

Interventions admissibles – Principes directeurs

Catégories et critères d'évaluation des mesures possibles

Catégorie d'évaluation	Critère d'évaluation			
Compatibilité technique	Risques hygrothermiques	Qualité de l'environnement intérieur	Conditions de l'environnement intérieur adaptées à la préservation du contenu du bâtiment	
	Risques structurels		Conditions de l'environnement intérieur adaptées à la préservation de la structure de construction	
	Risques de corrosion		Conditions de l'environnement intérieur adaptées à l'obtention de niveaux de confort élevés pour l'utilisateur	
	Risques de réaction au sel		Émission d'autres substances nocives	
	Risques biologiques		Impact sur l'environnement extérieur	Émissions de gaz à effet de serre, des mesures mises en œuvre et de l'exploitation
	Réversibilité			Émission d'autres substances nocives
Intérêt patrimonial du bâtiment et de son environnement	Risque d'impact matériel, de construction, structurel	Impact sur l'environnement extérieur	Utilisation des ressources naturelles	
	Risque d'impact visuel, architectural, esthétique		Influence sur l'utilisation et sur les utilisateurs du bâtiment	
	Risque d'impact spatial		Conséquences du changement d'utilisation	
Viabilité économique	Coûts des immobilisations	Conditions d'utilisation	Conséquences de l'ajout d'un nouveau local technique	
	Coûts d'exploitation, y compris les coûts d'entretien		Capacité des utilisateurs du bâtiment à gérer et utiliser les systèmes de contrôle	
	Rendement économique		a Conformément à l'EN 15643-2, cela comprend le concept d'énergie grise.	
	Économies financières			
Énergie	Performance énergétique et demande d'énergie opérationnelle en termes de : — consommation énergétique primaire (totale) ; — consommation énergétique primaire (non renouvelable) ; — consommation énergétique primaire (renouvelable).	Conditions d'utilisation		
	Demande d'énergie sur le cycle de vie en termes d'utilisation d'énergie primaire renouvelable et d'énergie primaire non renouvelable ^a			

Interventions admissibles – Priorités

Ordre de priorité fréquemment applicable

1. Production, régulation et distribution de chaleur
2. Isolation de toiture
3. Isolation des dalles contre les sous-sols et le terrain
4. Fenêtres et portes
5. Façades

Cet ordre de priorité est à confirmer au cas par cas selon le projet.

**ISOLATION THERMIQUE
DANS LES BÂTIMENTS
PROTÉGÉS OU SITUÉS
EN ZONE PROTÉGÉE:
MÉTHODOLOGIE
D'INTERVENTION**
FICHE DE BONNES PRATIQUES

Commission des monuments de la nature et des sites
OFFICE DU PATRIMOINE ET DES SITES



CERTIFICAT ÉNERGÉTIQUE CANTONAL DES BÂTIMENTS

Interventions admissibles – Priorités

Priorité 1 : Production, régulation et distribution de chaleur

- Investiguer l'efficacité au niveau de la production de l'énergie.
- Les éléments assurant la production centralisée et la distribution de chaleur ne présentent, sauf exception, pas d'intérêt patrimonial.
- Les accroissements d'efficacité dans la production de chaleur, l'isolation de la distribution et l'optimisation de la régulation (équilibrage des distributions, température de consigne), sont des mesures permettant de réduire fortement les besoins en énergie, ceci avec un impact faible sur la substance ancienne.
- Recours aux énergies renouvelables à examiner.
- Envisager la réduction du périmètre activement chauffé, permettant de s'affranchir des exigences d'isolation thermique (par exemple : cages d'escaliers, surfaces de dégagement)

Interventions admissibles – Priorités

Priorité 2 : Isolation de toiture

- L'isolation des toitures permet le plus souvent d'assurer l'exigence de réversibilité et ne présente généralement pas d'impact visuel notable. On cherchera en général à dépasser les exigences thermiques minimales afin de compenser la performance réduite d'autres éléments moins isolés.
- Pour les toitures inclinées, assurer si possible la conservation de la couverture d'origine doit être assurée (tuiles, ardoise). La pose d'isolation entre et sous chevrons est souvent à privilégier afin de maintenir une surépaisseur en toiture minimale. Un examen détaillé est nécessaire pour définir une stratégie adaptée ; par exemple, la présence d'une sous-couverture bitumineuse commande des précautions particulières.
- Pour les toitures plates, les revêtements d'intérêt patrimonial sont à conserver si leur état le permet.

Interventions admissibles – Priorités

Priorité 3 : Isolation des dalles contre les sous-sols et le terrain

- Ces éléments conduisent à des pertes thermiques plus limitées de par la prise en compte correcte des pertes de chaleur réduites vers le terrain et les locaux non chauffés.
- Une isolation moins importante peut faire sens, sauf en présence de surfaces chauffantes.
- Les revêtements de sol présentent souvent des éléments patrimoniaux à conserver (notamment : carrelages historiques, dallages et parquets), dont le démontage et la repose ne peuvent être entrepris.
- Une ventilation suffisante des locaux non chauffés est à assurer en particulier après la pose d'isolation thermique contre les interfaces chauffées, qui conduit à une baisse de la température et à une augmentation de l'humidité de l'air.

Interventions admissibles – Priorités

Priorité 4 : Fenêtres et portes

- De manière générale, l'adaptation de fenêtres anciennes doit être privilégiée si leur état de conservation le permet.
- Les remplacements et adaptations de fenêtres sont à évaluer en lien avec les risques hygrothermiques incluant une évaluation des possibilités de renouvellement d'air (SIA 180, Art. 3.2). Cette démarche requiert la maîtrise des interfaces entre la perméabilité à l'air de l'enveloppe et une éventuelle ventilation mécanique.
- Les portes historiques représentent un élément patrimonial de premier plan, et une faiblesse importante au niveau de l'isolation et de l'étanchéité à l'air. Il est le souvent recommandé de traiter cette question par une réduction du volume chauffé aux interfaces avec ces portes.

Interventions admissibles – Priorités

Priorité 5 : Façades

- La pose d'une isolation périphérique crépie ou d'une façade ventilée est rarement admissible pour les bâtiments protégés. Elle peut être appropriée pour des éléments mineurs, tels que des annexes ou certaines façades sur cour.
- Les crépis anciens sont à conserver. La pose de crépis isolants, couplée à une isolation intérieure, permet souvent d'atteindre des valeurs U performantes.
- Dans certains cas, une compensation de la performance thermique entre façades peut être prévue.
- Les isolations par l'intérieur sont à évaluer spécifiquement.

Interventions admissibles - Fenêtres

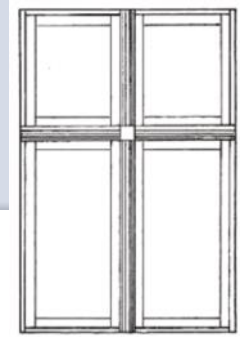
Fenêtres

Les fenêtres anciennes sont des témoins d'une époque : son architecture, ses techniques, son artisanat, ses fonctions.

« La même raison qui a fait comparer à Scamozzi la principale porte de l'édifice avec la **bouche**, lui a fait dire que les fenêtres étaient semblables aux **yeux**, puisque, de même que cet organe, elles reçoivent la **lumière de dehors** et l'introduisent au **dedans**. »

C.-A. Davilier, Cours d'architecture, 1738

« Toute mon architecture est fonction des fenêtres. Fenêtres entièrement adaptées aux **conditions nouvelles** du ciment armé et de la métallurgie, mais réadaptées aussi aux **fonctions humaines**. Les fenêtres sont souci capital, souci de **technicien** et **d'esthéticien**. »
Citée dans *Le Corbusier à Genève 1922-32*



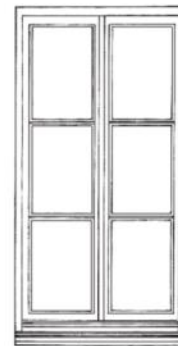
XVIIe siècle

XVIIe siècle



XVIIIe siècle

Fin XVIIIe siècle, début XIXe, grands carreaux



XIXe siècle



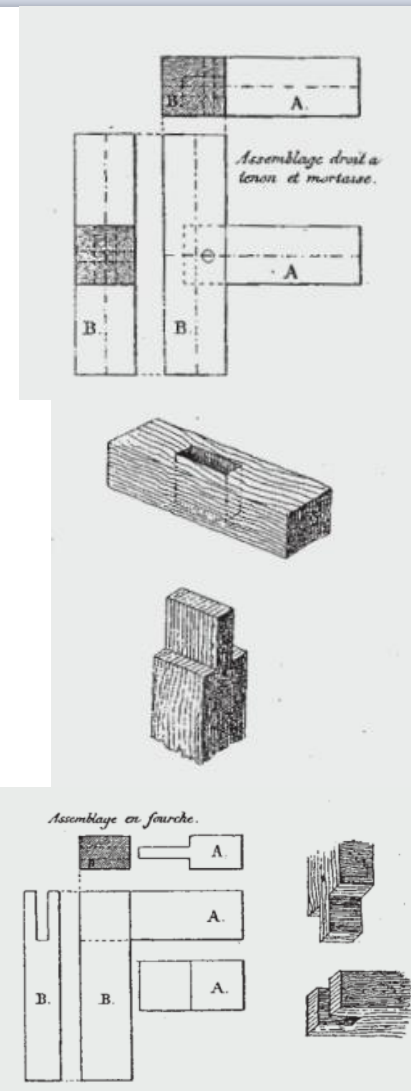
Source : « La fenêtre dans le bâti ancien – Ministère de la Culture – Service départemental de l'Architecture et du Patrimoine du Rhône »



CERTIFICAT ÉNERGÉTIQUE CANTONAL DES BÂTIMENTS

Fenêtres

- Les châssis de fenêtre traditionnels sont réalisés sur mesure et assemblés : ils sont souvent réparables et adaptables
- Pièces fabriquées à la main (jusqu'à la fin du XIX^e siècle), dépositaires d'un artisanat ancien
- Éléments ayant rempli leur fonction jusqu'à aujourd'hui (énergie grise)
- Pour certaines fenêtres : œuvre d'art, détails supplémentaires, exemplaire rare (unique), témoignage d'un courant architectural, valeur vénale intrinsèque



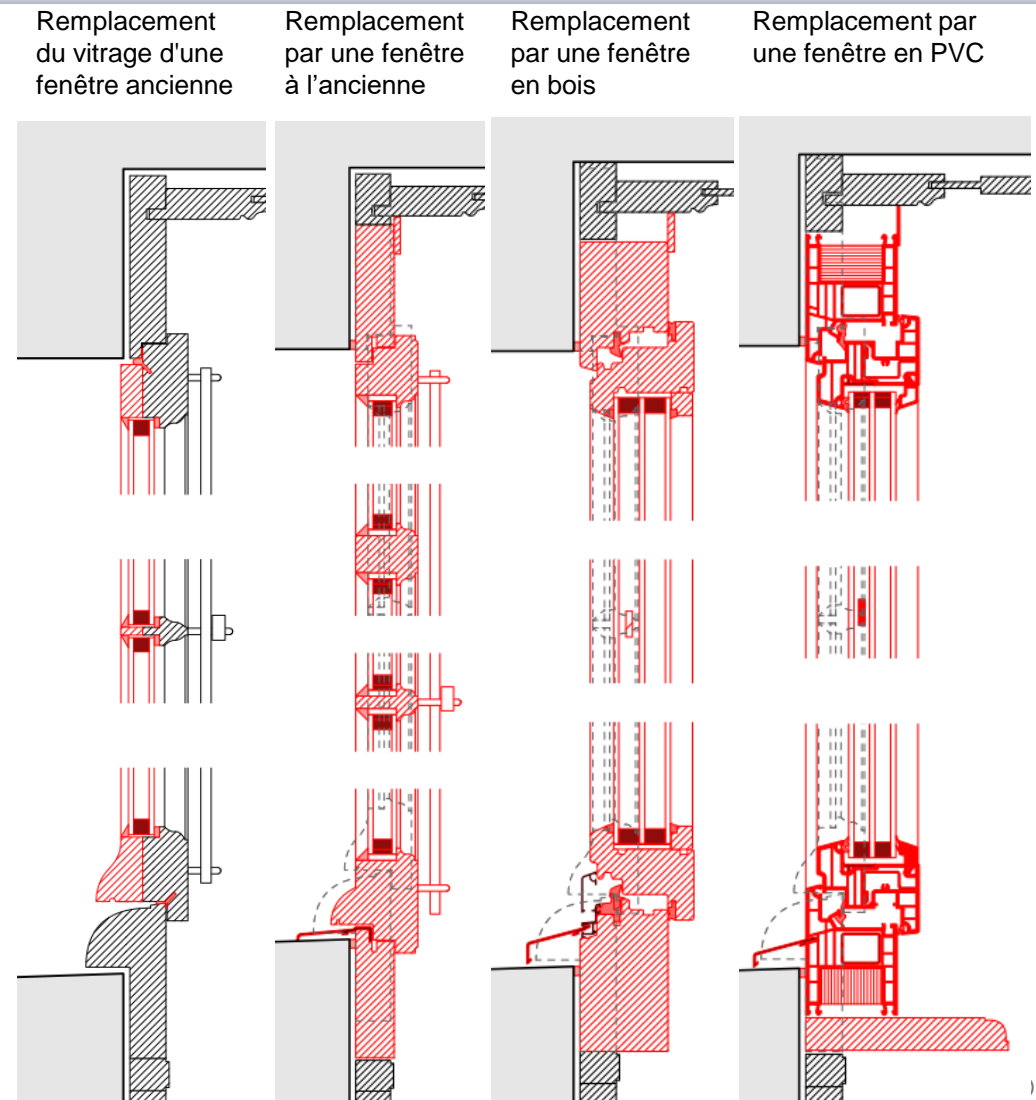
Extrait de : Le châssis de fenêtre en bois, L'art dans la rue, 2008





Fenêtres : Stratégies et critères d'intervention

- **Conservation** de la substance ancienne
- **Réversibilité** de l'intervention
- Maintien de l'**aspect** architectural (matériaux, couleurs, ferrements, épaisseur, transparence) **intérieur et extérieur**
- **Efficacité énergétique** (chaleur, lumière)
- **Confort** (thermique, acoustique)



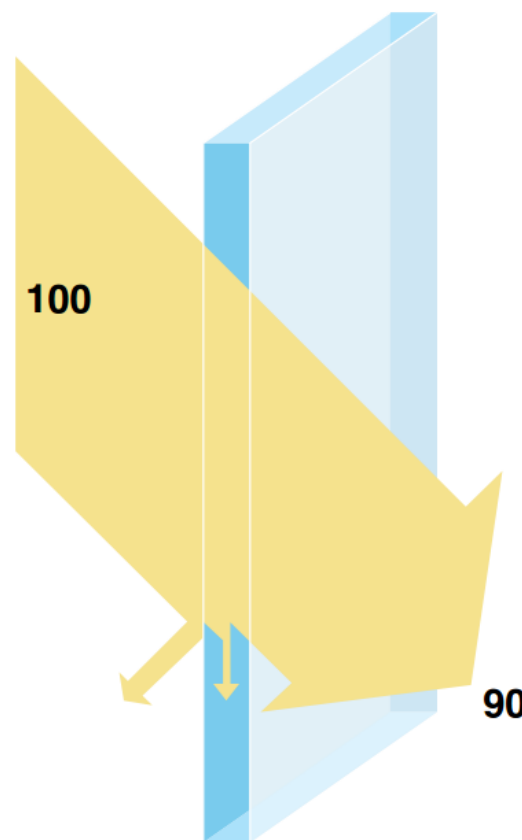
Source : L. Orтели et al, Rehab : Rénovation et réhabilitation des bâtiments d'habitation du XIXe et XXe siècles, EPFL – LCC



CERTIFICAT ÉNERGÉTIQUE CANTONAL DES BÂTIMENTS

Fenêtres : Disponibilité en lumière naturelle

- Valeurs typiques de transmission lumineuse (vitrages propres, sans obstructions)
 - Simple vitrage : 90%
 - Double vitrage : 80%
 - Double vitrage isolant : 75%
 - Triple vitrage isolant : 70%
 - Triple vitrage (g=30%): 40% à 50%
- Disponibilité plus faible en lumière du jour (critique dans les bâtiments anciens)
- Augmentation des besoins en électricité pour l'éclairage



Interventions admissibles - Façades

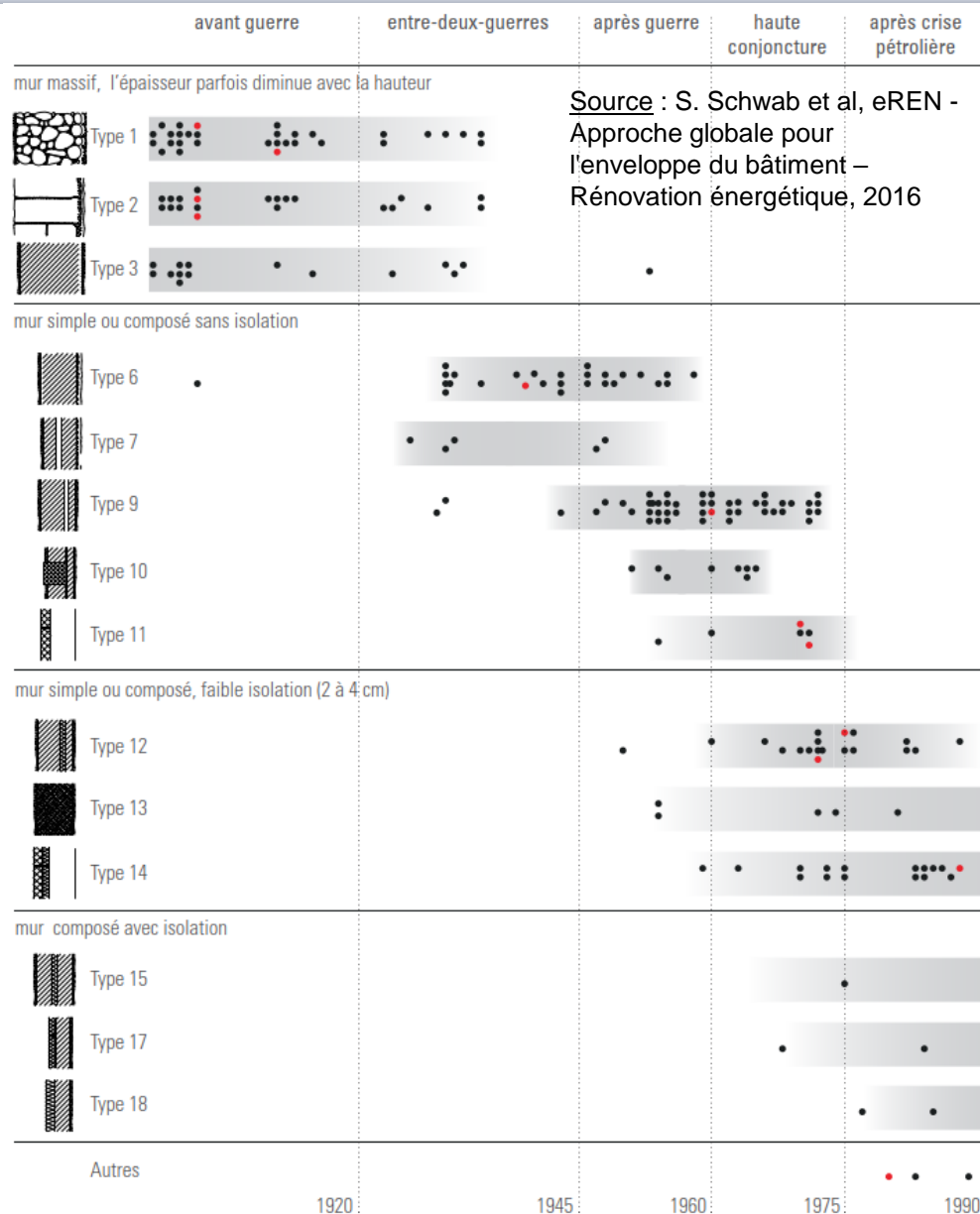


Ancien Moulin de Sissach, avec façade rénoverée au moyen d'un crépi isolant Aérogel

Source : fixit.ch

Interventions admissibles – Façades

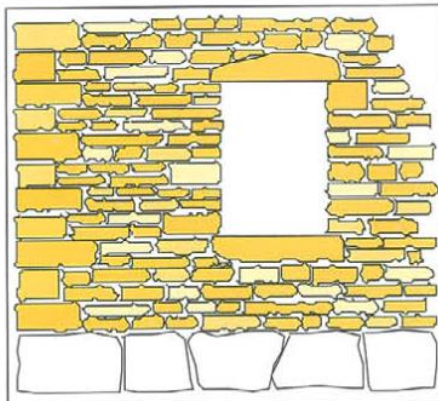
- Si l'aspect extérieur doit être conservé, l'application d'un **crépi isolant** constitue souvent la seule variante d'intervention externe.
- L'aspect des chaînages, corniches, encadrements de fenêtres, socles, bandeaux et accrochages des balcons est généralement à conserver.
- Les **crépis anciens** constituent une substance patrimoniale.
- Le retrait des **crépis ciment** est à considérer selon les cas (diffusion de vapeur).



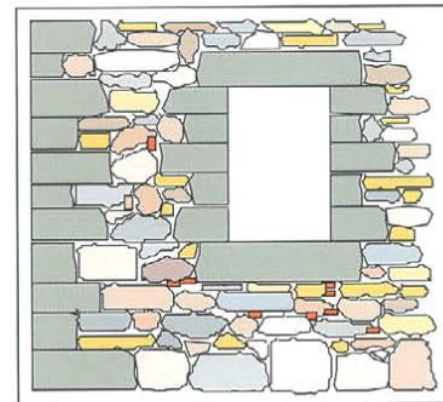
Interventions admissibles – Façades

Questions

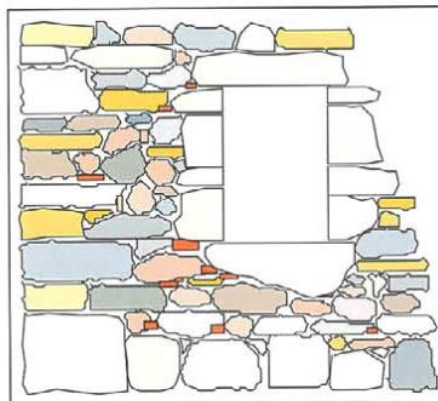
- Pierre de taille ou moellons ?
- Crépi ancien ou adjonction d'un crépi ciment lors d'une intervention précédente ?
- Dégâts au crépi ?
- Protection contre la pluie battante ?
- Remontées capillaires ?
- Présence de sels ?



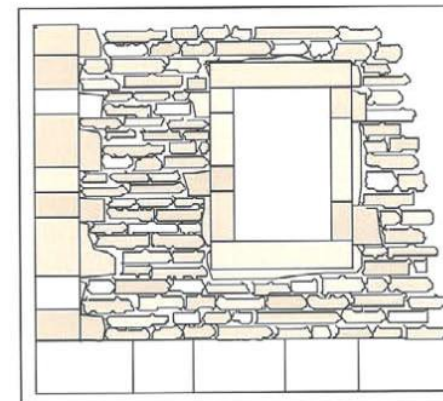
Murs en pierres brutes avec moellons équarris pour les chaînes d'angle et les encadrements.



Murs en pierres tout-venant ou peu taillées avec éléments taillés propres affleurés pour les encadrements et les chaînes d'angle.



Murs en pierres tout-venant ou peu taillées avec éléments taillés bruts pour les encadrements ou les chaînes d'angle.

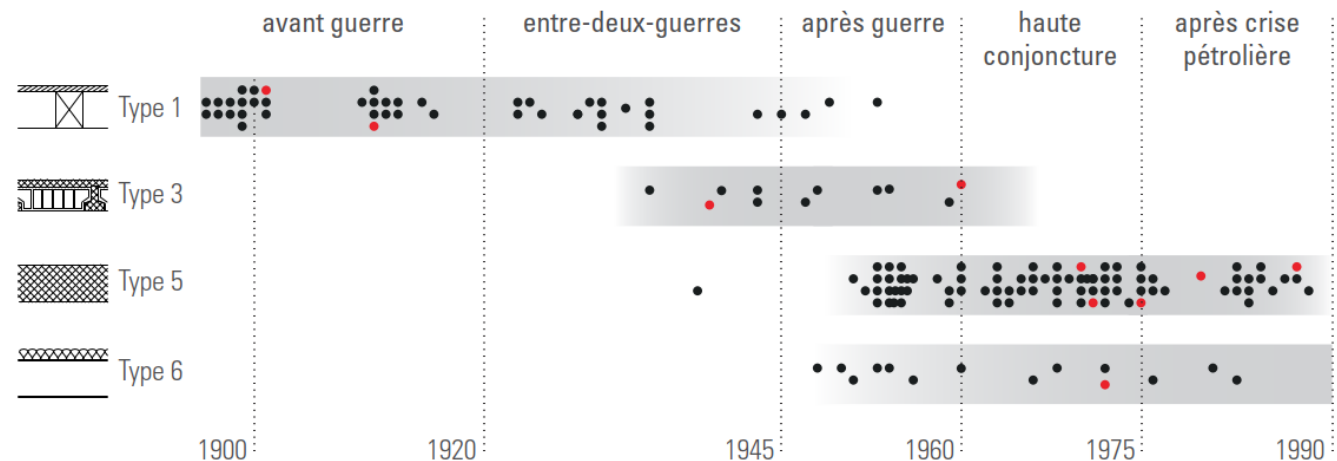


Murs en moellons taillés bruts avec éléments taillés propres saillants pour les encadrements et les chaînes d'angle.

Source : R. Simond, Les crépis anciens

Interventions admissibles – Planchers combles

- L'isolation du plancher de combles non chauffés est en général aisément réversible.
- Tenir compte qu'on rencontre parfois des planchers de combles d'intérêt patrimonial, lesquels doivent être conservés.
- Anticiper les conséquences de la baisse de température dans les locaux non chauffés après application d'une isolation
- L'étanchéité à l'air du plancher est nécessaire.



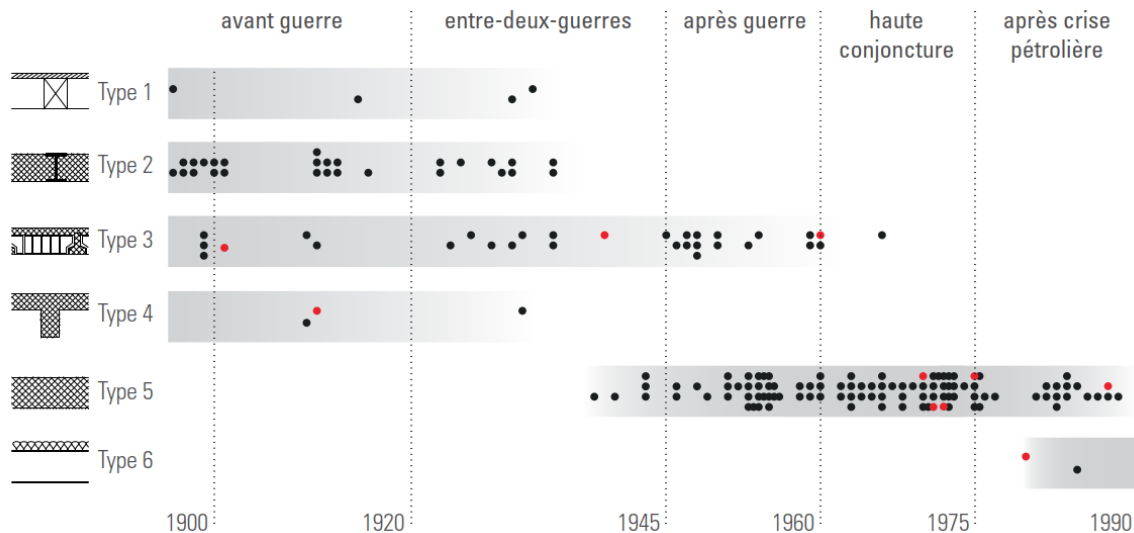
Source : S. Schwab et al, eREN - Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment – Rénovation énergétique, 2016



CERTIFICAT ÉNERGÉTIQUE CANTONAL DES BÂTIMENTS

Interventions admissibles – Planchers sur caves

- Ce type d'élément peut souvent être aisément isolé par le dessous.
- L'isolation thermique des caves voûtées ne constitue généralement pas un procédé admissible.
- Les interventions d'isolation des radiers anciens sont délicates et peuvent favoriser des phénomènes d'ascension capillaire.



Source : S. Schwab et al, eREN - Approche globale pour l'enveloppe du bâtiment – Rénovation énergétique, 2016

Interventions admissibles – Panneaux solaires

- Prendre en considération le degré d'exposition aux vues des constructions environnantes. En conséquence, choisir un pan de toit peu visible.
- Etudier la possibilité de placer les panneaux sur des annexes (garage, appentis, etc.) plutôt que sur le bâtiment principal.
- Sur un toit plat, placer les panneaux en retrait des façades
- Regrouper les éléments, les aligner, généralement, sur le bas de la toiture.
- Respecter les contours du bâtiment, le parallélisme des lignes.
- Composer avec les éléments existants: cheminées, lucarnes, etc.,
- Encastrier les capteurs dans les éléments bâtis favorise une meilleure intégration visuelle.
- Reconduire les matériaux et teintes déjà existants en toiture et ne pas ajouter d'autre couleur que le noir de l'absorbeur.

Interventions admissibles – Panneaux solaires



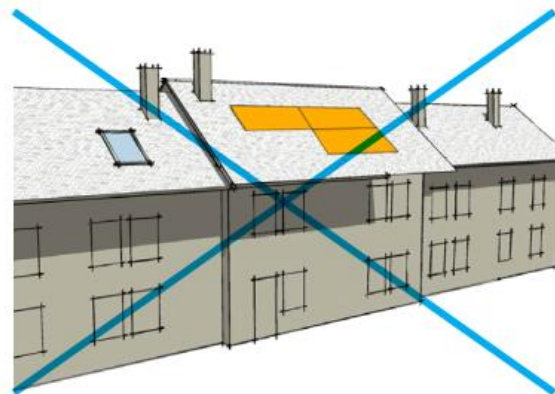
Aligné en bas de toiture



Sur le toit du bâtiment annexe



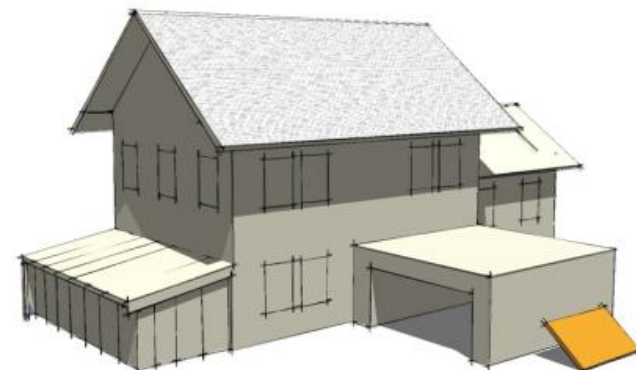
Sur le toit plat d'un garage



Ne respecte la géométrie de la toiture



Sur le toit d'une véranda



Au sol

Source : Fiche de recommandations - Panneaux solaires et préservation des sites bâtis, Service des monuments et des sites, Genève, 2013

6^e partie : Paramètres de calcul particuliers aux bâtiments anciens

Paramètres de calcul - Effet rebond


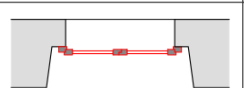
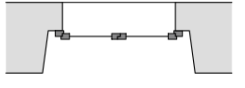
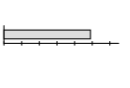
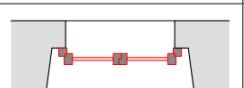
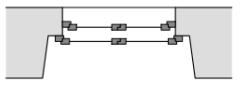

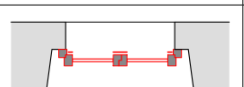

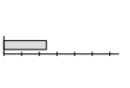

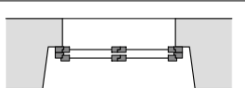
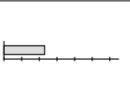


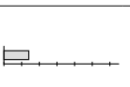


L'effet rebond : entre théorie et pratique

- Une partie des gains calculés d'énergie d'exploitation ne sont pas concrétisés.
- Les calculs théoriques négligent souvent les changements résultants de conditions environnementales.
- Ces modifications ne sont pas prises en compte dans l'outil de calcul CECB-Plus.
- Un assainissement global est à recommander.
- Tenir compte qualitativement de l'effet rebond.

	Avant	Après
Température extérieure	Données météo (hors centre ville)	
Température ambiante	18-21°C	21-25°C
Renouvellement d'air	Moyen	- Infiltration + Aération
Rendement chaudière	Normal	Affaibli (dimension.)
Transmission lumineuse	90%	40%-75%
Consommation d'électricité	Normale	Hausse (éclairage)

Paramètres de calcul - Fenêtres

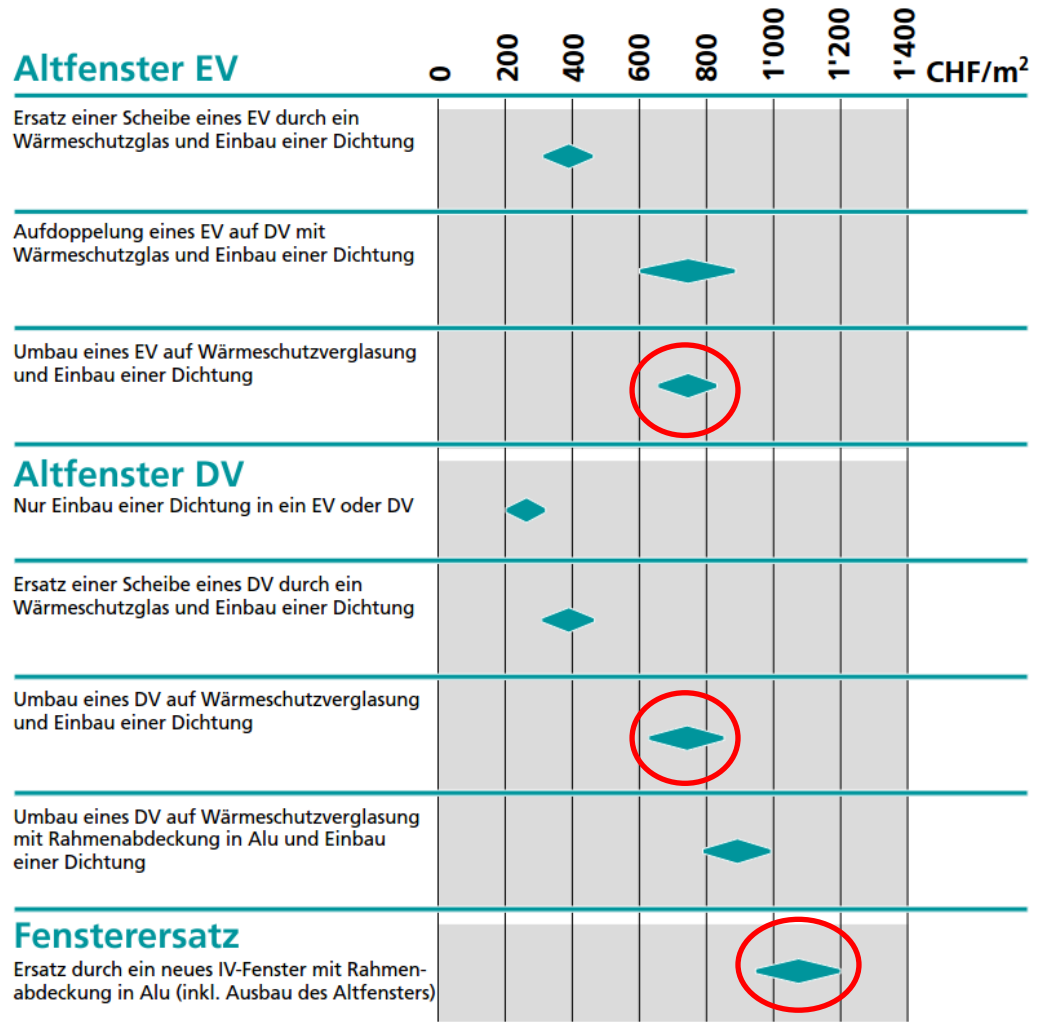
- Les valeurs U des fenêtres anciennes dépendent essentiellement du nombre de pans vitrés, du type de cadre et de la fraction vitrée
- L'étanchéité à l'air est à vérifier au niveau des raccords.

	Désignation		U_w W/m ² K			
Fenêtres anciennes	Fenêtre simple		 4.95	Remplacement de la fenêtre	Fenêtre neuve à l'ancienne	 1.42
	Fenêtre avec contre-fenêtre		 2.31		Fenêtre neuve industrielle en bois	 1.33
	Fenêtre à caisson		 2.42		Fenêtre neuve industrielle en bois-métal	 1.12
	Fenêtre couplée		 2.31		Fenêtre neuve industrielle en PVC	 1.33
	Rénovation de la fenêtre	Remplacement du vitrage			 1.44	Doublage de la fenêtre
					Transformation en fenêtre à caisson	 1.14
					Fenêtre intérieure neuve	 1.13

Source : L. Ortell et al, ReHAB - Rénovation et réhabilitation des bâtiments d'habitation du XIXe et XXe siècles, 2012

Paramètres de calcul - Fenêtres

- L'adaptation des fenêtres anciennes est financièrement compétitive, en l'absence de dégradations graves.
- Les cas particuliers doivent être considérés (poids pour les ferrures, remise en état, etc).
- Tenir compte des besoins particuliers de la protection contre le bruit



Legende: EV = Einfachverglasung, DV = Doppelverglasung, IV = Wärmeschutzverglasung

® ®

Extrait de : Sanierung von einfach- und doppelverglasten Fenstern, Energie 2000

CECB

CERTIFICAT ÉNERGÉTIQUE CANTONAL DES BÂTIMENTS

Paramètres de calcul – Renouvellement d'air

Calcul du débit d'air par infiltration selon la norme SN EN 12831, ch. 7.2.2

$$\dot{V}_{\text{inf}j} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \epsilon_i \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (17)$$

n_{50} : taux horaire de renouvellement d'air (h^{-1}), résultant d'une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, y compris l'effet des entrées d'air

e_i : coefficient d'exposition

ϵ_i : facteur correctif de hauteur, prenant en compte l'augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur de l'espace considéré au-dessus du niveau du sol

Exemple 1 : Villa, $S = 200 \text{ m}^2$, $V = 600 \text{ m}^3$, étanchéité faible, plusieurs murs extérieurs, site non abrité

$$V_{\text{inf}} = 2 \times 600 \times 10 \times 0,05 \times 1 = 600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n = 3,00 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

Exemple 2 : Bâtiment de 10 à 20 m, $S = 5 \times 400 \text{ m}^2$, $V = 6000 \text{ m}^3$, étanchéité moyenne, plusieurs murs extérieurs, site très abrité

$$V_{\text{inf}} = 2 \times 6000 \times 4 \times 0,01 \times 1,3 = 312 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n = 0,31 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

Conclusion : Ce paramètre peut présenter des variations très importantes

Tableau ND.7 Taux de renouvellement d'air n_{50} en fonction du type de construction non rénovée

Type	n_{50} en h^{-1}		
	Degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe		
	élevé	moyen	faible
Villas	4	7	10
Autres constructions	2	4	5

Tableau ND.8 Coefficient d'exposition en fonction du nombre de différentes expositions des murs extérieurs et de la situation de la construction

Classe d'exposition	Local chauffé, pas de mur extérieur	Local chauffé, un mur extérieur sur une seule orientation	Local chauffé, plusieurs murs extérieurs avec différentes orientations
Site non abrité (bâtiments en zone exposée au vent, bâtiments de grande hauteur)	0	0,03	0,05
Site modérément abrité (bâtiments en campagne protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues)	0	0,02	0,03
Site très abrité (bâtiments de taille moyenne en centre ville, bâtiments en région de forêt)	0	0,01	0,02

Tableau ND.9 Facteur correctif ϵ de hauteur du local au-dessus du niveau du sol

Hauteur au-dessus du sol	ϵ
0 m à 10 m	1,0
10 m à 20 m	1,3
20 m à 30 m	1,4
30 m à 40 m	1,6
40 m à 50 m	1,7
50 m à 60 m	1,8
60 m à 80 m	2,0
> 80 m	2,2



Paramètres de calcul - Façades

- Plusieurs bases de données existent pour la conductivité des maçonneries anciennes (reprises dans Lesosai).
- En l'absence d'isolation, le type de pierre a une influence importante sur la valeur U de la construction existante.
- En pratique, l'humidité et les sels absorbés par la pierre ont un impact considérable.

Nom ^Δ	Conductiv...	Mu moy.	Date	Référence	Pays	LC...	
BTC isolante	0,470	5,00	1998	SIA381/1		<input checked="" type="checkbox"/>	
BTC. normale 25	0,350	5,00	1998	SIA381/1		<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcaire dur	1,700	200,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcaire extra dur	2,300	250,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcaire mi-dur	1,400	50,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcaire tendre	1,100	40,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Calcaire, très tendre	0,850	30,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Capo 365 P7 (365,00 mm)	0,075	5,00	2016	Gasser ...	CH		
Capo 365 T6 (365,00 mm)	0,061	5,00	2017	Gasser ...	CH	<input checked="" type="checkbox"/>	
Capo 425 P7 (425,00 mm)	0,072	5,00	2017	Gasser ...	CH	<input checked="" type="checkbox"/>	
Gneiss	3,500	10 000,00	1998	CEN			
Granite	2,800	10 000,00	1998	CEN			
Grès, molasse CEN	2,300	40,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie BN	0,790	12,50	2011	Minergi...		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie BTC	0,790	12,50	2011	Minergi...		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie CEN	0,790	12,50	2013	CEN 2008		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie de moellons 1600 kg/m ³	0,810	17,00	1998	Lesosai		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie de moellons 1800 kg/m ³	1,000	21,00	1998	Lesosai		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie de moellons 2000 kg/m ³	1,300	24,00	1998	Lesosai		<input checked="" type="checkbox"/>	
Maçonnerie de moellons 2000 kg/m ³	1,300	24,00	1998	Project		<input checked="" type="checkbox"/>	
Marbre	3,500	10 000,00	1998	CEN			
Module terre cuite	0,440	5,00	1998	SIA381/1		<input checked="" type="checkbox"/>	
Pierre artificielle	1,300	50,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Pierre ponce naturelle	0,120	8,00	1998	CEN		<input checked="" type="checkbox"/>	
Planelle isolante	0,440	5,00	1998	SIA381/1			
Plot de ciment	1,100	12,50	2011	Minergi...		<input checked="" type="checkbox"/>	
Plot de ciment creux	0,700	12,50	1998	SIA381/1		<input checked="" type="checkbox"/>	
Plot de ciment plein	1,100	12,50	1998	SIA381/1		<input checked="" type="checkbox"/>	
Plot de gypse	0,400	4,30	1998	Lesosai		<input checked="" type="checkbox"/>	
Roche cristalline	3,500	110,00	1998	SIA381/1			
Roche cristalline CEN	3,500	200,00	1998	CEN			
Roche sédimentaire	2,300	24,00	1998	SIA381/1			
Roche sédimentaire CEN	2,300	30,00	1998	CEN			
Roche sédimentaire légère CEN	0,850	30,00	1998	CEN			

Paramètres de calcul - Façades

Cas de la pierre calcaire

- Le calcaire dur est généralement réservé aux soubassements et socles de façades.
- Les parties supérieures des façades en pierre de taille sont le plus souvent en calcaire tendre.
- Une analyse du type de pierre et de son état par un spécialiste fournit les informations requises.

Carrière	Désignation pétrographique	Couleur	Catégorie
PIERRES CALCAIRES			
Villebois (France)	calcaire micritique	brun-jaune à gris	dure
Hauteville, Lompnès (France)	calcaire micritique	beige-jaune à gris	dure
Chassagne (France)	calcaire micritique	gris ou rosé	dure
Comblanchien (France)	calcaire micritique	clair à veinage, rosé, ou brun pâle	dure
Petit granite ou pierre bleue (Belgique)*	calcaire à crinoïdes	gris-noir	dure
Markina ou Ne(g)ro Marquina (Grand Antique de Biscaye, Nord Bilbao) (Espagne)*	biomicrite	noir veiné de blanc	dure
Metz ou Jaumont (France)**	calcaire organogène	jaune	tendre
Euville (France)**	calcaire à entroques	beige rosé	mi-dure
Massangis (France)	calcaire organogène	jaune à gris	mi-dure
Savonnières (France)	calcaire oolitique et coquillier	gris-beige, crème	tendre
Pierre des Estallades (France)	calcaire crayeux	blanc	tendre

Calcaire dur

Calcaire extra dur

Calcaire mi-dur

Calcaire tendre

1,700 200,00 1998 CEN

2,300 250,00 1998 CEN

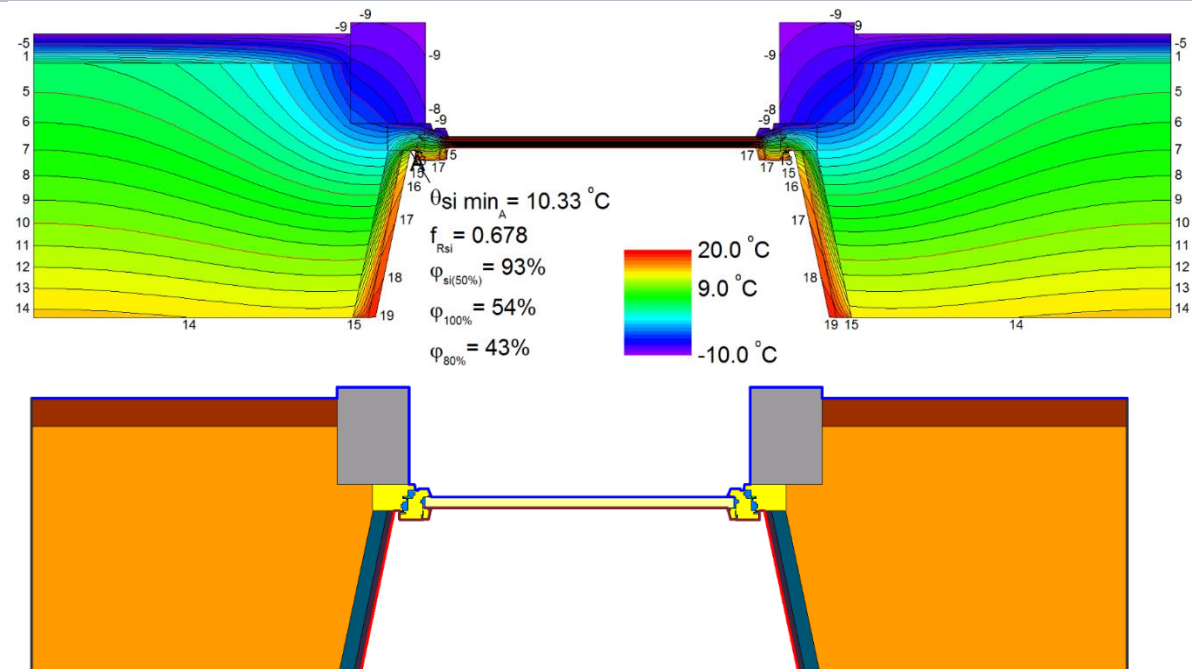
1,400 50,00 1998 CEN

1,100 40,00 1998 CEN



Paramètres de calcul – Ponts thermiques

- Avant rénovation, les ponts thermiques n'ont généralement pas d'impact majeur dans les bâtiments anciens.
- L'application de mesures d'isolation incomplètes peuvent induire des ponts thermiques très importants (p. ex. encadrements en pierre).
- Les nouveaux ponts thermiques sont à entrer manuellement dans l'outil de calcul CECB-Plus.



Matériau	λ [W/(m·K)]	Condition au bord	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]	ε
Bois aggloméré 900 kg/m ³	0.180	Extérieur, standard	-10.000	0.040		
Crépi Hagatherm	0.054	Intérieur, fenêtre/porte	20.000	0.150		
EPDM (Ethylen Propylen Dien Monomer)	0.250	Intérieur, inférieur d'une demi pièce	20.000	0.350		
Flumroc-Dämmplatte 1	0.036	Symétrie/Section composant	0.000			
Maske	0.035					
Maçonnerie de moellons	0.870					
Molasse	2.300					
Rein-Silicon (1)	0.350					
Unbelüftete Hohlräume, Eps=0.9	Eps=0.9/0.9					
Weich-Holz (typisches Bauholz)	0.130					

Pour ce cas particulier :
 $\psi = 0.6 \text{ W/m.K}$

7^e partie : Risques liés à la physique du bâtiment

Risques liés aux remplacements de fenêtres

Un changement de fenêtres peut perturber le bâtiment !

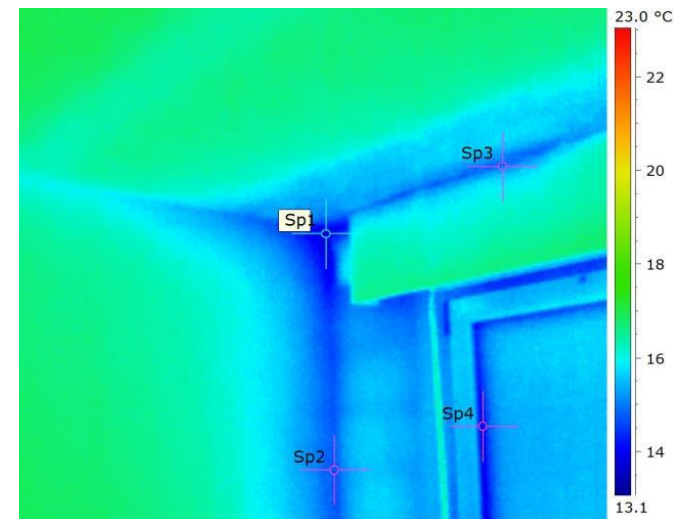
- Meilleure **étanchéité à l'air**
- Diminution de l'**infiltration**
- Baisse de la **qualité de l'air**
- Hausse de l'**humidité de l'air**
- La vitre n'est plus la surface de condensation principale
- Humidité accrue en surface des éléments de construction, propice à la croissance de moisissures
- Humidité accrue dans les éléments de construction
- Baisse locale de la température en surface en cas de pose inappropriée
- **Après rénovation, l'hygiène de l'air intérieur repose davantage sur l'occupant !**

	Valeur limite	
	ventilation naturelle $q_{a50,li}$ $m^3/(h \cdot m^2)$	ventilation mécanique $q_{a50,li}$ $m^3/(h \cdot m^2)$
Bâtiments neufs	2,4	1,6
Bâtiments rénovés ou transformés	3,6	2,4

Risques liés aux remplacements de fenêtres

Précautions et remèdes

- Considérer l'**isolation thermique des éléments adjacents** (surtout, mais pas seulement, l'embrasure)
- Concept de **renouvellement d'air** (obligatoire selon SIA 180, éd. 2014)
- Considérer la **ventilation mécanique** et des **prises d'air** hygroréglables
- Informer les occupants de la bonne **stratégie de ventilation naturelle** : il suffit généralement d'aérer 2 à 3 fois par jour

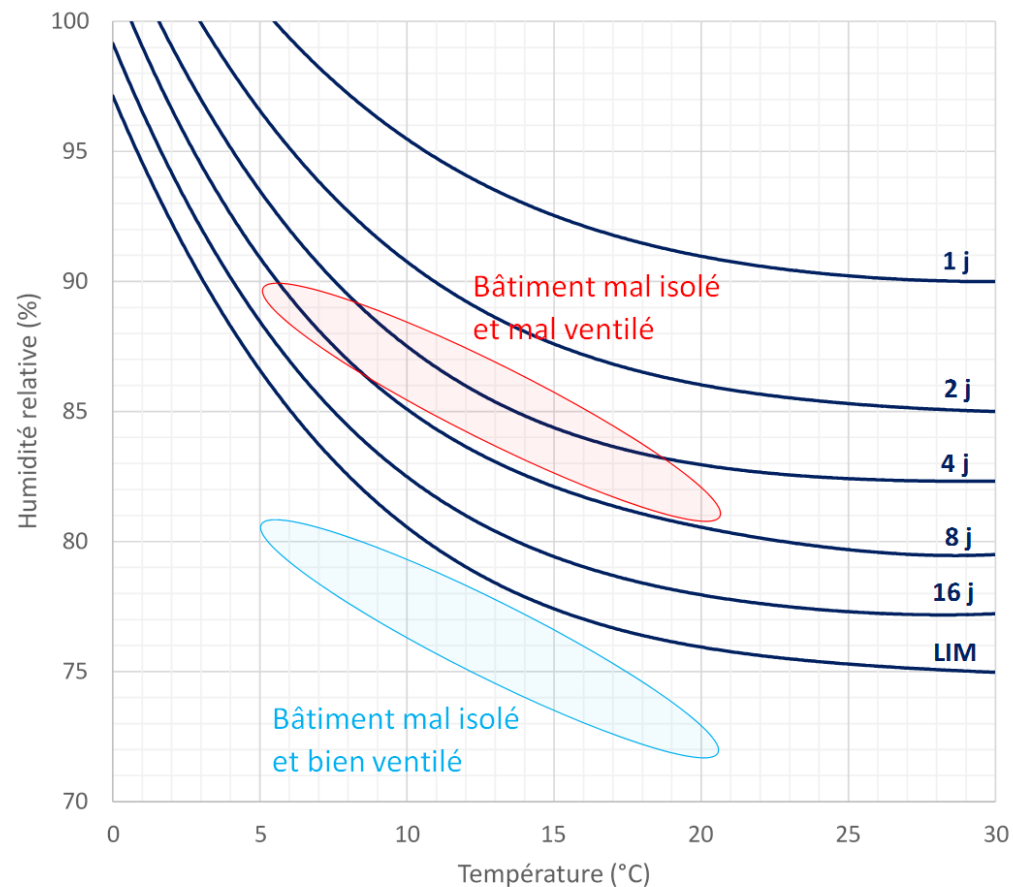


Risques liés aux remplacements de fenêtres

Croissance de moisissures

- Les moisissures se développent à partir d'une **humidité relative locale en surface** de 75% (zones chaudes), typiquement 80% sur l'enveloppe
- Risques spéciaux : angles, arrière de meubles, armoires murales
- Cas typiques :
 - Mal isolé, bien ventilé: paroi froide et sèche (**bâtiments anciens**)
 - Mal isolé, mal ventilé: paroi froide et humide (**bâtiments anciens mal rénovés**)

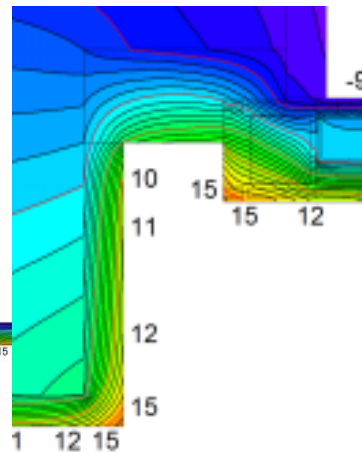
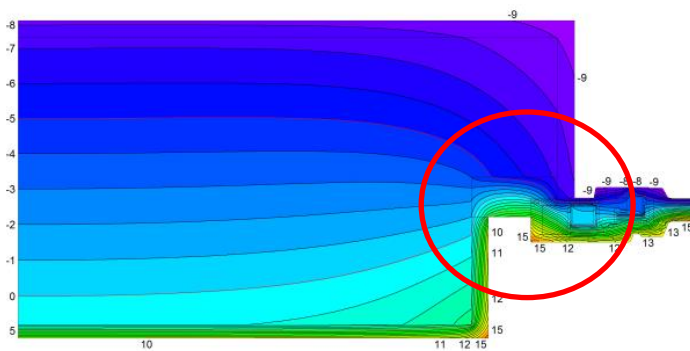
Durée nécessaire à la germination de moisissures



Risques liés aux remplacements de fenêtres

Détails de construction

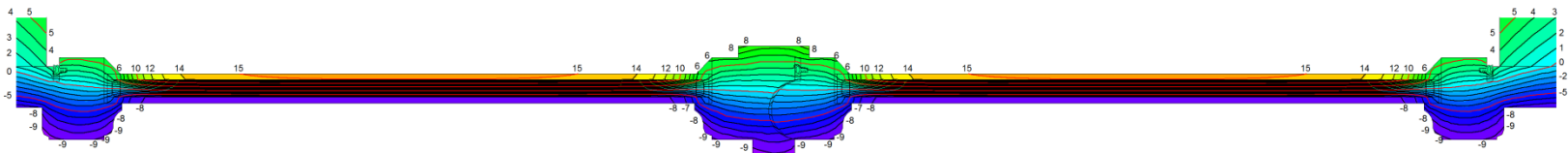
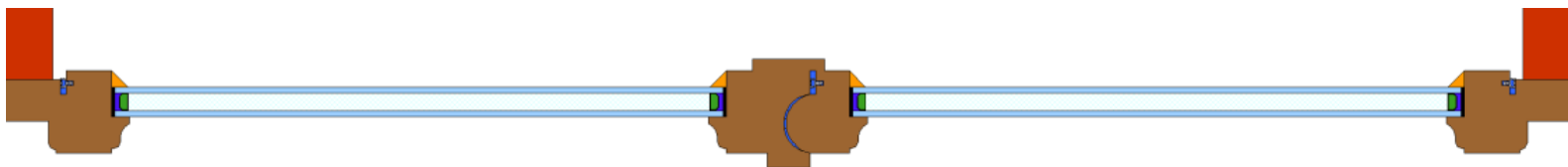
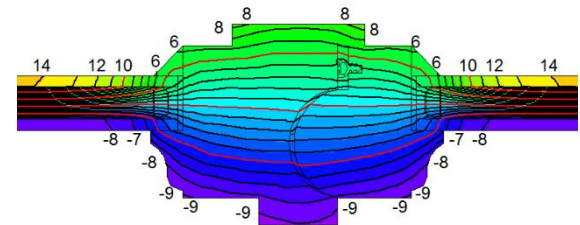
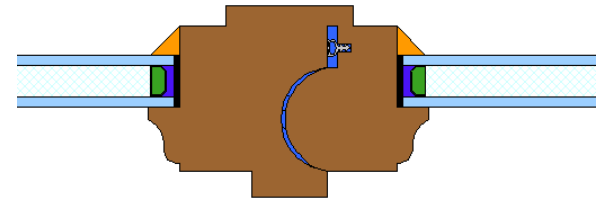
- La conformité à la norme SIA 380/1 (et à la loi sur l'énergie) ne garantit pas la conformité à la norme SIA 180 (protection contre l'humidité)
- Les « cadres de rénovation » peuvent être risqués au niveau des raccords.
- Possibilité de développement de dégâts cachés



Risques liés aux remplacements de fenêtres

Détails de construction

- La conformité à la norme SIA 180 (protection contre l'humidité) des éléments restaurés doit être garantie et peut être vérifiée par calcul.
- Il est pertinent d'émettre des réserves de ce type dans un rapport de conseil.



Risques liés aux remplacements de fenêtres

Questions liées à l'isolement phonique

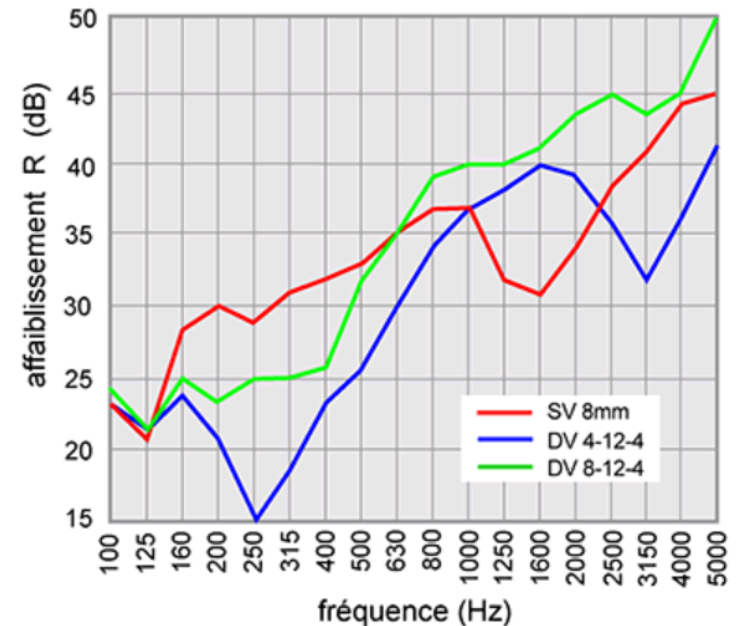
- **Double vitrage plus performant qu'un simple ?**
- A épaisseur égale, un simple vitrage peut être plus performant qu'un double

Considération valable pour le vitrage uniquement

- **En règle générale : Une rénovation amène une amélioration de l'isolation phonique**
- **La performance de la fenêtre dépend de ses différentes composantes** (vitrage, cadre, détail raccord, etc.)
- Remplacement du cadre permet une nouvelle étanchéité à l'air entre dormant et maçonnerie
- Assainissement des caissons de stores (isolation, étanchéité à l'air)

L'élément le plus faible détermine l'isolation globale : Evaluer l'impact des faiblesses (cadres, croisillons, etc)

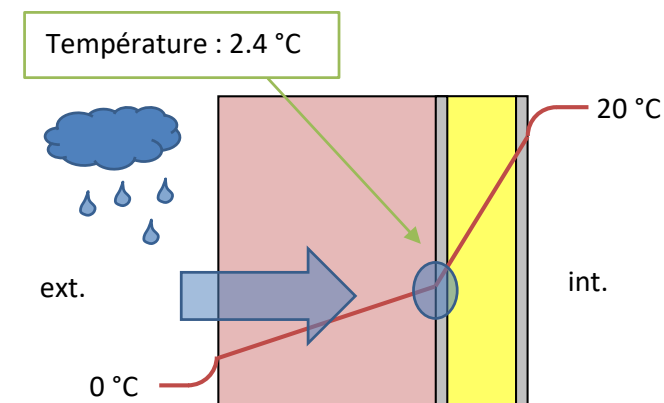
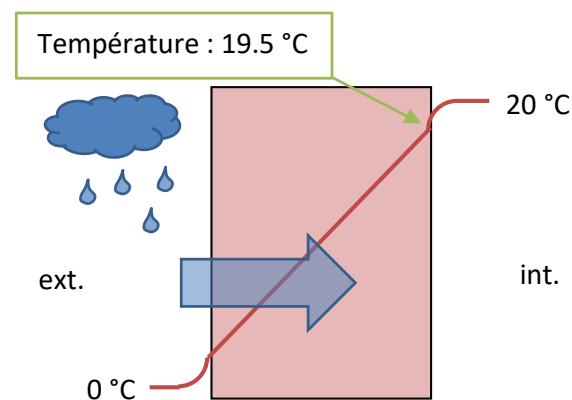
Basses fréquences ← Moyennes et hautes fréquences →
Son grave Son aigu



Risques à considérer pour l'isolation intérieure

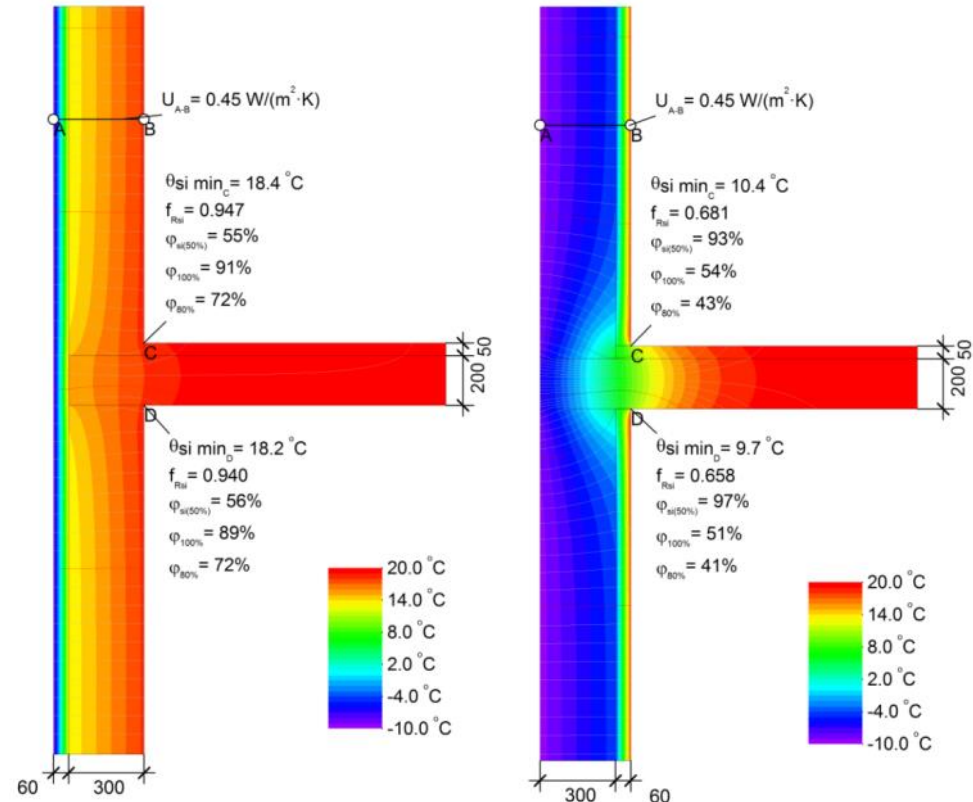
Risques à considérer pour l'isolation intérieure

- Basses températures derrière la couche d'isolation : risque de **condensation**, avec amplification du risque de dégâts avec l'épaisseur du calorifuge
- Changement sensible du **potentiel de séchage** de la construction (suivant le concept, passage vers l'intérieur fermé)
- La **régulation du taux d'humidité par les murs** peut être empêchée ou diminuée, rôle central de l'**aération** du bâtiment après la rénovation
- Dégâts possibles : moisissures, condensation, dommages causés par le gel et la corrosion
- **Dans tous les cas, une isolation intérieure est à dimensionner soigneusement**



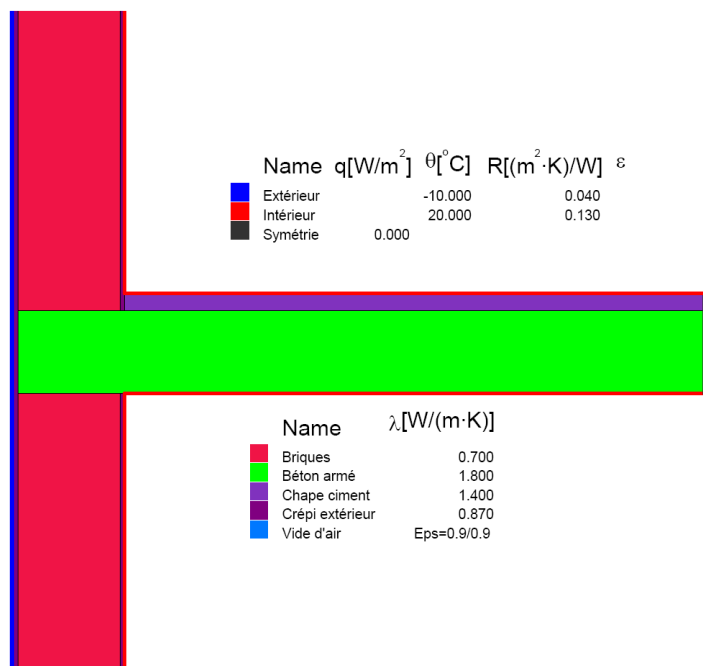
Risques à considérer pour l'isolation intérieure

- Effet de l'isolation réduit par les **ponts thermiques**
- Utilisation diminuée de l'inertie thermique des murs: **risque de surchauffe** (notamment en présence de grands vitrages)
- **Exécution critique** et résolution des **détails de construction**
- Peu d'**expérience sur le long terme** avec les épaisseurs requises d'isolation, qui n'ont jamais été aussi élevées
- Les ponts thermiques sont à entrer manuellement dans le moteur de calcul



Risques à considérer pour l'isolation intérieure

Cas d'étude : pont thermique issu d'une dalle en béton Situation initiale



Matérialisation

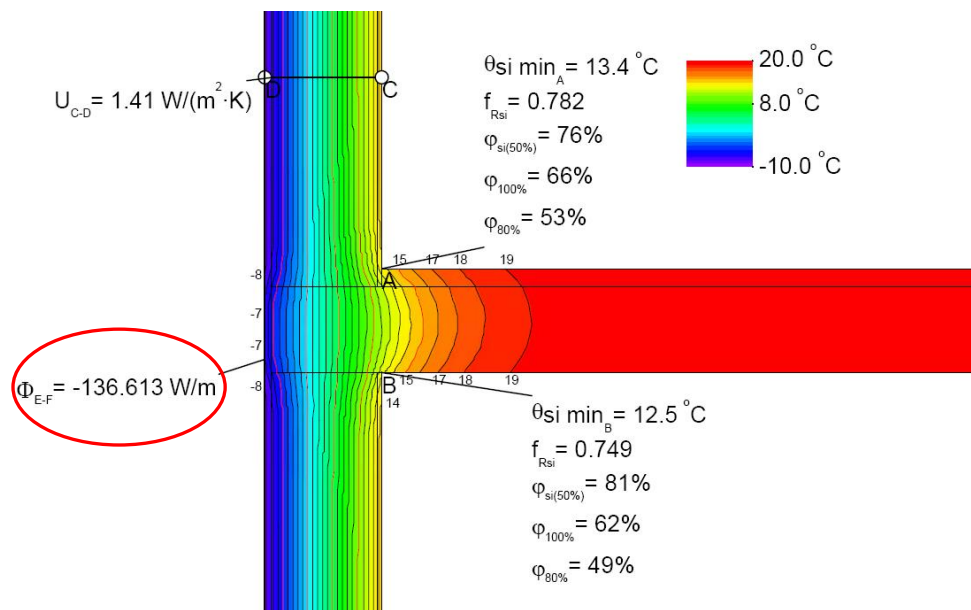
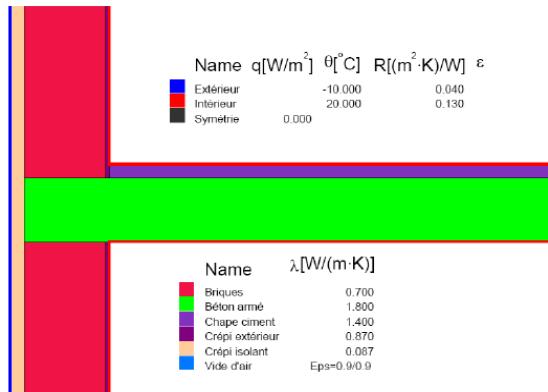


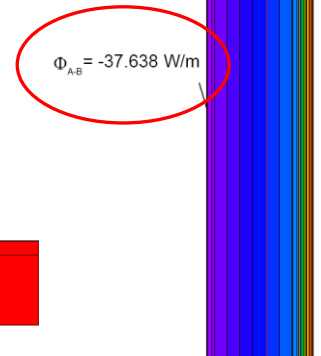
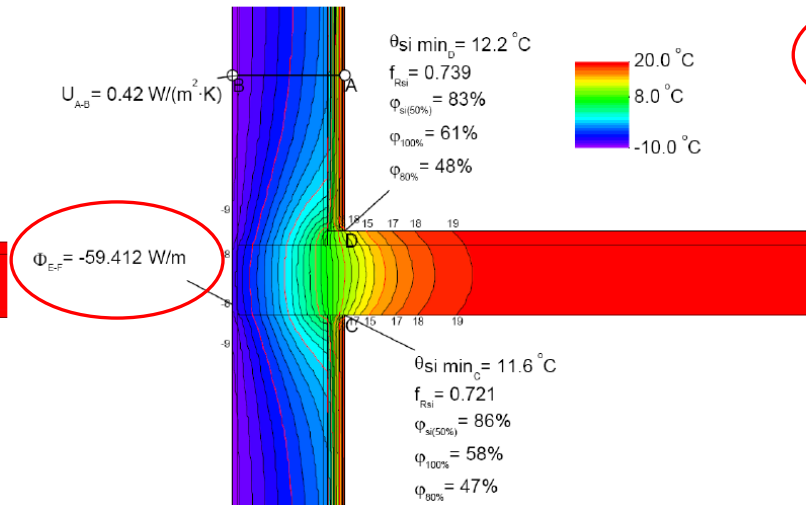
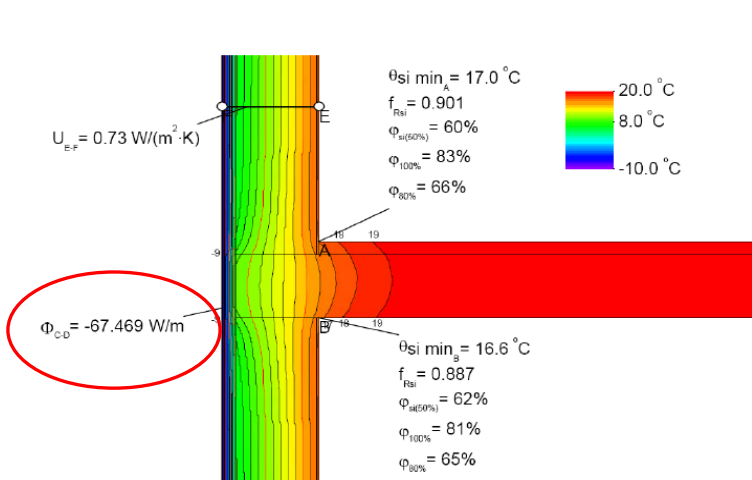
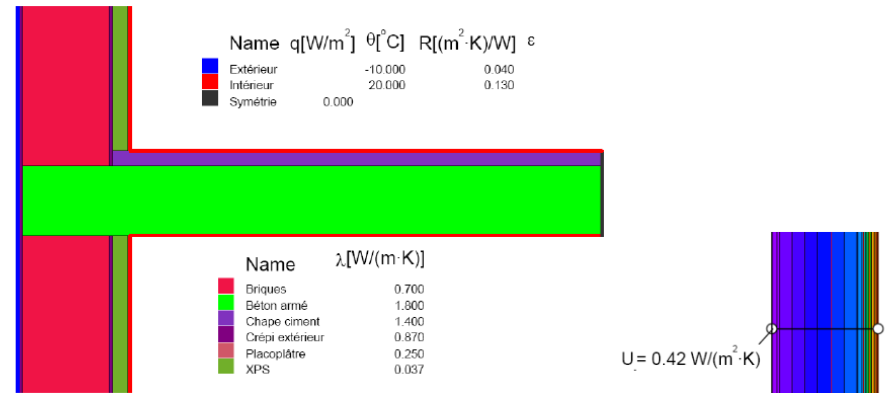
Image isothermique

Risques à considérer pour l'isolation intérieure

Crépi isolant extérieur

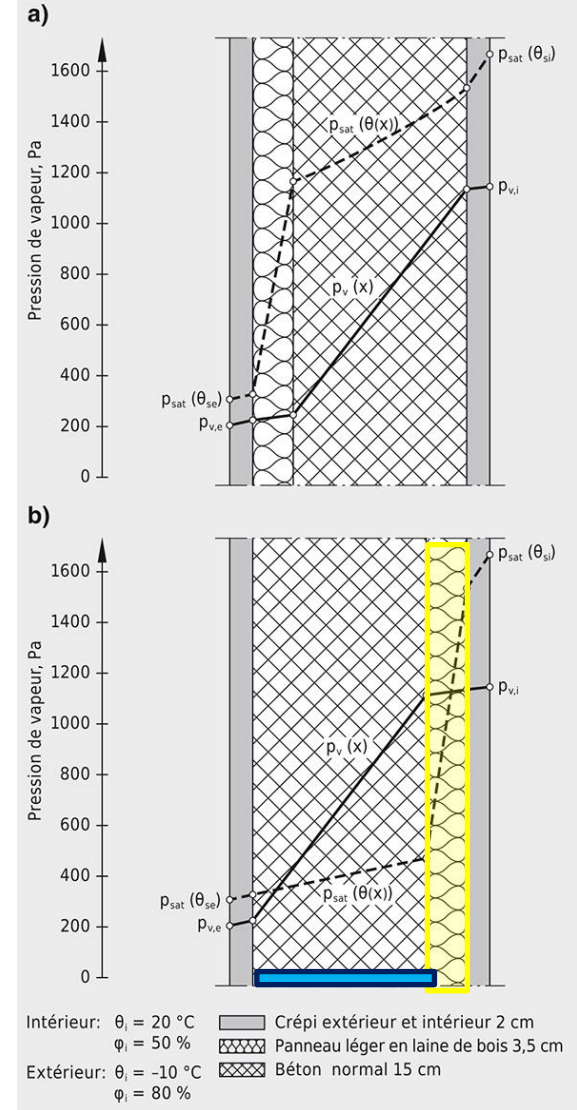
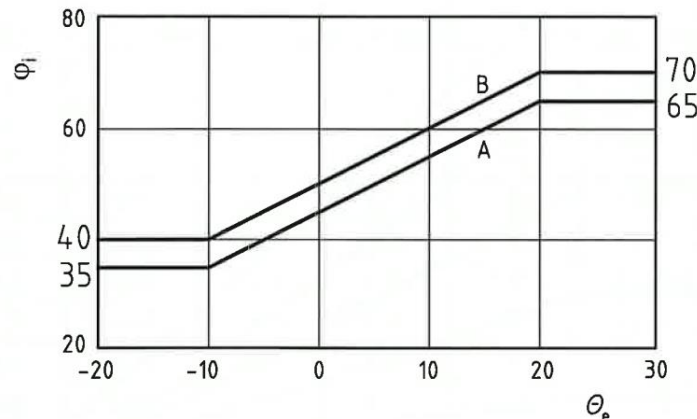


Isolation du côté intérieur



Risques à considérer pour l'isolation intérieure

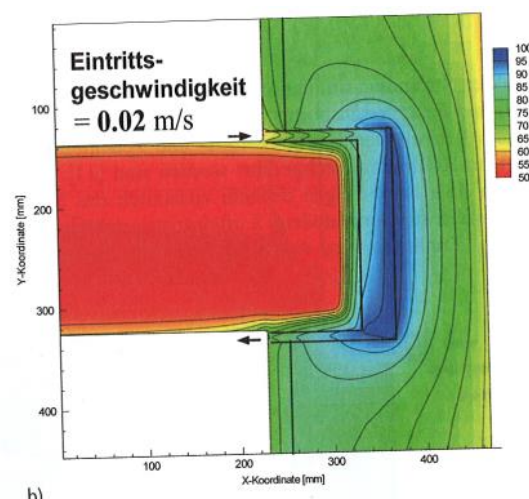
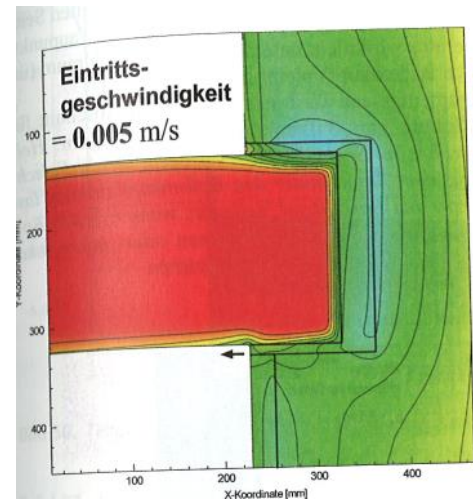
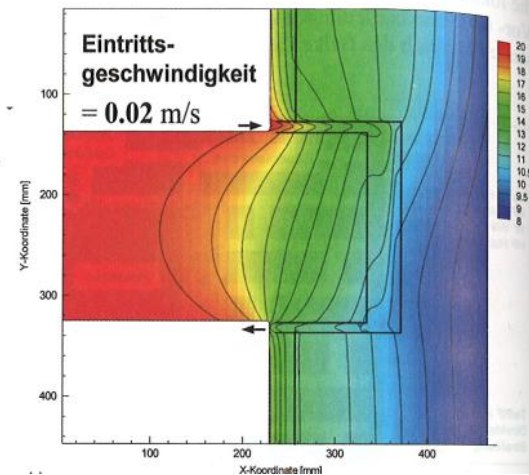
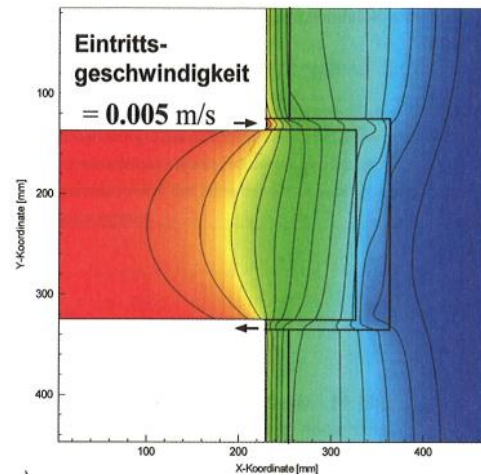
- Procédé standard : calcul statique selon la méthode de Glaser avec des hypothèses sur l'humidité intérieure (SN EN 13788).
- Ce calcul ignore les processus suivants :
 - Processus dynamiques
 - Transport capillaire à travers la construction
 - Variation de la conductivité avec l'humidité
 - Phénomènes de convection
 - Infiltration par pluie battante
 - Rayonnement solaire
- Une simulation hygrothermique considère ces phénomènes.



Risques à considérer pour l'isolation intérieure

Étanchéité à l'air des raccords aux têtes de poutres

- L'étanchéité à l'air doit être assurée des quatre côtés, généralement au moyen de bandes conçues pour cet usage.

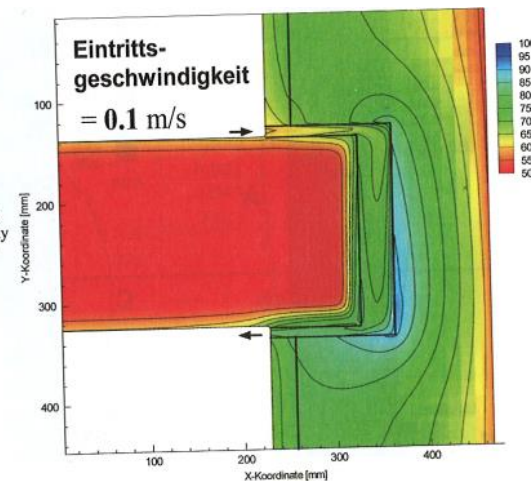
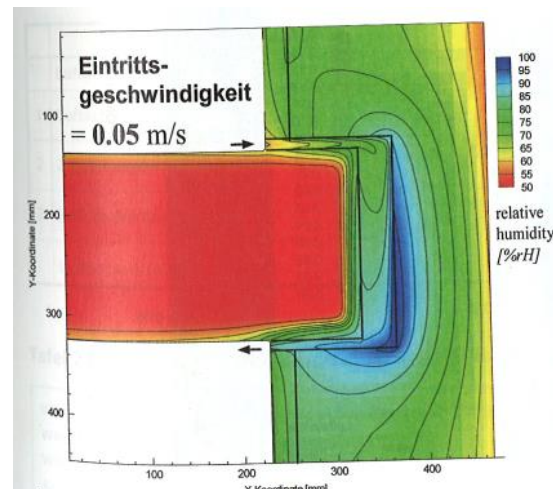
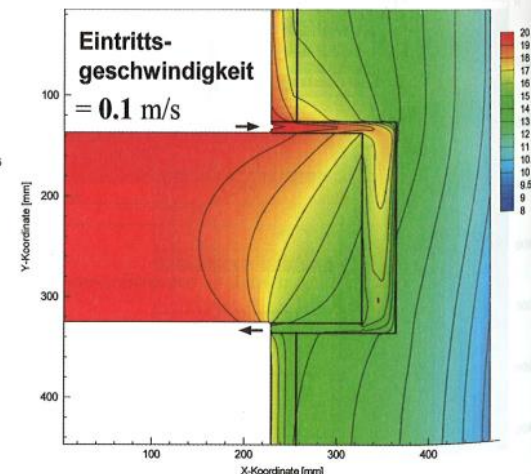
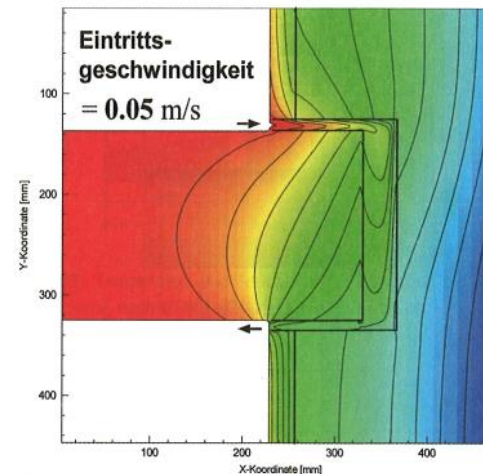


Source : P. Häupl, Innendämmung von Aussenbauteilen, Bauphysik-Kalender 2010

Risques à considérer pour l'isolation intérieure

Étanchéité à l'air des raccords aux têtes de poutres

- En cas d'inétanchéité à l'air, l'humidité relative augmente pour atteindre un maximum entre 0,02 et 0,05 m/s de vitesse d'air, puis décroît pour des valeurs supérieures.
- En conséquence, le comportement hygrothermique est largement imprévisible et toute entrée d'air doit être empêchée.



Source : P. Häupl, Innendämmung von Aussenbauteilen, Bauphysik-Kalender 2010

8^e partie : Cas d'étude de CECB-Plus

Cas d'étude de CECB-Plus

Textes standardisés de l'outil CECB

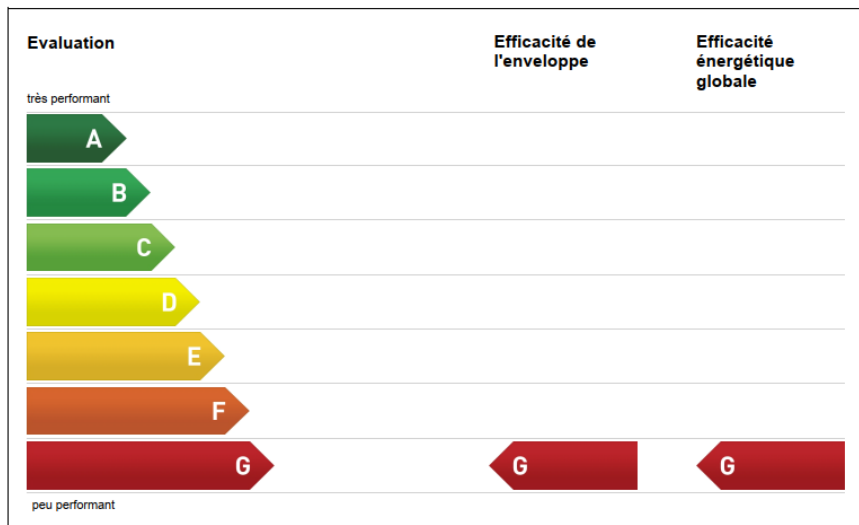
- Les parois extérieures présentent une mauvaise isolation thermique. Une façade compacte ou ventilée par l'arrière y remédierait. Lors d'échange simultané et nécessaire des fenêtres, une bonne isolation des embrasures et des caissons de stores est à respecter.
- Les isolations intérieures sont avantageuses, mais peuvent occasionner des problèmes au niveau de la physique du bâtiment. C'est pourquoi cette solution devra recevoir l'aval d'un expert.
- Il faudrait examiner l'opportunité d'une modernisation selon MINERGIE®.

Les textes standardisés proposés par l'outil CECB sont à adapter aux possibilités de rénovation du bâtiment concerné !

Cas d'étude de CECB-Plus

Immeuble à Cologny (GE)

- Construction : env. 1790
- Affectations : Habitat individuel et restaurant
- SRE : 175 m²



Cas d'étude de CECB-Plus



Cas d'étude de CECB-Plus



Cas d'étude de CECB-Plus

Variantes retenues

- Isolation de la toiture
- Isolation du plancher du rez-de-chaussée
- Isolation intérieure partielle de la façade ($U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Réfection des fenêtres d'hiver / Adaptation des fenêtres

Variantes rejetées

- Isolation périphérique de la façade
- Crépi isolant
- Remplacement des fenêtres
- Remplacement de la production de chaleur
- Installation de panneaux solaires

Evaluation

très performant



peu performant

Efficacité de l'enveloppe

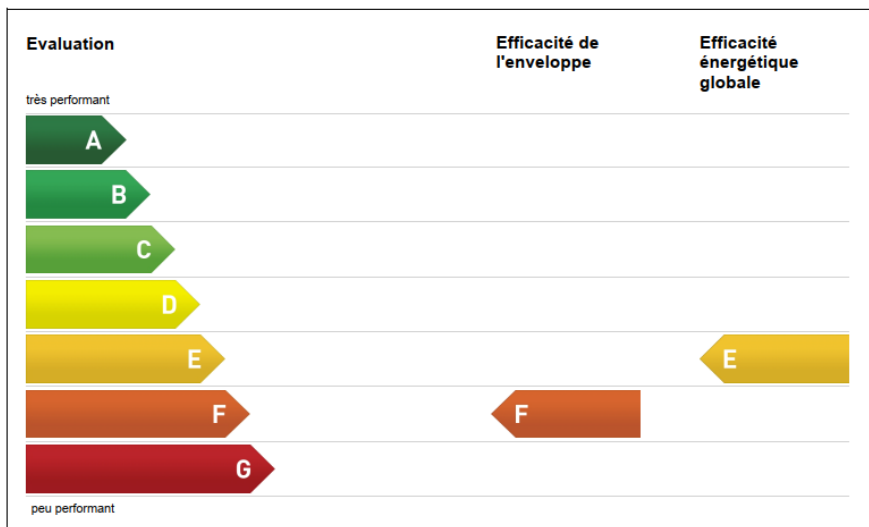
Efficacité énergétique global



Cas d'étude de CECB-Plus

Hôtel, Les Diablerets (VD)

- Construction : 1870
- Affectations : Hôtel
- SRE : 1'040 m²



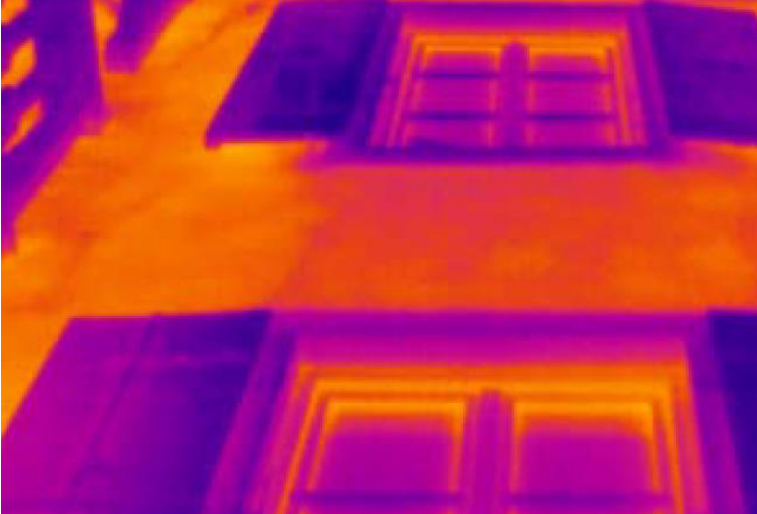
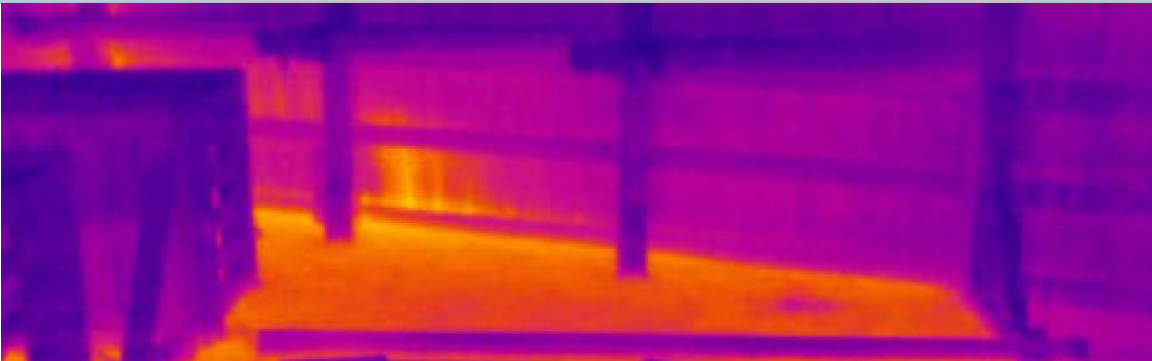
Cas d'étude de CECB-Plus



Cas d'étude de CECB-Plus



Cas d'étude de CECB-Plus



Cas d'étude de CECB-Plus

Variantes retenues

- Crépi isolant
- Renforcement de l'isolation de la toiture
- Isolation partielle du plancher du rez-de-chaussée
- Remplacement des fenêtres
- Modification de la production de chaleur
- Installation de panneaux solaires

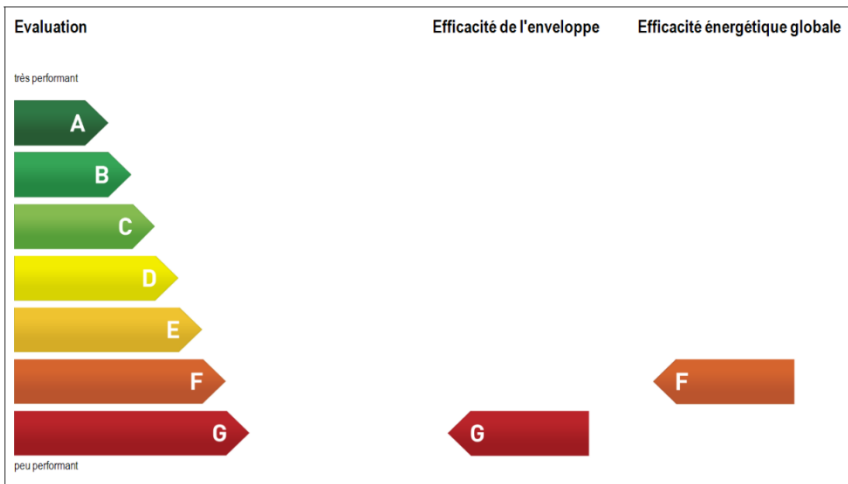
Variantes rejetées

- Isolation intérieure de la façade (ameublement de l'hôtel, non-accessibilité de la structure)

Cas d'étude

Maison individuelle, Carouge (GE)

- Construction : env. 1790
- Affectation : Habitat individuel
- SRE : 330 m²



Cas d'étude



Cas d'étude



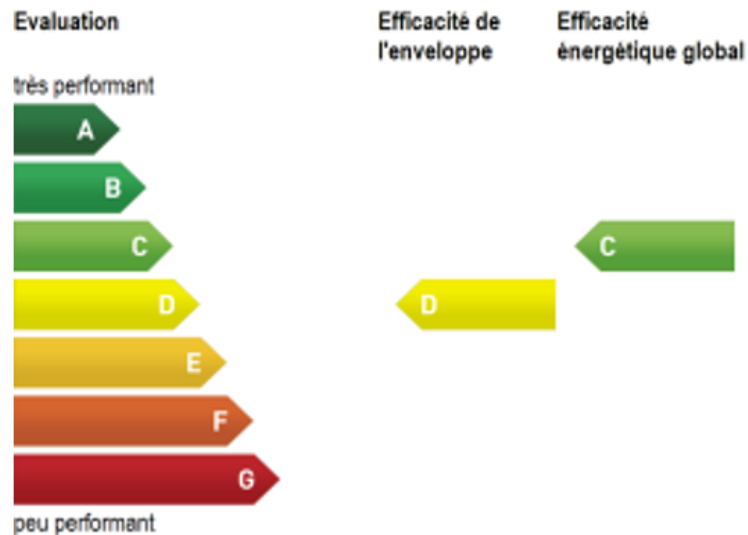
Cas d'étude

Variantes retenues

- Renforcement de l'isolation de la toiture / du plancher des combles
- Isolation du plancher du rez-de-chaussée
- Isolation intérieure partielle de la façade ($U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Adaptation / remplacement des fenêtres
- Modification de la production de chaleur

Variantes rejetées

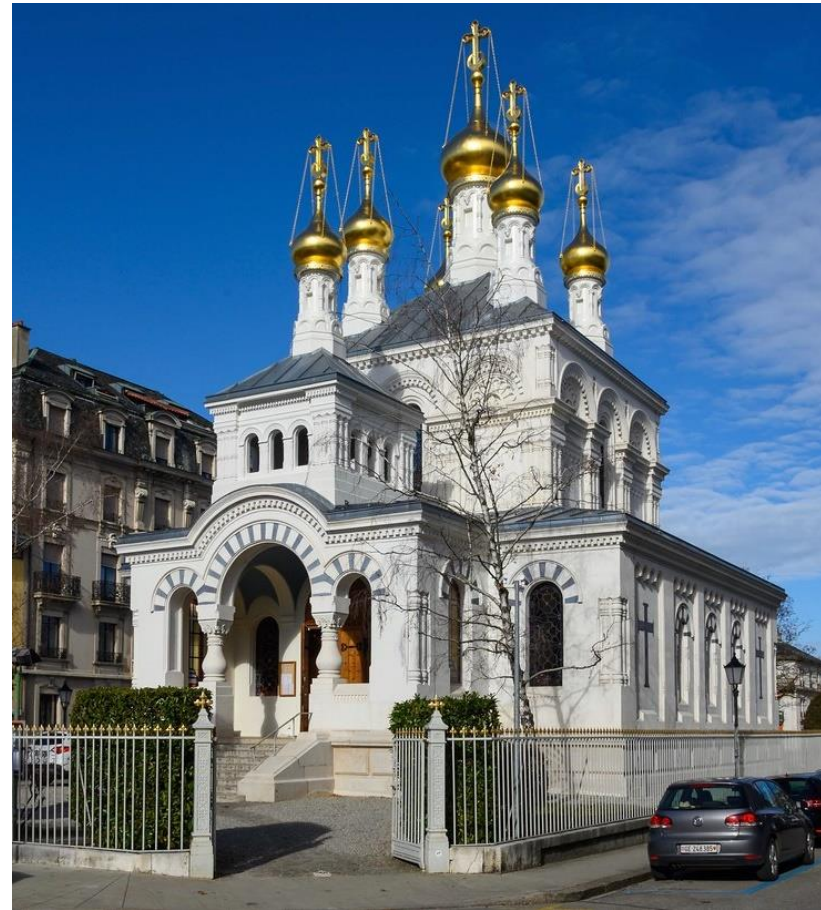
- Isolation extérieure de la façade ou crépi isolant
- Isolation intérieure de la façade selon SIA 380/1
- Remplacement généralisé des fenêtres
- Installation de panneaux solaires
- Modification du système de ventilation



Cas d'étude

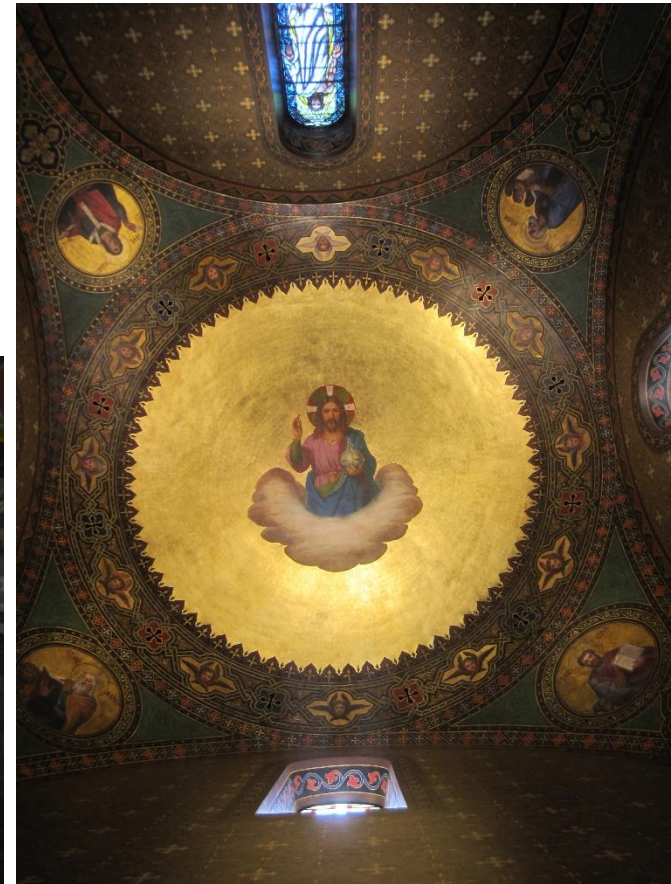
Eglise russe, Genève

- Construction : 1866
- Affectation : Lieu de rassemblement (non couverte par le CECB)
- SRE : 300 m²
- Catégorie : équivalent G / G

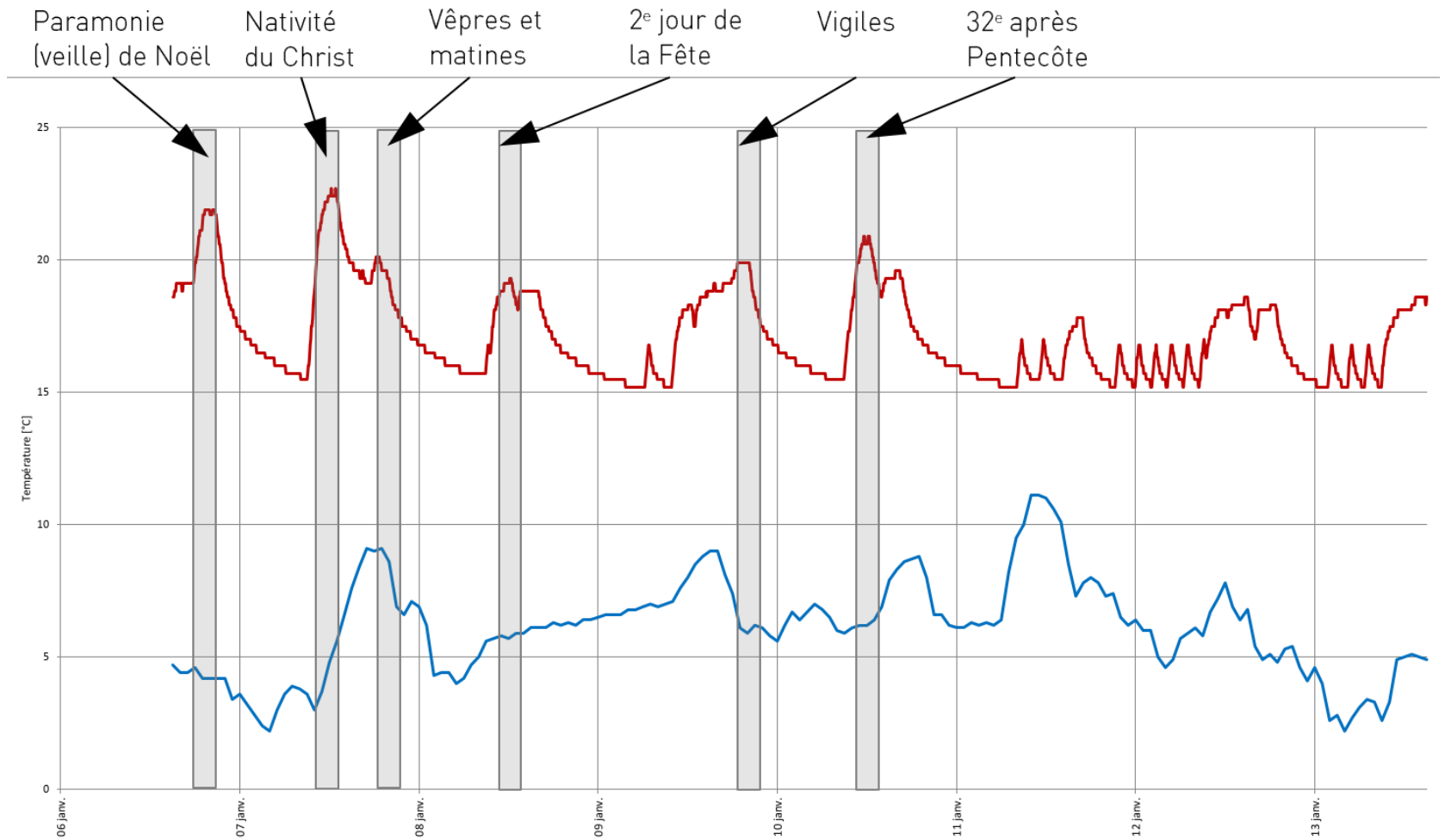


Cas d'étude

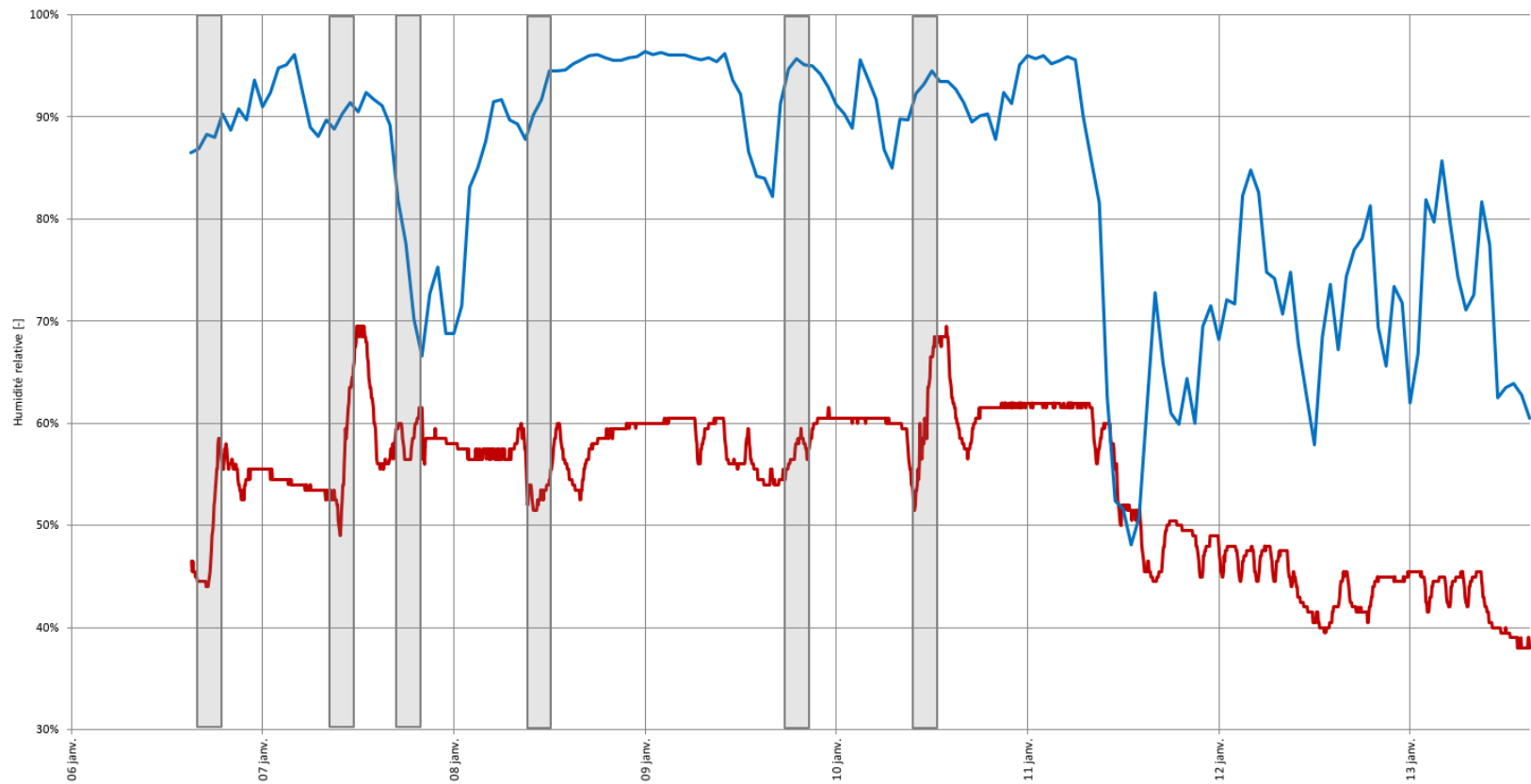
- Secteurs du décor peint avant et après nettoyage (dôme central)



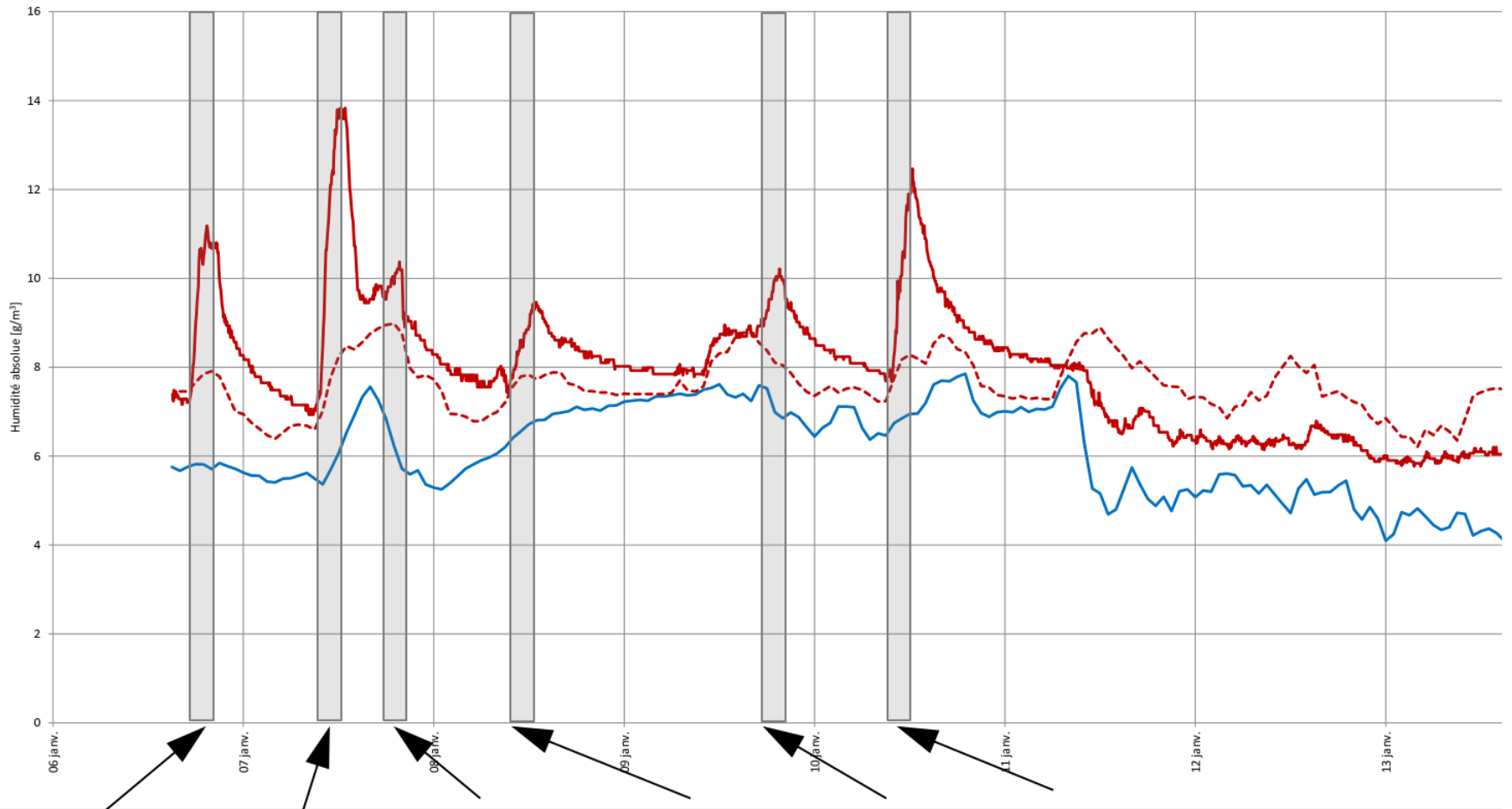
Cas d'étude



Cas d'étude



Cas d'étude



Cas d'étude

Comparaison entre paramètres standardisés et adaptés

		Paramètres standard selon SIA 380/1	Paramètres adaptés à l'utilisation
Température ambiante	θ_o	20°C	17.3°C
Nombre de personnes	Nb	62	50
Chaleur moyenne dégagée par personne	Q_p	80 W/pers	100 W/pers
Durée de présence des personnes	t_p	3 h/j	2 h/j
Besoins d'électricité	$E_{F,EI}$	60 MJ/m ²	102 MJ/m ²
Facteur de réduction des besoins d'électricité	f_{EI}	80%	80%
Débit d'air neuf	V/A_E	1.0 m ³ /h/m ²	0.3 m ³ /h/m ²
Besoins de chaleur pour le chauffage	Q_h	1939.0 MJ/m²	1374.2 MJ/m²
Valeur limite des besoins de chaleur pour le chauffage	$Q_{h,li}$	374.7 MJ/m ²	374.7 MJ/m ²
Rapport à la valeur limite	$Q_h / Q_{h,li}$	517%	367%

Consommation d'électricité	8822 kWh/an	102.2 MJ/m ²
Consommation d'énergie finale (gaz)	73759 kWh/an	854.9 MJ/m ²
Consommation d'énergie utile (chaleur)	62695 kWh/an ($\eta = 0.85$)	726.7 MJ/m² (194% x $Q_{h,li}$)

Cas d'étude

Variantes retenues

- Renforcement de l'isolation de la toiture
- Isolation partielle du plancher du rez-de-chaussée
- Doublage des vitraux
- Modification de la production de chaleur
- Modification du système de ventilation

Variantes rejetées

- Isolation extérieure de la façade
- Isolation intérieure de la façade
- Remplacement généralisé des fenêtres
- Installation de panneaux solaires

Merci pour votre attention

Frédéric Haldi

Dr ès sciences (EPFL), Physicien dipl. SIA
Expert en protection incendie AEA1

Frédéric Haldi Ingénieurs Conseils SA

Chemin du Vuasset 2
1028 Préverenges

f.haldi@fh-ingenieurs.ch
076 603 88 96

Physique du bâtiment | Energétique du bâtiment
Protection incendie | Acoustique du bâtiment

