les locaux

Parquet de bois massif

Le parquet de bois massif est composé de lamelles faites d'un seul bloc de bois. Il est reconnu pour sa durabilité. En raison de son épaisseur, il pourra être sablé souvent au cours de sa vie utile.



Parquet en bois d'ingénierie

Le parquet en bois d'ingénierie est le type de revêtement de plancher le plus utilisé au Québec. Entièrement fait de bois, le parquet haute performance en bois d'ingénierie comporte plusieurs couches qui, liées les unes aux autres perpendiculairement au sens du grain, favorisent la résistance et la stabilité dimensionnelle.

Le parquet possède une couche d'usure entre 2 et 4 mm de bois franc pouvant être poncée et une couche de support en contreplaqué, en bois ou en HDF (High Density Fibre). Le produit peut être sablé jusqu'à trois fois pour les surfaces les plus épaisses. Sa structure de fabrication permet une pose sur chauffage radiant.

Certains modèles comportent des supports de bois et une couche de contre-balancement au dos du produit. Selon le modèle, l'installation peut être réalisée avec colle ou agrafes ou en pose flottante.

Parquet en bois d'ingénierie en pose flottante

Les principaux avantages d'un revêtement de plancher en bois d'ingénierie en pose flottante sont sa rapidité et sa facilité d'installation. Ce type de pose ne nécessite ni clouage, ni agrafage, ni collage et peut se faire sur un revêtement de plancher existant.



Le côté long est donc profilé selon un modèle éprouvé pour l'application. Le bout des pièces peut avoir le même profilé que le côté long ou un crochet limitant les mouvements horizontaux. Des profils permettent aussi le blocage dans toutes les directions et une installation planche à planche.

6.2.3.2. Pour les gymnases

Le bois est reconnu comme étant le meilleur produit pour tenir compte de la performance athlétique, de la santé et de la sécurité des usagers.

Ici, il faut faire affaire avec des entreprises spécialisées en planchers de gymnase. Ce n'est pas qu'une question de revêtement en bois : il faut aussi et surtout que l'assemblage réponde à des critères particuliers pour assurer une bonne résilience du plancher selon les sports pratiqués.

La couche de finition est presque toujours de l'érable et, idéalement, doit satisfaire aux normes CLA (Canadian Lumber Association) et MFMA (Maple Flooring Manufacturers' Association).

6.2.4. Finition des produits de revêtements intérieurs en bois

6.2.4.1. Planchers de gymnase

La finition des planchers de gymnase est généralement réalisée sur place. Les produits de finition utilisés ont une performance accrue une fois séchés et polymérisés complètement. Ces produits sont généralement des polyuréthanes à base d'eau possédant une faible teneur en composés organiques volatils (COV). Le document Specifications for Gymnasium Finishes and Sealers for Maple, Beech and Birch Floors publié par la Maple Flooring Manufacturers' Association mentionne les normes devant être atteintes afin de préparer des produits de finition appropriés pour les surfaces sportives (dureté, élasticité, résistance à la transpiration, etc.) ^[24].



Plancher du gymnase de l'école Lestrat, Havre-Saint-Pierre (Photo : BGLA)



Plancher du gymnase de l'école Le Transit, Val-d'Or
(Photo : Marie-Claude Robert)

Afin d'assurer une performance optimale des finis dans le temps, il est important de respecter les consignes relatives à la préparation de surface du bois, au mélange (si applicable), à l'application (mode d'application et épaisseur de film) et au séchage (température et humidité). De plus, ce type de fini est associé à une période de maturation, c'est-à-dire une période pendant laquelle le fini n'aura pas acquis sa pleine performance mécanique et chimique. Cette période est généralement de quelques jours, et pendant cette dernière, il est recommandé de suspendre les activités sportives afin de conserver l'intégrité du fini.

Le vernis utilisé pour le marquage (lignes de jeux) doit être compatible avec le produit utilisé pour le plancher afin d'éliminer le risque de délamination.

Le nettoyage des surfaces de gymnase doit également se faire conformément aux recommandations du fabricant de produits de finition. Certains nettoyants peuvent laisser des résidus huileux augmentant le glissement. Le coefficient de friction des finis de surface est très important pour les gymnases puisqu'il permet d'éviter les risques d'accident.

Pour la restauration des planchers de gymnase, il est recommandé de sabler en surface, puis d'ajouter une ou deux couches de finition selon le besoin. Si le plancher est trop usé, il est recommandé de sabler au bois brut.

6.2.4.2. Planchers de salles de classe

Les produits utilisés pour les planchers de salles de classe sont assujettis à de nombreuses sollicitations mécaniques et chimiques (mouvements des bureaux, cailloux sous les chaussures, produits d'arts plastiques, etc.), si bien qu'il est important que ceux-ci puissent résister de façon prolongée à de telles sollicitations ou être entretenus facilement. Des produits de finition filmogènes ou pénétrants (p. ex. : huiles) peuvent être utilisés.

La finition des planchers prévernissés est réalisée en usine. Des produits de finition polymérisés sous ultraviolets sont généralement utilisés. Ces derniers possèdent une excellente résistance mécanique, chimique et



Yarrow Community Elementary School, Chilliwack, Colombie-Britannique
(Photo : Gracieuseté de KMBR Architects Planners)

thermique. Ils peuvent être formulés avec des additifs permettant d'accroître leur résistance à l'abrasion. Malgré leur résistance accrue, des égratignures et différentes marques peuvent tout de même se former en surface. La réfection des couvre-planchers préfinis est également plus complexe puisque la résistance mécanique importante des produits de finition utilisés les rend difficiles à sabler.

D'autres types de produits de finition filmogènes peuvent être envisagés, par exemple ceux utilisés pour les planchers de gymnase.

L'utilisation de planches huilées est une autre option pour les salles de classe. L'utilisation d'huile permet de mettre en valeur le grain du bois et mène à des finis mats. La réfection de ces planchers, qui devra être faite plus rapidement qu'avec un produit de finition filmogène, sera toutefois plus aisée.

Peu importe le type de produit de finition sélectionné, il est important de **suivre les instructions de nettoyage dictées par les manufacturiers** de couvre-planchers et/ou de produits de finition et d'éviter l'utilisation de produits qui pourraient venir attaquer l'intégrité du film formé et du bois sous-jacent, compromettant ainsi les propriétés finales du produit.

6.2.4.3. Panneaux muraux et autres surfaces

Les produits de finition utilisés pour les panneaux muraux, bien que moins sollicités que ceux utilisés pour les planchers, doivent avoir une bonne résistance mécanique et aux produits d'entretien ménager afin qu'ils puissent être lavés fréquemment sans être endommagés. Il est donc préférable de privilégier des produits de finition résistants qui pourront bien répondre à ces sollicitations.

Les produits finis en usine (communément appelés « préfinis ») sont généralement recommandés, car ils mèneront à une apparence (p. ex. : lustre) et à une performance supérieures, puisque le contrôle de l'épaisseur et du séchage des finis est plus aisément réalisé.

Pour les panneaux muraux, les produits de finition polymérisés sous ultraviolets constituent un bon choix puisqu'ils possèdent une performance mécanique et chimique importante, ce qui devrait permettre de limiter l'apparition de marques à la surface.

Des **solutions antimicrobiennes** pour les panneaux muraux sont également maintenant offertes. Celles-ci sont ajoutées directement aux produits de finition, ne changent pas l'apparence et la performance globale du produit et assurent l'obtention de surfaces plus saines. L'utilisation d'une telle technologie peut s'avérer intéressante pour des sections de murs où la circulation et la manipulation sont très importantes.

Consulter les **normes nord-américaines de menuiserie architecturale** pour plus d'informations sur les exigences de performance pour les finitions ^[25].



École primaire Sans-Frontières, Saint-Jérôme
(Photo : Stéphane Brügger)



École Le Transit, Val-d'Or
(Photo : Marie-Claude Robert)

7. Les possibilités du Code

CODE : Abréviation utilisée dans cette section du guide pour « Code de construction du Québec – Chapitre 1, Bâtiment, et Code national du bâtiment – Canada 2010 (modifié) ».

Cette version est en vigueur au Québec jusqu’à la mise en application de la prochaine édition par la Régie du bâtiment du Québec.

École Métis Beach, Métis-sur-Mer (Photo: Stéphane Groleau)

Il est important pour les concepteurs et les donneurs d'ouvrage de connaître les **limites actuelles du Code**, car il n'est pas toujours possible d'utiliser du bois en structure ou en revêtement.

Le Code reconnaît **deux catégories de construction** en matière de sécurité incendie, représentées à la **figure 7** :

- Construction **incombustible** ;
- Construction **combustible**.



Figure 7 • Types de construction en matière de sécurité incendie reconnus par le Code

Le Code définit la construction **incombustible** comme un type de construction dans lequel un certain degré de sécurité incendie est assuré grâce à l'utilisation de matériaux incombustibles pour les éléments structuraux et certains composants.

Le bois n'est pas considéré comme un matériau incombustible selon le Code et son utilisation est limitée pour ce type de construction. Il peut toutefois être utilisé, parfois même pour des utilisations intéressantes comme une toiture ainsi que pour les éléments qui la supportent (article 3.2.2.16 du Code).

La construction **combustible** est définie quant à elle comme un type de construction qui ne répond pas aux exigences établies pour une construction incombustible. Celle-ci permet l'utilisation de la plupart des systèmes structuraux en bois.



École des Explorateurs, Malartic (Photo : TRAME architecture)

La **construction en gros bois d'œuvre** est un type de construction combustible qui exige des dimensions minimales pour les éléments structuraux en bois. La construction à ossature légère en bois est considérée comme un type de construction combustible, mais elle ne peut pas être considérée comme une construction en gros bois d'œuvre au sens du Code, puisque les dimensions des éléments structuraux ne sont généralement pas assez importantes pour répondre aux exigences énoncées à l'article 3.1.4.7 du Code. Les différents systèmes structuraux en bois sont présentés plus en détail à la section **5. Choisir le bon système structural**.

L'avantage de la construction en gros bois d'œuvre réside dans le fait que le Code lui reconnaît une résistance au feu intrinsèque, et ce, sans protection thermique ou encapsulation. Ce type de construction peut en effet être permis si le degré de résistance au feu exigé est d'au plus **45 minutes** (article 3.1.4.6 du Code).

La section **7.1. Le bois en structure** présente les exigences à respecter pour pouvoir construire la structure d'une école primaire en bois, selon les limites prescriptives du Code. Elle présente également les possibilités qui s'offrent aux concepteurs s'ils ne satisfont pas les limites prescriptives du Code.

La section **7.2. Le bois comme matériau de finition** présente les limites prescriptives du Code à l'égard de l'utilisation des produits de finition en bois, que ce soit dans des constructions de type combustible ou incombustible.

7.1. Le bois en structure

Les bâtiments couverts par le Code du bâtiment sont catégorisés en plusieurs usages. Les écoles primaires font partie du groupe A, division 2 (A2). Par conséquent, seul cet usage est traité dans le présent document.

La section **7.1.1. Limites prescriptives du Code** présente en détail les conditions nécessaires pour qu'un bâtiment en bois représente une solution acceptable selon le Code (division B du Code).

La section **7.1.2. Possibilités hors des limites prescriptives du Code** présente les possibilités qui se présentent au donneur d'ouvrage si le projet souhaité ne peut être construit selon les solutions acceptables du Code.

EXIGENCES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ INCENDIE



Pour les bâtiments d'une hauteur de 2 étages :



EXIGENCES DE CONSTRUCTION

CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Article 3.2.2.25



Combustible	✓	✓	✓	✓
Gros bois d'oeuvre	✓	✓	✓	✓
DRF 45 min exigé	✓	✓	✓	✓
Séparation coupe-feu	✓	○	○	○

Aire de bâtiment maximale... si le bâtiment donne sur...

800 m ²	1 rue
1 000 m ²	2 rues
1 200 m ²	3 rues



EXIGENCES DE CONSTRUCTION

CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Article 3.2.2.27



Combustible	✓	✓	✓	✓
Gros bois d'oeuvre	✓	✓	✓	✓
DRF 45 min exigé	○	○	○	○
Séparation coupe-feu	○	○	○	○

Aire de bâtiment maximale

600 m²

Article 3.2.2.26



Combustible	✓	✓	✓	✓
Gros bois d'oeuvre	✓	✓	✓	✓
DRF 45 min exigé	✓	✓	○	✓
Séparation coupe-feu	✓	○	○	○

Aire de bâtiment maximale

2 400 m²

Article 3.2.2.16



Combustible	○	○	○	○
Gros bois d'oeuvre	○	○	✓ ³	○
DRF 45 min exigé	○	○	○	○
Séparation coupe-feu	○	○	○	○

Aire de bâtiment maximale

Sans limite

LÉGENDE

Bâtiment non protégé par gicleurs

Bâtiment entièrement protégé par gicleurs

✓ Applicable

○ Non applicable

DRF : degré de résistance au feu

Planchers

Mezzanines

Toit

Murs, poteaux et arcs porteurs

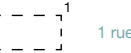
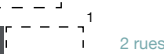
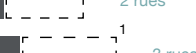
1 : Dans un bâtiment dépourvu de sous-sol, les aires maximales mentionnées peuvent être doublées, à condition qu'une séparation coupe-feu d'au moins 1h divise le bâtiment en compartiments résistant au feu dont l'aire individuelle ne dépasse pas la valeur maximale indiquée à l'alinéa 1) b). (3.2.2.28. 2)

2 : Il est possible de déroger à cette exigence, si le toit est construit en bois ignifugé, conformément à l'article 3.1.14.1., et si l'aire de bâtiment est d'au plus: 800 m² s'il donne sur 1 rue, 1000 m² s'il donne sur 2 rues ou 1200 m² s'il donne sur 3 rues (art. 3.2.2.25. 2) c))

3 : Les éléments porteurs mis en œuvre à l'étage situé immédiatement au-dessous d'une ossature de toit qui peut être de construction en gros bois d'œuvre aux termes du paragraphe 1) peuvent également être de construction en gros bois d'œuvre (art. 3.2.2.16.2)

EXIGENCES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ INCENDIE

Pour les bâtiments d'une hauteur de 1 étage :

	EXIGENCES DE CONSTRUCTION	CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT
Article 3.2.2.28	   	Aire de bâtiment maximale... si le bâtiment donne sur...
Combustible	☒ ☒ ☒ ☒	400 m ² 
Gros bois d'oeuvre	☒ ☒ ☒ ☒	500 m ² 
DRF 45 min exigé	☐ ☐ ☐ ☐	600 m ² 
Séparation coupe-feu	☐ ☐ ☐ ☐	
Article 3.2.2.25	   	Aire de bâtiment maximale... si le bâtiment donne sur...
Combustible	☒ ☒ ☒ ☒	1 600 m ² 
Gros bois d'oeuvre	☒ ☒ ☒ ☒	2 000 m ² 
DRF 45 min exigé	☒ ☒ ☒ ☒	2 400 m ² 
Séparation coupe-feu	☒ ☐ ☐ ☐	

	EXIGENCES DE CONSTRUCTION	CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT
Article 3.2.2.27	   	Aire de bâtiment maximale
Combustible	☒ ☒ ☒ ☒	1 200 m ² avec sous-sol
Gros bois d'oeuvre	☒ ☒ ☒ ☒	2 400 m ² sans sous-sol
DRF 45 min exigé	☐ ☐ ☐ ☐	
Séparation coupe-feu	☐ ☐ ☐ ☐	
Article 3.2.2.26	   	Aire de bâtiment maximale
Combustible	☒ ☒ ☒ ☒	4 800 m ²
Gros bois d'oeuvre	☒ ☒ ☒ ☒	
DRF 45 min exigé	☒ ☒ ☐ ☒	
Séparation coupe-feu	☒ ☐ ☐ ☐	
Article 3.2.2.16	   	Aire de bâtiment maximale
Combustible	☐ ☐ ☐ ☐	
Gros bois d'oeuvre	☐ ☐ ☒ ☐	
DRF 45 min exigé	☐ ☐ ☐ ☐	
Séparation coupe-feu	☐ ☐ ☐ ☐	



Photo : Adrien Williams

7.1.1. Limites prescriptives du Code

Pour les usages du groupe A2, le Code limite la construction combustible à deux étages. L'infographie suivante présente donc les exigences prescriptives du Code concernant l'utilisation d'une structure en bois pour des écoles d'un et de deux étages. Le donneur d'ouvrage peut ainsi comprendre rapidement s'il peut utiliser du bois en structure selon les caractéristiques de son projet.

Cet outil a pour objectif d'aider les intervenants au projet qui ne sont pas familiers avec le Code à déterminer rapidement la faisabilité d'un bâtiment en bois selon les critères pertinents tels que le nombre d'étages, l'aire du bâtiment ou la protection par gicleurs, par exemple.

Il est important de noter que l'outil résume les exigences des articles 3.2.2.16 et 3.2.2.23 à 3.2.2.28 du Code et que les articles complémentaires seront à analyser par les professionnels pour confirmer la faisabilité du bâtiment.

De plus, pour bien comprendre et utiliser l'infographie ci-dessous, il est d'abord important de connaître les définitions suivantes :

1) Degré de résistance au feu

Temps en minutes ou en heures pendant lequel un matériau ou une construction empêche le passage des flammes et la transmission de la chaleur dans des conditions déterminées d'essais et de comportement, ou tel qu'il est déterminé par interprétation ou extrapolation des résultats d'essais comme l'exige le CNB (voir la note D-1.2.1. 2) de la division B).

Note : Le degré de résistance au feu est souvent noté « DRF ».

2) Aire de bâtiment

Surface horizontale la plus grande du bâtiment au-dessus du niveau moyen du sol, calculée entre les faces externes des murs extérieurs ou à partir de la face externe des murs extérieurs jusqu'à l'axe des murs coupe-feu.

Exemples d'utilisation de l'infographie

EXEMPLE 1

Un centre de services scolaire souhaite construire une école primaire de 14 classes. Le bâtiment aura deux étages, sera d'une superficie de 3 724 m² au total, dont 2 078 m² au rez-de-chaussée et 1 646 m² au premier étage. L'école donnera sur 2 rues et le bâtiment sera dépourvu de sous-sol.

a. Se reporter à la page qui concerne les écoles de deux étages.

b. Identifier les articles qui permettent cette superficie par étage, selon le nombre de rues sur lequel donne le bâtiment et/ou la présence d'un sous-sol.

- Seuls les articles 3.2.2.26 et 3.2.2.16 permettent une école avec une aire de bâtiment de 2 078 m².
Note : La définition d'aire de bâtiment est donnée dans les définitions de la section précédente;
- Le nombre de rues et la présence de sous-sol n'influencent pas les superficies permises dans les articles précédemment cités.

c. Identifier si les articles pertinents exigent une protection par gicleurs.

- On remarque dans l'infographie que les articles pertinents exigent que le bâtiment soit entièrement protégé par gicleurs.

d. Consulter les permissions et exigences de chaque article.

- i. L'article 3.2.2.26 permet une construction combustible ou en gros bois d'œuvre pour les planchers, mezzanines, murs, poteaux et arcs porteurs ainsi que pour le toit. Toutefois, l'article exige que les planchers, mezzanines, murs, poteaux et arcs porteurs aient un degré de résistance au feu d'au moins 45 minutes. De plus, les planchers doivent former une séparation coupe-feu;
- ii. L'article 3.2.2.16 permet seulement une construction en gros bois d'œuvre pour le toit. La note 3 indique que les éléments porteurs mis en œuvre à l'étage situé immédiatement au-dessous d'une ossature de toit qui peut être de construction en gros bois d'œuvre peuvent également être de construction en gros bois d'œuvre.

Conclusion

Le bâtiment peut donc être construit selon les exigences des articles 3.2.2.26 ou 3.2.2.16. L'article 3.2.2.26 est toutefois beaucoup plus favorable à l'utilisation de bois en structure.

EXEMPLE 2

Un centre de services scolaire souhaite construire une école primaire de 6 classes. Le bâtiment aura un étage et sera d'une superficie de 1 800 m². L'école donnera sur une rue et le bâtiment sera dépourvu de sous-sol.

a. Se reporter à la page qui concerne les écoles d'un étage.

b. Identifier les articles qui permettent cette superficie par étage, selon le nombre de rues sur lequel donne le bâtiment et/ou la présence d'un sous-sol.

- Seuls les articles 3.2.2.27, 3.2.2.26 et 3.2.2.16 permettent une école avec une aire de bâtiment de 1 800 m².
Note : La définition d'aire de bâtiment est donnée dans les définitions de la section précédente;
- Dans cet exemple, le fait que le bâtiment donne sur une seule rue ne permet pas d'utiliser l'article 3.2.2.25 (1 600 m² maximum);
- Le fait que le bâtiment soit dépourvu de sous-sol permet d'utiliser l'article 3.2.2.27.

c. Identifier si les articles pertinents exigent une protection par gicleurs.

- On remarque dans l'infographie que les articles pertinents exigent tous que le bâtiment soit entièrement protégé par gicleurs.

d. Consulter les permissions et exigences de chaque article.

- i. L'article 3.2.2.27 permet une construction combustible ou en gros bois d'œuvre pour les planchers, mezzanines, murs, poteaux et arcs porteurs ainsi que pour le toit. Aucune exigence ne concerne le degré de résistance au feu de ces éléments. Il n'est pas exigé qu'un de ces éléments forme une séparation coupe-feu;
- ii. L'article 3.2.2.26 permet une construction combustible ou en gros bois d'œuvre pour les planchers, mezzanines, murs, poteaux et arcs porteurs ainsi que pour le toit. Toutefois, l'article exige que les planchers, mezzanines, murs, poteaux et arcs porteurs aient un degré de résistance au feu d'au moins 45 minutes. De plus, les planchers doivent former une séparation coupe-feu;
- iii. L'article 3.2.2.16 permet seulement une construction en gros bois d'œuvre pour le toit. La note 3 indique que les éléments porteurs mis en œuvre à l'étage situé immédiatement au-dessous d'une ossature de toit qui peut être de construction en gros bois d'œuvre peuvent également être de construction en gros bois d'œuvre.

Conclusion

Le bâtiment peut donc être construit selon les exigences des articles 3.2.2.27, 3.2.2.26 ou 3.2.2.16. L'article 3.2.2.27 est le plus favorable à l'utilisation de bois en structure.

Exemples d'utilisation de l'infographie (suite)

EXEMPLE 3

Un centre de services scolaire souhaite construire une école primaire de 18 classes. Le bâtiment aura deux étages, sera d'une superficie de 4 490 m² au total, dont 2 029 m² au rez-de-chaussée et 2 461 m² au premier étage. L'école donnera sur 3 rues et le bâtiment aura un sous-sol.

1. Se reporter à la page qui concerne les écoles de deux étages.

2. Identifier les articles qui permettent cette superficie par étage, selon le nombre de rues sur lequel donne le bâtiment et/ou la présence d'un sous-sol.

- Seul l'article 3.2.2.16 permet une école avec une aire de bâtiment de 2 461 m². Note : La définition d'aire de bâtiment est donnée dans les définitions de la section précédente.

3. Identifier si les articles pertinents exigent une protection par gicleurs.

- On remarque dans l'infographie que l'article 3.2.2.16 exige que le bâtiment soit entièrement protégé par gicleurs.

4. Consulter les permissions et exigences de chaque article.

- L'article 3.2.2.16 permet seulement une construction en gros bois d'œuvre pour le toit. La note 3 indique que les éléments porteurs mis en œuvre à l'étage situé immédiatement au-dessous d'une ossature de toit qui peut être de construction en gros bois d'œuvre peuvent également être de construction en gros bois d'œuvre.

Conclusion

Pour cette école primaire, seul l'article 3.2.2.16 est applicable. Il permet une utilisation intéressante du bois en toiture, mais limite son utilisation pour l'ensemble du bâtiment.

On peut noter que si l'aire du bâtiment faisait 61 m² de moins que prévu, les possibilités d'utilisation du bois en structure seraient augmentées de façon considérable. La conception de ce projet pourrait donc être adaptée pour favoriser une meilleure utilisation du bois. Le concepteur qui veut favoriser le bois doit être vigilant à ces détails qui peuvent apporter un résultat plus intéressant pour les usagers.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Certains concepts peuvent avoir une incidence sur les possibilités présentées dans l'infographie précédente. En voici deux qui peuvent particulièrement influencer la conception d'écoles primaires en bois.

Murs coupe-feu

L'article 1.3.3.4 du Code indique :

- 1) *À moins d'indication contraire ailleurs dans le CNB, si un mur coupe-feu divise un bâtiment, chaque partie de ce bâtiment doit être considérée comme un bâtiment distinct (voir l'annexe A).*

Il est donc **possible d'augmenter considérablement la superficie disponible pour un projet** en structure de bois. Un bâtiment peut être subdivisé en plusieurs bâtiments distincts en créant des compartiments séparés par des murs coupe-feu. Les aires de bâtiment maximales permises aux articles 3.2.2 s'appliqueront individuellement à chacun des bâtiments distincts. Les professionnels doivent toutefois veiller à ce que toutes les exigences du Code concernant les murs coupe-feu soient respectées. Il faut toutefois considérer que la construction de murs coupe-feu peut engendrer des coûts supplémentaires ainsi que l'intervention d'autres corps de métier.

Distances limitatives

Il faudra porter une attention particulière aux murs extérieurs à cause des distances limitatives entre les compartiments qui peuvent exiger des résistances au feu des murs extérieurs (article 3.1.10.6 du Code renvoyant à l'article 3.2.3.14 *Mur exposé à un autre mur*).

De plus, le tableau 3.2.3.7 du Code peut exiger pour le mur extérieur une ossature et un revêtement incombustibles même si une construction combustible est permise, selon les articles 3.2.2.25 à 3.2.2.28.

7.1.2. Possibilités hors des limites prescriptives du Code

7.1.2.1. Les solutions de rechange

Dans une situation où les solutions acceptables de la division B du Code ne permettent pas l'utilisation du bois dans un projet, la Loi sur le bâtiment (RLRQ, c. B-1.1) permet à une équipe de conception de soumettre une solution de rechange à la Régie du bâtiment du Québec (RBQ). La RBQ peut, aux conditions qu'elle détermine :

- Approuver une méthode de conception, un procédé de construction, l'utilisation d'un matériau ou d'un équipement autre que ce qui est prévu à un code ou à un règlement adopté, lorsqu'elle estime que leur **qualité est équivalente à celle visée par les normes** prévues au Code ou au règlement et que la sécurité des occupants est également assurée ^[30] ;
- Autoriser l'application de mesures différentes de celles qui sont prévues à un code ou à un règlement adopté dans le cas d'un bâtiment, d'un équipement destiné à l'usage du public ou d'une installation non rattachée à un bâtiment, lorsqu'il lui est démontré que les dispositions de ce code ou de ce règlement ne peuvent raisonnablement être appliquées ^[30].

En d'autres termes, une équipe de conception peut proposer à la RBQ une solution qui ne correspond pas aux solutions acceptables de la division B du Code, **mais qui remplit les objectifs de la division A**. L'équipe de conception doit lui présenter un dossier justificatif constitué à l'aide de calculs, de simulations informatiques, de tests de laboratoire indépendants ou par recours à des stratégies alternatives.

Plusieurs projets ont déjà fait l'objet de demandes de mesures équivalentes. C'est le cas, par exemple, de la première école de **trois étages** en structure de bois au Canada présentement en construction dans le secteur Vauquelin à Longueuil.

Des délais supplémentaires par rapport à une solution acceptable sont à prévoir pour l'équipe de conception, selon la complexité de la solution proposée. Dans le but d'encadrer la présentation des demandes, la RBQ a publié le *Guide de présentation d'une demande de mesures équivalentes ou d'une*

demande de mesures différentes (<https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/guide-demande-mesures-equivalentes-diff.pdf>). Ce guide décrit ce qui distingue une demande de **mesures équivalentes** d'une demande de **mesures différentes** et comprend notamment de l'information sur le processus de traitement des demandes et sur les documents à joindre à celles-ci. Des entreprises spécialisées en code et en normes peuvent également apporter un soutien aux équipes de conception.

7.1.2.2. Exemple de solution de rechange : la première école primaire de trois étages en bois au Canada

Les terrains propices à l'implantation de nouvelles écoles étant de plus en plus rares et coûteux sur son territoire, le Centre de services scolaire Marie-Victorin (CSSMV) a privilégié l'aménagement d'une école de **trois étages** afin de réduire son implantation au sol. Par souci écologique et pour favoriser le bien-être des élèves, une structure en bois a été considérée dès le début du processus de conception malgré le fait que le Code limitait la construction en bois à **deux étages** pour les écoles primaires.

La conception d'une école de trois étages permettant l'intégration d'une structure de bois a d'abord été faite à l'interne au CSSMV, toujours dans l'optique que les concepts développés démontrent que le bâtiment serait sécuritaire et que sa construction serait réalisable d'un point de vue autant technique, fonctionnel que budgétaire.

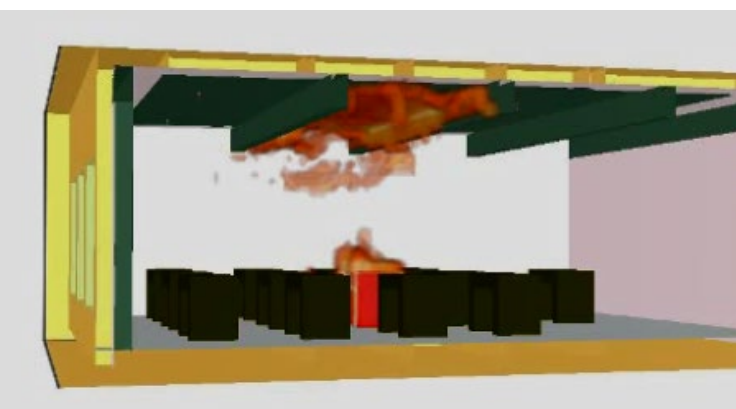


Rendu de l'école Vauquelin (Leclerc architectes)



Rendu de l'école Vauquelin (Leclerc architectes)

Une **mesure équivalente** préparée par la firme Technorm en collaboration avec le CSSMV et Leclerc architectes et financée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs a ensuite été soumise à la Régie du bâtiment du Québec, qui l'a reçue positivement. L'équipe de conception a pu démontrer, à l'aide de **modélisations incendie**, que les aménagements de l'école proposée intégrant une structure massive en bois d'ingénierie étaient tout **aussi sécuritaires** que si la structure était composée d'éléments **incombustibles**.



Simulation incendie dans une salle de classe avec plafond en bois exposé (Technorm)

Ces simulations incendie comparent une version du bâtiment conforme au Code à la solution proposée. Certains paramètres précis sont analysés (température et dégagement de chaleur, niveau de fumée et produits toxiques, temps pour atteindre l'embrasement, etc.) pour s'assurer que la solution de rechange soit au moins aussi sécuritaire que la solution acceptable selon les exigences prescriptives du Code.

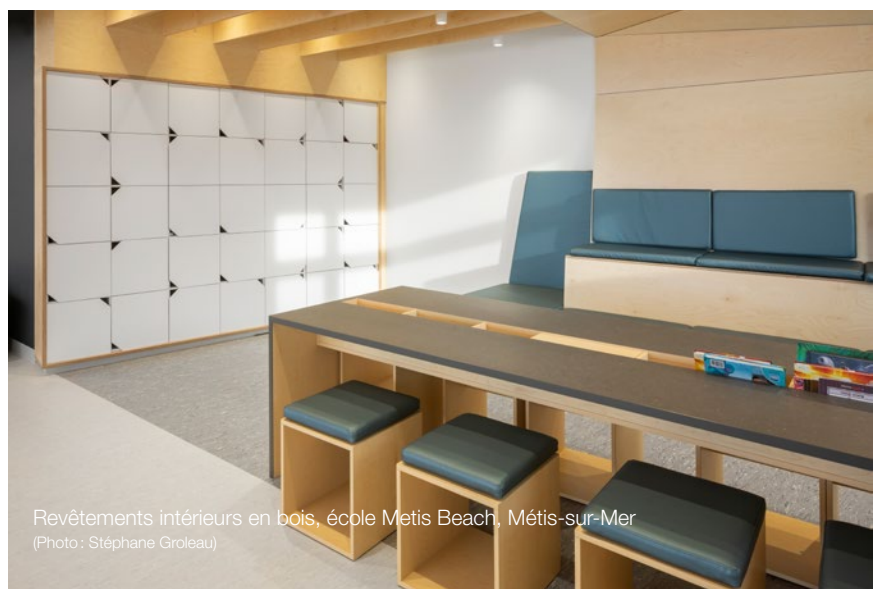
Durant ce processus de modélisation, l'équipe de conception doit s'ajuster pour trouver le bon équilibre entre sécurité et coût pour le donneur d'ouvrage. Les professionnels doivent évaluer les différentes possibilités, telles que l'ajout d'un système de ventilation des fumées, de gicleurs ou d'alarme incendie plus performant, d'un pourcentage maximum de bois apparent, de l'aménagement des moyens d'évacuation, etc., pour trouver la meilleure solution.

Cette méthodologie a permis, pour la configuration de l'école du secteur Vauquelin à Longueuil, d'avoir **75 % de la surface de bois apparent aux plafonds des classes et un gymnase avec un plafond 100 % en bois apparent**. À plusieurs endroits à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, des poteaux et des poutres de bois lamellé-collé sont aussi apparents.

7.2. Le bois comme matériau de finition

Les revêtements intérieurs de finition en bois offrent un **potentiel d'utilisation relativement élevé** à l'intérieur des écoles, tout en respectant les exigences du Code en matière de protection incendie.

Les exigences de protection incendie citées dans cette section **ne concernent toutefois pas le mobilier intégré**. Si le mobilier intégré est fixé sur le gypse aux murs, c'est ce dernier qui offrira la résistance au feu requise. Il est d'ailleurs souhaitable de fixer le mobilier intégré sur des fourrures pour que la présence de gypse derrière le mobilier soit évidente pour les pompiers. Le mobilier intégré fait toutefois partie du contenu combustible du bâtiment.



Revêtements intérieurs en bois, école Metis Beach, Métis-sur-Mer
(Photo : Stéphane Groleau)

À la différence des éléments structuraux, la notion de combustibilité du matériau (combustible ou incombustible) n'est pas la propriété intrinsèque principalement utilisée par le Code pour réglementer l'usage des revêtements intérieurs de finition. Ce sont plutôt les concepts d'**indice de propagation de la flamme (IPF)** et d'**indice de dégagement des fumées (IDF)** qui servent de critères de performance incendie. De façon simplifiée, le premier a pour but de **limiter la vitesse à laquelle un incendie peut se développer** et potentiellement se propager à l'intérieur d'un bâtiment au-delà de son point d'origine, alors que le second vise à **faciliter l'évacuation sécuritaire des occupants**.

7.2.1. L'indice de propagation de la flamme (IPF)

L'**indice de propagation de la flamme (IPF)** est une mesure de la combustion superficielle de la surface d'un matériau obtenue lors d'un essai normalisé qui permet de comparer le potentiel avec lequel un matériau de revêtement intérieur pourrait contribuer à propager un incendie au-delà de son point d'origine. Au Canada, le Code exige que l'IPF d'un matériau soit déterminé au moyen d'au moins trois essais réalisés conformément à la norme canadienne CAN/ULC-S102 Caractéristiques de combustion superficielle des matériaux de construction et assemblages.

La valeur ainsi attribuée est **adimensionnelle**, c'est-à-dire qu'elle ne possède aucune unité de mesure. Il s'agit simplement d'une échelle comparative entre les différents matériaux déterminée à partir des résultats d'essais de deux matériaux de référence, soit le chêne rouge et le fibrociment. Le chêne rouge s'est vu attribuer arbitrairement une valeur d'IPF de 100, alors que le fibrociment, un matériau inorganique, de 0. Les matériaux mis à l'essai se voient donc attribuer une valeur d'IPF en fonction des données enregistrées pendant l'essai, qui sont par la suite comparées à celles obtenues pour les deux matériaux de référence.

Les valeurs d'IPF publiées par certains fabricants de revêtements de finition, ou par des organismes ou des associations de produits, ont parfois été obtenues conformément à des essais selon la **norme américaine ASTM E84** (ou UL 723) Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials plutôt que selon la norme CAN/

ULC-S102. Il est important de noter que, bien que très similaires, **ces deux essais ne sont ni identiques ni comparables**.

Il est de la responsabilité des fournisseurs d'évaluer leurs produits conformément aux normes applicables (par exemple CAN/ULC-S102 pour une utilisation au Canada) et de fournir ces preuves justificatives aux professionnels et aux concepteurs de bâtiments. En l'absence de résultats d'essais, les professionnels et concepteurs peuvent exiger de réaliser des essais afin de démontrer la conformité d'un produit.

Plusieurs sources d'information sont à la disposition des concepteurs afin d'obtenir les valeurs d'IPF et d'IDF des revêtements de finition en bois. Certains fabricants de revêtements de finition fournissent ces valeurs pour leurs produits. L'annexe D-3 de la division B du Code donne des valeurs génériques pour divers matériaux de finition intérieure dont certains produits du bois. Le Conseil canadien du bois (CCB) publie également dans sa documentation technique ^[31] des tableaux qui donnent la valeur d'IPF de plusieurs produits du bois. En général, l'IPF des dérivés du bois d'au plus 25 mm d'épaisseur diminue à mesure qu'augmente l'épaisseur. Le **tableau 1** présente plusieurs de ces valeurs.

Il est toutefois possible d'améliorer l'indice de propagation de la flamme d'un revêtement intérieur en bois. Il existe deux façons de protéger le bois contre le feu : **le bois ignifugé sous pression** et les **enduits d'ignifugation**. Dans le premier cas, il s'agit de bois ayant été imprégné d'un produit chimique ignifugeant sous pression. Le Code exige que les produits en bois ignifugé sous pression répondent à la norme CAN/CSA-O80 et que leur indice de propagation de la flamme soit d'au plus 25. Les produits de bois ignifugé sous pression les plus communs sont les bois de construction et les contreplaqués. Pour leur part, les enduits d'ignifugation sont appliqués en surface des produits, comme un vernis ou une peinture. Il s'agit de produits propriétaires et leur fabrication n'est pas normée. Ils sont pour la plupart translucides et souvent fabriqués à base d'eau. Ils permettent d'abaisser l'IPF des produits du bois en deçà de 25. Comme ils sont souvent fabriqués à base d'eau, il n'est pas recommandé de les utiliser en conditions extérieures ni sur des matériaux trop minces comme des placages, car ils peuvent provoquer le gonflement. Les enduits d'ignifugation peuvent également être utilisés pour des structures massives en bois d'œuvre ou d'ingénierie laissées apparentes.

Tableau 1 • Valeurs d'IPF et d'IDF pour certains types de bois ^{[31] [32] [33] [34] [35]}

PRODUIT		Indice de propagation de la flamme (IPF)	Indice de dégagement des fumées (IDF)
Bois de construction de 19 mm d'épaisseur ^[32]			
Bouleau	jaune (merisier)	105 - 110	-
Noyer		130 - 140	-
Bois de construction de 19 mm d'épaisseur ^[31]			
Cèdre	blanc de l'Est	50	135
	de l'Ouest	60	100
	jaune de la côte du Pacifique	50	90
Sapin	gracieux (argenté du Pacifique)	69	58
	baumier	50	75
	de Douglas	40	80
Pruche	de l'Ouest	75	25
	de l'Est	40	110
Mélèze	de l'Est (ou laricin)	35	60
Chêne	rouge ou blanc	100	100
Pin	blanc de l'Est	85	100
	gris	55	135
	de Murray (ou pin tordu)	60	115
	à bois lourd (ou pin jaune ou pin ponderosa)	105 - 230	-
	rouge	180	70
	blanc de l'Ouest (ou pin argenté)	75	-
Peuplier faux-tremble	(tremble)	180	55
Épinette	rouge	65	175
	de Sitka	74	74
	blanche de l'Ouest	50	70
Érable	(parquets)	104	157
Bois de construction ^[33]			
Bois de construction de minimum 16 mm d'épaisseur		≤ 150	≤ 300
Bois de charpente composite ^[34]			
PSL	Parallam ^{MD} (min. 89 mm, à plat)	35	25
LVL	Brisco Mfg. (min. 140 mm, sur les côtés)	35	30
LSL	TimberStrand ^{MD} (min. 89 mm, à plat)	75	85
Bois lamellé-croisé ^[34]			
CLT	Panneau 3 plis EPS classe E1 (min. 105 mm)	35	40
	Panneau 3 plis EPS classe V2 (min. 99 mm)	40	30
Bois lamellé-collé ^[33]			
Platelage lamellé-collé (Nordic Structures), 64 mm d'épaisseur		40	55
Revêtement structural ^[33]			
Contreplaqué	Sapin de Douglas, 11 mm d'épaisseur	≤ 150	≤ 300
	Peuplier, 11 mm d'épaisseur	≤ 150	≤ 300
	Épinette, 11 mm d'épaisseur	≤ 150	≤ 300
Revêtement de sol ^[33]			
Bois dur ou tendre, revêtu ou non de vernis, de spar ou d'uréthane		≤ 300	≤ 300



Revêtements intérieurs en bois, école primaire de l'Aventure, Québec (Photo: Clément Robitaille)

Le **bois ignifugé sous pression** permet également de respecter l'exigence du Code d'un IPF d'au plus 25 sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être **en coupant le matériau dans n'importe quel sens**, c'est-à-dire dans la masse du matériau. Il pourrait notamment être utilisé dans les bâtiments de construction comme revêtement de plafond incombustible en respect des exigences de l'article 3.1.5.10.

Il est toutefois important de comprendre que le bois ignifugé **sous pression** et les **enduits d'ignifugation** ne permettent pas de rendre un matériau incombustible ni d'augmenter son degré de résistance au feu.

7.2.2. Revêtements intérieurs : exigences du Code

Les exigences du Code concernant les valeurs d'IPF dépendent de plusieurs facteurs. D'abord, elles peuvent varier selon **l'emplacement** du revêtement de finition, à savoir s'il est installé au plafond, aux murs ou au plancher. Les exigences varient également en fonction du classement selon **l'usage** du bâtiment, de la présence ou non d'un système de **gicleurs** automatiques et **de l'endroit à l'intérieur du bâtiment** (pièces, salles de bain, corridors, halls d'entrée, issues, vides techniques, etc.).

De manière générale, le Code prévoit trois catégories pour les revêtements intérieurs :

1. IPF entre 0 et 25 inclusivement ;
2. IPF de 26 à 75 ;
3. IPF au-delà de 75, mais inférieur à 150.

Pour les écoles primaires, les exigences prescriptives de sécurité incendie sont énoncées à la partie 3 de la division B du Code. La sous-section 3.1.12 mentionne les méthodes qui doivent être utilisées pour déterminer l'IPF et l'IDF des matériaux de construction, alors que les **exigences portant sur l'utilisation des revêtements intérieurs de finition sont énoncées à la sous-section 3.1.13 du Code**.

Qu'il s'agisse d'un bâtiment de construction combustible ou incombustible, **c'est dans les articles de la sous-section 3.1.13 que les professionnels peuvent obtenir les valeurs d'IPF** à respecter pour les différents revêtements intérieurs de finition de leur projet. De plus, lorsqu'un bâtiment doit être de construction incombustible conformément aux articles de la sous-section 3.2.2, des exigences additionnelles s'appliquent à l'utilisation des revêtements intérieurs de finition. En effet, en plus de celles énoncées aux

articles de la sous-section 3.1.13 du Code, les **exigences de l'article 3.1.5.10** doivent également être respectées dans le cas où des revêtements intérieurs de finition combustibles tels que le bois sont utilisés dans une construction qui doit être incombustible. Parmi les exigences de l'article 3.1.5.10, la plus notable est celle qui mentionne que la valeur d'IPF exigée pour les revêtements doit être respectée **sur toute la surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens**. Une certaine homogénéité des revêtements de finition combustibles est donc requise dans ce type de construction. Il est important de noter que les produits simplement recouverts de peintures ou de vernis retardateurs de flammes peuvent satisfaire les

exigences d'IPF superficielles, mais ils ne permettent pas à eux seuls de respecter un IPF uniforme sur toute la surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens.

Le **tableau 2** résume les exigences générales concernant les revêtements intérieurs des bâtiments de **type combustible du groupe A, division 2** (comprenant les écoles primaires), tandis que le **tableau 3** résume les exigences pour les bâtiments de **type incombustible** du même groupe. Ces tableaux ont pour objectif d'aider le donneur d'ouvrage qui n'est pas familier avec le Code du bâtiment à en connaître les exigences générales. Cependant, **une analyse approfondie doit être effectuée par les professionnels** lors de la conception.

Tableau 2 • Exigences de fini intérieur pour les bâtiments de construction combustible

Description de l'aire concernée	Exigences de fini intérieur (groupe A, division 2)	Référence
Exigences générales	Murs et plafonds → IPF ≤ 150 Portes → IPF ≤ 200	3.1.13.2 1) et 3.1.13.2 2)
Exigences supplémentaires Corridors communs, corridors utilisés par le public et corridors desservant les salles de classe	Murs → IPF ≤ 75 ou → IPF ≤ 25 sur la moitié supérieure du mur et → IPF ≤ 150 sur la moitié inférieure du mur ou → IPF ≤ 150 si le bâtiment est entièrement protégé par gicleurs Plafonds → IPF ≤ 25 ou → IPF ≤ 150 si le bâtiment est entièrement protégé par gicleurs	3.1.13.6
Exigences supplémentaires Issues (y compris passages extérieurs d'issue décrits à l'article 3.1.13.10., à condition qu'il s'agisse de la seule sortie d'issue)	Murs et plafonds → IPF ≤ 25 (voir note 1)	Tableau 3.1.13.2
Exigences supplémentaires Halls d'entrée décrits au paragraphe 3.4.4.2 2	Murs et plafonds → IPF ≤ 25 (voir note 1)	Tableau 3.1.13.2
Exigences supplémentaires Cabines d'ascenseurs	Parois et plafonds → IPF ≤ 75 Parois, plafonds et planchers → IDf ≤ 450 (indice de dégagement des fumées)	3.1.13.11

Note 1 : 3.1.13.2. 4) Si le revêtement intérieur de finition d'un mur ou d'un plafond doit avoir un IPF inférieur à 150 :

- 10 % au plus de la surface totale du **mur**, toutefois, 25 % au plus de la surface totale d'un **mur de hall d'entrée** décrit au paragraphe 3.4.4.2. 2) peut avoir un IPF d'au plus 150 ;
- 10 % au plus de la surface totale du **plafond** peut avoir un IPF d'au plus 150 ;
- Les portes, lanterneaux, vitrages et les diffuseurs et verres d'appareils d'éclairage combustibles ne doivent pas être pris en compte dans le calcul des surfaces mentionnées ci-dessus (3.1.13.2. 5).

Note 2 : À l'exception de la peinture, les revêtements intérieurs de finition des murs et plafonds des passages piétons souterrains doivent être en matériaux incombustibles (3.1.13.9.).

Note 3 : Des exigences complémentaires concernant les diffuseurs et verres d'appareils d'éclairage sont énoncées à l'article 3.1.13.4.

Note 4 : Des exigences complémentaires concernant les lanterneaux combustibles sont énoncées à l'article 3.1.13.5.

Note 5 : Le bois ignifugé doit :

- être imprégné sous pression de substances chimiques ignifugeantes, conformément à la norme CAN/CSA-O80 Série, « Préservation du bois » ; et
- avoir un indice de propagation de la flamme d'au plus 25.

Tableau 3 • Exigences de fini intérieur pour les bâtiments de construction incombustible

Description de l'aire concernée	Exigences de fini intérieur (groupe A, division 2)	Référence
Exigences générales	Murs → IPF ≤ 150 sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens → Épaisseur ≤ 25 mm Plafonds → IPF ≤ 25 sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens, ou bois ignifugé → IPF ≤ 150 permis sur au plus 10 % de la surface du plafond pour chaque compartiment résistant au feu → Épaisseur ≤ 25 mm, sauf s'il s'agit d'éléments d'une construction en gros bois d'œuvre permise en vertu de l'article 3.2.2.16. ou de tasseaux exposés en bois ignifugé Portes → IPF ≤ 200	3.1.13.2 1) et 3.1.13.2 2)
Exigences supplémentaires Corridors communs, corridors utilisés par le public et corridors desservant les salles de classe	Murs → IPF ≤ 75 ou → IPF ≤ 25 sur la moitié supérieure du mur et → IPF ≤ 150 sur la moitié inférieure du mur ou → IPF ≤ 150 si le bâtiment est entièrement protégé par gicleurs	3.1.5.10 et 3.1.13.6
Exigences supplémentaires Issues (y compris passages extérieurs d'issue décrits à l'article 3.1.13.10., à condition qu'il s'agisse de la seule sortie d'issue)	Tout revêtement de finition → IPF ≤ 25 (voir note 1) L'IPF doit s'appliquer à tout revêtement de finition de l'issue qui pourrait être exposé en coupant le matériau dans n'importe quel sens; toutefois, cette exigence ne s'applique ni aux portes, ni aux constructions en gros bois d'œuvre dans des bâtiments protégés par gicleurs, ni au bois ignifugé.	Tableau 3.1.13.2 et 3.1.13.8 1)
Exigences supplémentaires Halls d'entrée décrits au paragraphe 3.4.4.2. 2))	Murs → IPF ≤ 25 (voir note 1)	Tableau 3.1.13.2 et 3.1.5.10
Exigences supplémentaires Cabines d'ascenseurs	Parois et plafonds → IPF ≤ 75 Parois, plafonds et planchers → IDF ≤ 450 (indice de dégagement des fumées)	3.1.13.11

Note 1 : 3.1.13.2 4) Si le revêtement intérieur de finition d'un mur ou d'un plafond doit avoir un IPF inférieur à 150 :

- 10 % au plus de la surface totale du **mur**, toutefois, 25 % au plus de la surface totale d'un **mur de hall d'entrée** décrit au paragraphe 3.4.4.2 2) peut avoir un IPF d'au plus 150;
- 10 % au plus de la surface totale du **plafond** peut avoir un IPF d'au plus 150;
- Les portes, lanterneaux, vitrages et les diffuseurs et verres d'appareils d'éclairage combustibles ne doivent pas être pris en compte dans le calcul des surfaces mentionnées ci-dessus (3.1.13.2 5).

Note 2 : À l'exception de la peinture, les revêtements intérieurs de finition des murs et plafonds des passages piétons souterrains doivent être en matériaux incombustibles (3.1.13.9).

Note 3 : Des exigences complémentaires concernant les diffuseurs et verres d'appareils d'éclairage sont énoncées à l'article 3.1.13.4.

Note 4 : Des exigences complémentaires concernant les lanterneaux combustibles sont énoncées à l'article 3.1.13.5.

Note 5 : Le bois ignifugé doit :

- être imprégné sous pression de substances chimiques ignifugeantes, conformément à la norme CAN/CSA-O80 Série, « Préservation du bois »; et
- avoir un indice de propagation de la flamme d'au plus 25.

D'autres types de matériaux combustibles sont autorisés selon certaines conditions dans un bâtiment pour lequel une construction incombustible est exigée. On retrouve, entre autres :

- Les **châssis et cadres de fenêtre** combustibles (3.1.5.4 5);

- Les **menuiseries** combustibles, y compris les moulures, les portes et leur cadre, les vitrines et leur cadre, les allèges et leurs supports, les mains courantes, les étagères, les armoires et les comptoirs (3.1.5.7);
- Les **revêtements de sol combustibles** (3.1.5.8 4).

7.2.3. Possibilités hors des limites prescriptives du Code

Matériaux de finition

Dans le cas où la division B du Code ne permet pas l'utilisation du bois comme matériau de finition dans un projet, la Loi sur le bâtiment (RLRQ, c. B-1.1) permet à une équipe de conception de soumettre une solution de rechange à la **Régie du bâtiment du Québec** (RBQ).

Toitures végétalisées

Des demandes de solutions de rechange peuvent également être déposées pour d'autres aspects. Par exemple, la Régie du bâtiment du Québec a émis un guide qui interdit les **toitures végétalisées** sur tout bâtiment de construction combustible. Toutefois, elle **a accepté** plusieurs solutions de rechange avec des toitures végétalisées sur des bâtiments de construction combustible en bois massif. La Régie n'accepte pas de toitures végétalisées sur les bâtiments en bois à ossature légère. Dans tous les cas, jusqu'à avis contraire, une demande de mesure différente doit être faite pour les toitures végétalisées sur une construction en bois massif.



Rendu de l'école Vauquelin (Leclerc architectes)

8. Quelques clés pour réussir une école en bois



Yarrow Community Elementary School, Chilliwack, Colombie-Britannique
(Photo: Graciously de KMBR Architects Planners)

Les projets d'écoles primaires intégrant le bois en structure sont très appréciés des élèves et des autres usagers. Toutefois, des problématiques ont été rencontrées lors de la construction de quelques bâtiments. L'expérience a démontré que la réussite d'un projet est souvent liée aux quatre facteurs suivants :

La **conception de détails constructifs assurant la durabilité** du bois ;

La **protection contre les intempéries sur le chantier** des éléments en bois ;

La **conception de détails acoustiques** assurant une bonne performance ;

La **collaboration** et la **coordination** entre les différents intervenants.

8.1. Assurer la durabilité des structures en bois

La durabilité du bois est un élément déterminant de son utilisation dans les écoles primaires. Pourtant, les bâtiments avec une structure en bois sont tout aussi durables que les autres si on applique les pratiques exemplaires de conception et de construction.

Il est donc important que les centres de services scolaires ainsi que tous les intervenants dans la construction d'écoles, notamment les entrepreneurs, comprennent ce qui peut compromettre la durabilité du bois ainsi que les **bonnes pratiques** qui permettent de le conserver à long terme.

Avant toute chose, il est essentiel de comprendre que ce qui fait le principal avantage du bois dans la lutte contre les changements climatiques, soit d'être un **matériau naturel**, fait aussi de lui un matériau vulnérable à une dégradation naturelle sous certaines conditions. D'un point de vue environnemental, cette dégradation peu énergivore est très positive. Du point de vue constructif, elle n'est cependant pas souhaitable avant la fin de vie du bâtiment.

Les éléments **structuraux** en bois d'un projet sont ceux qui nécessitent le plus d'attention lors de la conception puisqu'ils ne sont pas facilement remplaçables, contrairement aux produits de finition.

Les trois principes suivants permettent de préserver le bois d'une dégradation prématurée :

- **éviter le contact avec l'eau ;**
- **permettre le drainage** (évacuer l'eau) ;
- **assurer un séchage rapide.**

Ces principes doivent être respectés en tout temps. Lors de la fabrication, les produits en bois sont généralement séchés à des teneurs en humidité qui ne permettent pas le développement de moisissure ou de pourriture. Cependant, lorsqu'ils arrivent **au chantier**, ils peuvent être exposés aux intempéries sur une période prolongée, ce qui peut être dommageable. Si les principes cités plus haut ne sont pas appliqués, les inconvénients peuvent être notables (remplacement de pièces dégradées, délais, coûts supplémentaires, etc.). C'est pourquoi il est donc **primordial de planifier la gestion de l'humidité sur le chantier** lorsqu'une structure en bois est utilisée.

Les prochaines sections expliquent le comportement du bois en présence d'humidité (retrait et gonflement, séchage, moisissure et pourriture) et comment assurer la durabilité des éléments structuraux en bois.

8.1.1. Le bois et l'humidité

Le bois peut être sensible à la détérioration et à la pourriture lorsqu'il est en contact direct avec l'eau ou qu'il se trouve dans des conditions d'humidité relative très élevée. La **pourriture est causée par la présence de champignons** qui détruisent le bois. **Quatre conditions** sont essentielles à l'apparition de la pourriture :

- de l'**oxygène** ;
- une **température favorable** (entre 20 °C et 30 °C ou moins selon l'humidité relative) ;
- une **teneur en humidité du bois au-delà de 28 % sur une période prolongée** ;
- un **aliment** : le bois.

Les deux premières conditions ne peuvent être exclues des bâtiments. Il est cependant possible d'**agir sur la teneur en humidité du bois** en concevant des détails de construction qui **limitent le contact direct des éléments de bois avec l'eau ou une source d'humidité**. Les enveloppes mal conçues ou les assemblages ne permettant pas l'écoulement de l'eau sont susceptibles de provoquer une concentration d'humidité, créant ainsi des conditions favorables au

développement de la pourriture. Lorsqu'il est impossible d'éliminer complètement le contact direct du bois avec l'eau, il est **important de prévoir des assemblages qui faciliteront l'écoulement de l'eau et le séchage rapide du bois.**

En plus d'utiliser des essences plus résistantes à la pourriture (**tableau 4**), des traitements de préservation peuvent également être appliqués sur le bois pour freiner la quatrième condition et neutraliser la source

d'alimentation (le bois). De l'information sur les traitements de préservation et les produits de finition est présentée à la **section 8.1.5. Produits de protection pour les structures en bois.** Il est cependant plus durable d'assurer une protection efficace à long terme du bois par des détails de conception adaptés plutôt qu'à l'aide de traitements de préservation. **La protection constructive est la meilleure protection pour assurer la durabilité du bois.**

Tableau 4 • Regroupement de certaines essences de bois indigènes selon leur résistance moyenne à la pourriture du bois de cœur (duramen)¹

	NOM FRANÇAIS	NOM ANGLAIS	NOM LATIN
TRÈS RÉSISTANT	Robinier faux-acacia	Black locust	Robinia pseudoacacia
	If de l'Ouest	Pacific Yew	Taxus brevifolia
	Mûrier rouge	Red mulberry	Morus rubra
	Oranger des Osages	Osage orange	Maclura pomifera
RÉSISTANT	Cèdre blanc de l'Est	White cedar	Thuja occidentalis
	Cèdre jaune (cyprès de Nootka)	Yellow cedar	Chamaecyparis nootkatensis
	Cèdre de l'Ouest	Western redcedar	Thuja plicata
	Chêne ²	White Oak ²	Quercus ²
	Noyer noir	Black walnut	Juglans nigra
	Calocèdre	Incense cedar	Calocedrus decurrens
	Catalpa	Catalpa	Catalpa
	Châtaignier	Chestnut	Castanea
	Cyprès blanc de l'Atlantique	Atlantic white cedar	Chamaecyparis thord gyoides
	Cyprès chauve (croissance âgée)	Bald cypress (old growth)	Taxodium distichum
	Cyprès de l'Arizona	Arizona cypress	Cupressus arizonica
	Cyprès de Lawson	Port-Orford cedar	Chamaecyparis lawsoniana
	Genévrier	Junipers	Juniperus
	Genévrier de Virginie	Eastern red cedar	Juniperus virginiana
	Prosopis	Mesquite	Prosopis
	Sassafras	Sassafrass	Sassafras
	Séquoia (croissance âgée)	Redwood (old growth)	Sequoioideae
MODÉRÉMENT RÉSISTANT	Mélèze de l'Est (ou laricin)	Tamarack	Larix laricina
	Mélèze de l'Ouest	Western larch	Larix occidentalis
	Pin blanc de l'Est	Eastern white pine (old growth)	Pinus strobus
	Sapin de Douglas	Douglas-fir	Pseudotsuga menziesii
	Cerisier noir	Black cherry	Prunus serotina
	Cyprès chauve (jeune croissance)	Bald cypress (young growth)	Taxodium distichum
	Février épineux	Honey locust	Gleditsia triacanthos
	Pin de Cuba (croissance âgée)	Slash pine (old growth)	Pinus Elliottii
	Pin des marais (croissance âgée)	Longleaf pine (old growth)	Pinus palustris
	Séquoia (jeune croissance)	Red wood (young growth)	Sequoioideae

Tableau 4 • Regroupement de certaines essences de bois indigènes selon leur résistance moyenne à la pourriture du bois de cœur (duramen)¹ (suite)

	NOM FRANÇAIS	NOM ANGLAIS	NOM LATIN
PEU OU PAS RÉSISTANT	Bouleau	Birche	Betula
	Caryer	Hickory	Carya
	Épinette (épicéa)	Spruce	Picea
	Érable	Maple	Acer
	Frêne	Ash	Fraxinus
	Hêtre	Beech	Fagus
	Noyer cendré	Butternut	Juglans cinerea
	Orme	Elm	Ulmus
	Pin (autre) ²	Pine (other than those listed) ²	Pinus ²
	Pruche	Hemlock	Tsuga
	Sapin	True fir	Abies
	Tilleul d'Amérique	Basswood	Tilia americana
	Tremble	Aspen	Populus tremuloides
	Aulne rouge	Red alder	Alnus rubra
	Copalme d'Amérique	Sweet gum	Liquidambar styraciflua
	Magnolia	Magnolia	Magnolia
	Marronnier	Buckeye	Aesculus
	Micocoulier occidental	Hackberry	Celtis occidentalis
	Peuplier	Cottonwood	Populus
	Platane d'Amérique	Sycamore	Platanus occidentalis
	Saule	Willow	Salix
	Tulipier de Virginie	Yellow-poplar	Liriodendron tulipifera

¹ La résistance à la décomposition peut être moindre pour les éléments placés en contact avec le sol et/ou utilisés dans des climats chauds et humides. Une variabilité substantielle de la résistance à la pourriture est observée avec la plupart des espèces, et des données limitées sur la durabilité étaient disponibles pour certaines espèces répertoriées. Faire preuve de prudence dans l'utilisation des bois naturellement durables dans des applications structurellement critiques ou en contact avec le sol.

² Plus d'une espèce incluse, dont certaines peuvent varier en résistance par rapport à celle indiquée.
Source : Wood Handbook [26]

Note : Dans ce tableau, les essences dont le fond est grisé peuvent ne pas être offertes au Québec.
Vérifier la disponibilité des essences auprès du fournisseur en amont.

La **moisissure** est une autre altération du bois, provoquée par le développement de spores de champignons dans des conditions très humides. Elle peut se manifester par un **noircissement du bois en surface**. La moisissure se développe principalement à la surface du bois et n'altère pas ses propriétés mécaniques. Des espaces plus froids, comme le sous-sol d'un bâtiment, ont habituellement une humidité relative plus élevée et sont donc des lieux plus propices à son développement. La moisissure n'est pas uniquement liée à la présence de bois ; elle peut aussi se développer sur la poussière se retrouvant sur les différents matériaux ou encore sur le gypse. Le **tableau 5** présente les conditions d'humidité et de température favorisant le développement de champignons sur le bois.

Tableau 5 • Conditions générales de développement des champignons sur le bois

	MOISSURE	POURRITURE
Teneur en humidité du bois	> 18 %	> 28 %
Température	4* à 55 °C	0 à 40 °C
Humidité relative	> 75-85 °C	95-98 °C

* La plupart des moisissures requièrent une température minimale de 4 °C. Des études ont cependant démontré que certains types de moisissure peuvent croître jusqu'à -7 °C.

Source : FPInnovations

Comme présenté à la **figure 8**, la teneur en humidité du bois dépend de la **température** et de l'**humidité relative de l'air ambiant**.

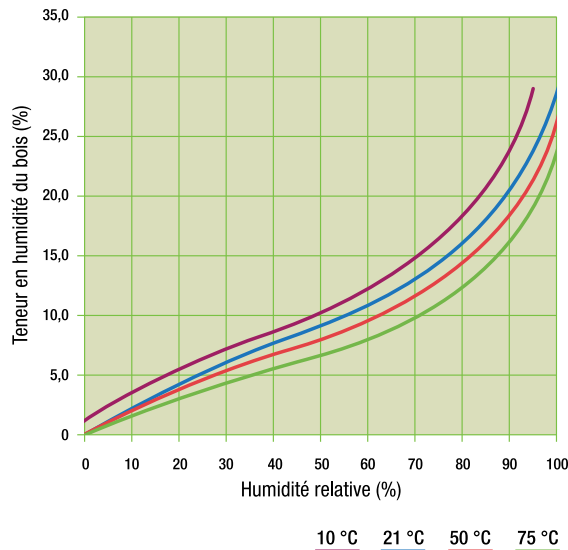


Figure 8 • Teneur en humidité d'équilibre du bois
(Source : Conseil canadien du bois)

À l'intérieur d'un bâtiment chauffé (à 21 °C), l'humidité relative au Québec se situe généralement entre 45 % et 65 %, dépendamment des saisons, si rien n'est fait pour la contrôler. Les ingénieurs en mécanique installent habituellement des appareils pour limiter l'humidité ambiante à 60 % et moins dans les bâtiments qui génèrent beaucoup d'humidité comme les piscines et les arénas. À ces conditions climatiques, la teneur en humidité d'équilibre du bois oscille entre 8 % et 12 %, assez loin du 18 % nécessaire au développement de moisissures.

À l'extérieur, la variation de température et d'humidité relative est plus importante. Selon la saison et la situation géographique du bâtiment, la teneur en humidité d'équilibre du bois oscille entre 11 % et 16 %.

8.1.2. Retrait et gonflement

Au-dessus du **point de saturation des fibres (PSF)** (teneur en humidité du bois > 30 %), un changement de teneur en humidité entraîne seulement l'évaporation ou l'ajout d'eau libre se trouvant à l'intérieur des cellules du bois. Ce changement de teneur en humidité ne compromet pas la paroi cellulaire et ne produit donc

pas de changements dimensionnels du bois (**figure 9**). Cependant, **en dessous du PSF (TH < 30 %), une variation de la teneur en humidité correspond à une variation dimensionnelle de l'élément en bois**. L'évaporation de l'eau contenue dans les parois cellulaires engendre en effet un retrait du matériau proportionnel à la perte d'humidité.

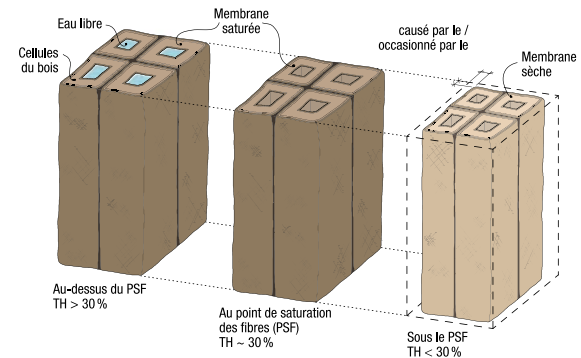


Figure 9 • Influence de la teneur en humidité sur les changements dimensionnels du bois

Les coefficients de retrait et de gonflement sont généralement faibles dans le sens longitudinal du bois, mais peuvent être beaucoup plus importants dans les sens radial et tangentiel (**figure 10**).

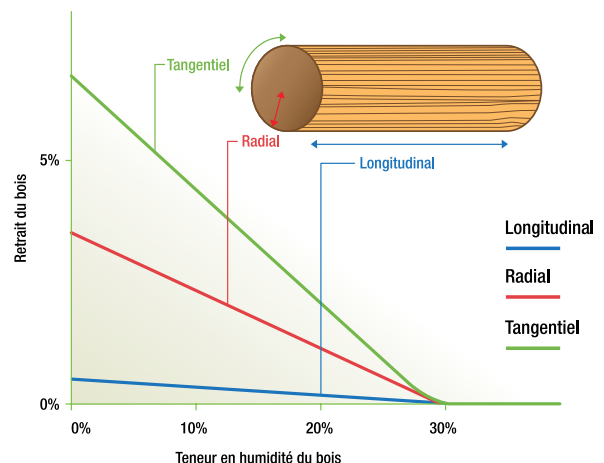
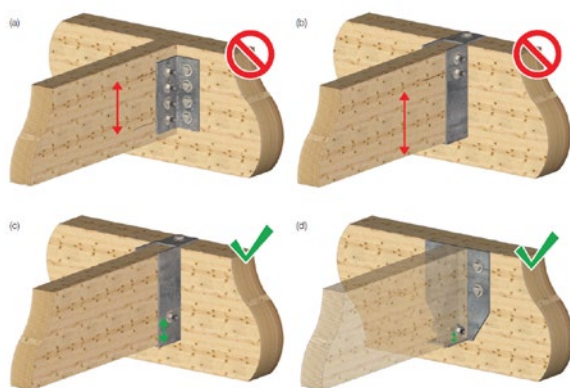


Figure 10 • Phénomène de retrait et gonflement selon le sens du bois

Le calcul du retrait d'un élément en bois peut s'avérer nécessaire dans certaines situations pour assurer la bonne performance d'un système de construction. Par exemple, certaines structures mixtes utilisent des matériaux différents qui, en changeant de dimensions inégalement, peuvent compromettre la durabilité du système. Par exemple, la structure en bois d'un bâtiment en ossature légère de plusieurs étages ne variera pas de la même façon que la cage d'ascenseur en béton.

Ainsi, pour les détails d'assemblage avec plaques métalliques, certains principes doivent être respectés pour prévenir les contraintes parasites dues au retrait du bois. Ces principes sont particulièrement importants pour les assemblages utilisés pour la construction massive en bois, car la surface d'assemblage est souvent plus importante. Des assemblages mal conçus peuvent entraver le retrait et causer le fendage de l'élément en bois. Pour soutenir une poutre, par exemple, il est habituellement plus approprié d'utiliser un étrier qui reprend les efforts en compression sur la face inférieure plutôt que des cornières latérales et une file de boulons qui risquent d'entraver le mouvement du bois perpendiculairement au fil.



8.1.3. Séchage du bois

La meilleure façon de minimiser l'effet du retrait après l'installation est d'utiliser des matériaux ayant une **teneur en humidité la plus proche possible de celle prévue en service**. Les éléments en bois peuvent être séchés naturellement ou au séchoir. En Amérique du Nord, la teneur en humidité des éléments de bois en service se situe habituellement entre 8 % et 12 % et varie selon les saisons et les

conditions d'utilisation (**tableau 6**). Les règles de bonnes pratiques exigent que la teneur en humidité des éléments d'ossature en bois n'excède pas 19 % au moment de leur mise en œuvre. Les gros éléments en bois massif sont cependant rarement secs au cours de la pose, en raison de la difficulté de les sécher rapidement. Inversement, les bois d'ingénierie sont habituellement séchés à des teneurs en humidité autour de 12 % ou moins afin d'assurer un collage adéquat des différents éléments et de minimiser le retrait (**tableau 7**). L'utilisation des produits de bois d'ingénierie réduit donc considérablement le retrait total sur un bâtiment puisque leur procédé de fabrication leur donne une teneur en humidité près de celle d'utilisation (**figure 11**). Ces produits peuvent cependant subir un léger effet de retrait et de gonflement selon les changements d'humidité saisonniers et les conditions d'entreposage et de montage.

Tableau 6 • Teneur en humidité d'équilibre (THE) des éléments en bois

Région du Canada	Condition d'utilisation	THE moyen
Côte Ouest	intérieur	10-11 %
	extérieur	15-16 %
Prairies	intérieur	6-7 %
	extérieur	11-12 %
Canada Central	intérieur	7-8 %
	extérieur	13-14 %
Côte Est	intérieur	8-9 %
	extérieur	14-15 %

Tableau 7 • Teneur en humidité des produits du bois au moment de l'installation

Produit	Teneur en humidité du bois estimée à l'installation
Bois de charpente sec	13 % à 19 %
Bois d'ingénierie (poutrelles en I, SCL)	4 % à 12 %
Bois lamellé-collé	7 % à 15 %
Panneaux (OSB, contreplaqué)	4 % à 8 %

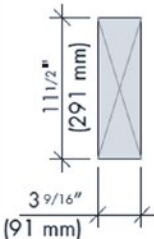
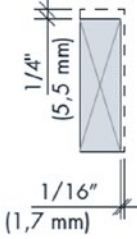
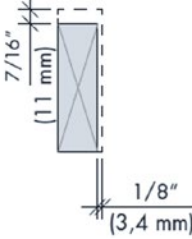
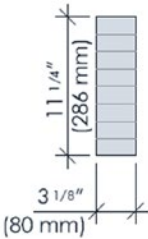
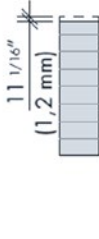
Bois de sciage			Bois lamellé-collé	
Vert 28%	À l'installation (séché) 19%	En service 10%	À l'installation 12%	En service 10%
				
TH à l'installation = 19 % TH en service = 10 % Retrait différentiel = 5,5 mm (1/4 po)			TH à l'installation = 12 % TH en service = 10 % Retrait différentiel = 1,2 mm (1/16 po)	

Figure 11 • Retrait des éléments en bois dû au séchage

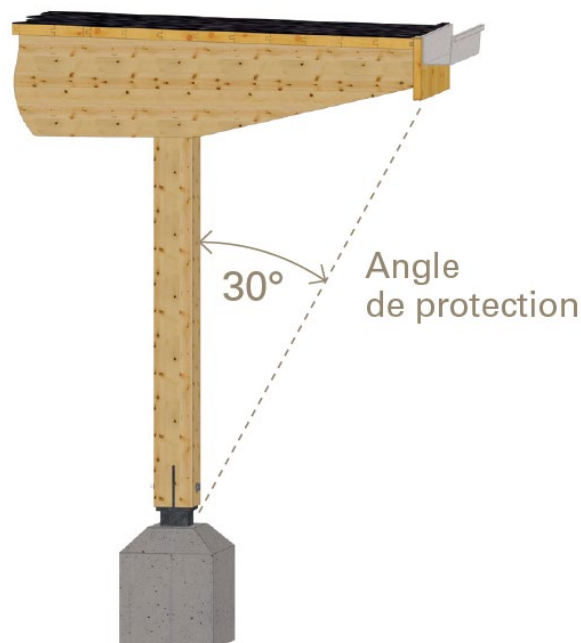
8.1.4. Détails de conception adaptés aux structures en bois

De nombreux problèmes de durabilité proviennent de détails de conception qui ne sont pas adaptés aux structures en bois. **cecobois** a rédigé un guide à ce propos pour aider les concepteurs: le *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie* [27]. Plus particulièrement, la section 5 (pages 17 à 32) du guide présente des détails à respecter pour des éléments structuraux intérieurs et extérieurs. Les points suivants y sont présentés en détail:

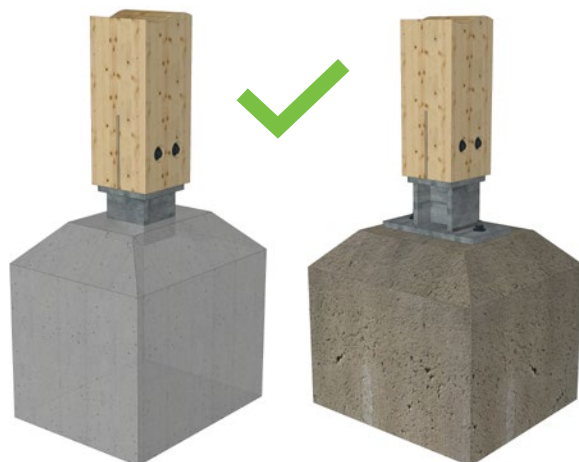
- **Prévoir le retrait et éviter la traction perpendiculaire au fil**
 - Favoriser la compression plutôt que la traction perpendiculaire au fil ;
 - Concevoir des assemblages permettant le retrait ;
 - Entailles, encoches et ouvertures.
- **Prévenir la pourriture des éléments en bois**
 - Applications intérieures ;
 - Applications extérieures.
- **Exemples de structures en bois extérieures bien protégées**

Il est nécessaire que les concepteurs respectent ces principes pour assurer une bonne durabilité des éléments structuraux en bois.

Par exemple, des débords de toit offrant un angle de protection de 30 degrés constituent une bonne protection pour les ouvrages de bois.



Dans nos climats, des pieds de colonne surélevés sont à favoriser, car le contact fréquent avec l'eau cause une dégradation rapide. La fonte de la neige au printemps doit aussi être prise en compte.



De plus, certains détails d'usinage comme une goutte d'eau, une fine bande de bois coupée en angle et située à l'extrémité des surfaces sur lesquelles l'eau ruisselle, permettent à l'eau d'être évacuée plus rapidement des pièces de bois.



Figure 12 • La goutte d'eau usinée sur ce pied de colonne permet à l'eau qui ruisselle le long de la colonne de tomber directement au sol sans stagner.

8.1.5. Produits de protection pour les structures en bois

Selon l'utilisation prévue et l'aspect recherché, les éléments de structure en bois pourront recevoir une ou des couches de scellant de surface, de peinture ou de teinture. Un traitement de préservation peut aussi s'avérer nécessaire.

8.1.5.1. Produits

Le **scellant de surface**, aussi appelé produit de préservation hydrofuge, est généralement appliqué en usine sur les éléments en bois d'ingénierie pour les rendre résistants à la saleté et à l'humidité à court terme, par exemple durant le transport et l'entreposage au chantier. L'application de scellant sur les extrémités d'un élément en bois joue un rôle particulièrement important pour limiter la pénétration de l'humidité. Si un élément en bois est coupé sur le chantier, une couche de scellant doit donc rapidement être appliquée sur les surfaces coupées.

Les **peintures** et les **teintures** sont des enduits colorés qui peuvent être appliqués à la surface des éléments en bois pour les protéger. **Les peintures et les vernis forment un feuil (film) opaque à la surface de l'élément, alors que les teintures pénètrent à l'intérieur du matériau.** Les teintures sont habituellement conseillées, car elles évitent le feuil opaque qui peut emprisonner l'humidité à l'intérieur du bois. La durée de vie de ces produits variera entre 2 et 15 ans selon l'opacité du produit, la qualité de l'application et l'exposition au soleil direct. Les produits à forte pigmentation sont plus opaques et résistent mieux aux ultraviolets tout en procurant une meilleure protection. La compatibilité de ces produits avec la sous-couche préalablement appliquée en usine doit être vérifiée.

Les **traitements de préservation** réduisent les risques de pourriture en rendant le bois non comestible pour les champignons. Ces traitements sont généralement appliqués sous pression, conformément à la norme CSA O80, pour augmenter la pénétration et la rétention des produits chimiques. Afin d'assurer une pénétration plus uniforme du produit de préservation, on pratique souvent de petites incisions sur toute la surface du bois, ce qui peut cependant diminuer la résistance prévue des pièces et nuire à l'apparence finale de l'élément. Toutefois, ces inconvénients peuvent être amoindris par des traitements faits aux microaiguilles.

8.1.5.2. Conditions d'utilisation

En **utilisation intérieure**, lorsqu'il est prévu que les éléments en bois ne seront pas dans des conditions d'humidité élevée ou en contact direct avec l'eau, **le scellant seul est une finition adéquate**. Il permet de conserver le fini naturel du bois. Une teinture ou une peinture peut aussi être ajoutée en fonction de l'aspect recherché.

Pour une **utilisation extérieure** en condition abritée, l'emploi d'un scellant très pénétrant, d'une teinture ou d'une peinture peut être envisagé afin de conserver l'aspect initial du bois. Selon les conditions d'exposition, un traitement de préservation peut aussi être requis pour assurer une durabilité accrue. Bien qu'il soit préférable de ne pas utiliser le bois d'œuvre et le bois lamellé-collé dans des conditions humides, il est possible de les utiliser s'ils ont été traités en conséquence et sont régulièrement entretenus. Les produits de charpente composite (PSL, LVL, LSL, etc.) doivent toutefois rester dans des conditions sèches.

Il est toujours préférable que les éléments structuraux en bois soient protégés contre les intempéries. Comme indiqué dans les sections précédentes, la protection constructive est celle qui offre la plus grande protection pour le bois, autant contre la dégradation engendrée par l'eau que par le soleil.

8.2. Gestion de l'eau, de l'humidité et de la qualité en chantier

La gestion de l'eau sur le chantier est primordiale pour tous les projets avec une structure en bois. Plus la taille du projet augmente, plus cette gestion est importante. Ne pas tenir compte des conditions de chantier et de la protection des structures exposées peut générer différents problèmes qui peuvent compromettre la durabilité des éléments en bois.

Il est nécessaire de protéger le bois d'une humidité importante et prolongée pour éviter l'apparition de moisissure et de pourriture. Ces phénomènes sont expliqués plus en détail dans la section **8.1.1. Le bois et l'humidité**.

Pour des murs à ossature légère en bois, il faut par exemple veiller à ne pas fermer les murs trop rapidement si de l'humidité est présente à l'intérieur des pièces de bois (taux d'humidité du bois) et des locaux (taux d'humidité de l'air ambiant) pour éviter des problèmes

de moisissure à moyen terme. Il est toutefois préférable d'être proactif et d'éviter que l'humidité s'infilte.

Dans les projets où les éléments en bois sont apparents, l'esthétique du produit final est importante et les produits nécessitent d'être manipulés avec encore plus de précautions. Les fabricants recommandent des méthodes d'entreposage et de manipulation des éléments de bois d'ingénierie pour préserver leur aspect visuel et leur intégrité structurale. Les éléments de bois d'ingénierie doivent :

- Être entreposés au chantier sur un **terrain bien drainé** (et couvert, si possible) ;
- Être entreposés à un endroit où il y a peu de passage pour **éviter les traces de pas** sur les éléments qui seront apparents et qui peuvent être ensuite installés à des endroits difficiles d'accès ;
- Être gardés à un minimum de 200 mm (8 po) du sol ;
- Demeurer **enveloppés** pour être protégés des intempéries pouvant créer des détériorations (**des ouvertures devraient être percées** sous l'enveloppe pour permettre la ventilation et le drainage de l'eau) ;
- Être empilés de façon à **minimiser les surfaces exposées aux intempéries**, tout en offrant une bonne ventilation ;
- Certains éléments doivent être soulevés dans le même sens qu'ils seront installés au chantier et ne pas être manipulés à plat pour **éviter les contraintes excessives** ;
- Éviter d'être heurtés, échappés, secoués ou traînés ;
- Être **protégés aux rebords** des câbles par des tasseaux de bois ;
- Être déplacés avec des **élingues de nylon propres** qui ne rayent pas les éléments au moment d'un soulèvement par grue.

Lors de l'installation des éléments, il est également important :

- D'assurer une **protection temporaire du bois contre l'humidité** et de permettre un nettoyage facile ;
- De **protéger des chocs** les éléments apparents tels que les colonnes, au moins jusqu'à hauteur d'homme, à l'aide de panneaux de protection ;

- De faire attention à l'**humidité dans le complexe de toiture** (par exemple : un contreplaqué installé directement sur un platelage ou un panneau de CLT mouillé et qui va empêcher l'évaporation de l'eau). Note : Les toits composés de platelage sont sensibles au gonflement perpendiculaire au fil du bois lorsqu'ils sont en contact prolongé avec de l'eau. Une attention particulière doit y être accordée, car après le séchage, le bois ne retrouve pas forcément sa place initiale ;
- De protéger les **ferrures et la quincaillerie** (utilisation d'une couche de protection comme l'électrozingage, la galvanisation ou la peinture) pour éviter les coulures de rouille sur le bois, qui sont très difficiles à effacer.

Souvent, dans les projets d'envergure comme les écoles primaires, les membranes d'étanchéité sont constituées de plusieurs épaisseurs de matériau. **La sous-couche peut donc servir de membrane de protection temporaire pour le bois.** Un bon séquençement des corps de métier par l'entrepreneur général est donc nécessaire pour laisser le bois exposé le moins longtemps possible aux intempéries.

Pour assurer la qualité esthétique des éléments en bois apparents une fois le bâtiment en service, il est important de **contrôler la température et le taux d'humidité relative à l'intérieur**. Selon la période de l'année à laquelle la structure sera érigée, les conditions de température et d'humidité à l'intérieur peuvent grandement varier.

Durant la construction et la mise en service du bâtiment, il est essentiel de ne pas faire varier les conditions de température et d'humidité relative trop rapidement. Les **équipements de chauffage** utilisés pour la construction sont très puissants et soufflent beaucoup d'air de façon unidirectionnelle. L'utilisation de **diffuseurs** est souvent requise, et il est important de ne pas les orienter directement sur les éléments de bois qui resteront visibles.

Une fois le bâtiment fermé et étanche, **l'entrepreneur devrait s'assurer de maintenir une humidité relative d'environ 60 % pour une température entre 5 °C et 25 °C.** L'humidité relative peut ensuite être réduite graduellement lors de la mise en service du bâtiment.

À défaut de suivre les précédentes recommandations, les éléments de bois pourraient présenter du fendillement, de la gerce de surface ou d'autres défauts compromettant la qualité visuelle des produits finis.

8.3. Assurer une bonne performance acoustique

8.3.1. Solutions acoustiques pour la construction à ossature légère en bois

8.3.1.1. Murs

Dans ce type de structure, il est conseillé d'opter pour des assemblages de murs en quinconce ou en cloison double. L'illustration **A** de la **figure 13** correspond à une cloison double sur laquelle des barres résilientes sont installées de chaque côté dans le but de diminuer la transmission des vibrations des étages supérieurs ou inférieurs dans les panneaux muraux de gypse. Ce type d'assemblage est recommandé pour les murs porteurs.

L'illustration **B** de la **figure 13** correspond à une cloison double sur laquelle un système résilient est installé sur un seul côté. Ce type de cloison est largement utilisé dans la construction résidentielle, où les attentes sont élevées en matière d'insonorisation, et offre une bonne performance acoustique. Elle sera donc tout aussi performante pour les écoles.

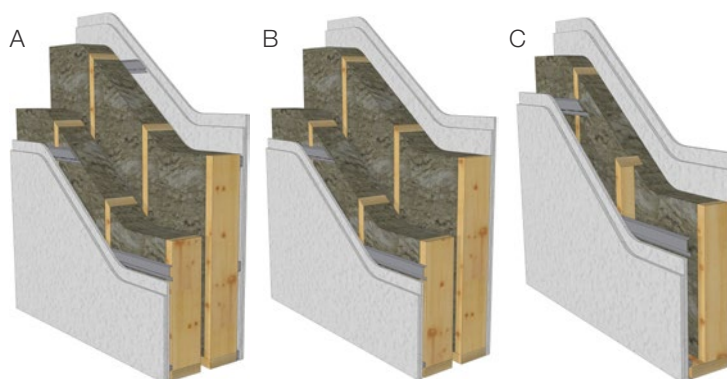


Figure 13 • Solutions acoustiques pour murs en ossature légère

Le mur en quinconce sur lequel un système résilient est installé d'un seul côté offrira quant à lui une performance et un coût de construction légèrement moindre (illustration **C** de la **figure 13**). Comme son nom l'indique, ce mur comporte des montants de bois disposés en quinconce sur la largeur des lisses. L'insonorisation procurée par ce type de mur sera adéquate pour séparer des espaces dans les écoles, car il a fait ses preuves dans le domaine résidentiel et les bâtiments d'affaires.

Il est important de considérer le traitement à apporter aux murs porteurs, car ceux-ci ne se comportent pas de la même façon que les murs non porteurs. Au minimum, il est recommandé de les travailler avec des **systèmes résilients** (barres résilientes, isolateurs acoustiques, etc.) sur chacune de leurs faces (**figure 14**). Il est préférable d'utiliser des systèmes d'isolateurs acoustiques plutôt que des barres résilientes pour l'installation des panneaux de gypse aux murs. L'avantage principal de ce système est la diminution (voire l'annulation) du risque d'une mauvaise installation. Bien que le coût des isolateurs acoustiques soit plus élevé que celui des barres résilientes, ce choix permet d'atteindre les performances visées avec plus de certitude. L'espacement entre les systèmes résilients peut également avoir une incidence sur la performance acoustique de ce type de mur.



Figure 14 • Isolateur acoustique (à gauche) et barre résiliente (à droite)

Il est préférable de travailler en priorité sur des éléments qui sont nécessaires à la construction du bâtiment et à sa vocation (par exemple : les murs) et d'envisager seulement par la suite l'installation de produits d'absorption acoustique en surface. Ce principe permet des économies non négligeables, car les absorbeurs de basses fréquences peuvent avoir un coût élevé.

Par exemple, dans le cas d'un mur à ossature légère avec revêtement de gypse, il est important de considérer ses propriétés en résonance et sa surface. Lorsque des

panneaux de gypse sont installés sur des supports (peu importe leur type), ces grandes surfaces peuvent s'apparenter à la surface de « tambours géants ». Un panneau de gypse installé sur des montants espacés de 406 mm (16 po) agira ainsi comme la membrane d'un tambour mesurant 406 × 2 440 mm (16 × 96 po). Ce tambour se comportera comme un panneau d'absorption qui éliminera certaines fréquences nuisibles dans cet espace. Les fréquences absorbées dépendent notamment du nombre et de la densité des panneaux de gypse installés ainsi que de l'espacement des montants du système résilient utilisé.

8.3.1.2. Planchers

Il existe plusieurs options de planchers dans la construction à ossature légère en bois.

Option 1 : Chape de béton cimentaire ou de béton de gypse

Le béton peut être un excellent complément acoustique pour les planchers en ossature légère. Il faudra choisir un béton qui est en adéquation avec le type de revêtement de sol utilisé. Il est faux de penser que l'ajout d'une surépaisseur de béton apporte toujours de meilleurs résultats. Il est très important d'utiliser une membrane de désolidarisation adaptée au type de béton installé selon la charge appliquée afin d'en maximiser la performance. Attention : ces chapes contiennent de l'eau, ce qui peut causer des problèmes au bois en cas de mauvaise installation. Les membranes devront aussi protéger le bois de l'humidité excessive.

Option 2 : Plaques de sol insonorisantes (chape sèche)

Ce type de substrat, constitué de panneaux de gypse spécialement conçus pour insonoriser des planchers, est avantageux pour éviter une humidité excessive sur le bois pendant la construction. Il ne nécessite pas de temps de séchage comme le béton, ce qui peut faire gagner du temps au chantier. Ce système permet aussi de réduire le poids sur la structure, ce qui peut être avantageux si le bâtiment est sur un sol avec une faible capacité portante ou même pour réduire les charges permanentes sur la structure.



Installation de plaques de sol insonorisantes (Image : Fermacell, distribué au Canada par Distribution CC)

Option 3: Solutions complexes

Il existe d'autres solutions acoustiques moins communes, mais tout aussi performantes. Elles nécessitent toutefois plus d'étapes à l'installation et engendrent une plus grande surépaisseur sur le plancher en bois. Il est donc essentiel de les intégrer à l'étape de la conception du projet. Quelques manufacturiers québécois offrent ce type de solution dite « complexe ». Certaines solutions complexes peuvent s'avérer plus performantes que des solutions plus communes. Ces solutions vont combiner élévation, point de contact, absorbant phonique et chape de bois flottante. Un exemple de système complexe pourrait être un lit de granules d'argile dans un support en nid d'abeilles. Ce type de solution insonorise le plancher au-dessus des éléments structuraux en bois et permet que le plafond soit apparent en dessous.

8.3.2. Solutions acoustiques pour la construction en panneaux massifs en bois

8.3.2.1. Murs

Si on cherche généralement à utiliser les murs en bois massif apparents pour l'esthétique et les bienfaits biophiliques, il faut toutefois souvent les recouvrir d'assemblages de gypse pour atteindre des performances acoustiques qui répondent aux exigences du Code. Il est heureusement possible d'atteindre une performance acoustique adéquate en conservant une face apparente sur deux, l'autre étant recouverte de gypse.

Par ailleurs, il existe des panneaux de bois architecturaux installés sur des panneaux de gypse (voir « Murs et plafonds acoustiques en bois » ci-dessous). De cette façon, l'aspect chaleureux du bois est préservé

sur les murs recouverts de panneaux de gypse, et les exigences du Code sont respectées.

8.3.2.2. Plancher

Il existe plusieurs types de panneaux massifs en bois (CLT, NLT, DLT, etc.) utilisés pour faire les planchers de structure en bois. Ceux-ci n'offrent pas tous les mêmes niveaux d'insonorisation des bruits d'impact. En effet, leurs compositions et leurs méthodes d'installation diffèrent, ce qui peut avoir une incidence importante sur le comportement acoustique d'un plancher. Il est fortement conseillé d'utiliser des membranes de désolidarisation dans les compositions de ce type de plancher afin d'améliorer leur performance acoustique.

Il est important de noter que les planchers en bois massif possèdent plusieurs bandes de fréquences limitatives. Celles-ci favorisent le transfert du son à travers les assemblages. Afin de limiter la transmission du son d'une pièce à l'autre, des solutions adaptées doivent être considérées (**figure 15**).

On peut par exemple utiliser :

- un système à chape sèche utilisé seul (A) ou en combinaison avec un support en nid d'abeilles rempli de granules (B) ;
- un système à coupelles structurales utilisé seul (C) ou en combinaison avec une mince couche de béton pour des performances accrues (D) ;
- une chape de béton flottante sur un système en tasseaux de bois rempli d'absorbant phonique (E) ou de sable (F) dans le but d'alourdir la structure et d'offrir un meilleur isolement au bruit aérien.

À titre informatif, les systèmes présentés ci-dessus sont classés en ordre croissant de performance acoustique.

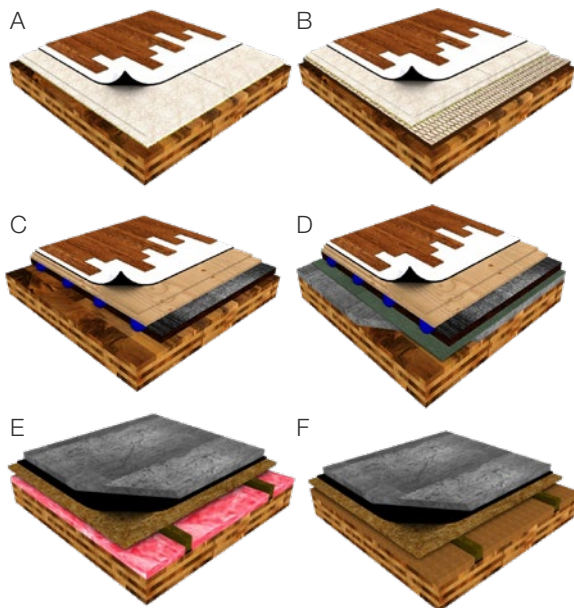


Figure 15 • Solutions acoustiques complexes pour planchers en bois massif (Illustrations : AcoustiTECH)

8.3.2.3. Plafond

Les solutions pour insonoriser les planchers en conservant le bois apparent sont présentées à la section précédente. Les défis sont grands avec ce type de solution, mais des résultats qui respectent les plus hauts standards sont tout à fait possibles si l'on porte une attention particulière au flanking, le bruit qui traversera le plancher par des chemins indirects. Des caissons au pourtour des plafonds pourront dissimuler la mécanique et aussi insonoriser la jonction mur-plafond qui peut être propice aux fuites de bruit.

D'un point de vue strictement acoustique, les solutions pour insonoriser les pontages de bois par le dessous sont plus simples et économiques à réaliser, mais le bois n'est alors plus apparent. Il est possible d'ajouter du bois de parement sur les gypses installés au plafond pour atténuer les sons indésirables tout en conservant les avantages esthétiques et biophiliques du bois.

8.3.3. Murs et plafonds acoustiques en bois

Des manufacturiers québécois fournissent des produits architecturaux en bois qui offrent, pour certains d'entre eux, une bonne performance acoustique. Ces produits esthétiques peuvent donc être utilisés pour leurs propriétés acoustiques qui réduisent les temps de réverbération aussi bien que pour leur apparence. Certains sont d'ailleurs fabriqués à partir de bois recyclé.

8.3.4. Ressources disponibles

Plusieurs ressources en anglais donnent les indices STC (Sound Transmission Class) ou IIC (Impact Insulation Class) de différentes compositions intégrant des produits en bois :

- **FRR & STC Tool** : Cet outil créé par le Conseil canadien du bois aide les concepteurs à élaborer des compositions génériques de murs, de planchers et de toits selon le degré de résistance au feu souhaité. Il fournit également la valeur de l'**indice de transmission du son (STC)** associée à tous les assemblages pour lesquels cet indice est connu. Pour le consulter, visitez le <http://frr-stc.cwc.ca/>.
- **Inventory of Fire Resistance Tested Mass Timber Assemblies Penetrations** : Ce document publié par Woodworks fournit les indices STC et IIC de nombreux tests acoustiques qui ont été effectués sur des assemblages courants de construction massive en bois. Pour le consulter, visitez le <https://www.woodworks.org/design-and-tools/>.

8.4. Coordination des intervenants du projet

L'équipe de réalisation d'un projet de construction d'école est composée de plusieurs professionnels du bâtiment ayant tous des rôles et responsabilités bien définis. Dans le cadre d'un projet en bois, il est important de clarifier certains points de façon à ne pas créer d'ambiguïtés inutiles à la réalisation d'un projet de qualité et à favoriser les bonnes expériences avec le bois.

La liste de points cités dans cette section n'est pas exhaustive ; les rôles et responsabilités cités concernent seulement les points les plus importants liés à l'utilisation de bois dans un projet d'école primaire.

Plusieurs modes de réalisation de projet existent. Les modèles plus traditionnels de construction comptent un maître d'ouvrage lié par contrat avec des équipes de professionnels et un entrepreneur général qui prend en charge la construction du projet. L'entrepreneur, qui a pour objectif de mener à bien la construction, peut compter sur un réseau de fournisseurs et d'entrepreneurs spécialisés en plus d'engager de la main-d'œuvre en régie interne.

Les projets de ce type peuvent se fractionner en deux grandes phases, la phase conception et la phase de construction.

Phase de conception : Cette phase est l'étape la plus importante pour la coordination entre professionnels (architecte, ingénieurs en structure, civil, mécanique et électrique, acousticien, spécialistes en code, etc.) et le donneur d'ouvrage.

La qualité des échanges entre tous les intervenants au démarrage d'un projet permet d'économiser temps et argent. Plus le projet avance, plus il est difficile de faire des changements, et plus les changements effectués deviennent complexes et coûteux.

Phase de construction : C'est à cette étape qu'on intègre l'entrepreneur général et les fournisseurs à l'équipe de projet.

Dans un projet avec une structure en bois, il est très important que l'entrepreneur général définisse sa stratégie de protection des éléments en bois contre les intempéries et la communique aux différents intervenants. Pour plus de détails, consulter la section **8.2. Gestion de l'eau, de l'humidité et de la qualité en chantier.**

Les fournisseurs et les entrepreneurs spécialisés sont les personnes qui connaissent le mieux leurs produits. Les échanges entre eux, l'entrepreneur général et l'équipe de conception permettent d'optimiser les performances de leurs produits. Les professionnels ont avantage à les consulter pour préparer leurs plans et devis, car l'entrepreneur devra respecter scrupuleusement ces documents.

8.4.1. Rôle du donneur d'ouvrage (client/propriétaire)

Phase de conception :

Avant de donner un mandat à l'équipe de projet, le donneur d'ouvrage (généralement le centre de services scolaire) doit connaître le **guide de planification immobilière** du ministère de l'Éducation et les programmes de bonification et de subvention pertinents.

Le donneur d'ouvrage doit ensuite s'assurer que la vision du projet est la même pour tous les professionnels. Il doit notamment **communiquer clairement ses intentions face à la présence du bois dans le projet** (structure complète ou partielle, bois en apparence, mobilier intégré). Il peut utiliser la section **7. Les possibilités du Code** pour évaluer rapidement les possibilités en matière d'utilisation du bois.

L'équipe de projet pourra ensuite l'accompagner de façon plus avancée.

Phase de construction :

Pendant la phase de construction, le donneur d'ouvrage est toujours en lien avec les professionnels et l'entrepreneur au chantier pour suivre l'avancement des travaux.

8.4.2. Rôle de l'architecte

Phase de conception :

L'architecte a un **rôle clé de conception de l'ensemble et de coordination générale**. Il doit :

- Comprendre les avantages et les limitations du bois pour l'intégration de ce matériau dans les concepts à proposer au donneur d'ouvrage et aux ingénieurs ;
- Inclure des trames structurales aux dessins de manière à susciter les commentaires de l'ingénieur en structure ;
- Identifier rapidement les parties et les éléments du bâtiment qui seront en structure de bois ;
- Aviser les différents professionnels des systèmes qui peuvent avoir une incidence sur la mécanique (par exemple : plancher radiant) et les éléments accrochés à la structure qui pourraient être compromis par une déformation ou du retrait excessif.

Phase de construction :

- Approbation des dessins d'atelier ;
- Approbation des fiches techniques (produits de finition en bois, teinture, revêtements architecturaux, etc.).

8.4.3. Rôle de l'ingénieur en structure

Phase de conception :

Dans un projet d'école en bois, l'ingénieur en structure doit être **partie prenante des rencontres de développement du concept** avec le donneur d'ouvrage et l'architecte. Son travail, en plus d'assurer la solidité et la durabilité du bâtiment, contribue à l'esthétisme de l'ouvrage.

L'ingénieur en structure doit :

- Réagir rapidement aux intentions de l'architecte et de l'ingénieur mécanique pour établir la faisabilité des structures en bois ;
- Démontrer son contrôle du matériau bois et user de créativité pour atteindre les objectifs et besoins du donneur d'ouvrage qui sont transposés par l'architecte ;
- Calculer le degré de résistance au feu des éléments en bois de grandes dimensions. En effet, le dimensionnement des éléments structuraux doit répondre au degré de résistance au feu identifié par l'architecte. C'est cependant l'ingénieur en structure qui est habilité à faire les vérifications ou calculs nécessaires pour assurer la résistance au feu requise ;
- Aviser les autres professionnels des déformations de structure pour adapter les différents systèmes (mécanique, rideaux diviseurs, etc.).

Phase de construction :

- Approbation des dessins d'atelier des fournisseurs en structure ;
- Rédaction d'une liste de déficiences ;
- Approbation de la structure ;
- Inspection et surveillance des travaux.

8.4.4. Rôle de l'ingénieur mécanique/électrique

Phase de conception :

Intégrer l'ingénieur mécanique dès le début de la conception de la structure permet de connaître les grandes lignes de son concept et de **s'y adapter** (conduits principaux, position des persiennes, drainage des planchers et de la toiture, intégration de systèmes de gicleurs, etc.).

Cela permet également de déterminer rapidement les hauteurs libres requises sous les planchers et les plafonds pour le passage des conduits sous la structure.

L'ingénieur mécanique doit être informé rapidement de la position des structures en bois et des autres systèmes et en tenir compte dans ses concepts.

L'ingénieur mécanique doit :

- Communiquer rapidement aux autres professionnels les endroits où il souhaite installer les éléments de mécanique au toit, particulièrement les plus lourds. Ceci peut influencer grandement la structure. En plus du poids propre des éléments mécaniques, souvent ces ajouts créent des accumulations de neige nécessitant l'intervention de l'ingénieur en structure et de l'architecte pour l'intégration esthétique de ces unités (utilisation de parapets, etc.) ;
- Discuter avec l'ingénieur en structure des perçages possibles ou non dans la structure de bois. Selon la dimension des ouvertures nécessaires, l'ingénieur en structure devra planifier ou non des renforts.

Il est préférable que l'ingénieur en mécanique possède des notions de construction en bois pour éviter de suggérer, ou de tolérer, des percements qui pourraient mener à des problèmes structuraux et architecturaux.

8.4.5. Rôle de l'acousticien

De façon générale, l'acousticien doit appuyer les parties prenantes (architecte, ingénieurs, entrepreneur général, donneur d'ouvrage, etc.) d'un projet en **proposant des solutions acoustiques optimisées** qui satisfont aux exigences du Code de construction du Québec, voire les dépassent.

L'acousticien doit suggérer un **traitement adapté** à la vocation de l'espace afin d'assurer une expérience agréable pour les utilisateurs, mais aussi à ceux des pièces adjacentes. Une bibliothèque scolaire n'aura pas les mêmes besoins qu'une salle de classe ou qu'un gymnase et son traitement acoustique sera assurément différent.

L'acousticien doit concevoir et quantifier les solutions acoustiques adéquates à utiliser. Il peut notamment optimiser les temps de réverbération (l'écho) dans un espace à traiter. Pour l'isolement des bruits d'impact et des bruits aériens, l'acousticien doit, d'une part, s'assurer de répondre aux exigences du Code et, d'autre part, vérifier la mise en œuvre et la bonne installation des assemblages avec les concepteurs. Il est aussi essentiel de comprendre qu'une excellente solution acoustique mal installée procure une mauvaise performance acoustique. La surveillance des solutions proposées est donc primordiale.

Dans les écoles primaires, l'acousticien doit s'assurer que les élèves et les professeurs évoluent dans des milieux propices à l'enseignement et à l'apprentissage en réduisant les bruits nuisibles. Dans les aires de vie communes, il doit s'assurer d'éliminer la cacophonie en réduisant la réverbération ou l'écho. Il doit également veiller à optimiser la performance acoustique des assemblages séparant les étages (transmission verticale) ou les classes (transmission latérale). À cette fin, il doit spécifier les bonnes classes d'affaiblissement sonore des murs et des plafonds. Enfin, il peut aussi agir à titre de conseiller dans la sélection de matériaux durables et résistants qui contribuent à l'affaiblissement des bruits non désirables.

L'importance d'impliquer un acousticien en amont d'une construction

Comme tous les professionnels, l'**acousticien doit participer le plus tôt possible** à un projet, afin d'orienter rapidement les intervenants vers des solutions acoustiques optimales. Les choix acoustiques influencent parfois les choix structuraux, les systèmes de construction et les finis à préconiser. Pour les écoles existantes, l'acousticien peut suggérer des solutions pour optimiser ou corriger l'acoustique. Il faut noter que les modifications en chantier ou après la construction sont généralement plus coûteuses en temps et en argent.

8.4.6. Rôle de l'entrepreneur général

Phase de conception :

L'entrepreneur général ne participe pas à l'étape de conception dans les projets d'écoles publiques au Québec, car le processus d'appel d'offres public ne le permet pas.

Phase de construction :

L'entrepreneur général joue un **rôle primordial** dans la bonne exécution du projet. Sa participation dans la coordination des différents corps de métier peut faire du projet un succès ou une mauvaise expérience pour le donneur d'ouvrage.

L'entrepreneur général doit :

- Coordonner les différents professionnels ;
- Donner et valider les contrats avec les fournisseurs (assurer la coordination entre les secteurs pour ne rien oublier et éliminer les zones floues) ;
- Coordonner les corps de métier (fournisseurs) ;
- Séquencer les corps de métier pour respecter l'avancement prévu du projet ;
- S'assurer d'avoir un chantier propre et bien adapté pour les fournisseurs ;
- Comprendre les enjeux de durabilité de la structure en bois ;
- **S'assurer des protections temporaires et de la gestion de l'eau en chantier** (voir section **8.2. Gestion de l'eau, de l'humidité et de la qualité en chantier**) ;
- Stocker les matériaux de façon sécuritaire au chantier ;
- Assurer la sécurité du chantier ;
- Contrôler les coûts et l'échéancier.

8.4.7. Rôles des entrepreneurs spécialisés

Les entrepreneurs spécialisés ont pour rôle de préparer les **dessins d'atelier** et de les faire approuver par les professionnels avant la **fabrication des composants** et leur installation au chantier. Ils doivent se conformer aux différents plans et devis des professionnels et se coordonner avec les autres fabricants pour faciliter l'installation.

Autant pour l'ossature légère que pour les structures en gros bois d'œuvre, les entrepreneurs spécialisés arrivent tard dans le processus des projets, il est donc difficile pour eux de suggérer des modifications. Selon la qualité et la précision des plans et devis des professionnels, des ajustements aux concepts seront souvent nécessaires. Ces modifications peuvent provenir de multiples sources et causer des délais supplémentaires de coordination et de livraison du chantier.

9. Exemples d'écoles en bois

Projets au Québec

École Everest

École primaire de l'Aventure

École Métis Beach

École primaire Dollard-des-Ormeaux

École régionale Brenda-Milner

École Plein Soleil

École primaire Sans-Frontières

Gymnase de l'école Saint-Victor-de-Petit-Matane

Gymnase de l'école primaire de Louiseville

École primaire Riverside

Agrandissement de l'école Guillaume-Couture

Aménagement extérieur de l'Externat Mont-Jésus-Marie

Projets au Canada

Surrey Christian School Primary Wing Addition

Yarrow Community Elementary School

Banff Elementary School

Projets internationaux

École Bertolt-Brecht

El-Sol Science and Arts Academy

Garderie Hollerbusch



Photo : Joël Gingras

École Everest

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire Central Québec

Municipalité

Québec

Région / Province

Capitale-Nationale

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

316 m²

Superficie totale de plancher

647 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

4

Année de construction

2014

Type(s) de structure

- Poutres en bois lamellé-collé
- Ossature légère en bois
- Platelage en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

2,14 M\$

Coût de la structure en bois

211 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

BGLA Architecture

Ingénieur(s) en structure

Dessau

Entrepreneur général

Escalera

Fournisseur(s) de produits en bois

- Bois lamellé-collé: Art Massif
- Panneaux acoustiques: Conception par BGLA, fabrication par un ébéniste

Le projet d'agrandissement de l'École Everest compte quatre nouveaux espaces d'enseignement flexibles et lumineux, des bureaux et des toilettes sur deux niveaux. Il assure une continuité volumétrique et fonctionnelle avec l'école actuelle tout en offrant une nouvelle ambiance chaleureuse grâce à sa structure en bois lamellé-collé laissée apparente à l'intérieur, contribuant du même coup au bien-être des élèves qui fréquentent l'école.

Tout a été pensé afin d'offrir un environnement agréable et chaleureux aux élèves. Les classes bénéficient ainsi d'un éclairage naturel généreux dispensé par de grandes fenêtres. Le hall d'entrée traversant permet une ouverture visuelle sur la cour d'école. Un lanterneau localisé en toiture agrément la circulation à l'étage qui s'élargit sur un espace de lecture. Ces éléments architecturaux contribuent également à l'apport abondant de lumière naturelle, une grande qualité au cœur du projet, et sont d'ailleurs soulignés favorablement par le client et le Ministère qui citent le projet en exemple.



Photo : Joël Gingras



Photo : BGLA



Photo: Clément Robitaille

École primaire de l'Aventure

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire de la Capitale

Municipalité

Loretteville

Région / Province

Capitale-Nationale

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

585 m²

Superficie totale de plancher

1100 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

7 classes et un atrium

Année de construction

2019

Type(s) de structure

- Ossature légère en bois (50 %)
- Poteaux-poutres en lamellé-collé (20%)
- Poutres et colonnes en acier

Budget pour le projet

4,4 M\$

Coût de la structure en bois

Ossature légère en bois: 270 000 \$

Bois lamellé-collé: 30 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

ABCP Architecture

Ingénieur(s) en structure

CIMA+

Entrepreneur général

Construction Durand

Fournisseur(s) de produits en bois

- Bois lamellé-collé: Art massif
- Ossature légère en bois: Freneco
- Plafond de bois: Groupe Concept PV
- Ébénisterie: Ébénisterie Distinction

Le projet d'agrandissement de l'école l'Aventure a permis l'ajout de sept nouvelles salles de classe de même qu'une salle multifonctionnelle ainsi qu'une classe ressource. Afin d'offrir des espaces riches et variés, le projet a été conçu autour du concept de la rue d'apprentissage. Les espaces de circulation sont alors vus comme des « zones d'éducation pédagogiques innovantes » (ZEPI) et de sociabilité. De ce fait, les classes sont orientées vers le sud où l'on trouve une généreuse fenestration qui permet un bon contact entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Les classes s'ouvrent sur la rue d'apprentissage dans laquelle du mobilier intégré permet une utilisation versatile de l'espace. De grandes fenêtres sur les deux étages positionnées au nord permettent de minimiser les gains thermiques et d'offrir une vue sur les activités de la cour d'école.

Un grand mur-rideau d'aluminium en façade laisse transparaître la structure en poutres et poteaux de bois lamellé-collé et le platelage du toit en bois. Les murs ont également été largement lambrissés de bois pour compléter l'ambiance chaleureuse apportée par le bois.



Photo: Clément Robitaille



Photo: Clément Robitaille



Photo: Stéphane Groleau

École Métis Beach

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire East Shores

Municipalité

Métis-sur-Mer

Région / Province

Bas Saint-Laurent

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

1228 m²

Superficie totale de plancher

2402 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

7

Année de construction

2018

Type(s) de structure

- Fermes de toit en bois lamellé-collé
- Ossature légère en bois
- Platelage en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

9 M\$

Coût de la structure en bois

Bois lamellé-collé: 235 000 \$

Ossature légère en bois: 104 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

- CCM2 Architectes
- Proulx Savard Architectes

Ingénieur(s) en structure

LGT

Entrepreneur général

Habitat Construction Matane

Fournisseur(s) de produits en bois

- Bois lamellé-collé: Art Massif
- Revêtement extérieur (lambris de pin peint): Maibec

Le projet d'agrandissement de l'École Métis Beach a intégré le bois de différentes façons afin de permettre l'ajout de sept nouvelles classes, d'une salle communautaire, d'un gymnase et d'un laboratoire de sciences et de technologies. En plus de s'harmoniser à la structure existante et à son environnement, l'agrandissement minimise son empreinte au sol afin de préserver la cour d'école. Les espaces intérieurs ont été conçus pour valoriser l'interaction entre les milieux intérieurs et extérieurs en évitant un effet de cloisonnement tout en augmentant la présence de lumière naturelle.

La conception résolument moderne des installations met en valeur le bois autant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Le bois lamellé-collé utilisé pour la structure est laissé apparent et côtoie notamment le contreplaqué utilisé pour certains éléments de mobilier intégré et l'escalier. À l'extérieur, un revêtement en pin habille le rez-de-chaussée. Ces matériaux ont été choisis dans l'objectif d'obtenir une atmosphère chaleureuse et d'enjoliver certaines parties du bâtiment tout en ayant, souvent, un aspect fonctionnel.

La signature de ce projet peut être admirée de la rue. Un mur-rideau en aluminium à l'étage laisse transparaître la structure mixte bois-acier de la toiture. Le grand toit de bois laisse une image indélébile à tous les visiteurs et usagers de la cafétéria.

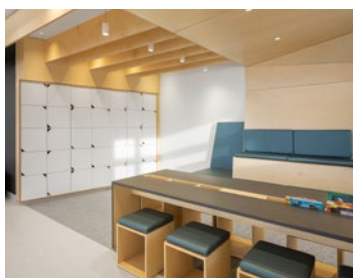


Photo: Stéphane Groleau



Photo: Stéphane Groleau



Photo: Stéphane Groleau

École primaire Dollard-des-Ormeaux

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire Central Québec

Municipalité

Shannon

Région / Province

Capitale-Nationale

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

1600 m²

Superficie totale de plancher

2848 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

16

Année de construction

2016

Type(s) de structure

- Structure en acier
- Platelage en panneaux de bois lamellé-croisé (CLT)

Budget pour le projet

7,2 M\$

Coût de la structure en bois

350 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

BGLA Architecture

Ingénieur(s) en structure

LGT

Entrepreneur général

Les constructions Pierre Blouin

Fournisseur(s) de produits en bois

Panneaux de bois lamellé-croisé (CLT):
Nordic Structures

L'école primaire Dollard-des-Ormeaux a un contexte géographique particulier. La plupart des élèves qui fréquentent l'école ont un père ou une mère faisant partie du contingent militaire de la base de Valcartier. Ces enfants sont souvent confrontés au fait qu'un de leurs parents peut être envoyé en mission à tout moment. Cette situation peut entraîner un haut niveau de stress et d'anxiété chez les enfants. Il était donc important de concevoir cette école comme un lieu où ils pourraient y trouver encadrement, support et réconfort.

Le projet en entier tourne autour d'une « cour éducative » extérieure, métaphore du cocon protecteur recherché par les enfants. Cette cour divisée en différentes zones favorise également une foule d'activités comme la lecture, des activités communes primaire-secondaire, la relaxation, etc.

La structure de la partie existante est constituée d'un système poteaux-poutres en acier avec des platelages de toiture de type « mill floor » (NLT). Cette structure d'origine combinée à l'exigence de construire un bâtiment incombustible n'ayant malheureusement pas permis de recourir à une structure en bois pour l'agrandissement, un pontage en bois lamellé-croisé a été réalisé au deuxième niveau, rappelant ainsi le type de construction mixte de l'école d'origine. Les pontages de bois contribuent à rendre l'ambiance chaleureuse pour les usagers et les visiteurs.



Photo: Stéphane Groleau



Photo: Stéphane Groleau

École régionale Brenda-Milner

201

Photo : Stéphane Groleau

École régionale Brenda-Milner

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire des
Grandes-Seigneuries

Municipalité

Châteauguay

Région / Province

Montréal

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

3418 m²

Superficie totale de plancher

6406 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

16

Année de construction

2020

Type(s) de structure

- Structure en acier
- Poutres en bois lamellé-collé
- Platelage en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

28,2 M\$

Coût de la structure en bois

295 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

Leclerc Architectes

Ingénieur(s) en structure

Bouthilllette Parizeau

Entrepreneur général

Tisseur

Fournisseur(s) de produits en bois

Bois lamellé-collé : Art Massif

L'école régionale Brenda-Milner située à Châteauguay est le fruit de la collaboration entre les centres de services scolaires des Grandes-Seigneuries et New-Frontiers, le CISSS de la Montérégie-Ouest et le centre de réadaptation qui y est rattaché. La localisation de la nouvelle école a été choisie avec soin, à proximité de l'hôpital Anna-Laberge, avec lequel l'école développe un partenariat. Elle accueille des élèves âgés de 4 à 21 ans qui sont atteints principalement de troubles du spectre de l'autisme associés ou non à une déficience motrice.

Une structure apparente en bois (poutres et platelage) a été utilisée partiellement en toiture au-dessus de certaines classes, du bassin thérapeutique et du gymnase dans un souci de développement durable. Par souci d'économie d'énergie, l'école est chauffée et climatisée à 100 % grâce aux 32 puits de géothermie et la totalité de l'éclairage est au DEL. L'isolation accrue, les fenêtres et les vitrages haute performance contribuent à la performance énergétique accrue du bâtiment.

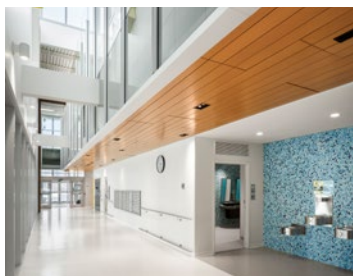


Photo : Stéphane Groleau



Photo : Stéphane Groleau



Photo : Jubinville et Associés Architectes

École Plein Soleil

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Sherbrooke

Région / Province

Estrie

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

2235 m²

Superficie totale de plancher

4005 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

20

Année de construction

2018

Type(s) de structure

- Ossature légère en bois
- Poutres en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

6 M\$

Coût de la structure en bois

510 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

Jubinville et Associés Architectes

Ingénieur(s) en structure

Dugré ingénieurs

Entrepreneur général

Tijaro

Fournisseur(s) de produits en bois

Ossature légère en bois : UsiHome
et BMR Doyon

L'école, qui occupait auparavant des locaux désuets, restreints en nombre, peu fenestrés et qui n'avait pas de gymnase, a dû être reconstruite avec un budget limité. C'est pour cette raison qu'une structure à ossature légère en bois non apparente avec un ajout de parements et de mobilier intégré en bois à l'intérieur a été privilégiée. Le nouveau bâtiment permet alors suffisamment d'espace pour augmenter le nombre de salles de classe, pour l'ajout d'un gymnase et pour l'ajout de grandes fenêtres basses, qui sont source de lumière naturelle et qui offrent une vue sur la nature environnante, créant ainsi un environnement agréable propice à l'apprentissage. Le lambris de bois utilisé à l'intérieur, notamment dans le lobby, contribue à créer une ambiance chaleureuse.

L'utilisation de systèmes préfabriqués en usine a facilité une meilleure gestion des coûts. La préfabrication des murs et des planchers prévoit les espaces pour les prises, les fenêtres, les portes, etc. Le temps de montage sur le chantier s'en retrouve réduit, la construction est moins soumise aux intempéries et on limite également les autres retards pouvant être rencontrés sur un chantier. Mise à part l'ossature de bois cachée, des poutres de bois sont apparentes dans le hall d'entrée, conférant un côté chaleureux à ce lieu de déplacement et de rencontre ouvert sur deux étages. Du mobilier intégré en bois vient aussi ajouter une touche chaleureuse, notamment des modules de contreplaqué verni fixés au mur des corridors qui servent de vestiaire. Des meubles dans les classes ont également été faits de contreplaqué recouvert de stratifié.



Photo : Jubinville et Associés Architectes



Photo : Jubinville et Associés Architectes



École primaire Sans-Frontières

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire
de la Rivière-du-Nord

Municipalité

Saint-Jérôme

Région / Province

Laurentides

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

3125 m²

Superficie totale de plancher

5065 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

28

Année de construction

2014

Type(s) de structure

- Poteaux-poutres en bois lamellé-collé
- Platelage en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

14,9 M\$

Coût de la structure en bois

700 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

- Britz Bastien Beaudoin Laforest Architectes
- Bergeron Thouin Associés Architectes

Ingénieur(s) en structure

Dessau, Stantec

Entrepreneur général

Anjalec Construction

Fournisseur(s) de produits en bois

Bois lamellé-collé : Nordic Structures

L'école primaire Sans-Frontières a été conçue et construite de façon à réduire le plus possible son empreinte écologique. Sa conception est prévue pour tirer profit des particularités du terrain irrégulier sur lequel elle se trouve. Ainsi, la conception est élaborée sur trois niveaux, le premier et troisième niveau ayant chacun leur façade sur des rues opposées. Ils font également office de rez-de-chaussée par rapport à ces rues. Un axe de circulation formel et rassembleur serti d'un puits de lumière généreux agit comme cordon communicatif et lie les différentes parties du bâtiment.

Bien que le bois soit omniprésent partout dans cette école, c'est dans la cafétéria que l'on peut l'admirer sous toutes ses formes. Les poutres et colonnes sont visibles sur les murs, eux-mêmes lambrissés de bois, et le plafond est fait de poutres lamellées-collées qui supportent le platelage aussi fait de bois.

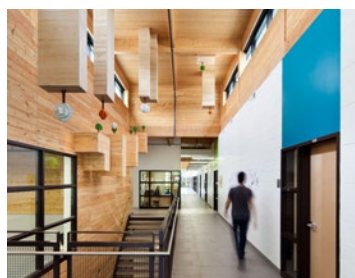


Photo : Stéphane Brügger



Photo : Stéphane Brügger



Photo : Groupe Architecture MB

Gymnase de l'école Saint-Victor-de-Petit-Matane

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire
des Monts-et-Marées

Municipalité

Petit-Matane

Région / Province

Bas Saint-Laurent

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

468 m²

Superficie totale de plancher

468 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

1

Nombre de salles de classe

-

Année de construction

2019

Type(s) de structure

- Poutres en bois lamellé-collé
- Platelage en bois lamellé-collé
- Ossature légère en bois

Budget pour le projet

2,4 M\$

Coût de la structure en bois

Bois lamellé-collé : 136 000 \$

Ossature légère en bois : 54 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

Groupe Architecture MB

Ingénieur(s) en structure

Innovation Amérik division Matane senc.

Entrepreneur général

Kamco Construction

Fournisseur(s) de produits en bois

- Bois lamellé-collé : Art Massif
- Ossature légère en bois : Concept Mat
- Produits de finition : Bois Tremtech

Réclamé depuis longtemps par la communauté de Petit-Matane, le gymnase de l'école Saint-Victor sert de nouveau lieu de rassemblement pour les jeunes fréquentant l'école et le reste de la population. L'emplacement choisi pour l'implantation permet aux classes existantes de conserver une vue vers la falaise et de laisser entrer la lumière naturelle. Cette configuration fait également en sorte d'avoir deux cours extérieures. Le lien entre le nouveau gymnase et le bâtiment existant est fait par un vestibule et un espace de circulation. Ce lien offre une fluidité entre les différents espaces en plus d'être en relation avec l'extérieur grâce à sa fenestration abondante.

C'est le gymnase qui permet d'admirer la maîtrise du bois par les concepteurs. Le volume est revêtu d'un parement de cèdre blanc de l'Est et de fibrociment à l'extérieur, deux matériaux choisis pour bien résister au climat maritime. À l'intérieur, le bois est également utilisé pour la toiture en bois lamellé-collé et le parement intérieur en partie haute du gymnase, créant une ambiance chaleureuse de concert avec la lumière naturelle. Les immenses poutres de bois lamellé-collé percent l'enveloppe pour prolonger le toit en pontage de bois jusqu'à l'extérieur.



Photo : Groupe Architecture MB



Photo : Groupe Architecture MB



Photo : François Héroux

Gymnase de l'école primaire de Louiseville

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire
du Chemin-du-Roy

Municipalité

Louiseville

Région / Province

Mauricie

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

775 m²

Superficie totale de plancher

775 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

1

Nombre de salles de classe

-

Année de construction

2016

Type(s) de structure

- Structure hybride: Poutres en bois
lamellé-collé et tirants en acier,
colonnes en acier

Budget pour le projet

2,7 M\$

Coût de la structure en bois

135 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

Les architectes Héroux et Beaudry

Ingénieur(s) en structure

LGT

Entrepreneur général

Paul A. Bisson

Fournisseur(s) de produits en bois

Bois lamellé-collé: Art Massif

Le gymnase de l'école primaire de Louiseville permettait à la municipalité de se doter de nouvelles installations sportives mieux adaptées aux standards actuels. La nouvelle infrastructure impressionne par la hauteur de ses plafonds et par la luminosité naturelle procurée par sa grande fenestration. En complément à la traditionnelle maçonnerie, le gymnase comprend une importante partie en bois, autant au niveau des revêtements que des éléments de structure. L'utilisation du bois teint non verni pour les poutres, le pontage du toit ainsi que le parement mural contribuent à ce que le bois ne soit pas affecté par l'humidité ambiante. Les poutres mixtes acier-bois ont permis d'alléger la structure tout en mettant en valeur le bois.

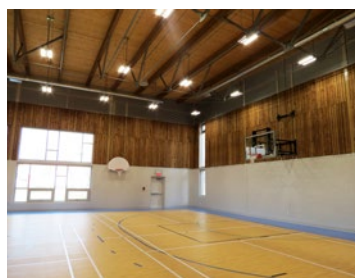


Photo : François Héroux

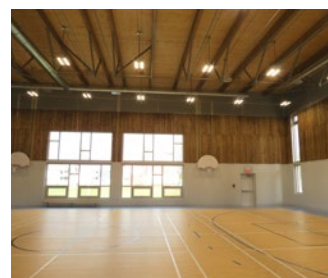


Photo : François Héroux



Photo : Ulysse Lemerise

École primaire Riverside

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire Central Québec

Municipalité

Arvida

Région / Province

Saguenay-Lac-Saint-Jean

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

253,5 m²

Superficie totale de plancher

253,5 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

1

Nombre de salles de classe

4

Année de construction

2019

Type(s) de structure

- Panneaux de bois lamellé-croisé (CLT)
- Poteaux-poutres en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

Location

Coût de la structure en bois

Location

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

PERCH Architecture

Ingénieur(s) en structure

Nordic Structures

Entrepreneur général

Nordic Structures

Fournisseur(s) de produits en bois

Panneaux de bois lamellé-croisé (CLT)
et bois lamellé-collé : Nordic Structures

La fabrication modulaire en bois recèle un excellent potentiel, tant en matière de rapidité de livraison que de qualité de construction. L'école Riverside à Arvida en est un excellent exemple. Grâce à un financement obtenu dans le cadre du Programme de vitrine technologique (PVT) du Gouvernement du Québec, deux classes modulaires en bois massif ont été construites et livrées en deux mois par Nordic Structures à cette école. Les élèves profitent de ce concept depuis l'automne 2019.

Faits de panneaux massifs en bois lamellé-collé, les modules de classe sont chaleureux, lumineux et offrent les avantages reconnus à la construction modulaire tels que la rapidité d'exécution et la performance énergétique.

Ici, le bois est à l'honneur sur les murs et les plafonds grâce à l'emploi judicieux du bois lamellé-croisé (CLT) et des poutres et colonnes en lamellé-collé. Ce concept proposant deux dimensions de classes pourra d'ailleurs être facilement répliqué, permettant d'assurer la poursuite des activités scolaires lors de travaux de construction et de rénovation ou lors de situations d'urgence, en plus de répondre rapidement à un problème de surplus d'élèves.



Photo : Ulysse Lemerise



Photo : Ulysse Lemerise



Photo : RG Solutions

Agrandissement de l'école Guillaume-Couture

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

Centre de services scolaire de Montréal

Municipalité

Montréal

Région / Province

Montréal

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

1335 m²

Superficie totale de plancher

1335 m²

Nombre d'étages (incluant le RDC)

1

Nombre de salles de classe

12

Année de construction

2018

Type(s) de structure

Ossature légère en bois

Budget pour le projet

5,6 M\$

Coût de la structure en bois

Location

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

NFOE

Ingénieur(s) en structure

-

Entrepreneur général

RG solutions

Fournisseur(s) de produits en bois

Ossature légère en bois : RG solutions

Ces annexes modulaires étaient plus que nécessaires pour pouvoir répondre aux besoins de la population du secteur, le nombre d'élèves fréquentant l'école ayant plus que doublé au cours des dix dernières années. Réalisées à l'aide d'une structure modulaire à ossature légère en bois, elles ont permis d'ajouter rapidement 12 classes adjacentes, le tout de façon économique. Les élèves bénéficient de nouveaux locaux spacieux, modernes et confortables. Les touches de couleurs et la fenestration abondante contribuent à rendre l'agrandissement très vivant. Malheureusement, l'ossature légère utilisée n'a pas permis de mettre le bois en valeur visuellement, car il devait être protégé pour la sécurité incendie, mais ce type de structure en bois est tout de même hautement écoresponsable.



Photo : RG Solutions



Photo : RG Solutions



Photo : Ultimateck

Aménagement extérieur de l'Externat Mont-Jésus-Marie

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Montréal

Région / Province

Montréal

Usage

-

Aire du bâtiment (projection au sol)

-

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

-

Nombre de salles de classe

-

Année de construction

2015

Type(s) de structure

Aménagement extérieur en bois

Budget pour le projet

0,4 M\$

Coût de la structure en bois

120 000 \$

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

BC2

Ingénieur(s) en structure

-

Entrepreneur général

Ultimateck

Fournisseur(s) de produits en bois

Aménagement extérieur en bois:

Langevin Forest

L'Externat Mont-Jésus-Marie évolue dans un environnement urbain où l'on trouve notamment de nombreux arbres qui offrent ombre et fraîcheur à la cour extérieure. La philosophie de l'école préscolaire et primaire accorde beaucoup d'importance à la préservation de l'environnement, de même qu'à l'activité physique et aux arts. C'est en suivant cette ligne de pensée que le réaménagement de la cour d'école a été réalisé. Le projet comprenait la protection de la végétation existante, la revitalisation de certains espaces dégradés avec les années, le développement de nouvelles activités, comme une classe extérieure, un théâtre pour les petits et un coin pour des rencontres, la lecture et le dessin, ainsi que l'aménagement d'une aire d'attente conviviale et éclairée près de l'entrée principale.

Trois types de bois ont été utilisés pour fabriquer les différents éléments des structures extérieures de la cour: le cèdre rouge de l'ouest pour sa résistance aux conditions extérieures, sa facilité d'entretien et son aspect visuel, le bois traité standard et le bois lamellé-collé de sapin Douglas.



Photo : Ultimateck



Photo : Ultimateck



Surrey Christian School Primary Wing Addition

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Surrey

Région / Province

Colombie-Britannique

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

2090 m²

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

15

Année de construction

2014

Type(s) de structure

- Poteaux-poutres en bois lamellé-collé
- Ossature légère en bois
- Panneaux en bois lamellé-cloué (NLT)

Budget pour le projet

-

Coût de la structure en bois

-

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

KMBR Architects Planners

Ingénieur(s) en structure

Fast + Epp

Entrepreneur général

Companion Construction

Fournisseur(s) de produits en bois

Panneaux en bois lamellé-cloué (NLT):
StructureCraft

L'école chrétienne de Surrey a été agrandie afin d'ajouter des salles de classe destinées aux enfants plus jeunes. L'élément central de la nouvelle construction est un atrium de deux étages qui fait toute la longueur du bâtiment et qui connecte les espaces de circulation. La majorité des éléments de la structure en bois ont été préfabriqués en usine, ce qui a permis le montage complet de la structure en 5 jours. Parmi ces éléments, on retrouve des colonnes de bois lamellé-collé disposées sur toute la longueur du bâtiment et séparées par des murs à ossature légère en bois. Les colonnes supportent deux types de panneaux qui composent la toiture et les planchers, soit des panneaux en bois lamellé-cloué (NLT) et en bois lamellé-collé. Les colonnes et les panneaux, laissés exposés sur toute la longueur de l'agrandissement, y compris dans les classes, contribuent à créer un environnement chaleureux et accueillant.

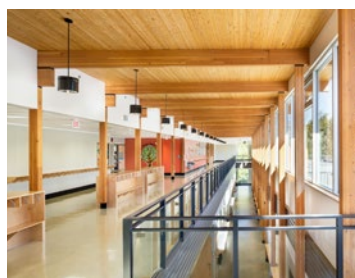


Photo: Ed White Photographics



Photo: Ed White Photographics



Photo: Ed White Photographics

Yarrow Community Elementary School

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Chilliwack

Région / Province

Colombie-Britannique

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

4473 m²

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

17

Année de construction

2013

Type(s) de structure

- Poteaux-poutres en bois lamellé-collé
- Ossature légère en bois
- Platelage en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

14,9 M\$

Coût de la structure en bois

-

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

KMBR Architects Planners

Ingénieur(s) en structure

RJC Engineers

Entrepreneur général

Yellowridge Construction

Fournisseur(s) de produits en bois

-

L'école primaire communautaire de Yarrow a été complètement reconstruite dans une optique de fonctionnalité, d'esthétique ainsi que de développement durable et de cycle de vie. Le centre de services scolaire était particulièrement orienté vers les initiatives qui visaient à faire diminuer les coûts d'opération, à optimiser l'utilisation de l'énergie et de l'eau, à réaliser une enveloppe du bâtiment efficiente, à l'utilisation d'équipements et de produits de finition durables ainsi qu'à générer une ambiance intérieure de qualité supérieure. Afin de valoriser l'industrie locale, l'utilisation de bois sourcé localement était une priorité. Le matériau bois est donc mis en évidence dans l'entièreté du bâtiment pour maximiser son aspect esthétique sans compromettre la longévité de la nouvelle école. Parmi ces usages, on retrouve les surplombs de toit, les auvents d'entrée, des éléments de structure en bois lamellé-collé et des éléments de revêtement à quelques endroits précis. La conception du bâtiment fait en sorte que tous les éléments en bois sont à l'abri des effets directs des intempéries et sont couverts d'un fini qui les protège des rayons UV, tout en conservant leur couleur naturelle.



Photo: Ed White Photographics



Photo: Ed White Photographics



Photo : GEC Architecture

Banff Elementary School

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Banff

Région / Province

Alberta

Usage

A2

Aire du bâtiment (projection au sol)

-

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

26

Années de construction

- Phase 1 : 2017

- Phase 2 : 2019

Type(s) de structure

- Poteaux-poutres en bois lamellé-collé

- Ossature légère en bois

- Platelage en bois lamellé-collé

- Structure en acier

Budget pour le projet

Phase 1 : 8,4M\$, Phase 2 : 14,5M\$

Coût de la structure en bois

-

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

GEC Architecture

Ingénieur(s) en structure

- ISL Engineering

- Land Services

Entrepreneur général

- Meriam Contracting

- Clark Builders, Mytec Framing

Fournisseur(s) de produits en bois

Bois lamellé-collé : Structurlam

L'école primaire de Banff était initialement un projet de modernisation du bâtiment, qui a finalement évolué en deux phases afin de remplacer le bâtiment existant. À la suite de la construction de la première phase, la deuxième a dû être réalisée en gardant la première opérationnelle. Cet enjeu a fait de la rapidité de construction et de la durabilité des éléments sur le chantier des critères clés du projet. C'est également pour cette raison que la préfabrication et la réduction au maximum de la main-d'œuvre sur le chantier étaient essentielles. Le concept comprend un hall d'entrée convivial pour le personnel et les étudiants où la structure en bois lamellé-collé est apparente. On trouve également des éléments de bois apparents, soit de structure ou de revêtement, dans les corridors, la bibliothèque, le gymnase, les salles de classe et à l'extérieur du bâtiment. Puisque l'école se situe dans le parc National de Banff, la nouvelle construction a dû rencontrer les normes énergétiques et environnementales imposées par Parcs Canada. Ainsi, pour contribuer à l'atteinte de ces standards, les matériaux ont été sourcés les plus possible localement et des panneaux photovoltaïques ont été installés sur la toiture. La démolition du bâtiment d'origine a été faite en partenariat avec Parcs Canada et les exigences LEED sur les décharges, le recyclage et la séparation des matériaux de construction.



Photo : GEC Architecture



Photo : GEC Architecture



Photo : Thomas Ott

École Bertolt-Brecht

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Darmstadt

Région / Province

Hessen (Allemagne)

Usage

-

Aire du bâtiment (projection au sol)

2115 m²

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

21

Année de construction

2016

Type(s) de structure

Ossature légère en bois préfabriquée

Budget pour le projet

4,65 M\$ (3,1 M€)

Coût de la structure en bois

2,92 M\$ (1,95 M€)

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

- Mobispace GmbH & Co. KG
- werk.um architekten GbR

Ingénieur(s) en structure

Bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

Entrepreneur général

Baumgarten GmbH

Fournisseur(s) de produits en bois

Baumgarten GmbH

L'école Bertolt-Brecht est une école construite dans la ville de Darmstadt, en Allemagne. Il s'agit d'un bâtiment composé de 21 salles de classe, de bureaux pour les professeurs, d'une cuisine et d'une salle de conférence. La ville de Darmstadt connaissant une croissance démographique soutenue depuis quelques années, la commission scolaire locale a eu une idée géniale : construire une seule nouvelle école pouvant accueillir 572 élèves desservant l'ensemble des écoles en rénovation sur son territoire. Les coûts sont ainsi réduits ; il ne s'agit que de bien coordonner les échéanciers de rénovation des différentes écoles.

L'école est conçue pour offrir des espaces apaisants et stimulants aux étudiants. Par exemple, l'acoustique y est bien contrôlée grâce à ses plafonds de lattes de bois suspendus et la qualité de l'air y est modulée par une ventilation décentralisée avec récupération de chaleur.

Les éléments de planchers et de murs sont préfabriqués en usine de façon presque complètement automatisée avec des éléments structuraux à ossature légère en bois. Ils sont livrés en pièces détachées sur le chantier de construction et assemblés sur place. Sitôt les fondations prêtes à porter le bâtiment, le chantier est achevé en un temps record : à peine quatre mois ont été nécessaires pour compléter cette école pouvant accueillir près de 600 élèves. La conception judicieuse des assemblages de plancher et de plafond permet un démontage éventuel rapide et efficace, ou d'y ajouter un étage supplémentaire selon les besoins.



Photo : Thomas Ott



Photo : Thomas Ott



Photo: Thomas Ott

Garderie Hollerbusch

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Centre de services scolaire

-

Municipalité

Bensheim

Région / Province

Hessen (Allemagne)

Usage

-

Aire du bâtiment (projection au sol)

1370 m²

Superficie totale de plancher

-

Nombre d'étages (incluant le RDC)

2

Nombre de salles de classe

-

Années de construction

2018-2020

Type(s) de structure

- Ossature légère en bois préfabriquée
- Poutres en bois lamellé-collé

Budget pour le projet

4,65 M\$ (3,1 M€)

Coût de la structure en bois

2,25 M\$ (1,5 M€)

ÉQUIPE DE PROJET

Architecte(s)

werk.um architekten GbR

Chargés de projet: Nicole Meyer

et Jean-Philippe Bellemare

Ingénieur(s) en structure

BREHM Bauconsult GmbH

Entrepreneur général

Baumgarten GmbH

Fournisseur(s) de produits en bois

Baumgarten GmbH

La garderie Hollerbusch est un bâtiment permanent construit dans la petite ville de Bensheim, en Allemagne, dans la région viticole de la Bergstrasse. Il s'agit d'une garderie conçue pour cinq groupes de 90 enfants âgés entre 1 et 6 ans. Le bâtiment est également équipé de bureaux pour le personnel, d'une cuisine et d'une cafétéria servant également de salle de réunion. Pour la santé des enfants, un grand soin a été apporté à la qualité des espaces: revêtements intérieurs avec de très faibles émissions en COV (bois naturel et plancher de caoutchouc, par exemple), plafond acoustique suspendu fait de lattes de pin non traité, ventilation naturelle, grande fenestration, etc.

L'école a été essentiellement préfabriquée en usine. Les éléments (murs, plafonds et planchers) sont livrés en pièces détachées par camion puis assemblés sur le chantier de construction à l'aide d'une grue. Les murs extérieurs sont de type ossature légère aux montants relativement épais (24 cm). Ils sont isolés à la cellulose giclée puis revêtus d'un panneau de fibre de bois hydrophobe. Le revêtement de bois extérieur est un mélèze local préteint. Les dalles de plancher et de plafond sont en pin massif, de type lamellé-collé, ce qui garantit une bonne isolation acoustique des espaces intérieurs.



Photo: Thomas Ott



Photo: Thomas Ott



Ecole primaire Sans-Frontières, Saint-Jérôme (Photo: Stéphane Brügger)

10. Annexe

Analyse Gestimat du projet d'agrandissement
du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin



Agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin, Montréal
(rendu : Smith Vigant et BGLA)



**Vers une construction
à faible empreinte carbone**

10.1. Description de l'outil Gestimat

Mis en ligne en 2019, Gestimat est une plateforme Web conviviale, pratique et désormais bilingue qui permet d'estimer, d'analyser, de comparer et de présenter de façon juste et impartiale les émissions de GES dues à la fabrication (du berceau à la porte de l'usine, en anglais cradle-to-gate) des matériaux de structure de différents scénarios de bâtiments. Les émissions de GES sont quantifiées en multipliant les quantités de matériaux aux facteurs d'émissions de GES propres à chacun de ces matériaux. Gestimat a été créée dans le cadre de la mesure d'exemplarité gouvernementale de la Charte du bois où le gouvernement du Québec s'était engagé à s'assurer que l'utilisation du bois soit considérée pour la construction de nouveaux bâtiments publics ou financés en partie par l'État. Son développement a toujours été fait dans une optique de neutralité qui sous-entend l'absence de parti pris.

10.2. Fonctionnement de Gestimat

La quantification des émissions de GES passe par la modélisation des scénarios. Elle peut se faire dans Gestimat en entrant directement les quantités de matériaux dans les formulaires propres aux différents systèmes structuraux, appelé la saisie détaillée, ou en utilisant l'estimation à partir de bâtiments types, dont les quantités de matériaux ont été paramétrées en fonction des caractéristiques principales de ces bâtiments.

Les analyses Gestimat se font à partir de données régionalisées, spécifiques à chaque province. Ces données comprennent les facteurs d'émissions de GES liées à la fabrication des matériaux, les données de quantités moyennes de matériaux des bâtiments types élaborées à partir de valeurs de design moyennes (neige, sismique et autres) et la structure organisationnelle des ministères et organismes. Ces données sont disponibles pour le Québec et l'Ontario.

Les émissions de GES sont quantifiées en multipliant les quantités de matériaux aux facteurs d'émissions de GES propres de chacun de ces matériaux. Les facteurs d'émissions de GES du Québec, fournis par le CIRAIG, sont tirés de données moyennes régionalisées provenant principalement de bases de données d'inventaire de cycle de vie et de déclarations environnementales de produit. Ces facteurs sont spécifiques aux émissions de GES dues à la fabrication des matériaux. Autrement dit, elles ne comprennent pas les émissions de GES associées aux autres étapes du cycle de vie du bâtiment, telles que l'usinage en préfabrication, la construction, l'exploitation, le transport des matériaux et la fin de vie. Les émissions associées à ces autres phases ne font donc pas partie de l'analyse.

Même si cette analyse ne se veut pas une analyse du cycle de vie, elle permet de connaître l'ordre de grandeur des bénéfices obtenus en termes d'émissions de GES quand on opte pour une structure en bois. Dans le cas du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin, les bénéfices obtenus par l'utilisation d'une structure en bois sont comparés à une structure en acier, car ce type de construction est régulièrement utilisé pour des projets semblables.

10.3. Présentation du projet d'agrandissement

Pour le projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin du Centre de services scolaire de Montréal, les concepteurs ont privilégié l'utilisation du bois comme matériau de structure plutôt que l'acier.

Cet agrandissement, dont la superficie totale de plancher est estimée à 2 425 m², permettra de pratiquement doubler la capacité de ce pavillon en ajoutant principalement sept classes, trois maternelles, un service de garde, une salle polyvalente, un gymnase et une salle de lecture. Ces nouveaux espaces ont été disposés sur deux étages. L'agrandissement a été relié au bâtiment existant à l'aide d'une agora sur deux étages qui longe le gymnase existant.



Dans l'optique d'optimiser les coûts en profitant des avantages de la construction en bois, les concepteurs ont opté pour un système structural mixte conjuguant l'ossature légère et la construction massive en bois. Ainsi, la construction massive en bois a été mise en valeur dans les lieux accessibles à un plus grand nombre d'utilisateurs, c'est-à-dire dans le gymnase, une partie de la salle de lecture et dans l'agora. L'ossature légère en bois a quant à elle été utilisée pour les espaces de plus petites dimensions comme les classes, les vestiaires, les toilettes, etc.

Afin de démontrer les bénéfices environnementaux associés à l'utilisation du bois comme matériau de structure pour le bâtiment, une analyse comparative des émissions de GES de ce projet d'agrandissement

a été réalisée à l'aide de l'outil Gestimat. **Cette analyse a été réalisée en comparant les émissions de GES associées à la fabrication des matériaux de structure de ce projet à celles des matériaux de structure qui auraient été requis si le projet avait été conçu entièrement avec une structure en acier.**

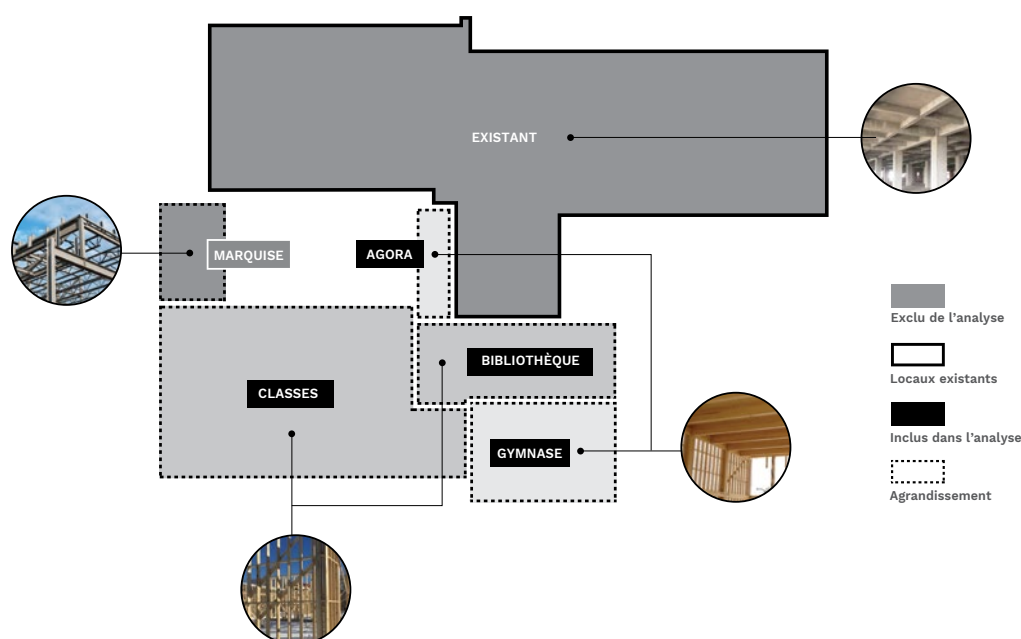
Pour les fins de cette analyse comparative, les quantités de matériaux de structure d'un scénario comparable en acier ont été estimées par la même firme d'ingénierie qui a réalisé la conception de la structure du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin.

10.4. Description des structures analysées pour le projet en bois et le scénario comparable en acier

Pour bien comprendre la portée de l'analyse, les systèmes structuraux du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin et de son comparable en acier ont été définis par type d'espaces. Le projet a été segmenté en quatre principaux secteurs, soit les **classes**, le **gymnase**, l'**agora** et la **bibliothèque**. Le secteur de la bibliothèque comprend également les autres espaces à proximité, soit les toilettes, les vestiaires, l'escalier et l'ascenseur. Ces espaces sont identifiés sur la figure ci-dessous.



Escalier de l'agrandissement (Dessin : Smith Vigeant + BGLA)



Les caractéristiques de ces secteurs sont présentées dans les tableaux suivants.

Secteur des classes

	Projet d'agrandissement		Comparable en acier	
Généralités				
Superficie au sol		780 m²		
Nombre d'étages		2		
Type de structure				
Fondations		Béton armé		
Plancher du rez-de-chaussée		Dalle sur sol renforcée de fibres synthétiques		
Plancher du 2e étage		Chape de béton renforcée de fibres synthétiques sur contreplaqué et poutrelles ajourées en bois		Dalle de béton renforcée de fibres synthétiques sur pontage et poutrelles en acier
Toiture		Fermes préfabriquées en bois recouvertes d'un contreplaqué		Poutrelles en acier recouvertes d'un pontage en acier
Reprise des charges latérales		Murs de refend en ossature légère en bois		Contreventements en acier
Reprise des charges gravitaires		Murs porteurs et de refend en ossature légère en bois		Système poteaux-poutres en acier
Murs extérieurs				Ossature légère en acier
Murs intérieurs				Exclus de l'analyse

Secteur du gymnase

	Projet d'agrandissement		Comparable en acier
Généralités			
Superficie au sol	238 m²		
Nombre d'étages	1		
Type de structure			
Fondations	Béton armé		
Plancher du rez-de-chaussée	Dalle sur sol renforcée de fibres synthétiques		
Toiture	Fermes préfabriquées en bois recouvertes d'un contreplaqué	Poutrelles en acier recouvertes d'un pontage en acier	
Reprise des charges latérales	Contreventements en acier		
Reprise des charges gravitaires	Système poteaux-poutres en bois lamellé-collé	Système poteaux-poutres en acier	
Murs intérieurs et extérieurs	Exclus de l'analyse		



Gymnase de l'agrandissement (Dessin : Smith Vigeant + BGLA)

Secteur de l'agora

	Projet d'agrandissement	Comparable en acier
Généralités		
Superficie au sol	58 m ²	
Nombre d'étages	2	
Type de structure		
Fondations	Béton armé	
Plancher du rez-de-chaussée	Dalle sur sol renforcée de fibres synthétiques	
Plancher du 2 ^e étage	Chape de béton renforcée de fibres synthétiques sur contreplaqué et platelage et poutres en bois lamellé-collé	Dalle de béton renforcée de fibres synthétiques sur pontage et poutrelles en acier
Toiture	Poutres en bois lamellé-collé recouvertes d'un platelage en bois lamellé-collé et d'un contreplaqué	Poutrelles en acier recouvertes d'un pontage en acier
Reprise des charges latérales	Aucun contreventement	
Reprise des charges gravitaires	Système poteaux-poutres en bois lamellé-collé	Système poteaux-poutres en acier
Murs intérieurs et extérieurs	Exclus de l'analyse	



Secteur de l'agora (Dessin : Smith Vigeant + BGLA)

Secteur de la bibliothèque (avec locaux connexes)

	Projet d'agrandissement	Comparable en acier
Généralités		
Superficie au sol	255 m²	
Nombre d'étages	2	
Type de structure		
Fondations	Béton armé	
Plancher du rez-de-chaussée	Dalle sur sol renforcée de fibres synthétiques	
Plancher du 2 ^e étage	Chape de béton renforcée de fibres synthétiques sur contreplaqué et poutrelles ajourées en bois	Dalle de béton renforcée de fibres synthétiques sur pontage et poutrelles en acier
Toiture	Fermes préfabriquées en bois recouvertes d'un contreplaqué	Poutrelles en acier recouvertes d'un pontage en acier
Reprise des charges latérales	Murs de refend en ossature légère en bois	Contreventements en acier
Reprise des charges gravitaires*	Système poteaux-poutres en bois composite (SCL) et de murs porteurs en ossature légère en bois	Système poteaux-poutres en acier
Murs extérieurs	Ossature légère en bois	Ossature légère en acier
Murs intérieurs	Exclus de l'analyse	

* Supportées du côté sud en partie par la structure du gymnase

Les quantités de matériaux pour les fondations et la dalle sur sol du scénario comparable en acier ont été considérées comme similaires à celles du projet.

Les matériaux autres que ceux de la structure du bâtiment, tels que ceux pour l'enveloppe, la mécanique du bâtiment, les finitions intérieures et extérieures et la plupart des murs non structuraux ont été exclus de la portée de l'analyse. Dans l'optique de simplifier l'analyse, il a aussi été jugé acceptable d'en exclure la structure des escaliers intérieurs, qui représente près de 40 m² de superficie, les murs de maçonnerie, la marquise extérieure et les parapets. Dans la plupart des cas, ces éléments seraient similaires pour le projet et son comparable en acier ou les émissions de GES étant associées à ces éléments seraient négligeables comparativement aux émissions de GES totales des autres matériaux de structure.

10.5. Analyse Gestimat du projet d'agrandissement en bois

La quantification des matériaux de structure du projet a été réalisée majoritairement par **cecobois** à partir des plans d'architecture et d'ingénierie du projet. Certaines quantités ont été directement fournies par les fournisseurs, soit par Charpentes Montmorency pour la structure en bois lamellé-collé du gymnase, de la bibliothèque et de l'agora et par Barrette Structural pour les poutrelles ajourées du plancher du deuxième étage et de la toiture des différents secteurs. La quantité de béton et d'armatures des fondations a été estimée par la firme d'ingénierie EXP. Au total, il a été estimé qu'approximativement 257 m³ de bois ont été utilisés pour la structure de l'agrandissement, soit 181 m³ pour la partie en ossature légère en bois et 76 m³ pour la partie en poteaux-poutres et le platelage en bois lamellé-collé (BLC).

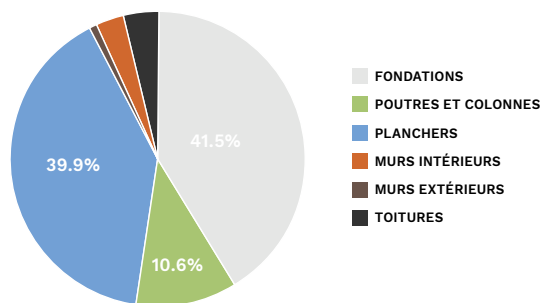
L'analyse GES réalisée à l'aide de Gestimat a révélé que 249 tonnes d'équivalent de dioxyde de carbone (t éq. CO₂) seraient attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet, soit approximativement 103 kg éq. CO₂/m² de plancher du projet d'agrandissement.

Les fondations en béton armé et les planchers représentent 80 % des émissions de GES de la fabrication des matériaux de structure du projet. La majorité de ces émissions sont attribuables au béton renforcé de fibres synthétiques de la dalle sur sol (un peu plus de 70 % des émissions des planchers) et de la chape de béton du deuxième étage (un peu moins de 15 % de ces émissions).

Le reste des émissions des planchers est attribuable aux éléments structuraux en bois et à leur assemblage. Les poutres et colonnes, les murs intérieurs, les murs extérieurs et la toiture, composés principalement de bois et de connecteurs en acier, représentent ensemble un peu moins des 20 % restants d'émissions de GES de la fabrication des matériaux de structure du projet, dont les poutres et colonnes comptent pour la moitié (**figure 16**).

L'analyse par matériau révèle que le béton représente près de 60 % des émissions de GES estimées, suivi de l'acier à environ 25 % (dont près de la moitié des émissions proviennent de l'armature des fondations) et du bois à un peu plus de 10 %. Les fibres synthétiques utilisées pour renforcer le béton des planchers sont catégorisées dans le type de matériau « Autres » et représentent le dernier pourcentage restant.

Répartition des émissions de GES



Émissions de GES (kg éq. CO₂)

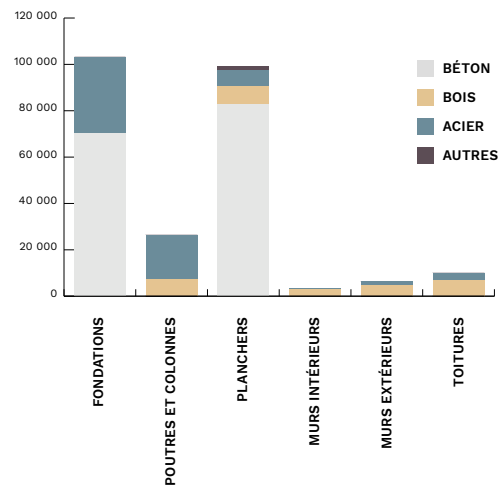


Figure 16 • Émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin

10.6. Analyse Gestimat du scénario comparable en acier

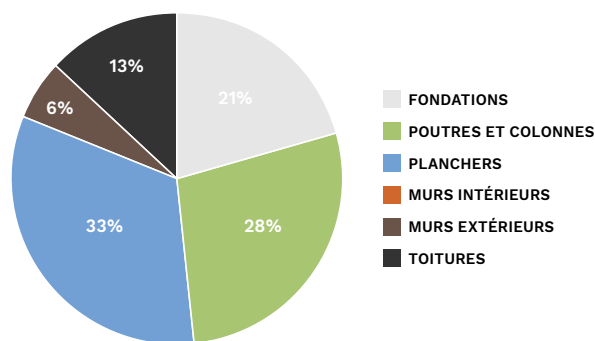
La quantification des matériaux de structure du comparable en acier du projet a été réalisée par un ingénieur de la firme EXP. Il a été estimé qu'approximativement 125 tonnes d'acier auraient été nécessaires pour la structure de l'agrandissement s'il avait été construit en structure d'acier.

Les émissions de GES qui auraient pu être attribuables à la fabrication des matériaux de structure auraient été de 503 tonnes d'équivalent de dioxyde de carbone (t éq. CO₂), soit approximativement 207 kg éq. CO₂/m² de plancher du projet d'agrandissement.

Les fondations en béton armé ont été considérées comme étant similaires au projet en bois. La structure en acier de ce scénario étant plus émettrice de GES que la structure en bois du projet, la proportion des émissions attribuées aux fondations est donc moins élevée par rapport au scénario en bois. Elles représentent environ 20 % des émissions pour le scénario comparable en acier.

Les planchers, les poutres et les colonnes deviennent quant à eux les plus grands émetteurs d'émissions (environ deux tiers des émissions). Les murs extérieurs et la toiture, composés principalement de structures en acier, représentent ensemble un peu moins de 20 % des émissions de GES de la fabrication des matériaux de structure du scénario comparable en acier (**figure 17**).

Répartition des émissions de GES



Émissions de GES (kg éq. CO₂)

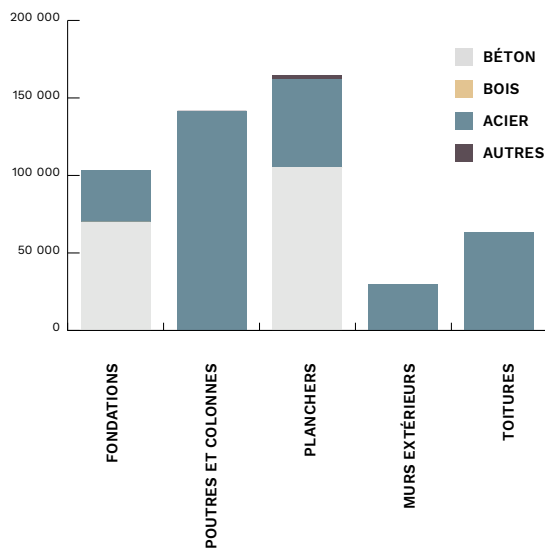


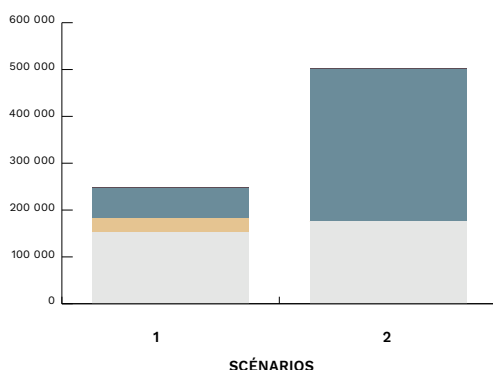
Figure 17 • Émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du scénario comparable en acier du projet d'agrandissement du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin

Côté matériaux, la structure en acier, excluant l'armature des fondations, représente près de 60 % des émissions de GES estimées, suivi du béton à 33 %, réparties de façon équivalente entre les fondations et les planchers. Les barres d'armature représentent environ 7 % des émissions. Les fibres synthétiques utilisées pour renforcer le béton des planchers, catégorisées dans le type de matériau « Autres », représentent moins de 1 % des émissions.

10.7. Analyse comparative

L'agrandissement en bois permet ainsi d'éviter près de la moitié des émissions de GES liées à la fabrication des matériaux de structure, soit une réduction de 254 t éq. CO₂ ou de **104 kg éq. CO₂/m² de plancher (figure 18)**. Cette quantité de GES évitée est l'équivalent de **200 voitures en moins sur la route pendant un an** ^[36].

Émissions de GES par matériau
(kg éq. CO₂)



Émissions de GES par système de construction (kg éq. CO₂)

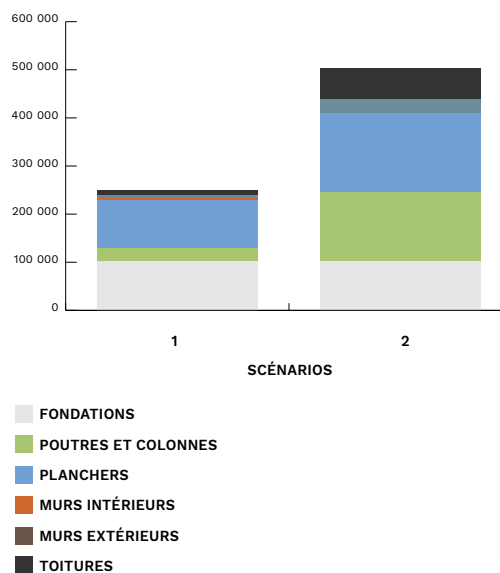


Figure 18 • Comparaison des émissions de GES attribuables à la fabrication des matériaux de structure du projet d'agrandissement en bois du pavillon Hubert-Reeves de l'école Fernand-Seguin et de son comparable en acier.

11. Références

- [1] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2017). *Charte du bois*, Québec, Canada.
- [2] Ministère de l'Éducation (2019). *Guide de planification immobilière*, Québec, Canada
- [3] Barrett, P. S., Zhang, Y., Davies, F. et Barrett, L. C. (2015). *Clever classrooms: Summary report of the HEAD project*.
- [4] Ulrich, R. S. et coll. (1991). *Stress Recovery During Exposure to Natural and Urban Environments*.
- [5] Parsons, R. et coll. (1998). *The view from the road: implications for stress recovery and immunization*.
- [6] Hartig, T. et coll. (2003). *Tracking restoration in natural and urban field settings*.
- [7] Laumann, K. et coll. (2003). *Selective attention and heart rate responses to natural and urban environments*.
- [8] Ulrich, R. S. (1984). *View Through a Window May Influence Recovery from Surgery*.
- [9] Lohr, V. I. et Pearson-Mims, C. H. (2001). *Physical Discomfort May Be Reduced in the Presence of Interior Plants*.
- [10] Shibata, S. et Suzuki, N. (2004). *Effects of an indoor plant on creative task performance and mood*.
- [11] Hartig, T. et coll. (1991). *Restorative Effects of Natural Environment Experiences*.
- [12] Cimprich, B. et Tennesen, C. M. (1995). *Views to nature: Effects on attention*.
- [13] Kuo, F. E. et Sullivan, W. C. (2001). *Aggression and Violence in the Inner City: Effects of Environment via Mental Fatigue*.
- [14] Fell, D. R. (2010). *Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment*.
- [15] Kelz, C. et coll. (2011). *The Restorative Effects of Redesigning the Schoolyard: A Multi-Methodological, Quasi-Experimental Study in Rural Austrian Middle Schools*.
- [16] Ikei, H., Song, C. et Miyazaki, Y. (2017). « Physiological Effects of Touching Wood ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, volume 14, no 7 (juillet 2017): 801.
- [17] Watchman, M. et coll. (2017). « Wood & room comfort: A comparative case study of two multifunctional rooms », *BioResources*, 12(4), 8704-8724.
- [18] Heschong, L., Wright, R. L. et Okura, S. (1999). *Daylighting Impacts on Human Performance in School*.
- [19] Milling, A., Kehr, R., Wulf, A. et Smalla, K. (2005). « Survival of bacteria on wood and plastic particles: Dependence on wood species and environmental conditions », *Holzforschung*, volume 59, no 1, pages 72-81.
- [20] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2020). *Chiffres clés du Québec forestier*, édition 2020.
- [21] Cecobois (2016). *Guide technique sur la conception de bâtiments à ossature légère en bois*, 2e édition (2019). Québec, Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois.
- [22] FPInnovations (2020). *Guide pour la conception de planchers composites en bois-béton au Canada*.
- [23] FPInnovations et Cecobois (2019). *Guide des meilleures pratiques d'installation du revêtement extérieur en bois massif*.
- [24] Maple Flooring Manufacturers Association (2020). *Specifications for gymnasium finishes and sealers for maple, beech and birch floors*.
- [25] Association des manufacturiers de menuiserie architecturale du Canada (2020). *Normes nord-américaines de menuiserie architecturale*.
- [26] Forest Products Laboratory (2010). *Wood Handbook—Wood as an Engineering Material*.
- [27] Cecobois (2012). *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie* (2e édition), Québec, Canada, 40 p.
- [28] Conseil canadien du bois (1997). *La sécurité incendie dans les bâtiments*.
- [29] CSA O86 (2019). *Engineering design in wood*, Canadian Standards Association.
- [30] Régie du bâtiment du Québec (février 2021). *Demande de mesures équivalentes ou de mesures différentes*, <https://www.rbq.gouv.qc.ca/domaines-d'intervention/batiment/les-mesures-equivalentes-et-les-mesures-differentes/demande-de-mesures-equivalentes-ou-de-mesures-differentes.html>.

- [31] Conseil canadien du bois (2019). *Fact sheet- Surface Flammability and Flame-spread Ratings*.
- [32] Conseil canadien du bois (1997). *Manuel de la construction en bois*.
- [33] Conseil national de recherches du Canada (2015). *Code de construction du Québec – Chapitre 1, Bâtiment, et Code national du bâtiment — Canada 2010 (modifié)*.
- [34] FPInnovations (2014). *Technical guide for the design and construction of tall wood buildings in Canada*.
- [35] FPInnovations (2014). *Surface burning characteristics of glulam decking*.
- [36] United States Environmental Protection Agency (février 2021). *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>.
- [37] Gouvernement du Québec (2020). *Politique d'intégration du bois dans la construction*.
- [38] Kellert, S. R. et Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*.
- [39] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (février 2021). *Certification forestière*, [https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/amenagement-durable-forets/certification-forestiere/#:~:text=Au%20Qu%C3%A9bec%2C%20trois%20syst%C3%A8mes%20de,la%20Sustainable%20Forestry%20Initiative%20\(SFI\)](https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/amenagement-durable-forets/certification-forestiere/#:~:text=Au%20Qu%C3%A9bec%2C%20trois%20syst%C3%A8mes%20de,la%20Sustainable%20Forestry%20Initiative%20(SFI)).
- [40] Garis, L. et Clare, J. (2012). *Evaluating Stakeholder Concerns with Wood Frame Buildings and Fire Risk*, University of the Fraser Valley, Abbotsford, Canada, 25 p.
- [41] Wells, N. M. et Evans, G. W. (2003). *Nearby Nature: A Buffer of Life Stress among Rural Children*.
- [42] Fast + Epp Structural Engineers, Perkins + Will, RDH Building Science Inc., Seagate Structures Ltd., Holmes Fire, GHL Consultants Ltd, Binational Softwood Lumber Council et Forestry Innovation Investment Ltd (2017). *Nail-Laminated Timber Canadian Design & Construction Guide*.
- [43] StructureCraft (2019). *DLT Design & Profile Guide*.

Mes notes

Mes notes



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

Avril 2021

www.cecobois.com

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois