



Guide sur la durabilité des ponts en bois

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

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



Avant-propos

Ce guide sur la durabilité des ponts en bois a pour but d'aider les professionnels et les fabricants dans la conception des ponts en bois au Québec. On y présente les facteurs influençant la durabilité des ponts en bois, tout en proposant des solutions constructives permettant d'assurer la bonne tenue dans le temps des ponts en bois sur chemins forestiers. Ce guide met surtout l'accent sur les principes de conception et de réalisation permettant d'assurer la longévité des ponts en bois.

Rédaction

Caroline Frenette, ing. Ph.D., conseillère technique, **cecobois**

Comité d'experts

Cecobois souhaite remercier les spécialistes suivants qui ont contribué au développement des détails propo-sés et à la révision technique de ce guide :

- Luc Aubé, Sepaq
- Simon T. Bellavance, **cecobois**
- Denis Belley, MFFP
- Louis-Marie Bélanger, MTQ
- Julien Brousseau, MFFP
- François Chaurette, **cecobois**
- Denis Cossette, Chantiers Chibougamau
- Richard Desjardins, RWD conseils
- Nabil Djouder, MTQ
- Alexandre Dufour, MTQ
- Louis-Philippe Dumont, Nordic Structures
- Keven Durand, Nordic Structures
- Julie Frappier, Nordic Structures
- Kévin Gazeau, **cecobois**
- Jean-François Lachance, MFFP
- Denis Lefevbre, Hexaki
- Alexander Salenikovitch, Université Laval
- Bruno St-Pierre, MFFP

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 l'usage du présent guide. Il est complémentaire aux codes et normes, mais ne les remplace aucunement. Aussi, bien que ce guide illustre certaines bonnes pratiques d'utilisation du bois dans la construction, 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 de la construction qualifié. Toute personne utilisant ce guide en assume donc pleinement tous les risques et les responsabilités. Toute suggestion visant l'amélioration de notre documentation sera grandement appréciée et considérée dans les versions futures.

Table des matières

Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
1 Introduction	VIII
2 Normes applicables	VIII
3 Règles générales de conception assurant la durabilité	1
3.1 Durée de vie prévue	1
3.2 Transfert efficace des forces	1
3.3 Hygroscopicité du bois	1
3.3.1 Point de saturation des fibres	2
3.3.2 Teneur en humidité d'équilibre	2
3.3.3 Retrait et gonflement	2
3.3.4 Séchage du bois	3
3.3.5 Propriétés mécaniques	4
3.4 Dégradation du bois	4
3.5 Facteurs provoquant la dégradation du bois	5
3.5.1 Humidité	5
3.5.2 Rayons UV	5
3.5.3 Cycles de mouillage-séchage	5
3.5.4 Sels de déglacage	6
3.6 Principes assurant la durabilité des ponts en bois	6
3.6.1 Prévoir les facteurs de dégradation	6
3.6.2 Prioriser les éléments structuraux	6
3.6.3 Protéger le bois contre l'eau, la pluie et les rayons UV	7
3.6.4 Prévoir le ruissellement et les éclaboussures	8
3.6.5 Assurer le drainage et éviter l'accumulation d'eau ou de neige	9
3.6.6 Assurer une bonne ventilation et un séchage rapide	9
3.6.7 Couper la remontée d'humidité venant du sol ou des fondations	9
3.6.8 Éviter l'accumulation de débris et de terre	10
3.6.9 Protéger l'extrémité des membrures	10
3.6.10 Contrôler les entrées d'eau	11
3.7 Choix des matériaux, des traitements et des produits de finition	11
3.7.1 Résistance naturelle à la pourriture	11
3.7.2 Traitement du bois	12
3.7.3 Produits de finition	12
3.8 Remplacement des éléments et entretien	13
3.9 Résumé des principes de conception assurant la durabilité	14

4	Recommandations pour la réalisation des ponts forestiers	15
4.1	Types de ponts	15
4.2	Approches	16
4.2.1	Géométrie de la route	16
4.2.2	Drainage	16
4.2.3	Profil du tablier	16
4.2.4	Nettoyage annuel	17
4.2.5	Pavage de l'approche	17
4.3	Culées de fondation (appuis)	17
4.3.1	Culées en bois traité	18
4.3.2	Culées en béton	18
4.4	Structure principale	18
4.4.1	Poutres droites	18
4.4.2	Poutres en arche	21
4.4.3	Poutres-caissons	22
4.4.4	Appuis sur les culées	22
4.4.5	Assemblages	24
4.4.6	Diaphragmes	24
4.4.7	Matériaux	26
4.4.8	Produits de finition	26
4.5	Platelage	27
4.5.1	Platelage étanche	27
4.5.2	Platelage semi-étanche	27
4.5.3	Continuité du platelage sur toute la largeur du pont	29
4.5.4	Continuité du platelage aux appuis	29
4.5.5	Glissières et chasse-roues	30
5	Entretien	31
	Références	32

Liste des tableaux

Tableau 1	Teneurs en humidité requises pour différents produits du bois	4
Tableau 2	Conditions générales de développement des champignons sur le bois	5

Liste des figures

Figure 1	Variation de la teneur en humidité du bois	2
Figure 2	Teneur en humidité du bois en fonction de l'humidité relative de l'air	2
Figure 3	Retrait et gonflement selon le sens du bois	3
Figure 4	Exemple d'une épissure par trois plaques d'acier - Passerelle Ulrick-Chérubin	3
Figure 5	Dégradation du bois	4
Figure 6	Détérioration créée par le fendillement du produit de finition et de la surface du bois	6
Figure 7	Pont de Crest, 10 ans après sa mise en œuvre	7
Figure 8	Pont du Poste montagnais, QC	7
Figure 9	Protection contre la pluie respectant un angle de 30°	7
Figure 10	Protection insuffisante contre la pluie et les rayons UV	8
Figure 11	Poutres en bois ayant une protection discontinue contre la pluie et les rayons UV	8
Figure 12	Détérioration causée par le ruissellement de l'eau sur un solin	8
Figure 13	Pont Maicasagi, QC	8
Figure 14	Protection d'arches en bois pour un pont en Norvège	9
Figure 15	Accumulation de neige pouvant causer une source d'humidité lors de la fonte	9
Figure 16	Accumulations de sol et de débris en contact avec le bois	10
Figure 17	Le bois de bout est un point d'entrée accéléré de l'eau	10
Figure 18	Protection de l'extrémité des poutres extérieures	10
Figure 19	Gerces importantes dans un gros bois de sciage	11
Figure 20	Assemblages protégés sous le platelage étanche (Aire de Chavanon, France)	11
Figure 21	Assemblage d'une poutre double pour un pont de motoneiges	11
Figure 22	Pont couvert de St-Placide construit en 1926	15
Figure 23	Pont de la rivière Cuvillier, QC	15
Figure 24	Pont de Sainte-Thècle, QC	15
Figure 25	Pont Sud de la Forêt Montmorency, QC	16
Figure 26	Accumulation d'eau à l'approche	16
Figure 27	Dalot de drainage	16
Figure 28	Accumulation de débris sur le tablier	17
Figure 29	Approche avec enrobé bitumineux	17
Figure 30	Assurer un bon alignement du tablier et de la culée	17
Figure 31	Culée ajourée en bois traité	18
Figure 32	Culée en béton supportant les arches	18
Figure 33	Protection de la poutre de rive	19
Figure 34	Protection par membrane d'étanchéité au-dessus de chaque poutre	19
Figure 35	Solin de protection métallique au-dessus de chaque poutre	19

Figure 36	Protection de la poutre de rive	20
Figure 37	Protection de la poutre de rive par la règle du 30° avec solin vertical plus haut	21
Figure 38	Élément de protection sacrificiel et facilement démontable	21
Figure 39	Agencement des arches favorisant une meilleure protection	21
Figure 40	Solins ventilés protégeant les poutres en arche	22
Figure 41	Groupe de poutres droites préassemblées en usine	22
Figure 42	Espace entre la culée et le platelage créant une accumulation de débris	23
Figure 43	Muret de béton protégeant les appuis	23
Figure 44	Appui surélevé et bien ventilé gardant le bois éloigné de l'eau	23
Figure 45	Exemples d'appuis surélevés	23
Figure 46	Assemblages boulonnés endommagés par le gonflement du bois	24
Figure 47	Protection des entailles	24
Figure 48	Assemblages avec des cornières	25
Figure 49	Assemblage des diaphragmes en quinconce	25
Figure 50	Assemblages hybrides des diaphragmes par deux	25
Figure 51	Assemblages hybrides des diaphragmes par trois	26
Figure 52	Protection des diaphragmes	26
Figure 53	Assemblages de diaphragmes ventilés	26
Figure 54	Poutres en bois lamellé-collé peintes avec un produit opaque	26
Figure 55	Solin protégeant le platelage	27
Figure 56	Pont à platelage étanche	27
Figure 57	Pont à platelage semi-étanche	27
Figure 58	Fixation des madriers de roulement	28
Figure 59	Exemple de patron de pose	28
Figure 60	Continuité du platelage et ajout d'un madrier transversal	29
Figure 61	Ajout d'une chute à débris entre les poutres	29
Figure 62	Exemple de fixation du chasse-roue	30

1 Introduction

Plusieurs centaines de ponts historiques en bois, réalisés à l'échelle internationale, démontrent la longévité de ce type d'infrastructures. La pérennité de ces structures est cependant souvent tributaire de la réalisation de bons détails de conception adaptés au matériau bois, car la dégradation du bois par les conditions extérieures demeure un enjeu important^{[1][2][3]}.

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) possède plusieurs ponts en bois ayant une importante valeur patrimoniale, tels les ponts couverts historiques^[4]. De nombreux ponts acier-bois, encadrés par la réglementation du MTQ, sont également répartis sur le territoire québécois. Ces ponts, ayant typiquement un tablier non étanche, démontrent une durabilité plus faible que les ponts conventionnels et nécessitent un entretien régulier. Au cours des dernières années, quelques ponts routiers en bois contemporains ont été construits par le MTQ.

Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) possède plus de 100 ponts en bois lamellé-collé sur ses chemins forestiers, construits au cours des dernières années. Afin de poursuivre l'objectif d'accroître l'utilisation du bois dans la réalisation de ces infrastructures, le MFFP désire mettre en place des directives pour assurer la pérennité de ces structures. N'étant pas situés sur le réseau routier régi par le MTQ, les ponts forestiers, ou ponts sur chemins multiusages, sont construits en vue de permettre l'accès au territoire forestier et à ses ressources. Ces ponts sont situés sur des chemins qui servent d'accès au territoire public pour diverses activités économiques et récréatives telles que l'aménagement forestier, la chasse, la pêche, la villégiature, le récréotourisme et la cueillette de produits forestiers non ligneux^[12].

Le présent guide technique vise à présenter les facteurs influençant la durabilité des ponts en bois et à proposer des solutions constructives permettant d'assurer la bonne tenue dans le temps des nouvelles infrastructures. Plusieurs sections de ce guide se veulent inclusives de plusieurs types de ponts. Le concepteur doit toujours garder à l'esprit les besoins de l'ouvrage et du client en termes de durabilité et de longévité. Certaines recommandations peuvent s'avérer insuffisantes dans certains cas et plus que répondre aux besoins dans d'autres cas. Les différentes normes applicables à la réalisation de ponts

au Québec sont présentées à la section 2. La section 3 introduit les propriétés hygroscopiques du bois, les facteurs provoquant sa dégradation et les règles générales permettant d'assurer la durabilité des structures en bois. La section 4 propose des recommandations adaptées à la **réalisation de ponts forestiers en bois lamellé-collé** au Québec. Ces recommandations s'inspirent des conclusions de l'inspection de 15 ponts en bois lamellé-collé faite au Québec pour le compte du MFFP en 2016^[5], de différentes publications internationales sur les ponts en bois^{[1][2][3][18]} ainsi que de l'expérience d'un comité d'experts.

Ce guide est un complément au *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie* qui présente les propriétés du bois, les produits en gros bois d'œuvre et d'ingénierie et les bonnes pratiques assurant la durabilité des structures en bois massif^[6].

2 Normes applicables

Au Canada, les ponts routiers sont soumis à la norme CSA S6, *Code canadien sur le calcul des ponts routiers*. La norme CSA S6 s'applique à la conception, à l'évaluation et à la réfection structurale des ponts routiers fixes et mobiles et il établit des niveaux de sécurité et de fiabilité uniformes pour tous les territoires de compétence au Canada^[7]. Ce code est complété par la norme CSA S6.1, *Commentary on CAN/CSA S6, Canadian Highway Bridge Design Code*.

La norme CSA S6 est basée sur le calcul aux états limites, tout comme la norme CSA O86, *Règles de calcul des charpentes en bois*^[8]. Le Chapitre 9 de la norme CSA S6, qui traite des ouvrages en bois, précise les propriétés des matériaux et des attaches conformes à la norme CSA O86. Certaines différences ont cependant été notées entre les deux normes et un travail d'uniformisation est en cours^[9]. La considération de différentes essences de bois lamellé-collé et la possibilité d'utiliser le bois lamellé-collé pour le tablier ont été ajoutées à l'édition 2019 de la norme S6, soit CSA S6-19.

Au Québec, le MTQ a développé le *Manuel de conception des structures*, basé notamment sur la norme S6^[9]. Ce manuel est utilisé par les concepteurs de ponts routiers autant sur le réseau municipal que

provincial. Le chapitre 9 couvre les ponts à poutres en bois lamellé-collé avec platelage étanche ainsi que les ouvrages en acier-bois. Le *Manuel d'entretien des structures* et le *Manuel d'évaluation de la capacité portante des ponts acier-bois* encadrent également l'entretien des ponts acier-bois^[10].

Pour les ponts forestiers, ou ponts sur chemins multiusages, l'annexe 12 du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État (RADF)* du MFFP et la *Norme relative aux ponts et aux ouvrages amovibles dans les forêts du domaine de l'État* encadrent la conception, la construction, la réfection, l'amélioration et l'évaluation de la capacité portante des ponts ou ouvrages amovibles sur le domaine forestier public^{[11][12]}.

3 Règles générales de conception assurant la durabilité

Une conception et une construction adaptées aux caractéristiques du matériau permettent d'assurer la longévité des constructions en bois selon la durée de vie prévue de l'ouvrage. La géométrie de la structure et les détails d'assemblage doivent permettre un transfert efficace des forces, tout en limitant les efforts parasites et en évitant d'induire des efforts en traction perpendiculaire au fil. L'hygroscopicité du bois doit également être prise en compte afin de prévoir les possibles changements dimensionnels et éviter les efforts parasites. Et, finalement, il est essentiel de prévenir la dégradation et la pourriture des éléments en bois et de limiter les interventions d'entretien nécessaires. En tant que structures extérieures, les ponts peuvent être plus susceptibles aux problèmes de durabilité. Cet aspect est donc traité en détail dans le présent guide afin d'offrir aux concepteurs des informations pertinentes à la réalisation d'infrastructures durables en bois. La **section 3** précise les facteurs provoquant la dégradation du bois, les principes de protection contre les intempéries, le choix des matériaux, des traitements et des produits de finition ainsi que les stratégies d'entretien. Plus concrètement, la **section 4** propose des détails adaptés à la réalisation des ponts forestiers, ou ponts sur chemins multi-

sages, en bois lamellé-collé. Pour plusieurs raisons mentionnées dans ce guide, une structure simple comportant peu de membrures et peu d'assemblages est à privilégier pour des raisons de durabilité.

3.1 Durée de vie prévue

Selon la norme CSA S6, une durée de vie de 75 ans doit être prévue lors de la conception d'un pont routier^[7]. Pour les ponts sur chemins multiusages, aucune exigence n'est actuellement prescrite par l'annexe 12 du RADF. L'annexe 4 prévoit cependant des durées d'utilisation des chemins jusqu'à 50 ans^[12]. De plus, la durée de vie des culées en bois, de type caisson à claire-voie rempli de pierres, est de 40 à 50 ans dans les meilleures conditions. Une durée de vie de 50 ans semble donc une cible maximale à atteindre pour les ponts sur chemins multiusages, à moins d'exception particulière.

3.2 Transfert efficace des forces

Comme discuté dans le *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie*, une bonne connaissance des propriétés physiques et mécaniques du matériau bois permet de concevoir des structures qui permettent un transfert efficace des efforts^{[6][20]}. La résistance mécanique du bois étant influencée par sa structure interne, elle varie selon la direction d'application de la charge par rapport à son fil (sens des fibres). Le bois offre ainsi une bonne résistance en flexion, en compression et en traction parallèle au fil, alors que les résistances aux efforts de compression et de traction perpendiculaire au fil sont plus faibles. La traction exercée perpendiculairement au fil cherche à décoller les fibres du bois les unes des autres et peut être la cause d'une rupture fragile par fendage. **Comme pour tout autre type de structure, la conception d'un pont en bois doit donc être faite par des professionnels possédant les connaissances appropriées des propriétés mécaniques et physiques de ce matériau.**

3.3 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 réali-

sations 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 complètement sec.

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

Ou

- M_{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)

3.3.1 Point de saturation des fibres

Le matériau bois peut contenir de l'eau sous deux formes, soit l'eau contenue dans les vides à l'intérieur des cellules et celle 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 (**Figure 1**). Le PSF se situe à une teneur en humidité autour de 30 % pour la plupart des essences de bois.

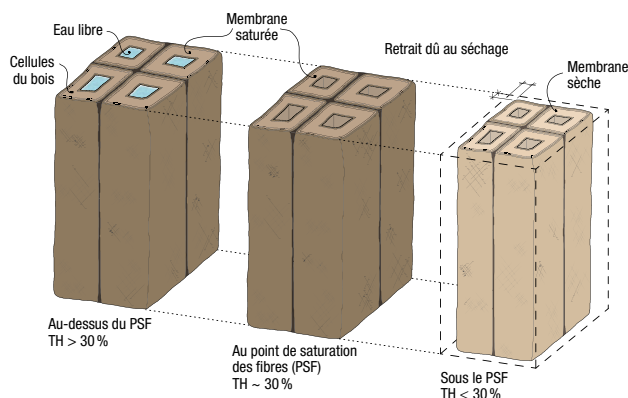


FIGURE 1 - Variation de la teneur en humidité du bois

3.3.2 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 (**Figure 2**). Au Québec, la teneur en humidité d'équilibre des éléments en bois extérieurs, protégés des intempéries et d'une source d'humidité, se situe habituellement entre 9 et 15 % et peut varier selon les saisons et les conditions d'utilisation. La teneur en humidité peut atteindre plus de 20 % lorsque les éléments en bois ne sont pas protégés des intempéries ou qu'ils sont en contact avec une source d'humidité^{[5][6]}.

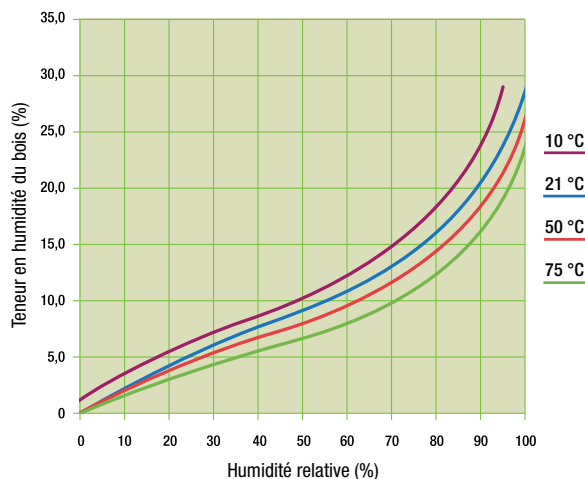


FIGURE 2 - Teneur en humidité du bois en fonction de l'humidité relative de l'air

3.3.3 Retrait et gonflement

Au-dessus du PSF (TH > 30 %), un changement de teneur en humidité provoque 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. Par contre, en dessous du PSF (TH < 30 %), une variation de la teneur en humidité entraîne à une variation dimensionnelle de l'élément en bois. L'évaporation de l'eau contenue dans les parois cellulaires engendre un retrait du matériau proportionnel à la perte d'humidité (**Figure 1**).

Les coefficients de retrait et de gonflement sont généralement faibles dans le sens longitudinal du bois, mais peuvent être beaucoup plus importants dans les directions radiale et tangentielle (**Figure 3**).

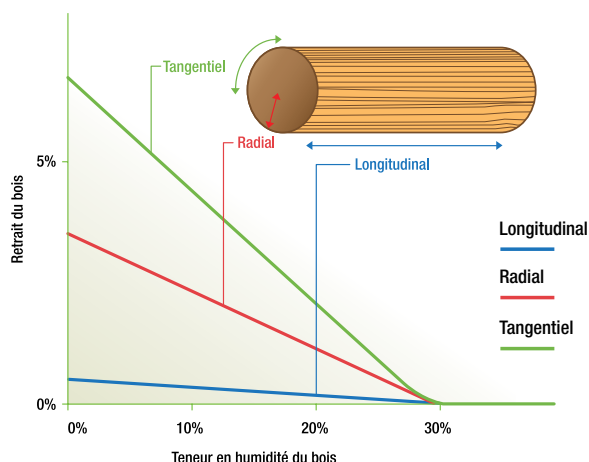


FIGURE 3 - Retrait et gonflement selon le sens du bois

En plus de la présence d'humidité dans l'air, l'eau présente directement sur la surface du bois peut également provoquer une augmentation de la teneur en humidité et du gonflement localement.

Le concepteur doit connaître l'existence du phénomène de retrait et de gonflement afin de prévoir des détails assurant un bon comportement à long terme de la structure. Dans certaines situations, un calcul précis du retrait d'un élément en bois peut s'avérer nécessaire, par exemple, lorsque l'utilisation de matériaux différents peut causer des changements dimensionnels inégaux qui affectent la performance du système^[6].

Il est particulièrement important de considérer le retrait et le gonflement du bois lors de la conception des assemblages, en raison des importantes contraintes internes qui peuvent être générées dans un assemblage inadéquat. Il n'est généralement pas recommandé d'entraver le mouvement du bois perpendiculairement au fil. Un retrait non prévu peut en effet causer une rupture par fendage de l'élément en bois, alors qu'un gonflement dû à une reprise d'humidité ponctuelle peut provoquer la compression des fibres du bois contre les rondelles de l'assemblage. Des détails de conception sont recommandés dans le *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie*^[6].



FIGURE 4 - Exemple d'une épissure par trois plaques d'acier - Passerelle Ulrick-Chérubin (Conception : Denis Lefebvre, Crédit photo : Jean-Sébastien Paul)

À titre d'exemple, la **figure 4** présente une épissure par trois plaques d'acier pour la passerelle Ulrick-Chérubin à Amos. Les plaques d'acier supérieure et inférieure permettent de transférer la flexion, alors que la plaque du centre transmet le cisaillement entre les deux sections de poutre en bois lamellé-collé. L'utilisation de plaques d'acier séparées permet d'éviter le fendillement perpendiculaire des fibres de bois en cas de retrait ou de gonflement. De plus, une membrane d'étanchéité limite la reprise d'humidité en protégeant les poutres contre la pluie verticale.

Il est aussi essentiel de considérer le phénomène de retrait et de gonflement lors de la conception d'éléments en bois dont la dimension perpendiculaire aux fibres est très grande comme c'est le cas, par exemple, des platelages de ponts en bois lamellé-collé.

3.3.4 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 près de celle prévue en service. Au Québec, la teneur en humidité en service des éléments en bois extérieurs qui sont protégés des intempéries se situe habituellement entre 9 et 15 %^[6].

Les éléments en bois peuvent être séchés naturellement ou au séchoir. Selon la norme NLGA, le bois de construction séché au séchoir (Kiln-Dry) doit être à 19 % ou moins de teneur en humidité. Il est aussi

possible d'exiger un séchage à 15 % ou moins pour des applications spécifiques. Cependant, le gros bois d'œuvre utilisé dans les structures de ponts est rarement sec au moment de la pose, en raison de la difficulté de sécher rapidement de grosses sections de bois. Inversement, le bois lamellé-collé doit être séché à une teneur en humidité entre 7 % et 15 % afin d'assurer un collage adéquat des différents éléments, ce qui limite le retrait après l'installation (Tableau 1). Certains manufacturiers suggèrent de coller entre 10 % et 14 % pour limiter l'apparition de gerces.

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 important de prévoir un possible retrait différentiel si ces éléments sont utilisés ensemble dans la réalisation d'une structure.

TABLEAU 1. Teneurs en humidité requises pour différents produits du bois

Produit	Norme de fabrication	Teneur en humidité requise à la fabrication
Bois de sciage (Kiln-Dry)	NLGA	$H \leq 19 \%$
Bois de sciage (MC-15)	NLGA	$H \leq 15 \%$
Bois lamellé-collé	CSA 0122	$7\% \leq H \leq 15 \%$
Bois lamellé-croisé (CLT)	PRG 320	$9\% \leq H \leq 15 \%$
Panneaux contreplaqués	PS-1	$H \leq 18 \%^1$

¹ Dû aux procédés de fabrication, les panneaux contreplaqués sont fabriqués à une humidité entre 4 % et 8 %

3.3.5 Propriétés mécaniques

La résistance mécanique du bois étant influencée par sa teneur en humidité, les normes de calcul prévoient

des facteurs de réduction de la résistance pour les bois ayant une teneur en humidité supérieure à 15 % selon une moyenne annuelle. Les éléments en gros bois d'œuvre pouvant prendre jusqu'à deux ans pour atteindre une teneur en humidité d'équilibre, il importe de considérer le facteur de réduction approprié^{[7][8]}.

L'édition 2014 de norme CSA S6 présentait des propriétés du bois lamellé-collé pour un milieu semi-humide^[7], alors que la norme CSA O86 prévoit des coefficients de conditions d'utilisation pour des milieux sec et humide^[8]. La section 9.4.3.1 du *Manuel de conception des structures* permet d'établir des coefficients pour une condition d'utilisation semi-humide lorsque seules les propriétés en milieu sec sont disponibles^[9]. L'édition 2019 de la norme CSA S6 inclut des coefficients de conditions d'utilisation pour des milieux sec et humide pour le bois de sciage et pour des milieux sec, humide, et semi-humide pour le bois lamellé-collé, afin d'ajuster les propriétés mécaniques en conséquence. Le commentaire de la norme fournit des clarifications afin d'aider les concepteurs à déterminer la condition d'utilisation adaptée pour chaque élément de la structure.

Le coefficient de conditions d'utilisation permet de déterminer la réduction de la résistance mécanique liée à la teneur en humidité du bois. Ce facteur ne considère pas la perte de résistance qui pourrait être due à une dégradation du bois par la pourriture, lorsque celui-ci est exposé à long terme à un taux d'humidité élevée.

3.4 Dégradation du bois

Lorsqu'il est question de dégradation du bois, il est important de faire la distinction entre la coloration, la moisissure et la pourriture, puisqu'elles n'affectent pas le bois de la même façon (**Figure 5**)^[13,14].



Colorations



Moisissures



Pourritures

FIGURE 5 - Dégradation du bois (Source M.Gignac)

La **coloration** et la **moisissure** sont des altérations superficielles du bois. Celles-ci sont provoquées par le développement de spores de champignons qui apparaissent sur la surface du bois en présence de conditions humides. Ces types d'altérations n'ont pas d'effet sur l'intégrité des propriétés mécaniques et physiques du bois, outre sa couleur. Elles peuvent se manifester, par exemple, par un noircissement du bois en surface. La moisissure n'est pas uniquement liée à la présence de bois, car elle peut aussi, entre autres, se développer sur la poussière présente sur les différents matériaux.

La **pourriture**, quant à elle, est causée par la présence de champignons qui dégradent la lignine dans la structure cellulaire du bois. La pourriture se développe dans des milieux très humides. Cette grave détérioration affecte l'intégrité du bois et peut remettre en question la fiabilité structurale de l'élément. Le Tableau 2 présente les conditions d'humidité et de température favorisant le développement de champignons sur le bois.

TABEAU 2 - 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 : FPIInnovations

3.5 Facteurs provoquant la dégradation du bois

3.5.1 Humidité

Comme discuté à la section 3.3, une variation de la teneur en humidité du bois au-dessous du point de saturation des fibres cause un changement dimensionnel, caractérisé par un gonflement ou un retrait, ainsi qu'une variation des propriétés mécaniques du bois. Une teneur en humidité élevée peut égale-

ment provoquer des problèmes de détérioration et de pourriture causées par la présence de champignons qui attaquent l'intégrité du bois (Section 3.4). La dégradation du bois par la pourriture demande généralement une teneur en humidité supérieure à 28 %, combinée aux conditions de température et d'oxygène favorisant la présence des champignons de dégradation (**Tableau 2**). Une teneur en humidité du bois supérieure à 28 % est causée par une humidité relative de l'air de plus de 95 % sur une période prolongée ou par le contact direct avec une source d'humidité.

3.5.2 Rayons UV

Une exposition directe aux rayons du soleil cause une dégradation du bois par les rayons ultraviolets (UV) en plus de provoquer un séchage différentiel entre la surface et le cœur de la pièce.

Les rayons UV attaquent la structure même du matériau bois en dégradant la lignine et en exposant la cellulose aux attaques biologiques des différents champignons. L'apparition de la coloration grise est le résultat de la combinaison de ces phénomènes indiquant le début de la dégradation en surface. C'est un indicateur précieux à observer. La coloration grise n'est pas grave si la qualité du bois est gardée sous contrôle, mais la dégradation peut s'accélérer si les conditions d'humidité ne sont pas contrôlées.

Les rayons UV peuvent aussi affecter les produits de préservation et de finition, diminuant ainsi la protection du bois et permettant des entrées d'humidité additionnelles.

3.5.3 Cycles de mouillage-séchage

La dégradation du bois est souvent causée par une combinaison de facteurs liés à la présence d'humidité et à l'exposition directe aux rayons du soleil et au vent. Ces facteurs provoquent des cycles de mouillage-séchage qui créent des contraintes internes de traction perpendiculaire au fil dans le bois. Ces cycles amorcent un fendillement à l'échelle microscopique, qui cause l'apparition de fentes, ainsi que la dégradation du produit de finition de la face exposée (**Figure 6**). Ces fentes entraînent la pénétration de l'eau de plus en plus rapidement et profondément au cœur de la pièce, accélérant la dégradation du matériau et permettant le développement de pourriture.



FIGURE 6 - Détérioration créée par le fendillement du produit de finition et de la surface du bois

3.5.4 Sels de déglacage

Dans le contexte de ponts routiers, les sels de déglacage ont peu d'effets sur les éléments en bois. Cependant, les attaches et les connecteurs en acier peuvent être grandement affectés par la corrosion et requièrent un traitement de protection comme la galvanisation pour assurer une performance à long terme.

3.6 Principes assurant la durabilité des ponts en bois

3.6.1 Prévoir les facteurs de dégradation

L'humidité élevée et les rayons UV étant les principaux facteurs de dégradation du bois, il importe de protéger adéquatement les éléments en bois afin d'assurer leur pérennité.

Il est relativement rare que l'humidité ambiante génère une teneur en humidité de plus de 28 % dans les éléments en bois protégés, car cela signifierait une exposition prolongée à une humidité relative de plus de 95 %. Des mesures prises lors de l'inspection de ponts en bois lamellé-collé au Québec ont démontré que la teneur en humidité des éléments structuraux protégés demeure généralement inférieure à 15 %, à l'exception des endroits où la géométrie ou des accumulations de débris maintiennent une humidité élevée autour des éléments en bois^[5, 16].

Pour les structures extérieures, les principaux facteurs de risque provoquant une humidité élevée des éléments en bois sont :

- l'exposition à la pluie directe ou poussée par le vent ;
- le ruissellement de surface et les éclaboussures ;
- la fonte de la neige ou de la glace accumulée sur les membrures ;
- l'emprisonnement de l'humidité dans des endroits peu ventilés ;
- le contact direct avec le sol ou les fondations en béton ;
- la présence de débris et de terre accumulés autour des membrures ;
- l'infiltration d'eau à l'intérieur du bois par des trous d'assemblage ou des gerces ;
- l'infiltration d'eau par l'extrémité des membrures (bois de bout) ;
- l'emprisonnement de l'humidité par un produit de finition filmogène fendillé ;
- l'exposition à de l'eau provenant des embruns d'un cours d'eau ou d'une chute sous le pont ;
- l'exposition du bois à l'eau liquide à l'intérieur de poutres-caissons fermées ;
- le ruissellement provenant d'un système de drainage de tablier insuffisant.

3.6.2 Prioriser les éléments structuraux

Comme il est généralement difficile de remplacer ou réparer les membrures d'une structure, leur protection contre toute source d'humidité est prioritaire et doit être réfléchi dès la conception d'un pont. Plus la structure principale sera protégée par des éléments de protection planifiés et plus les sources d'humidité seront contrôlées, moins les efforts de planification, d'inspection ou de réparation à long terme seront exigeants. Comme discuté à la section 3.7, il est aussi important de prévoir les produits de traitement et de finition appropriés afin de protéger les différents éléments selon leur résistance naturelle et leur exposition aux intempéries.

Il est entendu que certains éléments de protection, tels les solins, seront plus fréquemment en contact avec l'eau. Ceux-ci doivent donc être faits d'un matériau résistant mieux à l'humidité ou être installés de façon à être facilement remplacés. Il est important que la détérioration de ces éléments sacrificiels n'affecte pas

l'intégrité de l'ouvrage. De plus, l'assemblage de ces éléments de protection ne doit pas causer d'écoulement d'eau sur la structure, tout en permettant une inspection régulière.

À titre d'exemple, les trottoirs du pont de Crest ont été conçus pour offrir une protection additionnelle à la structure principale. La structure supportant ces trottoirs est donc indépendante de la structure principale pour pouvoir être remplacée relativement facilement tous les 25 ans^[20]. Comme le montre la **figure 7**, après 10 ans de mise en service, cette protection s'est avérée efficace, mais un détail serait à prévoir pour éviter l'écoulement de la goutte d'eau sur le bas de poutre.



FIGURE 7 – Pont de Crest, 10 ans après sa mise en œuvre
(Source : Caroline Frenette)

Le platelage plein en bois traité d'un pont forestier est un autre exemple d'élément protégeant la structure principale. Le platelage subira une plus grande dégradation, en plus de l'usure de roulement, et devra être remplacé régulièrement. La **figure 8** montre une poutre principale partiellement protégée par un platelage en bois traité.



FIGURE 8 - Pont du Poste montagnais, QC
(Source : Nordic Structures)

3.6.3 Protéger le bois contre l'eau, la pluie et les rayons UV

Dans un premier temps, il est essentiel d'identifier les sources d'humidité qui pourraient affecter les différents éléments de la structure en bois, afin de prévoir leur protection.

L'exposition à la pluie directe, poussée par le vent ou redirigée par capillarité, est certainement l'une des principales sources d'humidité. Même si l'eau coule et ne reste pas sur les membrures en bois, elle provoque la dégradation de la surface du bois qui éventuellement amène la création de gerces et permet l'entrée d'eau dans le bois. Il est donc fortement recommandé de protéger les éléments en bois de la pluie. Un angle de protection de 30° par rapport à la verticale permet d'assurer une protection contre la pluie qui serait poussée par le vent (**Figure 9**).

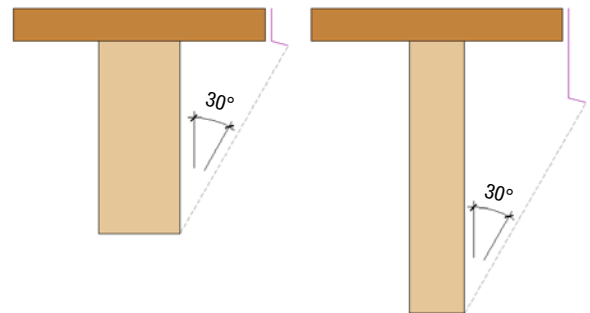


FIGURE 9 - Protection contre la pluie respectant un angle de 30°

Les surfaces qui reçoivent des rayons UV se détériorent généralement plus rapidement en raison de la dégradation de la lignine du bois et de l'endommagement des produits de finition. En présence d'eau, les cycles de mouillage-séchage créent des fissures qui accélèrent l'entrée d'eau et la dégradation du bois. La protection prévue qui respecte l'angle de 30° est habituellement suffisante pour protéger les membrures également contre les rayons UV. De plus, plusieurs produits de finition offrent une protection accrue aux rayons UV.

Si la protection ne respecte pas l'angle de 30° (**Figure 10**) ou si elle est discontinue (**Figure 11**), une détérioration du bois peut être observée.

Les éléments de protection doivent toujours permettre une bonne ventilation pour éviter une accumulation d'humidité sur l'élément à protéger et ne pas nuire à l'inspection des éléments de structure. De plus, un



FIGURE 10 - Protection insuffisante contre la pluie et les rayons UV (Source : Forêt Montmorency et Stantec^[5])



FIGURE 11 - Poutres en bois ayant une protection discontinue contre la pluie et les rayons UV (Source : Nordic Structures et Stantec^[5])

bris de capillarité doit être prévu afin d'éviter que les gouttes d'eau ne suivent le dessous de l'élément de protection et ne se rendent sur l'élément à protéger. Finalement, lorsque possible, les attaches doivent être placées sous la surface pour éviter de percer la face supérieure exposée. Une rainure d'écoulement doit être prévue pour briser la capillarité de surface et créer une goutte d'eau qui tombera plutôt que de garder la surface mouillée. En plus de protéger les éléments en bois de la pluie, le concepteur doit vérifier que l'eau déviée ne coule pas sur le bois. L'utilisation de solins métalliques est souvent la cause du déplacement de l'eau vers des éléments non protégés et doit donc être étudiée avec attention (**Figure 12**).



FIGURE 12 – Détérioration causée par le ruissellement de l'eau sur un solin

La protection des poutres principales peut également être complétée par des revêtements en bois comme pour le pont Maicasagi au Québec (**Figure 13**).



FIGURE 13 – Pont Maicasagi, QC (Source : Nordic Structures)

En Norvège, Moelven protège les poutres en arche créosotées par le dessus à l'aide d'un solin métallique soigneusement profilé, posé sur un filet synthétique qui assure la ventilation. De plus, des lames de bois traité ventilées permettent de s'assurer que les côtés des poutres soient protégés de la pluie et des rayons UV (**Figure 14**).

3.6.4 Prévoir le ruissellement et les éclaboussures

La structure d'un pont étant à proximité du sol, il est essentiel de prévoir le ruissellement de l'eau afin de l'intercepter avant qu'elle n'atteigne le platelage et la structure en bois.

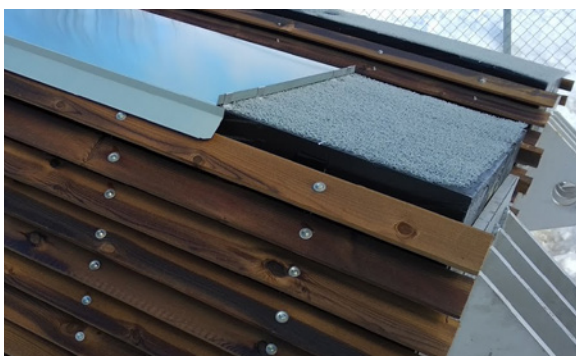


FIGURE 14 - Protection d'arches en bois pour un pont en Norvège (Crédit photo : Alexander Salenikovich)

De plus, les surfaces horizontales à proximité des éléments en bois peuvent causer des éclaboussures, créant un mouillage fréquent qui affecte la pérennité.

3.6.5 Assurer le drainage et éviter l'accumulation d'eau ou de neige

Lorsqu'il n'est pas possible de protéger la construction intégralement, il est essentiel de prévoir un bon drainage qui évite l'accumulation d'eau dans les zones en contact avec le bois.

Il est particulièrement important de s'assurer que la géométrie de la structure, la configuration des assemblages et les éléments de protection ne créent pas de zones d'accumulation des précipitations sous forme d'eau, de glace ou de neige, qu'elles tombent verticalement ou qu'elles soient poussées par le vent (**Figure 15**).



FIGURE 15 - Accumulation de neige pouvant causer une source d'humidité lors de la fonte (Source : MFFP)

En période froide, la neige affecte peu la durabilité du bois. Cependant, au printemps, la fonte de la neige accumulée peut créer des zones humides durant une période relativement longue. Cette humidité prolongée provoque la dégradation de la surface du bois et peut causer de gerces qui amènent l'humidité plus profondément au cœur de l'élément.

Il est également important de prévoir des assemblages aux appuis qui évitent que les éléments en bois soient affectés par la fonte de la neige accumulée.

3.6.6 Assurer une bonne ventilation et un séchage rapide

Une bonne ventilation permet d'éliminer rapidement toute humidité qui aurait pu atteindre les membrures en bois et assure un séchage rapide. Une attention particulière doit être portée aux vides non ventilés, aux jonctions entre les éléments, aux assemblages ainsi qu'aux éléments de protection et aux produits de finition étanches qui pourraient nuire au séchage.

3.6.7 Couper la remontée d'humidité venant du sol ou des fondations

Les appareils d'appuis doivent être configurés pour présenter une coupure étanche qui empêche l'humidité provenant du sol et des fondations de migrer par capillarité dans les membrures du bois. Un espacement entre l'extrémité des membrures et le mur garde-grève de la fondation est aussi à prévoir.

3.6.8 Éviter l'accumulation de débris et de terre

L'accumulation de sable, de terre ou de débris aux appuis est une source fréquente d'humidité pour les structures des ponts en bois. Les ponts qui se situent sur des routes en gravier sont particulièrement affectés par cet enjeu (**Figure 16**). En plus de prévoir un assemblage adéquat aux appuis, il est donc essentiel de prévoir une gestion des débris et de la terre afin d'éviter toute accumulation en contact direct avec les éléments en bois.



FIGURE 16 - Accumulations de sol et de débris en contact avec le bois (Source: Stantec^[5])

3.6.9 Protéger l'extrémité des membrures

Le bois de bout (ou l'extrémité des membrures) est un point d'entrée d'eau vers le cœur de la pièce. Cette capacité d'absorption peut causer des phénomènes de retrait et de gonflement simultanés qui provoquent le fendillement du bois et peuvent mener à la pourriture (**Figure 17**).



FIGURE 17 - Le bois de bout est un point d'entrée accéléré de l'eau

Il est donc particulièrement important de protéger les extrémités des membrures en prévoyant l'angle de protection de 30°. Pour un élément en porte-à-faux, une coupe de l'élément en bois vers l'intérieur peut être prévue afin d'obtenir un meilleur angle de protection. Il faut toujours assurer une protection des fibres coupées contre la pluie ou l'eau de ruissellement.

Les coupes en biais qui exposent les fibres coupées vers le haut sont à éviter (**Figure 18**). Au besoin, une protection par des solins métalliques bien ventilés peut être envisagée.

Il est souvent préconisé d'utiliser un produit de type cire sur le bois de bout. Il faut cependant vérifier la compatibilité avec les autres produits de traitement.

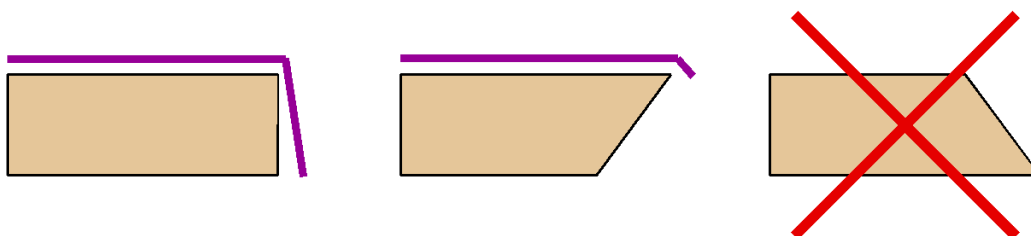


FIGURE 18 - Protection de l'extrémité des poutres extérieures

3.6.10 Contrôler les entrées d'eau

Les perforations et les gerces permettent à l'eau d'entrer plus rapidement à l'intérieur des éléments en bois, provoquant une augmentation plus rapide de la teneur en humidité. Les grosses pièces en bois de sciage subissent souvent un important séchage après la mise en œuvre, ce qui implique la formation de plus de gerces (**Figure 19**).

L'utilisation de bois lamellé-collé, qui est composé de petites pièces de bois séchées en usine, limite l'apparition de gerces de séchage.



FIGURE 19 – Gerces importantes dans un gros bois de sciage

Il est généralement impossible d'éviter complètement les percements en raison de la mise en place des assemblages. Il est cependant important d'éviter les perforations verticales, à moins que celles-ci ne soient bien scellées, et d'assurer une bonne protection au-dessus des percements horizontaux afin de minimiser l'entrée d'eau. Les protections physiques contre la pluie, la neige et les rayons UV, additionnées aux produits de finition, permettent d'éviter la dégradation de la surface du bois et la formation de gerces de surface (**Figure 20**).



FIGURE 20 - Assemblages protégés sous le platelage étanche (Aire de Chavanon, France) (Source : Arborescence s.a.r.l.)

La **Figure 21** présente un assemblage de poutres doubles en bois lamellé-collé où les vis sont enfoncées sous la surface et les entrées sont protégées par des goujons de protection. De plus, la partie vulnérable de l'ouvrage est protégée par le dessus par à l'aide d'une tôle et d'une membrane d'étanchéité.

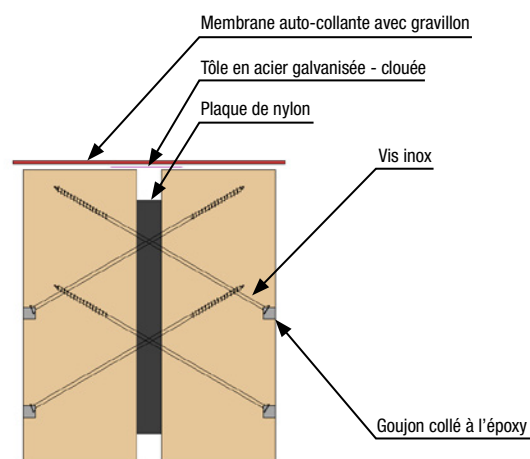


FIGURE 21 – Assemblage d'une poutre double pour un pont de motoneiges (Source : Denis Lefebvre)

3.7 Choix des matériaux, des traitements et des produits de finition

Les choix des matériaux, des traitements et des produits de finition viennent en complément à la protection constructive afin d'assurer la pérennité des infrastructures en bois. La durée de vie prévue de l'ouvrage et de ses différents composants entre en considération dans le choix des produits du bois, des essences, des traitements et des produits de finition à utiliser pour chaque élément.

La durabilité à l'eau et aux rayons UV des différents produits sélectionnés est d'autant plus importante lorsque la protection physique n'est que partielle et que la durée de vie prévue est grande.

3.7.1 Résistance naturelle à la pourriture

Quoique la pérennité du bois dépende grandement des conditions d'utilisation, certaines essences ont une meilleure résistance naturelle à la pourriture que d'autres. Des études ont permis de classer les diffé-

rentes essences selon leur résistance naturelle à la pourriture^[14, 22, 23]. Le bois de cœur, ou duramen, de certaines essences offre une meilleure résistance que le bois d'aubier. À titre d'exemple, le duramen du sapin Douglas est plus résistant à la pourriture que l'aubier. L'essence est cependant classée selon le bois d'aubier, car il est difficile pour le concepteur de s'assurer qu'une structure soit entièrement constituée de bois de duramen.

Pour la structure des ponts, la norme CSA S6 prévoit l'utilisation du bois de sciage selon 4 groupes d'essences, ainsi que l'utilisation du bois lamellé-collé de Douglas-mélèze, et d'Épinette-pin (depuis 2019)^[7]. À ce jour, elle demande que le bois de structure soit traité sous pression, à moins d'autorisation du client.

Les bois de cèdre, comme le cèdre rouge de l'Ouest (*Thuja plicata*) ou le cèdre blanc de l'Est (*Thuja occidentalis*) sont fréquemment utilisés en revêtement extérieur pour leur bonne résistance à la pourriture^[22]. Leur utilisation en structure est cependant moins fréquente en raison des faibles valeurs de résistances mécaniques utilisées^[8].

3.7.2 Traitement du bois

La durabilité de certaines essences peut être augmentée par un traitement sous pression de solutions corrosives. Au Canada, la norme CSA O80 réglemente l'utilisation des produits de traitements du bois^[25], alors que l'association Préservation du bois Canada met à la disposition des concepteurs des guides de prescription^[15].

Les agents de préservation sont homologués par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) et Santé Canada pour les traitements sous pression au Canada. On les classe selon deux groupes distincts, soit les agents huileux et les agents hydrosolubles, selon le véhicule utilisé pour faire pénétrer le produit de préservation dans le bois^[16]. Le penta et le créosote sont des agents de traitement huileux, alors que l'arséniate de cuivre chromaté (ACC) et le cuivre aminé quaternaire (ACQ) sont les agents hydrosolubles.

Les conditions d'utilisation (appelées classes d'emploi) auxquelles le bois sera exposé dictent le produit de préservation à utiliser ainsi que le degré de pénétration et de rétention requis du produit de préservation. Le traitement par incision, qui consiste à pratiquer des centaines de petites entailles peu profondes, se veut

un autre moyen d'améliorer la pénétration et la rétention des agents de préservation. Le traitement par incision affecte cependant les propriétés mécaniques du bois et doit être considéré par le concepteur à l'aide d'un coefficient de traitement^[7, 8].

La norme CSA O80 exige que tout bois traité soit évalué afin d'assurer une fixation complète avant qu'il quitte l'usine de traitement. Il n'est donc pas possible d'appliquer une couche d'ACC de façon efficace à l'extérieur d'une usine.

Certaines essences de bois lamellé-collé peuvent être traitées. Les essences de bois indigènes du Québec utilisées dans le bois lamellé-collé sont difficilement traitables, car elles n'offrent pas la pénétration et la rétention des produits de traitements requis par la norme. **S'il est accordé par le client d'utiliser du bois lamellé-collé non traité, la durabilité de la structure repose alors sur une conception adaptée, une protection physique, un produit de finition performant et un entretien régulier.**

Les traverses et les madriers de roulement des ponts forestiers sont souvent en bois traité à l'arséniate de cuivre chromaté (ACC) ou au cuivre aminé quaternaire (ACQ).

Il est important de vérifier la nature corrosive du traitement utilisé. Dans certains cas, les éléments de quincaillerie devront être en acier inoxydable, alors qu'avec d'autres produits, comme l'ACC, la galvanisation de la quincaillerie est suffisante.

Plus d'information sur les différents traitements de bois peut être obtenue en contactant l'association Préservation du Bois Canada.

3.7.3 Produits de finition

Différents produits de finition peuvent offrir une protection de la surface en protégeant le bois contre l'infiltration d'eau et les attaques des rayons UV du soleil et en assurant le maintien de l'intégrité de la surface du matériau.

Les produits de finition peuvent être catégorisés selon leur capacité à pénétrer le bois. Les produits pénétrants, tels que les huiles et les teintures, s'imprègnent dans le bois à différentes profondeurs et viennent remplir et sceller les pores du bois afin que l'eau ne puisse s'y infiltrer.

Les produits filmogènes, tels que les peintures, les vernis et les laques, restent en surface et forment un film protecteur hydrofuge qui ne laisse pas l'eau entrer en contact avec la fibre. Ils ne sont généralement pas recommandés pour la protection des structures en bois, car les fissures qui se créent avec le temps risquent d'emprisonner l'humidité entre le bois et la couche de finition. De plus, l'entretien demande un décapage des anciennes couches avant de pouvoir réappliquer le produit.

Produits pénétrants

Les huiles sont des enduits à base de résines naturelles et de certains additifs qui pénètrent dans les pores du bois et qui offrent une protection hydrofuge par leur polymérisation au contact de l'air. L'utilisation extérieure des huiles nécessite l'ajout de pigments afin d'offrir une résistance adéquate aux rayons UV et d'éviter la décoloration du bois. Les huiles offrent une protection aux intempéries modérée et requièrent un entretien périodique, de 1 à 3 ans, qui implique un nettoyage, un sablage et une réapplication du produit. Elles permettent de garder l'aspect naturel du bois et ne forment pas d'écailles en vieillissant. Certaines formulations performantes d'huiles et de résines permettent aujourd'hui d'obtenir des durées de vie accrues.

Les teintures sont des finis qui ont comme fonction première de sceller le bois contre l'humidité et souvent de lui donner une teinte autre que sa teinte naturelle. Le degré de pénétration d'une teinture varie en fonction de sa teneur en pigments. Comme pour les huiles, les pigments qui restent en surface du bois jouent un rôle de protection contre les rayons UV. Les teintures sont disponibles soit en solution aqueuse (teinture à base d'eau), soit en solution avec solvants. Elles sont souvent additionnées d'huiles naturelles comme l'huile de lin (teinture à base d'huile). Les teintures opaques offrent un degré de protection plus élevé contre les intempéries et les rayons UV. Elles requièrent un entretien régulier, allant de 3 à 10 ans selon la nature et l'opacité du produit.

Produits filmogènes

Les peintures sont des enduits opaques et filmogènes aux compositions et additifs variés. Elles peuvent être à base d'eau (peinture au latex) ou à base de solvant (peinture à l'huile). Elles ont généralement une teneur

en pigments élevée, caractéristique qui les différencie des teintures. Grâce à leur film épais, les peintures offrent la meilleure protection contre le vieillissement du bois, mais elles forment une couche étanche qui peut emprisonner l'humidité. L'entretien inclut un décapage des anciennes couches écaillées et une réapplication du produit.

Les vernis et les laques sont des produits de finition filmogènes translucides composés de résines naturelles ou synthétiques, d'huile et de solvant (à base d'eau ou d'alcool). Les vernis et laques sont surtout utilisés à titre de finition intérieure, mais il existe des vernis extérieurs comme les vernis marins. Ces vernis ont une teneur en huile plus élevée afin de donner au fini une flexibilité adéquate pour accommoder les changements dimensionnels du bois. Les vernis et laques sont peu utilisés pour les éléments structuraux en bois, car ils affectent la durabilité. De plus, il s'agit d'un produit filmogène dont l'entretien demande le décapage des couches jusqu'au bois nu afin de pouvoir le vernir à nouveau.

3.8 Remplacement des éléments et entretien

Certains éléments comme les chasse-roues, les dispositifs de retenue et les madriers de roulement doivent être conçus pour pouvoir être facilement remplacés au cours de la vie utile de la structure. Une attention particulière aux modes d'assemblages est donc nécessaire. Les assemblages par le dessous ou les attaches qui limitent les voies d'entrées d'eau, telle que les vis auto-taraudeuses, sont à préconiser.

Les éléments de protection latérale, conçus pour protéger la structure principale, doivent également pouvoir être remplacés au besoin afin d'assurer la durabilité de l'infrastructure.

Une inspection régulière permet de s'assurer de la performance des solutions constructives préconisées pour assurer la durabilité des éléments en bois, et d'identifier les besoins d'entretien et de nettoyage des débris.

3.9 Résumé des principes de conception assurant la durabilité

Plusieurs mesures peuvent être apportées dès l'étape de conception afin de prévenir la dégradation menant au fendillement et à l'apparition de 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 et sont habituellement plus difficiles à remplacer qu'un élément de protection comme le revêtement extérieur.

Afin de prévoir des lignes de défense efficaces contre l'humidité, des principes de base doivent être préconisés, incluant :

- la protection contre la présence d'eau et l'exposition aux effets du soleil ;
- la déviation de l'eau avant qu'elle ne touche la structure ;
- le drainage et le séchage rapide.

Ces principes fondamentaux mènent à une série de pistes à suivre lors de la conception de l'ouvrage et du suivi tout au long de sa vie utile. Ainsi, tout en s'adaptant aux conditions locales prévues, la durabilité d'un pont en bois peut être améliorée en :

- s'assurant qu'aucune source d'eau n'atteigne la structure, incluant la pluie poussée par le vent, la neige, le ruissellement et les éclaboussures ;
- prévoyant une protection respectant un angle vertical de 30° ;
- protégeant particulièrement les surfaces horizontales de la structure ainsi que les surfaces de contact « bois sur bois », par une membrane ou des solins ventilés ;
- protégeant spécifiquement les extrémités des membrures par protection géométrique ou physique (solins, cire, bouche-pore et/ou produit de finition) ;

- s'assurant que des rainures d'écoulement, appelées goutte d'eau, soient incluses dans les éléments de protection afin de briser la capillarité et d'éviter un écoulement de l'eau sur la surface du bois ;
- minimisant les contacts avec le sol et l'accumulation de résidus humides (sable, sol, végétation, fonte de neige excessive au printemps) ;
- assurant en tout point une bonne ventilation et un séchage rapide ;
- évitant de perforer les surfaces horizontales avec les attaches et autres systèmes d'attaches créant des voies d'entrées d'eau et en planifiant les changements volumétriques au niveau des systèmes d'attaches afin d'éviter le fendillement ;
- choisissant une essence de bois et un traitement adapté aux conditions d'utilisation ainsi que des produits de finition performants qui protègent le bois tout en évitant l'accumulation d'humidité entre un film de protection et le bois ;
- priorisant des patrons de découpe pour le gros bois d'œuvre qui évitent les contraintes de retrait-gonflement différentielles, comme le bois équarri sans présence du cœur dans la pièce (FOHC) ;
- planifiant le remplacement des éléments de protection sacrificiels, et en faisant l'inspection et l'entretien de façon régulière.

Aussi simple que ces quelques principes de base puissent paraître, il n'est pas toujours facile de les mettre en pratique dans la réalisation de structures extérieures. Des solutions adéquates doivent souvent être adaptées à chaque nouveau projet.

La section 4 propose des solutions adaptées spécifiquement aux ponts forestiers ou ponts sur chemins multiusages.

4 Recommandations pour la réalisation des ponts forestiers

Plusieurs ponts couverts d'autrefois, encore en service, démontrent la pérennité de ce type d'ouvrages (**Figure 22**). Quoique les charges et les usages aient changé avec le temps, les principes fondamentaux de durabilité ont permis à ces infrastructures de traverser les années, plus d'un siècle pour certains. De nos jours, sans nécessairement recourir à l'habillage complet des ponts, il est possible de s'inspirer de ces principes pour assurer la pérennité des ponts modernes en bois.



FIGURE 22 – Pont couvert de St-Placide construit en 1926
(Crédit : Pascal Conner)

La présente section étudie chaque partie d'une configuration standard de pont forestier en identifiant les principaux risques et en recommandant des solutions pertinentes.

4.1 Types de ponts

Les ponts forestiers, ou ponts sur chemins multiusages, servent principalement aux passages des transports forestiers et sont sous la responsabilité du MFFP. N'étant pas situés sur le réseau routier, ils ne sont pas régis par le MTQ.

Au Québec, ces ponts sont souvent des ponts à poutres droites supportant un platelage semi-étanche et reposant sur une fondation-caisson en bois traité (**Figure 23**). Pour les ponts en bois, l'approvisionnement des matériaux peut se faire en région et la

préfabrication du système confère un avantage économique, particulièrement pour les ponts de plus de 15 m. L'utilisation du bois réduit également l'empreinte carbone de ce type d'infrastructures. À proximité des agglomérations urbaines, lorsque l'enrobé bitumineux et le béton sont disponibles, un platelage étanche et/ou une fondation en béton peuvent être prévus afin d'augmenter la durée de vie de la structure (**Figure 24**).

Des ponts en arches sont aussi utilisés pour de plus grandes portées ou de plus grandes charges lorsque la configuration du site le permet. La hauteur disponible entre le niveau de l'eau et le tablier doit être suffisante pour y placer la structure. De plus, l'appui des arches doit se faire sur une fondation en béton afin de reprendre les importantes charges de compression latérales (**Figure 25**).

D'autres configurations plus complexes, comme les ponts à travées multiples, les ponts-trellis et les ponts couverts, pourraient aussi être envisagées dans des situations spécifiques, mais ne seront pas traitées spécifiquement dans ces recommandations.



FIGURE 23 - Pont de la rivière Cuvillier (Crédit photo: Adrien Williams)



FIGURE 24 - Pont de Sainte-Thècle (Source : Nordic Structures)



FIGURE 25 - Pont Sud de la Forêt Montmorency
(Crédit photo : Marc Robitaille)

4.2 Approches

Comme pour tout type de pont, il est important de prévoir une géométrie et des éléments de drainage aux approches d'un pont afin d'intercepter l'eau avant qu'elle n'atteigne le tablier et surtout pour éviter qu'elle n'y stagne (**Figure 26**). La gestion du ruissellement de l'eau aux approches du pont dépend du contexte. Lorsque les approches sont pavées, des dalots de drainage peuvent être envisagés. En forêt, sur une route de gravier, il importe de prévoir le ruissellement afin de concevoir des pentes et des devers qui limitent l'arrivée d'eau sur le pont et facilitent le drainage.



FIGURE 26 - Accumulation d'eau à l'approche
(Source : MFFP et Stantec[5])

4.2.1 Géométrie de la route

La géométrie de la route et de ses approches doit être planifiée afin de prévenir un mauvais drainage à l'entrée du pont. L'écoulement des eaux de surface et de ruissellement vers le pont peut causer de l'infiltration et une humidité accrue, principalement pour les poutres de rive et les assises. Entre autres, il est possible de s'assurer que le tablier ne soit pas le point bas de la route en remontant localement la structure afin de réduire l'apport d'eau de ruissellement.

4.2.2 Drainage

Des éléments de drainage aux approches du pont permettent d'intercepter l'eau avant qu'elle n'atteigne le tablier. Lorsque c'est possible, il est recommandé de compléter l'infrastructure par des puisards ou des dalots de drainage en enrobé localisés dans le remblai d'approche à l'arrière des culées (**Figure 27**).



FIGURE 27 - Dalot de drainage (Source : MTQ)

4.2.3 Profil du tablier

Le MTQ recommande un profil de chaussée ayant une pente longitudinale minimale de 0.5 % afin de permettre l'écoulement de l'eau de ruissellement. Il est également recommandé de prévoir une pente transversale minimale de 1 %. La mise en place d'une pente transversale est possible si le tablier est recouvert d'un enrobé bitumineux.

Une contre-flèche des poutres principales doit également être prévue afin d'éviter un affaissement longitudinal du tablier dû au fluage^[9]. Cette contre-flèche est spécifiée dans la norme CSA S6.

Comme discuté à la section 4.5.4, l'utilisation d'un platelage continu aux extrémités du tablier permet de limiter l'accumulation de débris sur les assises des unités de fondation.

Pour les ponts ayant une surface étanche, des drains de tablier doivent être prévus aux endroits appropriés en fonction de la pente et de la superficie du tablier. L'exutoire des drains doit être configuré de façon à éviter que des éléments du pont soient éclaboussés par l'eau. Une bonne pratique est de prévoir un allongement des drains de 150 mm sous les poutres. Lorsque des drains sont au-dessus du sol, celui-ci doit être protégé par un enrochement afin d'éviter son érosion^[9].

4.2.4 Nettoyage annuel

Le transport de sédiments peut provoquer des accumulations de terre et de débris sur le tablier, gardant une humidité élevée autour des éléments en bois (**Figure 28**). Cette problématique affecte les ponts acier-bois comme les ponts en bois et a surtout été observée sur les ponts utilisés l'hiver.

Une inspection et un nettoyage annuel du tablier et des dalots de drainage doivent donc être prévus à chaque printemps afin de s'assurer de dégager tous les sédiments qui pourraient s'être accumulés en cours d'année.



FIGURE 28 - Accumulation de débris sur le tablier (Source : MFFP)

4.2.5 Pavage de l'approche

La pose d'un enrobé bitumineux sur 15 m de longueur aux deux approches du pont peut permettre de limiter le transport de matériaux granulaires (**Figure 29**). La géométrie doit cependant être bien conçue pour ne pas diriger l'eau de ruissellement vers le pont. Cette suggestion, qui s'applique également aux ponts acier-bois, peut être envisagée lorsque le pont se situe à proximité d'une agglomération urbaine et que l'approvisionnement en enrobé bitumineux est simple.



FIGURE 29 - Approche avec enrobé bitumineux (Source MFFP)

4.3 Culées de fondation (appuis)

Les culées doivent supporter les charges aux appuis de la structure et garantir la stabilité de l'ouvrage. La culée de fondation supporte aussi la transition entre la route et le tablier du pont. Il est donc important d'assurer un bon alignement entre le niveau de la route et celui du tablier (**Figure 30**). La transition entre la route et le tablier est aussi un point critique concernant l'arrivée d'eau et de débris sur la structure du pont. La section 4.5.4 suggère un détail afin de limiter ce risque.



FIGURE 30 - Assurer un bon alignement du tablier et de la culée (Source : Nordic Structures)

4.3.1 Culées en bois traité

Au Québec, les ponts forestiers sont régulièrement supportés par des culées en bois traités (**Figure 31**). Il existe deux types de culée en bois traité sur le domaine forestier : les culées ajourées, qui sont habituellement prévues lors de la conception de ponts supportant moins de 75t, selon un camion CF3E, et les culées fermées sur trois faces pour les ponts supportant plus de 75t^[11].

Les plans types du MTQ et l'annexe 12 du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État (RADF)* du MFFP offrent des indications et de bons exemples de plans types de culées en bois traité^{[9][12]}.

Il importe de s'assurer de la qualité de construction, de la qualité du drainage, de la profondeur par rapport au gel ainsi que du niveau de la culée afin que celui-ci soit bien aligné avec le tablier du pont.



FIGURE 31 – Culée ajourée en bois traité (Source : MFFP)

4.3.2 Culées en béton

Des culées en béton, habituelles pour les ponts routiers, peuvent aussi être utilisées pour les ponts forestiers en bois. Les ponts en arches sont habituellement supportés par une culée en béton pour reprendre les efforts de compression (**Figure 32**). Il importe de s'assurer d'un bon drainage de l'eau afin qu'elle ne soit pas dirigée vers les arches en bois.



FIGURE 32 - Culée en béton supportant les arches

4.4 Structure principale

Les éléments de la structure principale du pont sont prioritaires pour assurer sa longévité. Ils devraient donc bénéficier d'une protection adaptée contre les intempéries et l'accumulation d'humidité, en plus d'être protégée par un produit de finition performant.

Les méthodes de protection du bois doivent toujours être conçues pour :

- protéger la structure contre la pluie et les rayons UV (règle du 30°);
- assurer une bonne ventilation et un séchage rapide;
- ne pas nuire à l'écoulement de l'eau et des débris;
- ne pas nuire à l'inspection des éléments structuraux.

4.4.1 Poutres droites

Il est primordial de protéger le dessus des poutres afin d'éviter toute accumulation d'eau sur la surface horizontale ainsi que les coulées d'eau répétitives sur le côté des poutres. De plus, la protection doit éviter que la pluie poussée par le vent et les rayons UV n'atteignent les poutres. Un **platelage étanche** protège généralement bien les poutres s'il offre un porte-à-faux suffisant. Il a été observé qu'un **platelage semi-étanche**, formé de madriers de roulement posés côte à côte et d'une membrane d'étanchéité posée au-dessus des poutres, permet également d'offrir une protection adéquate si le porte-à-faux est suffisant.

Platelage étanche

Lorsqu'un platelage étanche en bois lamellé-collé est utilisé, une membrane d'étanchéité et un revêtement bitumineux assurent la protection du platelage et des poutres. La largeur du platelage devrait être suffisante pour respecter la protection selon un angle de 30° (**Figure 33 a**). Si un dispositif de retenue homologué est nécessaire, il peut être difficile de prévoir un porte-à-faux de la dalle supérieur à 457 mm. Une protection additionnelle, tel un solin plus haut, doit alors être prévue (**Figure 33 b**).

Il importe de vérifier auprès du client que la solution de protection proposée n'influence pas la performance du système de retenue.

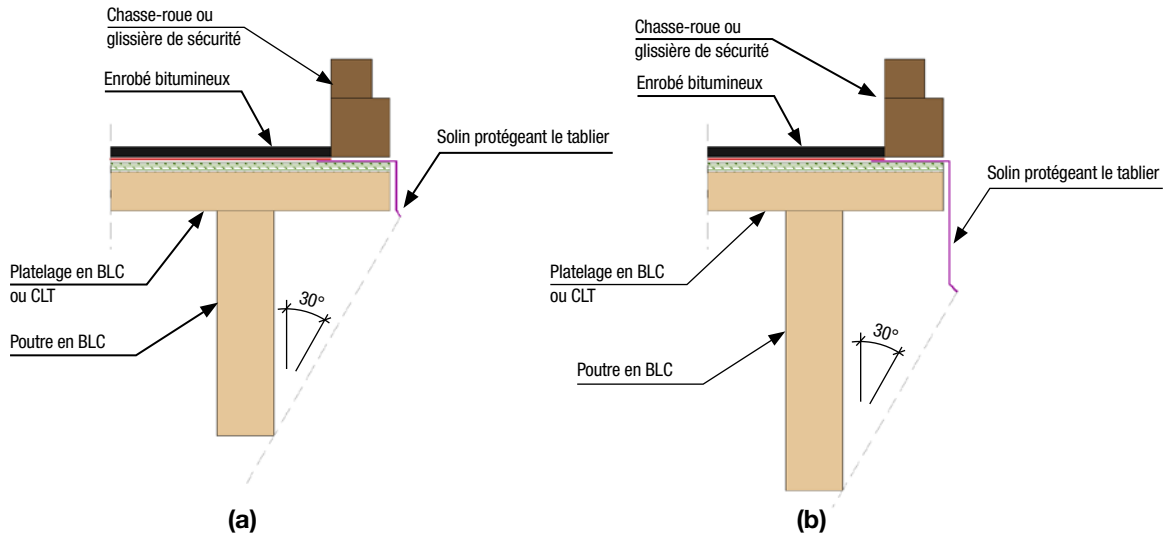


FIGURE 33 - Protection de la poutre de rive (a) par un platelage étanche surplombant la poutre avec un angle de 30° ou (b) par un solin plus long si le porte-à-faux est insuffisant

Platelage semi-étanche

Si le platelage est formé de madriers posés côte à côte, une membrane ou un solin doit être ajouté au-dessus de chaque poutre (Figure 34 et Figure 35). Une membrane d'étanchéité résistante, de type SOPRALENE HR GR, dépassant la poutre d'un minimum de 15 mm de part et d'autre et protégée par un contreplaqué traité permet d'assurer que l'eau déviée ne coule pas sur la surface de la poutre. Un débord de la membrane d'étanchéité de 15 mm est préconisé, même si celui-ci risque d'être légèrement endommagé localement par les élingues lors du levage des poutres. La membrane d'étanchéité ne doit pas être sur le dessus du contreplaqué, car elle serait facilement endommagée lors de l'installation des traverses et l'eau pourrait être emprisonnée sous la membrane.

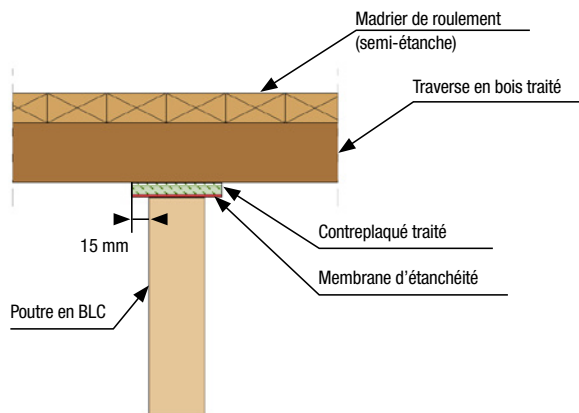


FIGURE 34 – Protection par membrane d'étanchéité au-dessus de chaque poutre

Le solin doit également avoir un profilé qui permet d'éloigner la goutte d'eau de la surface latérale de la poutre. Il doit aussi assurer une ventilation adéquate et permettre l'inspection.

Comme illustrée à la section 3.6.3, les poutres de rive sont plus exposées à la pluie et aux rayons UV, et sont donc plus vulnérables. Comme montré à la figure 11, le positionnement des traverses en quinconce n'offre pas la protection nécessaire, à moins que l'espace entre les blocs du chasse-roue ne soit comblé entièrement.



FIGURE 35 - Solin de protection métallique au-dessus de chaque poutre (Source : Forêt Montmorency)

Lorsque les poutres ne sont pas trop hautes, le platelage en porte-à-faux peut permettre de protéger la structure selon un angle de 30° par rapport à la verticale. Les traverses et la surface de roulement en bois traité doivent cependant être continues sur toute la longueur requise. Pour assurer cette longueur de protection, l'espace entre les blocs du chasse-roue doit donc être

comblé par un madrier de roulement entre les blocs du chasse-roue (**Figure 36a**) ou par un madrier de roulement continu sous les blocs du chasse-roue (**Figure 36b**). Il est aussi possible d'augmenter le nombre de traverses afin de pouvoir les coller les unes aux autres pour offrir une protection continue

(**Figure 36c**). Selon la longueur du porte-à-faux et les charges de conception requises, cette option peut s'imposer en raison de sa simplicité. **Il importe de vérifier auprès du client que la solution de protection proposée n'influence pas la performance du système de retenue.**

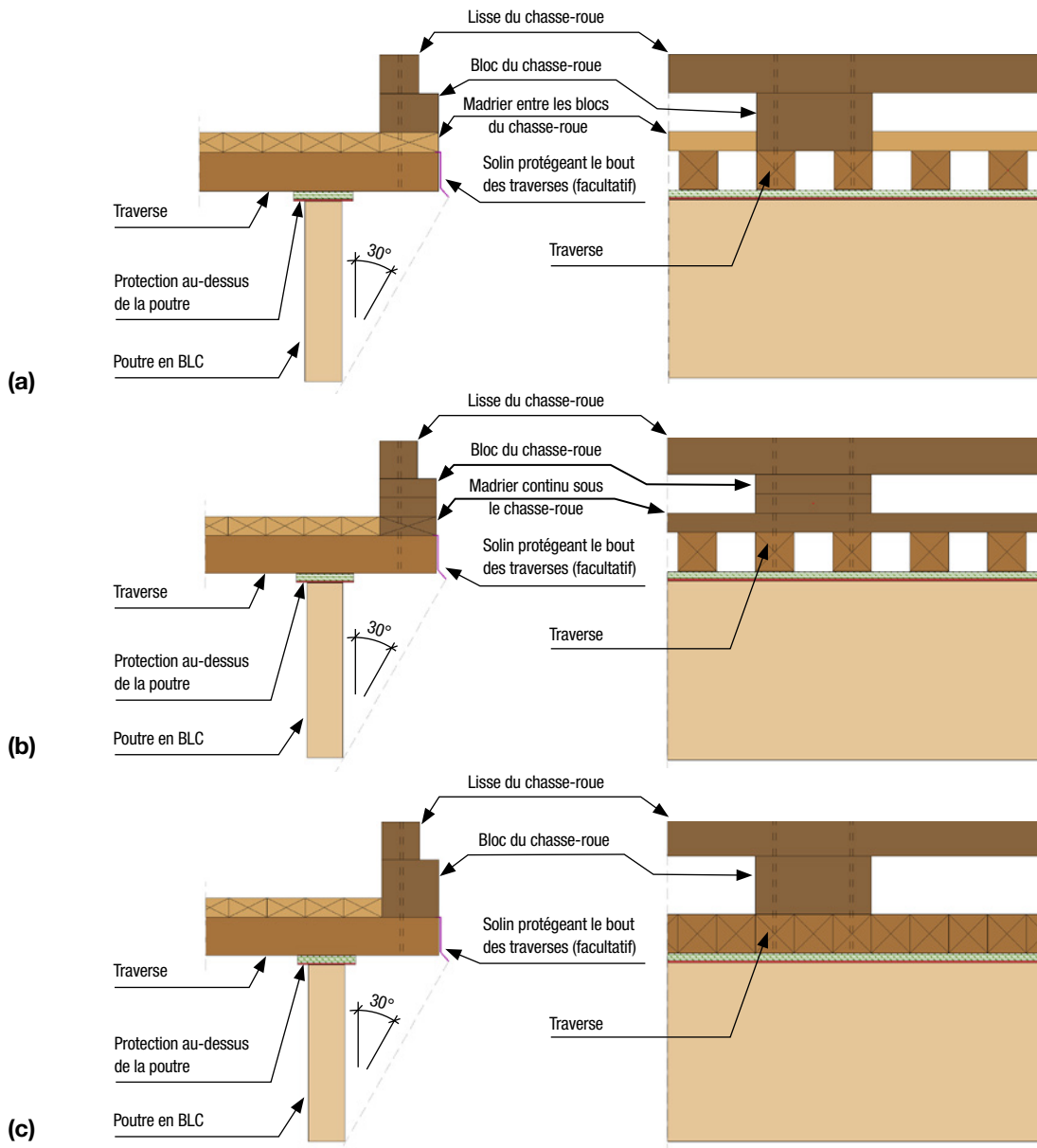


FIGURE 36 - Protection de la poutre de rive avec (a) un madrier de roulement entre les blocs de chasse-roue, (b) un madrier de roulement continue sous les blocs de chasse-roue ou (c) les traverses placées côte à côte.

Lorsque le porte-à-faux ne permet pas de respecter la règle du 30°, l'installation d'éléments de protection verticaux comme un solin, ou autre protection efficace, doit être prévue pour protéger la structure (**Figure 37**). L'espace entre les blocs du chasse-roue doit également être comblé pour offrir une protection continue. L'utilisation de solins doit toujours être faite avec précaution afin de s'assurer qu'il soit bien ventilé, que l'eau déviée ne soit pas dirigée vers un autre élément en bois et que la protection ne nuise pas à la performance du système de retenue ou à l'inspection des éléments structuraux.

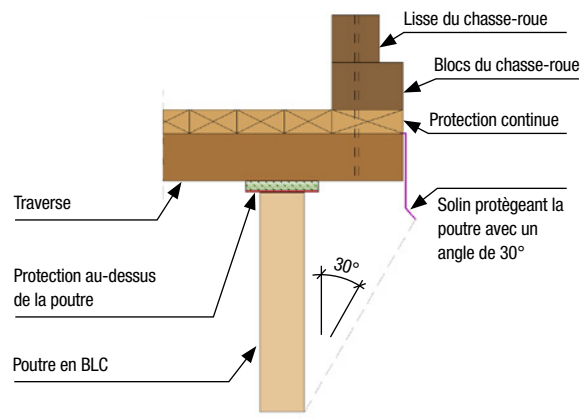


FIGURE 37 - Protection de la poutre de rive par la règle du 30° avec solin vertical plus haut

La **figure 38** présente un autre exemple où un solin, ajouté pour cacher un tuyau traversant le long du pont, joue également un rôle de protection de la poutre de rive. Dans d'autres cas, un revêtement extérieur ventilé peut être ajouté sur la poutre de rive afin d'en assurer la protection (**Figure 13**).



FIGURE 38 - Élément de protection sacrificiel et facilement démontable.

4.4.2 Poutres en arche

La protection des poutres en arches demande une attention particulière. Comme le bas des arches s'éloigne du platelage, il devient plus difficile de fournir une protection par le platelage qui respecte la règle du 30°. Les éléments sans protection, qui sont soumis régulièrement aux intempéries et aux rayons UV, subissent une dégradation relativement rapide (**Figure 10**).

Dans un premier temps, l'agencement entre les poutres droites et les poutres en arches doit être prévu pour garder les poutres en arches le plus possible vers l'intérieur (**Figure 39**). Ainsi, les poutres en arche ne se retrouvent pas en poutres de rive.

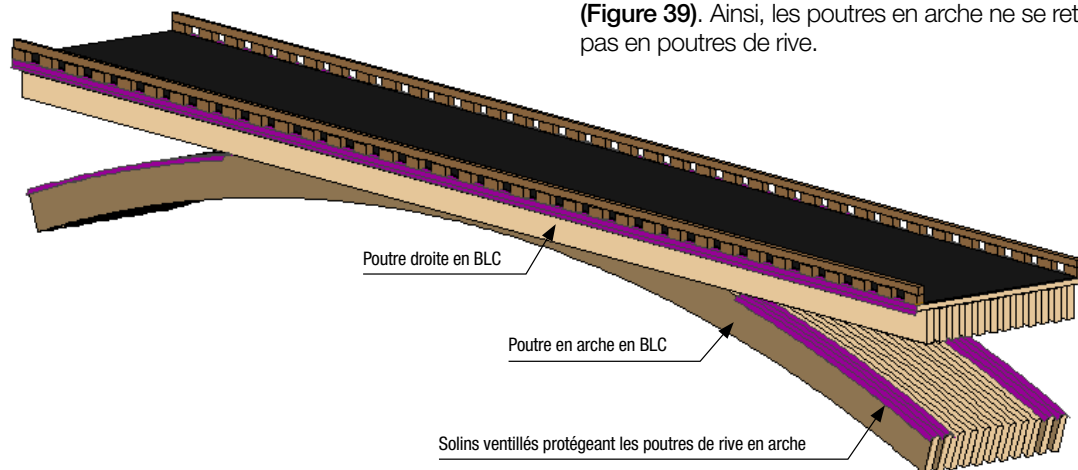


FIGURE 39 - Agencement des arches favorisant une meilleure protection

Le dessus des poutres en arche qui ne bénéficient pas d'une protection respectant la règle du 30°, doit être protégée avec un solin ventilé ou une membrane avec gravillon (**Figure 40**). De plus, comme le côté des poutres en arches est moins bien protégé, un produit de finition opaque à haute performance doit être utilisé.

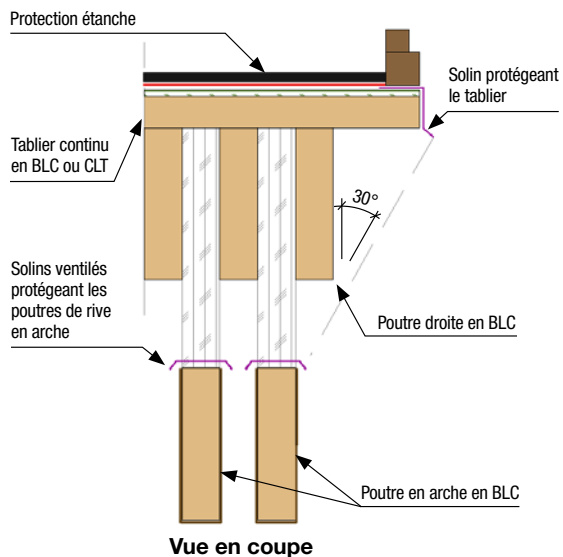


FIGURE 40 - Solins ventilés protégéant les poutres en arche

Comme l'élément de protection ne doit pas nuire à l'inspection de la structure, la présence d'un solin qui ne peut pas être retiré facilement par les inspecteurs doit être approuvée par le propriétaire.

Il est important de prévoir des espaceurs entre les poutres droites et les poutres en arches afin de permettre un espace de ventilation entre ces éléments.

4.4.3 Poutres-caissons

L'utilisation de poutres-caissons fermées en bois est à éviter. L'intérieur de ces éléments structuraux présente peu de ventilation et une humidité relative élevée. Également, ils présentent fréquemment des problèmes de drainage associés à une conception inadéquate ou bien à l'accumulation de débris qui obstrue les trous de drainage.

L'assemblage de groupes de poutres en usine est cependant une solution qui peut être préconisée pour assurer une rapidité d'érection de la structure et faciliter un contrôle de la qualité du montage (**Figure 41**). Ce type d'assemblage ne créant pas de caissons fermés, il ne nuit pas au séchage de la structure ni à l'inspection du pont.



FIGURE 41 - Groupe de poutres droites préassemblées en usine (Crédit : Marc Robitaille)

4.4.4 Appuis sur les culées

Les appuis des poutres sur les culées sont des endroits particulièrement sensibles. D'une part, le bois de bout, à l'extrémité des poutres, est plus susceptible d'absorber l'humidité. D'autre part, la surface horizontale de la culée est propice à l'accumulation d'eau et de débris qui conserve de l'humidité autour des poutres. Et finalement, les assemblages créent des irrégularités qui représentent des entrées d'eau potentielles dans le bois.

Protéger les extrémités des poutres

Les extrémités des pièces de bout coupées en usine ou au chantier devraient être revêtues de deux couches d'un bouche-pores de cire, d'un revêtement de protection hydrofuge ou d'un protecteur à base de cuivre pénétrant.

Éviter l'écoulement de l'eau et l'accumulation de débris

La présence d'eau et de débris aux appuis est la principale cause de gonflement et de retrait du bois de bout qui entraîne la fissuration au niveau des attaches, la dégradation des finis de surface et, éventuellement, un phénomène de pourriture.

Comme discuté à la section 4.2, une configuration permettant un drainage efficace à l'approche du pont doit être réalisée et entretenue afin de limiter l'arrivée d'eau et de débris.

De plus, l'espacement entre le platelage et la culée provoque l'entrée d'eau et de débris. Ces débris peuvent s'accumuler aux appuis et garder de l'humidité autour des poutres (**Figure 42**). Quoique l'extrémité des poutres doit être ventilée pour éviter d'emprisonner l'humidité, le platelage doit être conçu pour remplir cet espacement et prévenir le passage de débris (Section 4.5).



FIGURE 42 - Espace entre la culée et le platelage créant une accumulation de débris

Dans les culées en béton, un muret de côté est parfois prévu à l'appui pour protéger les poutres (**Figure 43**). Ce détail peut être pertinent s'il ne cause pas d'accumulation d'eau ou de débris et ne nuit pas à l'entretien et à l'inspection.



FIGURE 43 - Muret de béton protégeant les appuis

Surélever les appuis des poutres sur la fondation

Les appuis des poutres principales sur les fondations doivent être conçus afin que la poutre demeure sèche et hors de contact avec les débris, le sable, la neige et la glace. Un assemblage bien conçu avec une plaque d'appui permet :

- de surélever les poutres au-dessus d'une possible accumulation d'eau ou de débris ;
- de couper les remontées d'humidité provenant de la fondation ;
- d'éviter que l'eau qui tombe sur la surface horizontale adjacente éclabousse le côté des poutres ;
- d'assurer une bonne ventilation pour un assèchement rapide.

Une surélévation minimale sous la poutre de 25 mm doit être respectée. Différentes solutions de plaques d'appui peuvent être envisagées. La plaque d'acier faisant partie de l'assemblage peut être suffisante si elle est assez épaisse. Les appuis en néoprène sont très performants pour les ponts de longue portée, mais sont assez dispendieux (**Figure 44** et **Figure 45**). Des plaques d'appuis en nylon permettent un bon transfert des charges, sont beaucoup plus économiques et permettent de couper la remontée de l'eau par capillarité.



FIGURE 44 - Appui surélevé et bien ventilé gardant le bois éloigné de l'eau

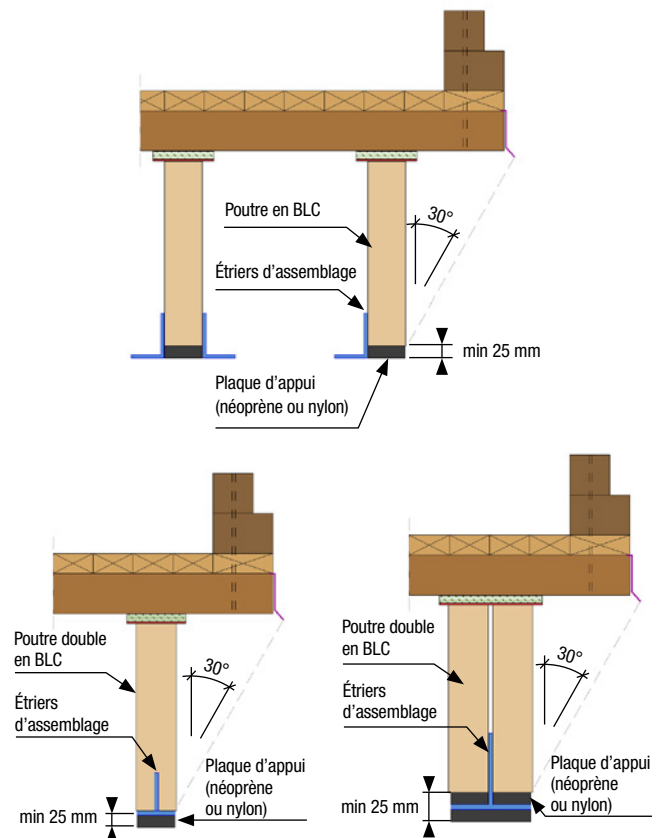


FIGURE 45 - Exemples d'appuis surélevés

Dans tous les cas, la plaque d'appui ne devrait pas dépasser la largeur de la poutre pour éviter l'accumulation d'eau en contact avec le bois. L'utilisation de cornières d'assemblage standard fourni par les fabricants de bois lamellé-collé sont à préconiser pour réduire le coût de l'assemblage.

L'utilisation de contreplaqué comme plaques d'appui des poutres principales **n'est pas une solution durable**, car celui-ci retient l'humidité et entraîne la dégradation prématurée des poutres en bois.

Assurer une bonne ventilation

Les détails préconisés doivent assurer une bonne ventilation autour des poutres. Ils doivent aussi permettre l'inspection et l'entretien.

Nettoyage annuel

Un nettoyage annuel du gravier autour des appuis des poutres permet de s'assurer une durabilité à long terme. Les ponts très fréquentés ou utilisés pendant la période hivernale sont plus susceptibles de subir une accumulation de gravier.

4.4.5 Assemblages

Les assemblages créent des percements dans le bois qui peuvent laisser entrer l'eau dans la poutre, en plus de provoquer des points d'accumulation de l'humidité.

Protéger les assemblages

La présence d'eau génère des cycles de gonflement et de retrait qui peuvent créer des fendillements au niveau des assemblages boulonnés (**Figure 46**). Les assemblages près de l'extrémité des poutres sont particulièrement susceptibles en raison de l'absorption accrue par le bois de bout. Une attention particulière doit être portée afin de minimiser ces cycles qui ont un impact majeur sur la capacité de l'assemblage boulonné. Une protection physique qui protège les poutres et les assemblages contre la présence d'eau minimise ce phénomène.



FIGURE 46 - Assemblages boulonnés endommagés par le gonflement du bois

Éviter l'écrasement au droit des boulons

Des instructions relatives au serrage des boulons et une dimension de rondelles suffisante sont recommandées pour éviter l'écrasement des fibres du bois au droit des boulons. Des plaques plus larges pourraient aussi être envisagées sous les rondelles.

Il est suggéré de préconiser des têtes de boulons de type « timberbolt » sur les faces apparentes pour éviter toute accumulation d'eau.

Le bois lamellé-collé utilisé à l'extérieur ayant généralement tendance à prendre de l'expansion après la fabrication, le serrage devrait être minimal.

Limiter les assemblages verticaux

Il est important d'éviter tout percement vertical, à moins qu'il ne soit scellé, car la percolation de l'eau par gravité devient possible.

Préconiser les entailles et les percements vers le haut

Les entailles devraient toujours se faire vers le haut afin que la partie supérieure de la poutre reste entière. On évite ainsi de laisser entrer l'eau le long de la plaque d'assemblage (**Figure 47**).



FIGURE 47 - Protection des entailles

4.4.6 Diaphragmes

Dans la conception des ponts, les diaphragmes sont des éléments transversaux qui relient les poutres principales entre elles en offrant un support latéral. En plus d'être bien protégés, les diaphragmes doivent être assemblés solidement sans provoquer d'entrées d'eau additionnelle ni limiter l'assèchement par ventilation.

Installation des diaphragmes

L'installation des diaphragmes à l'aide de cornières d'acier est simple à réaliser en chantier (**Figure 48**). Une bonne pratique est de séparer en deux (haut et bas) les cornières afin d'éviter la fissuration du bois causée par le retrait différentiel entre les diaphragmes et l'acier, ainsi qu'entre les poutres droites et l'acier. Toutefois, cette pratique n'est pas répandue pour des raisons d'installation. Aucun problème de différentiel de retrait n'a été observé sur les ponts inspectés et les diaphragmes étaient en excellent état^[5].

Les diaphragmes peuvent aussi être assemblés entre deux poutres à l'aide de tiges en acier passant à travers le diaphragme. Une installation en quinconce peut alors être requise (**Figure 49**).



FIGURE 48 - Assemblages avec des cornières



FIGURE 49 - Assemblage des diaphragmes en quinconce

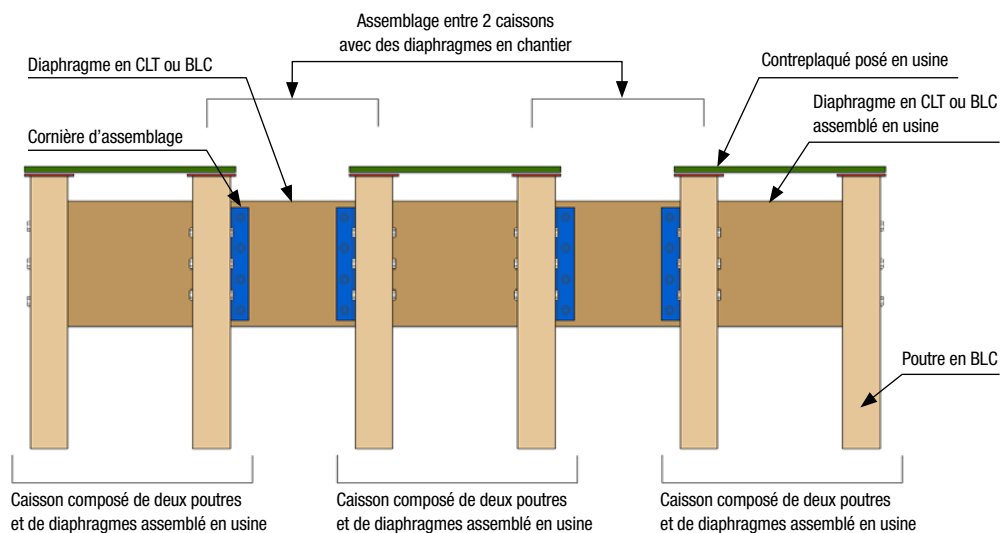


FIGURE 50 - Assemblages hybrides des diaphragmes par deux (Adapté de Nordic Structures)



FIGURE 51 - Assemblages hybrides des diaphragmes par trois
(Source : Nordic Structures)

Protection des diaphragmes

Lorsque le platelage est semi-étanche, le dessus des diaphragmes doit être protégé, au même titre que les poutres principales. L'ajout d'une membrane d'étanchéité peut être efficace. Il est primordial de concevoir un détail qui évite que l'eau s'infilte dans le joint entre le diaphragme et la poutre. L'étanchéité du joint pourrait inclure l'ajout d'un scellant (**Figure 52**). Lorsque des poutres sont assemblées en usine et que des diaphragmes sont ajoutés entre les modules au chantier, un détail adapté doit être prévu afin d'assurer une bonne étanchéité ainsi qu'une ventilation adéquate.

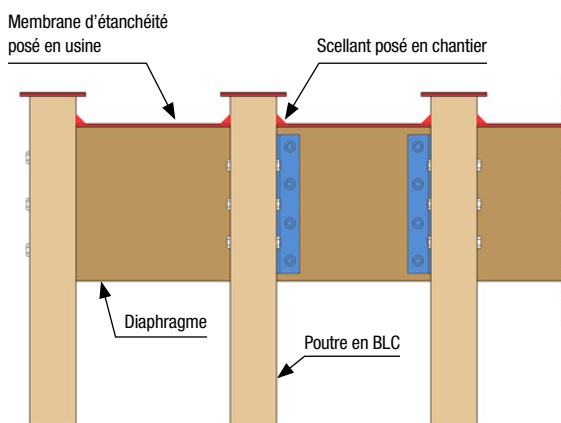


FIGURE 52 - Protection des diaphragmes

Espaceurs entre les diaphragmes et les poutres

Des plaques de séparation entre la poutre et le diaphragme peuvent être ajoutées pour éviter l'accumulation d'humidité entre les éléments (**Figure 53**). Toutefois, les diaphragmes sans espaceurs se comportent très bien si le platelage est étanche ou si une protection est prévue au-dessus des diaphragmes et des poutres.



FIGURE 53 - Assemblages de diaphragmes ventilés (facultatif)

4.4.7 Matériaux

Le bois lamellé-collé utilisé pour la structure doit être conforme aux normes de fabrication CSA O122 ou ANSI A190.1^[8]. Il est préférable de spécifier une classe d'aspect Commercial (CSA O122) ou Industriel (ANSI A190.1) lorsque l'apparence a peu d'importance, comme c'est généralement le cas pour les ponts forestiers. Une classe d'aspect Qualité (CSA O122) ou Architectural (ANSI A190.1) peut également être demandée lorsqu'une apparence plus finie est recherchée.

4.4.8 Produits de finition

Outre une protection physique, les membrures en bois lamellé-collé doivent être protégées par un produit de finition adapté. Deux couches d'un produit de finition pénétrant à l'huile et à la résine, prévu pour une utilisation extérieure afin de rendre le bois hydrofuge, additionné d'une couche d'un produit résistant à l'usure et offrant une protection anti-UV, ont démontré une bonne protection. **Les fournisseurs de produits de finition reconnus peuvent être consultés afin de connaître les dernières formulations les plus performantes.** Il est généralement recommandé de prévoir des produits de finition pénétrant, et non filmogène, pour éviter d'emprisonner l'humidité entre le bois et la couche de finition.

Il est également recommandé d'opter pour une finition opaque qui offre une meilleure durabilité que la finition semi-translucide, en raison d'une plus grande concentration de pigments (**Figure 54**).



FIGURE 54 - Poutres en bois lamellé-collé peintes avec un produit opaque (Source : Nordic Structures)

4.5 Platelage

En plus d'offrir la surface de roulement, le platelage joue un rôle de protection important pour la structure principale d'un pont en bois. La configuration du platelage diffère entre les platelages étanche et semi-étanche.

4.5.1 Platelage étanche

Au Québec, les platelages étanches sont généralement composés d'un platelage en bois lamellé-collé ou en CLT recouvert d'une membrane d'étanchéité et d'un enrobé bitumineux. Il est recommandé d'appliquer la membrane d'étanchéité, de type SOPRALENE STICK HR GR, sur un contreplaqué traité afin de faciliter la rénovation ultérieure du pont. Ainsi, le changement de membrane ne nécessitera de changer que le contreplaqué et non le platelage au complet. Un solin de chaque côté du platelage est nécessaire pour assurer la continuité et empêcher l'eau de dégouter sur le platelage (**Figure 55**). Comme mentionné à la section 4.4, le solin doit être d'une hauteur suffisante pour protéger les poutres selon la règle du 30° (**Figure 56**).

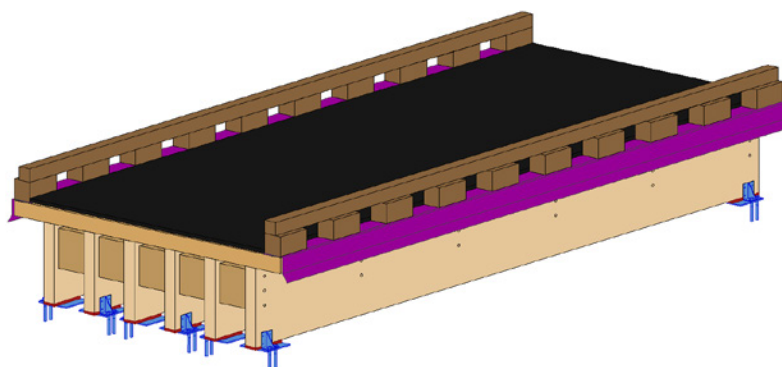


FIGURE 56 - Pont à platelage étanche



FIGURE 55 - Solin protégeant le platelage

Le platelage est fixé sur les poutres à l'aide de vis structurales par le dessus. L'étanchéité doit être assurée au niveau des percements de la membrane.

4.5.2 Platelage semi-étanche

Le platelage semi-étanche est composé de traverses en bois traité, généralement espacées de 400 mm, et recouvertes de madriers de roulement en bois traité (**Figure 57**). Pour les ponts en bois, les madriers de roulement doivent recouvrir l'ensemble du tablier, et non seulement les voies de roulement.

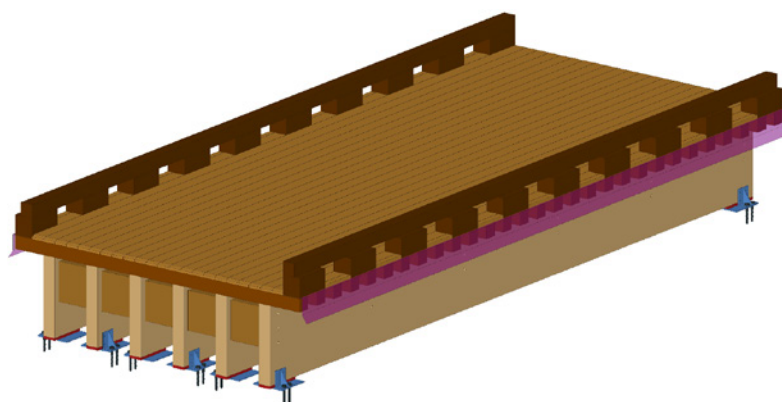
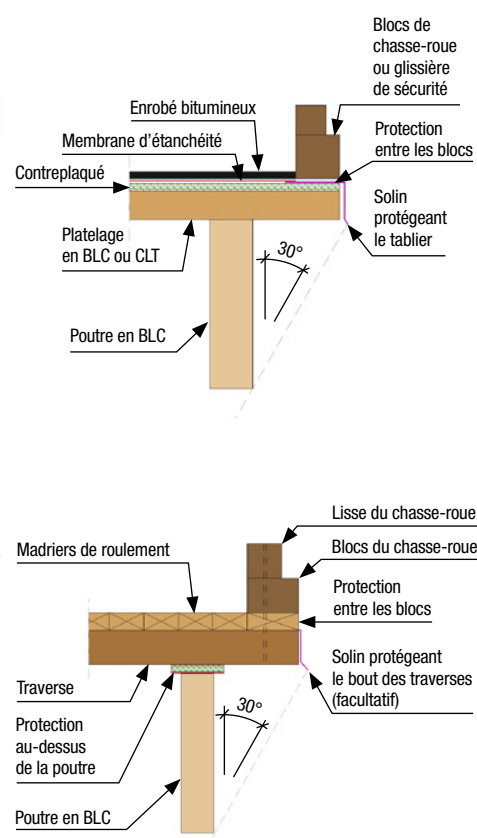


FIGURE 57 - Pont à platelage semi-étanche



Les traverses sont fixées sur les poutres à l'aide de vis auto-taraudeuses qui passent à travers une membrane d'étanchéité autoscillante posée sur chaque poutre. Les madriers de roulement sont fixés sur les traverses à l'aide de tire-fonds en utilisant un préperçage de diamètres différents pour la tête et pour la

tige, afin d'éviter que la tête du tire-fond soit en saillie (Figure 58a et 59a). Il est aussi possible d'utiliser des vis auto-taraudeuses de type Heco pour fixer les madriers de roulement. Ces vis doivent être prévues en plus grande quantité mais ne requièrent pas de préperçage (Figure 58b et 59b).

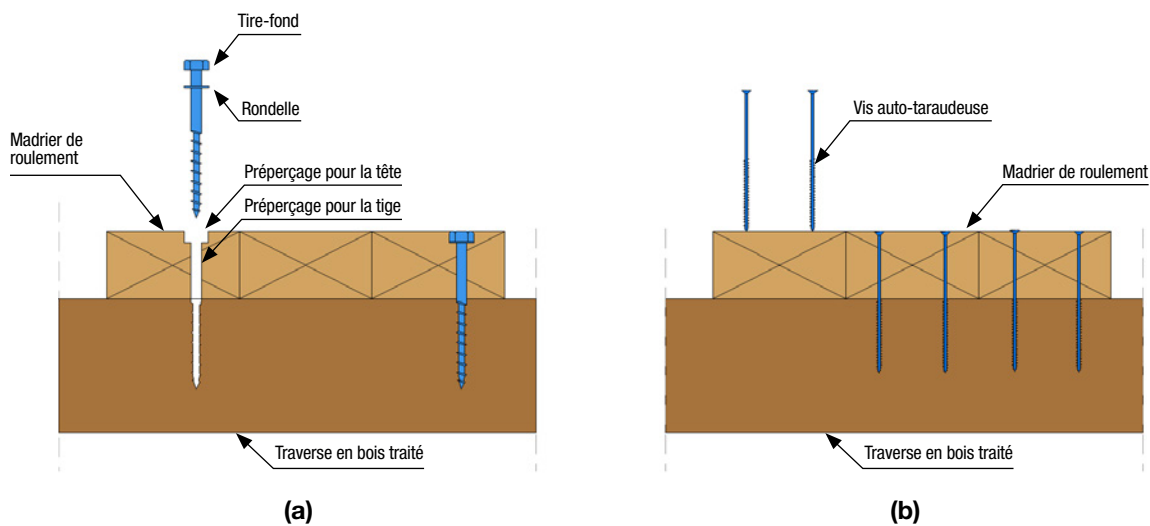


FIGURE 58 Fixation des madriers de roulement avec (a) tire-fonds et (b) vis auto-taraudeuses (Source : Nordic Structures et D. Lefebvre)

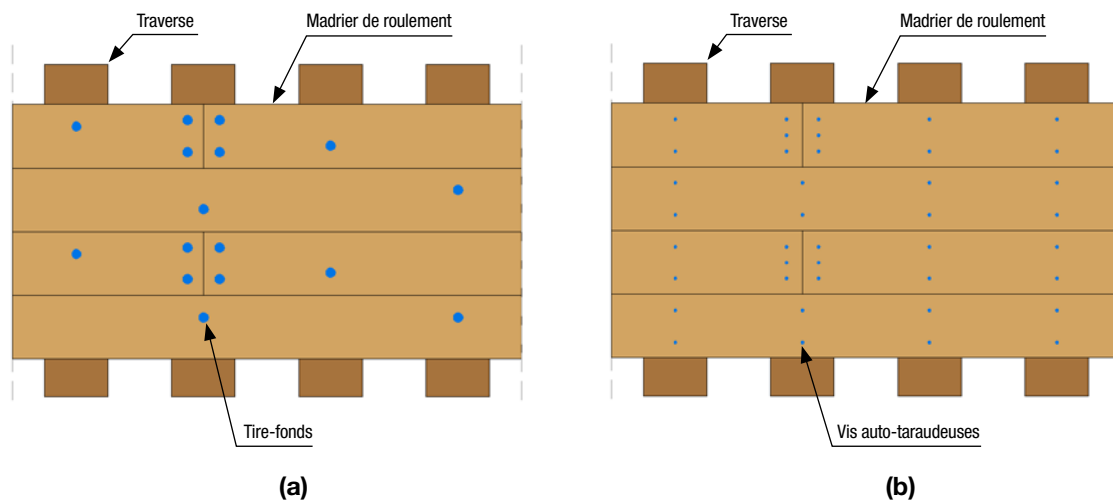


FIGURE 59 - Exemple de patron de pose pour des (a) tire-fonds et (b) vis auto-taraudeuses (Source : Nordic Structures et D. Lefebvre)

4.5.3 Continuité du platelage sur toute la largeur du pont

Comme discuté à la section 4.4, même si une protection additionnelle est appliquée sur le dessus de chaque poutre, il est primordial que le platelage soit continu afin de protéger le côté des poutres de rive selon la règle du 30°. Si les blocs de chasse-roues ne peuvent être installés au-dessus des madriers de roulement, des éléments doivent être ajoutés entre les blocs pour assurer la continuité.

Si une glissière de sécurité est requise, le concepteur doit s'assurer que le porte-à-faux du platelage ne dépasse pas la longueur maximale autorisée pour assurer la résistance de reprise des charges d'impacts sur la glissière. Pour le système utilisé au MTQ, la longueur maximale du porte-à-faux est de 457 mm^[9].

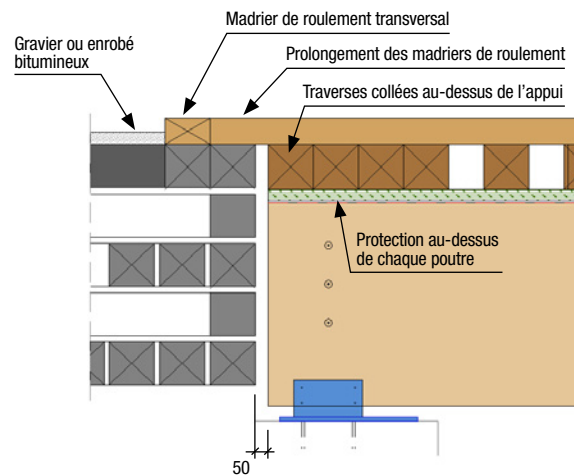


FIGURE 60 - Continuité du platelage et ajout d'un madrier transversal

4.5.4 Continuité du platelage aux appuis

Comme discuté à la section 4.4.4, le platelage doit donc être conçu pour ne pas laisser d'espace vide entre le garde-grève et l'extrémité du platelage, afin de prévenir la chute de débris. Pour les platelages étanches, un joint prescrit par le MTQ peut être utilisé.

Pour les platelages semi-étanches, une solution consiste à coller les 4 premières traverses au niveau de l'appui, à poser les madriers de roulement sur toute la largeur du platelage et à les prolonger de 200 mm aux approches en les appuyant sur le caisson de fondation. Un madrier transversal est installé au-dessus du garde-grève de la culée, en contact avec le bout du platelage. Ce madrier protège le bout du platelage et peut être facilement remplacé s'il y a un accroc lors de l'entretien du chemin (Figure 60).

Dans une situation particulière où un tel espace ne peut être comblé par le platelage, l'ajout d'une chute à débris est un détail qui a déjà été éprouvé pour maintenir la zone d'appui propre et sèche (Figure 61).

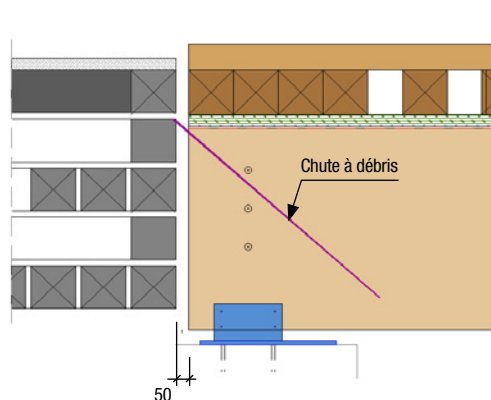


FIGURE 61 - Ajout d'une chute à débris entre les poutres



4.5.5 Glissières et chasse-roues

Sur les ponts forestiers, la délimitation de la surface de roulement est habituellement faite par des chasse-roues. Étant exposée directement aux intempéries et aux chocs en service, l'utilisation de bois traité est recommandée pour assurer une meilleure durabilité. L'assemblage entre les chasse-roues et les madriers doit prévoir un écoulement efficace de l'eau afin de ne

pas retenir d'humidité (**Figure 62**). De plus, il doit être facile à démonter les chasse-roues pour permettre leur remplacement au cours de la vie utile du pont. S'ils ne sont pas endommagés prématurément, les chasse-roues sont habituellement remplacés en même temps que la surface de roulement.

Lorsque des glissières de sécurité sont requises, les recommandations du MTQ peuvent être utilisées pour leurs spécifications^[9].

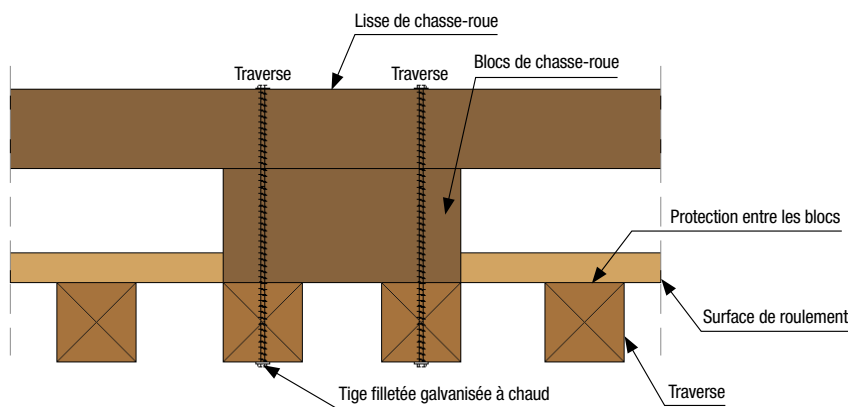


FIGURE 62 - Exemple de fixation du chasse-roue

5 Entretien

L'inspection régulière d'une charpente de pont est une obligation pour les propriétaires d'ouvrages. Pour les ponts multiusages, la situation actuelle est complexe, car il s'agit d'un contexte utilisateur-payeur. L'industrie qui occupe le secteur doit s'assurer de l'entretien des ponts. Le mandat du MFFP est d'évaluer la capacité portante et d'afficher la signalisation.

Il est donc suggéré d'assurer au minimum deux inspections au cours de la première année afin de déceler tous défauts ou problématiques de fabrication. Par la suite, une inspection sommaire et un nettoyage des débris devraient se faire annuellement, particulièrement pour les ponts ayant un platelage semi-étanche.

Le produit de finition doit également être réappliqué sur la structure selon les recommandations du fournisseur. La réalisation des bons détails de protection suggérés dans ce guide devrait également permettre de mieux protéger la surface du bois et de limiter la détérioration du produit de finition.

Certains éléments comme les chasse-roues et les dispositifs de retenue doivent avoir été conçus pour pouvoir être facilement remplacés au cours de la vie utile de la structure.

Les traverses et les madriers de roulement seront également remplacés au besoin. Lors du remplacement des traverses, le contreplaqué et la membrane d'étanchéité de type SOPRALENE STICK HR GR qui protègent les poutres principales peuvent être remplacés s'ils ont été altérés par les charges lourdes ou répétitives.

Les éléments de protection latérale, conçus pour protéger la structure principale, doivent également être remplacés au besoin afin d'assurer la durabilité de l'infrastructure.

Une inspection régulière permet de s'assurer de la performance des solutions constructives préconisées pour assurer la durabilité des éléments en bois, et d'identifier les besoins d'entretien et de nettoyage des débris.

Lorsqu'une problématique pouvant mener à la pourriture est observée, le premier correctif consiste à s'assurer d'ajouter une protection physique qui préviendra le problème d'humidité, tout en ne nuisant pas à la ventilation. Dans certaines situations, des tiges de borates peuvent être utilisées pour prévenir la pourriture du bois. Il n'est plus possible d'appliquer un traitement du bois de façon efficace à l'extérieur d'une usine, comme dicté par la norme CSA O80.

De façon générale, l'entretien d'un pont devrait inclure :

- le nettoyage de débris, de sable, de terre et de végétation près ou en contact avec les surfaces ;
- la correction de tout défaut de drainage pouvant entraîner de l'eau à entrer en contact avec le bois de façon régulière et permanente ;
- l'inspection de la qualité du bois aux appuis, aux points d'attache et de tout autre point d'intérêt ;
- l'analyse et la protection de toutes fentes ou gerces créant une entrée d'eau menant à la dégradation accélérée du matériau ;
- l'inspection de la structure pour la présence de tout insecte attaquant le bois ;
- la correction des attaches ou de la quincaillerie qui seraient mal fixées ou endommagées ;
- la vérification de l'intégrité du platelage et de l'intégrité du lien entre les madriers de roulement, les traverses et les poutres principales ;
- la vérification du niveau d'usure des madriers de roulement et des traverses ;
- la vérification de la qualité du produit de finition et l'application au besoin.

Références

- [1] Kropf, F.W. (1994). *Durability and detail design - the result of 15 years of systematic improvements*, EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research. 8 p.
- [2] SETRA (2006). *Guide technique, Les ponts en bois, Comment assurer leur durabilité*, Service d'études techniques des routes et autoroutes, France, 123 p.
- [3] CWC (2017). *Ontario Wood Bridge Reference Guide.*, By Moses Structural Engineers and Brown & Co. Engineering Ltd. for the Canadian Wood Council and the Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, 208 p.
- [4] Arbour G. Caron F. et Lefrançois J. (2005). *Les ponts couverts au Québec*, ministères des transports, Publications du Québec, ISBN: 978-2-551-19636-4. 244 p.
- [5] Stantec (2016). *Diagnostic de 15 ponts québécois en bois lamellé-collé*, rapport préparé par Denis Lefebvre, Ana Paula Gallotti et Bruno Parent de Stantec pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec. 148 p.
- [6] Cecobois (2012c). *Guide de bonnes pratiques pour la construction commerciale en gros bois d'œuvre ou d'ingénierie*, 2e édition, Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (cecobois), 33 p.
- [7] CSA (2019). S6-19 - Code canadien sur le calcul des ponts routiers, Mississauga, Groupe CSA, 950 p.
- [8] CSA (2019). O86-19 Règles de calcul des charpentes en bois, Mississauga, Groupe CSA, 416 p.
- [9] MTQ (2016). *Manuel de conception des structures*, Gouvernement du Québec, ministère des Transports, 393 p.
- [10] MTQ (2017). *Manuel d'évaluation de la capacité portante des ponts acier-bois*, Gouvernement du Québec, ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET), 154 p.
- [11] MFFP (2019). *Norme relative aux ponts sur les terres du domaine de l'État*, Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 14 pages.
- [12] MFFP (2019). *Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État (RADF)*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 109 p.
- [13] CWC: L'humidité et le bois.
- [14] Morris, P. *Understanding Biodeterioration of Wood in Structures*, Forintek Canada Corp.. 26 p.
- [15] Préservation du bois Canada (2012). *Guide de spécification du bois traité selon les normes-applications non-résidentielles*. 18 p.
- [16] Morris P. (2015). *Optimizing the Design of Mass Timber in Exterior Applications*, FPLInnovations
- [17] Morris P. and J. Wang (2008) *A new decay hazard map for North America using the Scheffer Index*, International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP/08-10672
- [18] Wang, J. (2015). *Design: Tips for Durable Exterior Wood Construction*.
- [19] NZ Transport Agency (2001.). *Bridge Inspection and Maintenance Manual*, Section 5: Timber. Transit New Zealand, 13p.
- [20] Frenette C. D. et Flach M. (2006). *Les ponts en bois, constructions du passé ou de l'avenir?* 13e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Québec, 9-10 mai.
- [21] LCPC (2008). *Recommandations pour l'inspection détaillée des ouvrages en bois*, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, 71 p.
- [22] Forest Products Laboratory (2010). *Wood handbook—Wood as an engineering material*, General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p.
- [23] Highley (1995). *Comparative Durability of Untreated Wood in Use Above Ground*, International Biodeterioration and Biodegradation, p 409-419
- [24] Wood preservation Canada (2012). *Guide de spécification du bois traité selon les normes – applications non résidentielles*, 16 p.
- [25] CSA (2015) CAN/CSA-O80 SÉRIE-F15 - Préservation du bois, Mississauga, Groupe CSA, 154 p.
- [26] APA EWS (2007). *Technical Note: Glulam Connection Details*, Tacoma, APA Engineered Wood System.

Mes notes

Mes notes

Mes notes



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

Mars 2020

www.cecobois.com

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois