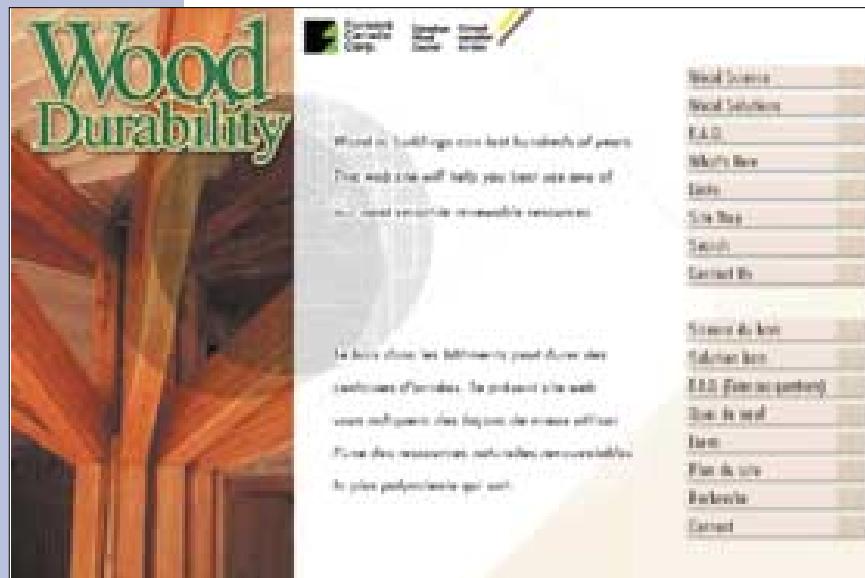


L'humidité et les bâtiments à ossature de bois

Bulletin sur la performance du bâtiment

Pour obtenir plus de renseignements et des liens sur des sources d'information utiles et connexes, visitez le site Web sur la durabilité du bois à www.durable-wood.com. Une version PDF de la présente publication peut aussi être téléchargée à partir de ce site.



© Conseil canadien du bois,
Ottawa (Ontario) Canada, 2000

7M1200

Compilé par :
Michael Steffen, Walsh Construction Company

Conception et production par :
Accurate Design & Communications Inc.

Imprimé par :
Lomor Printers Ltd.

Introduction

L’histoire nous enseigne que, partout où il était disponible en tant que ressource, le bois a été employé comme matériau de construction en raison de sa résistance, de son économie, de son ouvrabilité et de sa beauté. Et sa durabilité a été maintes fois démontrée. Des anciens temples du Japon et des grandes églises de douves de Norvège, jusqu’aux innombrables bâtiments construits au cours des années 1800 en Amérique du Nord, la construction en bois a prouvé qu’elle pouvait résister aux vicissitudes du temps. Toutefois, l’art et la technologie des bâtiments en bois ont changé avec le temps. Or, les maisons à ossature de bois modernes peuvent-elles encore garantir une performance tout aussi bonne?



La protection des bâtiments contre l’humidité est un important critère de conception, d’une importance tout aussi grande que celui de la sécurité incendie ou de la résistance structurale. Les concepteurs, les constructeurs d’habitation et les propriétaires acquièrent une perspective plus approfondie de l’importance de la fonction de l’enveloppe du bâtiment (les murs extérieurs et le toit), et notamment de la performance des fenêtres, des portes, des parements, des membranes de revêtement, des pare-vapeur étanches à l’air, des revêtements intermédiaires et de la charpente. Les capacités et les caractéristiques du bois et d’autres matériaux de construction doivent être comprises et s’articuler ensuite dans la conception du bâtiment si on veut réaliser des constructions adéquates et durables.

Le présent guide devrait aider les professionnels de la conception et de la construction ainsi que les propriétaires de bâtiment à mieux comprendre les problèmes que l’humidité peut engendrer relativement à la conception et à la construction des bâtiments à ossature de bois.

L’objectif principal de la présente publication est de présenter des idées et des solutions visant à donner aux bâtiments à ossature de bois la performance attendue. En ce sens, le présent guide porte principalement sur la lutte contre la pénétration de l’eau de pluie par les murs extérieurs, particulièrement sous des climats susceptibles de provoquer une exposition élevée à l’humidité.

PHOTO 1 : Église de douves à Urnes, en Norvège – L’église de douves la plus ancienne de Norvège, dont la construction remonte au début du XII^e siècle, dans son état actuel. Des éléments de bois d’une église encore plus vieille ont servi à sa construction.

LANESBOROUGH – CONCEPTION ET CONSTRUCTION DERNIER CRI

Conçus et construits expressément pour contrer les effets du climat pluvieux de la côte ouest de Vancouver, au Canada, les condominiums de Lanesborough témoignent du dernier cri en matière de conception et de construction et mettent en œuvre une panoplie de moyens visant à assurer la meilleure protection possible contre les effets de l'humidité sur les bâtiments. Les promoteurs décrivent les caractéristiques clés de cet aménagement comme une « architecture parapluie » qui met l'accent, notamment, sur des surplombs de toit profonds et des toits à fortes pentes ainsi qu'un système de construction de murs pare-pluie multicouches. En outre, cette approche avant-gardiste fait abondamment appel à des essais sur le chantier, à l'assurance de la qualité au cours de la construction ainsi qu'à une équipe d'ingénieurs et de spécialistes de l'enveloppe du bâtiment.

Les détails clés de la construction sont les suivants :

- Solins muraux intégraux pour repousser l'eau de l'enveloppe du bâtiment
- Bardage à clin en cèdre durable et bardeaux de toit en cèdre rouge n° 1 ignifugés
- Fourrures en bois traité de 3/4 po sur 2 po sur les murs installés de manière à ménager une lame d'air de 3/4 po et un plan d'évacuation d'eau
- Contreplaqué de résineux de 3/8 po sur les murs avec ventilation au haut et au bas de la cavité murale
 - Matériaux de charpente séchés au four, notamment des montants à entures multiples pour les murs extérieurs et des solives de plancher en S-P-F
 - Produits d'ingénierie en bois de nouvelle génération, notamment du bois de placage lamellé, du bois de copeaux parallèles et des fermes de toit en bois



PHOTO 2 : Condominiums Lanesborough

L'humidité et le bois

Le bois et l'eau sont généralement très compatibles.

Matériau hygroscopique, le bois a la capacité d'absorber et de dégager naturellement l'humidité pour trouver un degré d'humidité qui soit en équilibre avec son environnement immédiat. Ce processus naturel permet au bois d'absorber de grandes quantités d'eau avant d'atteindre un degré d'humidité propice à la formation de champignons décomposeurs. Pour construire des bâtiments à ossature de bois durables, dès la conception de la structure et de l'enveloppe, il faut tenir compte des facteurs qui influencent le degré d'humidité du bois et des changements qui surviennent à cause des variations de la teneur en eau.

Il est essentiel de comprendre les effets de la teneur en eau (le degré d'humidité – (DH)) dans le bois, étant donné que 1) la variation dans le degré d'humidité provoque le rétrécissement et le gonflement des éléments en bois et 2) un degré d'humidité élevé peut favoriser la formation de champignons décomposeurs. Le *degré d'humidité (DH)* est une mesure du volume d'eau que peut absorber une pièce de bois relativement à la fibre qui la compose. Le degré d'humidité est exprimé en pourcentage et se calcule en divisant le poids de l'eau dans le bois par le poids du bois s'il avait été séché au four. Relativement au DH, il y a deux pourcentages qu'il ne faut pas oublier :

1. 19 % : le bois est dit « sec » lorsque son DH est inférieur à 19 %. Ce bois porte l'estampe S-DRY, ce qui signifie sec en surface ou sec au moment de la fabrication. (Nota : Certains types de bois peuvent aussi porter l'estampe KD ou séché au four et cette marque signifie aussi que le bois est sec au moment de sa fabrication).
2. 28 % : Ce degré d'humidité représente le point de saturation de la fibre moyen où la fibre du bois est entièrement saturée. Lorsque le degré d'humidité dépasse le point de saturation de la fibre, l'eau commence à remplir la cavité cellulaire. Règle générale, le processus de la pourriture du bois ne peut commencer que si le degré d'humidité du bois se situe au-dessus du point de saturation de la fibre pendant une période prolongée. Le point de saturation de la fibre représente aussi la limite de gonflement du bois.

Le bois rétrécit ou gonfle selon les changements dans son degré d'humidité, mais seulement à mesure que l'eau dans les parois cellulaires est absorbée ou libérée. Le phénomène se produit seulement lorsque le degré d'humidité descend sous le point de saturation de la fibre. Le bois dans un milieu intérieur se stabilise éventuellement à un degré d'humidité se situant entre 8 et 14 % et dans un milieu extérieur, entre 12 et 18 %.

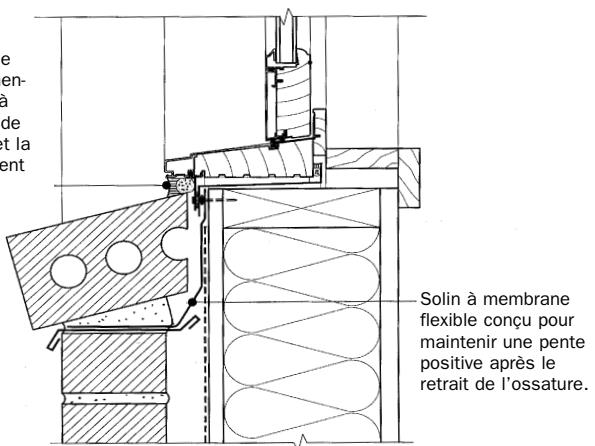
Retrait et gonflement

Le bois rétrécit ou gonfle selon qu'il libère ou absorbe de l'humidité en-dessous du point de saturation de la fibre. L'importance du changement dimensionnel est estimée à 1 % de la largeur ou de l'épaisseur du bois pour tout changement de 5 % dans son degré d'humidité.

On peut s'attendre à un retrait sur la largeur du bois alors que le retrait longitudinal devrait vraisemblablement être minime, tel que le retrait vertical d'un poteau mural. Dans une structure à ossature de bois, le retrait se produit principalement dans les éléments horizontaux comme les platines murales et les solives de plancher. Dans les bâtiments de trois, quatre ou cinq étages, les effets du retrait cumulatif peuvent avoir une incidence sur l'enveloppe du bâtiment, comme le revêtement extérieur. Pour cette raison, il faut accorder dans la conception une attention particulière au retrait. (Visitez le site www.cwc.ca et faites l'essai de *deltaCALC*, un logiciel qui permet de déterminer l'importance du retrait et du gonflement du bois.) Par exemple, lorsqu'une structure à ossature de bois s'intègre à un parement de briques, à un puits d'ascenseur en blocs de béton ou à un élément de construction à charpente d'acier, il faut tenir compte des effets cumulatifs du mouvement différentiel dans un bâtiment à niveaux multiples au moment de concevoir les détails de construction et de formuler les spécifications.

FIGURE 1 : Dans les bâtiments à ossature de bois de plus grande hauteur, la conception des joints entre les éléments de l'enveloppe du bâtiment doit prévoir le mouvement différentiel. À cette fenêtre, au troisième étage d'un bâtiment à ossature de bois, un joint d'étanchéité d'un pouce (1 po) de largeur a été installé entre le dormant de la fenêtre et son appui de maçonnerie. À mesure que le bois rétrécit, le joint permet à la fenêtre de se déplacer vers le bas avec le dormant qui la retient. Si le joint ne mesurait qu'un demi-pouce (1/2 po) de largeur, il est possible que l'encadrement de fenêtre se colle et s'appuie sur la rive supérieure de l'appui de béton.

Joint d'étanchéité de 1 po de largeur dimensionné de manière à permettre le retrait de l'ossature de bois et la dilatation du parement de briques.



Afin de minimiser le retrait, il est important de spécifier l'emploi d'un bois sec. Avantage de se servir du bois séché, une bonne part du retrait a déjà eu lieu au moment de l'achat (le bois rétrécit à peu près complètement quand son degré d'humidité passe de 28 % à 19 %). Il est aussi plus facile de prévoir son comportement en service puisqu'il garde plus ou moins les mêmes dimensions qu'il avait au moment de l'installation.

Une autre façon d'éviter le retrait et le gauchissement consiste à se servir de produits de bois composite, comme le contreplaqué, les panneaux OSB, les poteaux à joints à entures multiples, les solives en I et le bois composite structural. Il s'agit de produits assemblés à partir de plus petites pièces de bois collées ensemble. Les produits composites sont fabriqués à partir de diverses billes dont la fibre est orientée différemment dans une seule pièce, de sorte qu'une partie constraint le mouvement de l'autre. C'est ainsi, par exemple, que le contreplaqué réalise cette forme d'auto-constrainte par croisement perpendiculaire des fils du bois. Dans d'autres produits, les mouvements sont limités à de très petites surfaces et ont tendance à s'annuler dans la pièce en entier, comme dans le cas des poteaux à entures multiples.

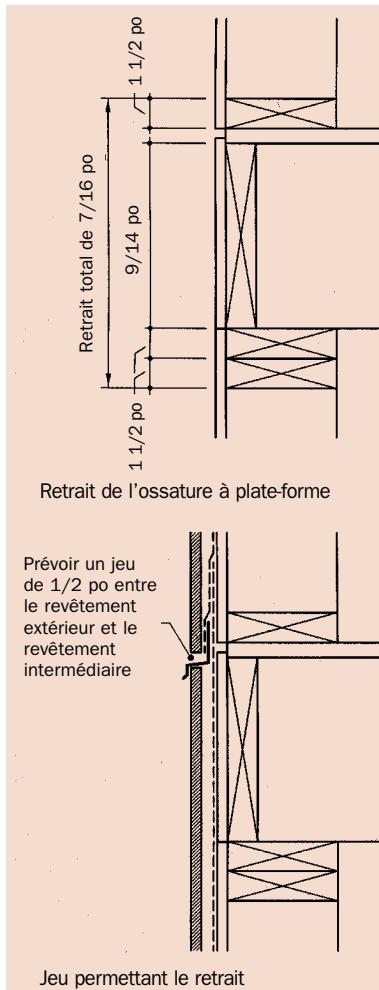


FIGURE 2 : Des détails ont été élaborés afin de minimiser les effets du retrait cumulatif. Par exemple, un de ces détails réduit l'incidence du retrait à contre-fil des solives en ne faisant pas reposer la charpente du mur sur le dessus de la solive en-dessous, comme il est usuel de le faire pour une ossature à plate-forme. Plutôt, les murs sont charpentés jusqu'au niveau du plancher au-dessus et les solives de plancher sont accrochées à cette charpente à l'aide de supports d'acier.

La pourriture

C'est la **biodéterioration** qui contribue le plus à réduire la durabilité du bois. Le bois dans les bâtiments représente aussi une source d'alimentation éventuelle pour toute une variété de champignons, d'insectes et de xylophages marins. Ces organismes destructeurs peuvent décomposer les polymères complexes qui composent la structure du bois. Les champignons qui foisonnent dans le bois peuvent être identifiés comme des moisissures, des champignons tacheurs, des marciaumes molles et des basidiomycètes lignivores (champignons décomposeurs). Les moisissures et les champignons tacheurs décolorent le bois, mais ils n'endommagent pas de façon importante la structure du bois. Les marciaumes molles et les champignons décomposeurs peuvent être à l'origine d'une perte de résistance du bois, ces derniers étant responsables des problèmes de pourriture du bois dans les bâtiments.

La décomposition du bois est le résultat d'une combinaison de facteurs, dont une séquence de colonisation fongique. Les spores de ces champignons sont omniprésentes dans l'air pendant la plus grande partie de l'année, mais causent des problèmes uniquement dans certaines conditions. Les champignons lignivores ont besoin du bois pour se nourrir, d'une température modérée, d'oxygène et d'eau. Normalement, l'eau est le seul facteur que nous pouvons facilement gérer. Les champignons décomposeurs doivent aussi livrer la concurrence à d'autres organismes comme les champignons-moisissures et les champignons tacheurs, pour avoir une emprise sur le bois. Il est plus facile de lutter contre les champignons décomposeurs avant que la pourriture n'apparaisse étant donné que ces conditions préalables peuvent faire obstacle à leur développement dès le début.

La moisissure et la pourriture sont des termes qui sont souvent et faussement employés sans distinction lorsqu'il s'agit des dommages causés au bois par l'humidité. Il est important de saisir la différence dans la signification de ces termes. Les champignons-moisissures peuvent se former sur le bois (et bien d'autres matériaux), mais ils ne s'attaquent pas à la composition structurale du bois. Par conséquent, la moisissure n'endommage pas le bois de façon importante et ne se classe pas comme un champignon décomposeur du bois. Cependant, certaines moisissures ont été associées à des problèmes de santé chez l'humain, de sorte que la formation de moisissure pose un risque éventuel, peu importe les dommages physiques qu'ils causent aux produits de bois. Malheureusement, on ne comprend pas encore le rapport entre la moisissure et la santé. Nous vivons en harmonie avec certaines moisissures qui se trouvent dans l'air en permanence; il s'agit bien évidemment de questions de seuil de tolérance, de sensibilité individuelle et d'autres variables complexes et de moyens de mesures qui n'ont pas encore été déterminés par les spécialistes de la santé et du bâtiment.

Les champignons de la carie (ou décomposeurs) appartiennent à une autre classe de champignons que ceux de la moisissure

et ils entraînent une perte de résistance du bois. On n'associe généralement pas les champignons de la carie à des problèmes de santé chez l'humain.

La moisissure et la pourriture ne se produisent pas nécessairement en concomitance, non plus que l'un et l'autre n'indiquent la présence de l'un ou l'autre de ces problèmes. Il y a tendance à se produire une transition graduelle des champignons-moisissures aux champignons décomposeurs si les conditions d'humidité persévèrent.

Charge d'humidité

La conception en fonction de la durabilité suppose la compréhension de l'effet de la charge d'humidité et de la façon dont elle interagit avec les matériaux du bâtiment. D'où provient l'eau? Comment se transporte-t-elle? Comment peut-on combattre son infiltration? Comment peut-on l'éliminer?

L'infiltration d'humidité dans un bâtiment doit être gérée de manière à prévenir l'accumulation ou le stockage d'eau qui peut conduire à une détérioration prématuée des produits du bâtiment. L'eau engendre la détérioration par la corrosion des produits d'acier, l'effritement et la fissuration des produits de béton et la formation de champignons dans les produits de bois.

Bilan hydrique

Il y a deux stratégies générales pour contrer les effets de l'humidité dans l'enveloppe du bâtiment :

- limiter la charge d'humidité sur le bâtiment
- concevoir et construire le bâtiment de manière à maximiser sa tolérance à l'humidité à un niveau approprié à la charge d'humidité

L'objectif clé dans la conception est de garder les enveloppes de bâtiment au sec et de réaliser un bilan hydrique où les mécanismes de mouillage et de séchage sont équilibrés de manière à maintenir des taux d'humidité tout au plus égaux au seuil de tolérance.

Le concept de la « charge » est bien connu en calcul des structures où le poids propre, les charges mobiles, les charges dues au vent, les charges sismiques et les charges thermiques sont des facteurs fondamentaux dont il faut tenir compte dans le processus de conception. Dans le même ordre d'idée, des charges d'humidité sont présentes dans les bâtiments et elle doivent être prises en ligne de compte et équilibrées dans la conception de l'enveloppe du bâtiment. La nature et l'ampleur des charges varieront grandement selon la situation climatique ainsi que l'usage du bâtiment. Les sources d'humidité les plus courantes à l'origine des charges sur les bâtiments sont décrites dans la partie suivante.

Sources d'humidité

Les sources d'humidité à l'intérieur et autour du bâtiment sont nombreuses. Parmi les sources d'humidité intérieure, il faut compter les occupants et leurs activités. Des études ont conclu qu'une famille de quatre pouvait produire 10 gallons de vapeur d'eau par jour.

Parmi les sources d'humidité extérieures, il faut compter les précipitations, les systèmes d'irrigation et l'eau souterraine. Or, il se trouve aussi de la vapeur d'eau dans l'environnement extérieur et elle peut aussi affecter de façon significative l'enveloppe du bâtiment sous certains climats.

L'humidité produite par la construction représente souvent une autre source d'humidité. Il s'agit de l'eau contenue dans le béton, le coulis et d'autres matériaux de construction pendant la construction. Cette quantité d'humidité peut être substantielle et il faut prévoir une période d'assèchement avant ou après avoir fermé l'enveloppe du bâtiment.

L'eau de pluie, particulièrement celle balayée par le vent, représente la source d'humidité qui a le plus d'incidence sur la performance de l'enveloppe du bâtiment et qui fait principalement l'objet du présent bulletin.

Mécanismes du transport de l'humidité

La migration de l'humidité à l'intérieur et à travers les assemblages de bâtiment se produit généralement par un des quatre mécanismes de transport de l'humidité suivants : l'écoulement liquide, la capillarité, la convection ou la diffusion. L'écoulement liquide et la capillarité dans l'enveloppe du bâtiment se produisent principalement à partir d'une source d'humidité extérieure comme l'eau de pluie et l'eau souterraine, tandis que le mouvement de l'humidité dans l'enveloppe du bâtiment par diffusion ou mouvement d'air peut se produire à partir d'une source intérieure ou extérieure d'humidité.

L'écoulement liquide est le mouvement de l'eau sous l'influence d'une force motrice (comme la gravité ou la succion causée par le différentiel de pression).

La **capillarité** est le mouvement de l'eau à l'état liquide dans des matériaux poreux provoqué par des forces de tension superficielles. La capillarité, ou succion capillaire, peut aussi se produire dans le petit jeu qui se crée entre deux matériaux.

Le **mouvement d'air** signifie le mouvement de la vapeur d'eau provoqué par l'écoulement d'air entre les jeux et à travers les matériaux.

La **diffusion** est le mouvement de la vapeur d'eau par un différentiel de pression de vapeur.

Des quatre mécanismes de transport, l'écoulement liquide et la capillarité sont les plus significatifs. Par conséquent, il n'est pas surprenant que la lutte contre la pénétration d'eau de pluie et d'eau souterraine demeure depuis des générations la principale préoccupation des constructeurs et des concepteurs.

Le mouvement d'air et la diffusion de la vapeur sont importants, mais ils demeurent des phénomènes moins significatifs et manifestes contribuant aux problèmes d'humidité.

Exposition

La conception des éléments de l'enveloppe du bâtiment doit reposer sur une évaluation de l'exposition probable à l'humidité. En ce qui concerne les murs extérieurs, l'exposition prévue et la charge d'humidité sont principalement une fonction de trois conditions :

- Le macroclimat : les normes climatiques régionales.
- Le microclimat : les facteurs particuliers à l'emplacement comme l'implantation, l'orientation par rapport au soleil, l'exposition au vent et la relation avec les bâtiments, la végétation et le terrain avoisinants.
- La conception du bâtiment : les caractéristiques de la construction qui assurent un niveau de protection comme les surplombs de toit et les corniches.

Les niveaux d'exposition peuvent varier considérablement sur un seul bâtiment et la conception des éléments de murs extérieurs peut tenir compte de ces différences. Il y a passablement de recherche en cours visant à caractériser le niveau d'exposition sous divers climats.

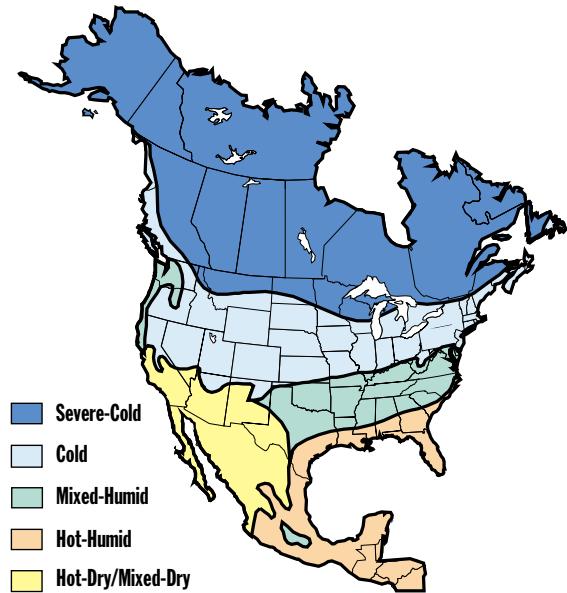
À titre d'exemple de classification climatique, le scientifique du bâtiment Joseph Lstiburek a élaboré le concept des *états limites* appliqués à la durabilité du bâtiment. Poussant plus loin la notion que la charge et la résistance à une charge sont aussi applicables à la conception en fonction de la lutte contre l'humidité qu'au calcul de la résistance des structures, Lstiburek écrit : « Nous devrions considérer la pluie, la température, l'humidité et le climat intérieur comme des charges environnementales et les états limites comme la pourriture, la moisissure et la corrosion. »

Lstiburek propose que les enveloppes du bâtiment et les systèmes mécaniques soient conçus en fonction d'un ensemble de *classes de risques* qui, pris en un tout, définissent la charge environnementale :

- Les régions hygrothermiques :
 - Froid extrême
 - Froid
 - Humide – mixte
 - Chaud – humide
 - Chaud – sec / sec – mixte
- Les zones d'exposition à la pluie :
 - Extrême : plus de 60 pouces de précipitation par année
 - Élevée : de 40 à 60 pouces de précipitation par année
 - Moyenne : de 20 à 40 pouces de précipitation par année
 - Faible : moins de 20 pouces de précipitation par année
- Les classes de climat intérieur :
 - Incontrôlé (entrepôts, garages, locaux de rangement)

L'humidité et les bâtiments à ossature de bois

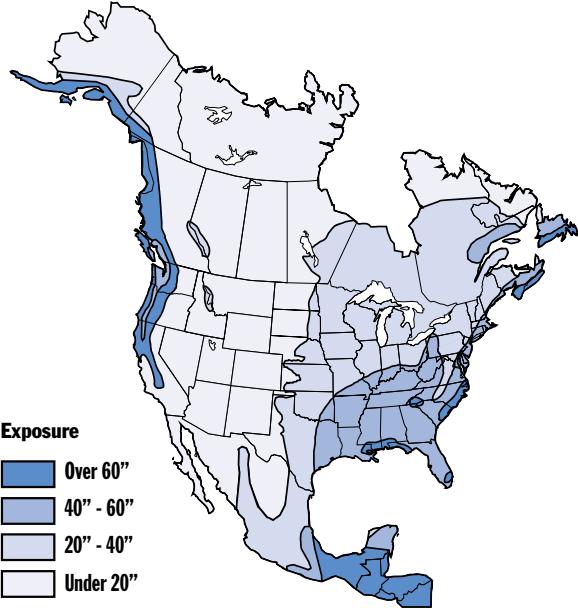
FIGURE 3 : Régions hygrothermiques d'Amérique du Nord



- Modéré (maisons, appartements, écoles, commerces et locaux pour commerce de détail)
- Contrôlé (hôpitaux, musées, piscines intérieures et salles informatiques)

L'approche proposée précédemment pour définir les zones d'exposition à la pluie, selon la quantité de pluie proprement dite, pourrait être améliorée en considérant les effets du vent, étant donné qu'ils accroissent souvent la charge d'humidité.

FIGURE 4 : Zones d'exposition à la pluie d'Amérique du Nord



Une analyse de ces classes de risques et des diverses charges environnementales qui sont imposées au bâtiment fournit au concepteur les critères de base à partir desquels sélectionner le type de mur. Le niveau d'exposition réel peut cependant être influencé par le microclimat et les facteurs de la conception du bâtiment et il faut en tenir compte dans le cadre d'un processus de sélection prudent (voir le tableau 1). La Société canadienne d'hypothèques et de logement a publié un nomogramme (applicable à Vancouver, au Canada) afin d'analyser les expositions selon les microclimats et les facteurs de conception. Les principaux critères sont les ratios de débords de toit et le terrain (la principale influence sur le microclimat d'un emplacement donné). L'analyse à l'aide d'un outil comme le nomogramme permet au concepteur de raffiner davantage le critère pour la sélection du type de mur.

$$\text{Ratio de débord de toit} = \frac{\text{Profondeur du débord}}{\text{Hauteur de mur}}$$

où,

la Profondeur du débord = la distance horizontale entre la surface extérieure du revêtement extérieur et la surface extérieure du débord

la Hauteur de mur = la hauteur au-dessus de l'élément de bois exposé le plus bas (par conséquent, n'inclut pas les murs de fondation en béton)

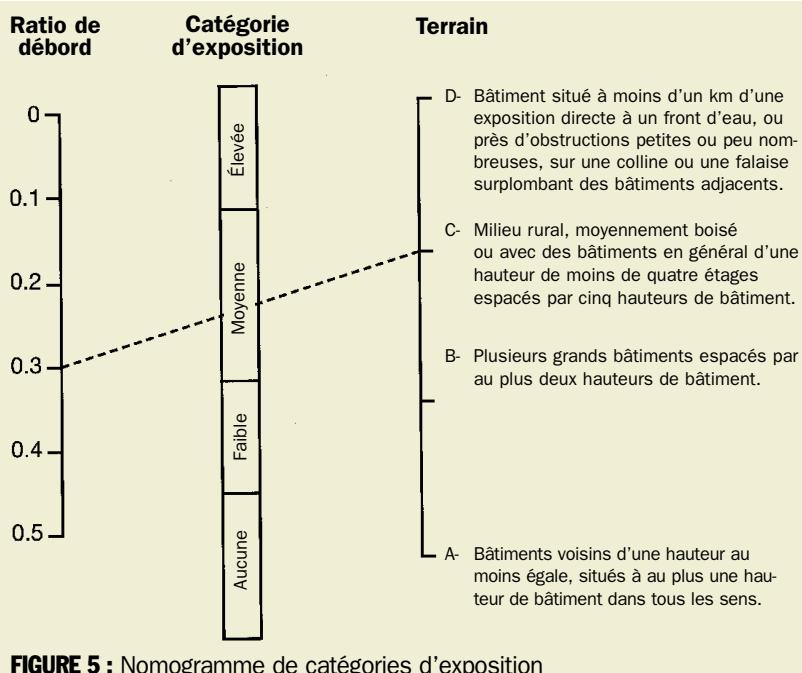


FIGURE 5 : Nomogramme de catégories d'exposition

TABLEAU 1 : Performance prévue des stratégies de lutte contre l'infiltration d'humidité par les murs extérieurs et les fenêtres

Niveau d'exposition	Face imperméabilisée	Étanchéité dissimulée	Écran pare-pluie	Écran pare-pluie à plan de pression neutre
Élevée	Médiocre	Médiocre	Passable	Bonne
Moyenne	Médiocre	Médiocre	Bonne	Bonne
Faible	Passable	Bonne	Bonne	Bonne
Aucune	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne

Conception des bâtiments à ossature de bois en fonction de la lutte contre l'humidité

Les sources d'humidité et les mécanismes de transport qui jouent dans le bâtiment sont nombreux et complexes. Des stratégies de lutte doivent être élaborées en vue de contrer ces sources d'humidité et ces mécanismes de transport. Or, un certain nombre d'études récentes ont conclu que le principal mécanisme de défaillance en ce qui a trait à l'humidité est la pénétration de l'eau de pluie par les murs extérieurs. Ce problème s'est manifesté particulièrement dans plusieurs régions côtières humides d'Amérique du Nord comme Wilmington, Seattle ou Vancouver. L'élaboration de stratégies contre la pénétration d'eau de pluie demeure la priorité de la conception en fonction de la durabilité. La lutte contre la condensation causée par la pénétration de la vapeur (voir la figure 6) et de l'eau souterraine – une préoccupation secondaire - vient s'ajouter à l'ensemble du problème. Dans tous les cas, la stratégie adoptée doit tenir compte du niveau de risque ou de la charge d'humidité.

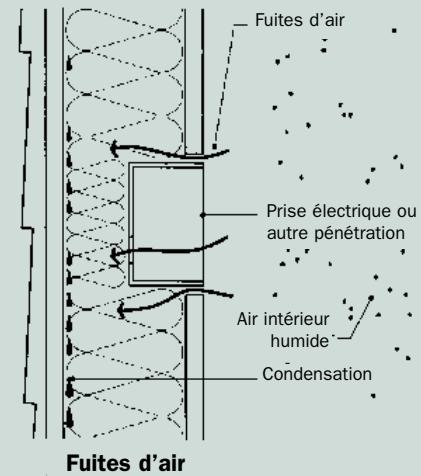
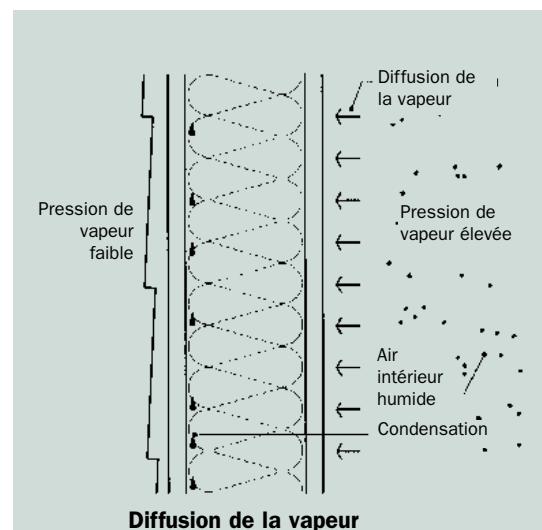
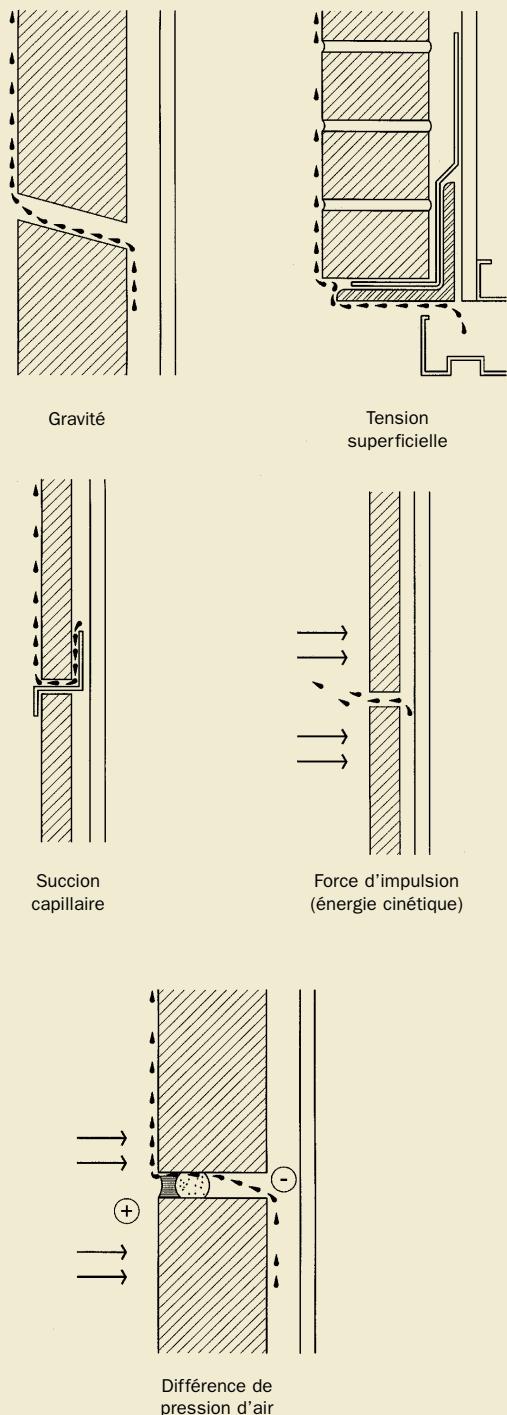


FIGURE 6 : Forces motrice à l'origine de la pénétration de la vapeur d'eau

FIGURE 7 : Principales forces motrices à l'origine de la pénétration d'eau de pluie



Lutte contre la pénétration d'eau de pluie

Il y a deux stratégies générales de lutte contre la pénétration d'eau de pluie :

- Minimiser la quantité d'eau de pluie qui entre en contact avec les surfaces et les assemblages du bâtiment.
- Gérer l'eau de pluie qui se dépose sur les assemblages du bâtiment ou à l'intérieur de ceux-ci.

Les forces dynamiques de la pénétration d'eau de pluie sont bien établies. La pénétration d'eau dans un assemblage de bâtiment n'est possible qu'au moment où sont réunies trois conditions :

- une ouverture ou un trou dans l'assemblage du bâtiment,
- de l'eau près de l'ouverture et
- une force qui agit pour entraîner l'eau dans l'ouverture.

Ces conditions s'avèrent pour toute pénétration d'eau et s'exprime par l'équation conceptuelle suivante :

$$\text{Eau} + \text{ouverture} + \text{force} = \text{pénétration d'eau}$$

La grandeur minimum de l'ouverture qui laissera l'eau pénétrer varie selon la force qui entraîne l'eau.

Pour lutter contre la pénétration d'eau, il faut comprendre les forces motrices sous-jacentes qui peuvent entrer en jeu. Il peut s'agir de la gravité, de la tension superficielle, de la succion capillaire, de la force d'impulsion (énergie cinétique) ou de la différence de pression d'air (voir la figure 7).

Il s'ensuit qu'il est possible d'empêcher la pénétration d'eau en éliminant n'importe quelle des trois conditions à l'origine de la pénétration d'eau. Des stratégies de conception et de détails de construction peuvent être mises en œuvre pour :

- réduire le nombre et la grandeur des ouvertures dans les assemblages,
- éloigner l'eau des ouvertures et
- minimiser ou éliminer les forces qui peuvent entraîner l'eau dans les ouvertures.

Les quatre grands principes de conception

Ces stratégies de gestion générale de l'eau s'articulent autour de quatre grands principes de conception : *la déviation, l'évacuation de l'eau, le séchage et les matériaux durables*. En ce qui concerne la lutte contre la pénétration d'eau, la déviation renvoie aux ensembles et aux détails de la conception qui font dévier l'eau du bâtiment, ce qui minimise les charges d'eau de pluie sur l'enveloppe. L'évacuation d'eau, le séchage et les matériaux durables sont les principes qui entrent en jeu une fois que l'eau s'est rendue jusqu'à l'enveloppe ou l'a pénétrée.

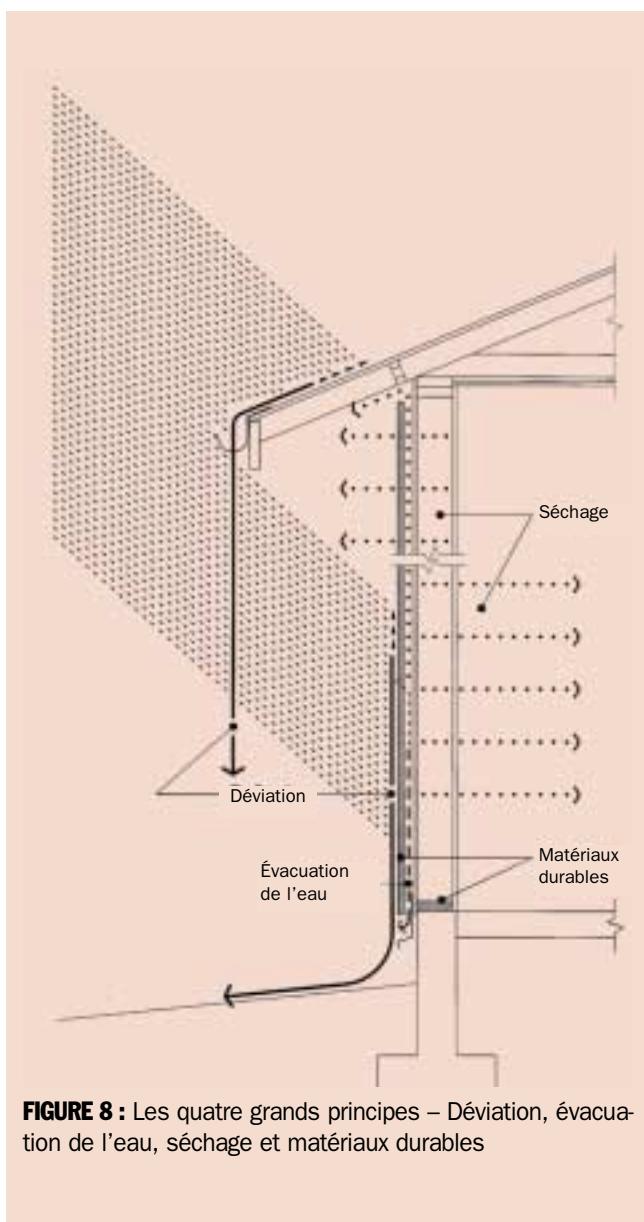


FIGURE 8 : Les quatre grands principes – Déviation, évacuation de l'eau, séchage et matériaux durables

Ces principes peuvent s'appliquer à la conception à deux échelles distinctes. À grande échelle, les *configurations de conception* supposent la manipulation de la forme du bâtiment et du toit, de l'effet du groupement (la masse), de l'implantation, de l'expression des matériaux et elles intéressent même les questions de style. À petite échelle, les *configurations des détails* déterminent si la gestion de l'eau est efficace ou ne l'est pas. Les configurations des détails font appel aux rapports entre les matériaux, à l'ordonnancement de l'installation, aux aspects pratiques de construction et à l'économie de moyens. Un grand nombre de ces configurations, élaborées de façon empirique par tâtonnement, ont été utilisées par les constructeurs depuis des siècles, tandis que d'autres ont été élaborées plus récemment à la suite de recherches et d'essais. Les principes s'appliquent aussi à la *sélection des matériaux*.

En ce qui concerne la plupart des expositions, la gestion efficace de l'eau de pluie s'effectue par le biais de lignes de défense multiples. Ce concept est souvent appelé celui de la *redondance*. Suivant ce concept, il faut reconnaître les limites inhérentes du processus de conception et de construction. La perfection n'est pas facilement réalisable et il se produit effectivement des erreurs de conception et de construction. Lorsque le niveau de risque d'humidité est élevé, ces erreurs peuvent avoir une incidence significative sur la performance de l'enveloppe du bâtiment. Le principe de la redondance prévoit des niveaux de protection supplémentaire, dans l'éventualité probable que des erreurs soient faites. Les quatre grands principes peuvent être compris comme quatre lignes distinctes de défense contre la pénétration de l'eau de pluie et des problèmes qu'elle engendre.

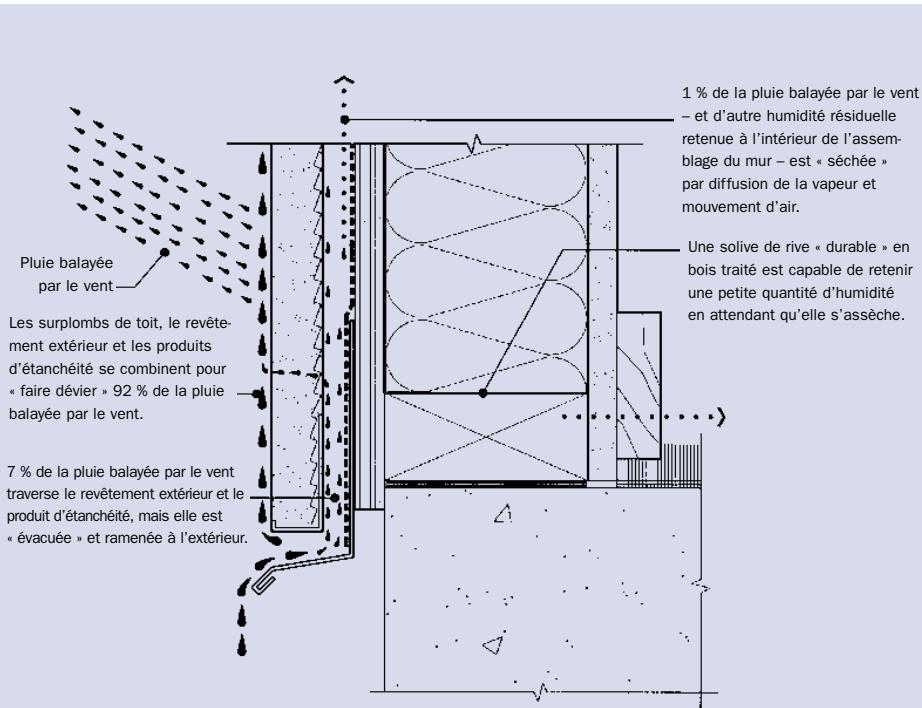


FIGURE 9 : Quatre lignes de défense – La redondance est intégrée dans le système constructif des murs extérieurs en prévoyant des lignes de défense multiples. Imaginez des centaines de gouttes de pluie qui tombent sur un bâtiment (une journée venteuse). Environ 92 gouttes seront déviées par le toit en pente, les surplombs de toit, les appuis en saillie et la face du revêtement extérieur; sept gouttes seront **évacuées** par l'arrière du revêtement extérieur, puis ramenées à l'extérieur; et une goutte séchera par diffusion de la vapeur et mouvement de l'air. Lorsqu'il est prévu que l'humidité pourrait s'accumuler sur les matériaux en bois dans l'ensemble, cette humidité sera « conservée » sans problème par des **matériaux durables** – dans le cas présent, une lisse d'assise en bois traité – jusqu'à ce qu'elle disparaîsse par séchage.

Déviation

La déviation est le premier principe et la principale priorité de la gestion de l'eau. L'idée consiste à garder l'eau de pluie éloignée de la façade du bâtiment et de minimiser les possibilités que l'eau puisse s'infiltrer dans l'enveloppe. Le principe de la déviation est manifeste dans de nombreuses configurations de bâtiment qui, historiquement, ont fait leur preuve dans la réduction de la quantité d'eau de pluie qui tombe sur les murs extérieurs, notamment 1) planter le bâtiment de manière à ce qu'il soit à l'abri des vents dominants, 2) prévoir des surplombs de toit et des dispositifs de collecte de l'eau au haut des murs extérieurs et 3) prévoir des détails architecturaux qui évacuent l'eau. Un toit en pente doté de surplombs suffisamment profonds demeure le seul élément de conception qui contribue à la durabilité à long terme des bâtiments à ossature de bois (voir la figure 10). La déviation s'applique à plus petite échelle dans la configuration des détails comme des appuis en saillie, des solins et des larmiers. Les revêtements extérieurs et les produits d'étanchéité font aussi partie de la ligne de défense par déviation. Une stratégie de gestion de l'eau qui ne repose que sur la déviation peut être en péril dans les régions d'Amérique du Nord où les conditions de risques sont élevées.

FIGURE 10 : Effet des surplombs sur la performance des murs

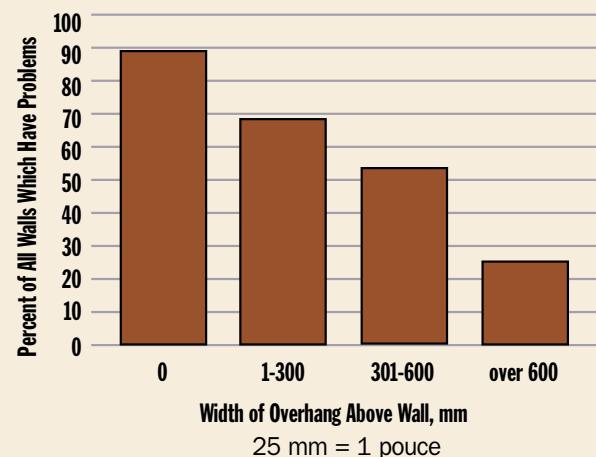


PHOTO 4 : Les maisons en rangée Windgate près du parc Chocklit, à Vancouver, en Colombie-Britannique, sont dotées de bordures d'avant-toit en planches au niveau du plancher qui, combinées à des toits en pente et des surplombs, assurent la stratégie de gestion de l'humidité.

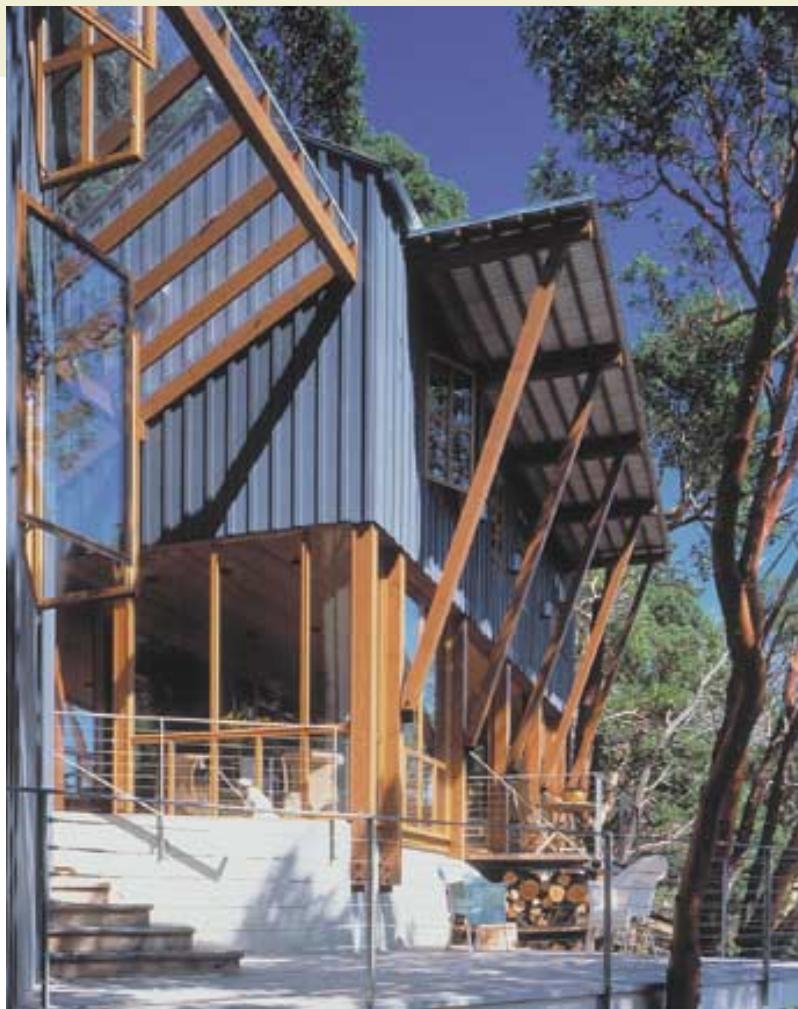


PHOTO 3 : Studio-maison Girvin – Ce studio-maison à ossature de bois, situé sur l'île Decatur, dans l'état de Washington, est doté de surplombs prononcés qui, en déviant l'eau d'un pan de verre et en s'harmonisant à l'environnement immédiat, sont à la fois fonctionnels et architecturaux.

Évacuation de l'eau

L'évacuation est l'autre principe de la lutte contre la pénétration d'eau, deuxième en importance seulement en ce qui touche la capacité de gérer l'eau de pluie. Les toits en pente et les éléments horizontaux à surface inclinée font partie des configurations qui tiennent compte du principe de l'évacuation de l'eau. Au niveau du détail de construction, l'évacuation d'eau est réalisée en prévoyant des façons de recueillir l'accumulation d'humidité forte dans l'assemblage du mur et en la ramenant à tout le moins sur la face du revêtement extérieur, d'où elle s'écoule par la force de la gravité. Réduit à sa plus simple expression, ce mécanisme est mis en œuvre en aménageant un plan d'évacuation d'eau au sein de l'assemblage, entre le revêtement extérieur et le revêtement intermédiaire. Dans une construction à ossature de bois, les plans d'évacuation d'eau sont habituellement composés d'une membrane étanche (un papier résistant à l'eau, un feutre ou un « enveloppement étanche » (appelé « housewrap » dans le commerce), mais avant tout et par-dessus tout, ils comptent sur l'interaction avec les solins des portes et des fenêtres. L'évacuation d'eau représente le principal moyen d'assurer la redondance dans un assemblage de mur.

La cavité d'évacuation d'eau est un mécanisme plus élaboré qui introduit une lame d'air entre le revêtement extérieur et le plan d'évacuation/revêtement intermédiaire (voir les figures 13 et 14). La lame d'air ménage un bris de capillarité qui empêche que la migration d'eau mouille excessivement le plan d'évacuation. La lame d'air, particulièrement lorsqu'elle permet d'établir un plan de pression neutre (l'équilibre dans la pression de l'air), peut aussi être perçue comme un autre moyen d'assurer la déviation de l'eau, dans le sens où l'équilibre dans la pression de l'air neutralise la force motrice primaire à l'origine de la pénétration de l'eau de pluie (le différentiel de pression d'air) et, par conséquent, permet de réduire la quantité d'humidité qui traverse le revêtement extérieur et s'infiltre dans la cavité.

Séchage

Le séchage est le mécanisme par lequel les assemblages de murs éliminent l'accumulation d'humidité par ventilation (mouvement d'air) et diffusion de la vapeur. Le pouvoir d'assèchement du revêtement extérieur et du revêtement intermédiaire/ossature du mur doit être pris en ligne de compte. Les cavités introduites pour les besoins d'évacuation de l'eau offrent un moyen d'assécher le matériau de revêtement extérieur par ventilation de l'endos. L'assèchement du revêtement intermédiaire et de l'ossature représente souvent

une question distincte qui est grandement influencée par le choix de matériaux pour la membrane étanche et le pare-vapeur. Les assemblages de murs extérieurs doivent être conçus de manière à permettre un assèchement suffisant soit par l'extérieur ou l'intérieur. La perméabilité du revêtement extérieur, de la membrane étanche du pare-vapeur et des matériaux de finition intérieure jouent grandement dans le pouvoir d'assèchement global du mur. Il s'agit là d'un domaine d'étude qui intéresse actuellement les chercheurs.

Matériaux durables

Des matériaux durables doivent être choisis pour tous les endroits où il faut assurer une tolérance à l'humidité. Aux endroits où la déviation, l'évacuation de l'eau et le séchage ne peuvent pas maintenir de façon efficace le degré d'humidité à un taux inférieur à 28 %, il faut améliorer la résistance du bois à la pourriture. En ce qui concerne les éléments de l'ossature de bois, cette résistance est réalisée en se servant de bois traité sous pression à l'aide d'un produit de préservation. L'emploi de bois traité aux endroits où les risses d'assise entrent en contact avec les fondations en béton est une configuration de détail commune qui suit ce principe.

Les configurations de conception du bâtiment qui supposent une expression architecturale devraient être alliées aux considérations de durabilité à long terme. Les caractéristiques du vieillissement et les exigences en matière d'entretien devraient être prises en ligne de compte. Par exemple, il faut évaluer la résistance à l'exposition de la brique de façade appliquée sur des murs à ossature de bois et les attaches de murs de maçonnerie doivent posséder une résistance suffisante à la corrosion. Le parement et la menuiserie de bois exposés directement aux intempéries devraient être naturellement résistants à la pourriture ou être en bois traité.

FIGURE 11 : Assemblage de mur à face imperméabilisée

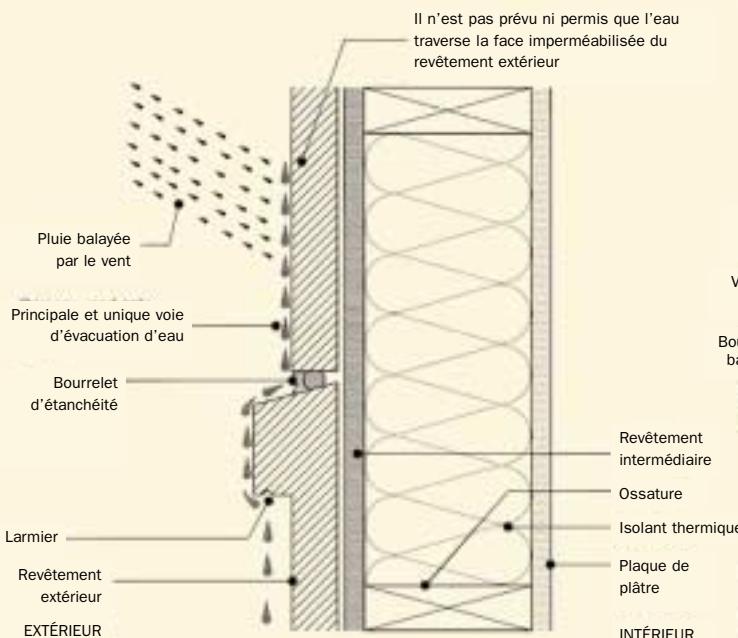
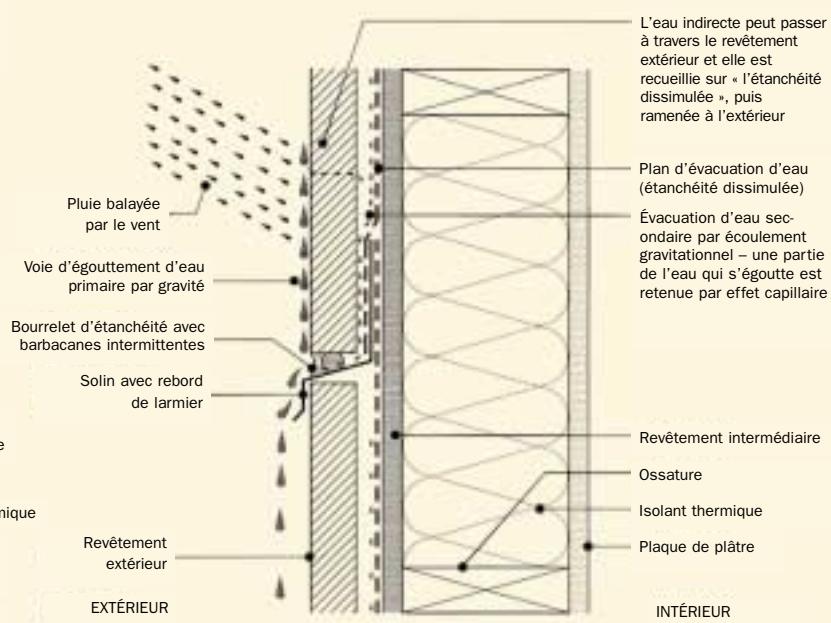


FIGURE 12 : Assemblage de mur à étanchéité dissimulée



STRATÉGIES DE GESTION DE L'EAU DE PLUIE POUR LES MURS EXTÉRIEURS : LA MISE EN ŒUVRE

Il y a trois options de type de mur de base pour les bâtiments à ossature de bois, chacune reposant sur une stratégie conceptuelle distincte de gestion de l'eau : la face imperméabilisée, l'étanchéité dissimulée et l'écran pare-pluie. Dans la conception des murs extérieurs d'un bâtiment donné, il faut choisir un système de construction approprié et demeurer conséquent depuis la conception jusqu'à la mise en œuvre des détails et il faut communiquer clairement les détails du système de construction adopté à l'équipe de construction.

Les murs à *face imperméabilisée* sont conçus pour réaliser l'étanchéité à l'eau et à l'air sur la face du revêtement extérieur. Les joints dans le revêtement extérieur et les joints avec les autres éléments de mur sont imperméabilisés de manière à assurer la continuité. La face du revêtement extérieur constitue la principale et unique voie d'évacuation de l'eau. La redondance dans la ligne de défense contre l'infiltration d'eau n'est pas prévue. La « face imperméabilisée » doit être construite et elle doit être maintenue en parfaite condition afin de lutter efficacement contre la pénétration de l'eau de pluie. Cependant, la confiance accordée à la perfection de la face peut être remise en question pour les murs exposés à l'eau de pluie. Règle d'or, les murs à face imperméabilisée ne devraient être mis en œuvre qu'aux endroits où des quantités minimales d'eau atteindront la surface du revêtement extérieur, comme les surfaces de mur sous les surplombs ou les sous-faces de toit profonds ou les régions où le risque d'infiltration de l'humidité n'est pas élevé.

Les *murs à étanchéité dissimulée* sont conçus en tenant pour acquis qu'il y aura de l'eau qui s'infiltre à travers la face du revêtement extérieur. Ces murs intègrent un plan d'évacuation de l'eau à l'assemblage du mur, à titre de seconde ligne de défense contre la pénétration d'eau. La face du revêtement extérieur demeure la principale voie d'évacuation de l'eau, mais un égouttement secondaire s'accomplice au sein du mur. Un parement en bois installé directement par-dessus un papier de construction imprégné d'asphalte et un revêtement intermédiaire en contreplaqué ou en plaques de gypse est un exemple de mur à étanchéité dissimulée. Le feutre résistant à l'eau représente le plan d'évacuation de l'eau. Un mur EIFS (isolation thermique par l'extérieur revêtu d'enduit mince ou Exterior Insulation Finish System) installé par-dessus une membrane étanche devrait aussi être considéré comme un mur à étanchéité dissimulée, bien que ce genre de revêtement extérieur soit amélioré par l'aménagement d'une lame d'air – même discontinue – à l'endos du revêtement extérieur. Il convient d'emprunter une stratégie d'étanchéité dissimulée dans bien des murs extérieurs et on peut s'attendre à une bonne performance de ces murs dans les régions où l'exposition à la pluie et au vent est de faible à modérée. La performance de ces murs n'est toutefois pas assurée dans les régions où l'exposition au vent et à la pluie est forte ou très élevée. Dans tous les cas, l'intégrité de la seconde ligne de défense dépend dans une très large mesure des détails de conception et de la qualité d'exécution. Afin d'optimiser la durée de vie de l'assemblage, il faudrait songer à l'utilisation d'une stratégie faisant appel à l'écran pare-pluie.

Les murs à *écran pare-pluie* montent d'un cran la gestion de l'eau en intégrant une cavité d'évacuation de l'eau (d'une épaisseur d'eau au moins 3/8 po.) dans l'assemblage, entre l'endos du revêtement extérieur et le papier de construction. La cavité d'évacuation de l'eau offre une protection accrue contre l'infiltration en créant un bris de capillarité et, par conséquent, empêche la plus grande partie de l'eau d'entrer en contact avec le papier de construction. La lame d'air permet aussi de ventiler l'endos du revêtement extérieur, ce qui facilite son assèchement et atténue l'éventualité d'une accumulation d'humidité dans l'ossature murale causée par la transmission inverse de la vapeur d'eau. Le parement de brique (habituellement doté d'une lame d'air d'un ou deux pouces) et le revêtement extérieur de stucco installé sur des fourrures verticales (ordinairement en bois imprégné de 1 sur 3, installé aux 16 pouces, d'axe en axe) sont des exemples de murs à écran pare-pluie. Les murs à écran pare-pluie en bois imprégné conviennent à tous les endroits sujets à une forte exposition au vent et à la pluie.

Les écrans pare-pluie à *plan de pression neutre* (*pression d'air équilibrée*) représentent un progrès dans la stratégie de base. Ces murs intègrent le compartimentage et la ventilation accrue de la cavité murale afin d'améliorer la performance. Lorsque le vent souffle sur la face du mur, l'air traverse les événements dans la cavité murale à l'endos. Si cet air est géré de façon appropriée en subdivisant la cavité d'évacuation d'eau en compartiments étanches, un plan de pression neutre s'établit d'un côté à l'autre du revêtement extérieur qui, par conséquent, neutralise l'un des principaux facteurs à l'origine de l'infiltration d'eau. Cette stratégie est le plus souvent mise en œuvre dans les placages de brique, bien que d'un point de vue conceptuel cette technologie puisse améliorer n'importe quel assemblage d'écran pare-pluie. Les écrans pare-pluie à plan de pression neutre sont appropriés à tous les régimes d'exposition et offrent la meilleure performance possible en regard de la gestion de l'eau.

FIGURE 13 : Assemblage de mur à écran pare-pluie

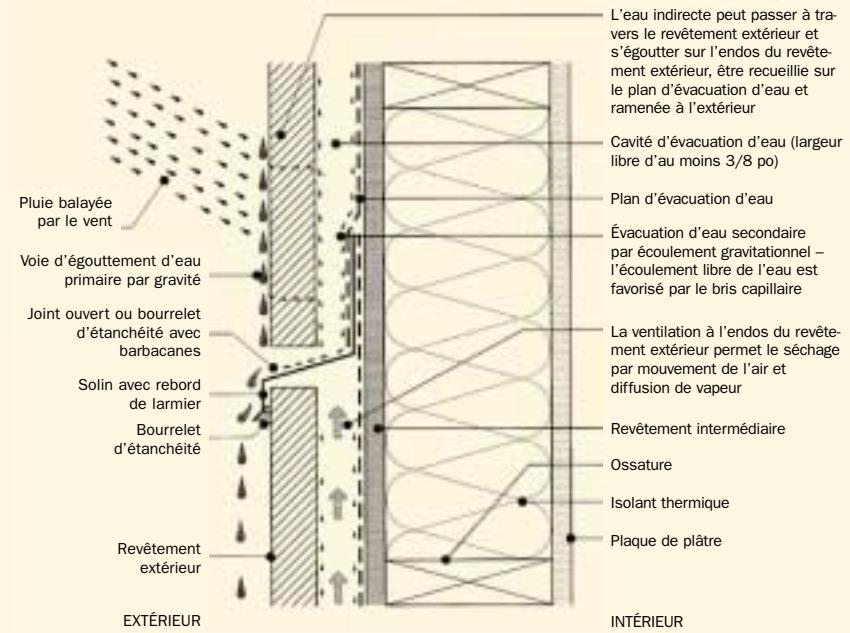
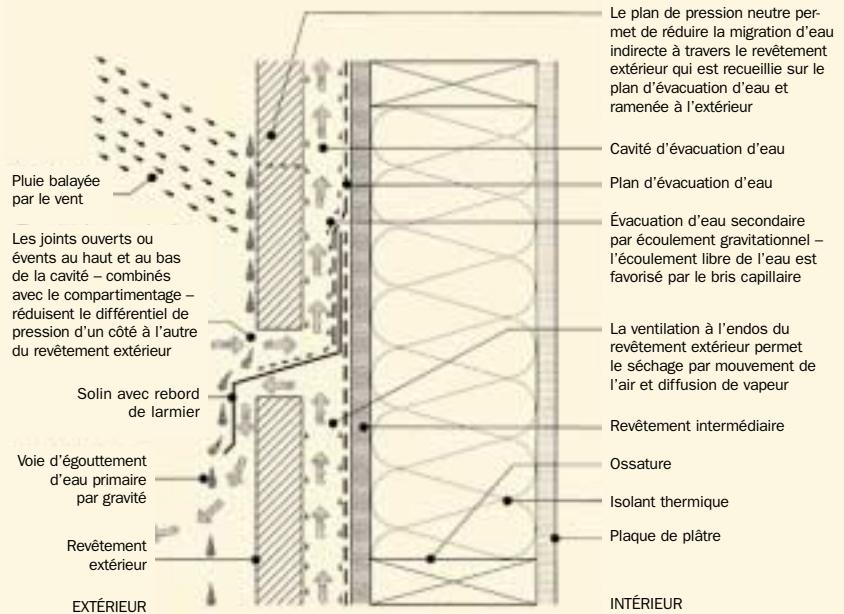


FIGURE 14 : Mur à écran pare-pluie à plan de pression neutre



Assurance de la qualité pendant la construction

La durabilité à long terme est une fonction de la qualité de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'entretien d'un bâtiment. Pour réaliser la durabilité, *l'assurance de la qualité* est essentielle à chaque étape de la vie du bâtiment. L'assurance de la qualité est définie comme toutes les actions prévues et systématiques prises en vue de confirmer que les produits et les services répondront aux exigences déterminées. Principe fondamental de l'assurance de la qualité : toutes les personnes doivent assumer la responsabilité de la norme d'exécution de leur propre travail. Afin d'éviter les problèmes de durabilité, des obligations de contrôle de la qualité devraient être imposées à toutes les personnes qui prennent part au travail et au cours de toutes les étapes du processus de définition, de planification, de construction, d'exploitation et d'entretien de la structure jusqu'à la fin de sa durée de vie utile.

Il est généralement reconnu que la qualité de la conception et de la construction a été compromise au cours des dernières décennies en raison de budgets et de calendriers de projets plus serrés, de l'emploi d'une main d'œuvre non spécialisée ainsi que de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies. En réaction au déclin apparent de la qualité, un bon nombre d'organismes rédacteurs de codes et de normes en Amérique du Nord ont établi des lignes directrices s'appliquant à la durabilité des bâtiments. La norme *ASTM E 241-00 – Standard Practices for Increasing Durability of Building Construction Against Water-Induced Damage*, d'abord publiée en 1990, présente une liste des principes et des pratiques recommandées pour la gestion efficace de l'eau. La norme *CSA S478-95 – Guideline on Durability in Buildings*, publiée en 1995, est considérablement plus exhaustive. Elle renferme une description détaillée des méthodes d'assurance de la qualité pour la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien.

TABLEAU 2 : L'assurance de la qualité et le bâtiment

Étapes du cycle de vie du bâtiment	Activité d'assurance de la qualité
Formulation des concepts	<ul style="list-style-type: none">• établir des niveaux appropriés de <i>performance</i> pour le bâtiment et ses <i>assemblages</i>
Conception	<ul style="list-style-type: none">• prescrire des critères de <i>performance</i> pour les matériaux, les <i>éléments</i> et les <i>assemblages</i>• confirmer l'acceptabilité et la réalisabilité de la <i>performance</i>• prescrire les options d'essai (prototype, essai <i>in situ</i>, etc.)
Appel d'offres	<ul style="list-style-type: none">• examiner les documents de conception, y compris les prescriptions relatives à la <i>performance</i>• accepter les exigences (entrepreneur)• accepter les soumissions (propriétaire)
Construction	<ul style="list-style-type: none">• contrôle complet<ul style="list-style-type: none">– examen du processus et du produit– échantillonnage et essai– correction des travaux non acceptables– certification des travaux
Mise à disposition	<ul style="list-style-type: none">• mise en service– vérification de la <i>performance</i> du bâtiment achevé en le mettant à l'essai sous des charges opérationnelles
Exploitation et entretien	<ul style="list-style-type: none">• surveiller la <i>performance</i>• inspecter en fonction de la détérioration ou des désordres• étudier les problèmes• certifier les travaux
Renovation	<ul style="list-style-type: none">• même processus que pour la formulation des concepts et la conception ci-dessus

L'information est reproduite et traduite de la norme CSA S478-95, Guideline on Durability of Buildings, avec la permission de CSA International, 198, boulevard Rexdale, Toronto (Ontario), M9W 1R3, qui détient le droit d'auteur. Bien que l'utilisation de cette information ait été autorisée, CSA International n'assume aucune responsabilité quant à la manière avec laquelle elle a été présentée, non plus que pour son interprétation.

L'humidité et les bâtiments à ossature de bois

Contrôle de la qualité de la construction

Une bonne conception seule n'assurera pas la livraison d'un bâtiment durable au propriétaire. Le processus de construction doit aussi poursuivre les objectifs de la conception. Et c'est par la documentation de la construction, dès l'étape de la conception, que débute ce processus. La conception de l'enveloppe du bâtiment devrait être communiquée clairement à l'équipe de construction en entier. Les diverses stratégies de lutte contre l'humidité devraient aussi être communiquées, par exemple, en ajoutant une description narrative et un dessin du concept sur la feuille d'accompagnement du jeu de dessins. Les détails critiques, y compris les conditions typiques et atypiques, devraient être présentés aux installateurs. Les détails devraient être pris en ligne de compte adéquatement à l'égard de l'aisance d'exécution et la stratégie globale de gestion de l'eau adoptée pour le mur. Des dessins à grande échelle et, dans certains cas des dessins tridimensionnels, sont nécessaires pour indiquer visuellement les rapports entre les différents éléments qui composent l'assemblage. En particulier, le plan d'évacuation d'eau (la membrane étanche et les solins) doit être clairement articulé dans les détails. Si l'objectif et les hypothèses de la conception ne sont pas clairement établis, il est bien possible que les installateurs fassent une fausse interprétation des détails pendant la construction.

Le constructeur devrait élaborer un ensemble rigoureux de procédures de contrôle de la qualité au cours de la construction. La coordination du travail est essentielle afin d'assurer la performance à long terme, particulièrement en ce qui concerne l'enveloppe du bâtiment, où de nombreux corps de métier sont appelés à travailler. Les soumissions, les dessins d'atelier et les réunions avant l'installation sont autant d'outils qui devraient être utilisés à l'étape de la construction pour clarifier, raffiner et vérifier la conception. Les maquettes sont un autre outil utile, qui permettent au concepteur et au constructeur de travailler avec les divers corps de métier engagés dans la construction de l'enveloppe du bâtiment et résoudre des questions relatives à la faisabilité de construction et à l'ordonnancement. Une fois mises à l'essai et approuvées, les maquettes peuvent servir à établir une norme visible et tangible pour les travaux qui suivent.

Manutention des matériaux

La lutte contre l'humidité au cours de la construction est un autre aspect important. Même lorsque du bois sec est acheté et livré sur le chantier de construction, il peut se mouiller avant ou pendant la construction. Des méthodes devraient être mises en place pour :

- garder les matériaux à base de bois au sec pendant son entreposage sur le chantier,
- minimiser le mouillage des matériaux installés et
- favoriser le séchage des matériaux par la ventilation, le chauffage ou la déshumidification.

Les matériaux en bois exposés au mouillage devraient être séchés à un degré d'humidité de 19 % ou moins avant d'être enfermés dans les assemblages. Dans les bâtiments exposés à un mouillage important pendant la construction, le calendrier des travaux devraient prévoir suffisamment de temps pour l'assèchement approprié de l'ossature et des matériaux de revêtement intermédiaire. Des membranes étanches, installées rapidement après le montage des assemblages, peuvent servir à minimiser l'exposition aux intempéries. Des moyens mécaniques d'assèchement, comme la chaleur artificielle ou la déshumidification, ou les deux, peuvent être empruntés pour accélérer le processus de séchage.

Conclusion

Les bâtiments à ossature de bois jouissent d'une solide réputation quant à leur durabilité à long terme. Le bois continuera d'être le matériau de choix étant donné ses avantages d'un point de vue environnemental, sa facilité d'utilisation et son coût concurrentiel. En appliquant correctement les principes de conception de l'enveloppe du bâtiment, tous les matériaux peuvent offrir une bonne performance à l'égard de la durabilité.

La nécessité de construire des bâtiments durables transcende l'obligation de créer aussi des bâtiments salubres étant donné que la durabilité minimise les répercussions environnementales sur notre société. En fait, les bâtiments en bois offrent une bonne performance par rapport à d'autres matériaux à en juger du point de vue du coût du cycle de vie qui tient compte de facteurs comme l'émission de gaz à effet de serre, l'indice de pollution de l'eau, la consommation d'énergie, la production de déchets solides et l'utilisation des ressources écologiques. Cependant, les avantages environnementaux du bois ne peuvent être réalisés que si le bâtiment est conçu et construit en fonction de la durabilité à long terme.

Avec passion et éloquence, l'architecte James Cutler a évoqué la nécessité « d'honorer le bois » par le processus de conception et de construction des détails du bâtiment. Ce processus fait naturellement appel au concept de protéger le bois de l'humidité, le principe essentiel de la conception en fonction de la durabilité.



PHOTO 5 : Détail de chevron de la résidence Paulk, par James Cutler.

Mentions :

Page de couverture : Architecte – CBT Architects
Photographe – Edward Jacoby

Couverture arrière : Architecte – Hughes Baldwin Architects
Photographe – Peter Powles

Photo 1 : Photographe – Klaus Brinkmann

Photo 2 : Promoteur – Polygon Lanesborough Development Ltd.
Architecte – Neale Staniszkiis Doll Adams Architects
Ingénieur en enveloppe du bâtiment – Morrison Hershfield Ltd.

Photo 3 : Architecte – Miller|Hull Partnership
Photographe – Michael Skott

Photo 4 : Architecte – Nancy Mackin Architecture
Photographe – Anthony Redpath & Peter Powles

Photo 5 : Architecte – James Cutler
Photographe – Art Grice

Figure 3 & 4 : *Builder's Guide*, Building Science Corporation

Figure 5 & Tableau 1 : *Guide des règles de l'art - Enveloppe de bâtiments à ossature de bois dans le climat littoral de la Colombie-Britannique*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, www.cmhc-schl.gc.ca

Figure 10 : *Survey of Building Envelope Failures in the Coastal Climate of British Columbia*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, www.cmhc-schl.gc.ca



Conseil
canadien
du bois

Canadian
Wood
Council



Conseil canadien du bois

1400, Place Blair, bureau 210
Ottawa (Ontario) K1J 9B8
Téléphone : 1-800-463-5091
Télécopieur : 1-613-747-6264
Courrier électronique : info@cwc.ca

Nos sites Web :

Durabilité du bois :
www.durable-wood.com

Conseil canadien du bois :
www.cwc.ca

L'inforoute de la forêt canadienne :
www.cfn.ca

Revue Wood Design & Building :
www.wood.ca

Logiciel WoodWorks© Design Office :
www.woodworks-software.com

Projet Branché sur le BOIS! :
www.wood-works.org