



Seminaire CECOBOIS “Les pros du bois”

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

Richard Trempe, arch. M.Sc.

Deuxième 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

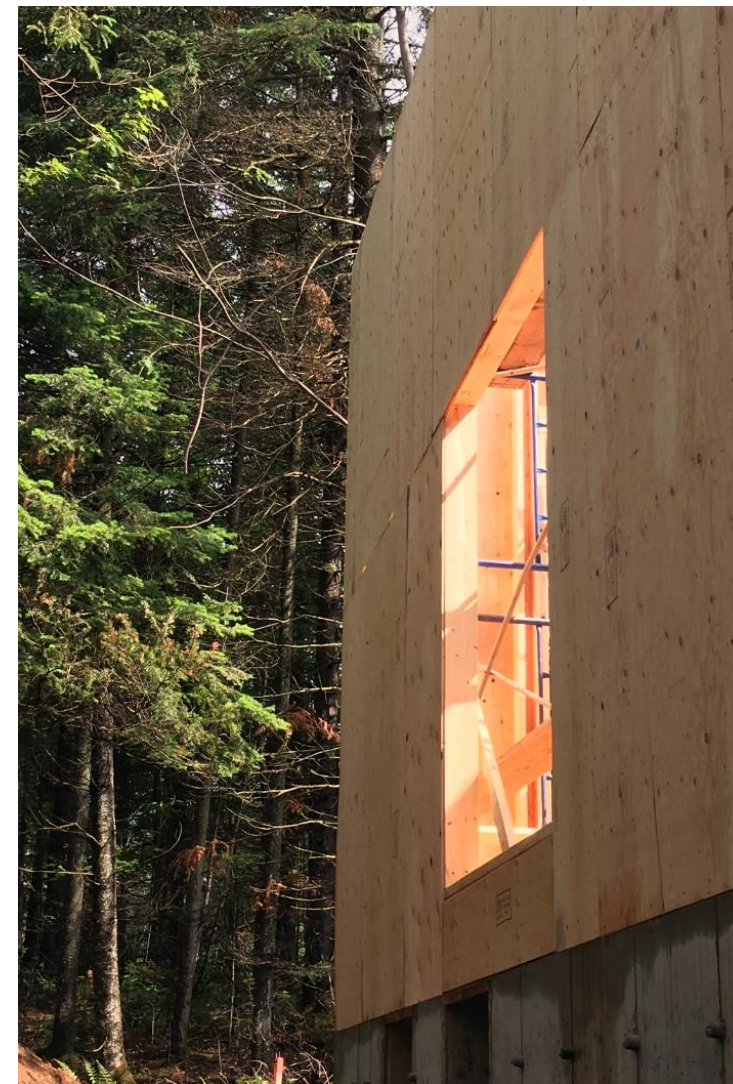
2

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



Assemblages

Évolution des espèces

Typologies et systèmes d'enveloppe

Charpente pleine - Ossature légère

Poutres et poteaux - Panneaux massifs

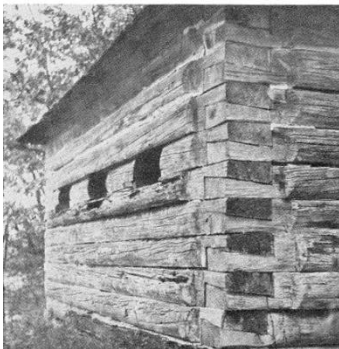
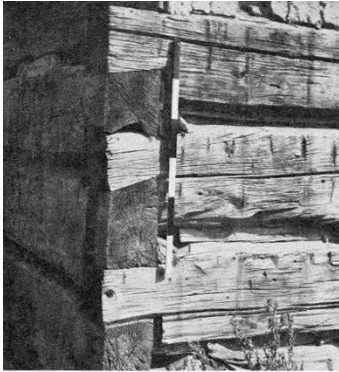


Source:



Évolution des espèces

Ma cabane au Canada

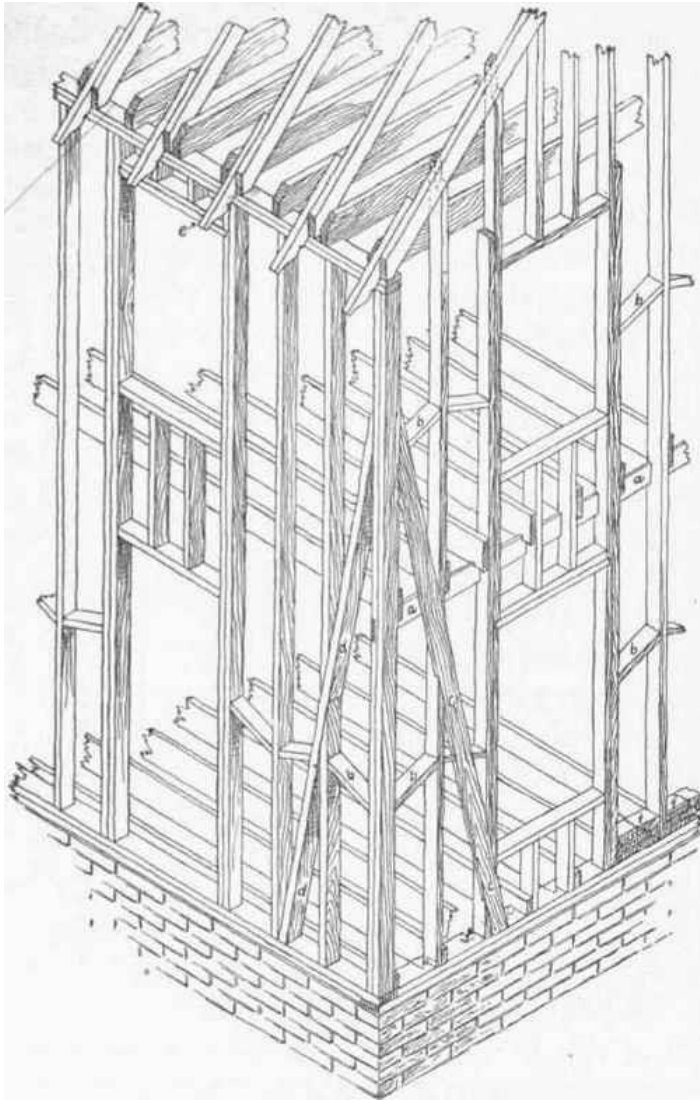


Source: J.I. Rempel
Building with wood



Évolution des espèces

Le XIXe et la révolution des techniques

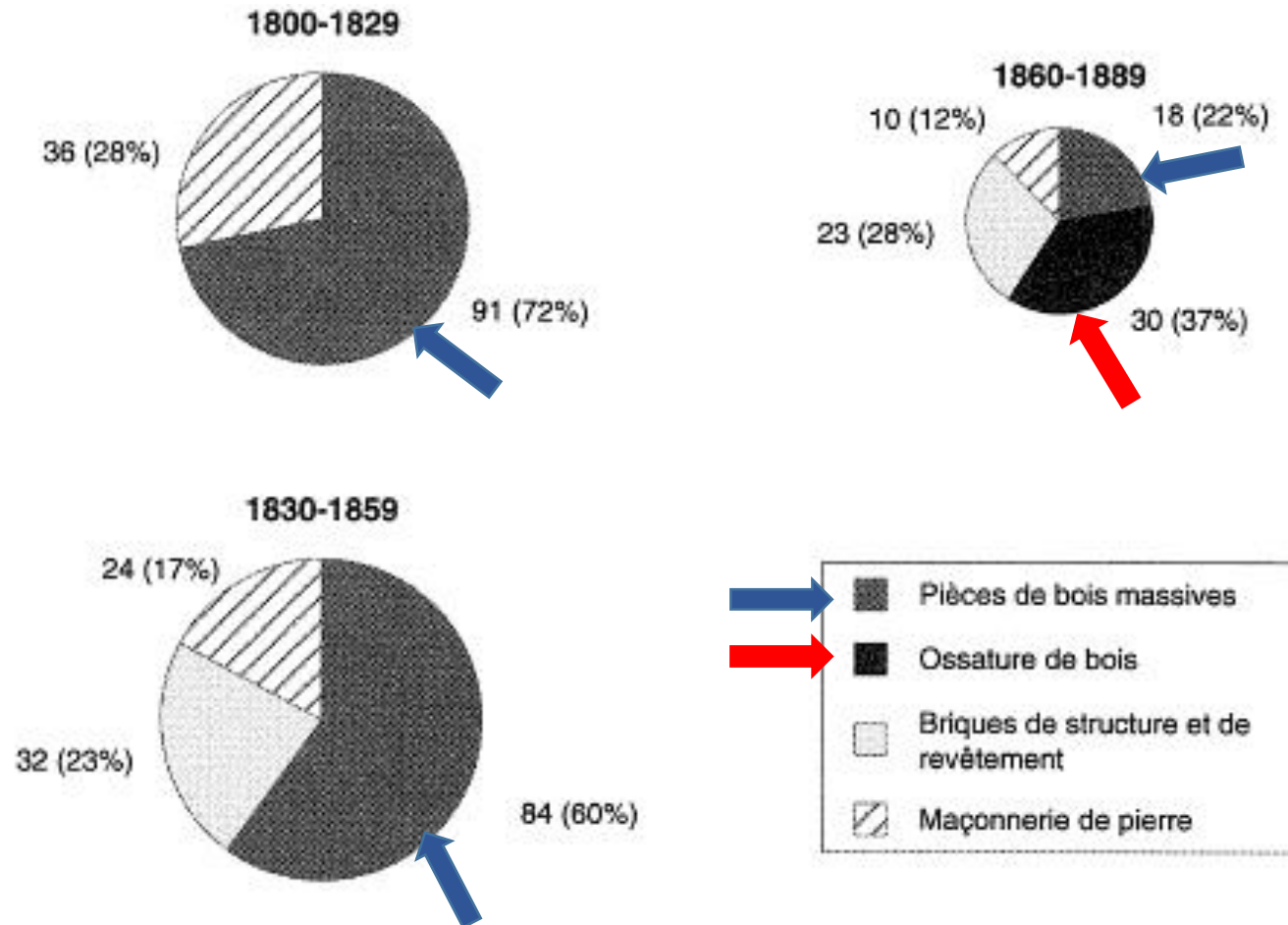


- 1840 Production du bois scié
- 1840 Commercialisation de la ferme anglaise
- 1875 Normalisation des pièces de bois
 - Le balloon frame (Chicago) –



Source: Source web
Port de Québec – archives publiques





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

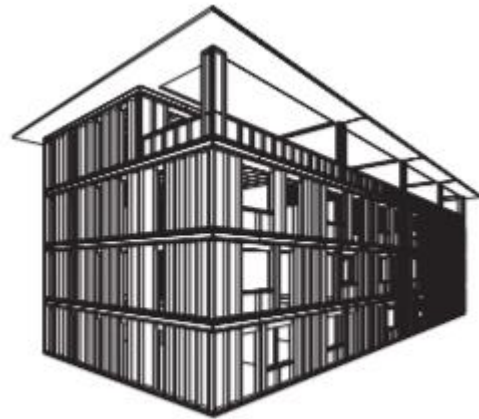


Source: WG Clark Construction





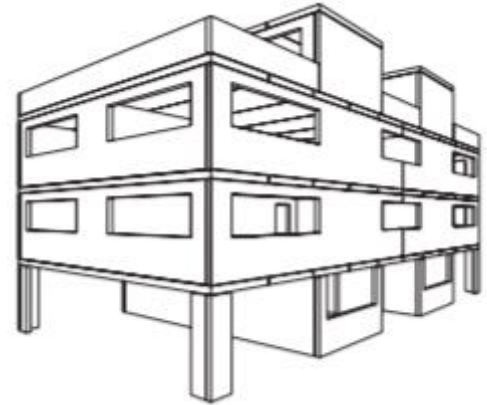
Charpente pleine



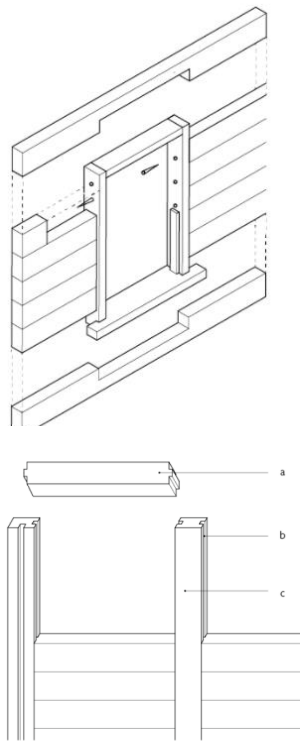
Ossature légère



Poutres et poteaux



Panneaux massifs



Charpente pleine



Ossature légère



Poutres et poteaux



Panneaux massifs

1. Support

- Résiste et transfert des forces physiques de l'intérieur et de l'extérieur
 - Latérale (vent, tremblement de terre)
 - Gravité (neige, charges mortes, usages)
 - Mouvements (rétrécissement, gonflement)
 - Impact, usure, érosion

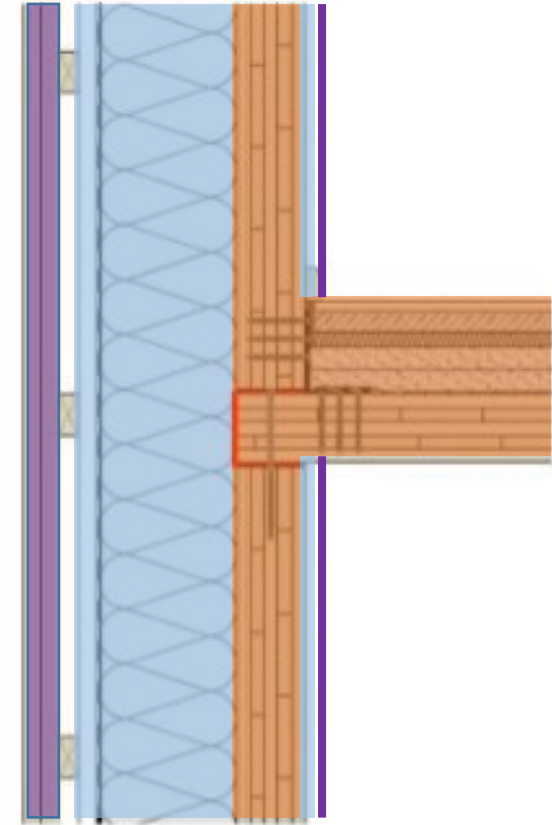
2. Contrôle

- Contrôle des masses et des transferts d'énergie:
 - eau, air, chaleur, vapeur
 - Feu (pénétration, propagation)
 - Bruit (pénétration, réflexion)
 - Lumière (diffusion, vision)

3 Finition

- Les surfaces intérieures et extérieures

Le bois peut être à la fois support et partie intégrante du contrôle et de la finition



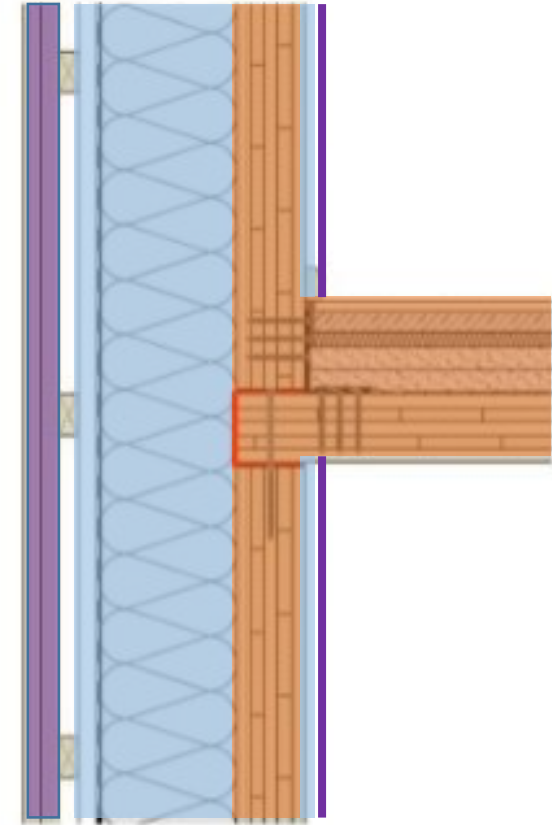
Source: Google Image - SPAX

Le type et les matériaux d'intégration de l'enveloppe sont le résultat

- du type de support
- combinées aux contraintes d'expositions et d'usages qui solliciteront le bâtiment.

L'étanchéité à l'air constitue le plus grand défi de l'enveloppe, en lien avec les mouvements d'air, la pénétration d'eau, la régulation de l'humidité, le confort et le bien-être

L'ensemble doit favoriser l'assèchement



Source: Google Image - SPAX

Le potentiel d'assèchement d'un assemblage dépendra principalement de :

De la position globale des plans d'étanchéité en lien avec leur perméance :

Faible perméance = côté chaud du point de rosée

Perméance de certains matériaux de construction

Matériau	Épaisseur	Perméance ng / pa • s • m2
Laine de roche	1po	1 900 – 2 300
Polyisocyanurate	1po	3 - 80
Polystyrène expansé	1po	150 -200
Laine de verre	1po	5 500
Laine de verre	6po	900
Polystyrène extrudé	1po	50 - 80
Polyuréthane	1po	60
Polyuréthane	1.5po	50
Polyuréthane	2po	40

Matériau	Épaisseur	Perméance ng / pa • s • m2
Polyoléfine Tyvek comm.	-	1 450 – 2 440
Tyvek Home wrap	-	4 390
Goodfellow Typar	-	800
Polyéthylène	6 mil	3
Polyéthylène	4 mil	5
Memb autocollante Delta	-	1 760
Henry Blueskin SA	-	2
Sopraseal stick 1100	-	1
Sopraseal stcik VP	-	615

Dispositions particulières

Localisation sécuritaire

Résistance thermique suffisante pour réduire le risque de condensation

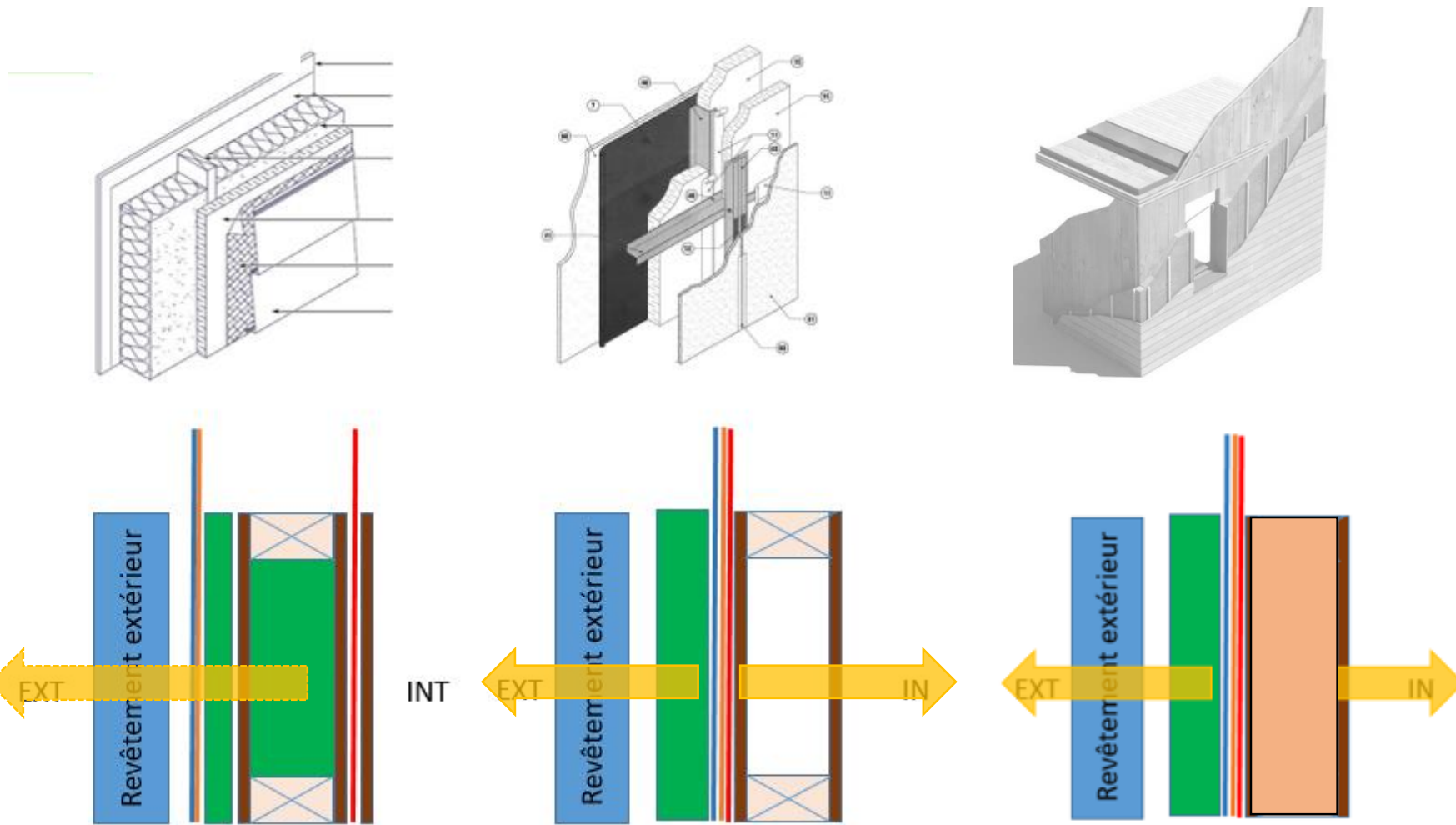
Favoriser l'assèchement

Perméance à la vapeur d'eau répondant aux besoins

Garder les surfaces intérieures chaudes

Recouvrir les ponts thermiques

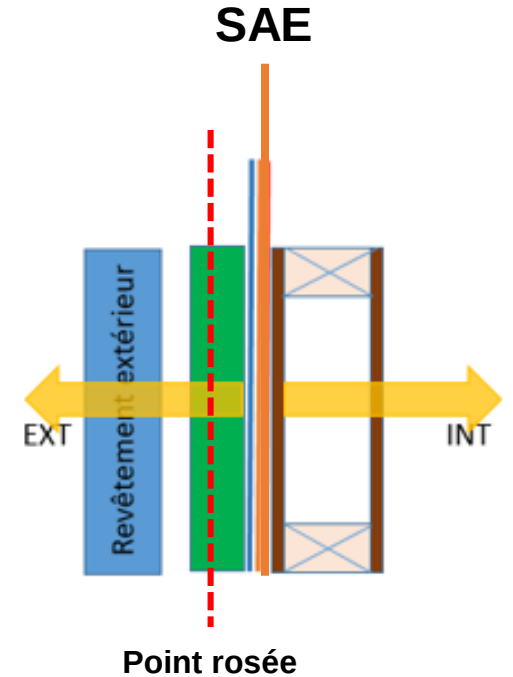
Composition, propriété et compatibilité en lien avec ses rôles et sa position



Source:

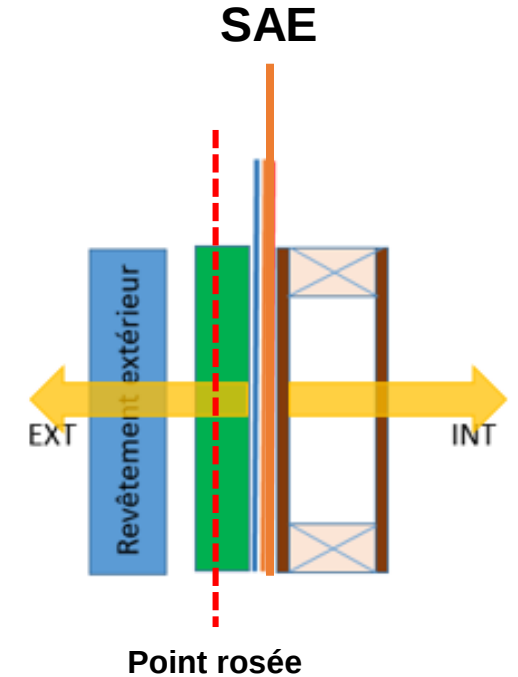
Position du système d'étanchéité à l'air SEA

- Dans un secteur où la température sera **supérieure au point de rosée** (**donc vers l'intérieur**) :
 - Le SEA est dans un milieu favorable (protégé contre les variations de température, d'humidité relative et des sollicitations par l'eau)
 - Position structurale habituellement plus intéressante

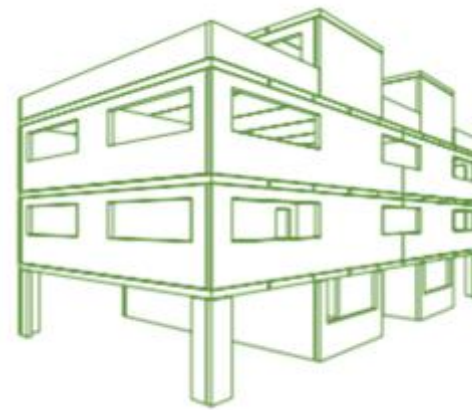


Position du système d'étanchéité à l'air SEA

- Dans un secteur où la température sera **supérieure au point de rosée** (**donc vers l'intérieur**) :
 - Le SEA est dans un milieu favorable (protégé contre les variations de température, d'humidité relative et des sollicitations par l'eau)
 - Position structurale habituellement plus intéressante
- Position **sécuritaire**, si défaillance ponctuelle du SEA:
 - L'air infiltré se dirigera dans un même milieu chaud (pas de risque de condensation),
 - L'air exfiltré pourra s'évacuer plus facilement vers l'extérieur en prévoyant une séquence de matériaux perméables vers l'extérieur



Charpente pleine



Charpente pleine

Constructions typiques



Source: (Gauche) Action Patrimoine
(Centre et droite) R.Trempe



État avant travaux:

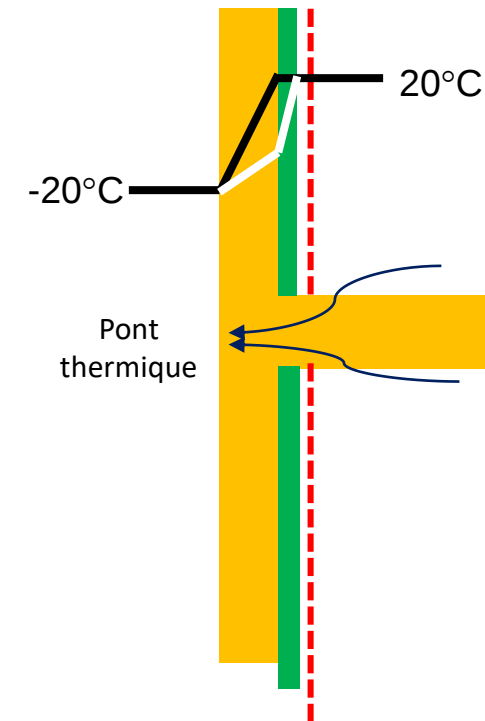
Bâtiment triplex de 80 ans (sain)

Intervention:

Isolation par l'intérieur, avec ajout d'un pare-vapeur aluminé du côté intérieur (certains murs)

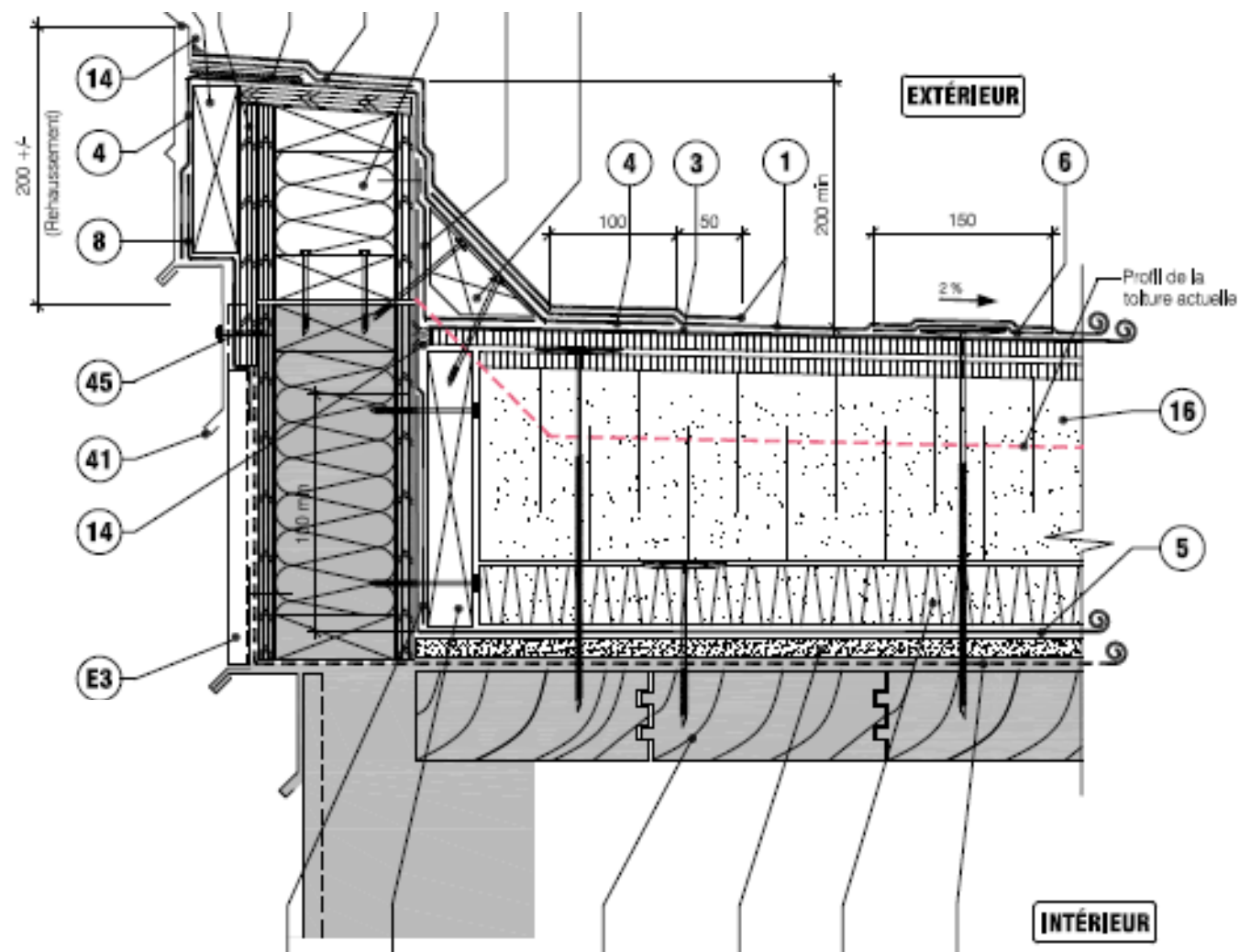
Conséquence:

- Déplacement du carré de madrier du côté froid
- Humidité trappée et condensation intramurale
- Problème de moisissure
- Inconfort après isolation



Charpente pleine

Exposition et isolation typique



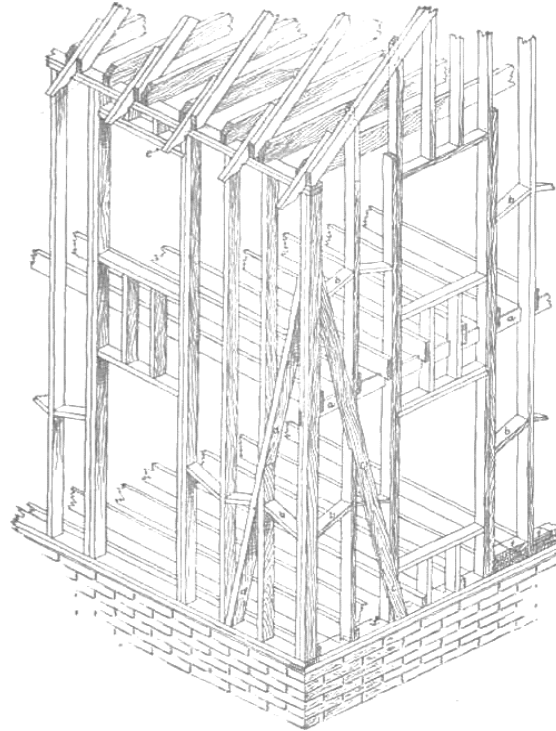
Ossature légère





Ossature légère

Les origines, le balloon frame (Chicago)



L'ossature légère:

- Avantages : Économie, Disponibilité, Préfabrication, Efficacité énergétique (contexte d'origine)
- L'enveloppe est construite entre et autour de l'ossature
- Capacité structurale limitée

Source: (Gauche) J.I. Rempel, building with wood
(Droite) A confirmer



Ossature légère

Assemblage traditionnel (préfabriqué)

Matériaux	Poids %	Origine
Bois d'œuvre résineux	74 %	Canada/É.-U.
Panneaux de lamelles orientées (OSB)	19 %	Canada
Contreplaqué de résineux	3 %	Canada/É.-U.
Bois de placage stratifié (LVL)	1 %	Canada
Matériaux secondaires (ancrages, vis et clous)	3 %	Chine/Canada

Système mural avec isolant (prévu) entre les montants de bois 2x4 avec panneaux intermédiaire en OSB

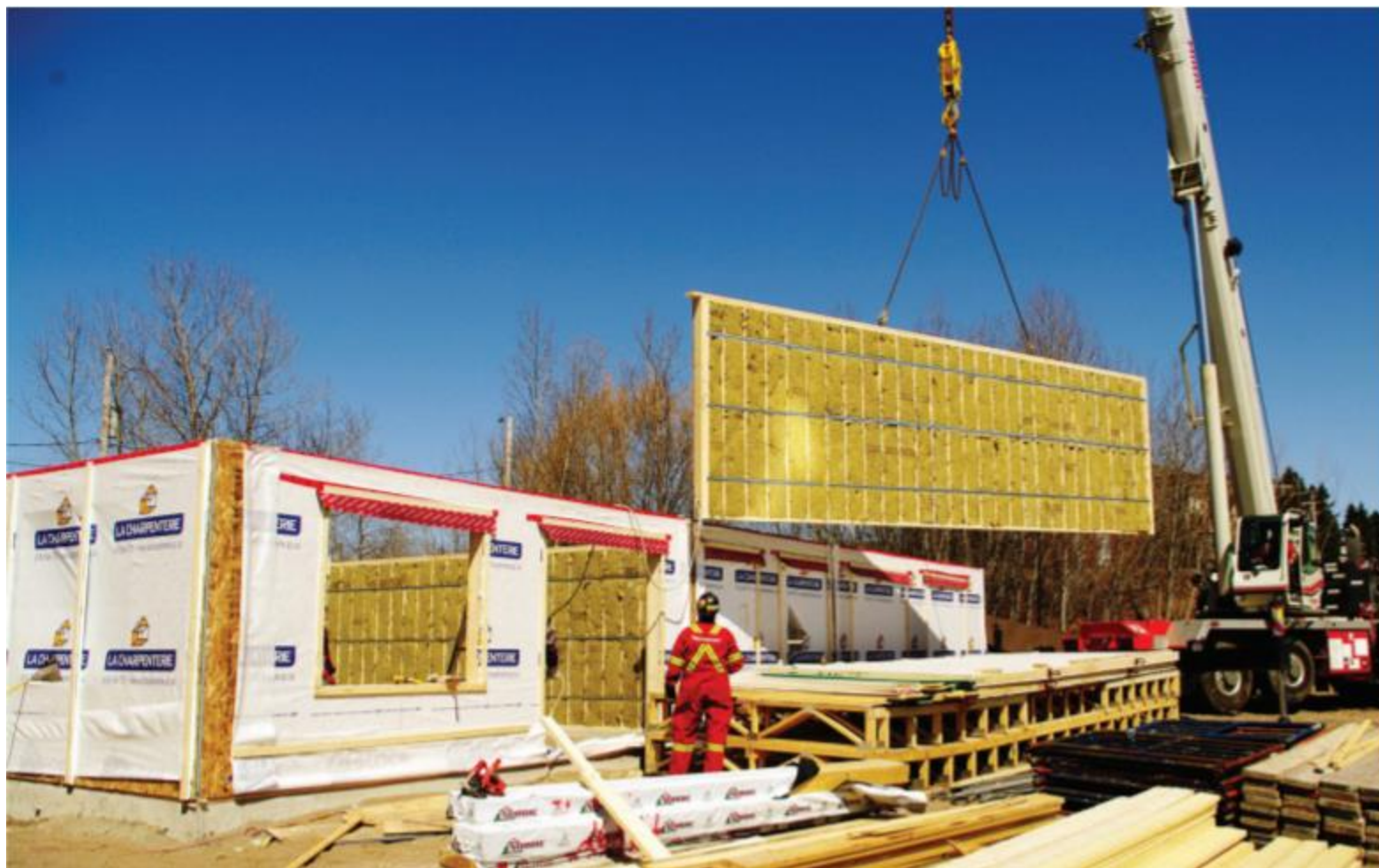


Source: Bureau de promotion des produits du bois



Ossature légère

Assemblage traditionnel (préfabriqué)

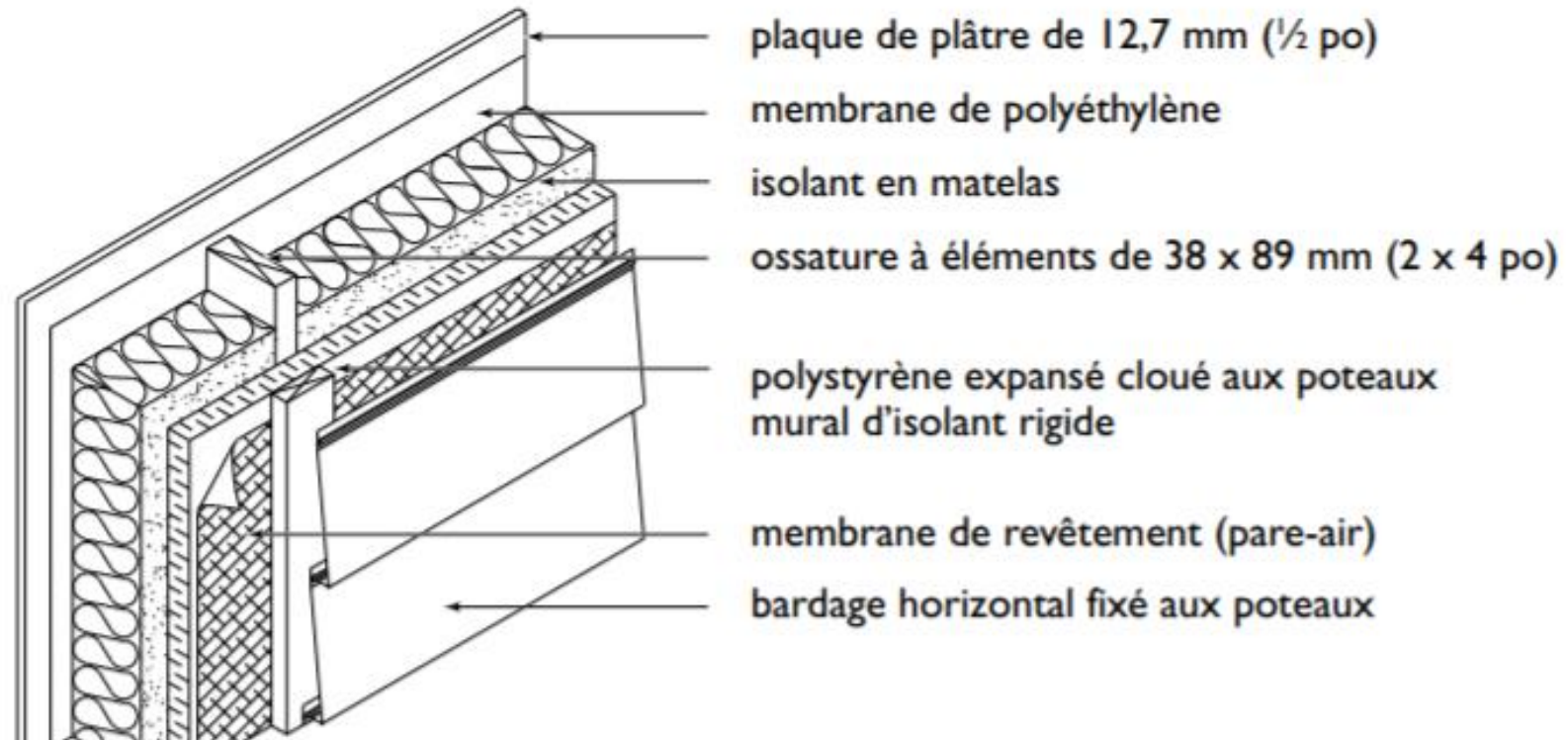


Source: Les technologies de construction en bois
Au Québec

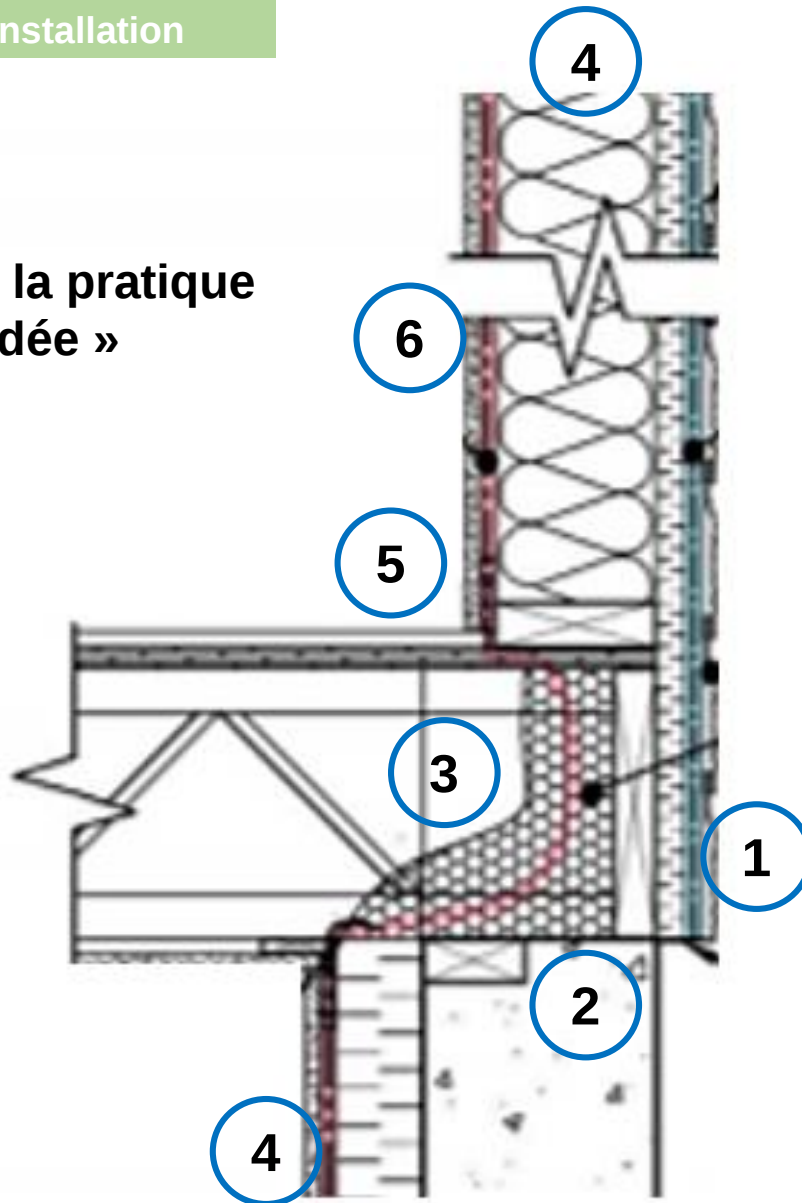


Ossature légère

Assemblage traditionnel - composition



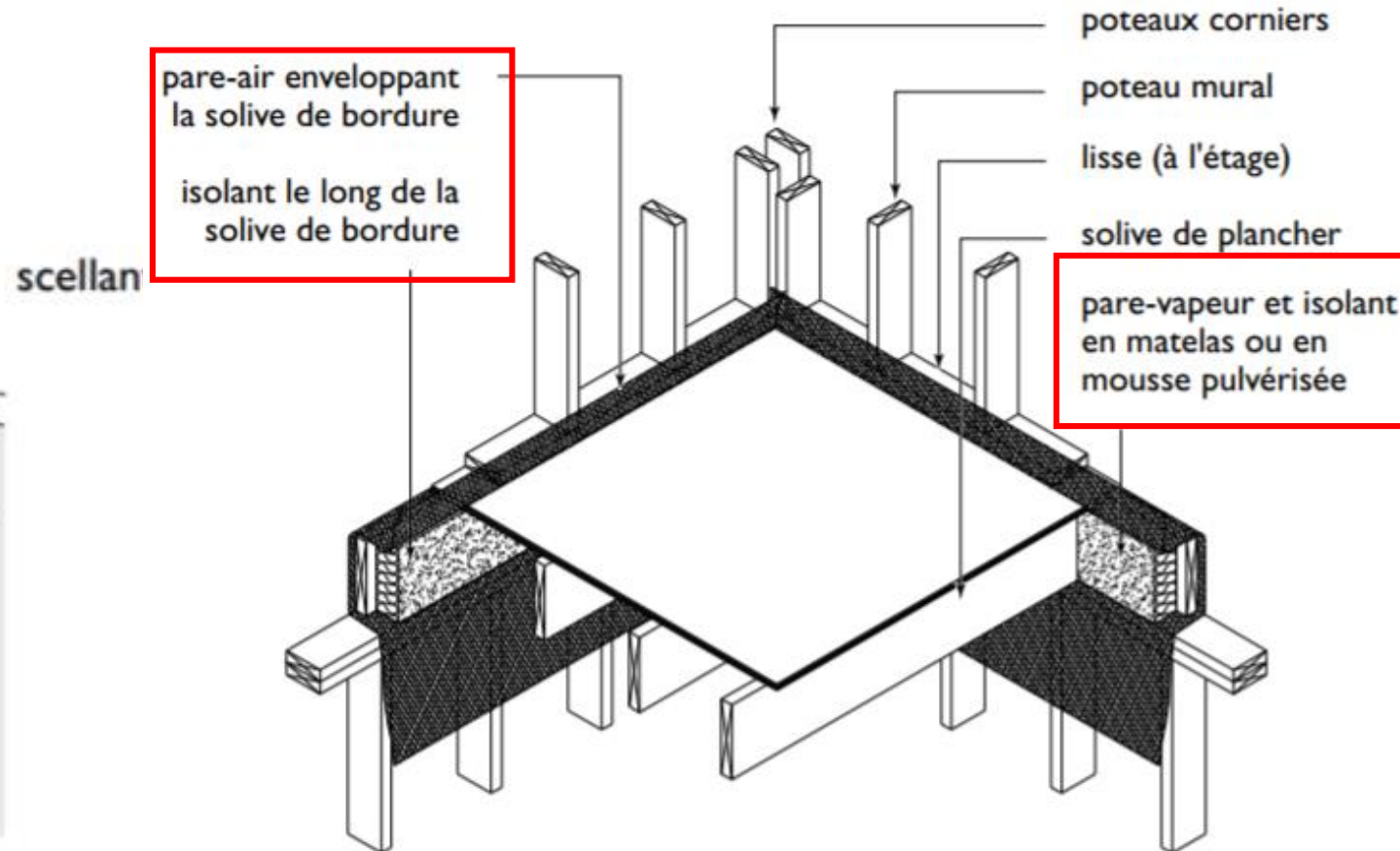
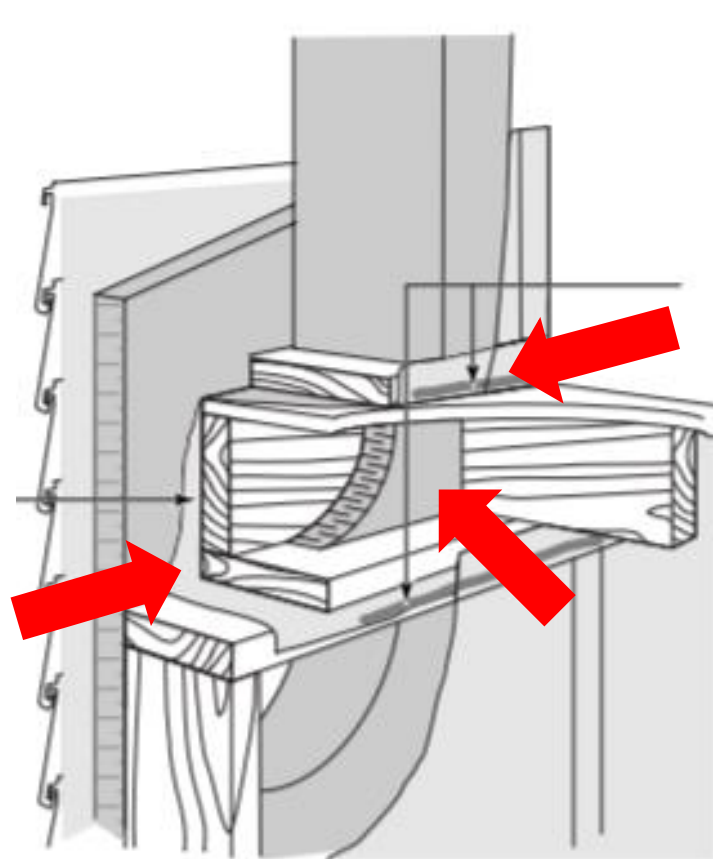
Commentaires sur la pratique « recommandée »



1. Pare-intempérie combiné au pare-air – non-scellé à la base
2. Solive de rive emprisonnée entre deux isolant, exposée au froid à la base
3. Uréthane faisant office de pare-vapeur à la rencontre de 5 matériaux
4. Plans de la barrière thermique complexe passe d'une zone centrale vers l'intérieur
5. Discontinuité du pare-vapeur
6. Position vulnérable du pare-vapeur derrière la finition intérieure

Ossature légère

Assemblage traditionnel - installation



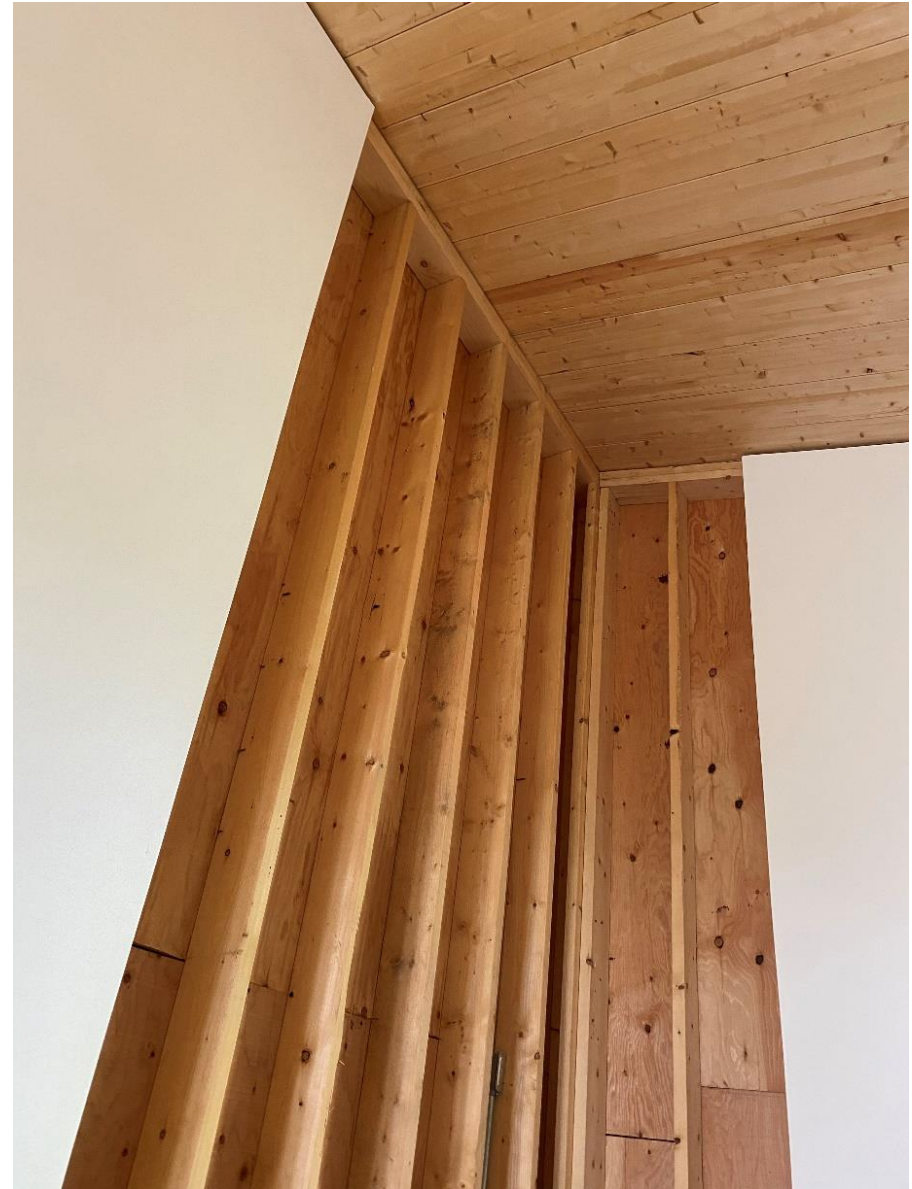
Les difficultés d'exécution



Ossature légère

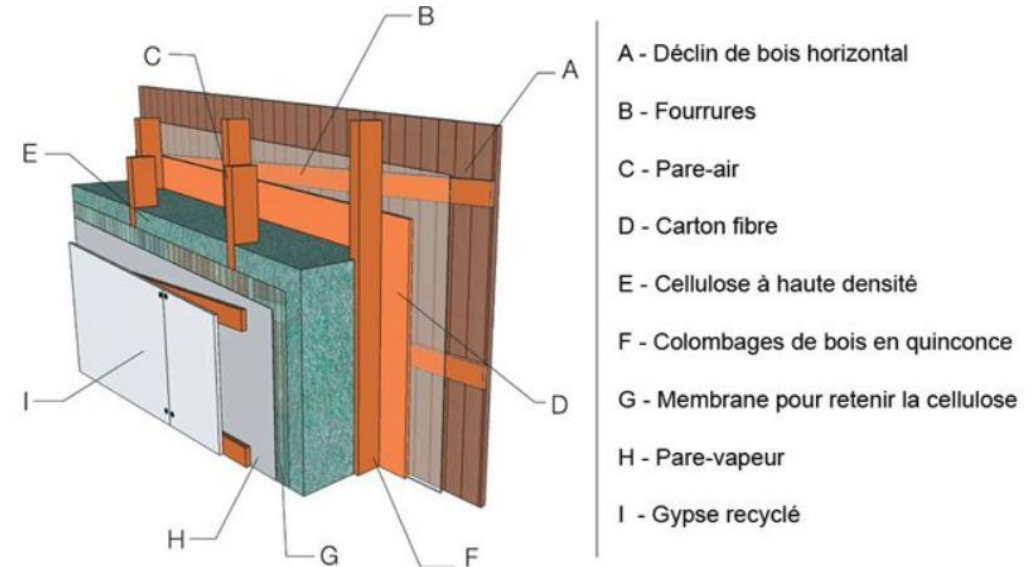
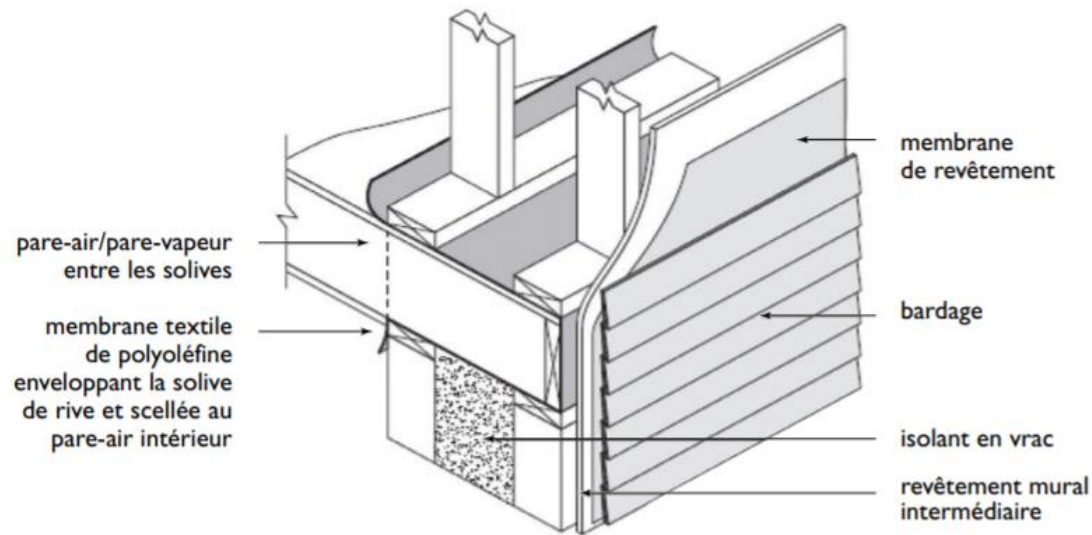
Assemblage de type SITE

Système mural sans isolant
entre les montants de bois
2x6 avec panneaux
intermédiaire en
contreplaqué (Toiture CLT)



Source: Photo R.Trempe





La double ossature :

- Permet d'aménager plus d'espace pour isolant (mais surface « non-rentable »)
- Utilité tributaire des résistances thermiques visées (et quelles son les visées)
- Largeur de mur versus périmètre fenêtres

Ossature légère

Assemblage innovant



Ossature légère

Assemblage innovant

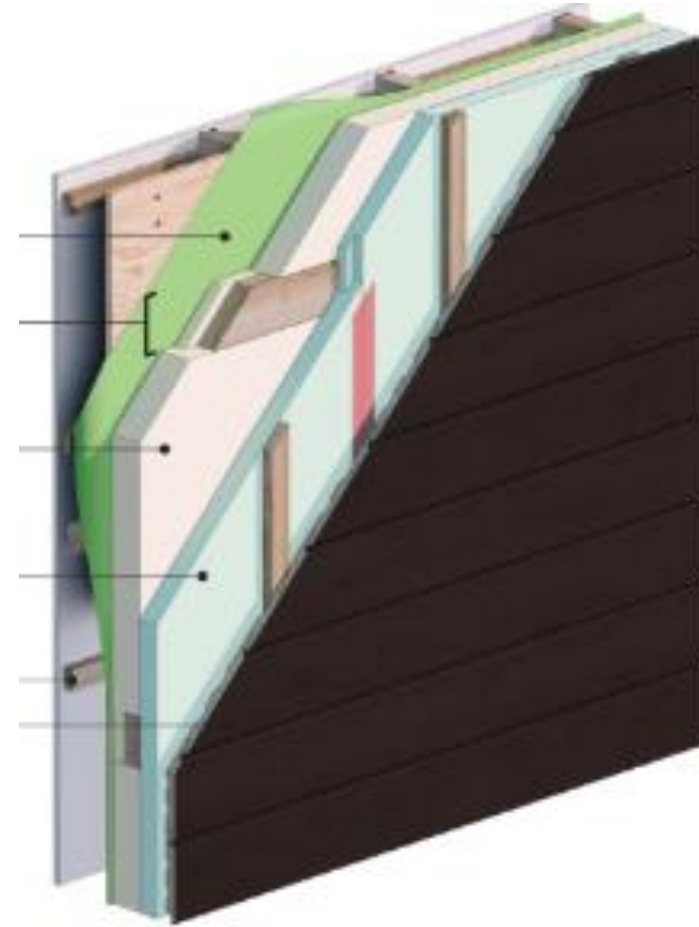
Plan isolant versus
position fenêtre

Tablette inclinaison et solidité



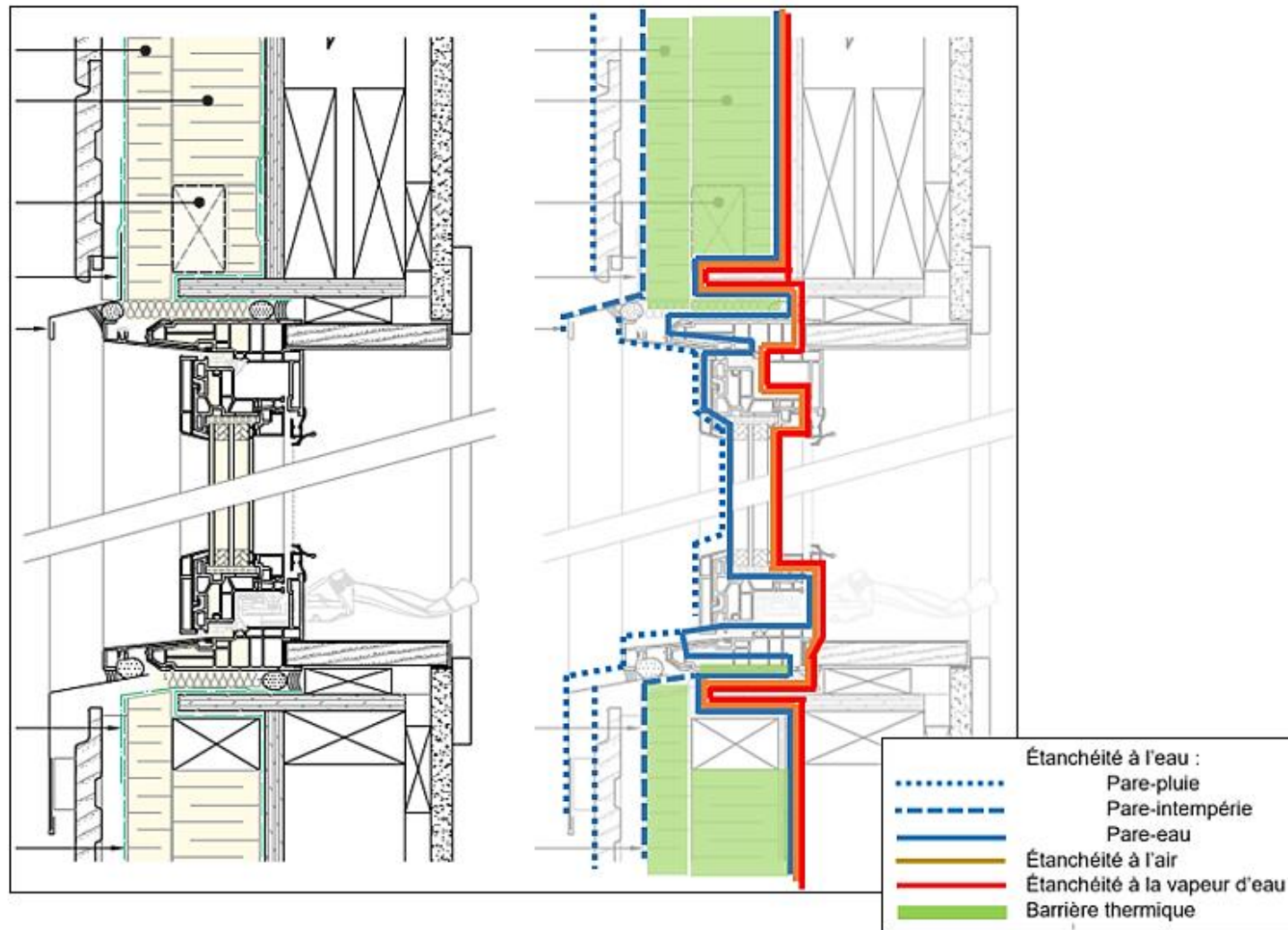


Auvergne Laboratoire vivant



Source: Photo R.Trempe

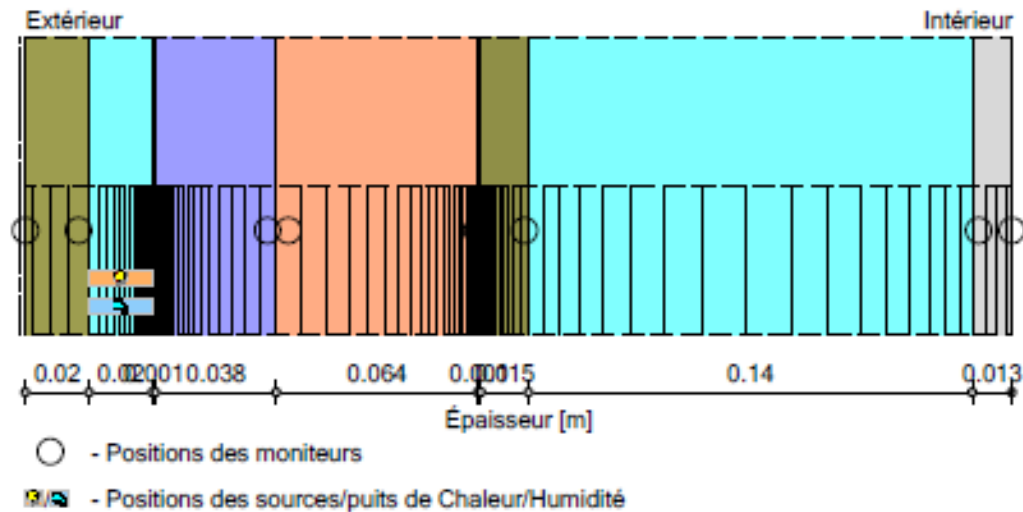




Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte

assemblage des composants

Cas : Composition typique, N-E, cavité ventilé 5 CAH



Matériaux:

	- Pin blanc oriental	0.02 m
	- lame d'air 20 mm; sans sorption d'humidité supplémentaire	0.02 m
	- Pare vent / pare pluie (sd=0,1m)	0.001 m
	- Isolation en polystyrène expansé	0.038 m
	- Polyisocyanurate Insulation	0.064 m
	- Freine vapeur (0.1perm)	0.001 m
	- Contreplaqué (faible)	0.015 m
	- lame d'air 140 mm; sans sorption d'humidité supplémentaire	0.14 m
	- Plaque de plâtre (intérieur)	0.013 m

Valeur Sd ext. [m]: 0.7

Épaisseur totale: 0.311 m

Valeur de la résistance thermique R: 4.53 (m² K)/W

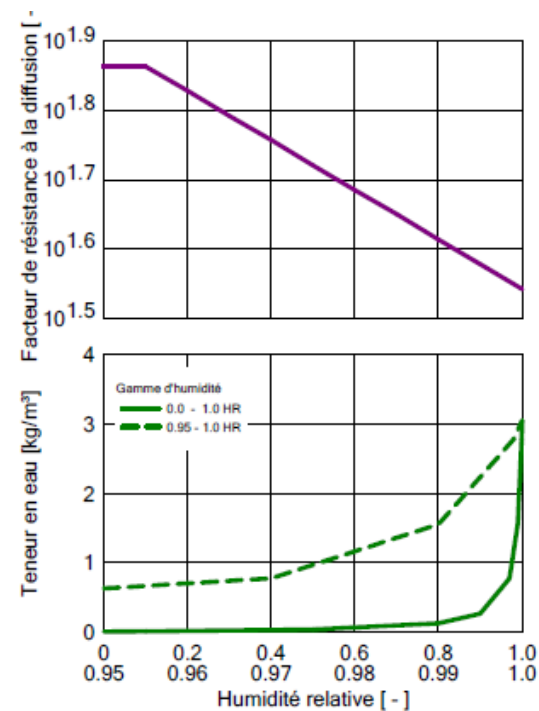
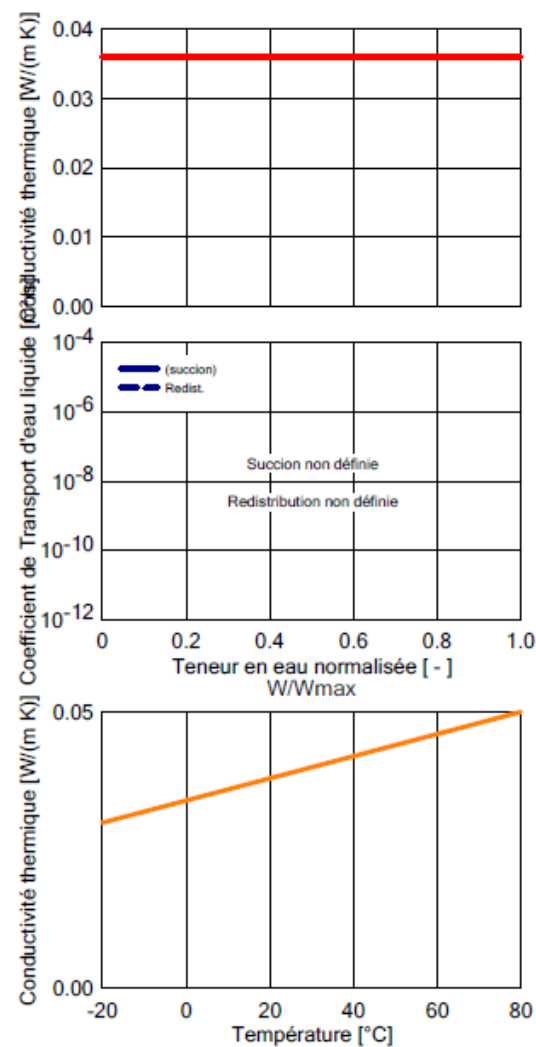
Coefficient U: 0.212 W/(m² K)

Source: WUFI PRO



Matériaux: Isolation en polystyrène expansé

Propriétés	Unité	Valeur
Densité volumique	[kg/m³]	14.8
Porosité	[m³/m³]	0.99
Chaleur spécifique, état sec	[J/(kg K)]	1470
Conductivité thermique sèche, 10°C	[W/(m K)]	0.036
Facteur de résistance à la diffusion de vapeur	[-]	73.01
Correction de la cond. th. selon la température	[W/(m K²)]	0.0002



Source: WUFI PRO



cas 1

cas 2

cas 3

Tableau des maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative en surface extérieure et intérieure des composantes et indice de croissance fongique calculée sur ces surfaces

Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment

Cas	Composantes	Maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative, et nombre de jours où cette moyenne sur 30 jours dépasse 80%				Indice fongique maximale calculé	
		Face extérieure %	Face extérieure Nombre de jours	Face intérieure %	Face intérieure Nombre de jours	Face extérieure	Face intérieure
Humidité initiale : EMC80 Sans infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	83,8	49 jours / an (490 jours total)	79,6	0	0	0
	Membrane Tyvek	76,4	0	77,2	0	0	0
	Polystyrène expansé	77,3	0	73,7	0	0	0
	Polyisocyanurate	71,7	0	63,4	0	0	0
	Pare-air / Pare-vapeur	64,7	0	76,4	0	0	0
	Contreplaqué	77,3	0	72,2	0	0	0
	Gypse intérieur	71,0	0	70,8	0	0	0
Humidité initiale : 2XEMC80 Sans infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	90,1	62 jours / an (620 jours total)	89,8	230 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,1	0,2
	Membrane Tyvek	86,2	80 jours, 1 ^{ère} année seulement	87,5	150 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,0
	Polystyrène expansé	87,9	150 jours, 1 ^{ère} année seulement	90,0	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,0
	Polyisocyanurate	88,3	10 jours, 1 ^{ère} année seulement	65,0	0	0,0	0,0
	Pare-air / Pare-vapeur	67,3	0	91,4	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,1
	Contreplaqué	91,6	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	78,0	0	0,7	0,1
	Gypse intérieur	71,0	0	70,8	0	0,0	0,0
Humidité initiale : 2XEMC80 Avec infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	90,2	En permanence	93,5	En permanence	2,2	3,8
	Membrane Tyvek	94,5	En permanence	94,6	En permanence	2,0	2,0
	Polystyrène expansé	94,5	En permanence	90,9	142 jours / an (1420 jours total)	2,0	0,2
	Polyisocyanurate	90,3	128 jours / an (1280 jours total)	84,6	59 jours / an (590 jours total)	0,2	0,0
	Pare-air / Pare-vapeur	82,2	43 jours / an (430 jours total)	91,4	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,1
	Contreplaqué	91,6	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	78,0	0	0,7	0,1
	Gypse intérieur	71,1	0	70,8	0	0,0	0,0



Cas 1: humidité initiale (construction) faible et pare-intempérie (tyvek) non-sollicité

Cas	Composantes	Maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative, et nombre de jours où cette moyenne sur 30 jours dépasse 80%				Indice fongique maximale calculé	
		%	Face extérieure Nombre de jours	%	Face intérieure Nombre de jours	Face extérieure	Face intérieure
Humidité initiale : <u>EMC80</u> Sans infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois B	83,8	49 jours / an (490 jours total)	79,6	0	0	0
	Membrane Tyvek C	76,4	0	77,2	0	0	0
	Polystyrène expansé	77,3	0	73,7	0	0	0
	Polyisocyanurate	71,7	0	63,4	0	0	0
	Pare-air / Pare-vapeur	64,7	0	76,4	0	0	0
	Contreplaqué	77,3	0	72,2	0	0	0
	Gypse intérieur	71,0	0	70,8	0	0	0

D

Tableau des maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative en surface extérieure et intérieure des composantes et indice de croissance fongique calculée sur ces surfaces

Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment

A Prérequis: cavité bien drainée et aérée

B Seule la face extérieure est soumise à des HR élevés

C Risque de corrosion limité aux parois extérieures (fixations)

D Aucun indice de croissance fongiques

Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte



Cas 2: humidité initiale (construction) élevée mais pare-intempérie (tyvek) non-sollicité

Cas	Composantes	Maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative, et nombre de jours où cette moyenne sur 30 jours dépasse 80%				Indice fongique maximale calculé	
		Face extérieure %	Face extérieure Nombre de jours	Face intérieure %	Face intérieure Nombre de jours	Face extérieure	Face intérieure
Humidité initiale : <u>2XEMC80</u> Sans infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	90,1	62 jours / an (620 jours total)	89,8	230 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,1	0,2
	Membrane Tyvek	86,2	80 jours, 1 ^{ère} année seulement	87,5	150 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,0
	Polystyrène expansé	87,9	150 jours, 1 ^{ère} année seulement	90,0	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,0
	Polyisocyanurate	88,3	10 jours, 1 ^{ère} année seulement	65,0	0	0,0	0,0
	Pare-air / Pare-vapeur	67,3	0	91,4	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,1
	Contreplaqué	91,6	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	78,0	0	0,7	0,1
	Gypse intérieur	71,0	0	70,8	0	0,0	0,0

B

C

D

A Prérequis: cavité bien drainée et aérée

B Augmentation de l'indice de croissance fongique mais inférieur à 3 (norme ASHRAE)

D Les taux plus élevés de HR dans les matériaux se stabilisent après la première année

C Risque de corrosion des fixations augmenté jusqu'au contreplaqué

Tableau des maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative en surface extérieure et intérieure des composantes et indice de croissance fongique calculée sur ces surfaces

Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment

Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte



Cas 3: humidité initiale (construction) élevée et pare-intempérie (tyvek) sollicité

Cas	Composantes	Maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative, et nombre de jours où cette moyenne sur 30 jours dépasse 80%				Indice fongique maximale calculé	
		Face extérieure %	Face extérieure Nombre de jours	Face intérieure %	Face intérieure Nombre de jours	Face extérieure	Face intérieure
Humidité initiale : 2XEMC80 Avec infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	90,2	En permanence	93,5	En permanence	2,2	3,8
	Membrane Tyvek	94,5	En permanence	94,6	En permanence	2,0	2,0
	Polystyrène expansé	94,5	En permanence	90,9	142 jours /an (1420 jours total)	2,0	0,2
	Polyisocyanurate	90,3	128 jours /an (1280 jours total)	84,6	59 jours /an (590 jours total)	0,2	0,0
	Pare-air / Pare-vapeur	82,2	43 jours / an (430 jours total)	91,4	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	0,0	0,1
	Contreplaqué	91,6	20 jours, 1 ^{ère} année seulement	78,0	0	0,7	0,1
	Gypse intérieur	71,1	0	70,8	0	0,0	0,0

Ext au plan d'étanchéité

Int au plan d'étanchéité

- A Scénario peu probable (protection arbres et grands avant-toits)
- B Les risques de croissance fongiques sont toujours faibles, sauf pour le parement (face interne), et très faibles pour les composantes vers l'intérieur du plan d'étanchéité.
- C La cavité aérée et bien drainée est essentielle pour éviter la pourriture graduelle du parement
- D Les taux plus élevés de HR dans les matériaux se stabilisent mais après quelques années
- E Risque de corrosion significatifs du côté extérieur au plan d'étanchéité

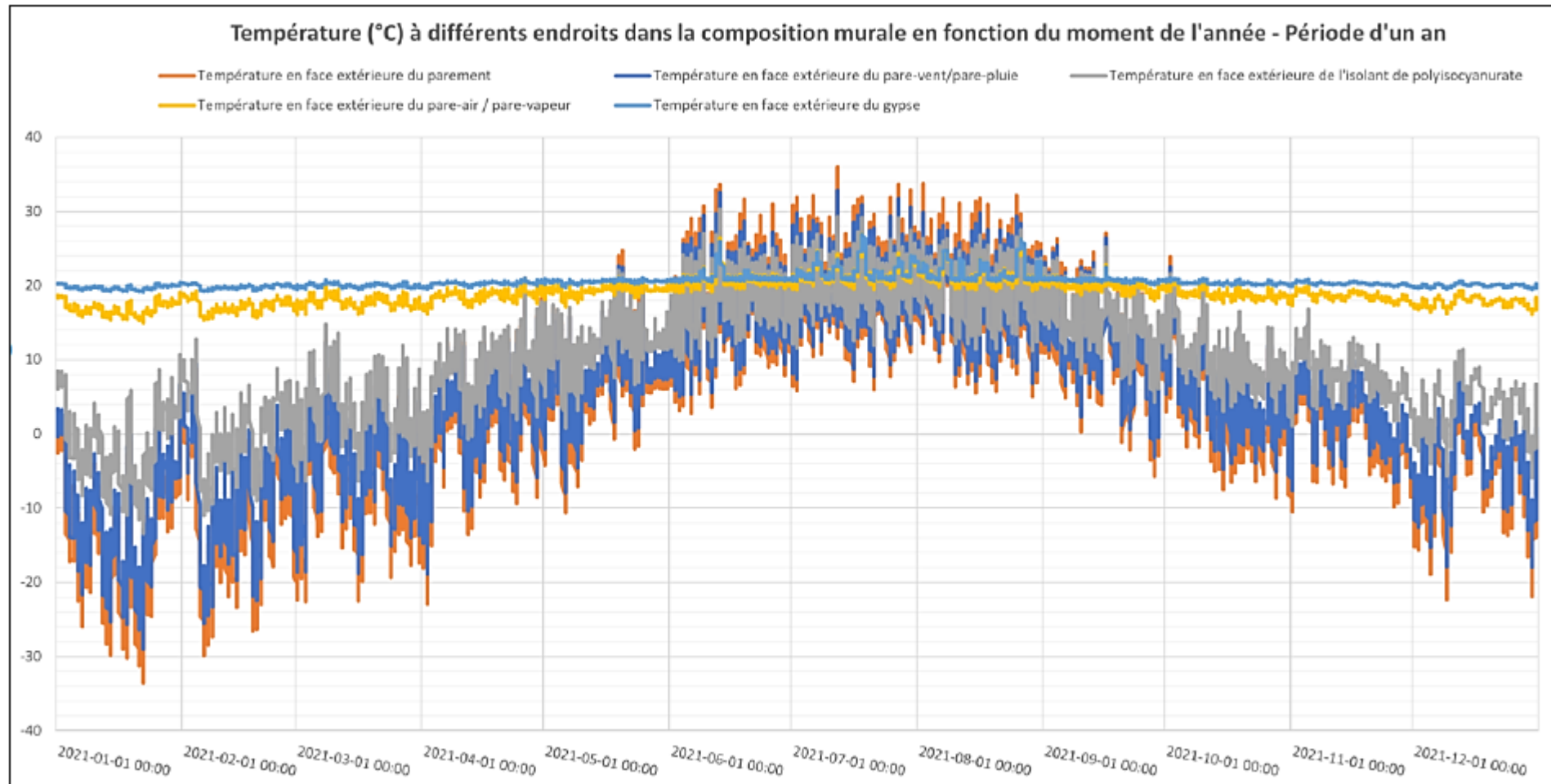
Tableau des maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative en surface extérieure et intérieure des composantes et indice de croissance fongique calculée sur ces surfaces

Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment

Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte



Exemple de résultat: composition humidité initiale élevée (cas 2) - annuel



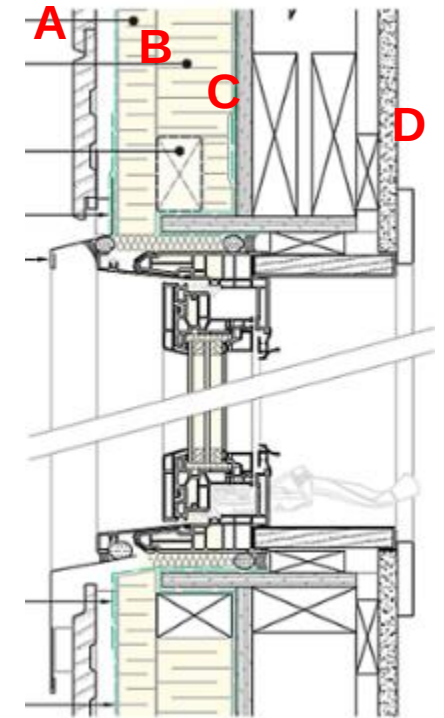
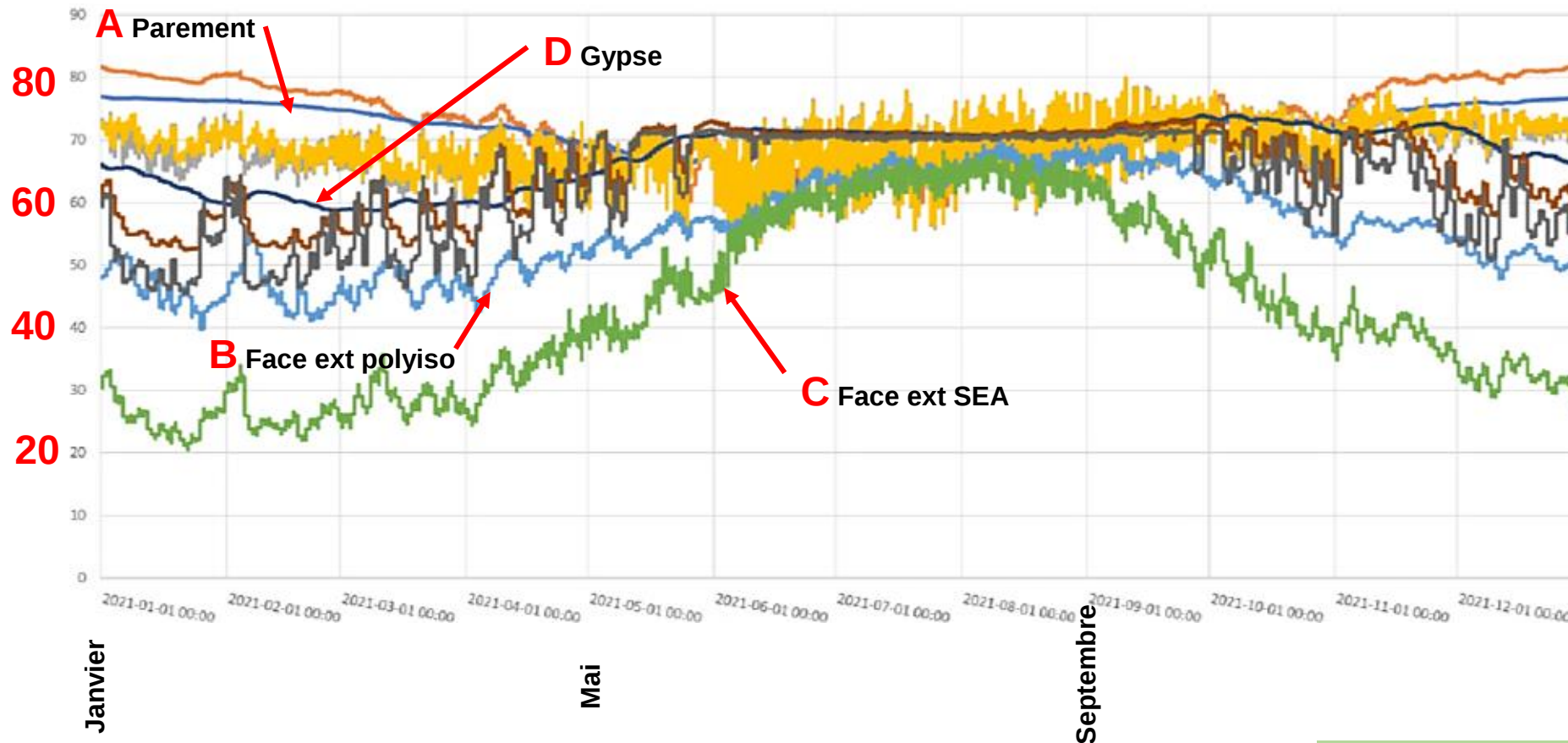
Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment

Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte



Humidité relative (%) à différents endroits dans la composition murale en fonction du moment de l'année - Période d'un an

- HR en face extérieure du parement
- HR en face intérieure du parement
- HR en face extérieure du pare-vent/pare-pluie
- HR en face extérieure du polystyrène expansé
- HR en face extérieure du polyisocyanurate
- HR en face extérieure du pare-air/pare-vapeur
- HR en face extérieure du contreplaqué
- HR en face intérieure du contreplaqué
- HR en face extérieur du gypse

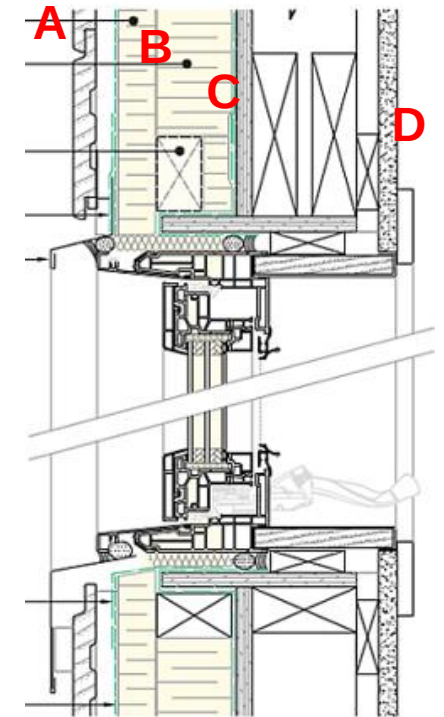
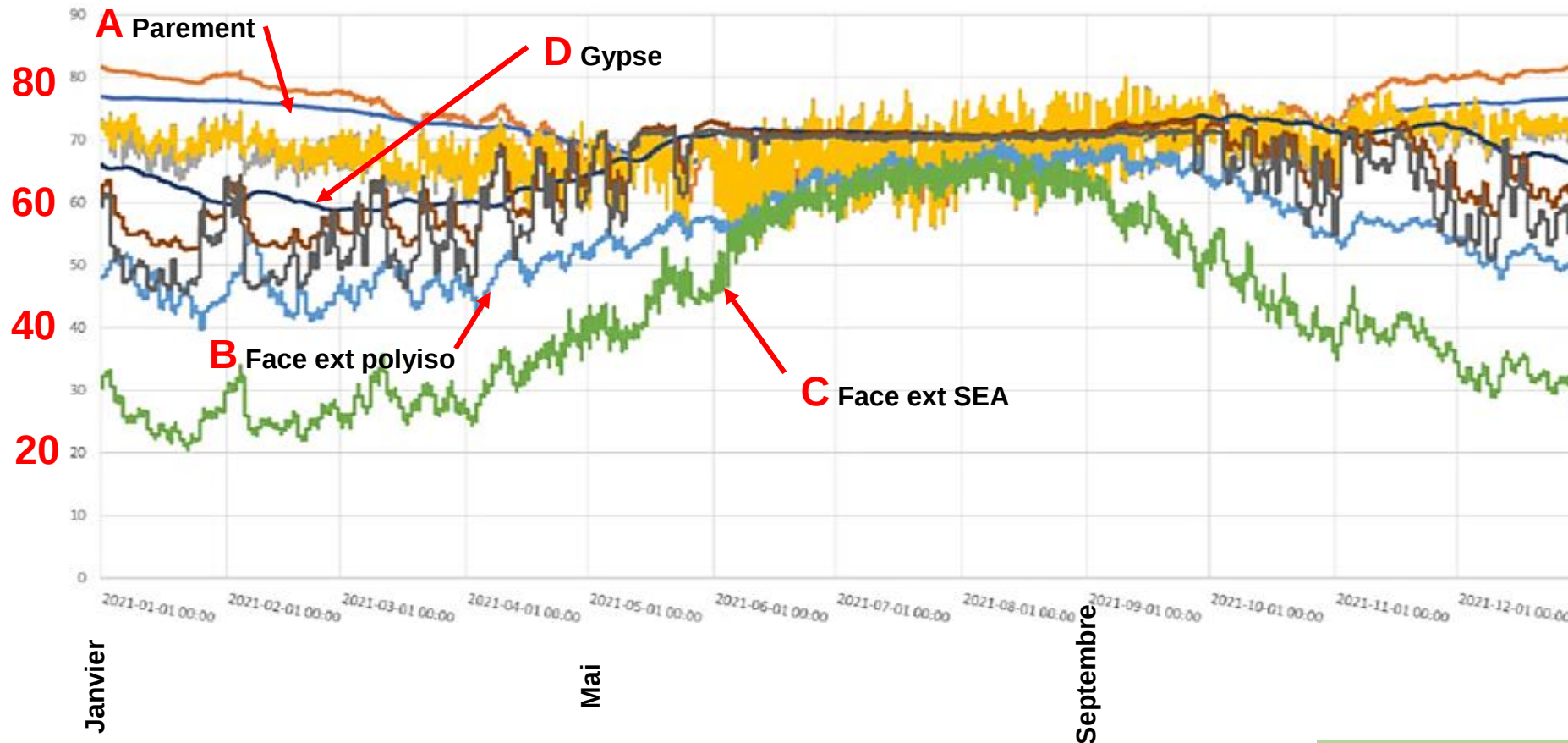


Source: Rapport de simulation Auvergne Lab. vivant
Graphique crédit UL



Humidité relative (%) à différents endroits dans la composition murale en fonction du moment de l'année - Période d'un an

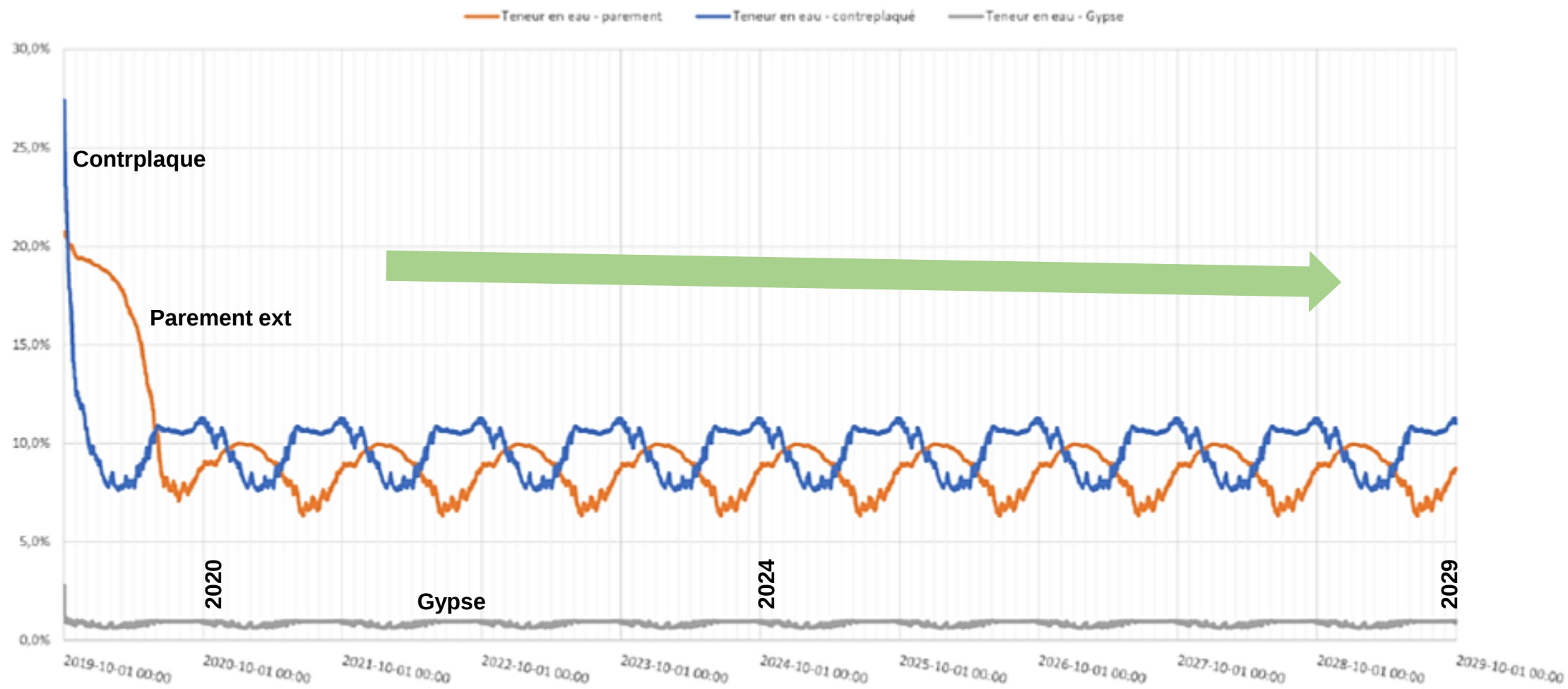
- HR en face extérieure du parement
- HR en face intérieure du parement
- HR en face extérieure du pare-vent/pare-pluie
- HR en face extérieure du polystyrène expansé
- HR en face extérieure du polyisocyanurate
- HR en face extérieure du pare-air/pare-vapeur
- HR en face extérieure du contreplaqué
- HR en face intérieure du contreplaqué
- HR en face extérieur du gypse



Source: Rapport de simulation Auvergne Lab. vivant
Graphique crédit UL



Teneur en eau (% de la masse) des composante putrescible en fonction du moment de l'année



Source: Rapport de simulation Auvergne Laboratoire vivant, UL science du bâtiment



Ossature légère

Assemblage innovant -SITE



Ossature légère

Assemblage innovant -SITE



Ossature légère

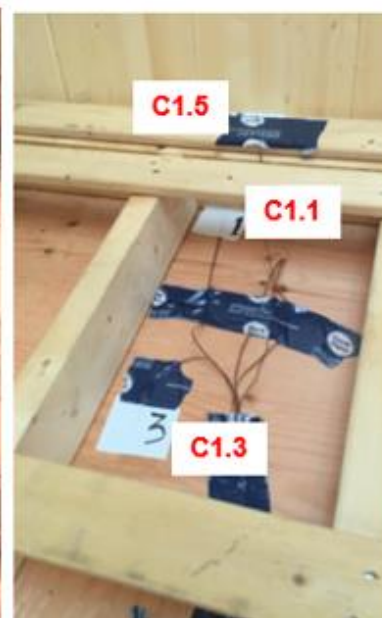
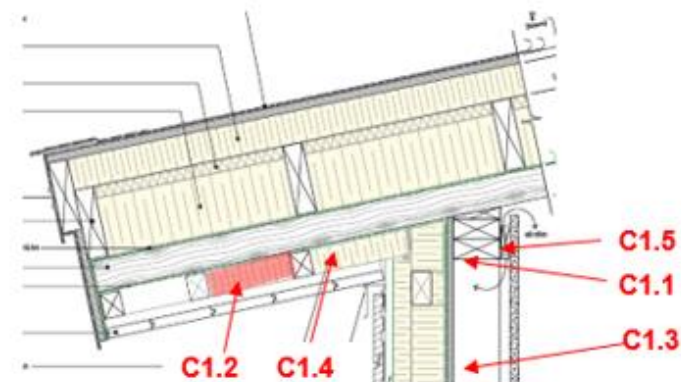
Assemblage innovant -SITE



Source:

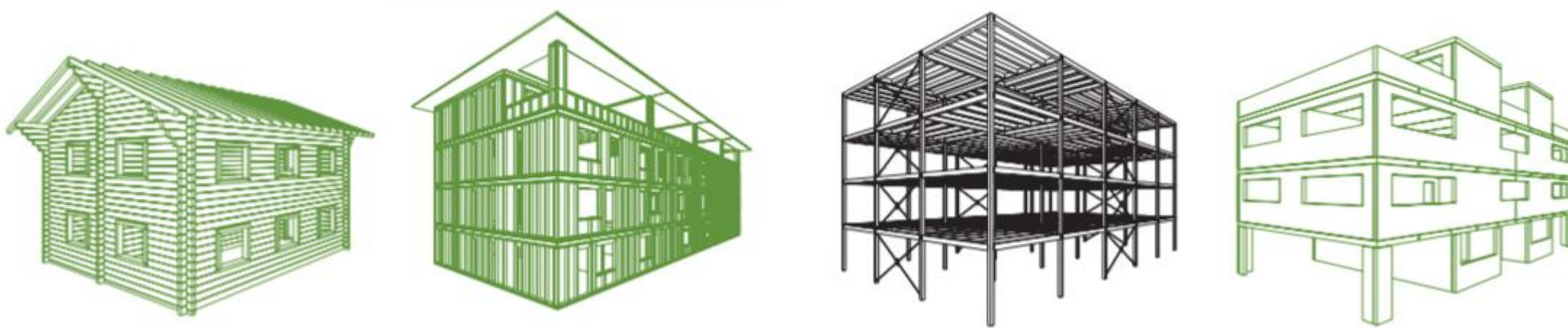


Identification et localisation	Objectifs	Description
ZONE C1 Comparaison transfert thermique avec ou sans bris, bordure de toit Deux zones distinctes Façade est, bordures de toit (soffites)	Vérifier si les simulations et calculs théoriques qui attribuent une perte de chaleur au passage du pontage massif de bois ext ^{int} sont mesurés aussi sur place	<u>Smart-reader +6 (zone avec bris thermique)</u> C1.5 : Ts pontage jonction mur-toit C1.1 : Ts contreplaqué face intérieure jonction mur-toit C1.3 : Ts contreplaqué à 12po en-dessous C1.4 : Ts pontage (dessous) au droit du bris thermique C1.5 : Ts pontage (dessous) au-delà du bris thermique NOTE : Les sondes C1.6 et C1.7 vérifient de façon indépendante les différences de températures de surface près d'un jambage de fenêtre C1.6 : contreplaqué face intérieure à 12po de jambage C1.7 : contreplaqué face intérieure près jambage



Source: Auvergne laboratoire vivant
Trempe architecte

Poutres et poteaux



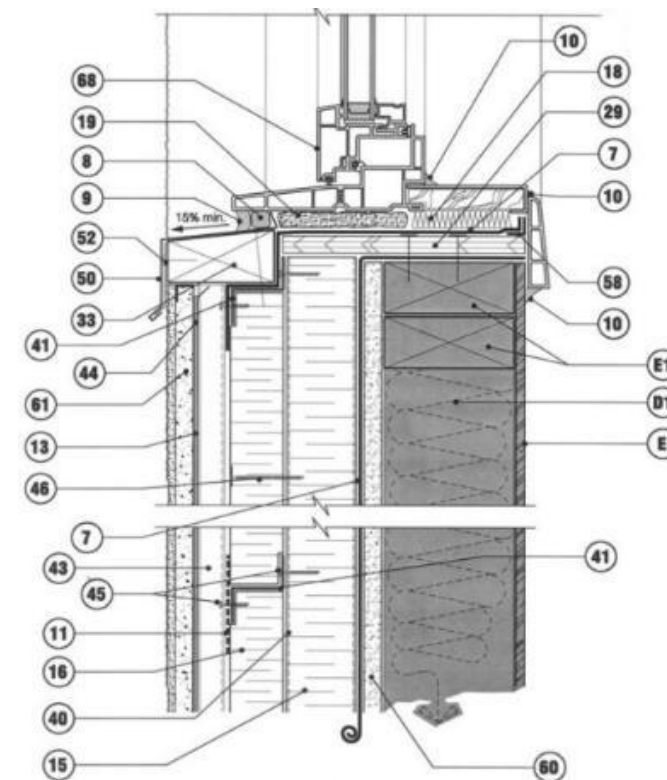
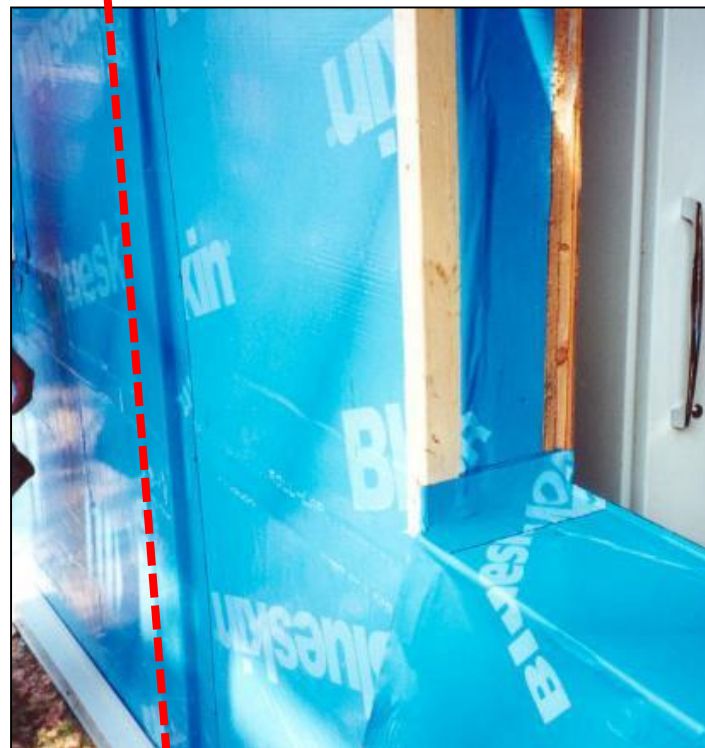
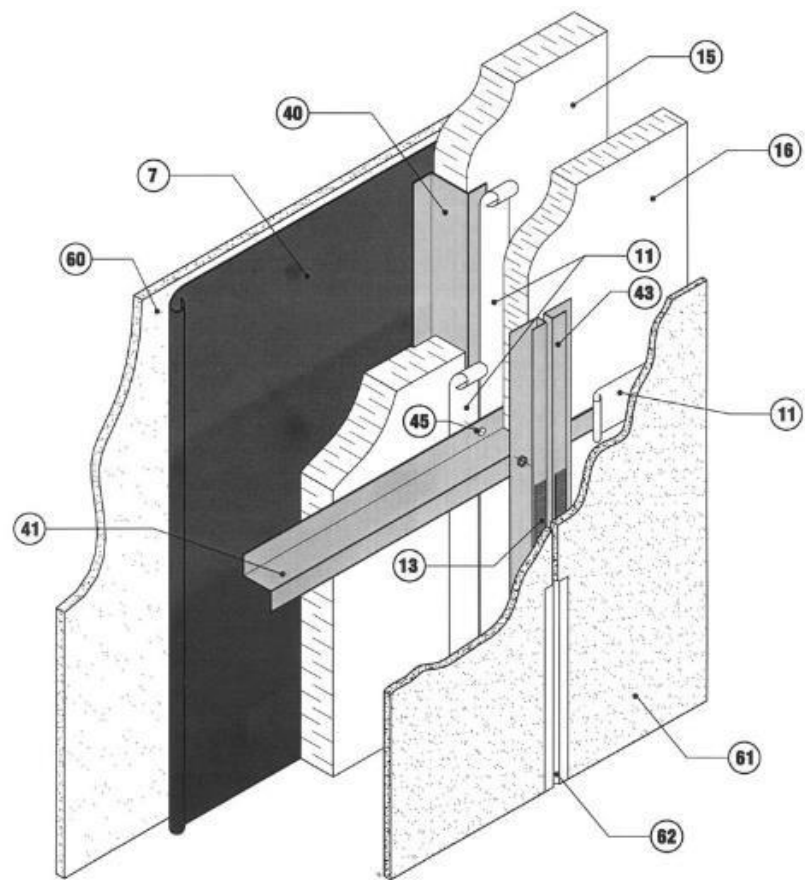
Système poutres et poteaux

Projet Arbora



Système poutres et poteaux

Étude de cas – Villa des jeunes



Caractéristiques :

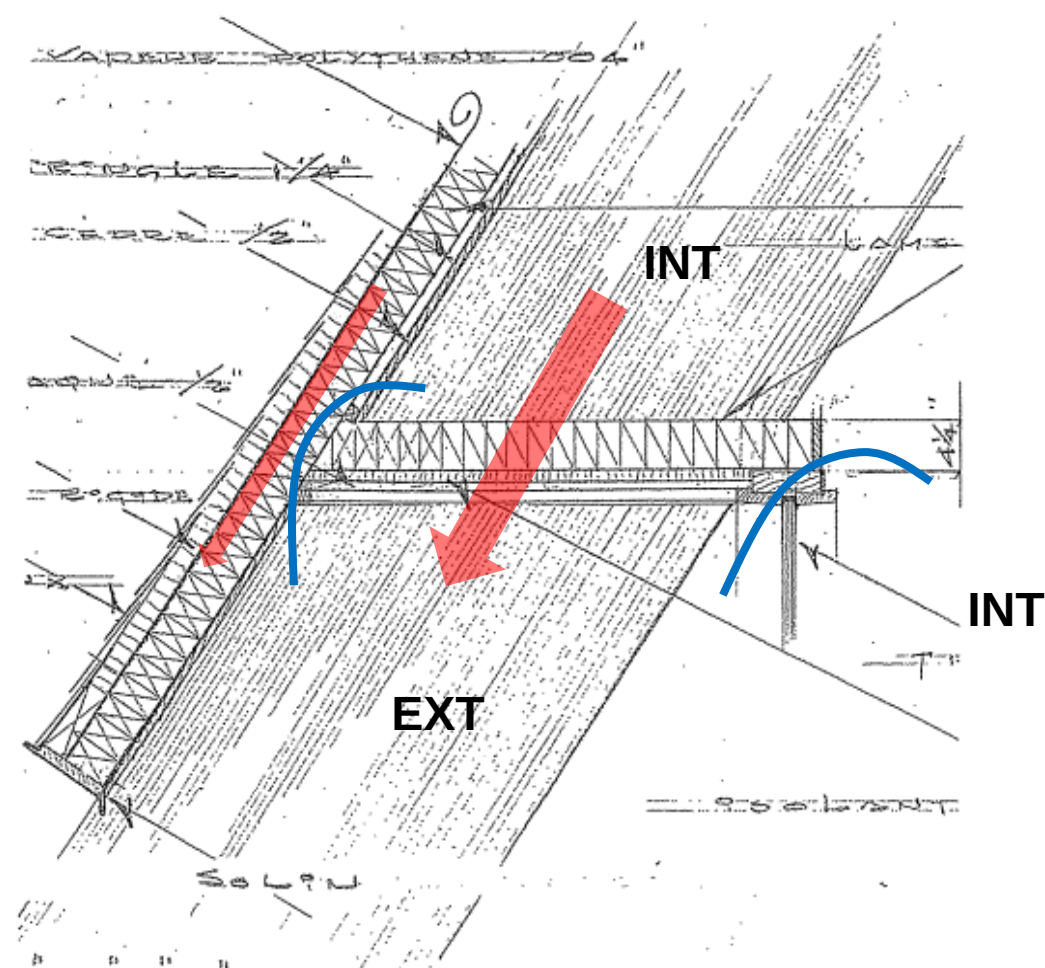
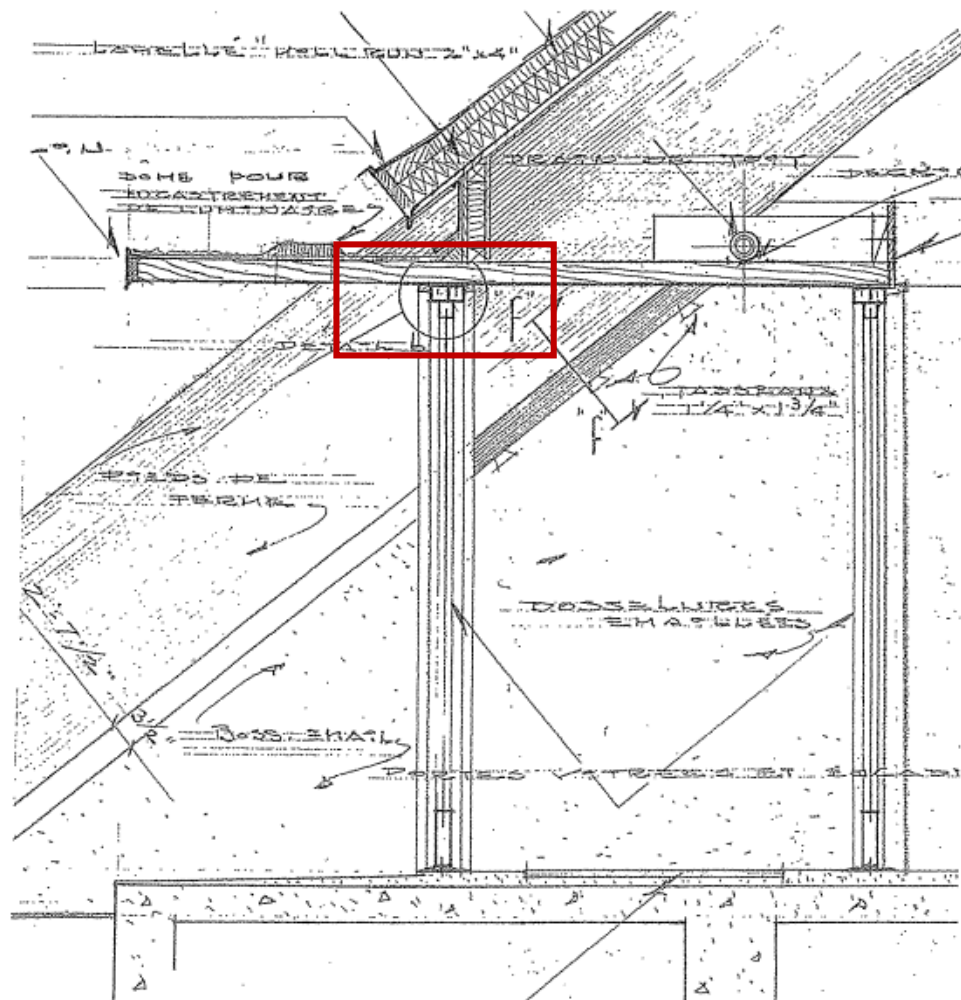
- Qualité esthétique, Éléments courbes, Pas de murs porteurs
- Charpente poutre et poteaux très utilisé de toutes époques
- Avec remplissage (madrier, ossature...)
- Offre une plus grande portée que l'ossature légère et plus grande capacité
- Charpente en gros bois d'œuvre : structure en poutres et poteaux qui supporte des platelages
- Enveloppe habituellement construire sur les faces du remplissage entre les poutres et poteaux

Étude de cas: Réhabilitation

Bibliothèque Monique Corriveau (Québec)



Source: Photo R.Trempe

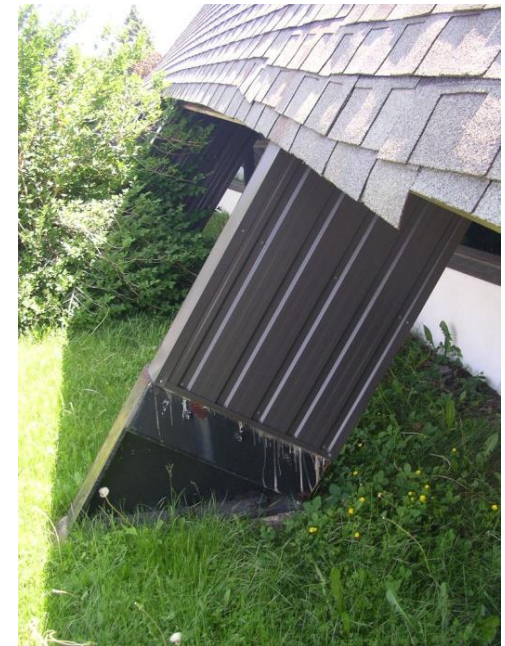


Source: Archives Ville de Québec



Système poutres et poteaux

Étude de cas



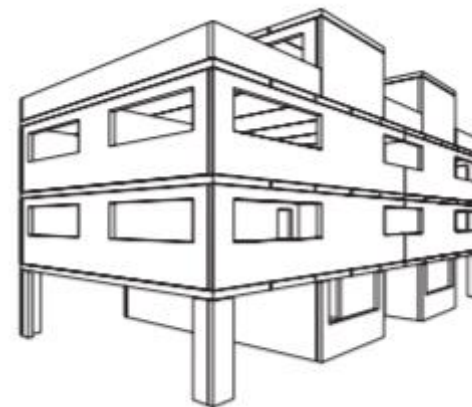


Réhabilitation: Côté, Leahy, Cardas architectes
Expertises: CLEB

Source: Photos Google image



Panneaux massifs

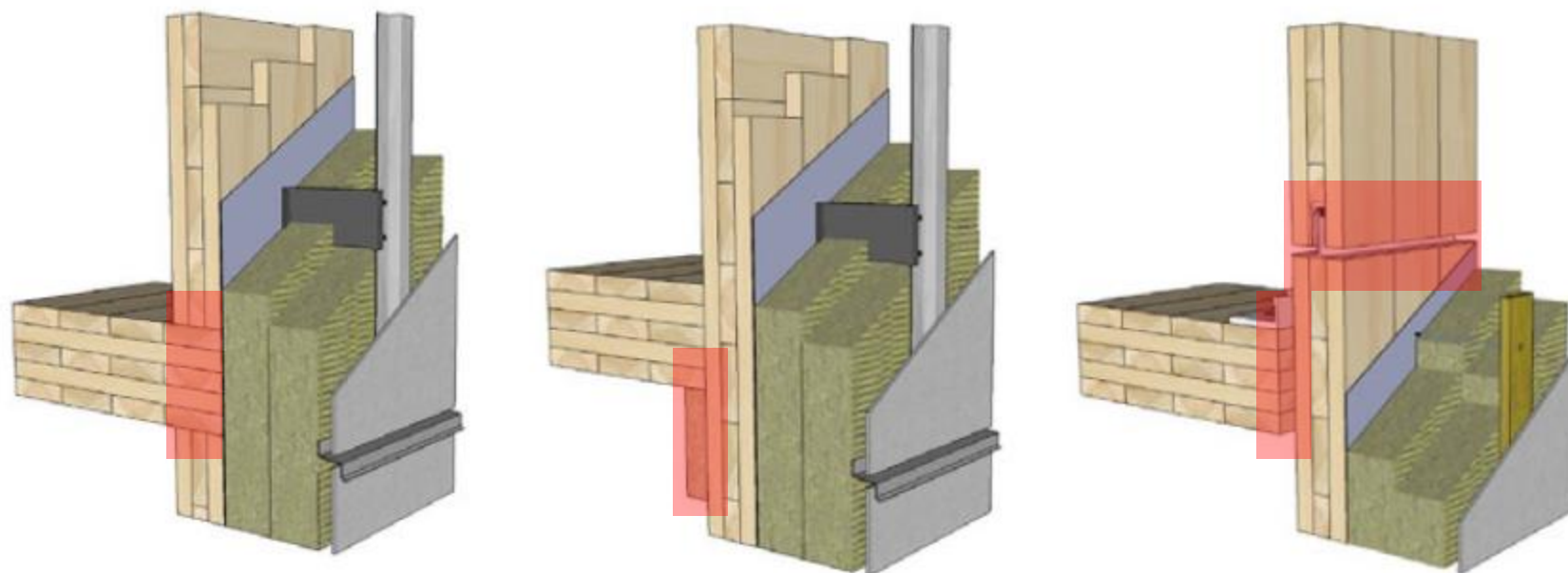


Caractéristiques :

- Bois massif : CLT ou bois d'ingénierie, structure autoportante (3 à 7 couches de planches de bois croisées à 90 et collés avec des adhésifs)
- Grandes résistances structurales, Stabilité dimensionnelle, Rapidité d'installation
- Mieux adapté pour les bâtiments de grande hauteur
- Accès imposant requis (transport, grues,...)
- Mais difficilement adaptable lors de modifications (versus ossature légère)



Source: Photo R.Trempe



Load-bearing platform-type CLT wall

Non-load-bearing
balloon framed-type CLT wall

Non-load-bearing hung
curtainwall-type CTL wall

Figure 4 Examples showing use of load or non-load bearing CLT panels in exterior walls of CLT buildings. Consideration for the structural design and wood-movement are different for each of these three systems and factored in the design of the building enclosure

Relative Humidity	Vapour permeance ng/Pa·s·m ² (U.S. perm)		
	100 mm (4 in.)	150 mm (6 in.)	200 mm (8 in.)
20%	3.4 (0.06)	2.3 (0.04)	1.7 (0.03)
50%	18 (0.31)	12 (0.21)	9.0 (0.15)
80%	59 (1.0)	39 (0.68)	30 (0.51)

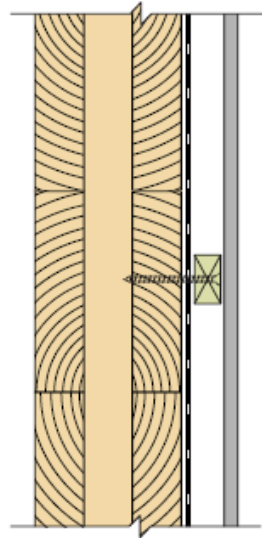
Perméance à la vapeur d'eau du CLT à différentes épaisseurs et humidités relatives

CLT Panel Species	Thermal Conductivity at 12% Moisture Content		Thermal Resistance per Inch	
	W/m·K (Btu·in/hr·ft²·°F)		ft²·°F·hr/Btu	
Spruce-Pine-Fir (SPF)	0.12 (0.82)		1.2	
Hemlock-Fir (Hem-Fir)	0.12 (0.82)		1.2	
Douglas Fir-Larch (DFL)	0.15 (1.0)		1.0	
CLT Panel Species	Approximate R-value for CLT of Various Thicknesses (ft²·°F·hr/Btu)			
	3-ply, 3.5"	5-ply, 5 5/8"	7-ply, 7 ¾"	9-ply, 10.5"
Spruce-Pine-Fir (SPF)	4.2	6.8	9.3	12.6
Hemlock-Fir (Hem-Fir)	4.2	6.8	9.3	12.6
Douglas Fir-Larch (DFL)	3.5	5.6	7.8	10.5

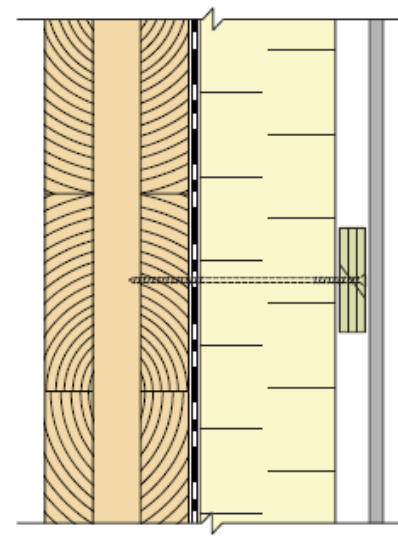
Conductivité thermique et résistance thermique pour des panneaux de CLT par épaisseur de 1 pouce



Assemblage CLT, comparatif entre sans isolant (gauche) et avec isolant (à droite) avec notes explicatives

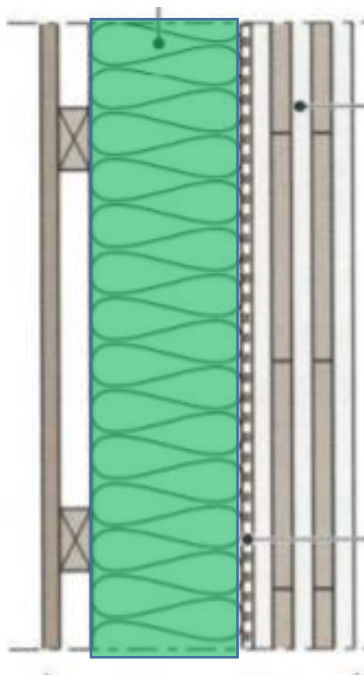


Most softwood species used in North American CLT panels have an equivalent IP unit R-value of R-1.2 per inch. Therefore, a 3-ply 3.5" CLT panel has a material R-value of R-4.2. This is added together with the thermal resistance of the surface air films and cladding to provide an effective center of wall R-value of approximately R-7. Alone, this does not comply prescriptively with Canadian energy code requirements and, therefore, insulation is required (right).

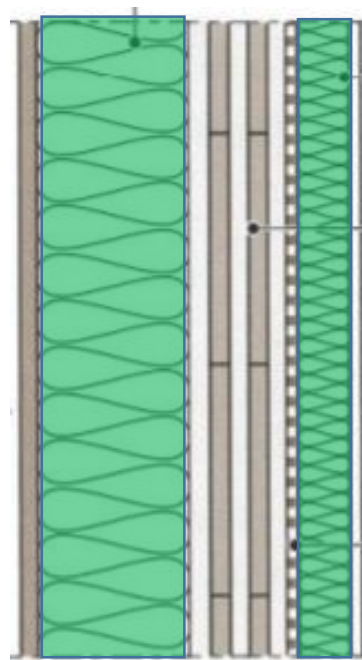


The material R-value of a 3-ply CLT panel is R-4.2 for SPF or Hem-Fir. To reach typical component R-value targets of R-15 to R-30, several inches of insulation are required. Thermal insulation products recommended for CLT walls have material R-values in the range of R-4 to R-5/inch and therefore 3" to over 8" of exterior insulation may be required. This will also be impacted by the thermal effectiveness of the cladding support strategy used to connect the cladding to the backup CLT structure.

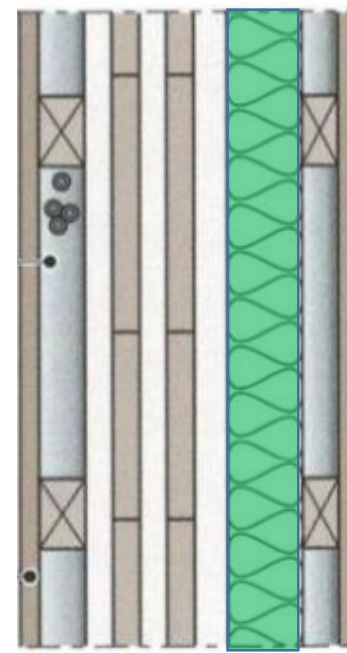
Source: FP CLT Handbook



Isolation par
l'extérieur

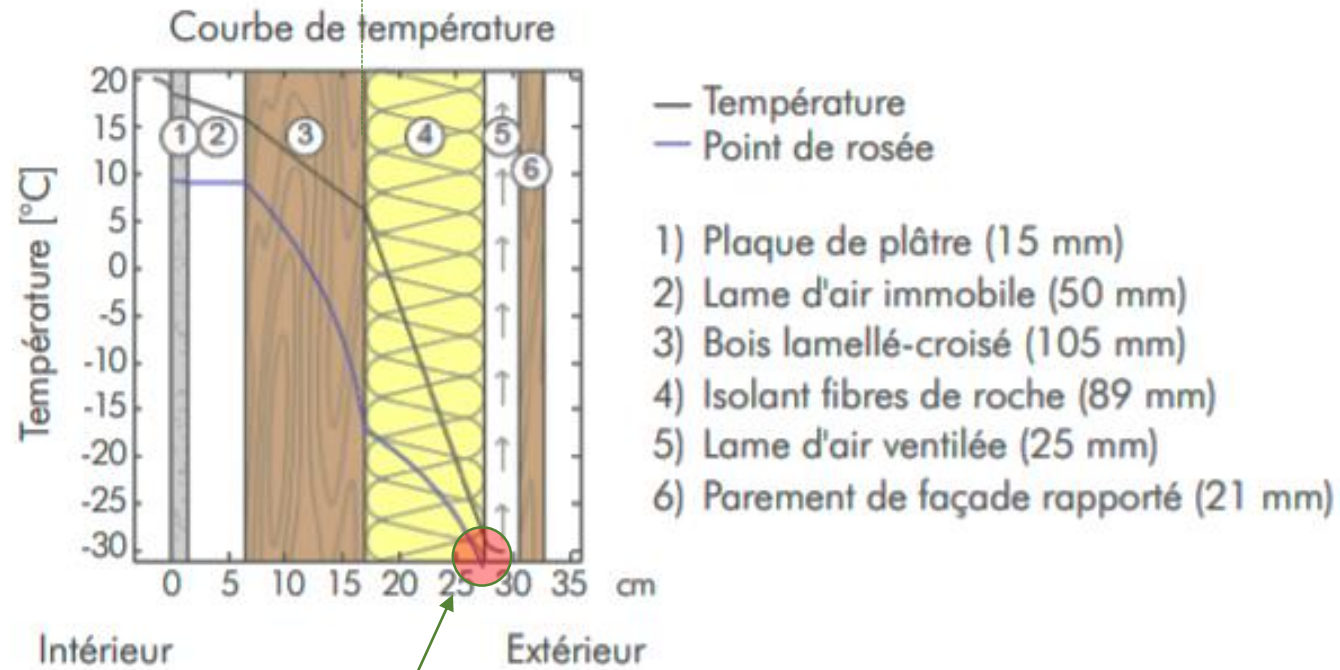


Isolation par
les deux
faces



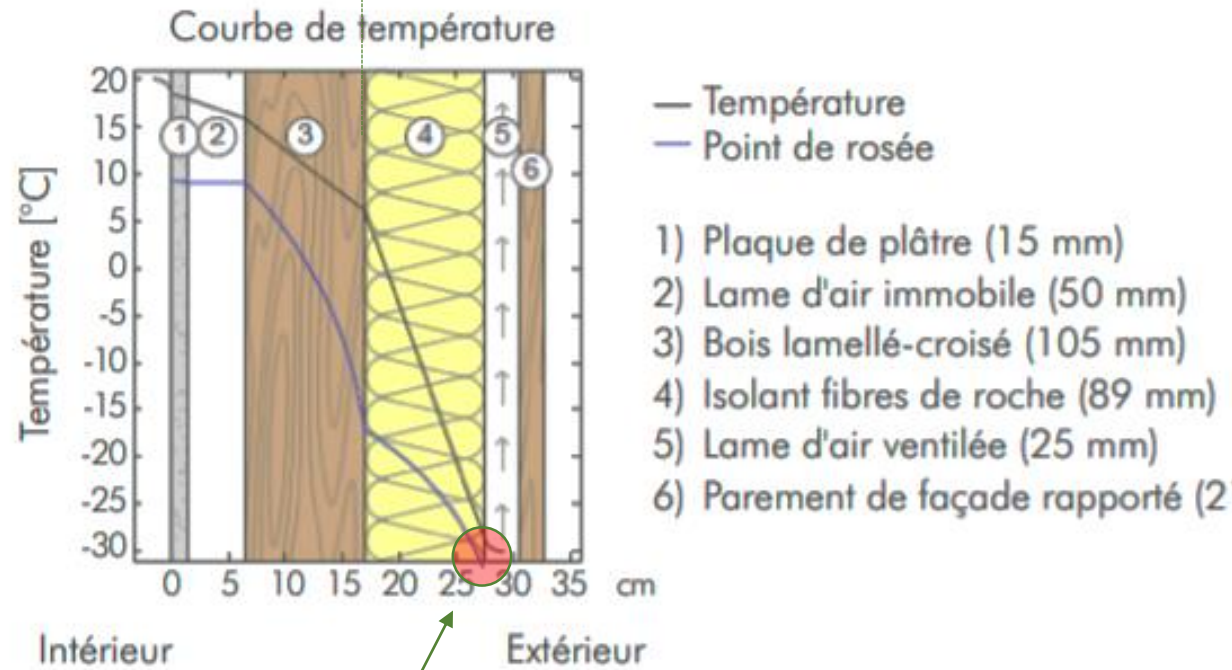
Isolation par
l'intérieur

Isolation totalement vers extérieur



Risque de condensation

Isolation totalement vers extérieur



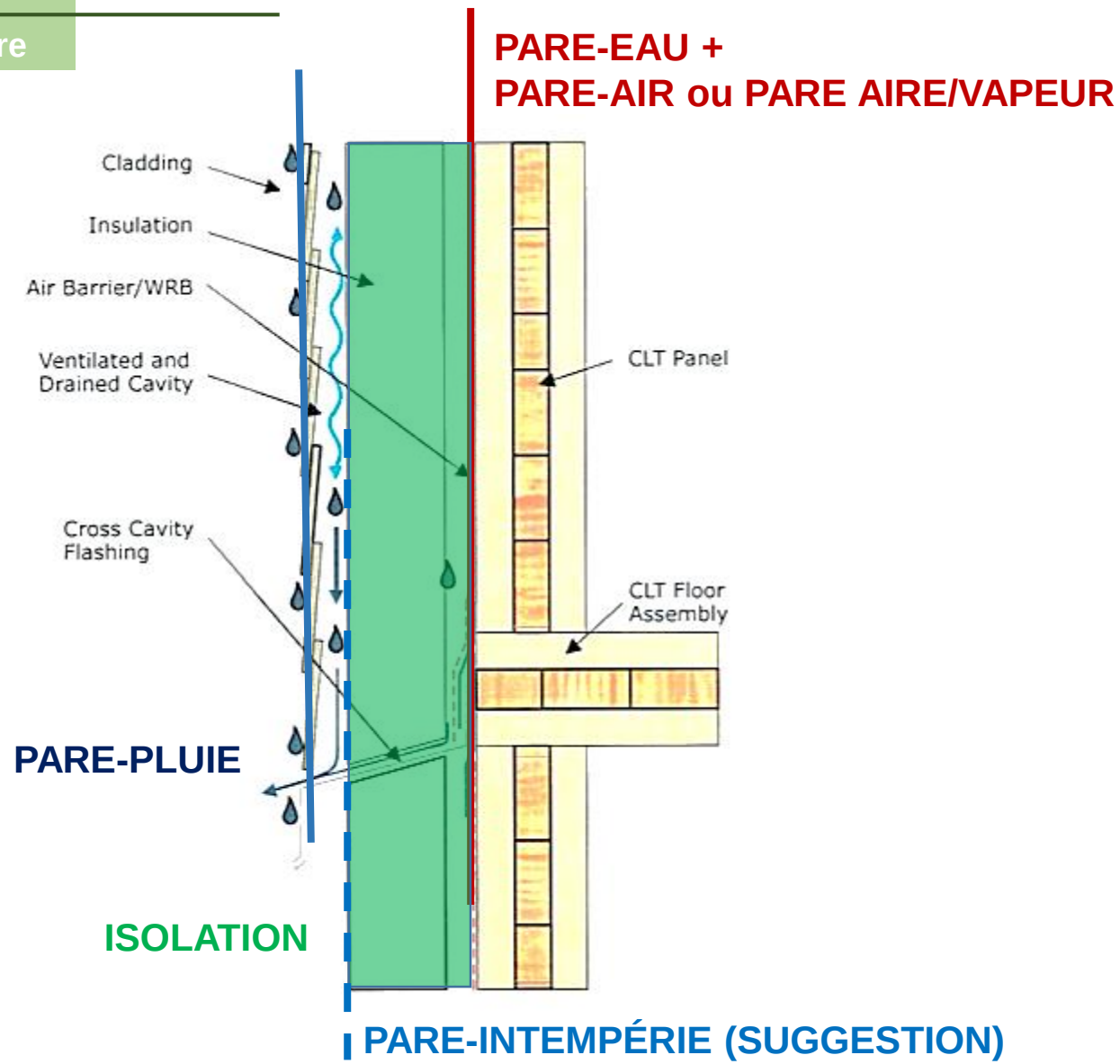
Risque de condensation à cet endroit

Question quizz:

Devrait-on installer un pare-air/vapeur dans cet assemblage?

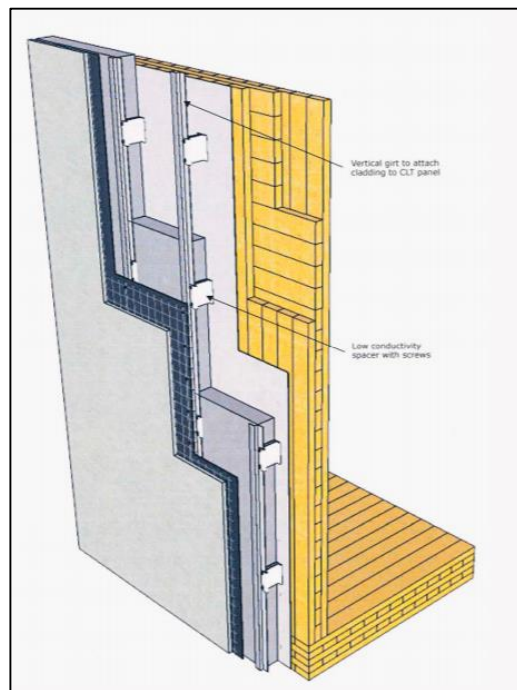
Système bois massif

Plans d'étanchéité – isolation extérieure



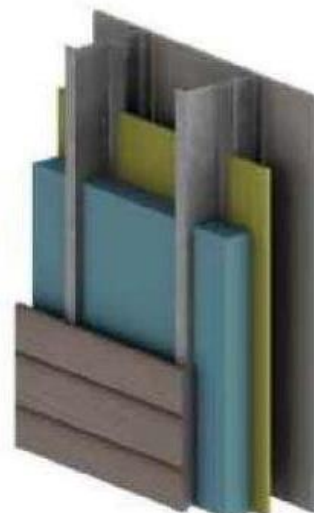
Stratégie optimale d'assemblage





Assemblage
type CLT

$$RSI_{total} = 4,96 \text{ (R-28,2)}$$



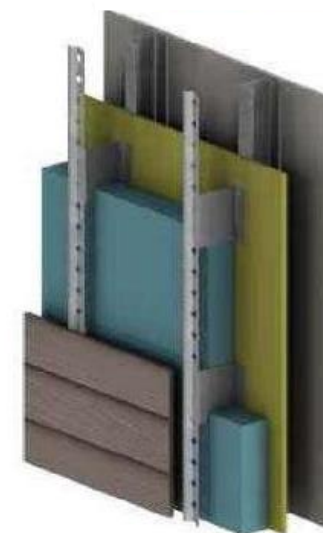
Barres Z
verticales
 $RSI_{eff} \text{ 2,11 (R-12)}$



Barres Z
horizontales
 $RSI_{eff} \text{ 2,56 (R-14,5)}$



Barres Z
croisées
 $RSI_{eff} \text{ 3,33 (R-18,9)}$

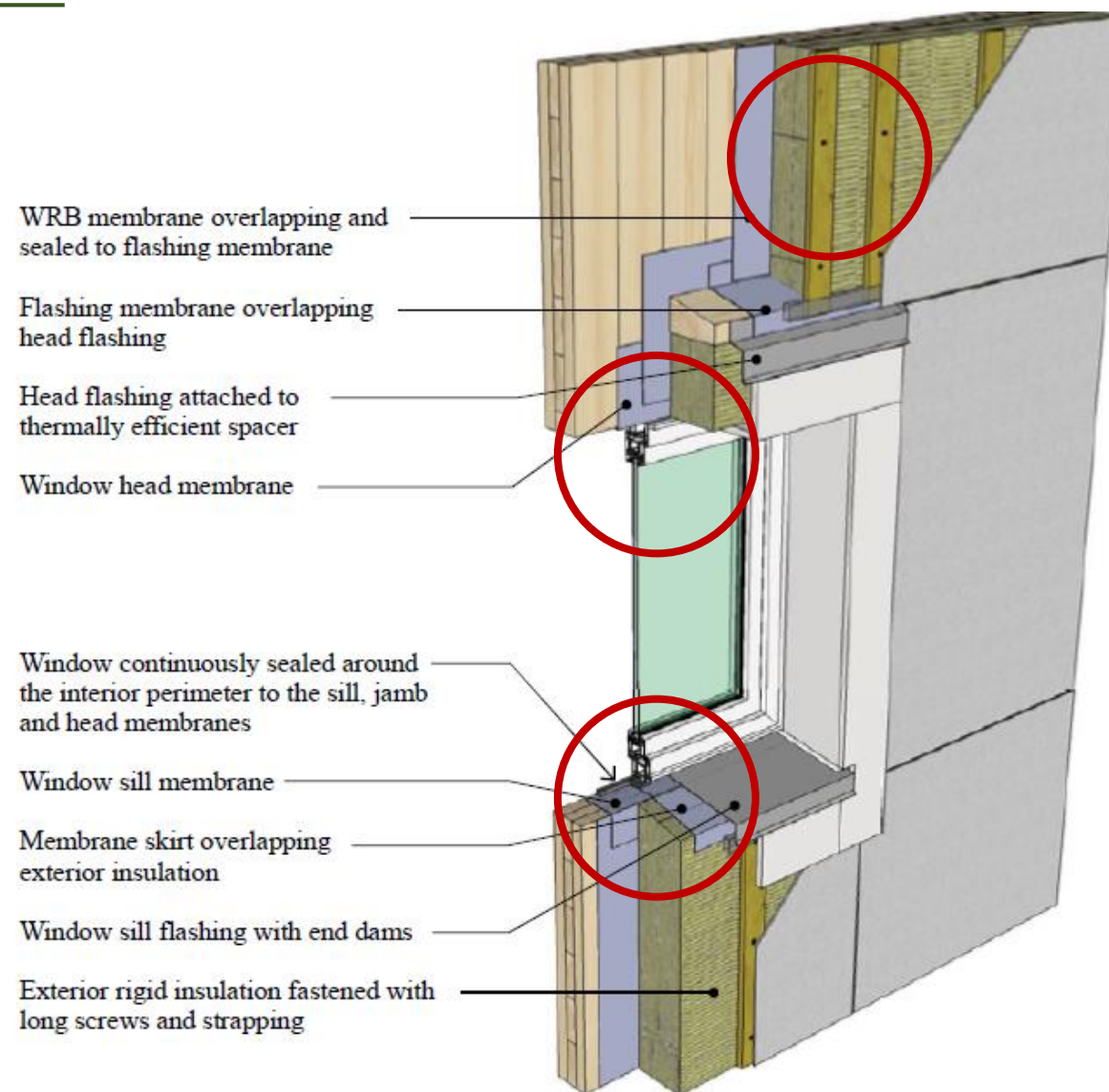


Barres Z
intermittentes
 $RSI_{eff} \text{ 3,6 (R-20,4)}$

Étude comparative de résistance effective

Système bois massif

Détails typiques

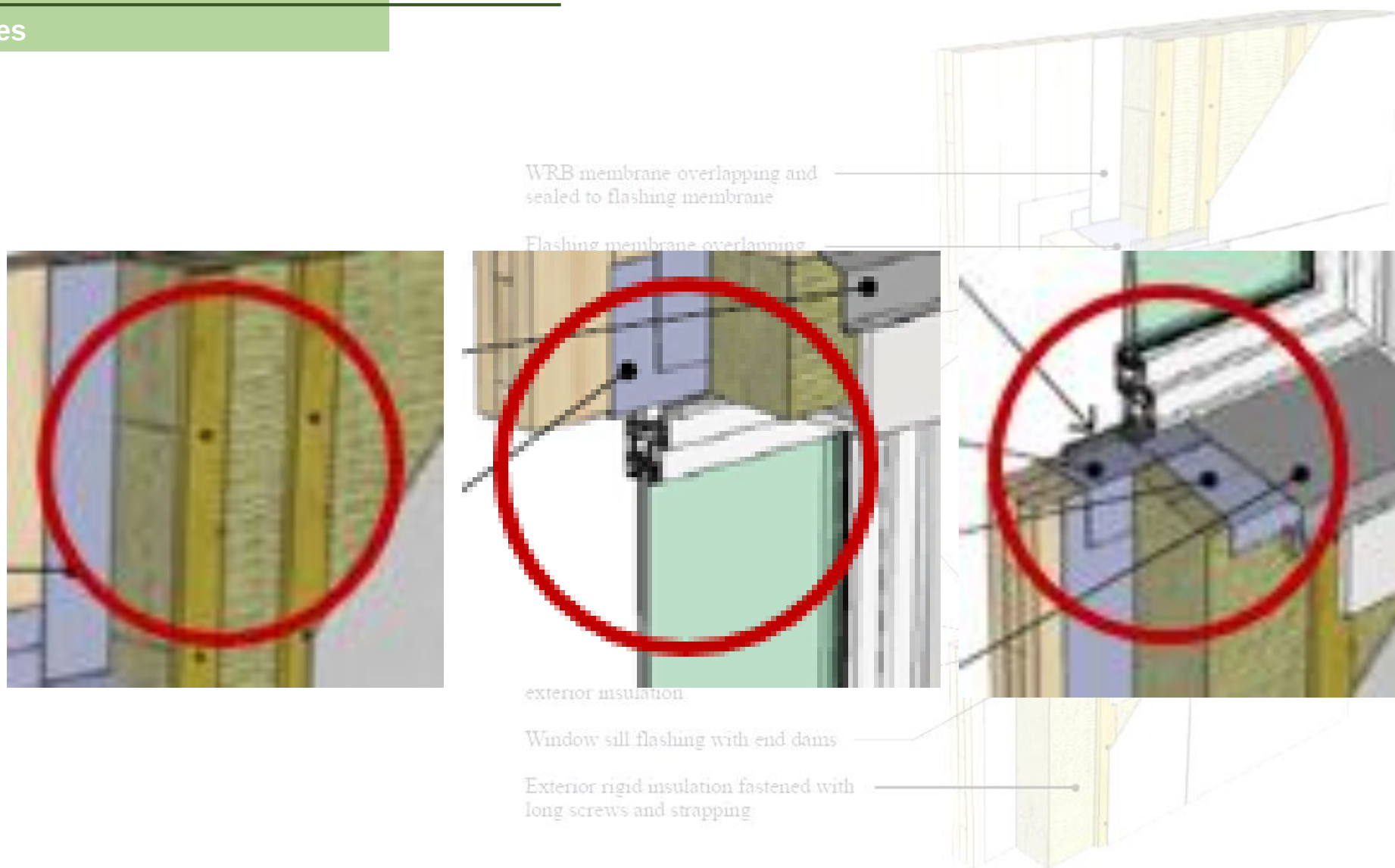


Source: FP CLT Handbook



Système bois massif

Détails typiques



Source: FP CLT Handbook



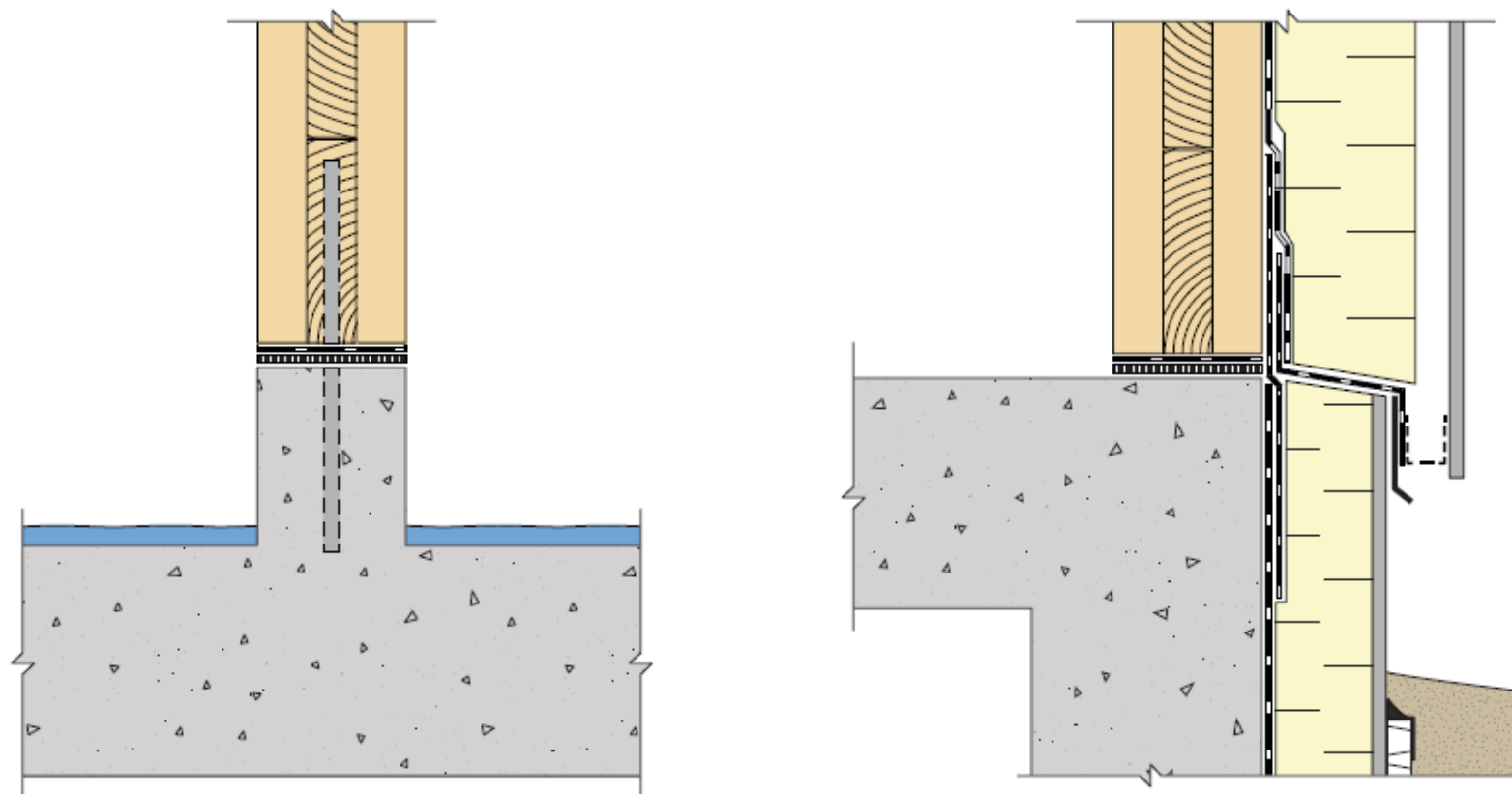


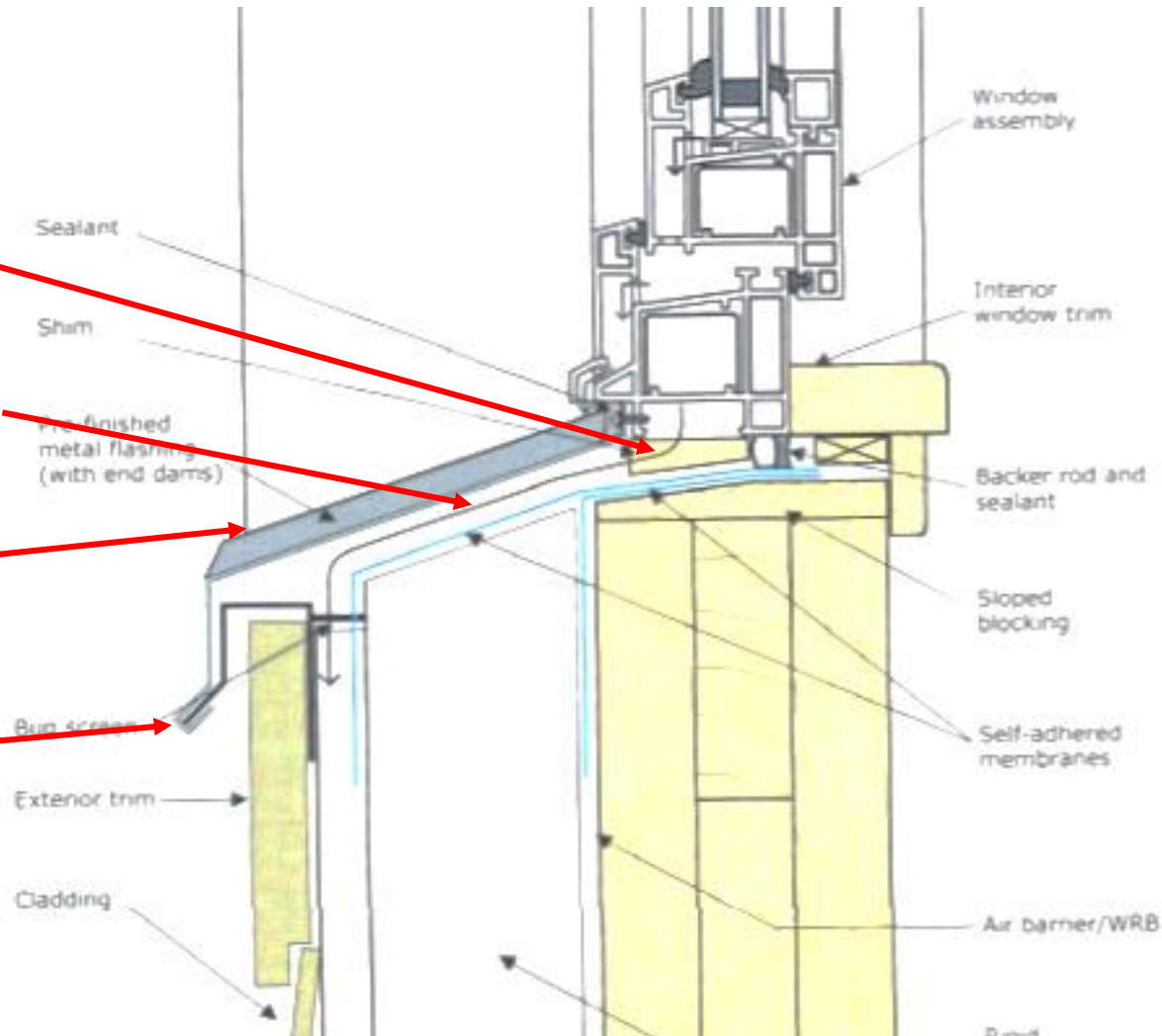
Figure 17 Examples of a detail showing elevation of CLT above potential construction and in-service wetting mechanisms at a concrete podium slab and at an exterior wall detail

Principe de la cuvette

Circuit d'évacuation d'eau

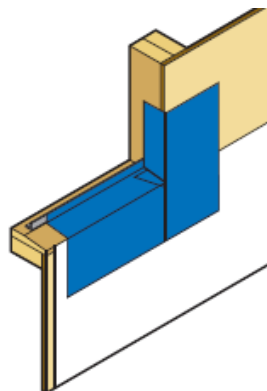
Pente d'écoulement

Déflexion (rejet)



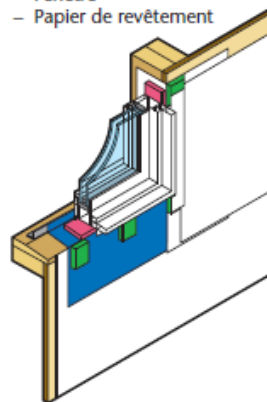
Système bois massif

Détails typiques



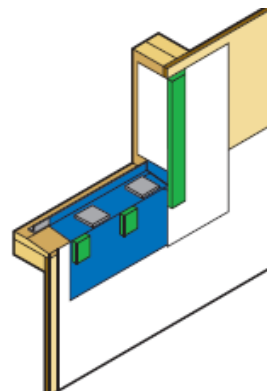
a) Installer le solin de la lisse d'appui

- Isolation du périmètre
- Fenêtre
- Papier de revêtement



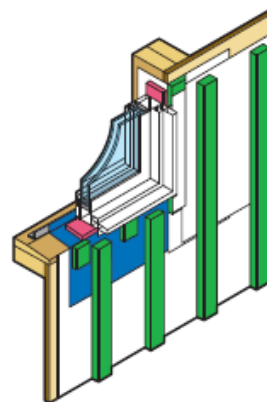
c) Installer la fenêtre et terminer la membrane résistante à l'eau

Niveau d'exposition maximale : ÉLEVÉ

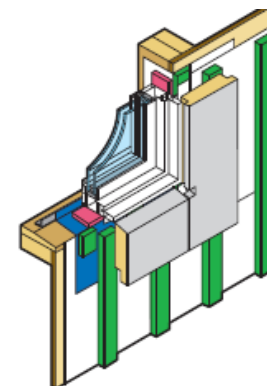


b) Préparer l'ouverture de la fenêtre

- Lattes continues en bois

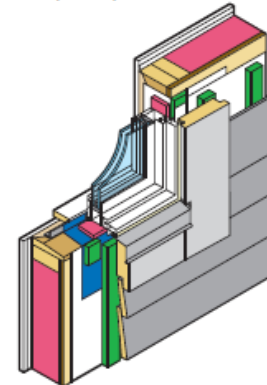


d) Installer les lattes continues



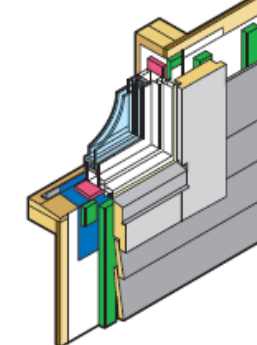
e) Installer la moulure

- Fond de joint et produit d'étanchéité intérieur
- Isolant du mur
- Pare-vapeur
- Rebord de bois
- Plaque de plâtre intérieure

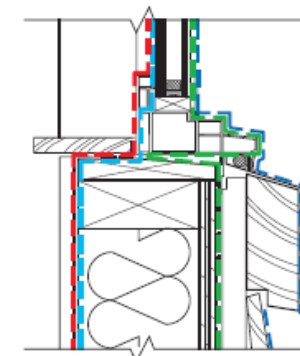


g) Installer le produit d'étanchéité intérieur, l'isolant et la finition intérieure afin de terminer le pare-air, la barrière thermique et le pare-vapeur

- Fond de joint et produit d'étanchéité extérieur



f) Installer le revêtement, le solin, le produit d'étanchéité extérieur et terminer la face évacuant l'eau

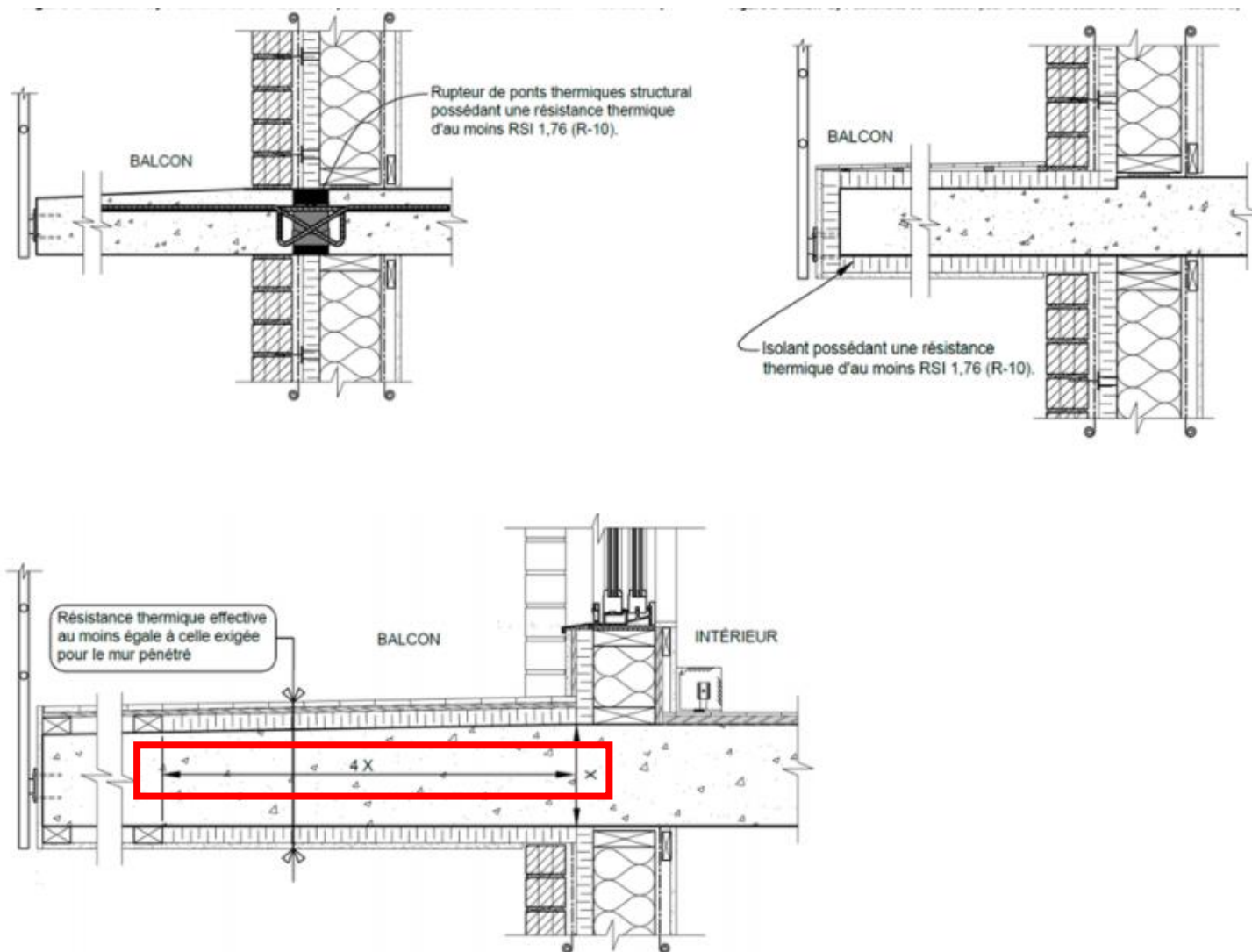


- Pare-vapeur
- Pare-air
- Membrane résistante à l'eau
- Membrane évacuant l'eau

h) Vérifier la continuité des membranes de protection essentielles

Source: Guide utilisateur norme A440





Source: Novoclimat, bâtiments résidentiels de grande hauteur

Système bois massif

Détails typiques



Membrane d'étanchéité bicouche en bitume modifié SBS, sous-couche auto-adhésive, couche de finition avec granules thermo-soudée.

Panneau d'isolant de polystyrène expansé 2" (50mm) rebordé feuillurés, intercalé de pièces de 2"x3" (38x44mm) posées debout à 25 1/2" (650mm) c/c

Panneau d'isolant rigide de laine de roche de 1 1/2" (38mm)

Panneau d'isolant rigide de polyisocyanurate avec âme à structure alvéolaire fermée avec revêtement de feutre de verre perméable à la vapeur, épaisseur de 4 3/4" (114mm)

Recouvrement de façade en acier galvanisé prépeint, cal.26,

Plèces de rives de toit et chevrons de toiture espacés à 25 1/2" (650mm) pour insertion d'isolant de polyisocyanurate,

Membrane pare-vapeur anti-dérapante auto-adhésive

Platelage structural en bois 60mm d'épaisseur

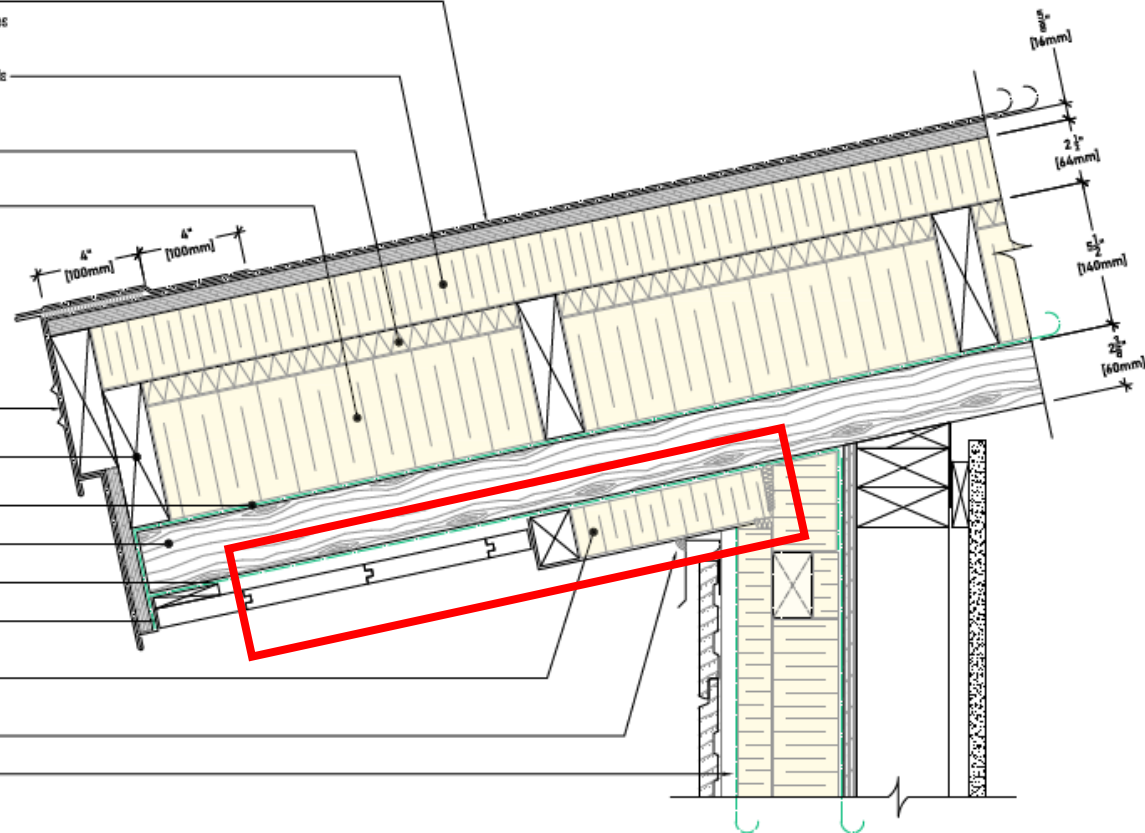
Membrane de renfort auto-adhésive

Planches de soffite harmonisées avec le lambris mural

Bande continue de 8" (200mm) de panneau d'isolant rigide de polyisocyanurate de 2" (50mm) d'épaisseur. Colmater tout espace vide au moyen de matelas isolant.

Scellant hybride sans solvant

Membrane d'étanchéité auto-adhésive pare-eau et pare-air, auto-obturante et auto-cicatrisante



Coupe type

Jonction mur, toit

Source: Pavillon Auvergne, Richard Trempe

Source: Auvergne laboratoire vivant
R.Trempe



Système bois massif

Détails typiques



Membrane d'étanchéité bicouche en bitume modifié SBS, sous-couche auto-adhésive, couche de finition avec granules thermo-soudée.

Panneau d'isolant de polystyrène expansé 2" (50mm) rebordé feuilluré, intercalé de pièces de 2"x3" (38x44mm) posées debout à 25 1/2" (650mm) c/c

Panneau d'isolant rigide de laine de roche de 1 1/2" (38mm)

Panneau d'isolant rigide de polyisocyanurate avec âme à structure alvéolaire fermée avec revêtement de feutre de verre perméable à la vapeur, épaisseur de 4 3/4" (114mm)

Recouvrement de façade en acier galvanisé prépeint, cal.26,

Plèces de rives de toit et chevrons de toiture espacés à 25 1/2" (650mm) pour insertion d'isolant de polyisocyanurate,

Membrane pare-vapeur anti-dérivante auto-adhésive

Platelage structural en bois 60mm d'épaisseur

Membrane de renfort auto-adhésive

Planches de soffite harmonisées avec le lambris mural

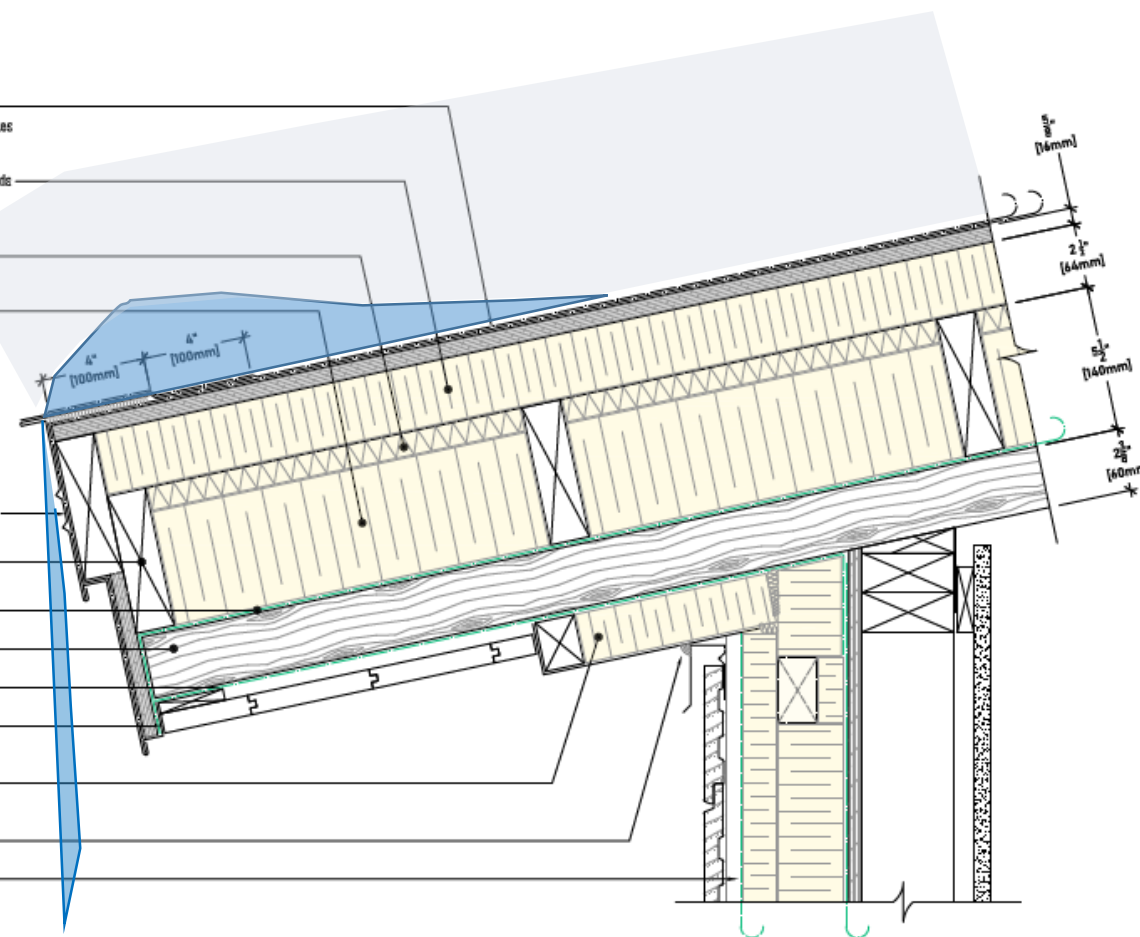
Bande continue de 8" (200mm) de panneau d'isolant rigide de polyisocyanurate de 2" (50mm) d'épaisseur. Colmater tout espace vide au moyen de matelas isolant.

Scellant hybride sans solvant

Membrane d'étanchéité auto-adhésive pare-eau et pare-air, auto-obturante et auto-cicatrisante

Coupe type

Jonction mur, toit



Source: Pavillon Auvergne, Richard Trempe

Source: Auvergne laboratoire vivant
R.Trempe



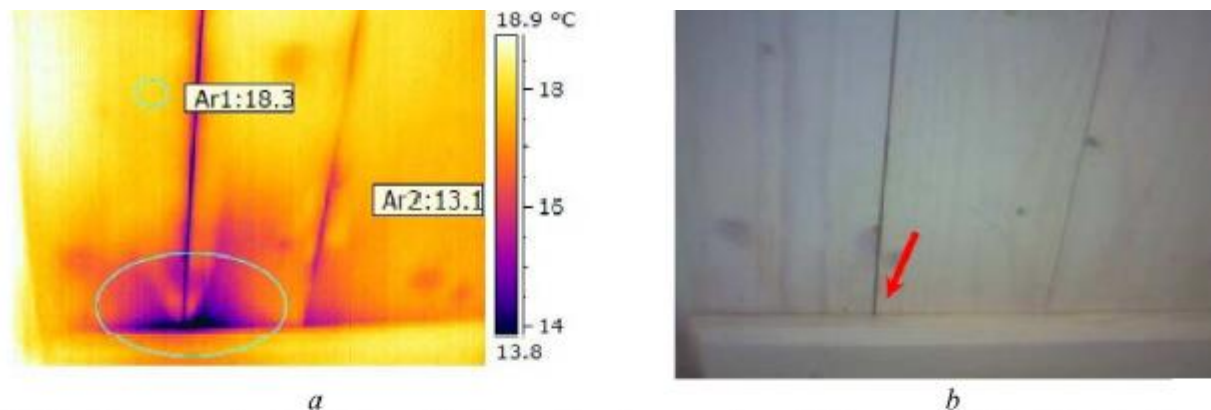


FIG 1. Thermograph (a) and photo (b) from a joint between the wall elements in Geilo Kulturkyrkje. (Photo Omega Termografering AS)

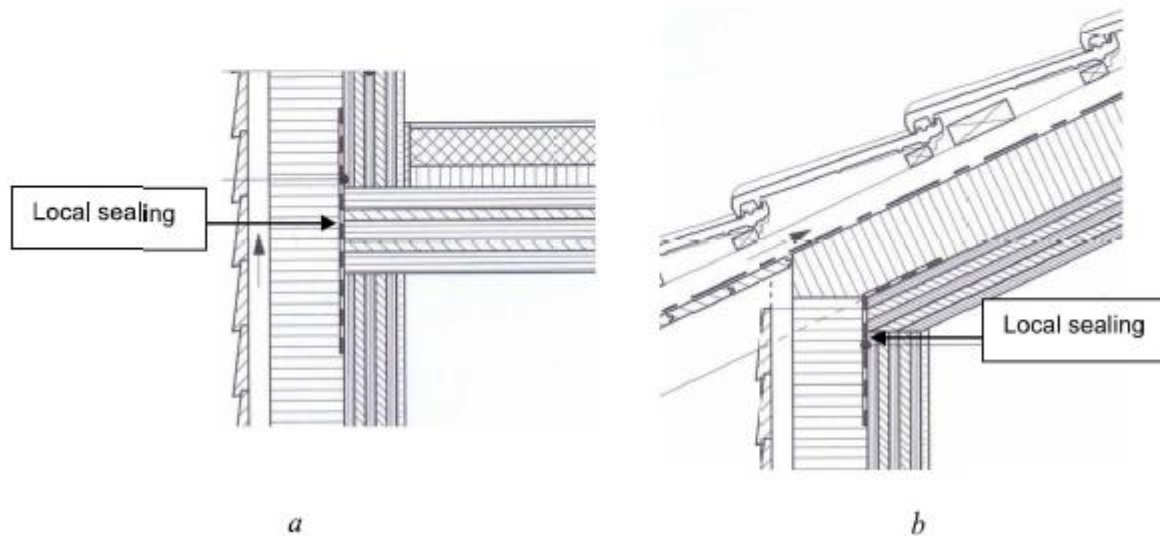
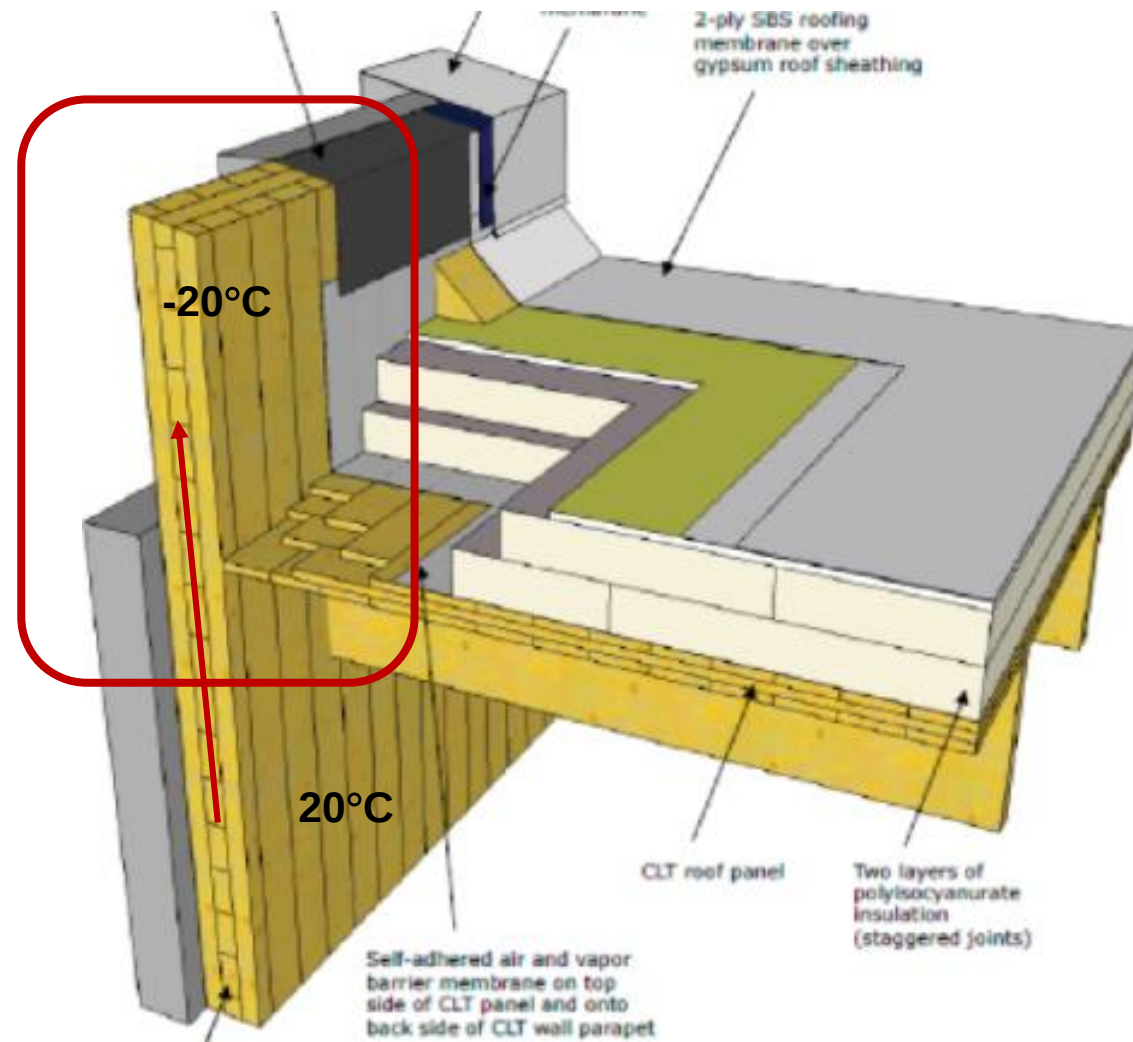
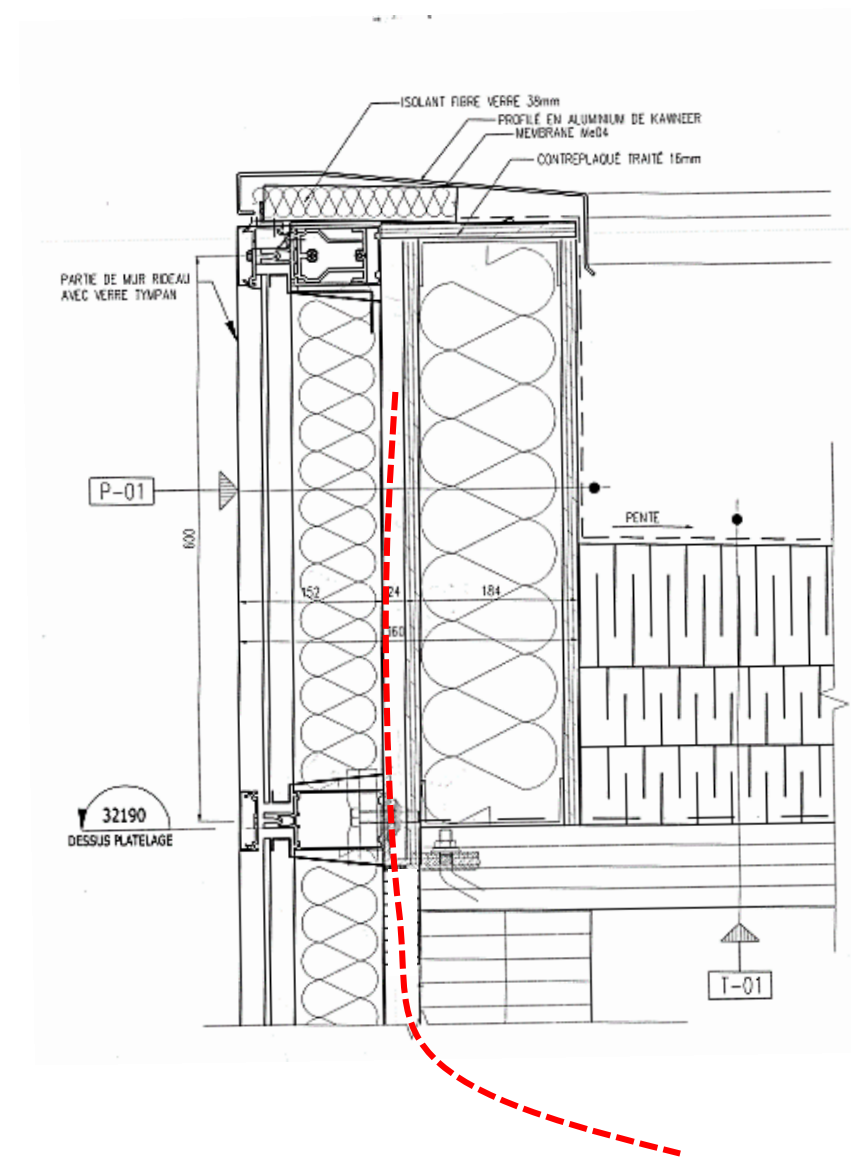
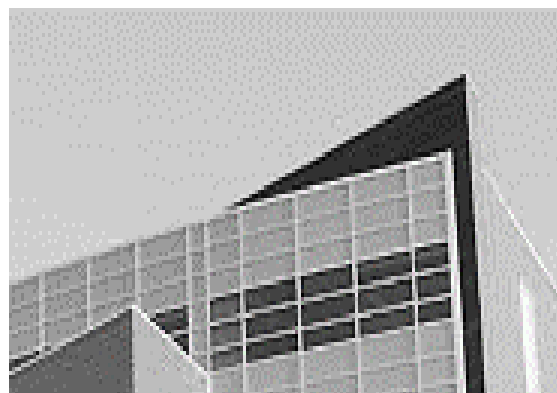


FIG 2. Section of cross laminated timber element to show the structure (Kolb 2008)



Système bois massif

Parapet, étude de cas



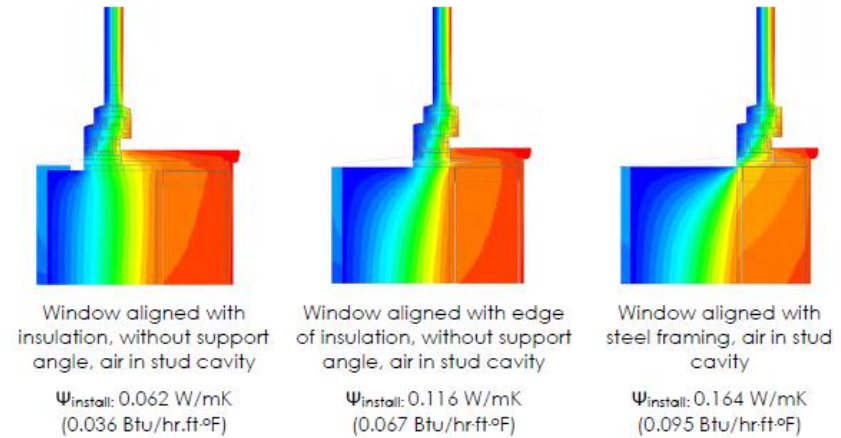
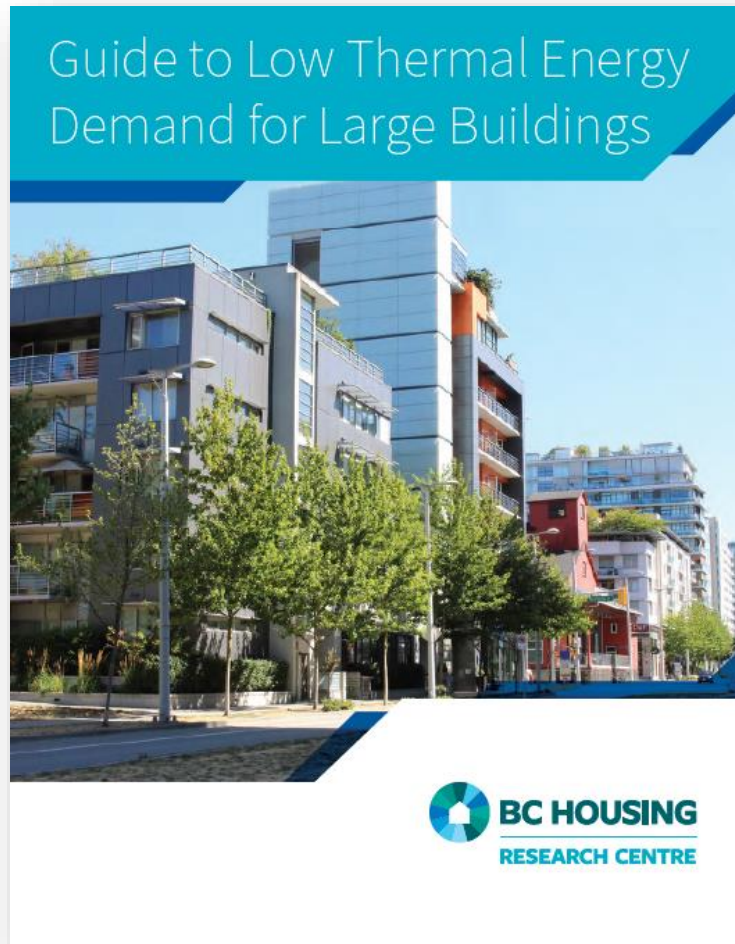
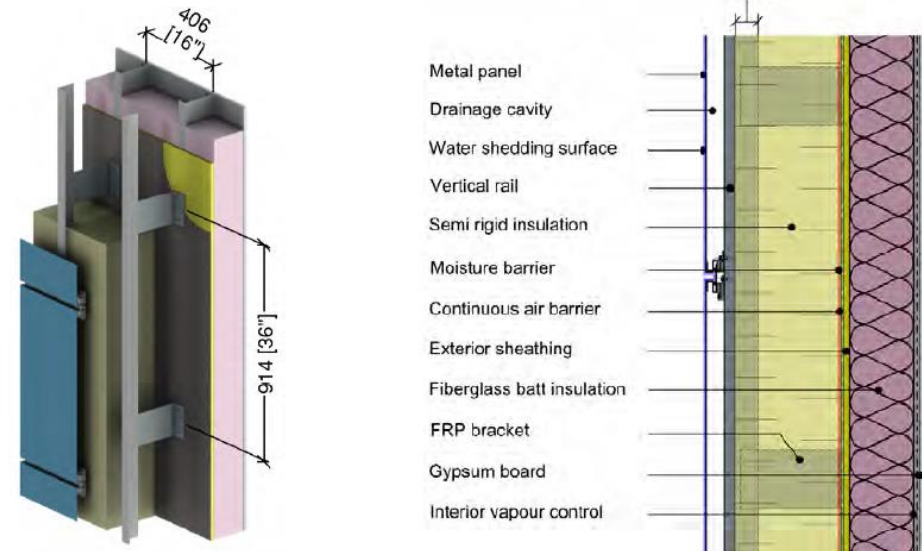


Figure 5.9: Impact of Window Positioning on Linear Transmittance



Two scenarios were evaluated, with and without R-19 fiberglass batt insulation in the stud cavity. The results for the clear field wall assembly are presented in **Table 5.2**.

Source:

Vie en service

Gestion de chantier

Altérations

Bien-être





24 février 20XX
Soleil après bordée de neige -12C

Source: Crédit UL



- .6 Pendant toute la période d'exécution des travaux, protéger le matériel ainsi que les surfaces complètement ou partiellement finies de l'ouvrage.
- .7 Prévoir les écrans, les bâches et les barrières nécessaires.



25 février 20XX
25mm de pluie +3C

Source: Google image

Photo courtesy of Togawa Smith Martin, Inc.



This photo shows how a multi-story wood building can be protected from the elements.



Source: Togawa Smith Martin inc. (Gauche)
trempe architecte (droite)



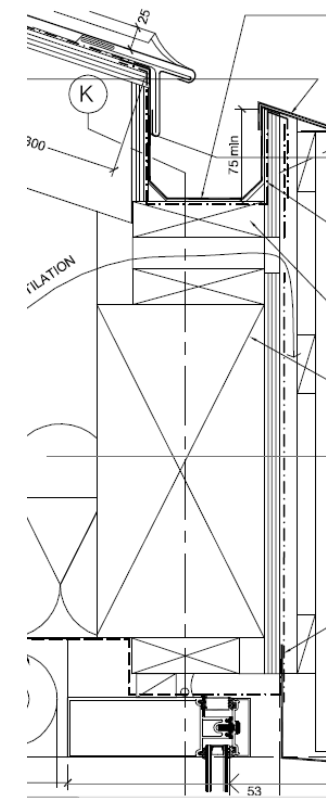
Vie en service

Gestion de chantier

Altérations

Bien-être





Définir la santé et le bâtiment

La santé est un **état de bien-être** qui engage la production et le maintien d'édifices salubres et sécuritaires:

- dont les composantes ne génèrent pas d'inconfort ni d'indisposition
- et qui, au contraire contribuent elles-mêmes au confort et à la bonne disposition



Définir la santé et le bâtiment

Un bâtiment sain est d'abord programmé, conçu et construit pour:

- assurer des conditions saines, sûres et fonctionnelles aux personnes qui y vivent ou y travaillent
- être durable, économique et de haute qualité
- être utilisé et entretenu de manière à garantir la conservation de ses caractéristiques

Construire et planifier pour un développement durable
Dr Suzanne Déoux (2003)



Source: Pavillon Slovaquie – Milan 2015
Photo R.Trempe



BIEN-ÊTRE

Ambiance (physique)

Matérialité, texture, grain,...

Ressenti (psychologique)

Température air ambiant

Température parois

Humidité relative

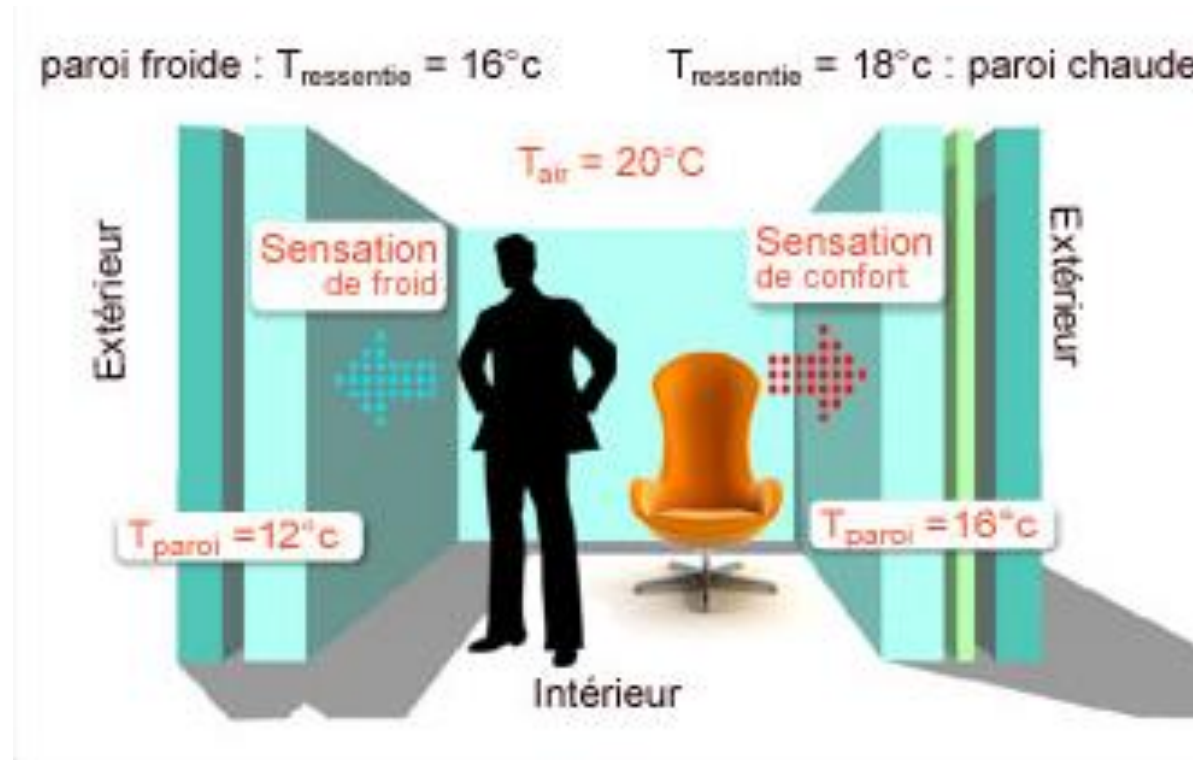
Mouvement de l'air

**Comportement
de l'enveloppe**

Santé (physiologique)

Système nerveux, hormones,...

La Température ambiante + la Température des parois = Température ressentie



Source: <http://www.econologique.fr>

