



Seminaire CECOBOIS “Les pros du bois”

Intégration de l’enveloppe du bâtiment dans les ouvrages de bois

Richard Trempe, arch. M.Sc.

Première partie





Seminaire CECOBOIS “Les pros du bois”

Intégration de l’enveloppe du bâtiment dans les ouvrages de bois

Cette présentation est protégée par la Loi sur les droits d’auteurs. Il est interdit de reproduire, de distribuer ou de présenter ce document sans l’autorisation écrite de son auteur.

Le crédit des images utilisées ne provenant pas de l’auteur est indiqué au bas de chacune des pages de présentation.

La présentation remise aux participants correspond généralement à celle qui est diffusée en cours de formation. Prendre note toutefois que certaines études de cas, quelques photos de même que des détails non-recommandés et servant d’exercice y ont été retirés.

© Richard Trempe 2020



1

Considérations générales

- Mise en contexte
- Définition globale de l'enveloppe

Les propriétés du bois et l'enveloppe du bâtiment

- Composition et transformation
- Gestion de l'humidité
- Étanchéité à l'air
- Transfert thermique
- Critères de conception

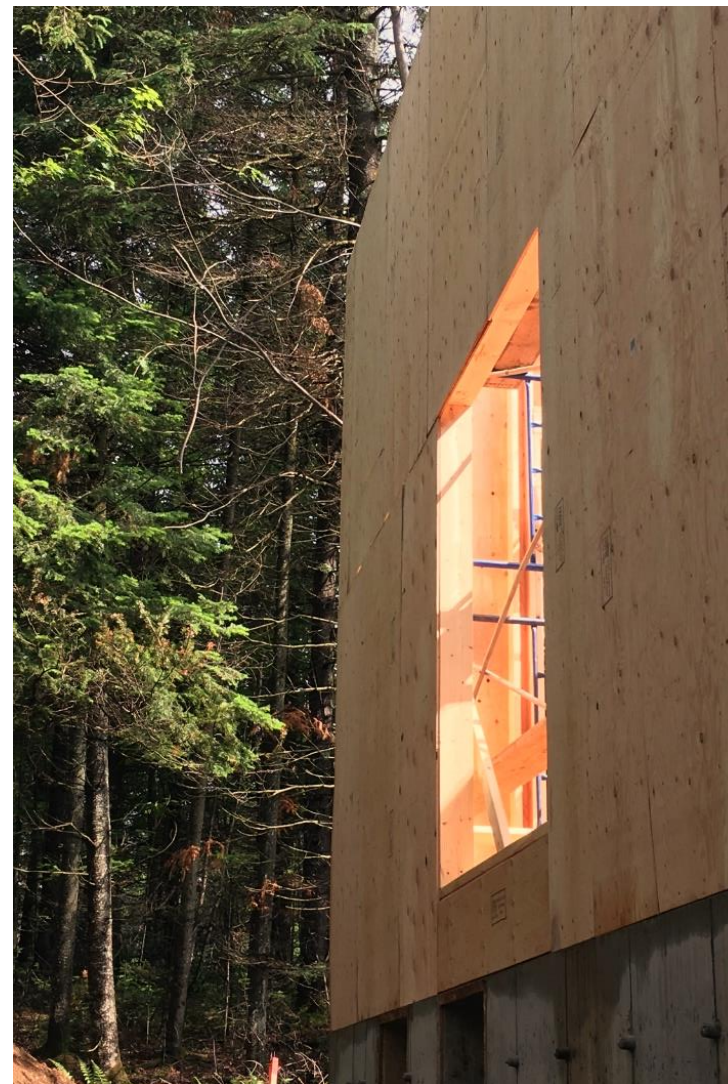
2

Assemblages

- Évolution des espèces
- Typologies et systèmes d'enveloppe
 - Charpente pleine - Ossature légère
 - Poutres et poteaux - Panneaux massifs

Vie en service

- Gestion de chantier
- Altérations
- Bien-être



Source: Photo R.Trempe
Auvergne Laboratoire vivant



Considérations générales

Mise en contexte
Définition globale de l'enveloppe



Source: Photo R.Trempe
Auvergne Laboratoire vivant



Objectifs

- **Comprendre** l'interrelation entre les ouvrages de bois, type d'enveloppe utilisé et à la performance de l'ensemble;
- **Porter un regard critique** sur les différents assemblages utilisés dans l'industrie et leur impact tout au long du projet et suite au projet;
- Se sensibiliser à **l'importance du détail** et en mesurer les impacts.



La compréhension globale de l'enveloppe

C'est à partir d'une meilleure compréhension des principes d'échanges hygrothermiques de l'enveloppe que l'on peut mieux concevoir nos assemblages

L'interdépendance

Comment intégrer l'enveloppe la plus appropriée en fonction d'un système constructif donné

Le contenu de la formation

- Recherche documentaire: documentation spécialisée, organismes et recherches académiques (peu de guide en lien avec enveloppe vs structure) / sources répertoriées
- Expérience (conception et expertises)
- Discussions avec intervenants du milieu

Limitations (champ d'expertise):

Plans discutés: Échanges Eau - Air – humidité – transferts thermiques

Plans non-discutés: Feu – Son

Source:

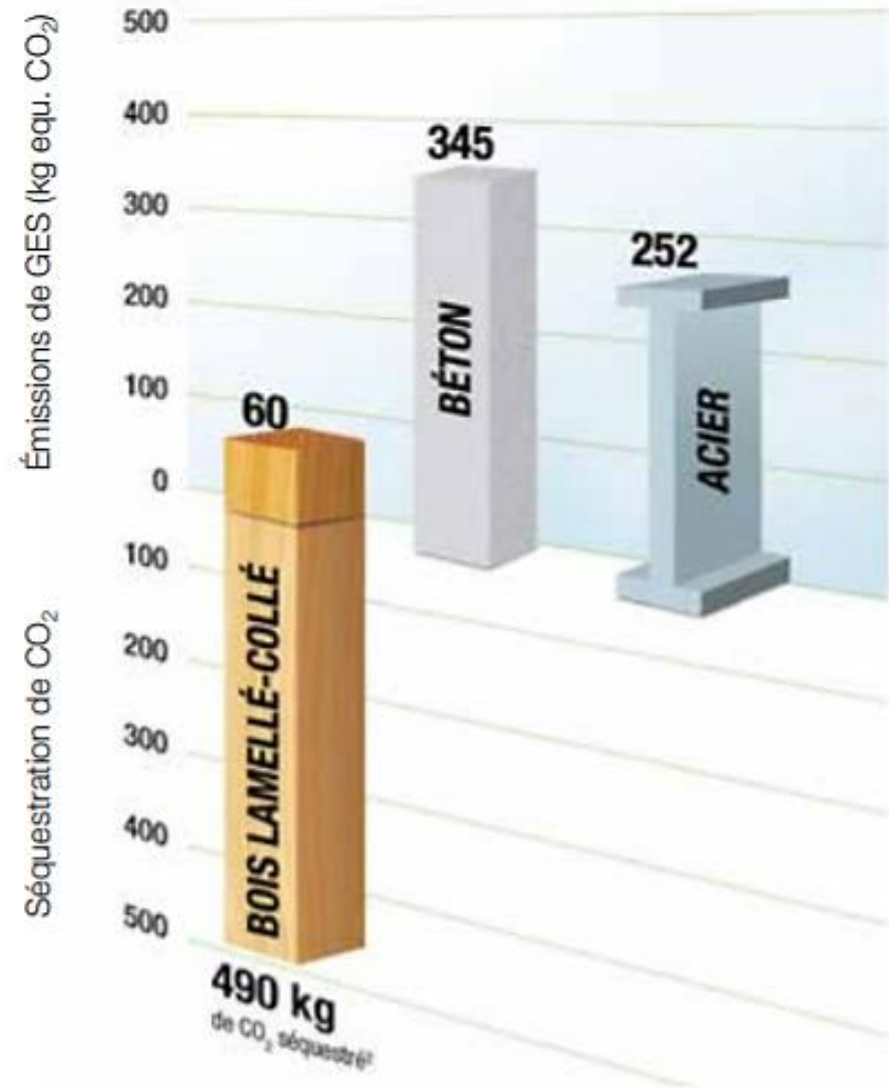


Qu'est-ce qui distingue le bois en lien avec l'enveloppe ?



1. Polyvalence : revêtement, structure et remplissage
2. Manœuvrabilité, « transformabilité », léger et facile à travailler
3. Hygroscopie : capacité du bois à réagir à l'eau et aux variations d'humidité, pouvant donc absorber et libérer une quantité d'humidité., selon le milieu environnant. Il peut agir comme régulateur d'ambiance, mais peut aussi subir des changements de dimensionnement (retrait et gonflement)

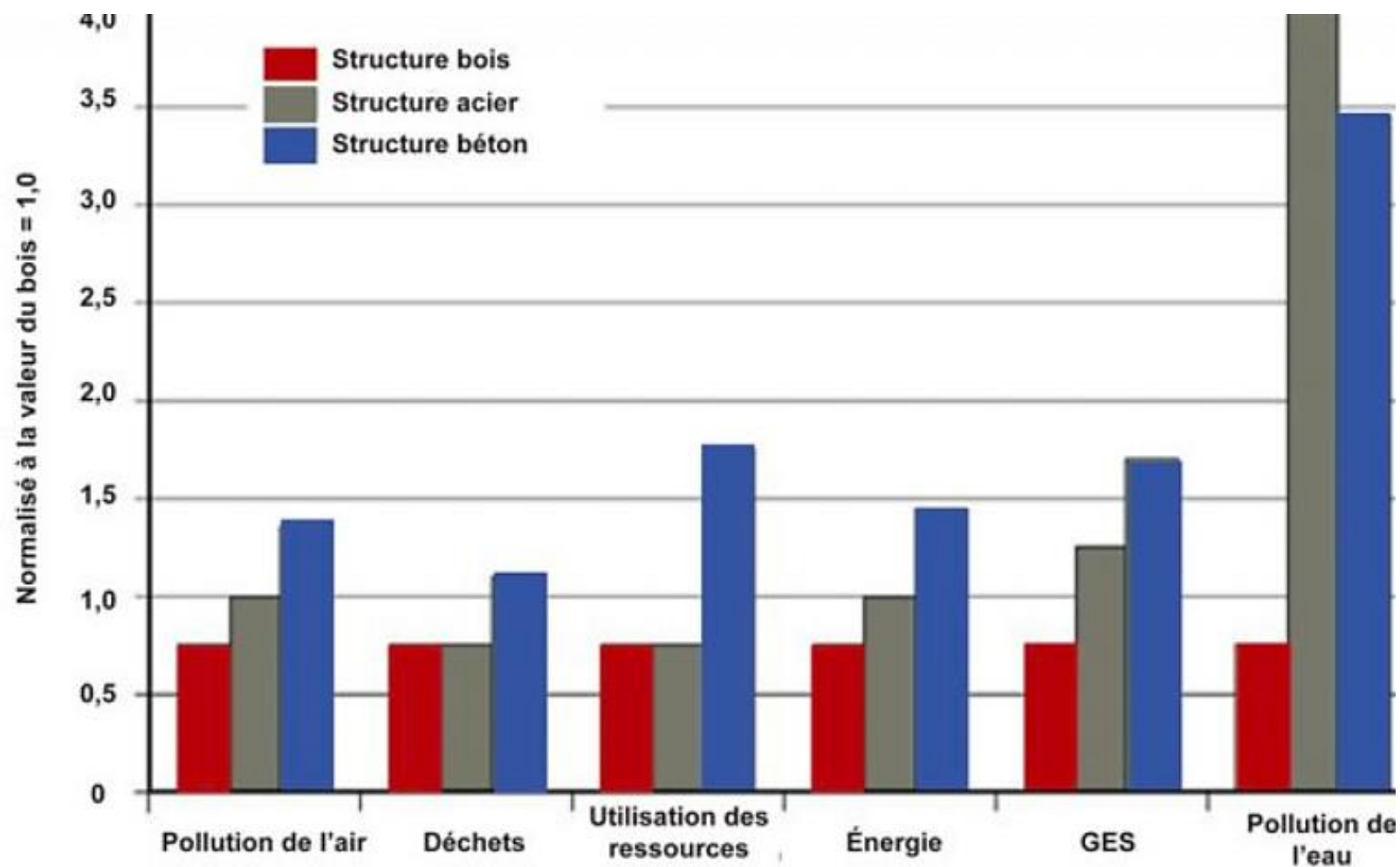
4. Ressource renouvelable: versus sable et autres
5. Faible empreinte carbone: séquestration – cycle de vie
6. Faible conductivité: 1/500^e acier – 1/10^e béton
7. Durable
8. [...]



Source: Guide ossature légère CECOBOIS
Holzbau-Argumente

Mise en contexte

Qu'est ce qui distingue le bois?

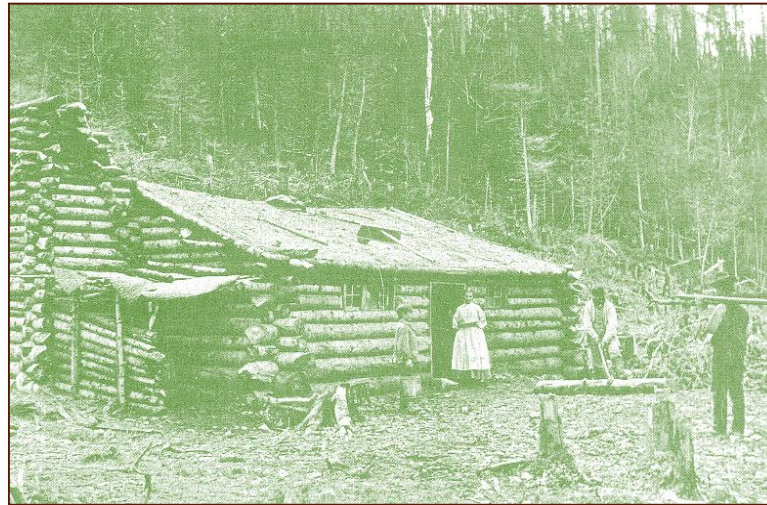
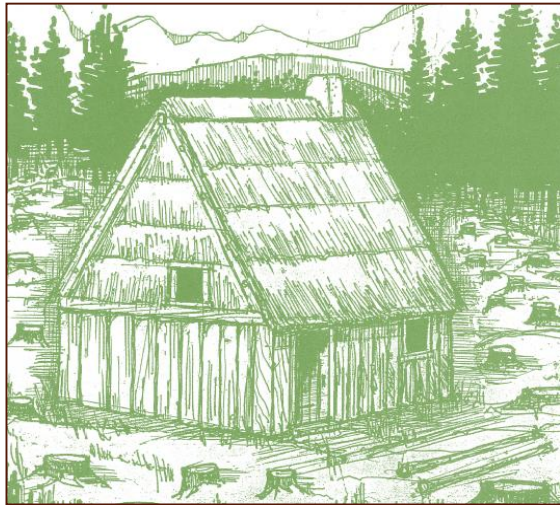


Source: Conseil canadien du bois,
Éco-calculateur Athéna / repris autres documents



Ce qui distingue le bois, c'est aussi...

La signification et le sentiment qui s'y rattachent : ma cabane au Canada



Voyage au Canada : le mythe de la cabane au fond des bois

Un lac et une cabane en bois : les Canadiens auraient-ils trouvé l'équation secrète qui mène à la sérénité ?

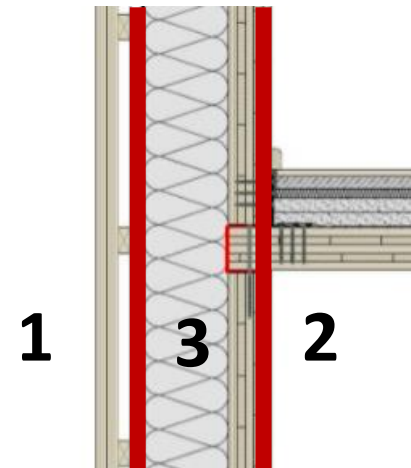
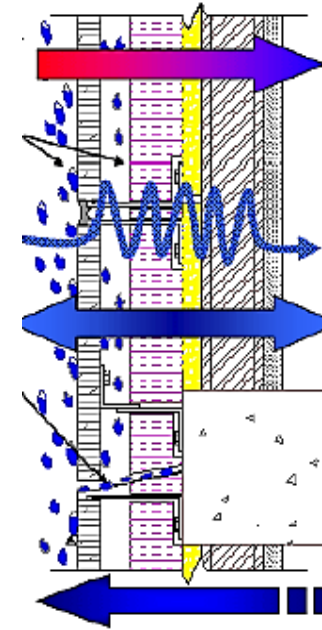


L'enveloppe en tant que séparation physique

La littérature scientifique est utilisée pour définir l'enveloppe du bâtiment comme étant **la séparation entre deux environnements différents qui gère le mouvement de l'air, de l'eau et de la vapeur d'eau, du bruit et du transfert de chaleur.**

Au-delà de cette définition, l'enveloppe:

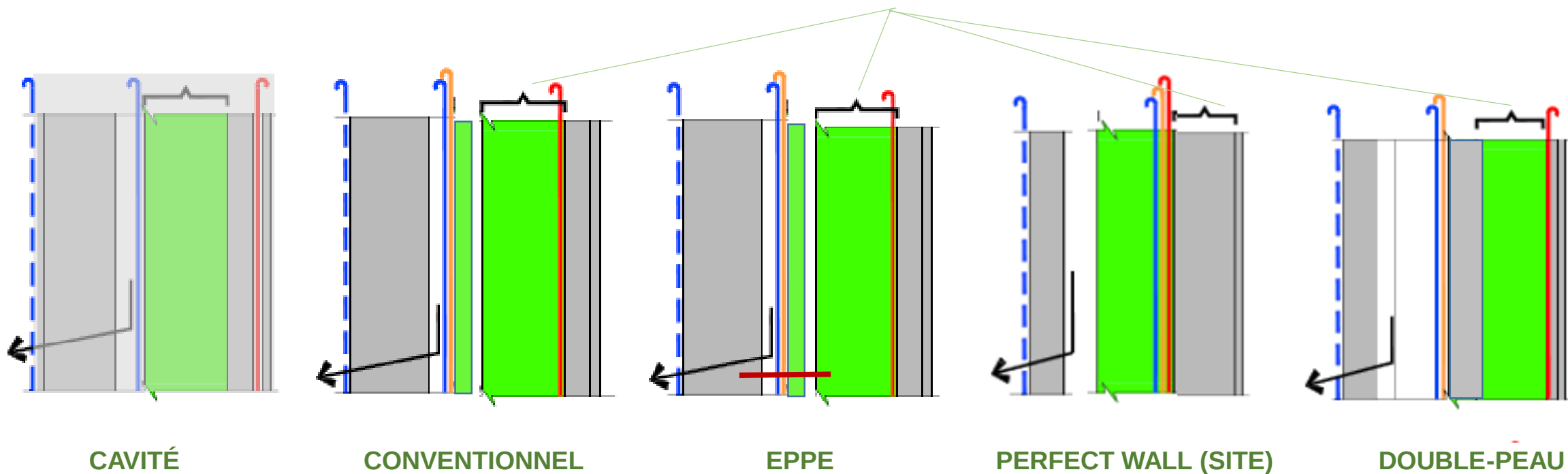
- Constitue une séparation fermée ou non, avec ou sans possibilité d'échanges, contrôlés ou non.
- Sépare un environnement externe d'un environnement interne, ou deux environnements différemment conditionnés.
- Interagit avec ces deux environnements, mais aussi avec l'espace qu'ils définissent eux-mêmes.



Définition globale de l'enveloppe

Organisation générale et possibilités

OSSATURE / STRUCTURE / PANNEAU MASSIF



- Pare-pluie / pare-eau
- Système étanchéité à l'air (SAE)
- Pare-vapeur ou frein-vapeur
- Isolation

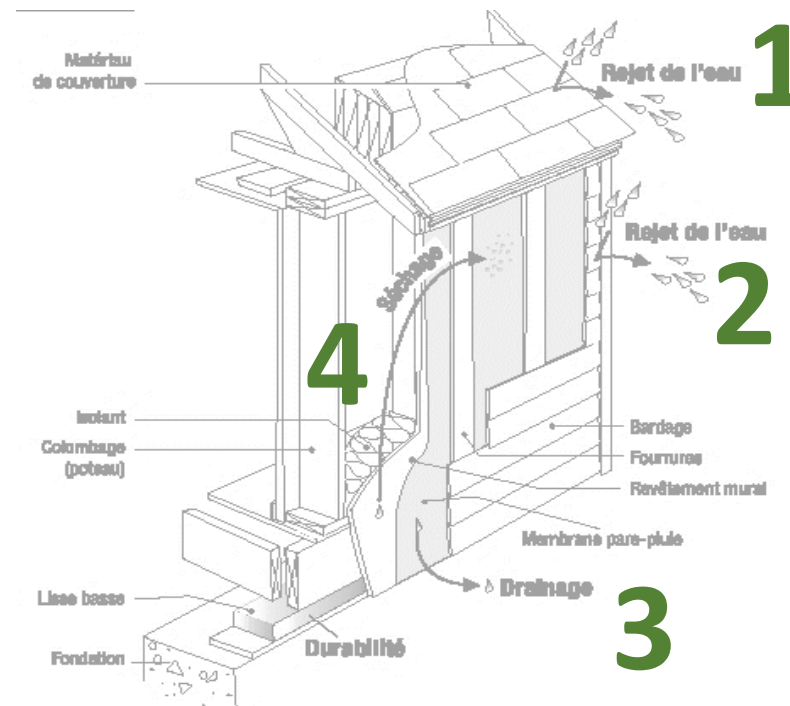
ÉCRAN PARE-PLUIE

Source:



Résister ou s'adapter ?

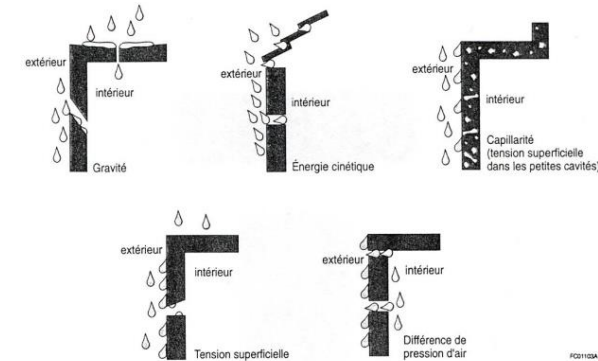
La réponse est peut-être de réduire les risques au minimum mais de gérer si le risque survient



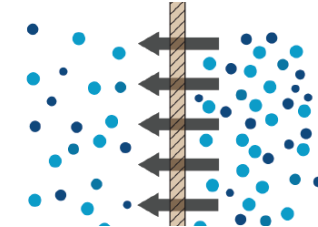
Source: (Dessin) SCHL Archives

Mode de transport: comment l'humidité traverse les matériaux :

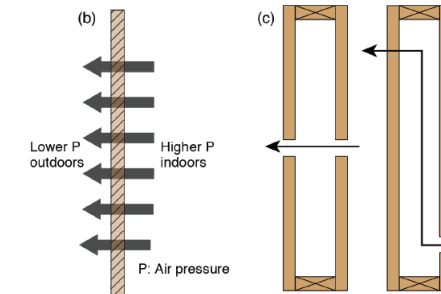
- Circulation d'eau par une **force** ou une combinaison des forces



- Diffusion de vapeur par une **différence de pression de vapeur d'eau**



- Déplacement d'air humide par une **différence de pression d'air**



Source: (Dessins) CNRC / Canadian architects

Les propriétés du bois et l'enveloppe du bâtiment

Composition et transformation

Gestion de l'humidité

Étanchéité à l'air

Transfert thermique

Critères de conception



Les propriétés du bois et l'enveloppe du bâtiment

Question quizz:

En quoi une enveloppe de bâtiment intégrée à un ouvrage de bois se distingue-t-elle d'une autre intégrée à un ouvrage de béton ou encore d'acier?



Les propriétés du bois et l'enveloppe du bâtiment

Question quizz:

En quoi une enveloppe de bâtiment intégrée à un ouvrage de bois se distingue-t-elle d'une autre intégrée à un ouvrage de béton ou encore d'acier?

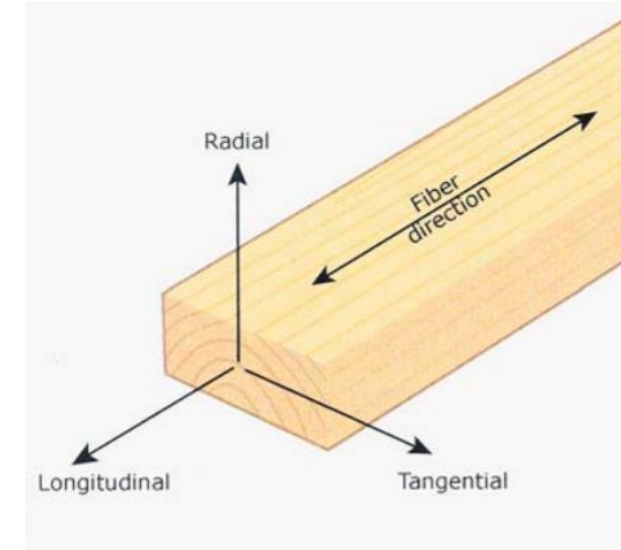
- Matière renouvelable
- Empreinte carbone (fixation du CO₂)
- Hygro régulateur
- Sensible à l'humidité excessive
- Contribution thermique (isolant)
- Moyenne inertie thermique (accumulateur de chaleur)
- Image véhiculée
- Liberté de design plus grande
- Détails développés en lien avec l'anisotropie
- retrait – gonflement
- Tassement versus autres matériaux de l'enveloppe
- Coût initial pouvant être plus élevé (versus coût global)
- Réduction consommation d'énergie grise
- Chantier plus propre
- Protection de chantier accrue
- Rapidité d'exécution (préfabrication)
- Rapidité d'exécution (montage)
- Qualité de l'air ambiant optimisée
- Contribution des parois
- Entretien ciblé

Source:



Propriétés

- **Comportement** en fonction des essences
- Exemple épinette noir : rectitude, solidité, légèreté, stabilité dimensionnelle, performance concernant la résistance au feu, bonne isolation thermique
- **La densité** : effet majeur sur conduction, précipitation, humidité, température, soleil
- **Matériel anisotrope** et non-homogène (état naturel), plus de variations que les matériaux fabriqués
- **Teneur en eau élevée** : 30% à 200% dans la nature



Axes principaux et direction du grain de bois

Exemple de retrait dû au séchage

Bois de sciage			Bois lamellé-collé	
Vert 28 %	À l'installation (séché) 19 %	En service 10 %	À l'installation 12 %	En service 10 %
TH à l'installation = 19 % TH en service = 10 % Retrait différentiel = 5,1 mm (3/16 po)			TH à l'installation = 12 % TH en service = 10 % Retrait différentiel = 1,1 mm (1/16 po)	

Retrait 3.8%

Retrait 0.4%

Transformation du bois (bois d'ingénierie):

- Découper et recomposer la matière (optimisation de la matière)
- Un meilleur contrôle de la matière (versus planche naturelle)
- Stabilité accrue du bois / réduction du fendillement
- Séché avant fabrication



Charpente composite



Lamellé collé

- Empilage de bois collé sous pression
- Utilisation structurale (poutre colonne)

CLT

- Plusieurs pièces de bois collées perpendiculairement
- Murs, platelage de toit ou de plancher
- Grand intérêt pour le préfabrication

Charpente composite

- Collage sous pression de copeaux ou de plaques
- Utilisée en substitut aux pièces traditionnelles (solives, colonnes, poutres,...) – LVL -

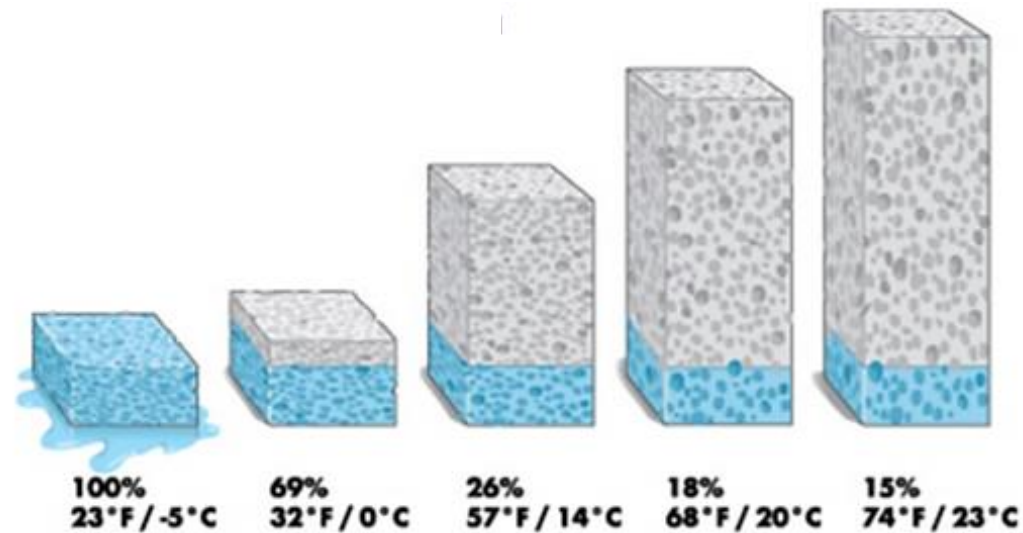
Gestion de l'humidité
Étanchéité à l'air
Transfert thermique
Critères de conception

Le plus grand défi c'est d'intégrer et composer avec les propriétés du bois



Rappel humidité relative

Rapport entre le volume de vapeur d'eau contenu dans l'air à une certaine température et la quantité maximale que ce même volume d'air peut contenir, à cette même température



Rappel teneur en humidité

La teneur en humidité du bois est la quantité d'eau contenue dans le bois généralement exprimée en pourcentage du poids du bois sec.

$$H = \frac{M_H - M_o}{M_o} \times 100$$

Exemples (masse volumique)

Chêne: $\frac{1000\text{kg} - 690\text{kg}}{690\text{kg}} \times 100 = 45 \%$

CLT: $\frac{465\text{kg} - 410\text{kg}}{410\text{kg}} \times 100 = 13 \%$

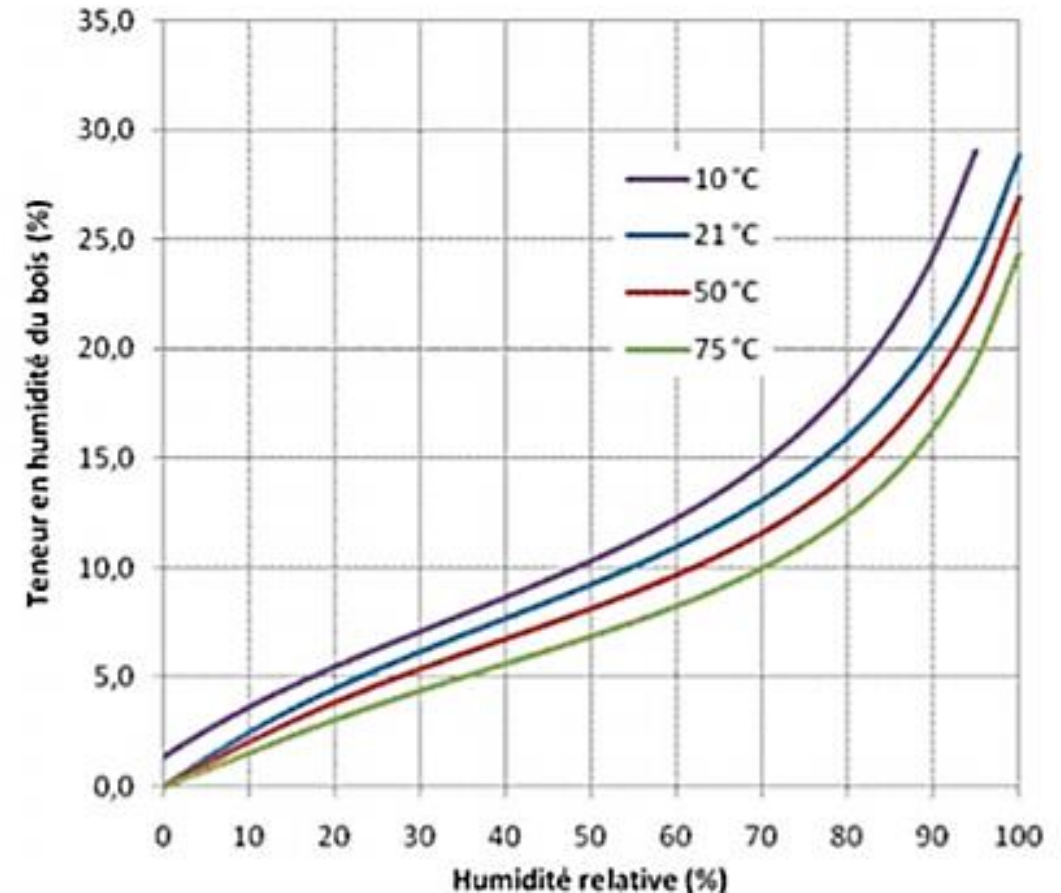


La teneur en humidité :

Rapport exprimé en pourcentage de la masse de l'eau présente dans le bois avec la masse du bois anhydre (sec).

La teneur en humidité du bois dépend :

- De l'humidité initiale
- De l'humidité relative de l'air
- De la température de l'air



La teneur en humidité: quelques repères

- < 19% : Le bois est dit « sec » et a de meilleures propriétés mécaniques que le bois humide. Plus un bois est humide plus ses propriétés mécaniques sont faibles
- > 19% : Le bois est dit « vert » ou « humide », peut favoriser la moisissure
- > 28% : Saturation des fibres.
- L'eau additionnelle remplit les vides cellulaires d'eau liquide
 - le bois ne subit plus des déformations (gonflement et retrait)
- 35 à 120% Bois « vert » ou récemment abattu
- 200% Bois immergé

Teneur en humidité, arbres fraîchement abattus

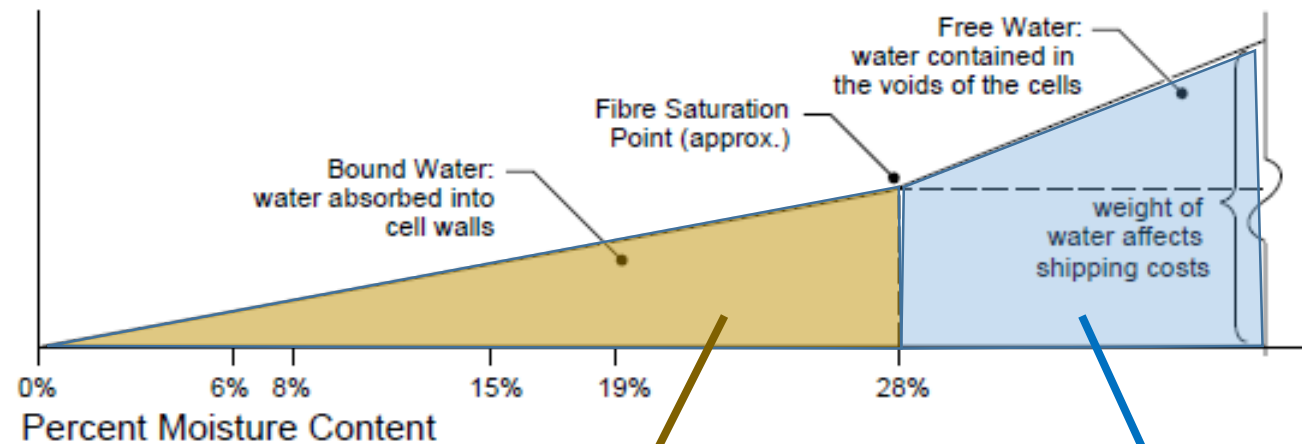
	Bois de cœur	Aubier	Mélangé
Épinette blanche	38	144	55
Épinette rouge	41	132	89
Épinette noire	52	113	77
Pin gris	33	124	51
Sapin baumier	88	173	118

Source: (Tableau)

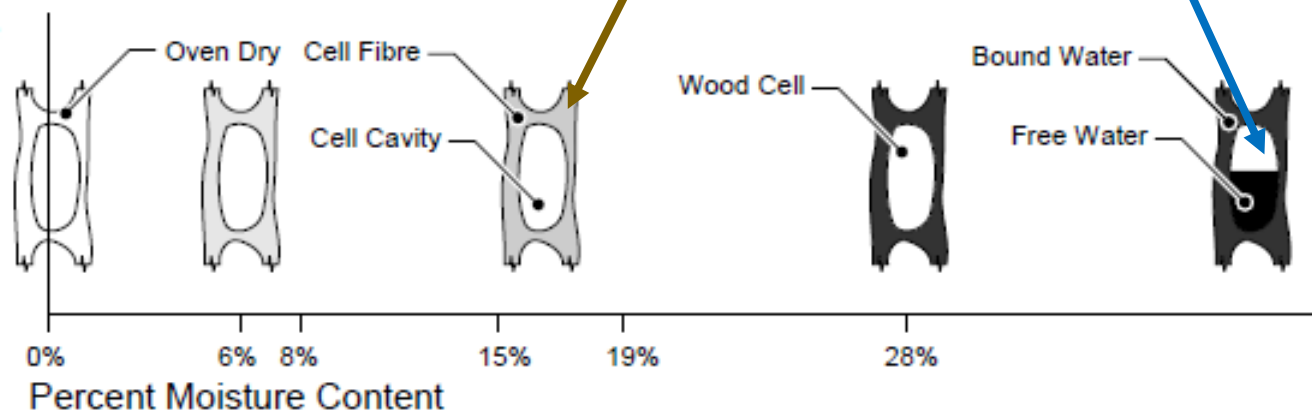
Enclosure building design CLT construction



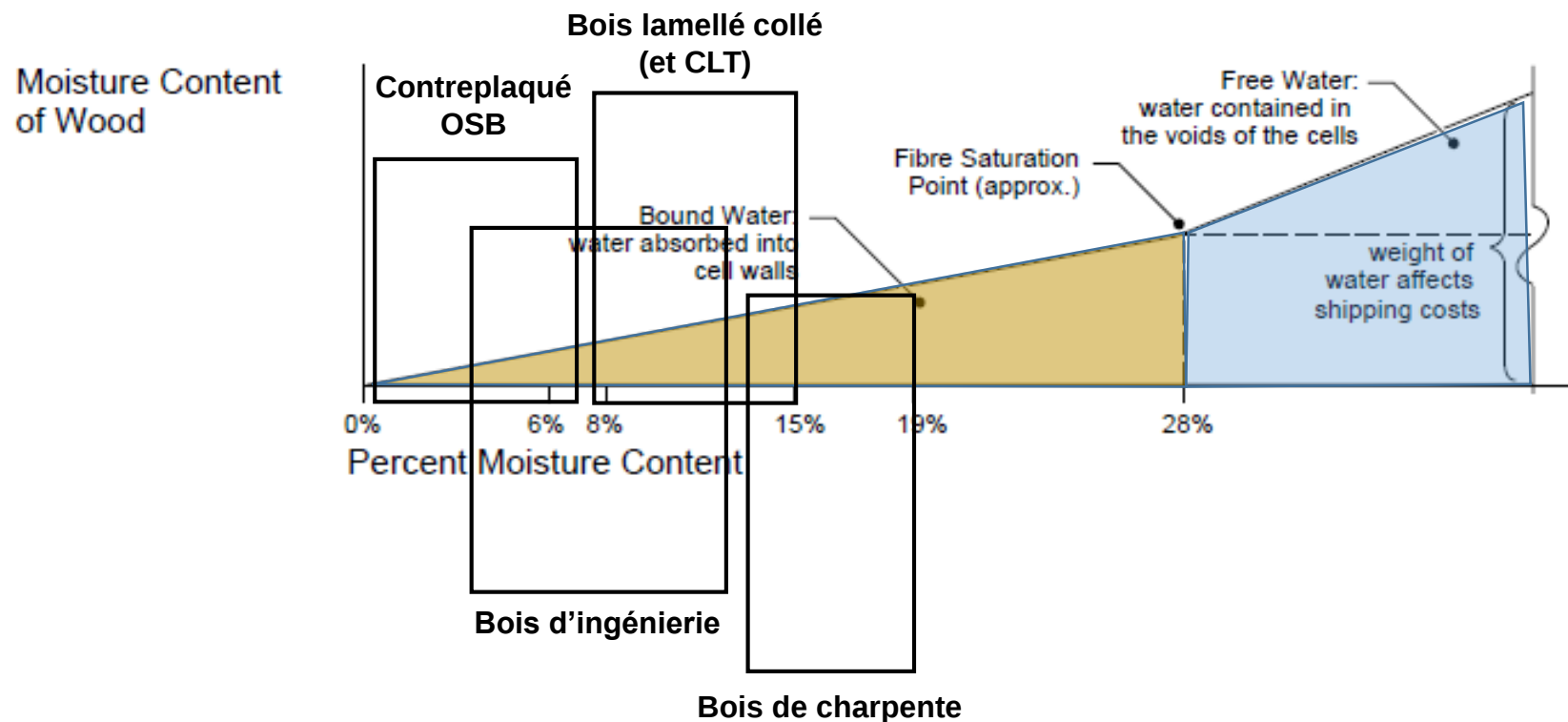
Moisture Content of Wood



Wood Cell Moisture



Source: Forintek (à confirmer)



Bois de charpente sec	13 % à 19 %
Bois d'ingénierie (poutrelles en I, SCL)	4 % à 12 %
Bois lamellé-collé	7 % à 15 %
Panneaux (OSB, contreplaqué)	4 % à 8 %

Source: Forintek (à confirmer) / montage R.Trempe

-	Coloration/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 moisissure désigne **l'apparition d'un « champignon microscopique**, de couleur verdâtre ou blanchâtre, qui se développe, à la faveur de l'humidité. Le champignon se nourrit du bois et cause sa détérioration.

Wikipedia

La pourriture est une **dépréciation d'une matière organique** qui entre en décomposition sous forme d'agglomérat de moisissures et aboutissant à la putréfaction [...]

Aquaportail

Source: (Tableau) FP Innovations



Hygroscopie et milieu ambiant

- Un matériau hygroscopique tend constamment à rejoindre un équilibre hygroscopique avec l'air qui l'entoure
- Le bois absorbe et dégage de l'humidité pour s'équilibrer avec son milieu environnant
- L'équilibre va dépendre des variations des conditions climatiques.

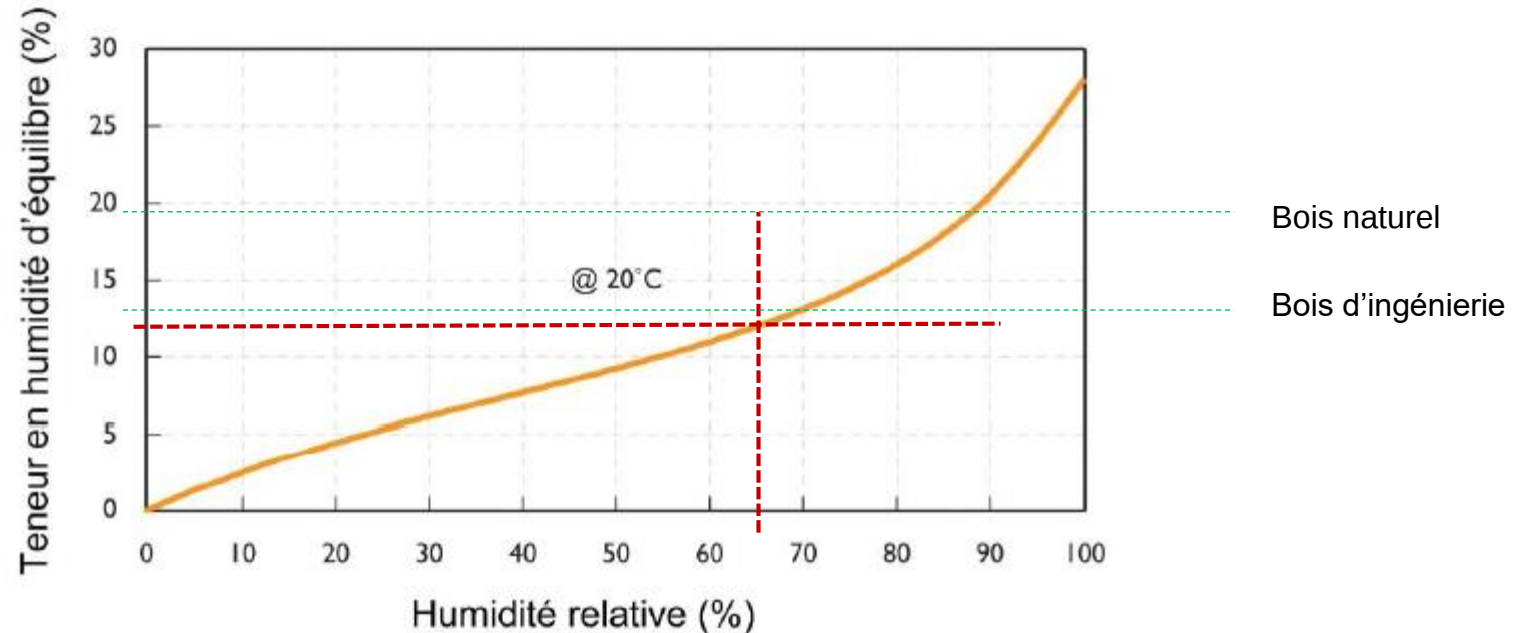
Matériau	Masse volumique (kg/m ³)	Pourcentage de micropores (% du volume de matériau) en (m ³ /m ³)
Brique	1 950	0,8 – 1,1
Béton cellulaire	40	4 – 12
Plafonnage de chaux	1 800	4,7
Plaques de plâtre	800 – 1 400	10
Bois résineux	500	12 – 15

Pourcentage moyen de micro-pores de certains matériaux
Dans la construction

Équilibre hygroscopique: entre 8 et 14%

Exemple à 65%HR et 20°C, Équilibre hygroscopique à 12%

- Fabrication bois d'ingénierie : 12-14%
- Intégration bois naturel : 19%
- Bois d'ingénierie près de son équilibre (moins de déformation prévisible)



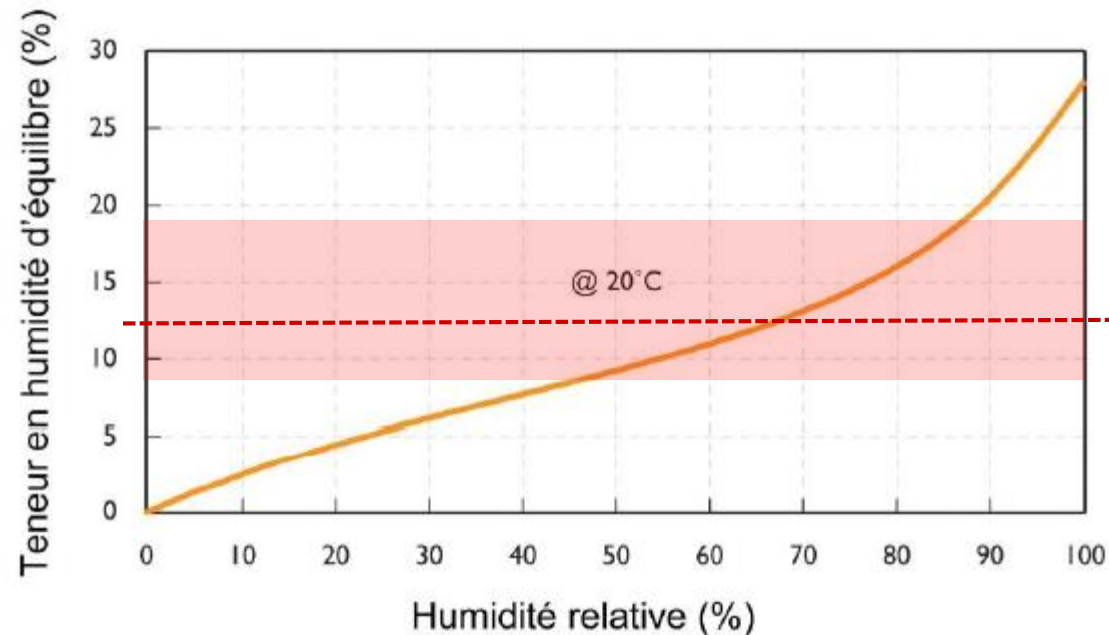
Équilibre hygroscopique à 20°C, HR variables – Essences EPS bois résineux

Source: Référence (courbe) sur web (HPO 2011)

L'équilibre hygroscopique ou teneur en équilibre sera atteint :

- Teneur en humidité constante dans un milieu où la température et l'humidité relative sont relativement constantes.
- Varie en fonction des conditions ambiantes
- Varie en fonction des essences ou transformations

Exemple : Le CLT est fabriqué avec teneur en humidité de 12% environ, et dans bâtiment la teneur varie entre 8 à 18%. Il peut servir « buffer » lors de changements de conditions ambiantes (emmagasine et restitue)



Bois d'ingénierie

Conditions ambiantes
Intérieures

Équilibre hygroscopique à 20°C, HR variables – Essences EPS bois résineux

Source: Référence (courbe) sur web (HPO 2011)

matériau	produit	épaisseur mm pouces	perméance (W) ng / s . m ² . Pa
BOIS			
bois de charpente		12.7 1/2"	196
bois de charpente		19 3/4"	131
bois de charpente		15.9 5/8"	157
bois de charpente		25.4 1"	98
bois de charpente		38 1 1/2"	65
bois de charpente		64 2 1/2"	39
bois de charpente		89 3 1/2"	28
bois de charpente		140 5 1/2"	18
bois de charpente		184 7 1/4"	14
bois de charpente		235 9 1/4"	11
bois de charpente		286 11 1/4"	9
cèdre blanc de l'est		25.4 1"	19
pin blanc de l'est		25.4 1"	26
pin jaune		25.4 1"	54
pin (essence non spécifiée)		25.4 1"	43
épinette		25.4 1"	124
cèdre rouge de l'ouest		25.4 1"	19

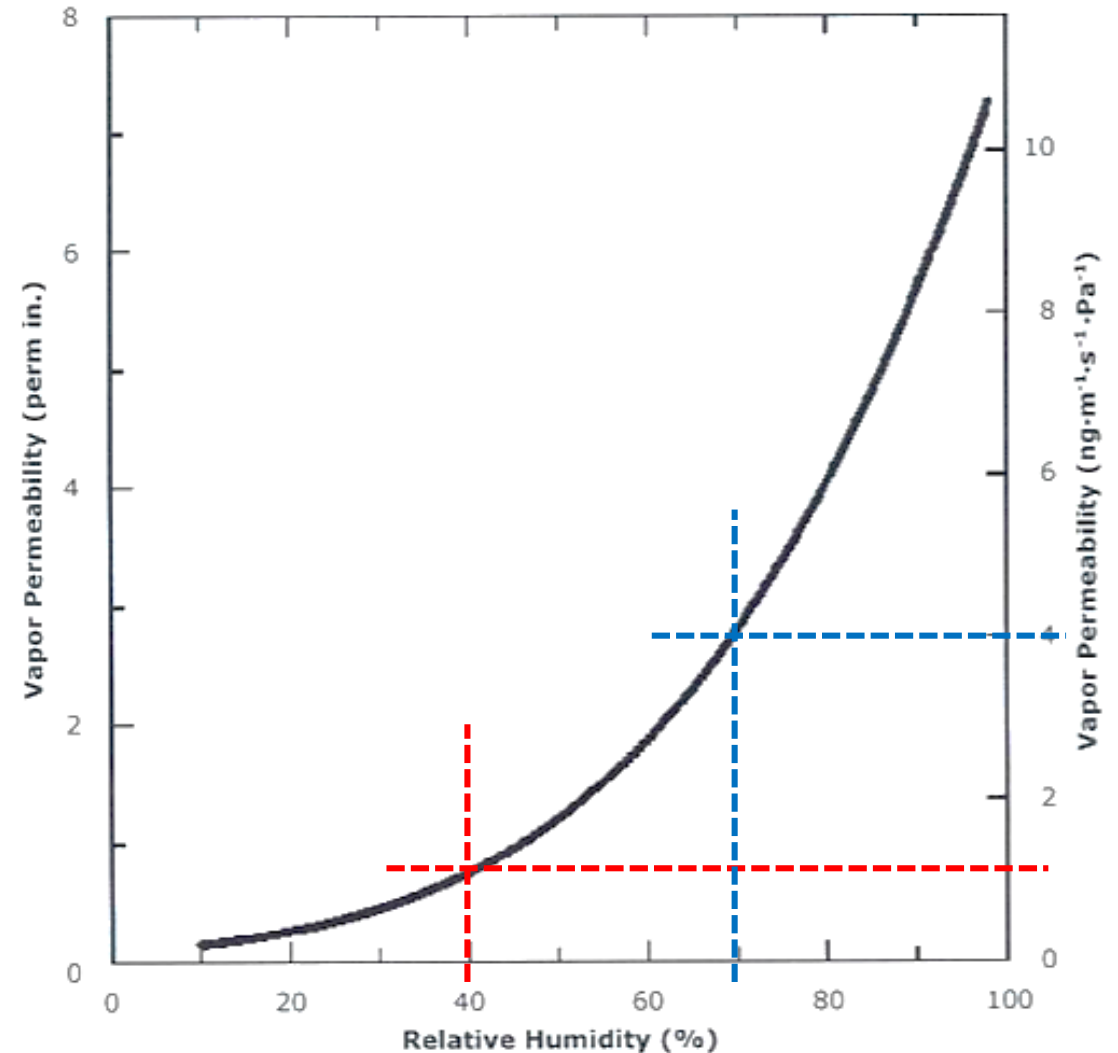
Plus le bois est épais,
Moins il est perméable
À la vapeur d'eau

Plus le bois est dur,
Moins il est perméable
à la vapeur d'eau



Propriétés pare-vapeur des éléments

- Variété des données, en fonction:
 - Taux d'humidité
 - Température
 - Essence, âge et densité du bois
 - Position dans le tronc
- La perméance à la vapeur d'eau augmente avec l'humidité relative.
 - dans le sens du grain est beaucoup plus grande que transversalement,
 - l'humidité se disperse rapidement dans l'élément et l'assèchement est plus rapide.



Source: Enclosure building design CLT construction
(based on NRC 2012)

Propriétés pare-vapeur des éléments

- Le bois est hygroscopique mais ce n'est pas un matériau qui laisse passer facilement la vapeur d'eau (perméance variant de 3 à 50 ng/m².s.Pa)
- Perméance bois d'ingénierie : parfois < 1ng/m².s.Pa
- Des dérivés du bois sont moins pare-vapeur : cellulose, la fibre de bois,

Perméance à la vapeur d'eau, CLT diverses épaisseurs et HR

Relative Humidity %	Vapor Permeance, U.S. perms (ng·m ⁻² ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)		
	4 in. (100 mm)	6 in. (150 mm)	8 in. (200 mm)
20	0.06 (3.4)	0.04 (2.3)	0.03 (1.7)
50	0.31 (18)	0.21 (12)	0.15 (9.0)
80	1.00 (59)	0.68 (39)	0.51 (30)

↑
Plus c'est sec,
Plus c'est étanche à la
vapeur d'eau

→
Plus c'est épais, plus c'est étanche à la vapeur d'eau

Niveau de perméance à la vapeur d'eau – humidité dans le matériau Exemple contreplaqué et OSB

Tableau 4

Source : ASHRAE	Contreplaqué de pin Douglas de 12mm, 470 kg/m ³	OSB 1/2", 660 kg/m ³
10% d'hum. rel.	16 ng/s·m ² ·Pa	4 ng/s·m ² ·Pa
30% d'hum. rel.	49 ng/s·m ² ·Pa	27 ng/s·m ² ·Pa
50% d'hum. rel.	122 ng/s·m ² ·Pa	71 ng/s·m ² ·Pa
70% d'hum. rel.	266 ng/s·m ² ·Pa	134 ng/s·m ² ·Pa
90% d'hum. rel.	542 ng/s·m ² ·Pa	217 ng/s·m ² ·Pa

Niveau de perméance à la vapeur d'eau: variation selon les sources

La perméance du bois est un sujet fréquemment discuté quand il est question d'efficacité de l'enveloppe. La diversité des valeurs de perméance trouvable dans la documentation technique alimente la discussion. Les tableaux 2 et 3 illustrent cette diversité.

Tableau 2

Différentes valeurs trouvées pour le contreplaqué 3/8"	115 ng/s·m ² ·Pa	Building science corporation
	40 ng/s·m ² ·Pa	CANPLY
	57 ng/s·m ² ·Pa	CCQ 2010 TAB 9.25.5.1.1)
	20 ng/s·m ² ·Pa	Alaska Housing Finance corporation *
	30 ng/s·m ² ·Pa	CANPLY *
	180 ng/s·m ² ·Pa	ASHRAE*

* Valeurs extrapolées

Tableau 3

Différentes valeurs trouvées pour l'OSB 7/16"	120 ng/s·m ² ·Pa	CECOBOIS
	44 ng/s·m ² ·Pa	CCQ 2010 TAB 9.25.5.1.1) et CNB tab 9.25.1.2.B
	111 ng/s·m ² ·Pa	ASHRAE

Propriétés pare-vapeur – intégration dans un assemblage

Rappel de la perméance d'un assemblages : deux stratégies souvent conflictuelles :

- Minimiser l'accumulation d'eau l'enveloppe du bâtiment
- Maximiser la capacité d'assèchement

Afin d'éviter d'emprisonner de la vapeur d'eau dans le bois , un pv supplémentaire n'est théoriquement pas nécessairement requis afin de maintenir sa capacité d'assèchement, selon le détail et le type d'assemblage

La perméabilité à la vapeur d'eau favorise l'assèchement

Inversement une grande perméabilité laisse aussi rentrer plus de vapeur d'eau

Ces phénomènes réfèrent à **la régulation de l'humidité**



La régulation... qu'est ce que c'est?

C'est d'avoir la possibilité d'exercer un contrôle sur la gestion de l'humidité en mettant en place des mécanismes d'assèchement répondant au critère de durabilité recherchée dans l'enveloppe

C'est de créer des enveloppes qui se comportent en harmonie avec les propriétés des matériaux qui les composent, dont le bois particulièrement

C'est de permettre aux matériaux de performer en équilibre hygroscopique

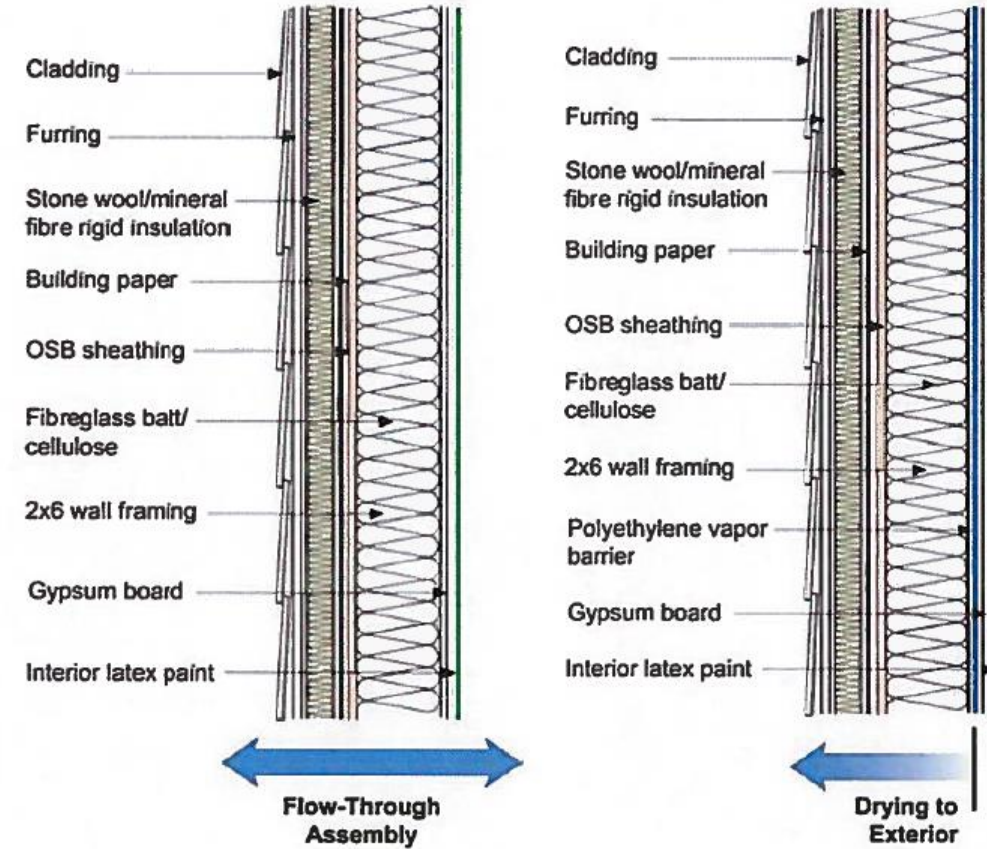


SOURCE:
Souvenir de famille...
Humidité non-contrôlée, habitation

Source: Photo R.Trempe

Régulation et potentiel d'assèchement

- Un pare-vapeur est fait pour **prévenir** la migration d'humidité, mais en fait il empêche aussi sa diffusion, donc l'assèchement vers l'intérieur
- La figure de gauche représente une enveloppe permettant l'assèchement de l'extérieur et de l'intérieur, alors que la figure de droite ne permet qu'un assèchement vers l'extérieur



Source: Controlling condensation from air leakage and vapor Diffusion - Construction Canada (2017)

Perméance (perméabilité) à la vapeur d'eau du bois de charpente



Installés dans les mêmes conditions d'humidité, le panneau OSB moisi davantage que le contreplaqué ou le bois.

Une étude de 2009 du laboratoire Exova en Ontario pour l'Association canadienne des entreprises de mousse uréthane voulait évaluer les dangers potentiels de joindre un isolant de mousse polyuréthane avec une structure de bois standard (épinette).

Il a été établi que pour des épaisseurs de 1,5 à 5,5 pouces (38 à 140mm) la perméance de ce bois perpendiculairement aux fibres varie de 0,35 à 0,63 perm (20 à 36 ng/Pa.s.m²) quelque soit son épaisseur.

Source: Construction Canada,
étude laboratoire Exova (2009)

Bois et comportement

Le bois est un matériau « vivant »

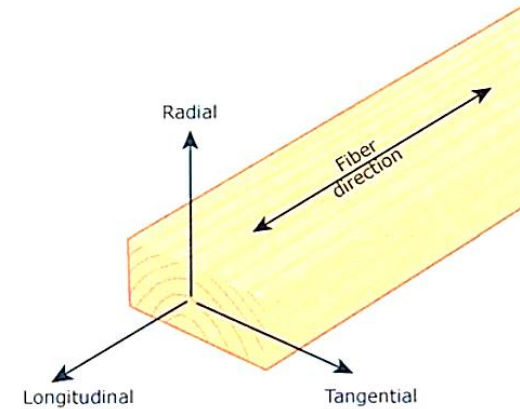
...mais même les matériaux morts subissent des variations....



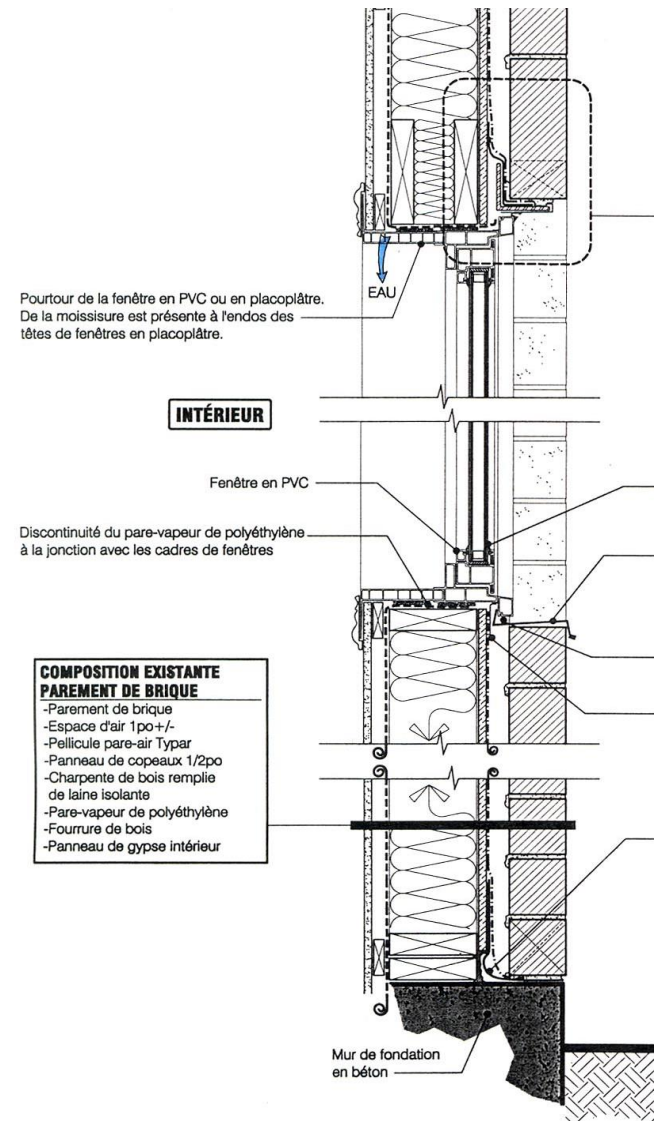
Humidité et comportement

Les rétrécissements

- Dépend surtout de l'humidité
- Se passent à travers les grains
 - Tangentiel > radial > longitudinale
 - Exemple panneau clt 0.4 à 0.5% avec teneur en équilibre de 10%
- Le rétrécissement arrive quand teneur en humidité change.
 - Plus la teneur en équilibre est près de la teneur en fabrication, moins de déformations sont à anticiper
- Expectative d'environ 0,5% de rétrécissement
 - 2 à 4mm par étage (hauteur bâtiment = effet cumulatif)



Source:





Exemple de rétrécissement suite à la construction (après un an): $1.5\text{mm} = 0.4\%$



Mais quelle est la perméabilité à l'air



et à la vapeur d'eau de l'assemblage?

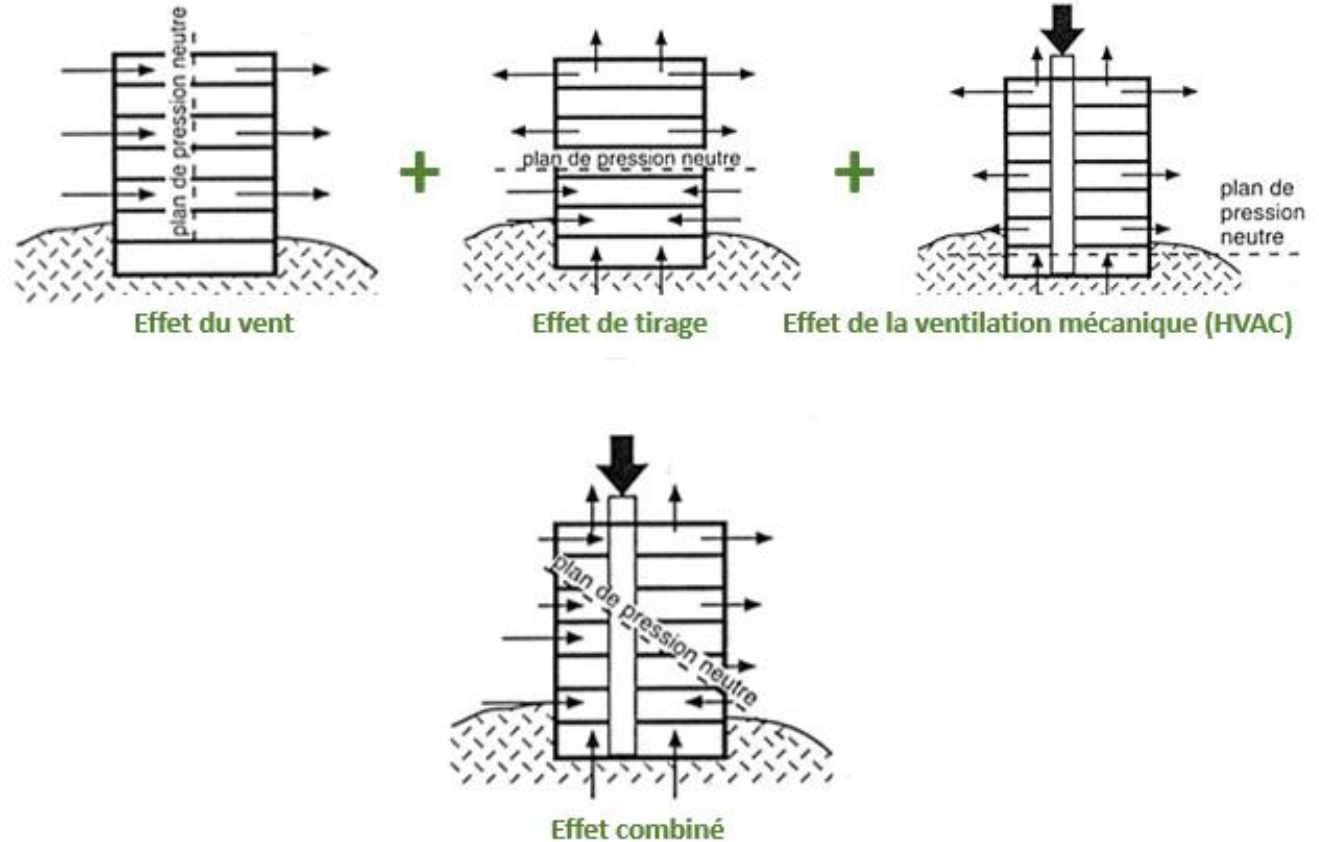
Exemple de rétrécissement suite à la construction (après un an): $1.5\text{mm} = 0.4\%$

Grand défi : faire des enveloppes très étanches

- Référence au nouveau CNEB

Les échanges d'air sont causés par :

- Les turbulences dus au vent (aggravation en hauteur)
- L'effet de cheminée
- Les systèmes mécaniques



Les circuits permettant les échanges d'air sont dus :

- Aux limites des matériaux propres à leur fabrication / composition
Le CLT est pare-air mais à cause des rétrécissements, il est recommandé de pas le considérer ainsi. Faire attention aux données.
- Aux « défauts » de construction

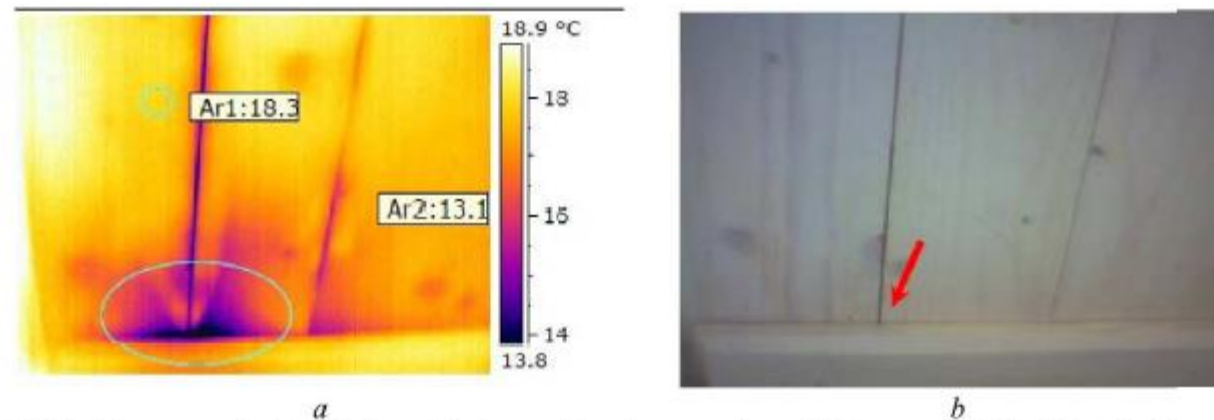


FIG 1. Thermograph (a) and photo (b) from a joint between the wall elements in Geilo Kulturkyrkje.
(Photo Omega Termografering AS)

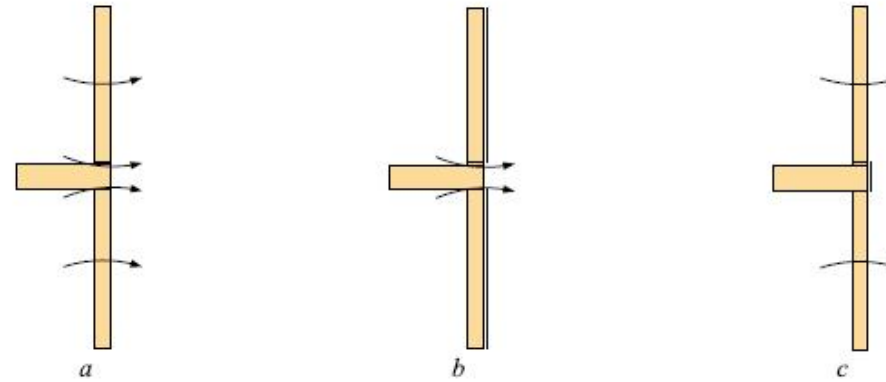


FIG 6. The test section consists of CLT wall and floor sections. The air leakages are measured through the whole test section (a), through the floor section (b) and through the wall sections (c)

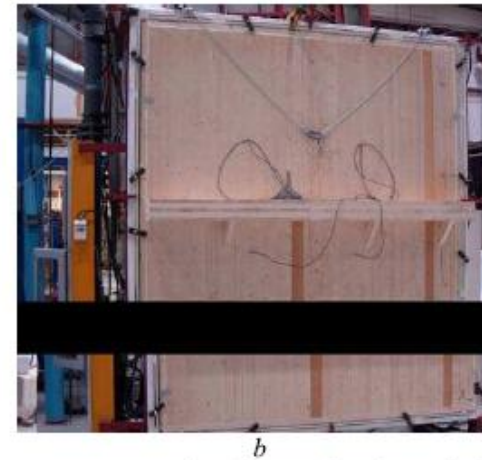
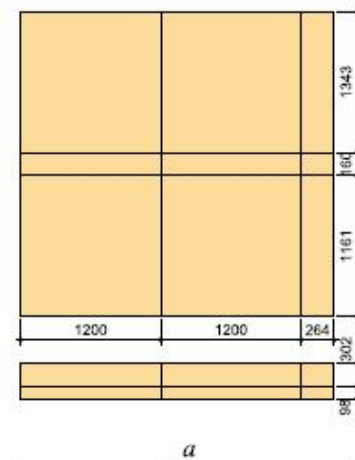


FIG 7. Dimensions of the test section (a), and the test section mounted in the test chamber with the indoor surface turned out (b)

Au sommaire, le flux d'air est exponentiel, selon la pression.

- La quantité de vapeur d'eau qui traverse un matériau par diffusion est très faible
- La quantité de vapeur d'eau qui peut passer par un trou, ou même une minuscule fissure, s'il y a une différence de pression d'air, est beaucoup plus grande



La question énergétique: transfert thermique et empreinte carbone?



Canada Green Building Council
Every Building Greener
Conseil du bâtiment durable du Canada
Verdir tous les bâtiments



RAIC | IRAC
Royal Architectural Institute of Canada
Institut royal d'architecture du Canada

1. Code must address carbon not just energy

The code requirements should address not only energy efficiency, but also the carbon emissions associated with construction and operations. If not all sources of carbon emission associated with buildings are reduced, the codes will not meet the government's objectives.

April 1, 2020

Codes Canada
National Research Council of Canada
Codes.publicreview@nrc-cnrc.gc.ca

Re: **Changes to National Model Energy Code for Buildings and the National Building Code**
Proposed Changes 1527 (NECB17 Div.A and Div.B, various), 1617 (NBC15 Div.B 9.36.1.3), 1608 (NBC15 Div.B 9.36.5)



Table 2

Thermal resistance of typical softwood at various thicknesses and 12% moisture content

Thickness	1 in. (25 mm)	4 in. (100 mm)	6 in. (150 mm)	8 in. (200 mm)
R-value ($\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}\cdot\text{Btu}^{-1}$)	1.25	5.00	7.50	10.00
RSI ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)	0.22	0.88	1.30	1.80

Bois :

- Relativement « bon » isolant (donc bris thermique non-négligeable)
- Relativement « faible » conducteur thermique
- « Moyen » capteur thermique (inertie)
- Comme pour l'humidité, il emmagasine et restitue une certaine quantité de chaleur

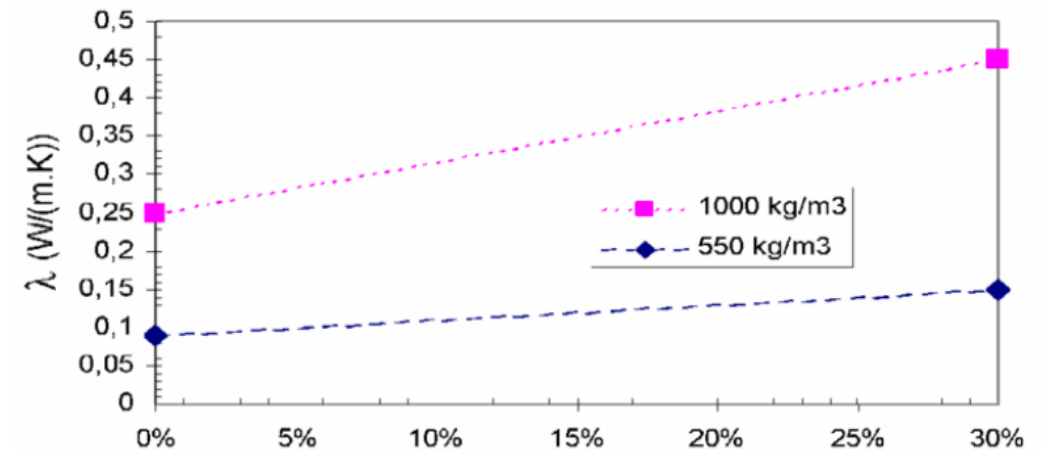
Résistance thermique du bois :

- Dépend de sa température
- Dépend de son humidité

Bonne pratique d'isolation des assemblages en bois:

- Isoler par l'extérieur peu importe le système (conserver au chaud)
- Parfois en hybride (isolation des deux côtés)

Matériau	RSI / mm	R / po
Bois de construction	0.0085	1.23
Bois dur (typ)	0.0055	0.79
Bois tendre (typ)	0.0077	1.11
CLT	0.0080	1.20
Panneau fibre de bois	0.0190	2.80
Béton	0.0004	0.06
Isolant EPS type 2	0.0270	3.99



Source: (Image) Comportement panneau composite
DURISOL-Kosny

Les codes au Québec :

- Tiennent compte du coefficient de transmission thermique (U ou $1/U=R$)
- Ne tiennent pas compte de la capacité thermique (masse thermique)
- La masse thermique réduit la consommation énergétique et améliore le confort



Un test d'une durée de 28 semaines mené par le Département américain du commerce a démontré qu'une maison en bois rond avec des murs R-10 consomme moins d'énergie qu'une maison à ossature standard avec des murs R-12. Cette performance inattendue du mur de bois rond (17% supérieure à ce qui était prévu) ne peut s'expliquer que par l'apport de la masse thermique.

Log Buidling News,
Thermal Properties of Log Homes

Source: Écohabitation



OBJECTIFS ENVELOPPE

Atténuer les excès de chaleur et les températures froides

Déphaser, pour retarder les transferts de chaleur et en profiter au moment opportun

Est obtenu par



INERTIE THERMIQUE

Résistance d'un matériau au changement de température lorsqu'il n'est plus en équilibre

Est dicté par

Vitesse de déplacement de la chaleur

Temps nécessaire pour ré-atteindre l'équilibre thermique

DIFFUSIVITÉ THERMIQUE

Faible diffusivité :
Long délai pour atteindre l'équilibre (isolant)

Forte diffusivité :
Court délai pour atteindre l'équilibre (métal)

Vitesse d'absorption de la chaleur

Capacité de limiter les échanges avec l'environnement

EFFUSIVITÉ THERMIQUE

Faible effusivité :
Le matériau se réchauffe (bois)
Sensation de chaleur

Forte effusivité :
Absorbe l'énergie sans trop se réchauffer (béton)
Sensation de froid

Transfert thermique

Inertie thermique

Matériau	Conductivité thermique W/mK	Diffusivité x 10 ⁸ m ² /s	Effusivité J/m ³ xs ^{1/2}
Acier	50	1425	13248
Béton	1.8	78	2035
Polyuréthane	0.03	63	38
Panneau de gypse	0.25	30	454
Bois (sapin) – planche -	0.15	19	346
Panneau OSB	0.12	17	288
Isolant fibre de bois	0.04	12	116



Transfert thermique

Les ponts thermiques

Effective Insulation/Framing Layer R-Values

Steel-framed wall information adapted from ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 Table A9.2B.

Stud Wall Framing Type	Nominal Cavity Depth (inches)	Actual Cavity Depth (inches)	Rated R-Value	Effective R-Value at 16 in. on Center ¹	% Change (Rated vs Effective)	Effective R-Value at 24 in. on Center ²	% Change (Rated vs Effective)
Batt Insulated Cavity							
Steel	4	3.50	R-11	R-5.5	-50% 	R-6.6	-40% 
Steel	4	3.50	R-13	R-6.0	-54% 	R-7.2	-45% 
Steel	4	3.50	R-15	R-6.4	-57% 	R-7.8	-48% 
Steel	6	6.00	R-19	R-7.1	-63% 	R-8.6	-55% 
Steel	6	6.00	R-21	R-7.4	-65% 	R-9.0	-57% 
Steel	8	8.00	R-25	R-7.8	-69% 	R-9.6	-62% 
Wood	4	3.50	R-11	R-9.3	-15% 	R-9.5	-14% 
Wood	4	3.50	R-13	R-10.8	-17% 	R-11.1	-15% 
Wood	4	3.50	R-15	R-12.3	-18% 	R-12.7	-15% 
Wood	6	5.50	R-19	R-16.0	-16% 	R-16.3	-14% 
Wood	6	5.50	R-21	R-17.5	-17% 	R-17.9	-15% 
Wood	8	7.50	R-25	R-21.1	-16% 	R-21.5	-14% 

* Rating for airspace per ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007.

¹ Per the ASHRAE Handbook of Fundamentals, a residential wall framing factor of 25 percent is assumed for conventional framing at 16 in. on center.

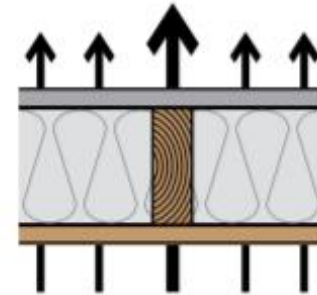
² Per the ASHRAE Handbook of Fundamentals, a residential wall framing factor of 22 percent is assumed for conventional framing at 24 in. on center.

Source: BE Building enclosure

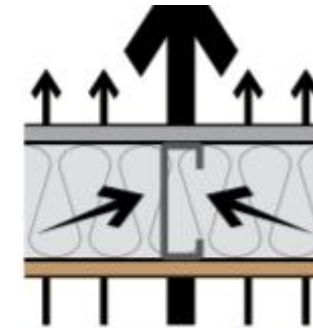


Calcul de la résistance effective:

$$R_{\text{eff}} = \frac{100}{\frac{\% \text{ surface}}{R_{\text{matériau 1}}} + \frac{\% \text{ surface}}{R_{\text{matériau 2}}}}$$

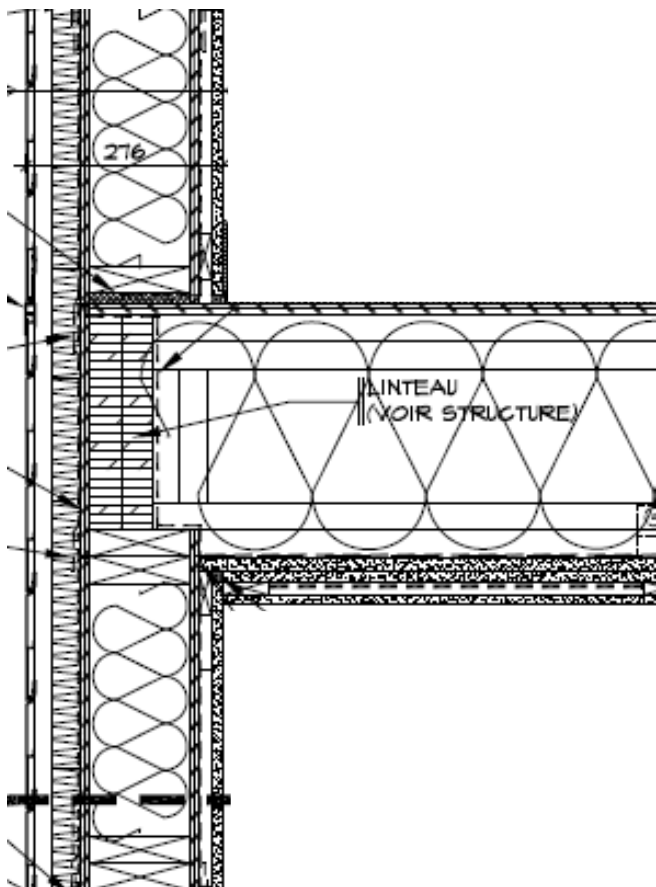


Résistance thermique effective R19
Mur avec des colombages de bois 38 x 140 à 400 mm

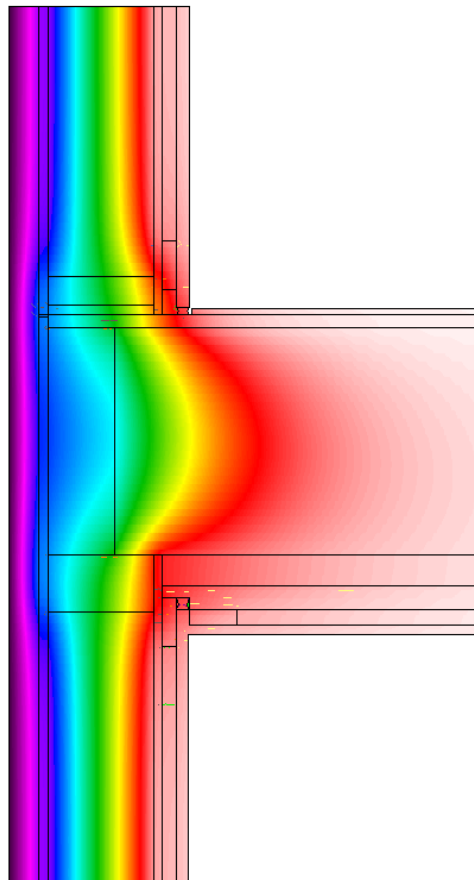


Résistance thermique effective R11
Mur avec des colombages d'acier 41 x 152 à 400 mm

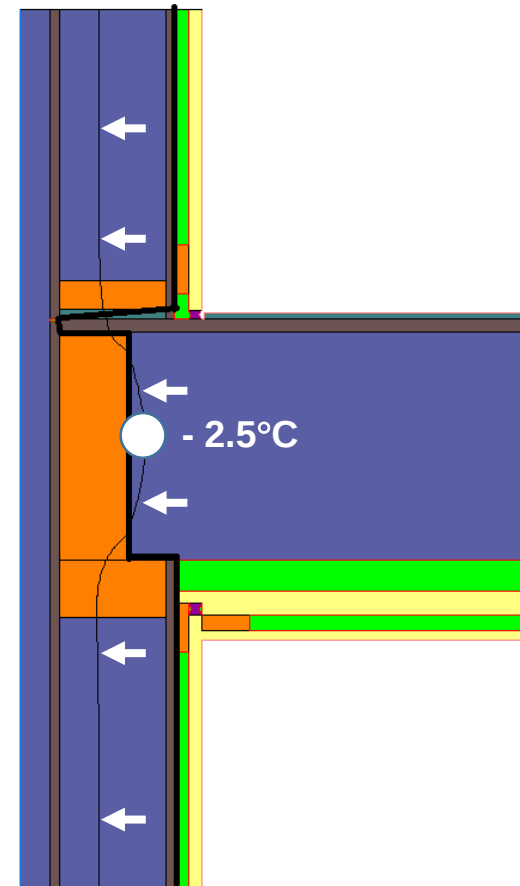
Position du point de rosée et isolation thermique



Répartition des températures



Répartition du point de rosée (21°C à 20%HR)



Conditions: 21°C à 20%HR, $T_{\text{ext}} -25^{\circ}\text{C}$

Beige/brun = matériau
Vert: = vide

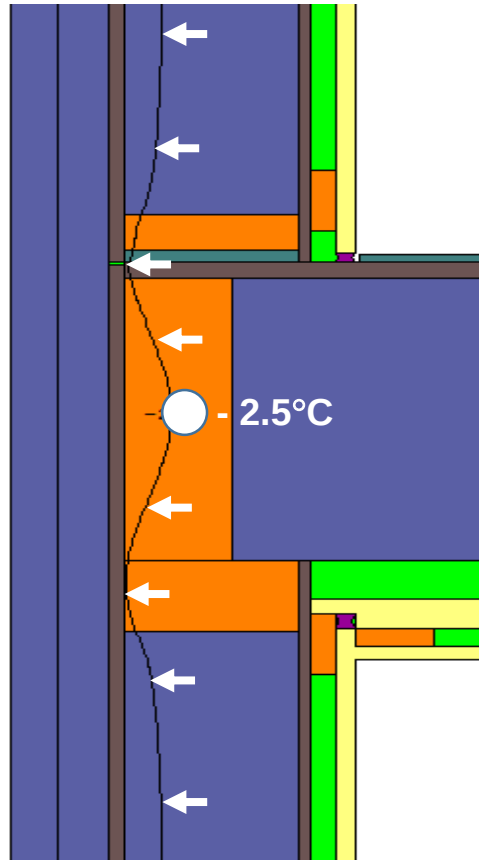
Bleu = isolation

Source:

Projet d'étude Trempe et Associés
Crédit simulation UL



Ajout de 38mm d'isolant
extérieur



Conditions: 21°C à 20%HR, $T_{\text{ext}} -25^{\circ}\text{C}$

Beige/brun = matériau
Vert: = vide

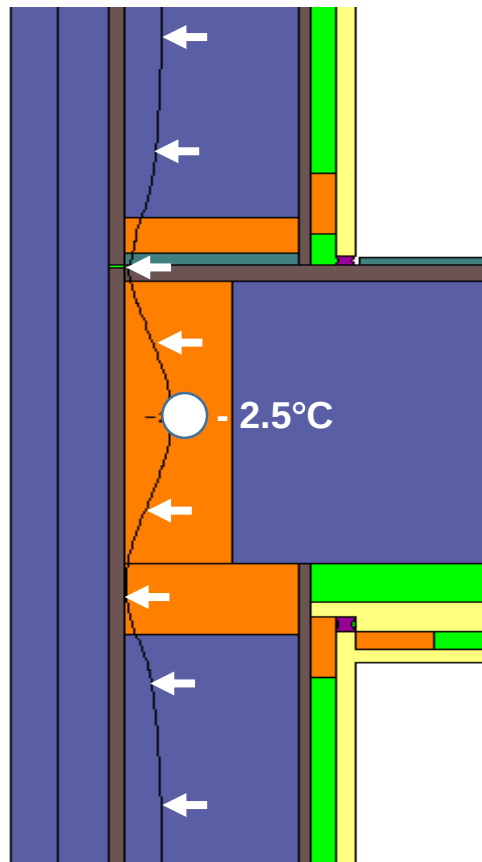
Bleu = isolation

Source:

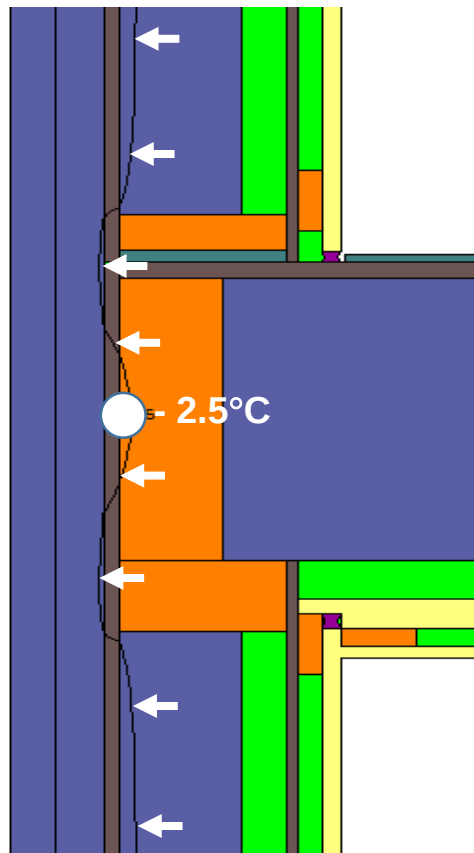
Projet d'étude Trempe et Associés
Crédit simulation UL



Ajout de 38mm d'isolant extérieur



Ajout de 38mm d'isolant extérieur et enlèvement de 38mm d'isolant à l'intérieur



Conditions: 21°C à 20%HR, $T_{\text{ext}} -25^{\circ}\text{C}$

Beige/brun = matériau
Vert: = vide

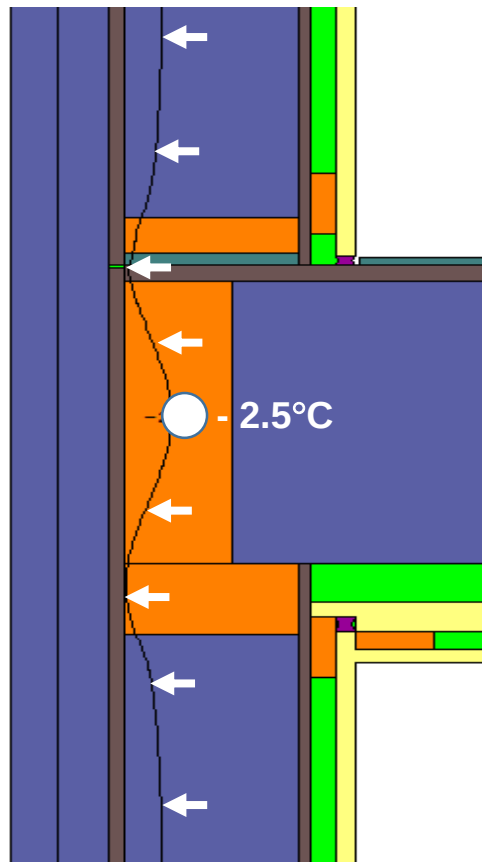
Bleu = isolation

Source:

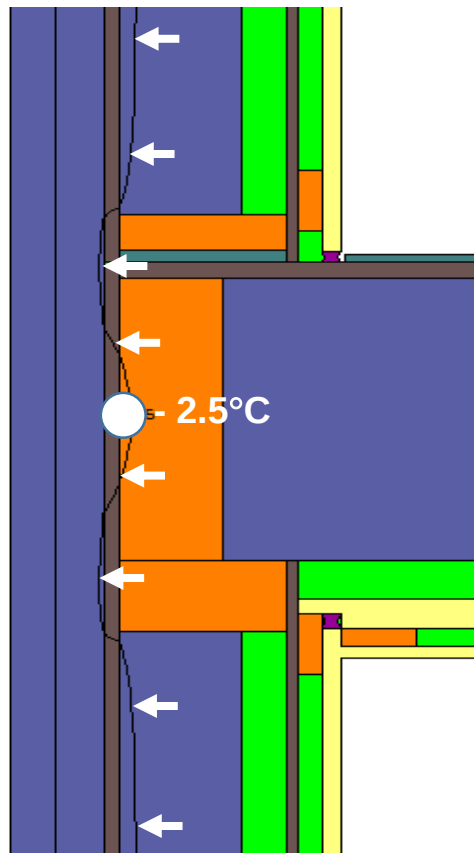
Projet d'étude Trempe et Associés
Crédit simulation UL



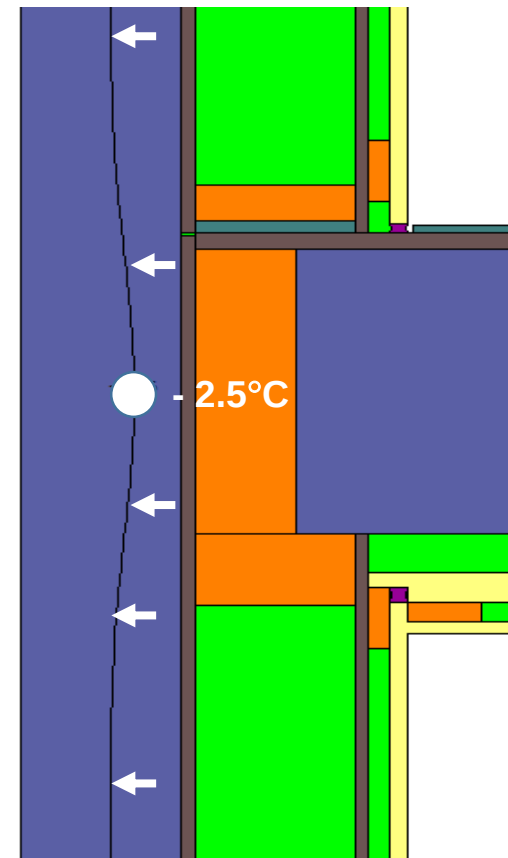
Ajout de 38mm d'isolant extérieur



Ajout de 38mm d'isolant extérieur et enlèvement de 38mm d'isolant à l'intérieur



Déplacer tout l'isolant de l'intérieur vers l'extérieur



Conditions: 21°C à 20%HR, $T_{\text{ext}} -25^{\circ}\text{C}$

Beige/brun = matériau
Vert: = vide

Bleu = isolation

Source:

Projet d'étude Trempe et Associés
Crédit simulation UL



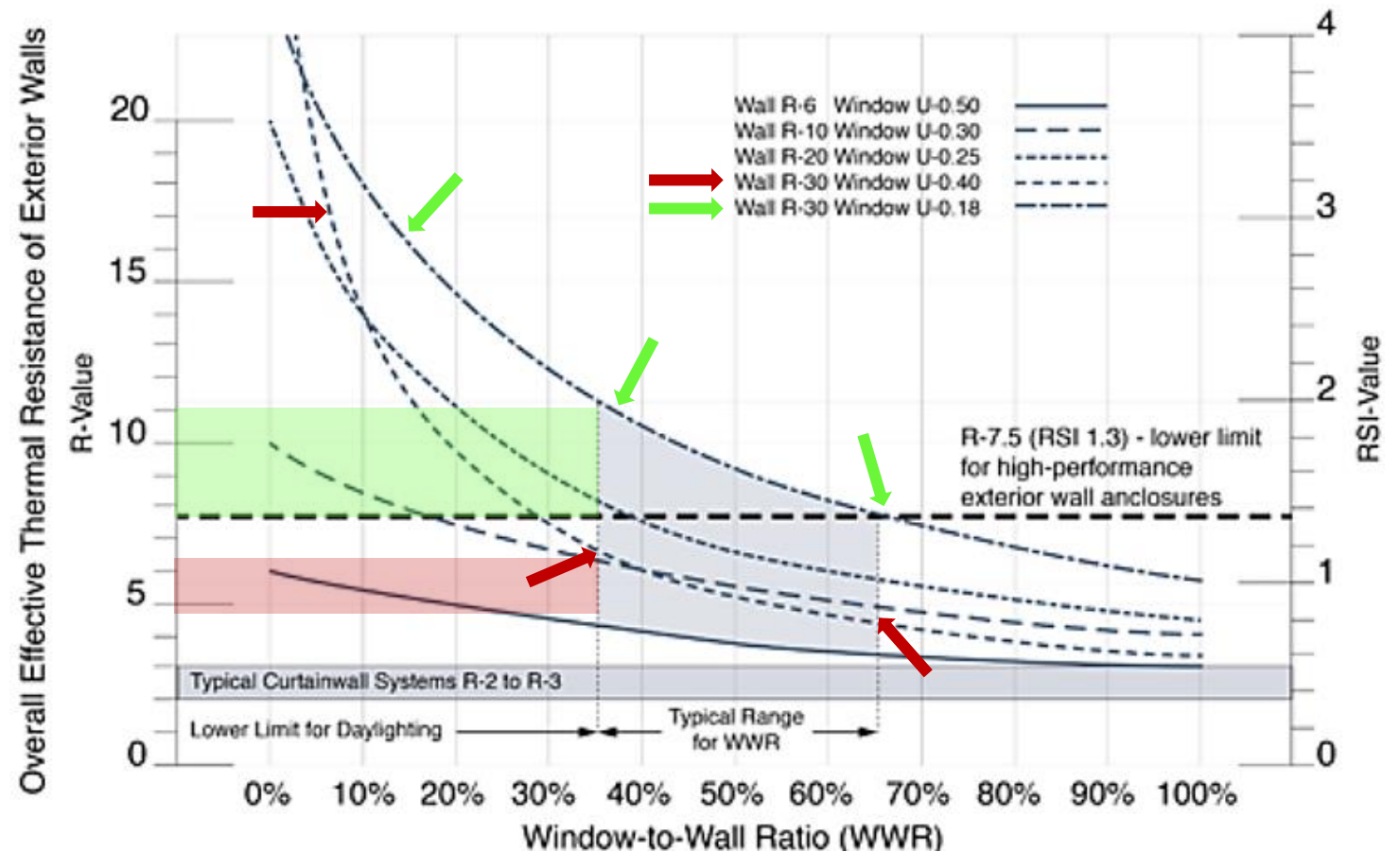
Transfert thermique

La résistance globale effective

La valeur R globale effective est fortement influencée par le ratio d'ouvertures WWR

Les parties pleines (murs et toitures) doivent être plus isolées pour compenser sur l'ensemble

Il existe un niveau au-delà duquel l'isolation n'est plus économiquement rentable, surtout avec des bas coûts d'énergie comme au Québec



Source: WBDG
Whole building design guide



Critères de performance et défis pour l'intégration du bois dans l'enveloppe

- Gestion de l'humidité
- Sécurité incendie
- Insonorisation
- Qualité de l'air ambiant
- Chauffage, climatisation, efficacité énergétique
- Rendement constant des matériaux
- Résistance aux vents violents, aux séismes et aux insectes,
- Facilité d'assemblage
- Durabilité
- Esthétique
- ...

Un conception doit prendre pour assise ces considération fondamentales

- 1 La gestion de l'eau et les modes de déviation
- 2 La propriété des matériaux et leur interaction
- 3 Le niveau de perméance à la vapeur d'eau des matériaux
- 4 La nécessité (ou non) et position de pare-vapeur, frein vapeur ou retardateur de vapeur
- 5 La stratégie du SAE système d'étanchéité à l'air
- 6 Le comportement hygrothermique de l'ensemble
- 7 La position globale des plans d'étanchéité



1

Considérations générales

- Mise en contexte
- Définition globale de l'enveloppe

Les propriétés du bois et l'enveloppe du bâtiment

- Composition et transformation
- Gestion de l'humidité
- Étanchéité à l'air
- Transfert thermique
- Critères de conception

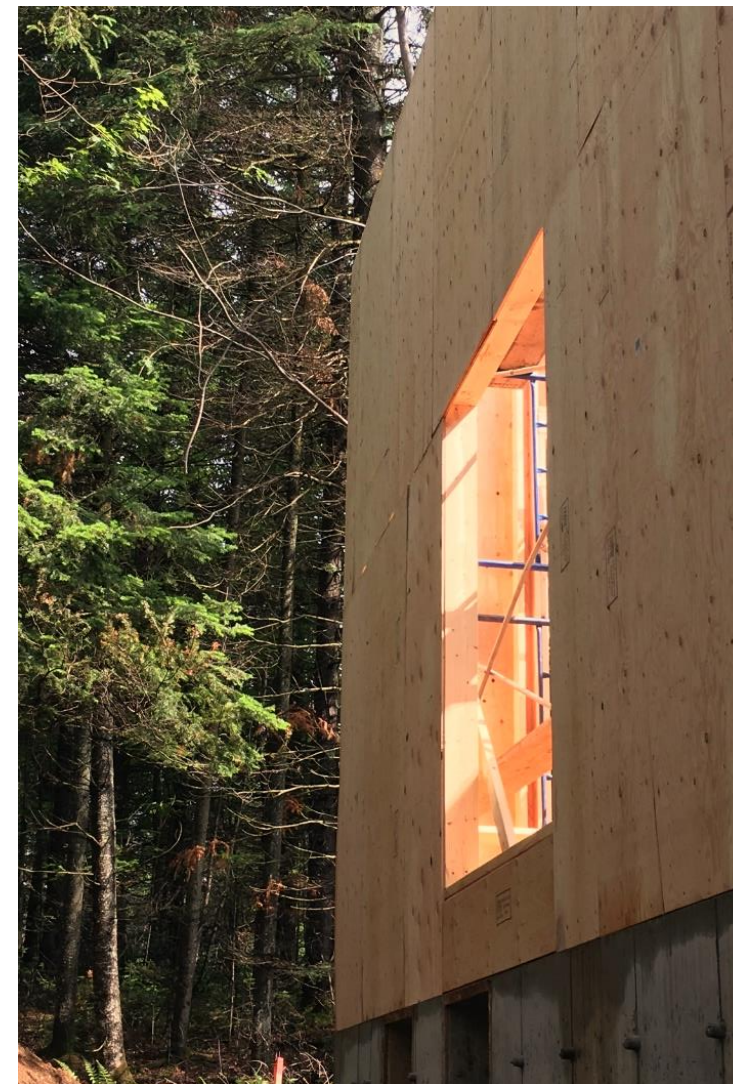
2

Assemblages

- Évolution des espèces
- Typologies et systèmes d'enveloppe
 - Charpente pleine - Ossature légère
 - Poutres et poteaux - Panneaux massifs

Vie en service

- Gestion de chantier
- Altérations
- Bien-être



Source: Photo R.Trempe
Auvergne Laboratoire vivant



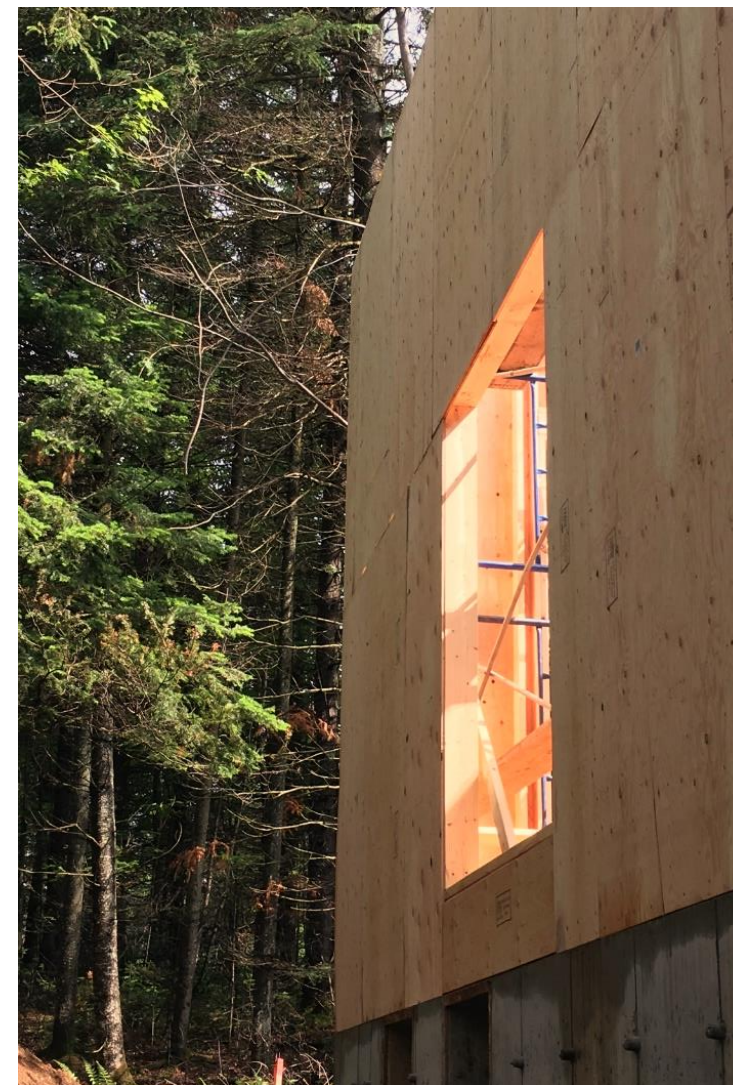
Assemblages

Évolution des espèces

Typologies et systèmes d'enveloppe

Charpente pleine - Ossature légère

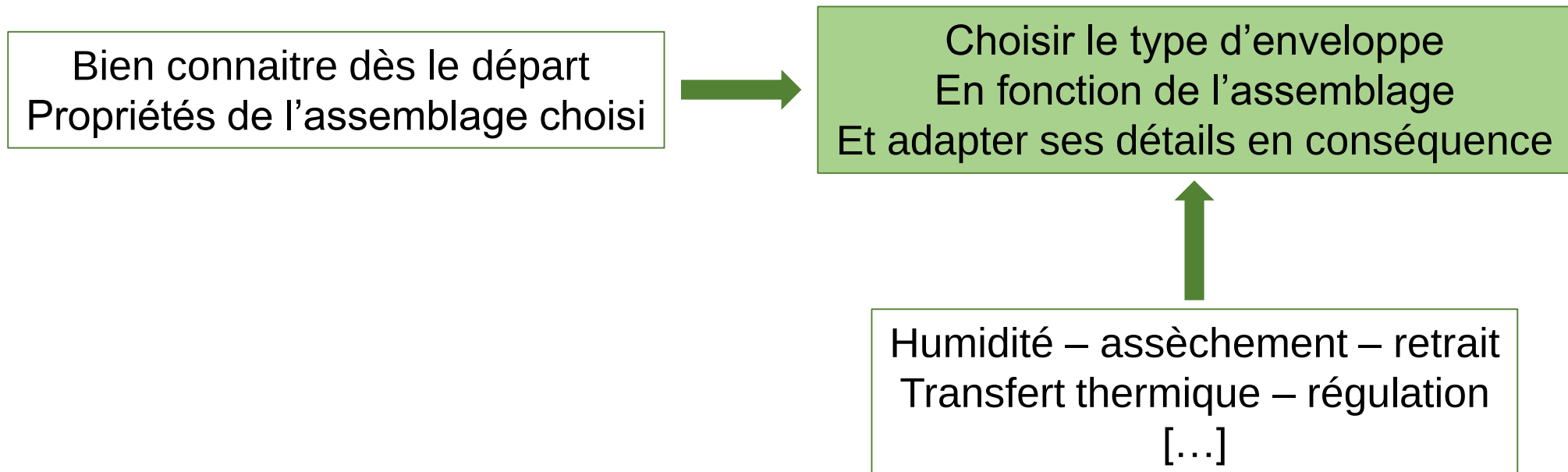
Poutres et poteaux - Panneaux massifs



Source:



Assemblages



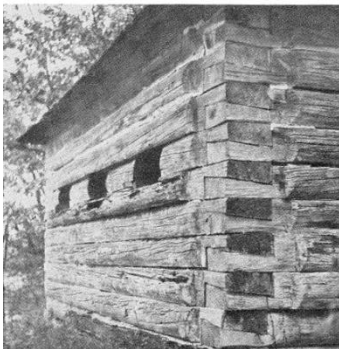
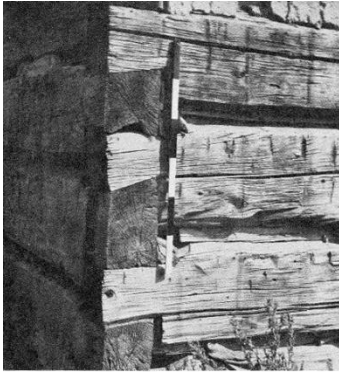
Évolution des espèces

Comprendre les échanges



Évolution des espèces

Ma cabane au Canada

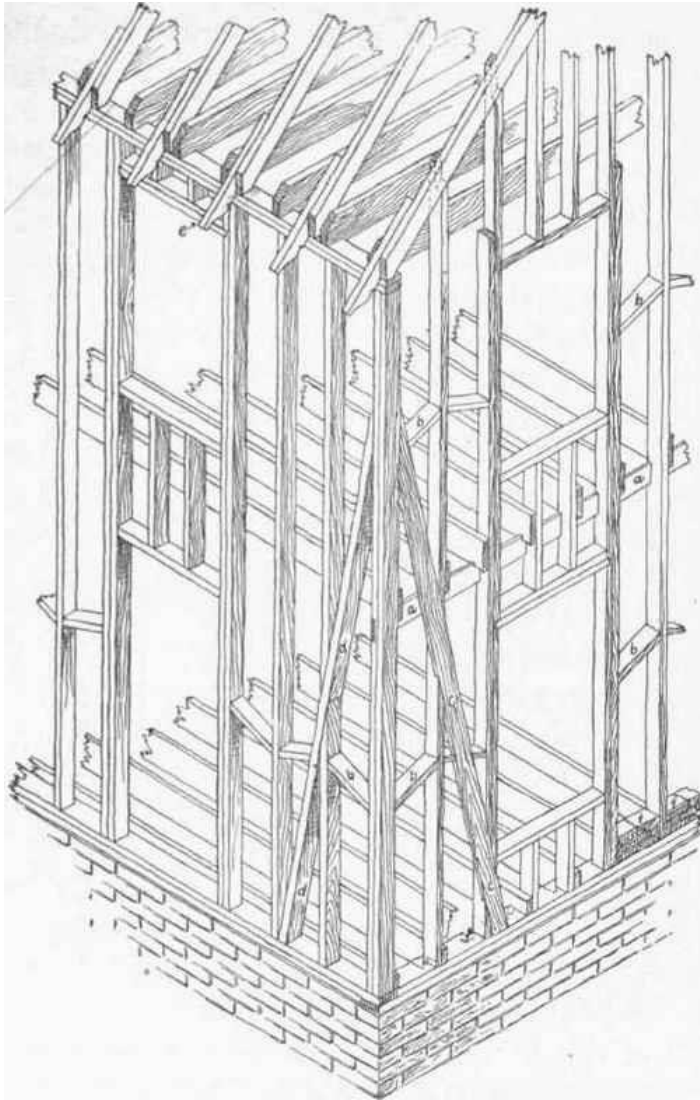


Source: J.I. Rempel
Building with wood



Évolution des espèces

Le XIXe et la révolution des techniques

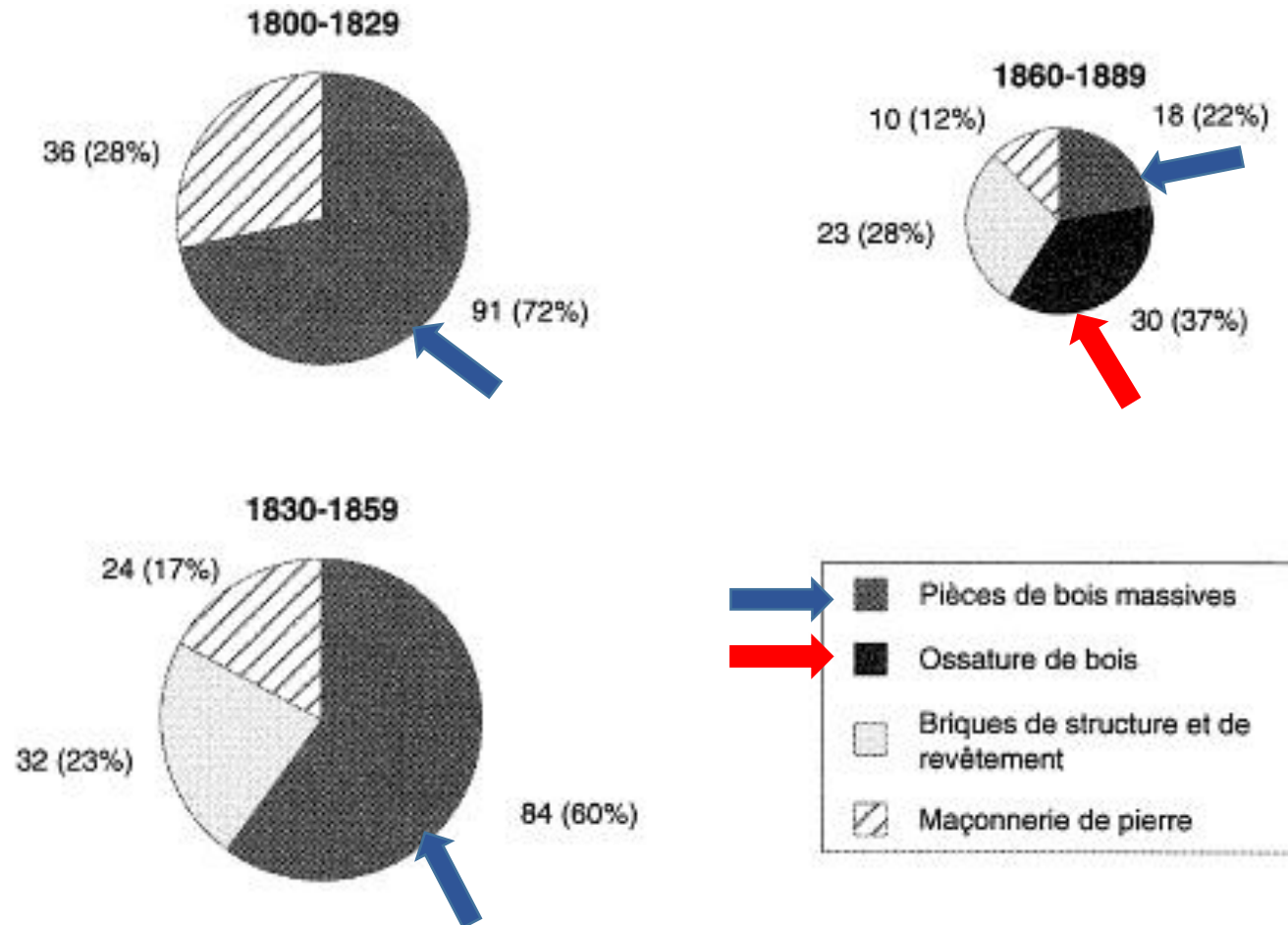


- 1840 Production du bois scié
- 1840 Commercialisation de la ferme anglaise
- 1875 Normalisation des pièces de bois
 - Le balloon frame (Chicago) –

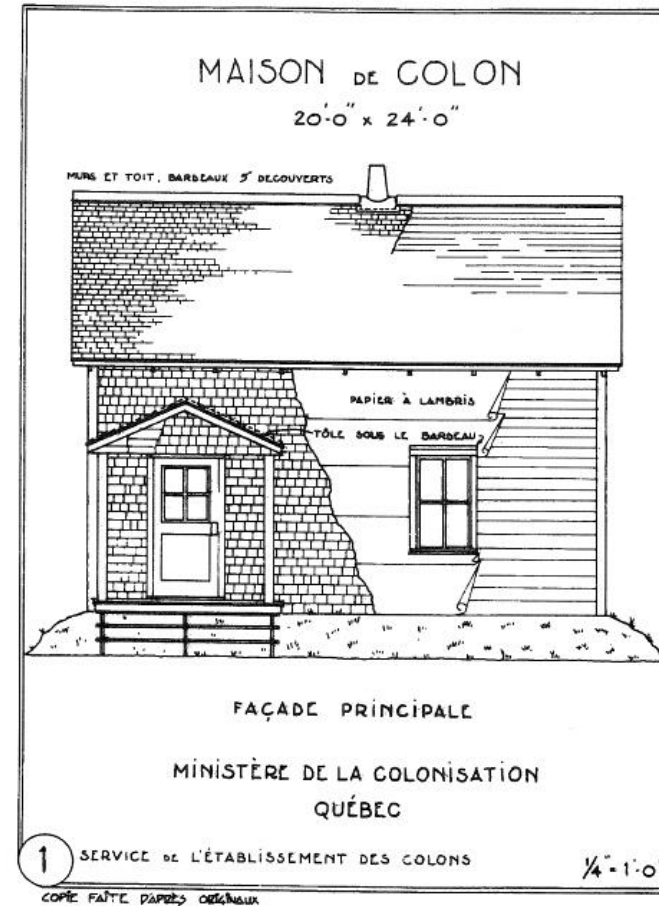
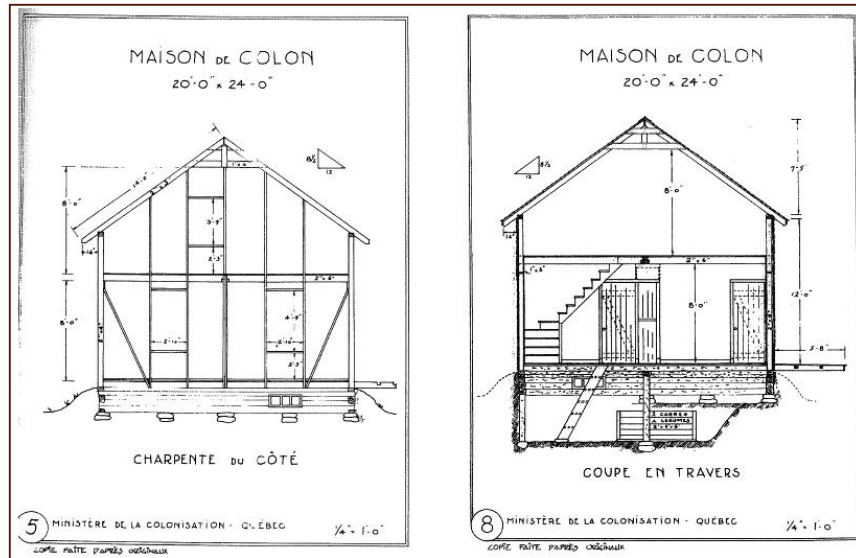


Source: Source web
Port de Québec – archives publiques





Source: P.-L. Martin, À la façon du temps présent



Source: P.-L. Martin, À la façon du temps présent



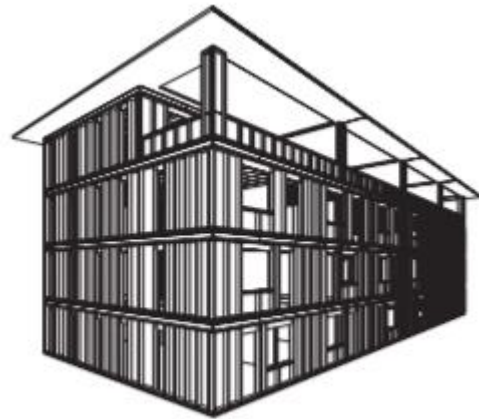


Source: WG Clark Construction





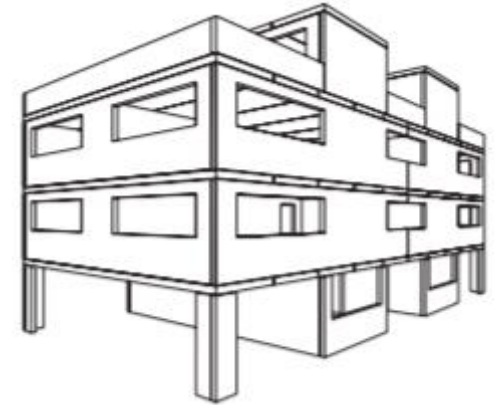
Charpente pleine



Ossature légère



Poutres et poteaux



Panneaux massifs

TREMPEARCHITECTE.COM



Source:

