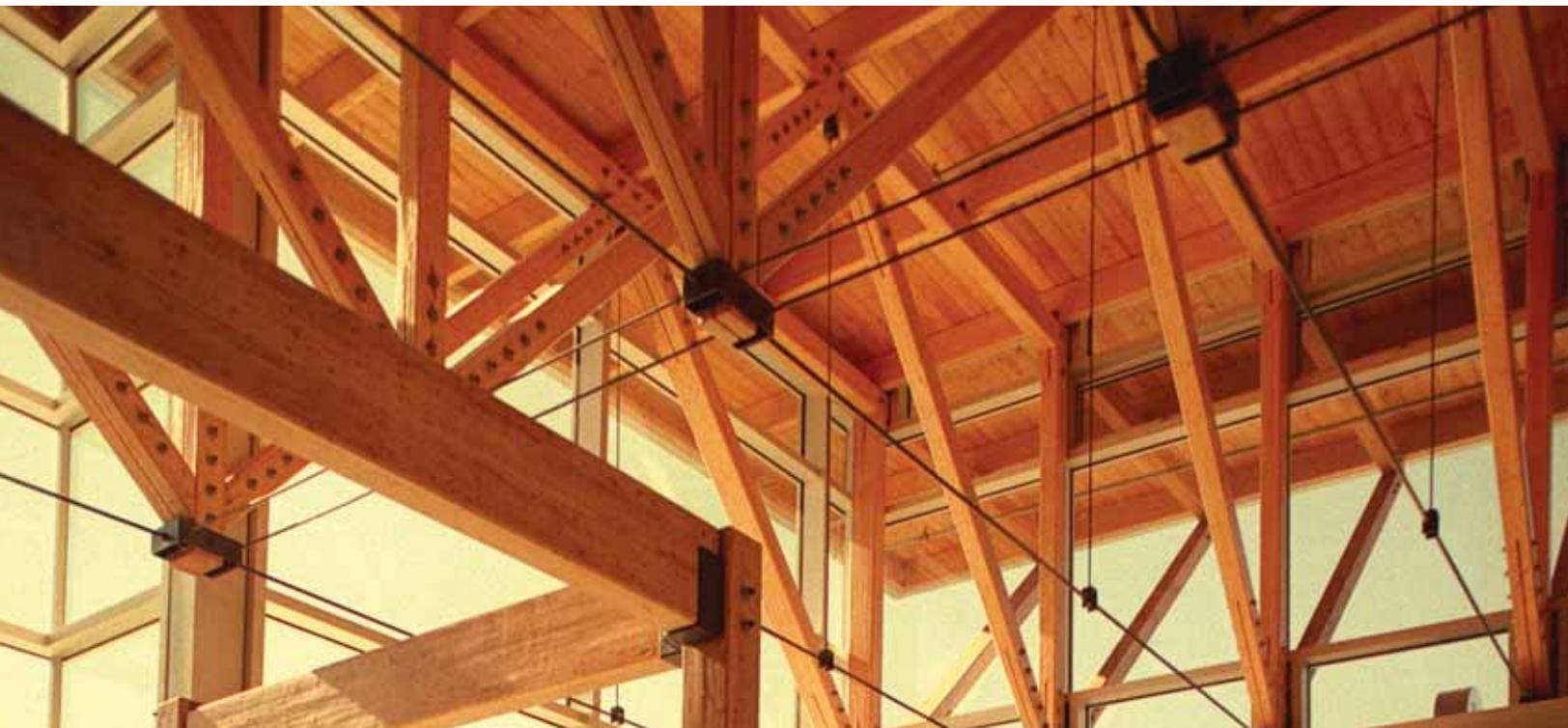


# Guide de bonnes pratiques pour la **construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie**

2<sup>e</sup> édition



**cecobois**

Centre d'expertise  
sur la construction  
commerciale en bois

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

Ressources naturelles  
et Faune  
Québec 



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

## Avant-propos

Ce guide de bonnes pratiques a pour but d'aider les architectes et les ingénieurs dans la conception de structures en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie de types bois lamellé-collé et bois de charpente composite. On y présente entre autres les propriétés et les avantages d'une telle construction. Ce guide met surtout l'accent sur la conception, l'installation et la protection de structures en gros bois permettant d'assurer la longévité des réalisations en bois. Il est appuyé d'illustrations démontrant les bonnes pratiques à adopter, tout comme celles à éviter. Il est un complément au Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros bois produit par **cecobois**.

## Remerciements

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

- André Bourassa, Ordre des architectes du Québec
- Julie Frappier, Nordic Bois d'ingénierie
- Sébastien Gilbert, Goodfellow

Les images techniques ont été réalisées à l'aide du logiciel Cadwork.

## Responsabilités du lecteur

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

# Table des matières

Liste des tableaux	V
Liste des figures	V
1 CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS	1
2 AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX DE LA CONSTRUCTION EN BOIS	2
3 PROPRIÉTÉS DU BOIS	3
3.1 Résistance mécanique	4
3.2 Résistance thermique	5
3.3 Performance au feu	6
3.4 Effets de l'humidité	7
3.4.1 Hygroscopicité du bois	7
3.4.2 Teneur en humidité d'équilibre	7
3.4.3 Retrait et gonflement	8
3.4.4 Séchage du bois	10
3.5 Durabilité	11
4 CONSTRUCTION EN GROS BOIS D'ŒUVRE ET D'INGÉNIERIE	12
4.1 Gros bois d'œuvre	12
4.2 Gros bois d'ingénierie	12
4.2.1 Bois lamellé-collé	12
4.2.2 Bois de charpente composite	14
4.2.3 Avantages des éléments de construction en bois d'ingénierie	14
4.2.4 Produits de finition et traitements de préservation	15
4.2.5 Entreposage et manipulation	16
4.2.6 Gerces et fissurations	16
5 DÉTAILS DE CONCEPTION ADAPTÉS AU BOIS	17
5.1 Prévoir le retrait et éviter la traction perpendiculaire au fil	17
5.1.1 Favoriser la compression plutôt que la traction perpendiculaire au fil	17
5.1.2 Concevoir des assemblages permettant le retrait	18
5.1.3 Entailles, encoches et ouvertures	20
5.2 Prévenir la pourriture des éléments en bois	21
5.2.1 Applications intérieures	22
5.2.2 Applications extérieures	24
5.3 Exemples de structures en bois extérieures bien protégées	30
6 RÉFÉRENCES	33

## Liste des tableaux

Tableau 1	Résistance thermique de différents matériaux	5
Tableau 2	Teneur en humidité d'équilibre (THE) des éléments en bois	10
Tableau 3	Teneur en humidité des produits en bois lors de l'installation	10
Tableau 4	Conditions générales de développement des champignons sur le bois	11
Tableau 5	Classes d'aspect du bois lamellé-collé	13

## Liste des figures

Figure 1	Cycle de vie des matériaux de construction	2
Figure 2	Émissions de gaz à effet de serre d'une poutre de 7,3 m	3
Figure 3	Structure microscopique d'un bois résineux	3
Figure 4	Efforts exercés parallèlement au fil	4
Figure 5	Efforts exercés perpendiculairement au fil	4
Figure 6	Résistance thermique de différents matériaux	5
Figure 7	Couche de carbonisation	6
Figure 8	Comportement d'une poutre structurale en cas d'incendie	6
Figure 9	Teneur en humidité d'équilibre du bois	7
Figure 10	Influence de la teneur en humidité sur les changements dimensionnels du bois	8
Figure 11	Phénomène de retrait et de gonflement selon le sens du bois	8
Figure 12	Retrait des éléments en bois dû au séchage	10
Figure 13	Bois lamellé-collé Goodlam™	13
Figure 14	Bois lamellé-collé Nordic Lam™	13
Figure 15	Bois de placages stratifiés (LVL)	13
Figure 16	Bois de copeaux parallèles (PSL)	13
Figure 17	Bois de copeaux longs laminés (LSL)	13
Figure 18	Gerce importante dans une poutre en gros bois d'œuvre	16
Figure 19	Délamination d'une poutre courbe en bois lamellé-collé	16
Figure 20	Charges concentrées suspendues à une poutre	17
Figure 21	Assemblage d'une poutre secondaire sur une poutre principale	18
Figure 22	Assemblage d'une poutre au-dessus d'une colonne	19
Figure 23	Assemblage d'une poutre sur le côté d'une colonne	19

## Liste des figures (suite)

Figure 24	Entaille à l'extrémité d'une poutre	20
Figure 25	Entaille à l'extrémité d'une poutre inclinée	20
Figure 26	Tôdai-ji; temple en bois construit de 728 à 749	21
Figure 27	Appui d'une poutre sur du béton ou de la maçonnerie	22
Figure 28	Pied de colonne en utilisation intérieure	23
Figure 29	Écoulement d'eau dû à la condensation sur une surface de verre en toiture	24
Figure 30	Détails de solins	25
Figure 31	Dégradation de poutres extérieures mal protégées	25
Figure 32	Protection d'une poutre extérieure en bois	26-27
Figure 33	Assemblages poutre-poteau à éviter en utilisation extérieure	27
Figure 34	Pied de colonne en utilisation extérieure	28
Figure 35	Pied de colonne inclinée en utilisation extérieure	29

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

Le Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (**cecobois**) est un organisme à but non lucratif dont la mission est d'offrir gratuitement un soutien aux promoteurs, développeurs et firmes d'ingénieurs et d'architectes en matière d'utilisation du bois dans les constructions non résidentielles au Québec.

## **cecobois** est votre ressource première afin d'obtenir :

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

## **Vous êtes promoteur, ingénieur ou architecte ?**

### **cecobois** peut vous renseigner sur :

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

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

## 2 Avantages environnementaux de la construction en bois

Dans un monde sensibilisé à l'environnement, le bois est un matériau de premier choix. Il a beaucoup à offrir pour améliorer la performance environnementale globale des bâtiments. L'utilisation du bois permet de réduire la trace environnementale en matière notamment de consommation d'énergie, d'utilisation des ressources ainsi que de pollution de l'eau et de l'air.

Toutes les activités humaines ont des répercussions sur notre environnement immédiat et il est pratiquement impossible de construire un bâtiment n'ayant aucun impact écologique. Les concepteurs et les constructeurs de bâtiments sont cependant de plus en plus conscients de l'importance de leurs choix pour réduire l'empreinte environnementale des bâtiments sur le monde qui nous entoure. C'est pourquoi ces décideurs adoptent majoritairement des concepts de « construction écologique » et optent pour des solutions visant à réduire la consommation d'énergie, à favoriser l'emploi de matériaux renouvelables et à limiter la pollution causée par la fabrication des différents produits.

L'analyse du cycle de vie quantifie les impacts qu'un produit, un procédé ou une activité a sur l'environnement au cours de sa vie, à l'aide d'une méthode reconnue scientifiquement. Elle considère l'ensemble des étapes allant de l'extraction des matériaux, la transformation, le transport, l'installation, l'utilisation, l'entretien jusqu'à l'élimination finale ou la réutilisation (**figure 1**). L'analyse du cycle de vie des matériaux est un outil précieux pour quantifier le caractère écologique des projets de construction et soutenir les systèmes de certification environnementale des bâtiments.

L'évaluation de l'ensemble des impacts qu'ont les bâtiments sur l'environnement est une tâche complexe et un défi de taille. L'Institut ATHENA a mis au point un outil permettant de calculer les impacts directs sur l'environnement de différentes techniques de construction. Le logiciel ATHENA impact estimator (ATHENA™) est un instrument d'évaluation environnementale basé sur l'analyse du cycle de vie qui s'adresse principalement aux professionnels de la construction.

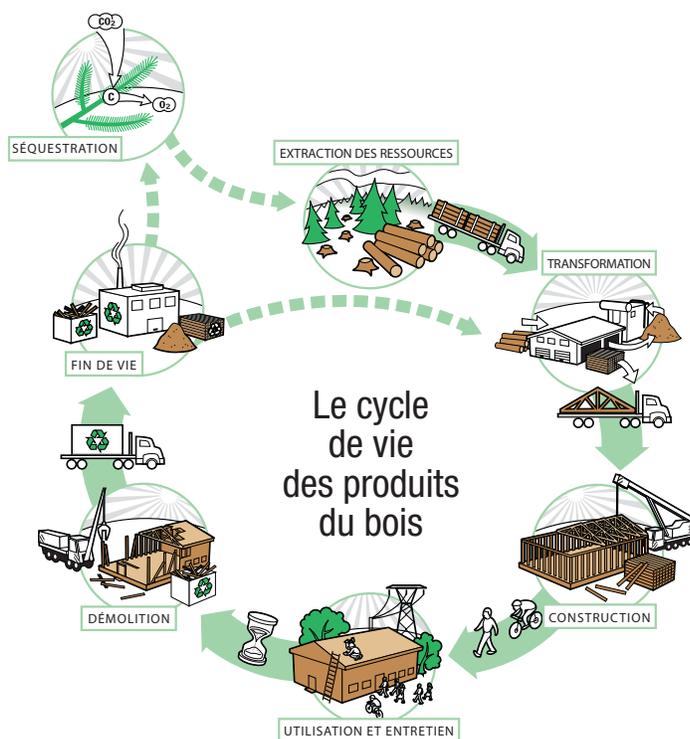


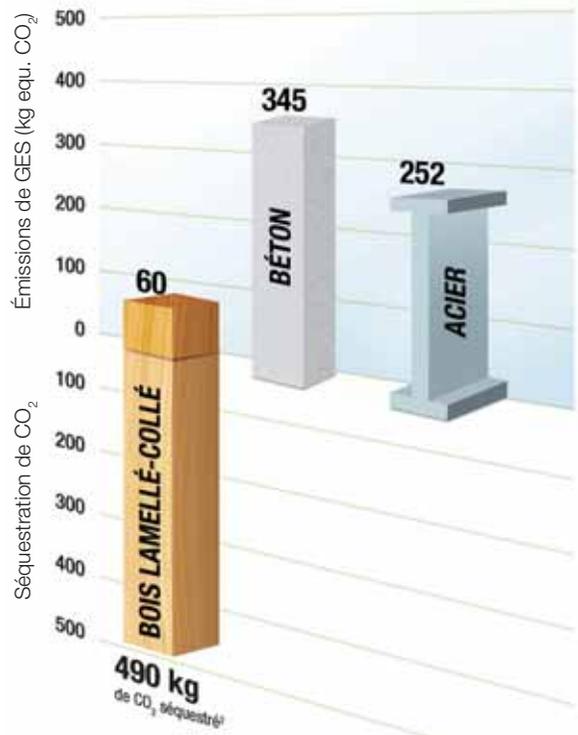
FIGURE 1 • Cycle de vie des matériaux de construction

Une récente étude réalisée par cecobois a permis de comparer le potentiel de réchauffement climatique d'une poutre en bois d'ingénierie de 7,3 m de portée supportant une charge non pondérée de 14,4 kN/m. Dans la **figure 2**, l'équivalent d'émission de CO<sub>2</sub> représente le potentiel de réchauffement climatique obtenu lors de l'analyse du cycle de vie à l'aide du logiciel ATHENA™. Cette étude démontre que la poutre en bois d'ingénierie émet près de 6 fois moins de GES que celle en béton et environ 4 fois moins que celle en acier.

Le procédé de fabrication du bois de construction requiert en effet moins d'énergie et est beaucoup moins polluant que d'autres matériaux ayant davantage d'impacts sur l'environnement. De plus, l'arbre séquestrant du CO<sub>2</sub> dans le bois au cours de sa croissance, son bilan carbone total peut être considéré comme positif.

L'utilisation du bois en construction contribue aussi à l'efficacité énergétique du bâtiment, car sa faible conductivité thermique permet de réduire efficacement les ponts thermiques dus à la structure.

Respectueux de l'environnement, les éléments en bois d'ingénierie permettent une meilleure utilisation de la ressource en employant des arbres de plus petits diamètres pour fabriquer un produit de haute qualité.



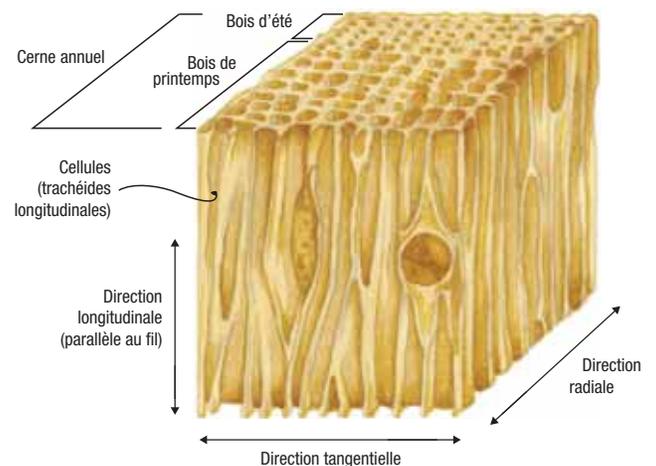
1. Émissions de GES, calculées lors d'une analyse du cycle de vie à l'aide du logiciel ATHENA™ v 4.1.11
2. Estimé en fonction de la composition du bois pour une masse volumique de 500 kg/m<sup>3</sup>

**FIGURE 2** • Comparaison des émissions de GES dues à la fabrication d'une poutre<sup>1</sup> de 7,3 m supportant une charge de 14,4 kN/m

### 3 Propriétés du bois

Le bois est formé d'un ensemble de cellules principalement orientées dans le sens longitudinal du matériau. Sa structure interne pourrait être comparée à une multitude de petits tubes collés les uns aux autres (**figure 3**). Les conditions de croissance influençant la disposition et la densité de ces cellules, les cerne annuels sont formés de cellules plus aérées produites au printemps et de cellules plus denses produites au cours de l'été.

Sa structure anatomique confère au bois d'intéressantes propriétés mécaniques, en plus d'offrir une bonne résistance thermique en raison de la grande quantité d'air contenue dans les fibres. Les constructions en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie offrent aussi de très bonnes performances au feu. L'hygroscopicité du bois le rend cependant sensible à l'eau, propriété qui doit être prise en considération au moment de la conception pour assurer la longévité des constructions en bois.



**FIGURE 3** • Structure microscopique d'un bois résineux

### 3.1 Résistance mécanique

Grandement influencée par sa structure interne, la résistance mécanique du bois varie selon la direction d'application de la charge par rapport à son fil (sens des fibres). Ce changement des propriétés mécaniques en fonction de l'orientation est appelé « anisotropie ». Celle-ci est causée principalement par des modes de rupture différents selon le type de chargement et son orientation. La résistance mécanique du bois est aussi liée à sa densité, ainsi qu'à sa teneur en humidité.

Dans un arbre, les cellules étant sollicitées selon leur axe fort (**figure ci-contre**), le bois offre une très bonne résistance aux contraintes de compression et de traction parallèle au fil (**figure 4**). La possibilité de flambage d'un élément long et mince peut toutefois réduire la résistance en compression et doit être considérée dans le calcul des éléments porteurs. Au moment de la conception d'une structure en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie, les efforts en compression sont habituellement préférables aux efforts en traction, pour faciliter les assemblages.

La compression perpendiculaire au fil, souvent causée par des charges concentrées aux appuis, est inférieure à la résistance parallèle car elle tente d'écraser les petits tubes que sont les cellules du bois. Des plaques en acier ou en bois peuvent être utilisées pour augmenter la surface d'appui et ainsi diminuer les contraintes de compression perpendiculaire au fil (**figure 5**).

La traction exercée perpendiculairement au fil cherche à décoller les fibres du bois les unes des autres (**figure 5**). Le bois possédant très peu de résistance dans cette direction, il est important de limiter les efforts de traction perpendiculaire au fil dans les structures en bois. Comme il est présenté à la section 5.1, des détails de conception appropriés assurent une bonne performance du bois dans ce sens.

Il est particulièrement important de considérer cette anisotropie du bois dans la conception des structures et des détails d'assemblage afin d'utiliser le bois selon sa pleine capacité. Le Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros bois fournit de plus amples informations sur les propriétés mécaniques du bois et des produits en bois d'ingénierie.

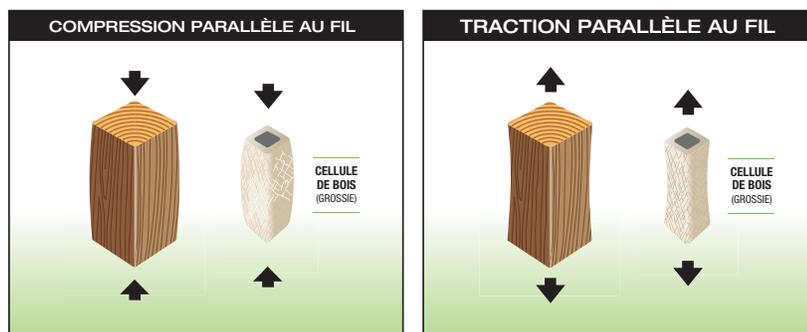


FIGURE 4 • Efforts exercés parallèlement au fil

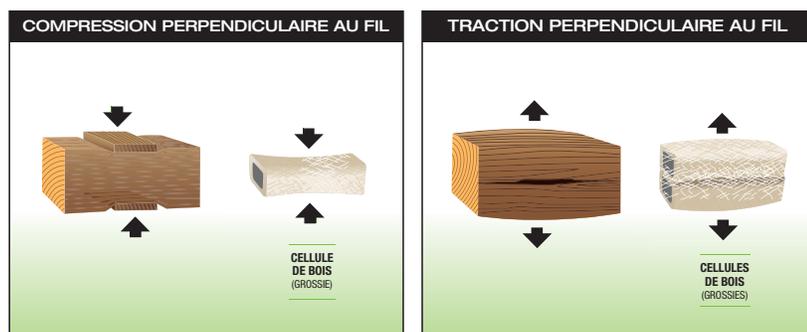


FIGURE 5 • Efforts exercés perpendiculairement au fil

## 3.2 Résistance thermique

La structure cellulaire du bois contient une grande quantité de cavités remplies d'air. Le bois offre donc une bonne résistance au transfert de chaleur, propriété qui varie en fonction de sa densité, de sa teneur en humidité et des caractéristiques naturelles comme les nœuds. La conductivité thermique, qui mesure l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur par conduction, est d'environ 0,09 W/m°C pour un bois d'épinette (**tableau 1**), ce qui permet d'obtenir une résistance thermique d'environ 1,1 RSI pour 100 mm de bois (R6/4 po), soit 0,3 RSI pour 25 mm (R1,5/po).

Le bois est un bon isolant thermique, grandement supérieur à plusieurs autres matériaux de construction. Le bois a une résistance thermique 500 fois plus grande que celle de l'acier, et 10 fois plus grande que le béton (**figure 6**).

**TABLEAU 1** • Résistance thermique de différents matériaux

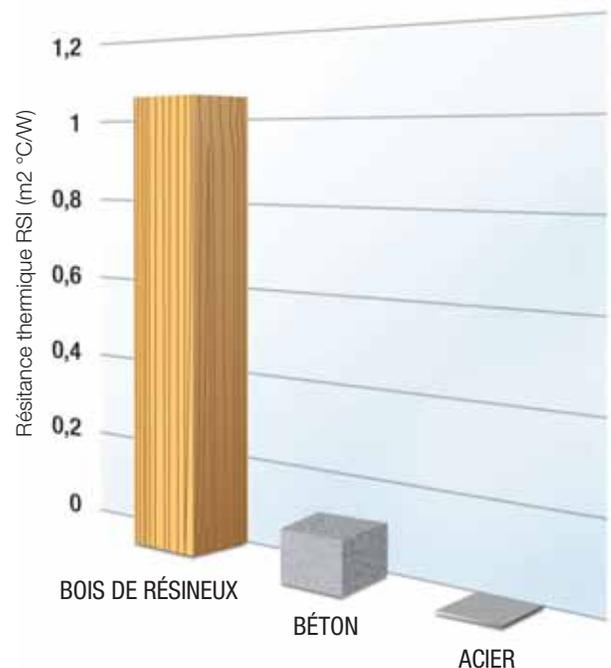
Matériau	Conductivité thermique (W/m°C)	Résistance thermique (pour 100 mm/4 po)	
		RSI (m <sup>2</sup> °C/W)	R (Pi <sup>2</sup> h °F/btu)
Acier	46	0,002	0,01
Béton	1,0	0,10	0,57
Bois de résineux	0,09	1,1	6,0

Source : ASHRAE 2009

La perte de chaleur due aux ponts thermiques est amoindrie par l'utilisation d'une charpente en bois, en raison de la faible conductivité thermique de ce matériau. Cette diminution du transfert de chaleur à travers les parois du bâtiment réduit la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation. Ainsi, l'emploi de matériaux plus conducteurs, comme l'acier et le béton, nécessite l'ajout d'une isolation supplémentaire pour égaler les propriétés isolantes du bois.

Le bois possède aussi une bonne inertie thermique lui permettant d'emmagasiner la chaleur. Les parois en bois massif favorisent ainsi une bonne régulation de la température intérieure malgré la variation de la température extérieure.

**Résistance thermique pour une épaisseur de 100 mm (4 po)**



**FIGURE 6** • Résistance thermique de différents matériaux

### 3.3 Performance au feu

Les charpentes en gros bois d'œuvre et d'ingénierie offrent une bonne résistance au feu. Le bois ne perd en effet que de 10 à 15 % de sa résistance totale sous l'effet de températures extrêmes générées par un incendie (Lie, 1977). De plus, au moment d'un incendie, une couche de carbonisation se forme autour des larges éléments de bois et protège le matériau central de la chaleur dégagée par les flammes (figure 7). Ce phénomène réduit la vitesse de carbonisation à environ 0,65 mm/min. Après 45 minutes de combustion, une pièce de bois n'aura donc brûlé que d'environ 29 mm, et le centre de la pièce gardera sa résistance. Le concepteur peut donc effectuer le dimensionnement des éléments porteurs en conséquence afin de fournir la résistance incendie recherchée. Plus la pièce sera grosse, plus elle supportera les charges longtemps.

La faible conductivité du bois, discutée à la section 3.2, influence aussi la performance au feu des structures. Contrairement à une poutre en acier, l'intérieur d'une pièce de bois est peu influencé thermiquement lorsque les faces externes se consomment. La partie non brûlée conserve donc la majeure partie de sa résistance structurale, même sous l'effet des très hautes températures dues à un incendie (figure 8).

Les exigences de sécurité incendie du Code national du bâtiment (CNB) reconnaissent les avantages que procure la construction en gros bois d'œuvre pour la résistance au feu. Si le bâtiment est protégé par des gicleurs et si les dimensions minimales des éléments porteurs sont respectées, le CNB considère qu'il est peu probable qu'un incendie gagne assez d'ampleur pour menacer l'intégrité structurale des éléments en gros bois, qu'ils soient en bois d'œuvre ou en bois d'ingénierie, et autorise donc ce type de construction dans plusieurs cas où une construction incombustible est exigée (CNB, article 3.2.2.16).

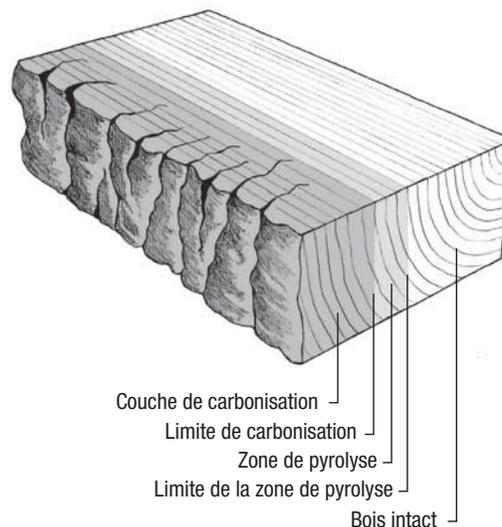


FIGURE 7 • Couche de carbonisation

Source ; adaptée de CSA O177

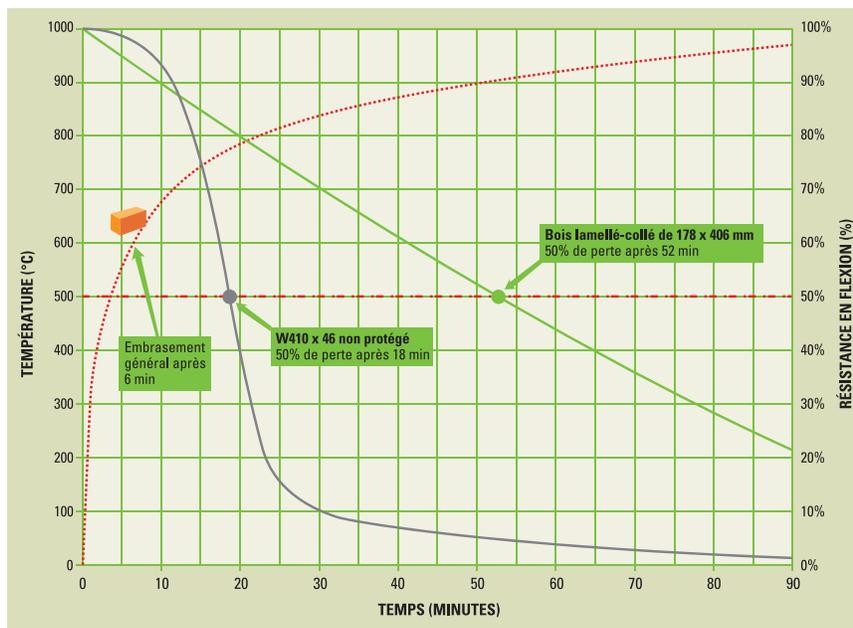


FIGURE 8 • Comportement d'une poutre structurale en cas d'incendie

..... Température de la pièce lors de l'essai normalisé CAN/ULC S101  
 ——— Résistance en flexion de la poutre d'acier W410x46  
 ——— Résistance en flexion de la poutre de bois lamellé-collé 178 x 406 mm

## 3.4 Effets de l'humidité

### 3.4.1 Hygroscopicité du bois

L'hygroscopicité, soit l'aptitude à absorber l'humidité, est une propriété importante du bois qu'il convient de bien comprendre pour assurer la pérennité des réalisations en bois.

La teneur en humidité (TH), exprimée en pourcentage, est le rapport de la masse d'eau présente dans le bois sur la masse du bois anhydre ou sec (**équation 1**).

$$\text{Teneur en humidité} = \frac{M_{\text{eau}}}{M_{\text{bois, anhydre}}} \times 100 = \frac{M_{\text{bois, humide}} - M_{\text{bois, anhydre}}}{M_{\text{bois, anhydre}}} \times 100$$

Où

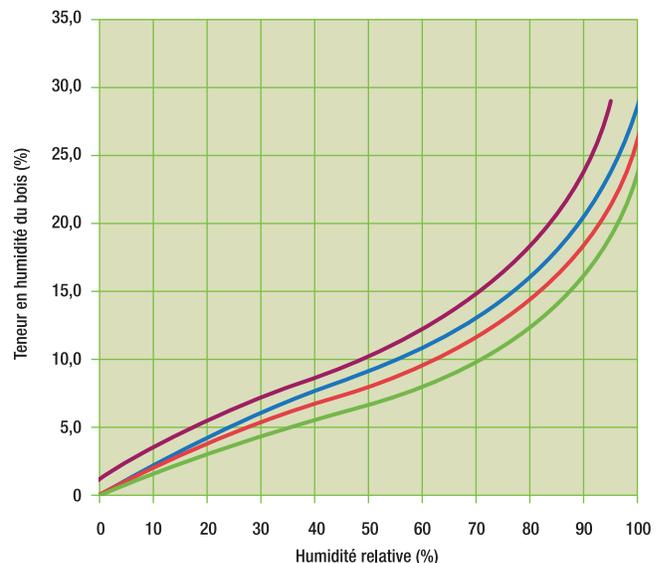
- $M_{\text{eau}}$  est la masse d'eau contenue dans le bois à l'état initial (en grammes)
- $M_{\text{bois, anhydre}}$  est la masse de bois à l'état anhydre ou complètement sec (en grammes)
- $M_{\text{bois, humide}}$  est la masse du bois à l'état initial ou avant séchage (en grammes)

Le matériau bois peut contenir de l'eau sous deux formes ; l'eau contenue dans les vides à l'intérieur des cellules et l'eau absorbée par les parois cellulaires. Lorsque la teneur en humidité du bois est maximale, l'eau est présente sous ces deux formes. En séchant, le bois perd d'abord l'eau libre à l'intérieur des cavités et ensuite l'eau absorbée par les parois cellulaires. Le point de saturation des fibres (PSF) est la teneur en humidité limite pour laquelle il n'y a plus d'eau libre dans les vides alors que l'eau absorbée dans les parois cellulaires est maximale. Le PSF se situe à une teneur en humidité autour de 30 % pour la plupart des essences de bois.

### 3.4.2 Teneur en humidité d'équilibre

En dessous du PSF, le bois perd ou absorbe l'humidité jusqu'à ce que sa teneur en humidité soit en équilibre avec celle de l'air ambiant. Cette teneur en humidité d'équilibre du bois est fonction de la température et de l'humidité relative de l'air, comme l'illustre la **figure 9**.

Des études ont démontré que l'utilisation d'une grande quantité de bois apparent permet de réguler l'humidité relative de l'air intérieur, ce qui procure un effet bénéfique sur la santé des occupants.



**FIGURE 9** • Teneur en humidité d'équilibre du bois

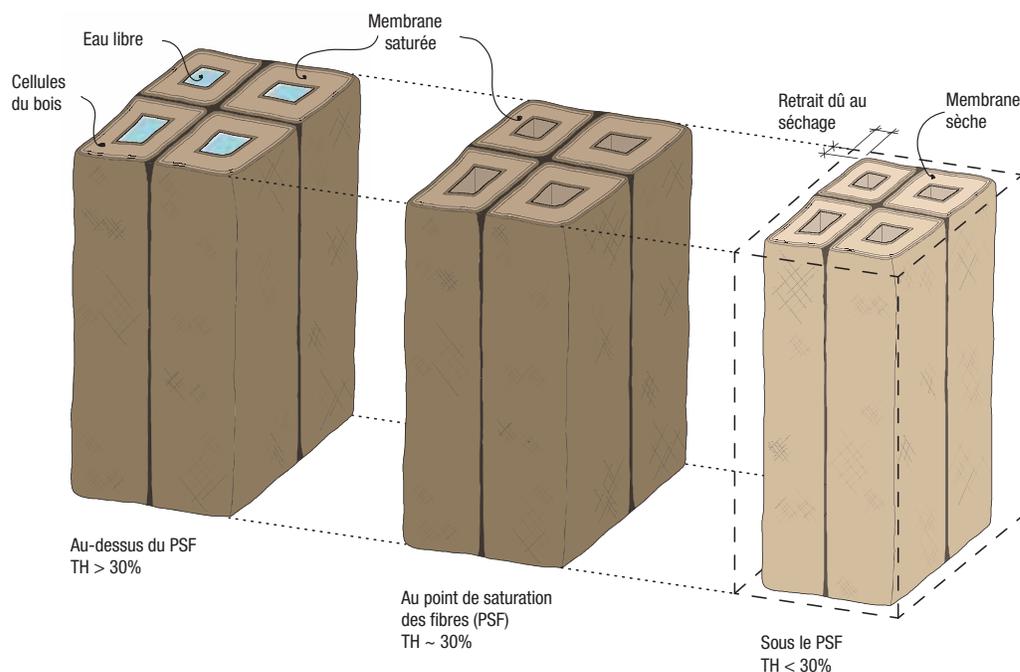
Source ; Conseil canadien du bois

**10 °C**   **21 °C**   **50 °C**   **75 °C**

### 3.4.3 Retrait et gonflement

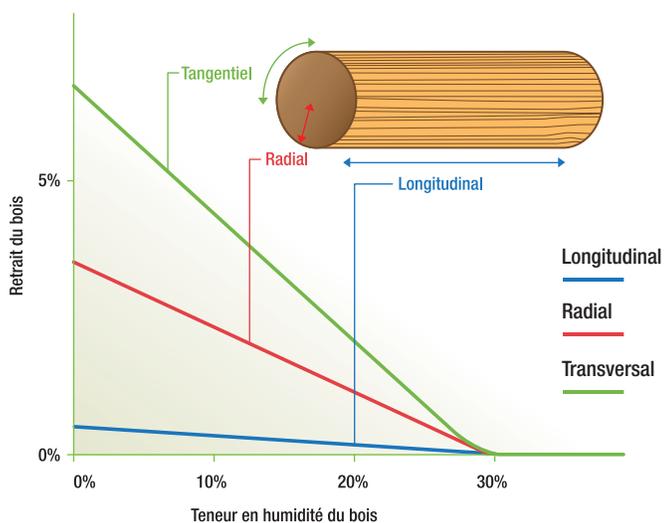
Comme il a été discuté précédemment, au-dessus du PSF (TH > 30 %), un changement de teneur en humidité amène seulement l'évaporation ou l'ajout d'eau libre se trouvant à l'intérieur des cellules. Ce changement de teneur en humidité n'affecte pas la paroi cellulaire et ne produit donc pas de changements dimensionnels du bois (**figure 10**).

Par contre, 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 10** • Influence de la teneur en humidité sur les changements dimensionnels du bois

Les coefficients de retrait et de gonflement sont généralement faibles selon le sens longitudinal du bois, mais peuvent être beaucoup plus importants selon les directions radiale et tangentielle (**figure 11**).



**FIGURE 11** • Phénomène de retrait et de gonflement selon le sens du bois

Le calcul du retrait d'un élément en bois (voir l'encadré) peut s'avérer nécessaire dans certaines situations pour permettre d'assurer la bonne performance d'un système de construction. Par exemple, certaines structures hybrides utilisent des matériaux différents qui, en changeant de dimensions inégalement, peuvent réduire la durabilité du système.

Dans les cas courants de systèmes de construction en bois, le concepteur doit surtout connaître l'existence de ce phénomène de retrait et de gonflement afin d'assurer un bon comportement à long terme de la structure.

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 en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie car la surface de connexion est souvent plus importante. Des assemblages inadéquats 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 plutôt que des cornières latérales et une file de boulons qui risquent d'entraver le mouvement du bois perpendiculairement au fil. Plusieurs détails d'assemblage sont présentés à la section 5.1.

### 3.4.3.1 Calcul du retrait et gonflement

Le retrait et le gonflement peuvent être calculés linéairement selon les coefficients de retrait propre à chaque essence de bois. Le coefficient de retrait,  $\alpha$ , correspond au changement dimensionnel entre le point de saturation de fibre (TH = 28 %) et l'état anhydre (TH = 0 %). Par exemple, si l'on considère un coefficient de retrait de 5,8 %, une poutre de bois de 286 mm qui passerait d'une teneur en humidité de 19 % à une teneur en humidité de 10 % subirait un retrait de 1,9 %, rapetissant de 5 mm.

$$\alpha_{19\%-10\%} = \frac{L_{19\%} - L_{10\%}}{L_{19\%}} = \frac{\alpha_r \cdot (TH_{initiale} - TH_{finale})}{TH_{PSF}} = \frac{5,8\% \cdot (19\% - 10\%)}{28\%} = 1,9\%$$

$$\Delta L_{19\%-10\%} = L_{19\%} \cdot \alpha_{19\%-10\%} = 286 \cdot 1,9\% = 5 \text{ mm}$$

$$L_{10\%} = L_{19\%} - \Delta L_{19\%-10\%} = 286 - 5 = 281$$

Où

- $\alpha_r$  est le coefficient de retrait
- $\alpha_{19\%-10\%}$  est le retrait entre une teneur en humidité de 19 % et une teneur en humidité de 10 %
- $L_{x\%}$  est la dimension de l'élément en bois à une teneur en humidité de x %
- $TH_{initiale}$  = teneur en humidité initiale
- $TH_{finale}$  = teneur en humidité finale
- $TH_{PSF}$  = teneur en humidité au point de saturation des fibres
- $\Delta L_{19\%-10\%}$  = changement de dimension de l'élément en bois entre 19 % et 10 % de teneur en humidité.

Plus d'information sur le retrait du bois est disponible dans la documentation sur les propriétés physiques du bois (Bowyer et al., 2007 ; Hoadley, 2000).

### 3.4.4 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 près 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 bois en service se situe habituellement entre 8 et 12 % et varie selon les saisons et les conditions d'utilisation (**tableau 2**).

Le *Code national du bâtiment* exige que la teneur en humidité des éléments d'ossature en bois n'excède pas 19 % au moment de leur mise en œuvre. Les gros bois d'œuvre sont cependant rarement secs au cours de la pose, en raison de la difficulté de sécher rapidement de grosses sections de bois. Inversement, les bois d'ingénierie sont habituellement séchés à des teneurs en humidité autour de 12 % afin d'assurer un collage adéquat des différents éléments et minimiser le retrait (**tableau 3**). 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 12**). 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.

Le bois de sciage et les bois d'ingénierie n'ayant habituellement pas la même teneur en humidité au moment de l'installation, il est préférable ne pas les mélanger dans un même système constructif pour lequel un retrait différentiel ne serait pas souhaitable.

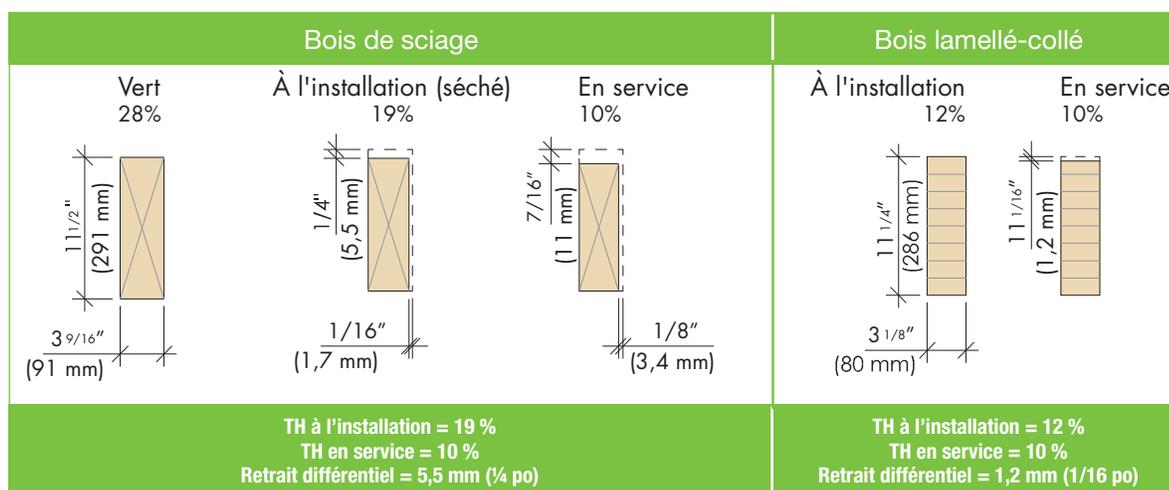
Le bois de sciage ayant généralement une teneur en humidité plus grande au moment de l'installation que les bois d'ingénierie, il subit un retrait plus important.

**TABLEAU 2 •** 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 3 •** Teneur en humidité des produits en 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 %



**FIGURE 12 •** Retrait des éléments en bois dû au séchage

### 3.5 Durabilité

Le bois peut être sensible aux problèmes de détérioration et de pourriture lorsqu'il est en contact direct avec l'eau ou qu'il se trouve dans des conditions d'humidité relative très élevées. La pourriture est causée par la présence de champignons qui détruisent le bois.

Quatre conditions sont essentielles pour que la pourriture survienne, soit ;

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

Les deux premières conditions ne peuvent être exclues des bâtiments. Il est par contre possible d'agir sur la teneur en humidité en concevant des détails de construction qui limitent le contact direct des éléments de bois avec l'eau ou une source d'humidité. Les espaces fermés, tels les enveloppes trop hermétiques 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, des traitements de préservation peuvent également être appliqués sur le bois pour freiner la quatrième condition et neutraliser la source d'alimentation. Plus d'information sur les traitements de préservation et les produits de finition est présentée à la section 4.2.4. Il semble cependant plus durable d'assurer une protection efficace à long terme du bois par des détails de conception adaptés plutôt qu'uniquement à l'aide de traitement de préservation.

La moisissure est une autre altération du bois. Celle-ci est provoquée par le développement de spores de champignon qui apparaissent lors de 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 ne touche pas ses propriétés mécaniques.

Il est important de rappeler que 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 au développement de moisissures. La moisissure n'est pas uniquement liée à la présence de bois car elle peut aussi, entre autres, se développer sur la poussière se retrouvant sur les différents matériaux.

Le **tableau 4** présente les conditions d'humidité et de température favorisant le développement de champignons sur le bois. Rappelons que, comme il a été présenté à la **figure 9**, la teneur en humidité du bois dépend de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant.

**TABLEAU 4 •** Conditions générales de développement des champignons sur le bois

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

\* 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

## 4 Construction en gros bois d'œuvre et d'ingénierie

### 4.1 Gros bois d'œuvre

Au Canada, le bois d'œuvre est commercialisé sous quatre combinaisons d'essences : Douglas-mélèze, pruche-sapin, épinette-pin-sapin et les essences nordiques. La norme CSA O141 *Bois débité de résineux* énumère les essences canadiennes comprises dans chaque groupe. Le groupe épinette-pin-sapin ou E-P-S (*Spruce-Pine-Fir* ou S-P-F) est de loin le plus utilisé dans l'est du Canada. Les éléments de bois en E-P-S sont habituellement offerts dans les dimensions jusqu'à 241 mm x 241 mm (10 po x 10 po), alors que les sections en Douglas-mélèze et pruche-sapin peuvent aller jusqu'à 394 mm x 394 mm (16 po x 16 po). Il convient de vérifier auprès des fournisseurs la disponibilité de pièces de dimensions plus importantes.

Pour les applications structurales, le bois doit être classé selon les exigences de la norme *Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien* de la NLGA. Les classes les plus courantes sont no 1 et no 2. Le bois classé visuellement porte une estampille indiquant sa classe ainsi que le nom de l'agence de certification.

Si le bois est séché au séchoir pour atteindre un taux d'humidité de moins de 19 %, il sera classé KD (*Kiln Dry*). Le bois peut aussi être KD-HT (*Kiln Dry at High Temperature*) s'il a atteint une température de 56 °C pour une durée minimale de 30 minutes. Si le bois est raboté à l'état vert, il sera classé S-Grn (*Surfaced Green*). Les gros bois d'œuvre sont généralement rabotés à l'état vert puisque leurs grandes dimensions rendent impraticable le séchage à l'air ou au séchoir.

Le bois d'œuvre peut subir un retrait important lorsqu'il sèche en service. Des gerces peuvent alors apparaître à la surface du bois. Ce phénomène se produit lorsque la surface du bois, qui sèche plus rapidement que le noyau interne, tente de se rétrécir mais en est empêchée par le noyau qui conserve un taux d'humidité élevé plus longtemps. Ces défauts ne prennent de l'importance que s'ils dépassent les limites des règles de la NLGA qui varient selon la classe de résistance considérée (NLGA, 2008).

Il peut être possible, dans certaines conditions, de limiter ces gerces en créant une entaille de retrait. Cette incision, allant jusqu'au cœur de l'élément sur toute sa longueur, provoque une amorce de fissuration de la pièce et concentre ainsi les gerces à l'endroit désiré (Natterer *et al.*, 2004). Cette incision peut être positionnée pour ne pas être apparente. Son influence sur l'intégrité structurale de la pièce doit être vérifiée.

### 4.2 Gros bois d'ingénierie

Les bois d'ingénierie sont des produits à valeur ajoutée fabriqués à partir de petites sections de bois. Ils permettent une optimisation de la matière et un meilleur contrôle du produit fini. On trouve plusieurs types de gros bois d'ingénierie au Québec, dont le bois lamellé-collé (BLC) et le bois de charpente composite (SCL). Ces produits allient l'esthétique aux propriétés structurales. Leur utilisation est permise lorsqu'une construction en gros bois d'œuvre est autorisée dans le *Code national du bâtiment*.

Le bois lamellé-collé et le bois de charpente composite sont décrits brièvement dans les prochaines sections. Plus d'information sur leur utilisation est disponible dans le *Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros bois*, publié par cecobois.

#### 4.2.1 Bois lamellé-collé

Le bois lamellé-collé (BLC) (*glued-laminated timber* ou *glulam*) est composé d'un empilage de pièces de bois de dimensions nominales 38 mm x 38 mm à 38 mm x 286 mm (2 x 2 po à 2 x 12 po), rabotées et aboutées, puis collées sous presse avec un adhésif hydrofuge. Il permet des sections droites ou courbes au dimensionnement précis et quasi infini. Le BLC possède une meilleure stabilité dimensionnelle que les pièces en gros bois d'œuvre. Il est utilisé comme poutre, colonne ou arche dans des longueurs limitées principalement par le transport.

Le bois lamellé-collé se divise en deux catégories, soit les produits traditionnels ou « génériques », conformes à la norme CSA O122 *Bois de charpente lamellé-collé*, et les produits innovateurs ou « propriétaires » qui doivent être préalablement évalués par le Centre canadien des matériaux de construction (CCMC) (figure 13 et figure 14 respectivement).



**FIGURE 13** • Bois lamellé-collé Goodlam™  
Conforme à la norme CSA O122.



**FIGURE 14** • Bois lamellé-collé Nordic Lam™  
Rapport d'évaluation CCMC 13216-R

Source : CSA O122

Le bois lamellé-collé est offert avec différents niveaux de finition selon les fournisseurs, allant du simple rabotage (classe Industriel) à un fini architectural (classe Qualité). Ces classes d'aspect déterminent la qualité du fini sur les faces visibles et ne sont pas liées à la résistance des matériaux utilisés. Le **tableau 5** présente les trois classes d'aspect offertes.

**TABLEAU 5** • Classes d'aspect du bois lamellé-collé

Classe Industriel	Conçu pour l'utilisation là où l'apparence n'est pas de premier ordre, comme dans les édifices industriels ou dans les constructions résidentielles où le bois lamellé-collé ne sera pas visible.
Classe Commercial	Conçu pour être peint, huilé ou couvert d'un vernis mat, le bois de cette classe se retrouve dans la majorité des projets au Québec où le bois lamellé-collé est apparent.
Classe Qualité	Conçu pour recevoir un vernis lustré et transparent, le bois de cette classe est très peu ou pas utilisé dans la construction au Québec.

Les classes de contraintes, les spécificités de fabrication, la certification et les marquages sont présentés plus en détail dans le *Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros bois* produit par cecobois.

## 4.2.2 Bois de charpente composite



**FIGURE 15** • Bois de placages stratifiés (LVL).



**FIGURE 16** • Bois de copeaux parallèles (PSL)



**FIGURE 17** • Bois de copeaux longs laminés (LSL)

## 4.2.2 Bois de charpente composite

Les bois de charpente composites (structural composite lumber ou SCL) sont une famille de bois d'ingénierie structuraux fabriqués à partir de collage de placages ou de copeaux de bois au moyen d'un adhésif hydrofuge formant des éléments pleins, semblables au bois de sciage traditionnel. Ces produits servent à substituer l'utilisation d'éléments de bois traditionnels comme les solives, poutres, longerons, linteaux et colonnes.

Les bois de charpente composites doivent être fabriqués et évalués conformément à la norme américaine ASTM D5456, Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products, et se divisent en trois principales catégories ;

- 1) bois de placages stratifiés (*Laminated Veneer Lumber* ou *LVL*) (figure 15),
- 2) bois à copeaux parallèles (*Parallel Strand Lumber* ou *PSL*) (figure 16),
- 3) bois à copeaux longs laminés (*Laminated Strand Lumber* ou *LSL*) (figure 17).

Dans les trois catégories, l'orientation du fil (grain de bois) des placages et des copeaux est parallèle au sens de la longueur de l'élément afin d'utiliser la résistance maximale des fibres. Ces bois de charpente composites sont fabriqués en pièces rectilignes et doivent être uniquement utilisés dans un milieu sec conformément à l'esprit de la norme de calcul CSA O86. Ces produits sont plus stables dimensionnellement que les bois de sciage traditionnels puisque leurs constituants ont été séchés avant la fabrication.

## 4.2.3 Avantages des éléments de construction en bois d'ingénierie

Les produits en bois d'ingénierie sont des produits structuraux fabriqués à partir de billes de bois réduites en petites pièces, soit en copeaux, en bois de sciage de courtes longueurs ou en minces placages. Ce type de fabrication a comme avantage l'amélioration des capacités structurales. Les différents défauts présents dans les pièces de bois d'œuvre sont en effet répartis dans tout le produit en bois d'ingénierie, ce qui en fait un produit plus homogène et plus stable.

La résistance d'une poutre ou d'une colonne en bois d'ingénierie est déterminée par l'essence de bois utilisée et ses dimensions. Puisque les matériaux peuvent être aboutés en grandes longueurs, les poutres de bois d'ingénierie peuvent franchir de plus longues portées que les poutres et les solives en bois de sciage traditionnelles. Elles sont plus stables dimensionnellement puisque leurs constituants ont été séchés avant la fabrication.

Parmi tous les avantages qu'offre le bois lamellé-collé, la possibilité de spécifier un élément avec une courbure en est un considérable. Pour les poutres droites de longue portée, la flèche (déformation de l'élément sous les charges) étant souvent le critère déterminant dans le calcul des structures en bois, une faible cambrure vers le haut peut être prévue au moment de la fabrication. Après la pose, cette précambure sera annulée sous l'effet des charges permanentes afin de ramener la poutre parfaitement droite. Ainsi, seules les charges en service, telles les charges d'utilisation ou celles dues à la neige, influenceront la flèche réelle.

Pour les plus grandes portées et une réalisation architecturale intéressante, des arches en bois lamellé-collé de différentes formes peuvent facilement être fabriquées sur mesure, selon les besoins du projet.

### Les bois d'ingénierie ont plusieurs avantages :

- Stabilité dimensionnelle
- Esthétisme
- Résistances mécaniques connues et uniformes
- Utilisation efficace de la ressource première
- Longues portées
- Utilisation de portées continues
- Disponibilité de plus grandes dimensions
- Respect de l'environnement
- Choix de dimensions quasi infini
- Pièces résistantes au feu

## 4.2.4 Produits de finition et traitements de préservation

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

### 4.2.4.1 Produits

Le scellant de surface, aussi appelé produit de préservation hydrofuge, est généralement appliqué en usine sur les éléments de bois d'ingénierie pour permettre de résister à la saleté et à l'humidité à court terme, par exemple durant le transport et l'entreposage en chantier. L'application de scellant sur les extrémités d'un élément de bois d'ingénierie joue un rôle particulièrement important pour limiter la pénétration de l'humidité. Si un élément de bois d'ingénierie 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 feuillet 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 feuillet opaque qui peut emprisonner l'humidité à l'intérieur du bois. La durée de vie de ces produits variera entre 2 et 15 ans en moyenne 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.

Les traitements de préservation réduisent les risques de pourriture en assurant que le bois ne soit plus 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. Les autres traitements superficiels tels que le trempage, la pulvérisation et le badigeonnage ne sont généralement utilisés que pour traiter les extrémités des entailles faites au chantier. Récemment, le traitement ACQ fait de composé quaternaire de cuivre ammoniacal a été adopté en remplacement des autres composés (arséniate de cuivre chromaté (ACC), crésotop, pentachlorophénol) jugés dommageables pour l'environnement. Afin d'augmenter une pénétration plus

uniforme du produit de préservation, on pratique souvent de petites incisions sur toute la surface du bois, ce qui peut diminuer la résistance prévue des pièces ainsi traitées et nuire à l'apparence finale de l'élément s'il est laissé apparent.

Selon l'essence et le traitement demandé, les pièces de bois lamellé-collé peuvent être traitées en lamelles séparées avant l'encollage et la fabrication ou après la fabrication de la pièce complète. Quand les éléments sont traités après la fabrication, ils doivent être commandés aux dimensions exactes et les usinages doivent être effectués avant le traitement. Les éléments qui ont été traités sous pression doivent être collés avec de la colle hydrofuge. Comme prescrit dans la norme CSA O86, après le collage, les éléments en bois lamellé-collé ne peuvent plus être traités au moyen de produits chimiques à l'eau.

### 4.2.4.2 Conditions d'utilisation

En utilisation intérieure, lorsqu'il est prévu que les éléments en bois ne soient 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. Il est à noter que seuls le bois d'œuvre et le bois lamellé-collé peuvent être utilisés à l'extérieur. Les autres bois d'ingénierie doivent rester en condition d'utilisation sèche.

Si un élément de structure en bois d'œuvre ou en bois lamellé-collé est voué à une utilisation extérieure dans un environnement où l'humidité du bois sera au-delà de 20 % pour une période prolongée, un traitement de préservation s'avère essentiel pour assurer une durée de vie adéquate. Ce traitement réduira les risques liés à la pourriture et (ou) aux insectes (CSA O80).

Il est cependant toujours préférable que les éléments structuraux en bois soient protégés contre les intempéries. La section 5.2 présente divers détails de conception permettant d'assurer une protection constructive des éléments de structure en bois, selon la condition d'utilisation prévue.

## 4.2.5 Entreposage et manipulation

Les fabricants recommandent des méthodes d'entreposage et de manipulation des éléments de bois d'ingénierie pour éviter tout préjudice à 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 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 à l'air, tout en offrant une bonne ventilation ;
- être soulevés dans le même sens qu'ils seront installés au chantier, et ne pas être manipulés à plat pour ne pas créer de contraintes excessives non prévues ;
- éviter d'être échappés, secoués ou traînés ;
- être protégés des câbles, en protégeant les coins par des tasseaux ou des semelles de bois et en les déplaçant par des élingues de tissus non rayant au moment d'un soulèvement par grue.



**FIGURE 18** • Gerce importante dans une poutre en gros bois d'œuvre

Source 16 : BPR projex

## 4.2.6 Gerces et fissurations

Les fissurations et petites gerces qui se produisent en surface et aux extrémités des poutres n'ont, en général, aucune importance sur le plan structural. La capacité portante de la pièce doit cependant être évaluée par un ingénieur lorsque la profondeur de ces gerces est supérieure à 10 % de la largeur de la poutre. Les *Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien* de la NLGA peuvent permettre à l'ingénieur de déterminer leur importance pour chaque classe de résistance.

La délamination d'un élément de bois lamellé-collé est un problème plus sérieux puisqu'elle peut signaler l'existence de plans de colle dégradés entre les lamelles (**figure 19**). Les poutres présentant une fissuration ou une délamination excessive peuvent être consolidées à l'aide de vis, de goujons de cisaillement collés ou de plaques de jonction rivetées. L'analyse de la situation et la recherche d'une solution adéquate doivent être exécutées par un ingénieur expérimenté dans ce domaine.



**FIGURE 19** • Délamination d'une poutre courbe en bois lamellé-collé

Source : Dominique Calvi

## 5 Détails de conception adaptés au bois

Le choix de détails de conception adaptés au bois permet d'assurer la durabilité et la longévité des constructions en gros bois d'œuvre et d'ingénierie.

Les principes de conception de base pour les ouvrages en bois peuvent être divisés selon trois grandes catégories :

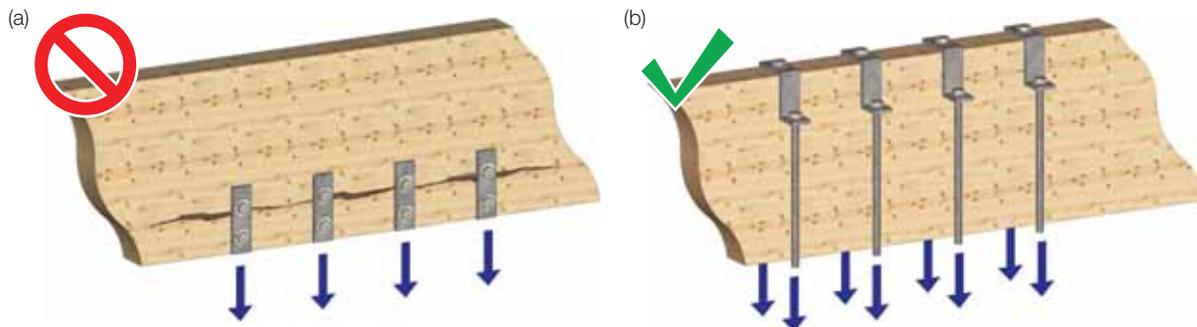
- permettre un transfert efficace des forces et limiter les efforts parasites ;
- prévoir les changements dimensionnels et éviter la traction perpendiculaire au fil ;
- prévenir la pourriture des éléments en bois.

Le choix de systèmes structuraux permettant un transfert efficace des forces implique des concepts d'ingénierie qui ne font partie du présent guide, mais qui sont présentés en détail dans le *Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros bois* préparé par **cecobois**.

Le présent guide propose des solutions pour prévoir les changements dimensionnels et se concentre sur les détails de conception permettant d'assurer la durabilité et la longévité des ouvrages en bois, que ce soit en utilisation intérieure ou extérieure.

Selon le degré de résistance au feu exigé, les assemblages des structures en gros bois d'œuvre et d'ingénierie peuvent nécessiter que toutes les pièces métalliques soient cachées à l'intérieur du bois. Dans ces situations précises, les principes présentés ici devront être adaptés pour répondre à cette exigence particulière.

**FIGURE 20** • Charges concentrées suspendues à une poutre



### 5.1 Prévoir le retrait et éviter la traction perpendiculaire au fil

Le concepteur doit bien connaître les propriétés du bois afin de prévoir les effets du retrait et d'éviter les ruptures fragiles causées par les contraintes de traction perpendiculaire au fil du bois. Entre autres, il est important :

- de spécifier des éléments de bois dont la teneur en humidité est le plus près possible de l'humidité d'équilibre du produit fini selon les conditions de service ;
- de prévoir les changements dimensionnels ;
- d'éviter l'utilisation de détails qui occasionnent des efforts internes de traction perpendiculaire au grain.

#### 5.1.1 Favoriser la compression plutôt que la traction perpendiculaire au fil

De façon générale, il est important de concevoir des assemblages qui évitent les efforts de traction perpendiculaire au fil du bois, mais prennent plutôt avantage de sa bonne résistance en compression.

Ainsi, les charges concentrées importantes, telles que la suspension d'unités de chauffage et d'air conditionné, l'appui des rails d'un pont roulant ou simplement le support de poutres secondaires, doivent être transférées autant que possible par des efforts de compression. Comme l'illustre la **figure 20**, des attaches suspendues au bas d'une poutre ne sont pas recommandées car elles peuvent générer des contraintes en traction perpendiculairement au fil et causer des fissurations (**20a**). Au minimum, les attaches doivent être assemblées à la partie supérieure de la poutre. Des plaques d'assises placées au-dessus de la poutre sont cependant préférables puisqu'elles permettent à l'ensemble de la poutre de reprendre la charge (**20b**).

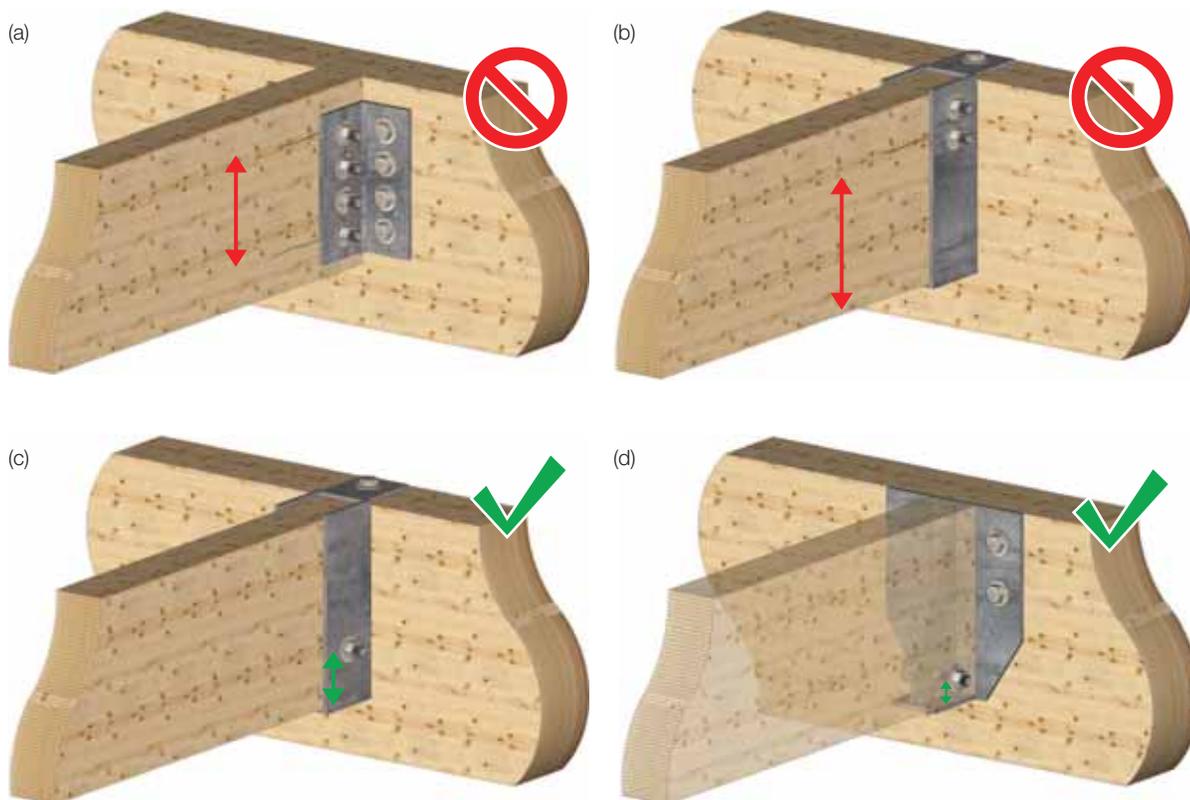
### 5.1.2 Concevoir des assemblages permettant le retrait

La dimension transversale des éléments en bois varie en fonction de la teneur en humidité (**section 3.4**), alors que la dimension des éléments en acier varie en fonction de la température et non de l'humidité relative. Il est essentiel de tenir compte de ces propriétés dimensionnelles au moment de la conception des assemblages pour les structures en bois.

Comme le montre la **figure 21a**, des cornières ou plaques en acier utilisant de longues rangées de boulons peuvent causer la fissuration de la poutre en bois et compromettre la résistance de l'assemblage. Si la poutre en bois rétrécit par rapport aux cornières en acier, les boulons risquent en effet de créer des

contraintes en traction perpendiculaire au fil trop importantes et fissurer le bois. Il est plutôt recommandé de soutenir la poutre en bois à l'aide d'un étrier. Les forces sont alors transférées par des efforts de compression dans le bois plutôt qu'en traction perpendiculaire au fil. Le ou les boulons permettant de retenir l'assemblage doivent être placés près de la plaque d'assise (**figure 21c**). Ainsi, si la poutre subit un retrait transversal, la variation de la distance entre le boulon et la plaque d'assise ne sera pas trop grande et ne risquera pas de fissurer le bois (**figure 21b**).

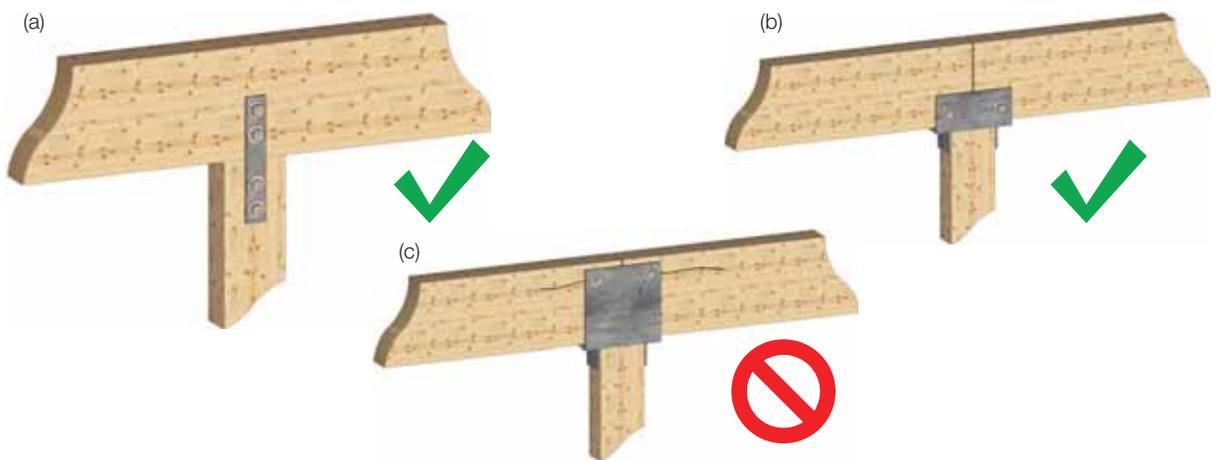
Certains concepteurs préfèrent utiliser des étriers avec raidisseur interne, cachés à l'intérieur du bois, pour limiter l'impact visuel des éléments en acier ou pour permettre d'obtenir une meilleure performance au feu de l'assemblage (**figure 21d**).



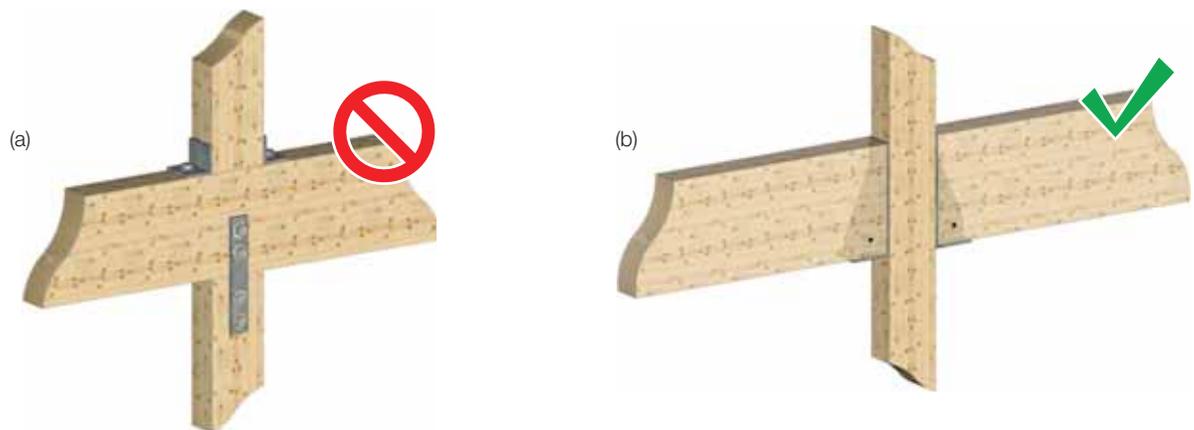
**FIGURE 21** • Assemblage d'une poutre secondaire sur une poutre principale

L'assemblage d'une poutre en bois à une colonne varie selon le scénario. Si la colonne n'est pas continue, la poutre peut s'appuyer sur le dessus de celle-ci (**figure 22**). Pour une poutre continue, seule une plaque de soutien est nécessaire pour assurer la stabilité de la poutre et reprendre d'éventuelles forces en soulèvement (**figure 22a**). Les boulons doivent cependant être placés suffisamment près de la plaque d'assise afin d'éviter les problèmes de retrait, tout en respectant les distances minimales pour retenir les forces en soulèvement. Si la poutre n'est pas continue, le positionnement des boulons près de la plaque d'assise permet, d'une part, d'éviter les problèmes de retrait et, d'autre part, de ne pas restreindre l'assemblage en rotation. Un boulon placé dans la partie supérieure de la poutre tenterait en effet de retenir la rotation causée par la déflexion de la poutre sous ses charges et risquerait de causer la fissuration du bois (**figure 22c**).

Dans le cas où la colonne est continue au-dessus de la poutre, il est important qu'elle ne soit pas coupée par le passage de celle-ci (**figure 23a**). D'une part, le retrait transversal de la poutre risquerait de causer des problèmes de déformation différentielle. D'autre part, l'importante force de compression transmise par la colonne serait reprise en compression perpendiculaire au fil par la poutre, pouvant créer un écrasement des fibres du bois. Une solution acceptable est donc de laisser la colonne continue et de fixer la poutre à l'aide d'un étrier sur le côté de la colonne (**figure 23b**). Comme l'indique la **figure 21**, le boulon de retenue doit être placé près de la plaque d'assise et le raidisseur peut être de chaque côté de la poutre ou à l'intérieur de la section.



**FIGURE 22** • Assemblage d'une poutre au-dessus d'une colonne



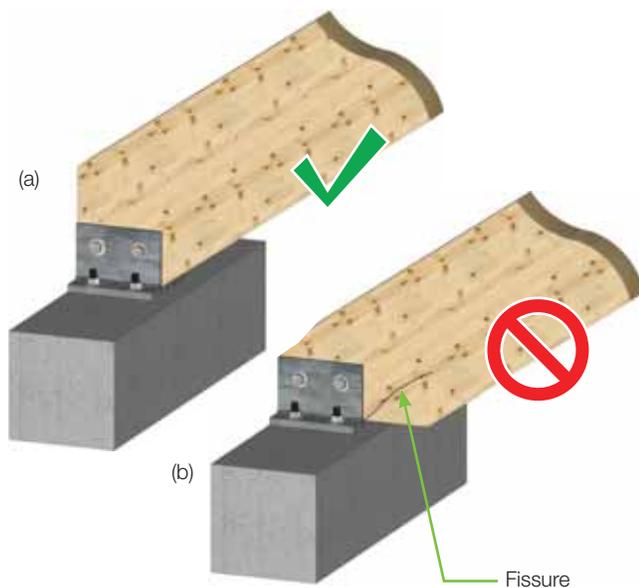
**FIGURE 23** • Assemblage d'une poutre sur le côté d'une colonne

### 5.1.3 Entailles, encoches et ouvertures

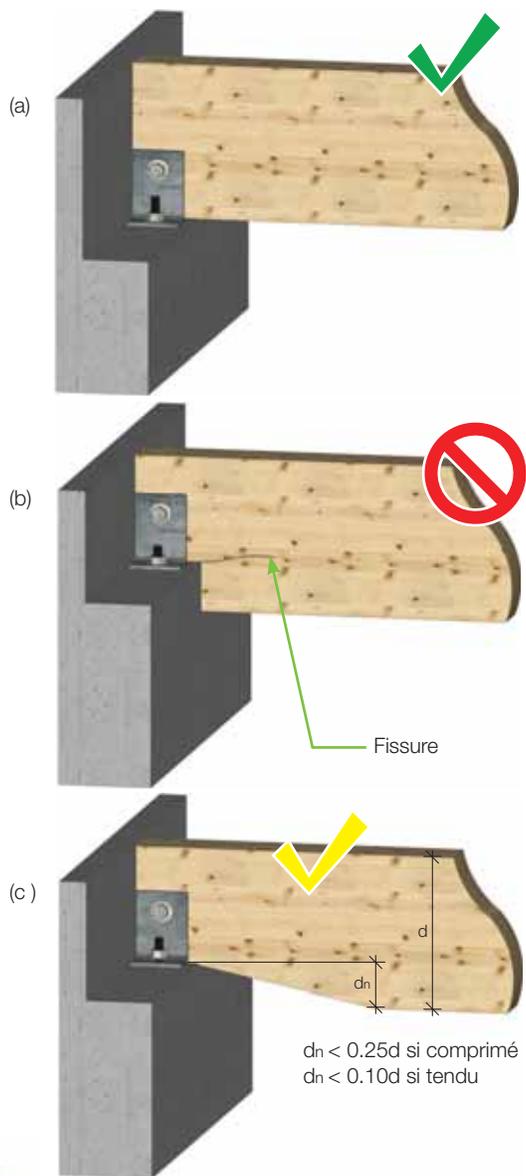
Lorsqu'un élément structural en bois doit être entaillé ou percé, il est essentiel de respecter certaines règles afin d'éviter les concentrations de contraintes trop importantes et de ne pas réduire la capacité structurale de l'élément. Dans tous les cas, il est important de suivre les recommandations du fabricant ainsi que les conseils d'un ingénieur spécialisé.

L'idéal est de ne pas entailler une poutre à son extrémité (**figure 24a**). Lorsqu'une entaille est nécessaire, celle-ci ne doit pas être trop abrupte. Une entaille à angle droit provoque une concentration de contraintes en cisaillement et, éventuellement, en traction perpendiculaire au fil, pouvant causer une fissuration dans le coin intérieur (**figure 24b**). Une entaille à l'extrémité d'une poutre de bois d'œuvre ou de bois lamellé-collé doit être, de préférence, en biseau et ne doit jamais excéder 25 % de la hauteur de la poutre pour une entaille du côté comprimé et 10 % de la hauteur de la poutre pour le côté tendu (**figure 24c**). L'effet de l'entaille sur l'intégrité structurale doit être vérifié par un ingénieur. Les poutres en bois composite (SCL) ne peuvent généralement pas être entaillées (vérifier avec le fournisseur).

Pour un élément porteur en bois oblique ou une arche, l'extrémité de l'élément doit être supportée dès le début de l'entaille afin d'éviter la concentration de contraintes et la fissuration (**figure 25**).



**FIGURE 25** • Entaille à l'extrémité d'une poutre inclinée (voir également **figure 35**)



**FIGURE 24** • Entaille à l'extrémité d'une poutre

## 5.2 Prévenir la pourriture des éléments en bois

La durabilité et la longévité des constructions en bois bien protégées ne sont plus à démontrer. S'ils sont bien entretenus, les bâtiments en bois peuvent servir pendant des décennies, voire des siècles. Le temple Tôdai-ji au Japon, qui date de l'an 749, en est un bon exemple (figure 26).

Comme il a été discuté à la section 3.5, la dégradation du bois par la pourriture est grandement influencée par sa teneur en humidité. Plusieurs mesures peuvent être apportées afin de prévenir la pourriture et d'assurer la longévité des ouvrages en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie. Ces recommandations sont particulièrement importantes pour les éléments de structure car ceux-ci assurent la stabilité de l'ouvrage en bois et sont habituellement plus difficiles à remplacer qu'un élément de protection comme le revêtement extérieur. Les recommandations de base incluant :

- Utiliser préférentiellement le bois en milieu protégé et sec.
- Ne pas placer de pièces de bois d'ingénierie ou de gros bois d'œuvre en contact direct avec des éléments de maçonnerie ou du béton pour empêcher l'infiltration d'eau par capillarité.



FIGURE 26 • Tôdai-ji : temple en bois construit de 728 à 749

Source : R. Beauguard

- Ne pas placer la structure en bois directement en contact avec une verrière en toiture pour éviter que l'eau de condensation ne s'écoule sur le bois.
- S'assurer que les pièces de bois soient correctement remisées et manutentionnées sur le chantier de construction ; protéger les matériaux et fournir un drainage adéquat pour éviter les problèmes d'humidité (voir la section 4.2.5).
- Si le bois est utilisé à l'extérieur :
  - > Protéger la structure en bois contre l'exposition directe à l'eau, préférentiellement au moyen d'une toiture, d'un avant-toit ou d'un surplomb, ou au minimum par l'utilisation de solins.
  - > Prévoir des détails d'assemblage qui évitent toute rétention d'humidité dans les joints, facilitent l'écoulement de l'eau et assurent le séchage rapide des éléments en bois par une bonne ventilation.
  - > Minimiser l'exposition des extrémités du grain aux intempéries en protégeant les poteaux par une toiture et en coupant les poutres d'avant-toit en biseau vers l'intérieur.
  - > Surélever les pieds de poteaux afin d'éviter le contact avec l'eau de pluie ou de fonte de neige. La distance minimale recommandée entre le pied de poteau et le sol est de 10 cm (4 po), mais une élévation de 30 à 40 cm (12 po à 16 po) est préférable dans notre climat.
  - > Si possible, incliner les poteaux soutenant l'avant-toit vers l'intérieur pour leur assurer une meilleure protection contre la pluie.
  - > Choisir une essence de bois adéquate ou utiliser du bois traité, selon les conditions d'utilisation.
  - > Prévoir des attaches et quincailleries protégées contre la corrosion en utilisant des métaux qui résistent à la corrosion (acier inoxydable, aluminium), des plaquages ou couches de finition résistantes.
  - > Protéger les fibres de bois tranché et les trous d'assemblages. Lorsque cela est applicable, la tête du connecteur et l'ouverture du trou ou de l'entaille devraient être orientées vers l'intérieur ou sous la poutre.

## 5.2.1 Applications intérieures

Lorsque les structures en bois sont utilisées à l'intérieur, il est beaucoup plus facile d'éviter le contact avec l'humidité. Quelques points sont cependant à surveiller. Il est primordial d'empêcher le contact direct entre les éléments en bois et la maçonnerie, ou le béton, afin d'empêcher les remontées capillaires entre la fondation et le bois. Une barrière continue contre l'humidité est notamment requise aux appuis des poutres (**figure 27**) ainsi qu'aux pieds des colonnes (**figure 28**). De plus, les pieds des colonnes doivent toujours être placés au-dessus du niveau fini du sol.

Dans certaines situations, la présence d'une verrière en toiture peut créer de la condensation. Il est important de s'assurer que les éléments structuraux en bois soient positionnés de façon à éviter que l'eau de condensation ne s'écoule sur le bois (**figure 29**).

Cette mesure est particulièrement importante dans les espaces ayant une humidité relative élevée comme les centres aquatiques.

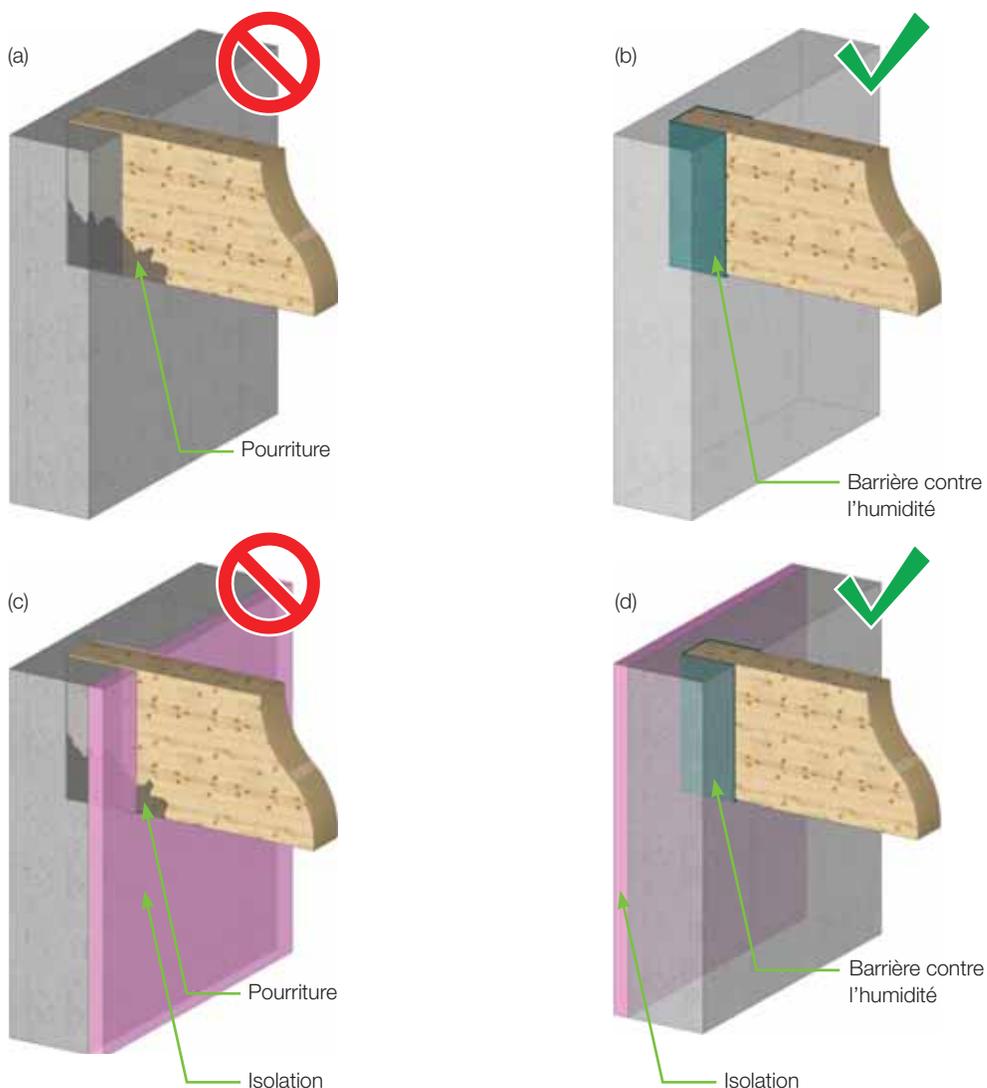


FIGURE 27 • Appui d'une poutre sur du béton ou de la maçonnerie

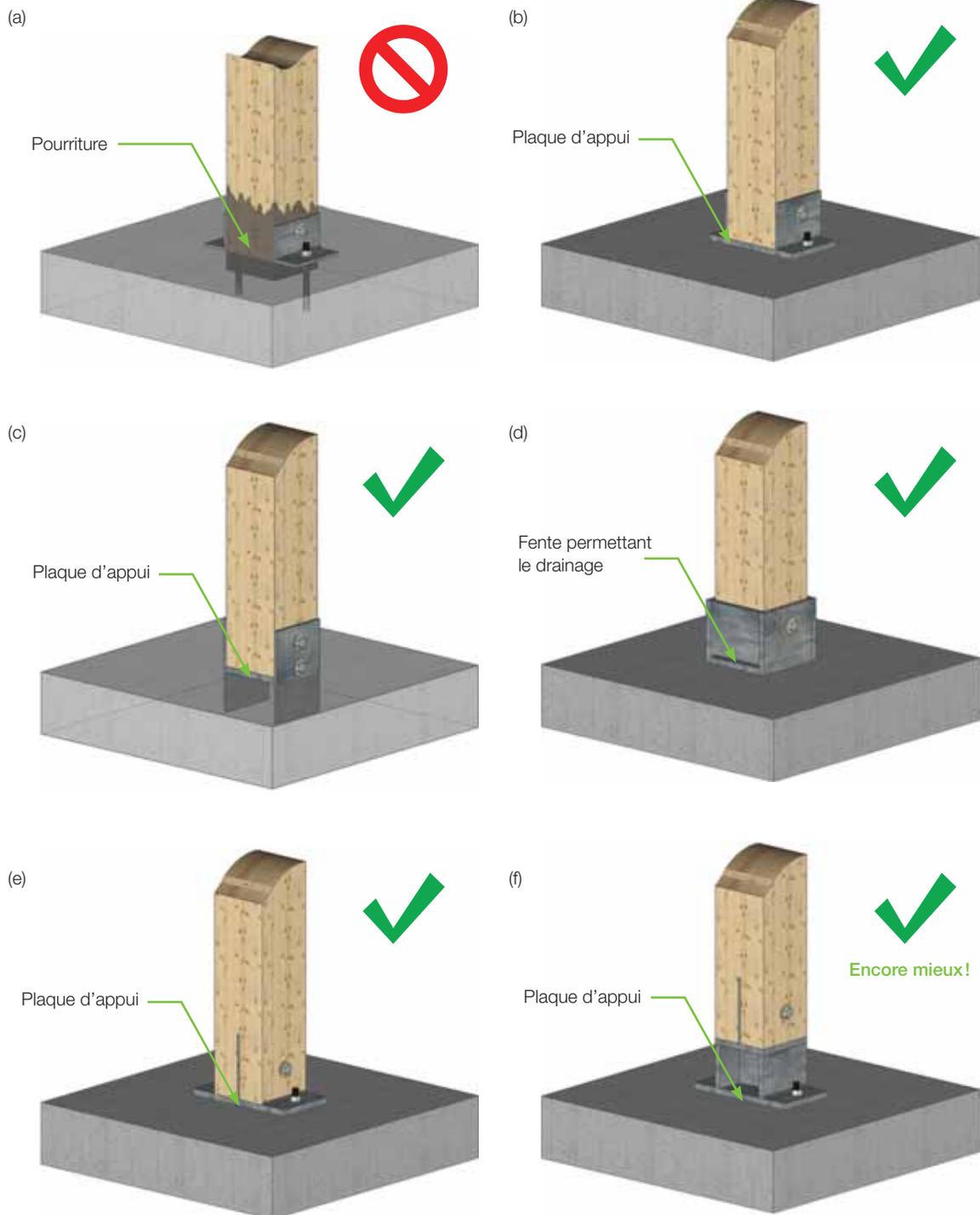


FIGURE 28 • Pied de colonne en utilisation intérieure



**FIGURE 29** • Écoulement d'eau dû à la condensation sur une surface de verre en toiture

## 5.2.2 Applications extérieures

Lorsque les éléments d'une structure en bois sont utilisés à l'extérieur, que ce soit pour soutenir un avant-toit ou pour toute autre application, le concepteur doit prévoir des lignes de défense efficaces contre l'humidité. Trois principes de base doivent être rigoureusement observés :

- la déviation,
- le drainage,
- le séchage.

La déviation permet de réduire autant que possible le contact du bois avec l'eau. Elle peut être assurée par la protection d'une toiture, d'un avant-toit ou d'un solin efficace et par l'inclinaison des éléments structuraux en bois vers l'intérieur d'une zone protégée. Comme il est rarement possible de garantir qu'aucune infiltration ne surviendra, un drainage adéquat doit être présent pour assurer l'écoulement de l'eau et éviter toute accumulation. De surcroît, le séchage, qui dépend d'une bonne ventilation, permet au bois de garder une teneur en humidité suffisamment faible pour prévenir tout problème de pourriture.

Les produits structuraux en bois choisis doivent aussi être conçus et fabriqués selon les exigences de l'utilisation prévue et avoir un taux d'humidité adéquat au moment de l'installation. Lorsqu'il est impossible de protéger adéquatement le bois et que celui-ci risque de se retrouver exposé aux intempéries ou à

des conditions d'humidité élevée, il peut être nécessaire d'utiliser un traitement de préservation, comme l'a décrit la section 4.2.4 sur les produits de finition et traitements de préservation.

Une conception minutieuse assure néanmoins une protection plus durable et doit être considérée en premier lieu. Les détails de construction qui limitent les contacts entre l'eau et le bois ainsi qu'une bonne ventilation permettent de minimiser les risques de prolifération de la pourriture ou de moisissure. La section suivante présente différents exemples mettant en application les mesures de protection les plus importantes.

### 5.2.2.1 Protection d'une structure extérieure

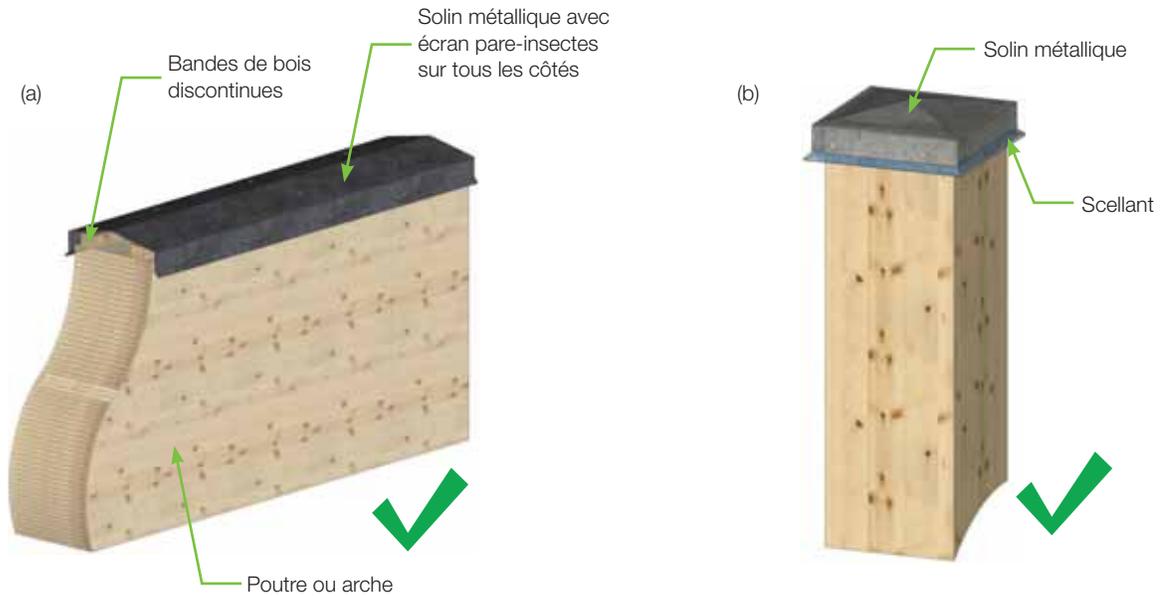
L'utilisation d'une toiture ou d'un avant-toit suffisamment long est la solution idéale pour bien protéger l'ensemble de la structure contre la pluie et éviter que les éléments structuraux en bois n'entrent en contact avec l'eau.

Lorsqu'il est impossible de protéger tous les éléments de la structure par une toiture, les éléments exposés doivent être recouverts d'un solin adapté et ventilé (**figure 31**). Le solin offrant une protection très localisée, il est important de s'assurer, qu'en protégeant un élément particulier, le solin ne provoque pas d'accumulation d'eau et la détérioration d'un autre élément en bois (**figure 31a**).

Les solins sont faits d'un métal inoxydable de calibre 20 minimum. Les clous et vis sont inoxydables et leurs têtes sont protégées avec du scellant ou des rondelles de néoprène.

Un minimum d'espace d'air de 12,7 mm (1/2 po) doit être conservé entre le solin et l'extrémité de la poutre ou de l'arche (a).

Pour une utilisation verticale, comme une colonne, un scellant continu est requis (b).



**FIGURE 30** • Détails de solins



(a)



(b)



(c)

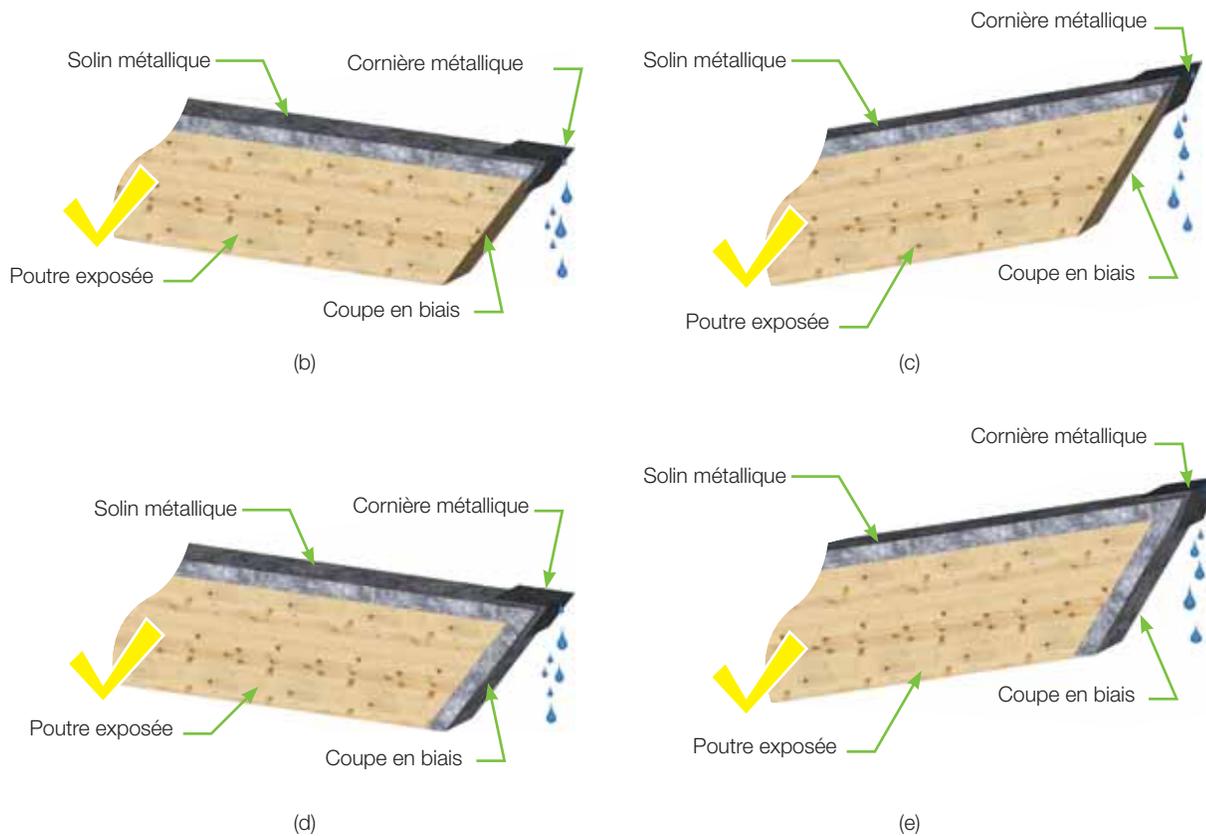
**FIGURE 31** • Dégradation de poutres extérieures mal protégées

La **figure 32** présente différents détails de conception pour les poutres extérieures, en indiquant lesquels sont adéquats. Pour être bien protégées, les poutres en bois doivent être recouvertes sur toute leur longueur, idéalement par une toiture, au minimum par un solin. De plus, l'extrémité de la poutre doit être coupée en biseau vers l'intérieur pour éviter que le bois d'extrémité n'absorbe d'eau, ce qui provoquerait la dégradation du bois comme on peut l'observer à la

**figure 31c**. Le biseau doit être d'autant plus prononcé si la poutre est inclinée vers le haut (**figure 32c**). Si le biseau est insuffisant, l'ajout d'un solin pour recouvrir l'extrémité de la poutre est recommandé. De plus, un solin métallique ou un fascia de bois traité doit être utilisé sur les côtés de la portion exposée d'une poutre ou d'une arche en bois lamellé-collé. La toiture reste cependant la meilleure protection (**figure 32f-h**).



(a) poutres exposées aux intempéries



**FIGURE 32** • Protection d'une poutre extérieure en bois

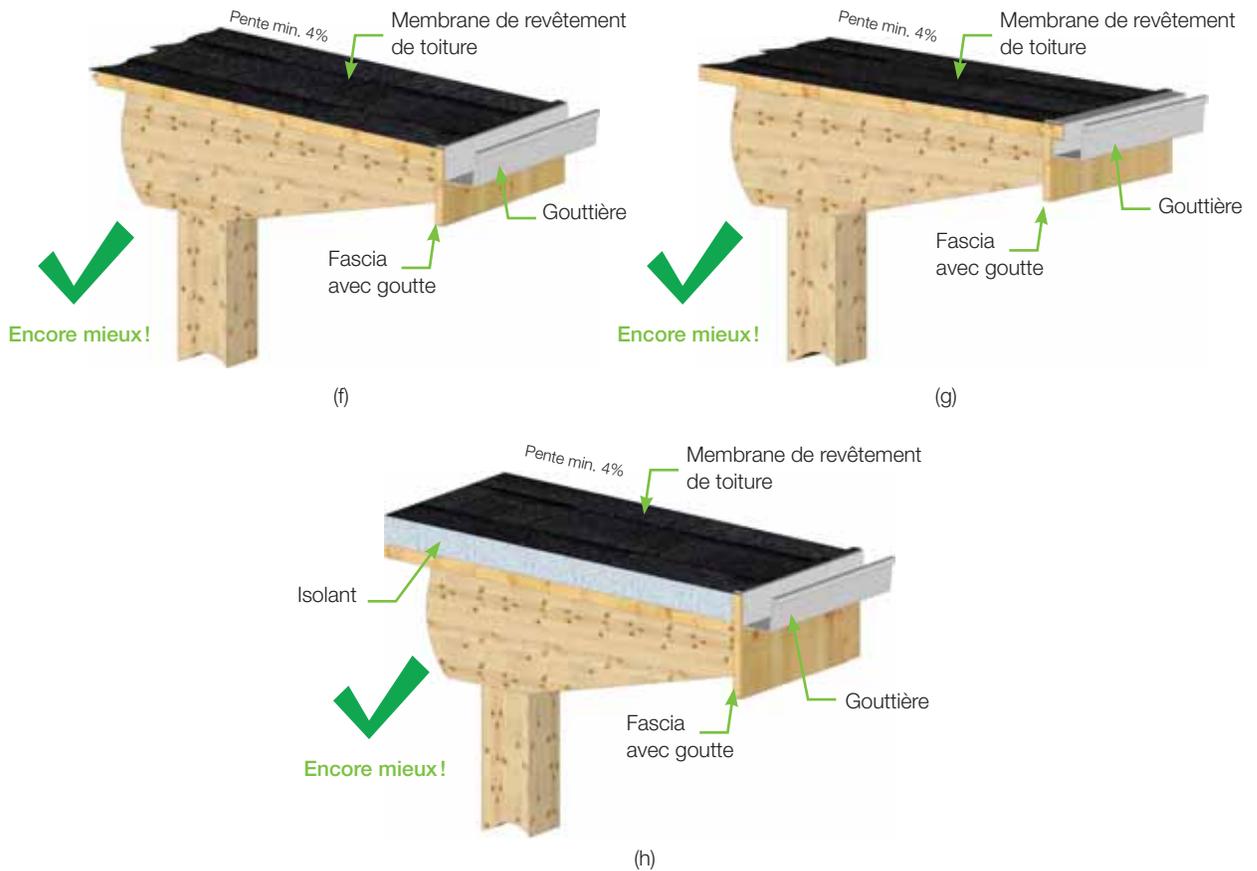


FIGURE 32 • Protection d'une poutre extérieure en bois (suite)

Les assemblages poutre-poteau exposés aux intempéries créent habituellement des conditions propices à l'accumulation d'eau, amenant la pourriture du bois (figure 33). Plusieurs exemples montrent que, même avec un solin, ce type de conception provoque une

détérioration de la structure. Il est plutôt recommandé d'assurer la protection d'une telle structure à l'aide d'une toiture suffisamment grande et de tailler l'extrémité des poutres en biseau.



FIGURE 33 • Assemblages poutre-poteau à éviter en utilisation extérieure

### 5.2.2.2 Protection des pieds de colonnes

La conception des attaches en pied de colonnes extérieures est aussi d'une grande importance pour assurer la durabilité des structures en bois. L'eau de pluie et de fonte des neiges pouvant s'accumuler au niveau du sol, elle risque en effet de garder les pieds de colonnes trop humides.

Tout comme en utilisation intérieure, il est essentiel d'assurer une coupure de capillarité entre la base des colonnes en bois et le béton ou la maçonnerie (figure 34a).

De plus, comme une accumulation d'eau sur le sol est prévisible, le pied de la colonne doit être surélevé du sol. En Europe, on suggère habituellement une surélévation minimale de 10 cm (4 po) au-dessus du sol (figure 34b). Des exemples de réalisation au Québec ont cependant démontré que cela n'était pas suffisant en raison de l'accumulation d'eau au moment de la fonte des neiges (figure 34c). Une surélévation minimale de 30 à 40 cm est donc recommandée pour le climat du Québec (figure 34d), sauf si le pied de la colonne est bien protégé des accumulations de neige.

Finalement, que la colonne soit verticale ou inclinée, un étrier fermé risque de causer une accumulation d'eau et de conserver le pied de la colonne en contact avec l'humidité (figure 35). Plusieurs solutions sont envisageables : un étrier fermé avec une fente de drainage, un assemblage à l'aide de plaques latérales, ou un étrier avec plaque interne.



(c)

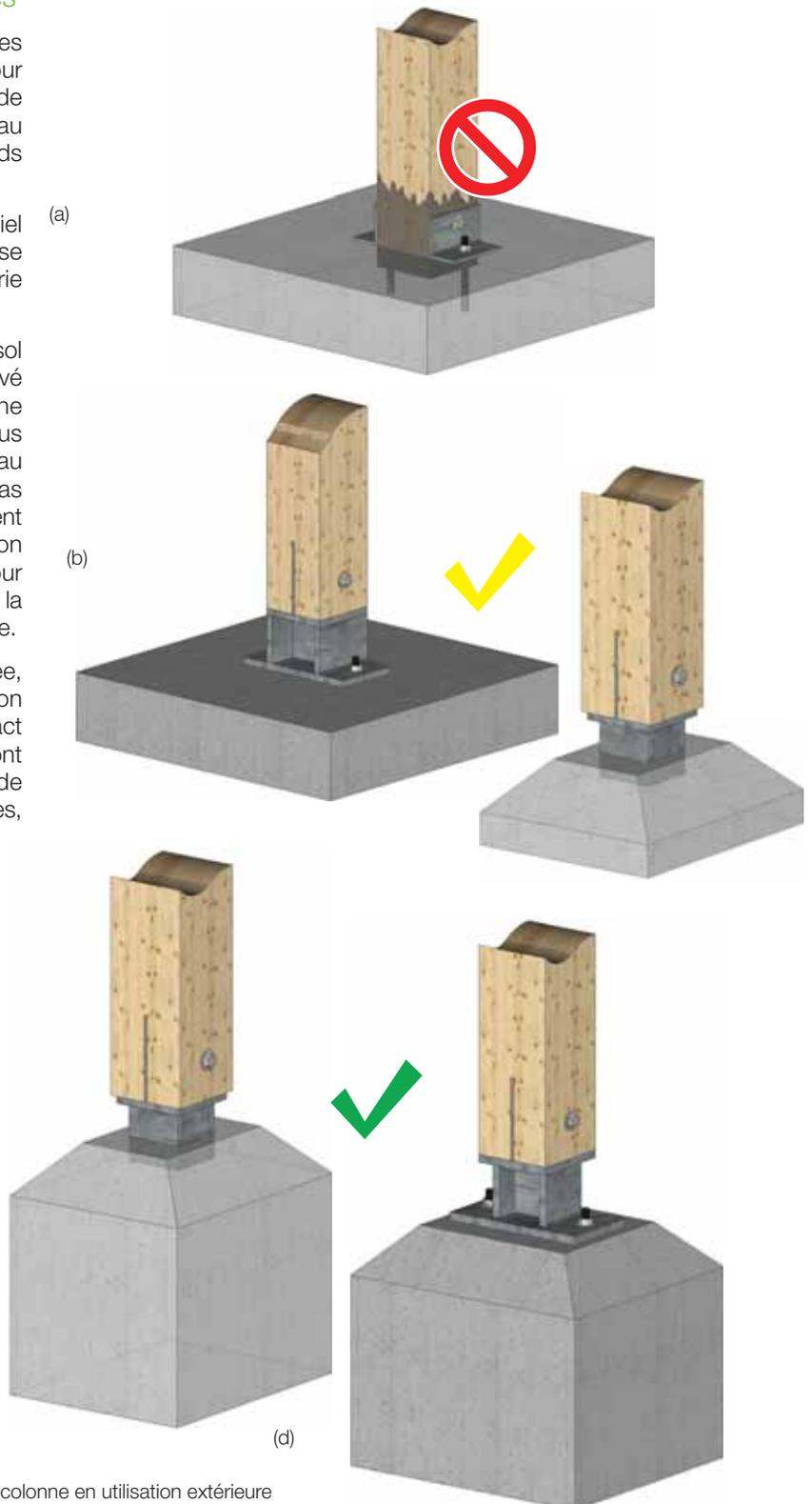


FIGURE 34 • Pied de colonne en utilisation extérieure

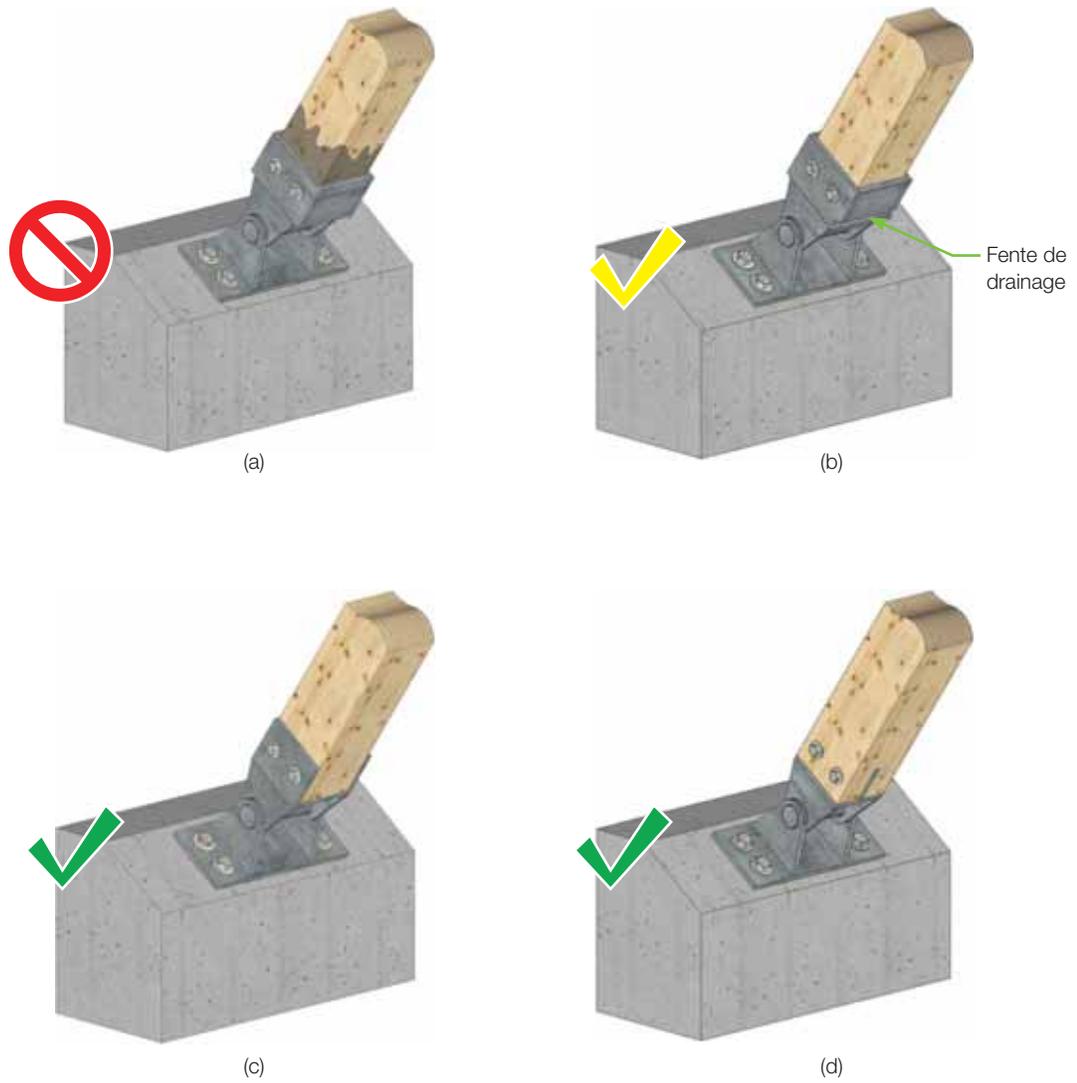


FIGURE 35 • Pied de colonne inclinée en utilisation extérieure

## 5.3 Exemples de structures en bois extérieures bien protégées



Large avant-toit et chevrons coupés en biseau prononcé permettent d'éviter que l'eau n'entre à l'extrémité du bois.

**Centre de secours d'Annecy**, France  
Architecte : Agence Richard Plottier  
Ingénieurs : Arborescence s.a.r.l.



Une structure poteau-poutre extérieure doit être bien protégée par une toiture suffisamment grande et l'extrémité des poutres doit être taillée en biseau vers l'intérieur.

**Centre sportif Bois-de-Boulogne**  
Architecte : Giasson Farregut (Guillermo Farregut)  
Ingénieurs : DPHV



Large avant-toit permettant de bien protéger la structure et la façade.

**Centre balnéaire Raoul Fonquesne**, France  
Architecte : Yvon Carduner  
Ingénieurs : ICS-Bois



La structure apparente en bois est couverte par une toiture en verre, les colonnes sont situées dans un espace bien protégé, et les pieds de colonnes sont bien surélevés au-dessus du niveau du sol. (La toiture en verre ne cause pas de problème de condensation car elle ne divise pas un espace chaud d'un espace froid.)

**Rénovation du Lycée Berthollet**, Annecy, France  
Architecte : Jean-Francois Wolff  
Ingénieurs : Arborescence s.a.r.l.



Structure apparente en bois bien protégée par une toiture et des solins de protection.

**Pavillon d'accueil - Port d'escale à Saguenay**  
 Architecte : Alain Voyer, Groupe-conseil Planitech  
 Ingénieurs : Cegertec



Poutres extérieures en bois protégées par une toiture et des solins de protection en extrémité.

**Maison de retraite à Dunières-France**  
 Architecte : Aline Duverger  
 Ingénieurs : Anglade Structures bois



Les colonnes soutenant un large avant-toit sont inclinées vers l'intérieur pour une meilleure protection. Les pieds de colonnes sont bien surélevés au-dessus du sol et assemblés à l'aide de cornières métalliques permettant un bon drainage.

**Poste de la Sûreté du Québec, Lac-Beauport**  
 Architecte : Lemay et associés, Québec  
 Concepteur : Claude Guy  
 Ingénieurs : SNC Lavalin



Les contrefiches extérieures en bois permettent de soutenir un large avant-toit tout en étant bien protégées, car elles sont fortement inclinées vers l'intérieur.

**Pavillon Gene-H.-Kruger**  
 Architecte : Les architectes Gallienne et Moisan (maintenant ABCP Architecture) et Paul Gauthier, architecte, Québec  
 Ingénieurs : BPR Groupe-conseil



Le pied de la colonne est bien surélevé au-dessus d'une base en béton.

École supérieure du bois à Nantes  
Architecte : Logerais et Bailly  
Ingénieurs : ICS-Bois (Michael Flach)



Le bois bien protégé à l'intérieur offre une excellente durabilité !

Pavillon Gene-H.-Kruger  
Architecte : Les architectes Gallienne et Moisan (maintenant ABCP Architecture) et Paul Gauthier, architecte, Québec  
Ingénieurs : BPR Groupe-conseil

## 6 Références

AITC (2003). *AITC 104-2003: Typical Construction Detail*, Englewood, American Institute of Timber Construction.

APA EWS (2007). *Technical Note: Glulam Connection Details*, Tacoma, APA Engineered Wood System.

ASHRAE (2009). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

ASTM International. *ASTM D5456: Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*, ASTM International.

Bowyer, J.L., R. Shmulsky et J.G. Haygreen (2007). *Forest Products and Wood Science: An Introduction*, 5e édition, Blackwell Publishing.

CCB (2005). *Introduction au calcul des charpentes en bois*, Ottawa, Conseil canadien du bois.

CCB (2007). *Manuel de calcul des charpentes en bois 2007*, Ottawa, Conseil canadien du bois.

CCMC, Centre canadien des matériaux de construction, [www.nrc-cnrc.gc.ca/ccmc-ccmc](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ccmc-ccmc).

CNRC (2009). *CCMC 13216-R – Rapport d'évaluation Nordic Lam™*, Ottawa, Institut de recherche en construction.

CNRC (2005a). *Code national du bâtiment 2005*, volume 1, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

CNRC (2005b). *Code national du bâtiment 2005*, volume 2, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

Hameury, Stéphane (2006). *The Hygrothermal Inertia of Massive Timber Constructions*, Doctoral Thesis, KTH Royal institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Hoadley, R.B. (2000). *Understanding wood*, The Taunton Press.

Lie, T.T. (1977). «A Method for Assessing the Fire Resistance of Laminated Timber Beams and Columns», *J. Civ. Eng.*, 4 (161).

Natterer, J., J.-L. Sandoz et M. Rey (2004). *Construction en bois, matériau, technologie et dimensionnement. Traité de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne*, volume 13, Lausanne, Presses polytechniques universitaires romandes.

NLGA (2008). *Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien*, New Westminster, Commission nationale de classification des sciages.

Normes CSA (2005). *CAN/CSA O141– Bois débité de résineux*, Canadian Standards Association.

Normes CSA (2008). *CAN/CSA O80– Préservation du bois*, Canadian Standards Association.

Normes CSA (2001). *CAN/CSA O86 – Règles de calcul des charpentes en bois*, Canadian Standards Association.

Normes CSA (2006). *CAN/CSA O122 – Bois de charpente lamellé-collé*, Canadian Standards Association.

Normes CSA (2006). *CAN/CSA O177 – Règles de qualification des fabricants de bois de charpente lamellé-collé*, Canadian Standards Association.

Normes ULC. *CAN/ULC S101– Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction*, Underwriters Laboratories Inc.

Ressources naturelles  
et Faune  
Québec



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

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

Juillet 2012

**cecobois**

Centre d'expertise  
sur la construction  
commerciale en bois

[www.cecobois.com](http://www.cecobois.com)